

PAPA NATIVA DIPLOIDE

En Busca de Fortalecer el Sistema
Productivo en Colombia



Editores

**María Del Socorro Cerón Lasso
Lena Prieto Contreras
Ana Magdalena Garnica Holguín
Julio Gabriel Ortega**

PAPA NATIVA DIPLOIDE

**En Busca de Fortalecer el Sistema
Productivo en Colombia**

Editores

**María Del Socorro Cerón Lasso
Lena Prieto Contreras
Ana Magdalena Garnica Holguín
Julio Gabriel Ortega**

© María Del Socorro Cerón Lasso
Lena Prieto Contreras
Ana Magdalena Garnica Holguín
Julio Gabriel Ortega

Título del libro

Papa Nativa Diploide, En Busca de Fortalecer el Sistema Productivo en Colombia

ISBN:978-9942-33-626-2

Publicado Diciembre 30 del 2022 por acuerdo con los autores.

© 2022, Editorial Grupo Compás
Guayaquil-Ecuador

Cita

Cerón, M. S., Prieto, L., Garnica, A. M. y Gabriel Ortega, J. (Eds.). (2022).
Papa Nativa Diploide, En Busca de Fortalecer el Sistema Productivo en Colombia Editorial
Grupo Compás.

Diseño y Diagramación

Diego David Echeverry-Prieto



Grupo Compás apoya la protección del copyright, cada uno de sus textos han sido sometidos a un proceso de evaluación por pares externos con base en la normativa del editorial.

El copyright estimula la creatividad, defiende la diversidad en el ámbito de las ideas y el conocimiento, promueve la libre expresión y favorece una cultura viva. Quedan rigurosamente prohibidas, bajo las sanciones en las leyes, la producción o almacenamiento total o parcial de la presente publicación, incluyendo el diseño de la portada, así como la transmisión de la misma por cualquiera de sus medios, tanto si es electrónico, como químico, mecánico, óptico, de grabación o bien de fotocopia, sin la autorización de los titulares del copyright.



@grupocompas.ec
compasacademico@icloud.com



Contenido General

Prólogo	9
Prefacio	11
Agradecimientos	14

SECCIÓN 1

Contextualización sobre la Producción y el Manejo Agronómico del Cultivo.....	15

Capítulo 1

Identificación de Zonas de Producción de Papa Diploide (<i>Solanum phureja</i> Juz. et. Buk.)	21

Carlos Alberto Abaunza González

María del Socorro Cerón Lasso

Yaquelin Molina Cita

Lilia Astrid Ortiz Ortiz

Capítulo 2

Análisis del Riesgo por Cambio Climático en el Cultivo de Papa Diploide (<i>Solanum phureja</i> Juz. et Buk.) en Municipios Productores del Departamento de Cundinamarca.....	67

Carlos Alberto Abaunza González

Diego Fernando Sánchez Vivas

María del Socorro Cerón Lasso

Lena Carolina Echeverry Prieto

Capítulo 3

Manejo Integral del Cultivo de Papa Diploide (<i>Solanum phureja</i> Juz. et Buk.).....	87

José Luis Zapata Pareja

María del Socorro Cerón Lasso

Pedro David Porras Rodríguez

Carlos Alberto Herrera Heredia



Capítulo 4

Manejo de Plagas Según las Etapas de Desarrollo
del Cultivo de Papa Diploide (*Solanum phureja* Juz. et Buk.)..... 123

Eduardo María Espitia Malagón

Nubia Liliana Cely Pardo

Nancy del Carmen Barreto Triana

Pedro David Porras Rodríguez

Capítulo 5

Enfermedades de la Papa Diploide
(*Solanum phureja* Juz. et Buk.) en Colombia..... 183

José Luis Zapata Pareja

Pedro David Porras Rodríguez

María del Socorro Cerón Lasso

Carlos Alberto Herrera Heredia

SECCIÓN 2

Estudios y Prácticas de Manejo para la
Sostenibilidad del Cultivo..... 225

Capítulo 6

Producción de Semilla de Papa Diploide
(*Solanum phureja* Juz. et Buk.) Usando
la Técnica de Aeroponía..... 229

Andrés Felipe Uribe Gaviria

María del Socorro Cerón Lasso

Julián Fernando Mateus Rodríguez

Yajaira Romero Barrera

Luis Alonso Lavado Villalobos



Capítulo 7

Caracterización de Productores y Costos Asociados al
Cultivo de Papa Diploide (*Solanum phureja* Juz. et Buk.)
en Cuatro Municipios del Departamento de Cundinamarca.....251

Claudia Patricia Álvarez Ochoa

Carlos Arturo Arango Almaza

Isabel Cusgüen Londoño

Luz Mireya Pinzón Perdomo

Capítulo 8

Estrategias de Agricultura Sostenible en Cultivos
de Papa Diploide (*Solanum phureja* Juz. et Buk.).....273

Lena Carolina Echeverry Prieto

Ana Magdalena Garnica Holguín

Daniel Guillermo García González

María del Socorro Cerón Lasso

SECCIÓN 3

Conservación, Aprovechamiento, Perspectivas
Comerciales e Innovación.....319

Capítulo 9

Alternativas en el Acondicionamiento y Almacenamiento
de los Tubérculos de Papa Diploide (*Solanum phureja* Juz. et Buk.)..... 325

Ana Magdalena Garnica Holguín

Javier Alexander Suárez Cano

María del Socorro Cerón Lasso

Lena Prieto Contreras

Jader Rodríguez Cortina

Isabel Cusgüen Londoño



Capítulo 10

Análisis Físico y Nutricional de Tubérculos de

Papa Diploide (*Solanum phureja* Juz. et Buk.)..... 357

Ana Magdalena Garnica Holguín

Lena Prieto Contreras

Claudia Patricia Álvarez Ochoa

Juan Carlos Poveda Pisco

María del Socorro Cerón Lasso

Yaquelin Molina Cita

Capítulo 11

Aprovechamiento Potencial de la Papa Diploide

(*Solanum phureja* Juz. et Buk.) para la Industria Alimentaria..... 391

Ana Magdalena Garnica Holguín

Lena Prieto Contreras

Claudia Patricia Álvarez Ochoa

María del Socorro Cerón Lasso

Capítulo 12

Costos de Procesamiento de la Papa Diploide

(*Solanum phureja* Juz. et Buk.) y el Potencial de
sus Productos en Mercados Internacionales..... 443

Claudia Patricia Álvarez Ochoa

Ana Magdalena Garnica Holguín

Lena Prieto Contreras

Beatriz Elena Agudelo Chocontá

Capítulo 13

Innovaciones Derivadas de Procesos de Investigación

Participativa con Agricultores de Papa Diploide

(*Solanum phureja* Juz. et Buk.)..... 457

Daniel Guillermo García González

Yamile Nova Rodríguez

Claudia Patricia Álvarez Ochoa

Ana Magdalena Garnica Holguín

Lena Prieto Contreras

Isabel Cusgüen Londoño



APÉNDICES

Apéndice A

Encuesta para Productores.....	483

Apéndice B

Aptitud de Uso de Tierras para el Cultivo de la Papa Diploide en Municipios del Departamento de Cundinamarca.....	490

Apéndice C

Descripción de Puntajes y Formatos para la Evaluación Sensorial.....	498

Apéndice D

Componentes de Industrialización de los Principales Procesos.....	501

Apéndice E

Unidades Empleadas	505

Apéndice F

Glosario.....	506

Apéndice G

Editores y Autores.....	510



Prólogo

Me siento privilegiado de escribir este prólogo, para tratar de contextualizar esta magnífica obra elaborada por investigadores y profesionales colombianos de gran trayectoria, que han dedicado su vida a uno de los cultivos más importantes de la cultura andina: la papa; un cultivo ancestral que es un testimonio vivo del origen, domesticación y grandeza de las culturas en América del Sur.

Hablar de la papa, en especial de *Solanum phureja* Juz. et. Buk., es hablar de la vida misma de las comunidades de los Andes y particularmente de su cultura en Colombia, esta especie comparte su origen con Perú y Bolivia principalmente. El vocablo phureja viene del idioma Aymara, debido a que sus tubérculos no poseen periodo de dormancia y se cosechan entre tres a cuatro veces al año¹. Es diploide, es decir tiene 24 cromosomas, aunque está reportado en la comunidad de Quiara en la Paz (Bolivia) la existencia de una phureja tetraploide de 48 cromosomas. Por sus características presenta resistencia a la podredumbre bacteriana o marchitez causada por *Ralstonia solanacearum*, ofrece resistencia en campo o tolerancia al mildiu de la papa causado por el oomicete *Phytophthora infestans* y a ciertas enfermedades virosas de la papa como PVX,¹ PVS, PMV y PAV. Además, es tolerante al calor y con adaptación a zonas con climas templados. Igualmente es una fuente nutricional de gran valor y apetecida por los pobladores andinos.

Estas características mencionadas de la papa diploide *S. phureja* son un complemento a esta obra, en la que se describen las zonas productoras de este cultivo en Colombia; los riesgos que conlleva el cambio climático a la erosión de la riqueza genética, el desarrollo del cultivo y su sistema de producción, el manejo de plagas y enfermedades; la obtención de semilla de alta calidad; la comprensión de la idiosincrasia de los productores que la cultivan y los costos de producción asociados; el desarrollo de estrategias para una agricultura sostenible; así como, la conservación, aprovechamiento y perspectivas

¹Ochoa, C. M. (2001). *Las papas de Sudamérica: Bolivia*. CIP, IFEA, COSUDE, CID, PROINPA.



comerciales. También, se hace una valiosa contribución del aporte nutricional del tubérculo en la alimentación humana, usos en la industria e incluso se dan perspectivas para su posible exportación.

Me siento complacido de haber leído y comentado acerca de este documento. Desde mi percepción es una obra escrita bajo una sistematización profunda de la información, con rigurosidad científica y técnica. Esta es una obra apropiada para la lectura de todos los actores del sistema productivo de la papa diploide, que intervienen en diferentes momentos de este interesante cultivo. Es una magnífica contribución para Latinoamérica y el mundo, que estoy seguro será apreciada por los lectores.

Julio Gabriel Ortega PhD.
Docente Investigador
Universidad Estatal del Sur de Manabí
(Ecuador)



Prefacio

En Colombia, las áreas del cultivo de la papa diploide (*Solanum phureja* Juz. et. Buk.) llamada también papa criolla, se han incrementado debido a las demandas por el consumo del tubérculo a nivel nacional e internacional. Es así como la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria–AGROSAVIA (anteriormente Corpoica) en alianza con otras entidades, participó en diversas convocatorias para la financiación de proyectos. Uno de ellos fue financiado por la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural del Departamento de Cundinamarca en el año 2000, con el proyecto denominado: “Mejoramiento del proceso de producción de papa criolla para pequeños productores en el Departamento de Cundinamarca”, enfocado a incorporar el manejo sostenible del cultivo con la utilización de biopreparados y productos químicos de baja residualidad.

Luego en el año 2007, se aplicó a la convocatoria “Desarrollo tecnológico e innovación para el sector agropecuario por cadenas productivas” financiado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), con el proyecto “Generación de variedades mejoradas de papa criolla (*Solanum phureja*), con características morfo-agronómicas, de cosecha, acondicionamiento y transformación, ideales para la exportación en el Departamento de Cundinamarca”, que era parte del programa titulado “Innovación tecnológica en el cultivo de la papa a través del mejoramiento genético para tolerancia a insectos y buenas características de procesamiento”, el cual fue ejecutado durante los años 2008 al 2012. Con los clones avanzados y seleccionados en el proyecto anterior, se continuó con pruebas de evaluación agronómica y con el registro de variedades seleccionadas ante el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

El desarrollo de las actividades del proyecto financiado por el MADR se llevó a cabo entre AGROSAVIA (antes Corpoica) como entidad ejecutora, la Universidad de La Salle, la Corporación PBA como entidades aliadas y la participación de cuatro asociaciones de productores de papa diploide



procedentes de cuatro municipios del Departamento de Cundinamarca en Colombia.

Los resultados de los proyectos referidos se presentan en este libro y para su escritura se invitaron especialistas expertos en las temáticas tratadas, con el fin de ampliar el conocimiento en todos los componentes que involucra el sistema productivo de papa diploide. La obra se estructuró en las siguientes secciones:

- **Sección 1** “Contextualización sobre la producción y el manejo agronómico del cultivo”: involucra la identificación y la caracterización de las zonas óptimas de producción; los efectos del cambio climático; el manejo integrado del cultivo; así como las principales plagas y enfermedades que lo afectan en Colombia.
- **Sección 2** “Estudios y prácticas de manejo para la sostenibilidad del cultivo”: incluye la producción de semilla bajo la técnica de aeroponía; caracterización de los productores en el Departamento de Cundinamarca; costos de producción asociados al cultivo y estrategias de agricultura sostenible.
- **Sección 3** “Conservación, aprovechamiento, perspectivas comerciales e innovación”: comprende el estudio de atmósferas modificadas en el almacenamiento y factores que influyen en la conservación de la papa diploide; caracterización física y nutricional de los tubérculos; procesos de transformación para la industria agroalimentaria; costos de procesamiento y potencial de los productos para exportación; e innovaciones derivadas de los procesos de investigación participativa con agricultores de los municipios donde se desarrollaron los proyectos.

Este libro recoge los resultados de más de diez años de investigación, aporta conocimiento para todos los componentes del sistema productivo en el país, reafirma las potencialidades del tubérculo para su comercialización y consumo en mercados nacionales e internacionales debido a sus bondades



gastronómicas, y para el desarrollo de líneas de producción novedosas en la industria. Por todo lo expuesto, los autores y las entidades participantes en los proyectos y en esta publicación, esperan que esta obra sea un material de consulta para los diferentes actores del sistema productivo de la papa diploide o como es llamada en Colombia “papa criolla”.

María del Socorro Cerón Lasso MSc. Senior, PhD(c)
Investigadora
Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA
(Colombia)



Agradecimientos

Especialmente se agradece a los agricultores del cultivo de papa diploide pertenecientes a las cuatro asociaciones del Departamento de Cundinamarca: Asoagra del Municipio de Granada, SAT el Rosal del Municipio de El Rosal, Asocriolla del Municipio de Subachoque y Criolla Oro del Municipio de Sibaté, a todos los agricultores de papa diploide, los comerciantes, los agroindustriales y técnicos, por su participación activa en los proyectos de investigación y por su valiosa experiencia de vida que fue trascendental en el desarrollo de todas las actividades contempladas en los mismos.

Igualmente, se hace mención especial a la memoria de Joaquín Niampira, Pedro Julio Cangrejo, Margoth Cangrejo, Ligia Mayorga y Raimundo Cangrejo, miembros de Asoagra, quienes participaron y lideraron actividades participativas del proyecto en el Municipio de Granada, por su entrega, compromiso, dedicación, compañerismo y amistad, que siempre quedarán plasmados en nuestra memoria y seguirán siendo ejemplo para todos.

También los autores agradecen a todo el personal científico, técnico y administrativo de las tres instituciones: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA, Universidad de La Salle y Corporación PBA, por su apoyo durante la ejecución del proyecto. Del mismo modo, agradecen al Sistema de Bancos de Germoplasma de la Nación para la Alimentación y la Agricultura, por suministrar el material biológico procedente de la Colección Diploide de la Colección Central Colombiana de la Papa (CCC).

Al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) y a la Secretaría de Agricultura y Desarrollo del Departamento de Cundinamarca (Colombia), agradecen los autores por el financiamiento de los proyectos de investigación y de todas las actividades que condujeron al registro de las variedades de papa diploide liberadas por AGROSAVIA y los resultados obtenidos para beneficio del sistema productivo de la papa diploide o papa criolla.





Contextualización sobre la producción y el manejo agronómico del cultivo

sección 1

Contenido de la Sección 1

Capítulo 1

Identificación de Zonas de Producción de Papa Diploide

(<i>Solanum phureja</i> Juz. et. Buk.)	21
Resumen.....	21
Introducción.....	22
Metodología.....	23
Productos Logrados.....	26
Áreas Actuales de Producción.....	26
Producción de Papa Diploide.....	27
Características de los Sistemas de Producción Actuales.....	30
Aspectos Productivos.....	32
Elementos del Entorno Competitivo de las Zonas Productoras.....	40
Zonas Potenciales para el Cultivo.....	42
Zonificación de las Tierras, para Identificar Escenarios Óptimos...	45
Factores Edáficos.....	47
Zonas moderadas por textura.....	50
Resultados de Aptitud para el Cultivo de la Papa Diploide.....	57
Zonas con Mejores Condiciones.....	59
Entorno competitivo de las zonas biofísicas.....	61
Conclusiones.....	63
Referencias.....	63

Capítulo 2

Análisis del Riesgo por Cambio Climático en el Cultivo de Papa

Diploide (*Solanum phureja* Juz. et Buk.) en Municipios

Productores del Departamento de Cundinamarca.....	67
Resumen.....	67
Introducción.....	68



Metodología.....	73
Área de Estudio.....	73
Productos Logrados.....	76
Aspectos Climáticos.....	76
Análisis de Riesgo por Cambio Climático.....	77
Conclusiones.....	81
Referencias.....	82

Capítulo 3

Manejo Integral del Cultivo de Papa Diploide

(<i>Solanum phureja</i> Juz. et Buk.).....	87
Resumen.....	87
Introducción.....	88
Metodología.....	90
Análisis Fase I.....	90
Variedades de Papa Diploide en Colombia.....	90
Planeación de la Producción.....	93
Análisis Fase II.....	103
Siembra.....	103
Fertilización.....	105
Desyerbe y Aporque.....	108
Manejo fitosanitario.....	109
Análisis Fase III.....	111
Cosecha y Poscosecha.....	111
Calidad Externa del Tubérculo.....	114
Conclusiones.....	115
Referencias.....	116



Capítulo 4

Manejo de Plagas Según las Etapas de Desarrollo del Cultivo

de Papa Diploide (<i>Solanum phureja</i> Juz. et Buk.).....	123
Resumen.....	123
Introducción.....	124
Metodología.....	126
Análisis Primera Fase.....	127
Preparación del Suelo para la Siembra.....	127
Siembra.....	135
Análisis Segunda Fase.....	140
Etapas Fenológica 1	140
Etapas Fenológica 2.....	147
Etapas Fenológica 3.....	155
Etapas Fenológica 4.....	159
Etapas Fenológica 5.....	161
Análisis Tercera Fase.....	164
Cosecha y Poscosecha.....	164
Recomendaciones Generales.....	166
Labores Culturales.....	166
Uso de Trampas.....	168
Uso de Plaguicidas.....	173
Rotación.....	174
Conclusiones.....	174
Referencias.....	175



Capítulo 5

Enfermedades de la Papa Diploide (*Solanum phureja* Juz. et Buk.)

en Colombia.....	183
Resumen.....	183
Introducción.....	184
Metodología.....	188
Productos Logrados.....	189
Enfermedades no Virales que Afectan el Follaje.....	189
Enfermedades Ocasionadas por Virus.....	196
Enfermedades Ocasionadas por Patógenos	
Presentes en el Suelo.....	202
Conclusiones.....	218
Referencias.....	219



CAPITULO 1

Identificación de Zonas de Producción de Papa Diploide (*Solanum phureja* Juz. et. Buk.)

Carlos Alberto Abaunza González,^{1a} María del Socorro Cerón Lasso,^{1b}

Yaquelin Molina Cita,^{1b} Lilia Astrid Ortiz Ortiz²

Resumen

La papa diploide (*Solanum phureja* Juz. et. Buk.) se encuentra en el grupo de cultivares que Colombia ha apostado en su estrategia productora y exportadora, con oportunidades de mercado nacional identificadas, indicadores de competitividad y potencialidad para incrementar la incursión en los mercados internacionales. La priorización de productos promisorios, como este tubérculo, demandó por parte del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y de las entidades vinculadas con el sector, un estudio para identificar las áreas con potencial para el desarrollo de los cultivos, obteniendo la identificación de regiones productoras que ofrecen mejores características para la producción cuando las condiciones edafoclimáticas, fitosanitarias del cultivo y, la infraestructura física y social son consideradas. Cuatro municipios se identificaron en el Departamento de Cundinamarca. Es importante continuar investigando en temas relacionados con el desarrollo y las interacciones entre el genotipo y el ambiente, sobre la expresión de las características agronómicas y su utilización rentable a partir del rendimiento y calidad industrial de los tubérculos, para cada ambiente a nivel de las zonas de producción en Colombia y especialmente para el Departamento de Cundinamarca, que es el primer productor del tubérculo diploide por su área cultivada y los volúmenes de producción.

Palabras Clave: región andina, zonificación de suelos, localización de la producción, factores ambientales.

^{1a} Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Nataima, Espinal, Tolima-Colombia.

^{1b} Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Tibaitatá, Mosquera, Cundinamarca-Colombia.

² Ingeniera Forestal, Consultora Particular.



Abstract

Diploid potato (*Solanum phureja* Juz. et. Buk.) is found in the group of cultivars that Colombia has bet in its production and export strategy, with identified national market opportunities, competitiveness indicators, and potentiality for increasing incursion into international markets. Prioritization of promising products, such as this tuber, demanded by Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural and the entities linked to the sector, a study to identify areas with potential for the development of crops, obtaining the identification of producing regions that offer better characteristics for production when edaphoclimatic conditions, phytosanitary of crop and, physical and social infrastructure are considered. Four municipalities were identified in Departamento de Cundinamarca. It is important to continue researching on issues related to development and interactions between genotype and environment, on the expression of agronomic characteristics and their profitable use based on yield and industrial quality of tubers, for each environment a level of production areas in Colombia and especially for Departamento de Cundinamarca, which is the leading producer of diploid tuber due to its cultivated area and production volumes.

Keywords: Andean region, soil zoning, localization of production, environmental factors.

Introducción

El cultivo de la papa diploide es uno de los sistemas productivos de clima frío más importante en Colombia, adaptándose a un rango de altura entre los 2.600 y 3.000 msnm, aunque hay zonas donde se siembra por encima de los 3000 msnm. Sin embargo, en Colombia existen restricciones para el cultivo agrícola a esas cotas según la Ley 1930 del 27 de julio de 2018, de 3.200 y 3.400 msnm, donde la preservación de ecosistemas de paramo es fundamental. En 2018 el área cultivada fue de 8.460 ha y una producción de 129.014 t (Agronet, 2022a), por lo que es una importante fuente de trabajo rural, considerando una ocupación promedio de 201 jornales/ha.



La creciente demanda de los mercados externos por esta papa ha llevado a Colombia a ubicarse como el principal país abastecedor del tubérculo en países de la Eurozona, Estados Unidos y Japón; a donde algunos agricultores continúan exportando (Agronet, 2022b). El Tratado de Libre Comercio (TLC) con Estados Unidos que elimina el arancel correspondiente a la papa amarilla (gravamen que lo paga el país exportador), constituye una ventaja para la exportación de este producto agrícola (United States International Trade Commission [USITC], 2020). Empero, las cifras revelan un fuerte descenso desde la firma del TLC con Estados Unidos, pues las exportaciones a dicho país se debilitaron hasta llegar en el 2014 al 2% del volumen exportado de papas congeladas y sin congelar; en general hubo una reducción del 96,5% de este volumen, cuando se compara el volumen del 2014 con respecto al del 2011 (Ospina, 2015).

Las exportaciones más importantes de diploide procesada fueron realizadas a los Estados Unidos, Japón y Panamá. Pero los volúmenes en el año 2019 cayeron ostensiblemente, puesto que en el año 2017 el valor exportado fue de USD FOB 3.123.423, mientras que para el año 2018 este valor disminuyó a USD FOB 2.886.843 (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR], 2019).

Dado el potencial comercial de este tubérculo a nivel nacional e internacional, la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), actualmente AGROSAVIA, con el financiamiento del MADR, llevó a cabo una investigación para la generación de nuevas variedades de papa nativa diploide en el Departamento de Cundinamarca con miras a la exportación (Cerón et al., 2013), para lo cual se propuso identificar y caracterizar las zonas de producción bajo condiciones edafoclimáticas y fitosanitarias del cultivo, así como la infraestructura física y social, las áreas cultivadas y los volúmenes de producción del tubérculo en este departamento.

Metodología

En los años 2009 y 2010 se recorrieron los municipios y veredas productoras de papa diploide en el Departamento de Cundinamarca (Colombia) y se seleccionaron para la investigación los Municipios de El Rosal,



Subachoque, Granada y Sibaté. En seguida se estructuró un esquema metodológico (Figura 1.1) para la identificación de las zonas óptimas en el área objeto de estudio, en el cual se integraron información primaria y secundaria.

Para la información primaria se convocaron 31 productores o agricultores, 27 (87%) hombres y 4 (13%) mujeres, que se encontraban al frente de los cultivos y procedentes de diferentes veredas y corregimientos de los municipios mencionados anteriormente. En esta etapa exploratoria se les realizó una encuesta (Apéndice A) en los años 2011 y 2012, que consistió en recopilar información sobre el cultivo para una caracterización tecnológica y socioeconómica, es decir, se documentó y analizó a partir de encuestas el sistema productivo de papa diploide, involucrando los componentes social, ambiental, económico, productivo y agroecológico.

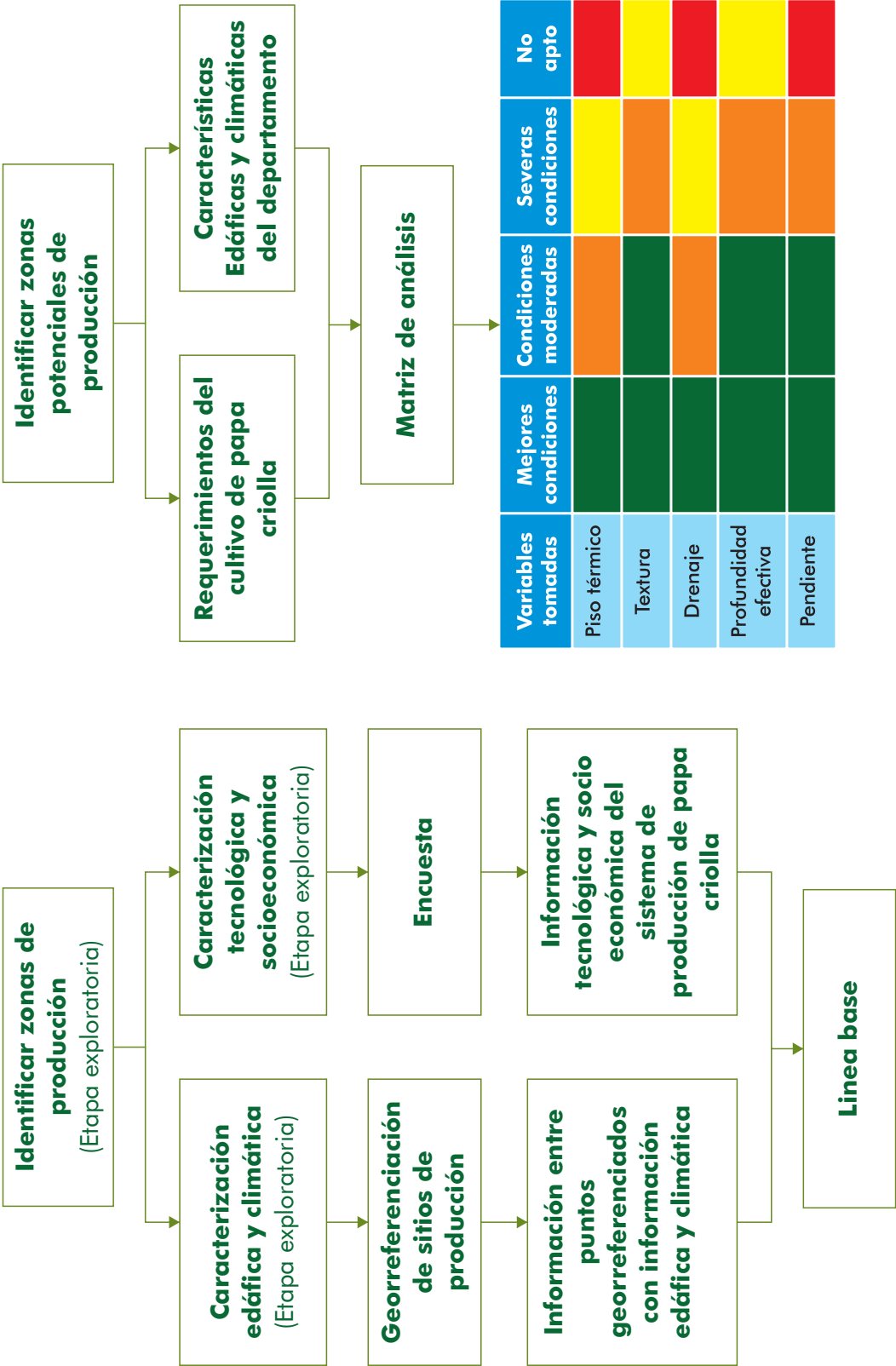
Paralelamente, se revisaron fuentes de información secundaria existentes sobre las variedades sembradas por aptitud de uso, épocas de siembra, fertilización, manejo agronómico, cosecha y las tecnologías utilizadas. También se reunieron datos de los sitios georeferenciados en los municipios productores de papa diploide para su caracterización edáfica y climática (Navas et al., 2010) con las variables de temperatura, altura, brillo solar y precipitación (según el clima) más drenaje natural, textura, pendiente y profundidad efectiva (de acuerdo al suelo). Después, se llevó toda la información de la etapa exploratoria a una línea base para los análisis de las zonas potenciales, en conjunto con una matriz de análisis construida con la información secundaria sobre los requerimientos del cultivo más los aspectos comparativos del clima y del suelo (Food and Agriculture Organization [FAO], 1983). La información física se obtuvo del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) (2000) como fuente secundaria.

A partir de las conclusiones obtenidas por el cruce de la información primaria y secundaria, se construyeron los mapas para identificar las zonas con mejores condiciones para la producción de papa diploide en el



Figura 1.1

Esquema metodológico para la identificación de zonas óptimas de producción de papa diploide



Nota. Esquema propuesto por María del Socorro Cerón Lasso en la investigación.



Departamento de Cundinamarca, y se establecieron zonas con restricciones moderadas, sin restricciones y óptimas zonas sin restricciones edafoclimáticas. Así mismo, se identificaron zonas socioeconómicas favorables para la producción, por su cercanía al principal centro agroindustrial y de consumo nacional.

Productos Logrados

Áreas Actuales de Producción

En Colombia la papa posee una alta demanda en el mercado interno de los Departamentos de Antioquia, Valle del Cauca, Cauca, Boyacá, Nariño y Cundinamarca; y la papa diploide aportó para el año 2019 con 15.179 ha una producción de 247.843 t. No obstante, en años anteriores el área sembrada fue mayor, pues en el año 2018 el área sembrada fue de 15.235 ha con una producción de 223.747 t (Agronet, 2022a).

La Tabla 1.1 presenta la producción de papa diploide para los años 2018 y 2019 en los principales departamentos productores de Colombia, donde se evidencia que el Departamento de Cundinamarca es el mayor productor del tubérculo con un área sembrada de 6.512 ha, una producción de 114.818,88 t y un rendimiento del 17,63 t/ha seguido por los Departamentos de Boyacá y de Nariño para el año 2019 (Agronet, 2022a).

Tabla 1.1

Área, producción y rendimiento de papa diploide en Colombia

Departamento	Año 2018			Año 2019		
	Área cultivada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t / ha)	Área cultivada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t / ha)
Cundinamarca	3.081	55.241,88	17,98	6.512	114.818	17,63
Boyacá	2.507	35.752,98	14,26	4.014	61.922	15,43
Nariño	1.314	16.494,25	12,55	2.006	33.153	16,53
Antioquia	661	8.005,97	12,11	1.454	15.777	10,85
Norte de Santander	476	10.027,00	21,07	967	18.485	19,12
Tolima	320	1.920,00	6,00	138	2.068	14,99
Santander	101	1.572,00	15,56	90	1.620	18,08

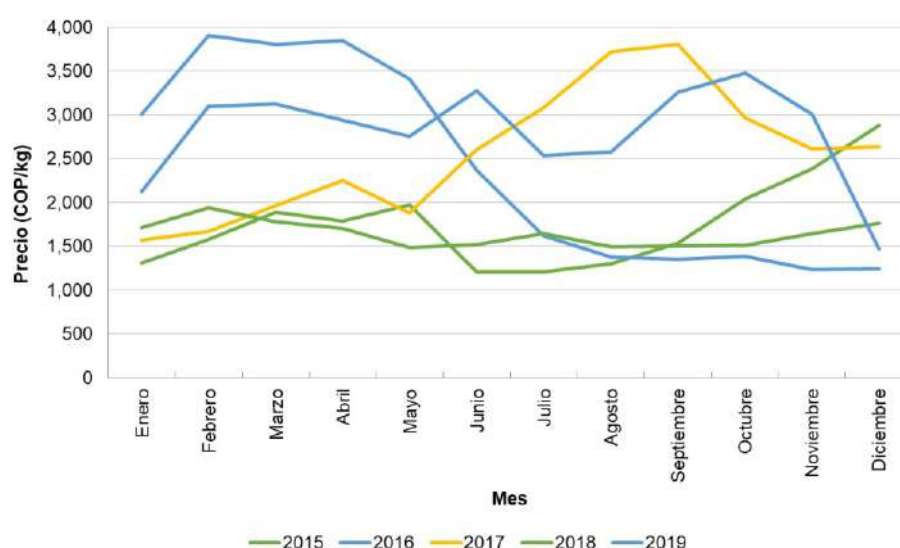
Nota. Agronet (2022a)



Con relación a los precios, en la Figura 1.2 se observa que estos fluctúan a través del año y entre años en los puntos de venta de las diferentes bodegas de la Corporación de Abastos de Bogotá S.A. [Corabastos] (2020), sin un patrón claro de distribución durante el año. Por tanto, el precio de la papa depende fundamentalmente de las condiciones climáticas de las zonas productoras que regulan el volumen de oferta.

Figura 1.2

Precios (COP) por kg de papa diploide lavada y puesta en bodega mayorista



Nota. Corabastos (2020).

Producción de Papa Diploide

En los años 2018 y 2019 se reportaron 33 municipios productores del tubérculo de papa diploide en el Departamento de Cundinamarca. El Municipio de Sibaté fue el de más área sembrada y el Municipio de Une tuvo mayor rendimiento, como se observa en la Tabla 1.2 (Agronet, 2022a).

En la Figura 1.3 se presenta la ubicación de los principales municipios productoras de papa diploide en el Departamento de Cundinamarca. Estas áreas paperas de los municipios se encuentran otros cultivos de hortalizas, pastos y algunos relictos o remanentes de bosque natural que deben ser conservados para la protección de las fuentes hídricas.



Tabla 1.2
Comparativo entre municipios productores de papa diploide por área sembrada, producción y rendimiento en el Departamento de Cundinamarca

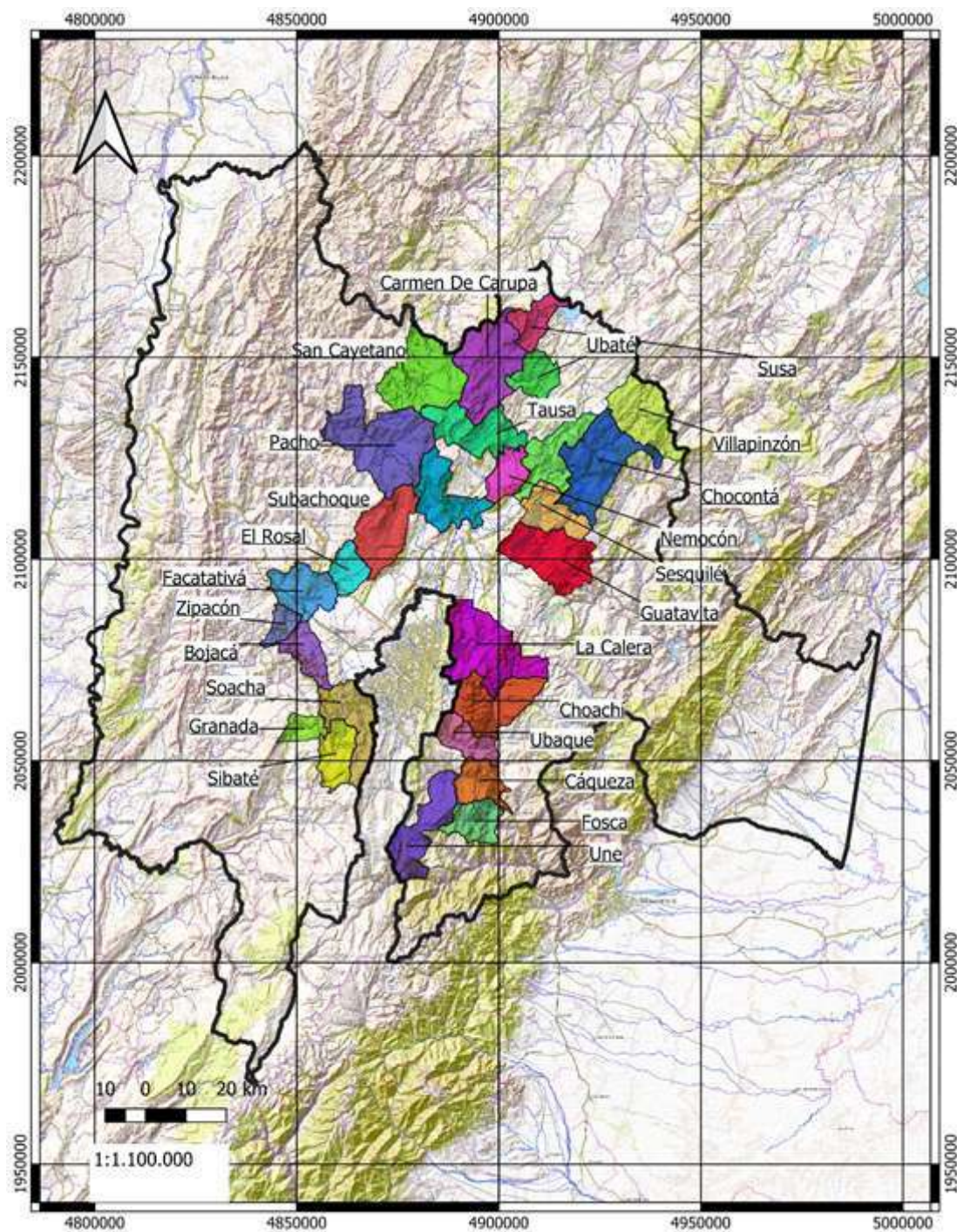
Municipios	AÑOS					
	Área sembrada (ha)		Producción (t)		Rendimiento (t/ha)	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019
Sibaté	979	993	22.449,00	24.825,00	23,46	25,00
Fosca	555	580	8.300,00	8.700,00	15,09	15,00
Une	530	417	11.550,00	8.944,00	23,57	22,87
El Rosal	530	568	9.540,00	9.912,00	18,00	17,51
Zipacón	465	470	5.160,00	5.280,00	12,00	12,00
Pacho	380	420	4.626,00	5.530,00	12,60	14,00
Bojacá	300	480	4.875,00	7.860,00	16,81	16,55
Chocontá	299	304	4.784,00	4.211,00	16,00	14,52
La Calera	240	262	5.192,00	5.486,00	22,00	21,43
Tausa	193	175	2.805,00	3.150,00	15,00	18,00
Ubaque	186	110	3.680,00	660,00	20,00	6,00
Subachoque	183	188	3.294,00	3.384,00	18,00	18,00
Zipaquirá	180	110	3.240,00	1.980,00	18,00	18,00
Facatativá	158	206	2.558,00	3.384,00	16,50	17,35
Carmen de Carupa	135	60	2.180,00	1.200,00	16,52	20,00
Cáqueza	112	120	1.800,00	1.920,00	16,00	16,00
Sesquilé	100	215	1.800,00	2.150,00	18,00	10,00
San Cayetano	94	83	1.080,00	804,00	12,00	12,00
Lenguazaque	90	60	728,00	900,00	13,00	15,00
Villapinzón	82	53	1.399,00	833,00	17,49	17,00
Guatavita	80	80	2.000,00	2.000,00	25,00	25,00
Ubaté	80	67	1.221,00	1.134,00	16,28	18,00
Granada	80	75	1.095,00	900,00	13,69	12,00
Soacha	76	60	1.278,00	882,00	18,00	18,00
Choachí	70	95	910,00	1.160,00	13,00	12,21
Suesca	50	50	1.100,00	1.600,00	22,00	32,00
Susa	50	90	750,00	1.800,00	15,00	20,00
Guasca	47	38	702,00	742,00	18,00	19,53
Nemocón	40	50	680,00		17,00	
Fúquene	35	30	420,00	420,00	12,00	14,00
Machetá	33	60	276,00	520,00	8,38	8,68
Chipaque	28	35	336,00	385,00	14,00	11,00
Ubalá	4	3	66,00	52,00	22,00	15,00
Sopo		5		75,00		15,00

Nota. Agronet (2022a).



Figura 1.3

Ubicación de los municipios productores de papa diploide en el Departamento de Cundinamarca



Nota. Base cartográfica IGAC (2000).



Características de los Sistemas de Producción Actuales

A continuación, se describen los aspectos de este sistema productivo de la papa diploide, la cual es originaria de la zona andina de Colombia y Ecuador.

Aspectos Biofísicos. Los cultivos para las zonas identificadas presentaron un área promedio de 5,4 ha por productor. Sin embargo, los Municipios de Subachoque y Sibaté registraron las mayores áreas cultivadas, con un promedio de 6 ha por productor. Por su parte, en el Municipio de Granada se reconoció un promedio de 4 ha, mientras que, en el Municipio de El Rosal, el área promedio cultivada fue de 2 ha por productor.

Topografía. Otro punto importante para considerar es la percepción del productor sobre la topografía de las áreas que establecen los cultivos de papa diploide. El 30% de los productores entrevistados mediante encuestas (Apéndice A), indicaron que los terrenos presentaban topografía ondulada, el 23% consideraban que sus fincas eran planas, el 20% indicaron que los terrenos tenían topografía quebrada y el 27% restante manifestó tener fincas con topografía mixta. Esta percepción del productor coincidió con el análisis de aptitud de uso de las tierras, las cuales indicaron que se trataba de zonas sin restricciones (planas y onduladas) y con moderadas restricciones de pendiente o de textura para este cultivo.

Usos del Suelo. En la Tabla 1.3 se relaciona la distribución de usos del suelo en las fincas de los productores encuestados. Ellos tenían un área promedio de 7,6 ha distribuidas de la siguiente manera: el uso agrícola con 63% del área total de la finca, el uso de las áreas en praderas con 32,4%, el uso de las áreas en bosque natural con 2,1% y otros usos. En estos últimos, se ocupaban aproximadamente el 2,5% de las fincas en áreas de recreo, terrenos en bosques plantados y áreas que albergaban fuentes de agua natural.

Las fincas con usos en bosques disponían de un área promedio de 0,5 ha. De acuerdo con la información suministrada por los productores, se percibió un cambio hacia un mayor sentido de conciencia ambiental, pues reconocieron la necesidad de realizar análisis de suelos, de usar maquinaria adecuada a las condiciones del terreno, de incrementar el uso de productos orgánicos y en



general, proteger el ambiente, pese al bajo número de fincas con áreas en bosques naturales o plantados, el cual correspondió únicamente al 35% de las fincas que reportaron la existencia de manchas de bosques.

Tabla 1.3

Uso del suelo en fincas productoras de papa diploide en el Departamento de Cundinamarca

Uso actual del suelo	Área (ha)	Porcentaje (%)
Agrícola	4,8	62,9
Pecuario	2,5	32,4
Agua	0,0	0,1
Recreo	0,1	1,9
Bosque Natural	0,2	2,1
Bosque Plantado	0,0	0,5
Total	7,65	100

Nota. Abaunza et al. (2012).

Es de resaltar el hecho que los productores aceptaron la necesidad de buscar terrenos en zonas que ofrezcan características óptimas para el establecimiento de cultivos y la adopción de algunas prácticas de manejo de cultivo como alternativa de mejoramiento de suelos y control sanitario.

Disponibilidad de Agua. La indagación en las fincas sobre fuentes de agua disponibles para riego indicó que, en primer lugar, se usó el agua lluvia y otras fuentes naturales como pequeñas quebradas que surcaban las fincas. Sin embargo, durante las temporadas secas, el 94% de los productores manifestaron tener necesidad de riego para los cultivos, por lo que realizaron en sus fincas reservorios y pozos para disponer del líquido en estas temporadas. Las necesidades de agua en la fase vegetativa requieren de zonas donde la precipitación esté entre 500 a 700 mm/año y la evapotranspiración (pérdida de humedad por evaporación directa y transpiración de las plantas) sea de 5 a 6 mm/día. El efecto del agotamiento del agua del suelo sobre el rendimiento es mínimo hasta en un nivel de 25%, por arriba de éste, comienza a advertirse la disminución en la producción (Ruiz et al., 2013).



La investigación reveló que existían pocas fuentes de agua naturales diferentes a la lluvia, para riego de cultivos, el 29% de los productores dijeron tener un pozo como fuente alternativa de agua en la finca y 7 de las 31 fincas tenían quebradas o hilos de agua. La disponibilidad de este recurso de forma natural o mediante el acopio o cosecha de agua, es fundamental para la productividad del cultivo de la papa diploide, pues técnicamente se conoce que la poca profundidad de las raíces del tubérculo incide en la baja formación de estolones y la productividad disminuye. Además, se produce pérdidas de agua por evapotranspiración, razón por la cual, la irrigación frecuente (cada 3 días) al cultivo genera una respuesta productiva considerable (FAO, 2008). Empero, el riego genera aumento de los costos de producción por la mano de obra utilizada.

Aspectos Productivos

El tubérculo diploide representó en el año 2017 el 8,2% del total de papa producida anualmente en Colombia y el 6,1% del total del área sembrada en el Departamento de Cundinamarca (Agronet, 2022a). A continuación, se revisan los aspectos inherentes a la producción del tubérculo.

Semilla. La variedad Criolla Colombia fue la más usada por los productores encuestados. En las zonas de la investigación, los productores manejaban semilla de diferente procedencia, pero el 90% manifestaron el uso de semilla certificada en alguna proporción. El 45% de los productores declararon, utilizar únicamente semillas certificadas o hijas de certificadas, mientras que el 55% usan semillas de diferente tipo y procedencia de acuerdo con la disponibilidad. Por lo anterior, en un mismo cultivo se pueden encontrar semillas certificadas, hijas de certificadas, semillas obtenidas de cultivos anteriores o adquiridas de otros productores.

Adicionalmente, los productores indicaron que utilizaban diferentes tamaños de semilla en las siembras, como: grandes, medianas, pequeñas y muy pequeñas (estas últimas conocidas por los agricultores como *riche*). En la Resolución del Instituto Colombiano Agropecuario [ICA] 3168 del 2015, menciona los diámetros de los tubérculos grandes de 40 a 49 mm, medianos de 30 a 39 mm y muy pequeños por debajo de 20 mm (ICA, 2015).



El 67% de los productores, indicaron usar para semilla únicamente el tamaño mediano o pareja, mientras que el 3% usan preferentemente el tamaño muy pequeño o riche. El 30% manifestó sembrar diferentes tamaños, siendo el tamaño grande o catalogado como cero el menos frecuente de usar como semilla.

Sobre la cantidad de semillas sembradas por sitio, indicaron los agricultores que depende del tamaño de la semilla utilizada; así cuando la semilla es de tamaño pareja, sembraban en promedio 2 tubérculos por sitio, mientras que cuando el tamaño es riche, el número de tubérculos oscilaba entre 2 y 3 por sitio. Para la siembra se realizaba previa desinfección de la semilla, que es una práctica habitual por parte de los productores.

Por lo tanto, los resultados obtenidos en la investigación evidenciaron que los productores mezclaban tamaños y calidades de semilla de la papa diploide, lo cual incide en el comportamiento agronómico, las características de resistencia, la adaptabilidad, el rendimiento, la calidad de tubérculos, la rentabilidad de los cultivos y, por ende, los costos de producción. Adicionalmente, se pierden opciones de incursionar y competir en nuevos mercados y se retarda el desarrollo de procesos agroindustriales debido a la falta de un producto homogéneo.

En consecuencia, los volúmenes de semilla sembrados por hectárea varían de acuerdo con el tamaño elegido por el productor. Por lo tanto, el análisis determinó que cuando se usa semilla pareja se requieren en promedio 0,72 t/ha, mientras que la mezcla de tamaños de semilla requiere entre 0,9 y 1 t/ha.

Acceso a la Tierra. La Figura 1.4 muestra que la modalidad predominante de tenencia de la tierra era el arrendamiento, indistintamente de las zonas productoras identificadas. El otro tipo de tenencia fue la propiedad según las respuestas obtenidas para el 43% de las personas entrevistadas. Con menor frecuencia (7%) se encontró la tenencia en sociedad o llamada compañía para explotar la tierra. Lo anterior significó que los productores acudían a una diversidad de combinaciones de tenencia de la tierra para establecer los cultivos de la papa diploide puesto que, el 50% de los cultivadores eran arrendatarios netos, el 13% propietarios netos y el 7% cultivaban en sociedad. El restante 30% de los productores, indicaron tener cultivos en lotes con más de una forma de

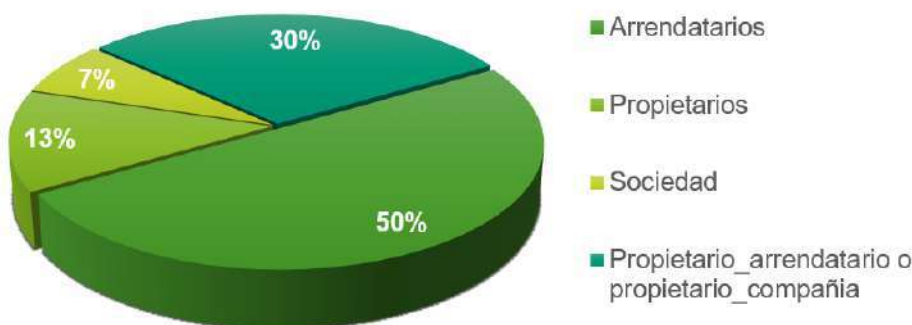


tenencia, como propiedad-arriendo y propiedad-sociedad; en un caso el productor manifestó tener cultivos en las tres modalidades propiedad-arriendo-sociedad.

Los productores tenían cultivos en diferentes fincas, es decir, el cultivador de papa diploide ocupaba en promedio dos fincas. Esta situación es importante considerar durante los procesos de capacitación y transferencia de tecnología, en especial en lo relacionado con la sostenibilidad ambiental, pues es conocido que el productor hace un manejo diferencial del sistema de cultivo de acuerdo con la modalidad de tenencia existente. Así, cuando los terrenos donde se cultiva son propios, el productor es más cuidadoso en el manejo del cultivo y de los recursos ambientales pues usa menos maquinaria pesada a diferencia de cuando el cultivo se establece en terrenos arrendados.

Figura 1.4

Acceso a la tierra para la producción de papa diploide en el Departamento de Cundinamarca



Nota. Resultado de la encuesta a los productores en los años 2011 y 2012 (Apéndice A).

Prácticas Culturales y de Manejo del Cultivo. Los productores en los municipios objeto de estudio, manifestaron realizar la preparación del terreno, la siembra, la fertilización, la deshierba, los controles sanitarios, el aporque y la cosecha como actividades durante el ciclo de producción de la papa diploide. En general, los productores están en capacidad de entender y asimilar conceptos,



debido a que las prácticas y hábitos productivos están basados en la cultura del manejo más sostenible del sistema productivo de la papa, lo cual se ha promovido en Colombia desde 1995 entre los productores (Federación Colombiana de Productores de Papa [Fedepapa] y Ministerio de Ambiente, Vivienda, y Desarrollo Territorial,³ 2004).

Preparación del Suelo. Esta actividad en los cultivos de papa diploide se realiza con medios mecánicos, cuando el suelo cuenta con pastos. Normalmente inicia con la aplicación de herbicidas, a base de glifosato, más el manejo del tractor con máquina agrícola de labranza y el arado. El 22% de los encuestados mencionó utilizar únicamente rotocultivador,⁴ mientras que el 33% empleaban rotocultivador y arado en la preparación del suelo. El 45% restante afirmó utilizar además de los anteriores instrumentos, otras máquinas como el cincel y el rastrillo. Aunque el instrumento que nunca falta en la preparación del suelo es el rotocultivador o rotovalor.

Los productores manifestaron usar la maquinaria para la preparación del terreno porque facilitaba su trabajo en las condiciones del suelo que lo requerían y, además, sostuvieron que obtienen eficiencia en términos de costos y de tiempo. Pero de todos modos esta preparación mecanizada se ha convertido en una tradición.

Distancias de Siembra. La distancia promedio de siembra registrada durante la investigación estaba delimitada por surcos y plantas. Entre surcos era de 1 m y entre plantas de 30 cm, arrojando una densidad de siembra de 33.300 plantas/ha aproximadamente. Además, se encontró menor densidad de siembra en el Municipio de Subachoque y mayor densidad en el Municipio de Sibaté. En la Tabla 1.4 se presentan las distancias y las densidades de siembra para las zonas productoras participantes en la investigación.

³ Actualmente esta institución se conoce como Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

⁴ El rotocultivador es un sistema de engranajes que trabaja en conjunto con el tractor para la preparación del suelo. Incluye enganche, eje rotor, transmisión por piñones, cuchillas, entre otros elementos mecánicos.



Tabla 1.4
Distancia y densidad de siembra en cultivos de papa diploide para el año 2008

Municipio	Distancia entre		Densidad de siembra
	Plantas (cm)	Surcos (m)	No. plantas/ha
El Rosal	26	1,0	38.462
Granada	30	1,0	33.333
Sibaté	27	0,9	41.152
Subachoque	35	0,9	31.746
Total	30	1,0	33.333

Nota. Abaunza et al. (2012).

Fertilización. Corresponde a la aplicación de abonos químicos u orgánicos en el suelo, a fin de obtener mejor productividad y calidad de la cosecha. De acuerdo con la investigación, el 61% de los productores realizaron el análisis de suelos para determinar la fertilización apropiada al cultivo a partir del conocimiento de las necesidades de nutrientes de los suelos y su capacidad de suministrar elementos nutritivos al cultivo. También manifestaron conocer que esta práctica les permitía hacer un mejor uso del fertilizante y así reducir costos de fertilización. De igual manera, se estableció que el 90% de quienes realizaban análisis de suelo sabían interpretar sus resultados y manifestaron conocer el tipo de suelo donde cultivaban. Esto confirmó que los productores conocían su oficio y tenían amplia experiencia en la actividad. Por otra parte, las personas que dijeron no realizar análisis de suelos argumentaron no hacerlo por el alto costo de este servicio.

Adicionalmente, los productores reportaron la utilización de dos tipos de fertilizante en el cultivo: el químico y el orgánico. El fertilizante químico fue usado por la totalidad de los productores entrevistados, mientras que solo el 40% de los productores usaban abonos orgánicos, desconociendo que el abono orgánico puede alterar la calidad de los tubérculos cosechados. Así mismo, se reportó que la totalidad de la fertilización se realizaba al momento de la siembra, mientras que el reabono era una práctica menos frecuente. Para la siembra, se utilizaba un promedio de 0,8 t/ha de fertilizante químico y en los casos de aplicación de gallinaza se utilizaba entre 0,5 y 1 t/ha.



Control Sanitario. La principal enfermedad que afectaba el cultivo de la papa era la gota (*Phytophthora infestans* (Mont) De Bary), la cual los agricultores utilizaban prácticas preventivas con productos a base de mancozeb. Normalmente realizaban de 10 a 15 aplicaciones durante el ciclo de cultivo de acuerdo con las condiciones climáticas. En cuanto al insecto plaga de mayor problema, la polilla guatemalteca (*Tecia solanivora*), se controlaba químicamente a base de permetrina, más prácticas de manejo de aporques altos y de aplicación de riego.

Los productores manifestaron realizar entre tres y cuatro controles químicos (fumigaciones) durante todo el ciclo del cultivo para el control de todos los insectos plaga. Cabe resaltar que los productores del Municipio de Subachoque reportaron realizar cuatro controles, mientras que en los Municipios de El Rosal y Granada el número de aplicaciones eran de tres. El 26% de los agricultores reconocieron usar productos biológicos para el control sanitario. El 61% de los productores manifestaron realizar el control químico pese a haber recibido capacitaciones prácticas de manejo integrado del cultivo; el 56% de los entrevistados dijeron conocer algunas prácticas de conservación del suelo; y el 55% conocían el tema del manejo del cultivo con labranza mínima.

Los resultados de la investigación permitieron conocer que el control químico, correspondía a un manejo tradicional más que a una respuesta de una recomendación técnica cualificada o a un manejo justificado por el nivel de afectación de la plaga o de la enfermedad. Por otra parte, el productor asoció la rotación de cultivos con el control sanitario, pues el 84% de los encuestados comentaron cultivar arveja (con menor frecuencia maíz, zanahoria y papa *S. tuberosum* subsp. *andigena*), para luego volver a cultivar papa diploide.

El uso de productos agroquímicos en la producción y el manejo del cultivo de papa diploide repercute en la oferta del tubérculo en mercados internacionales, donde exigen un manejo de Buenas Prácticas Agrícolas o BPA. De igual modo, las normas y reglamentos de inocuidad alimentaria están relacionados con buenas prácticas de conservación y la aplicación del enfoque



del Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (APPCC o HACCP por sus siglas en inglés), tanto biológicos, químicos como físicos en los procesos de producción (High Level Panel of Experts [HLPE], 2014). Lo anterior, sugiere la necesidad de hacer mayor énfasis en las actividades de transferencia de tecnología sobre la aplicación de BPA e implementar manejos alternativos del cultivo para disminuir la dependencia de productos tóxicos de origen químico.

Cosecha. Esta actividad es importante pues se debe considerar cuando y como cosechar de manera que se afecte lo menos posible la vida poscosecha del producto. En las encuestas realizadas a los productores (Apéndice A), ellos mencionaron que las cosechas se lograron entre los 3,5 a 4 meses después de siembra, y comprendían las actividades simultáneas de sacar los tubérculos y seleccionarlos. La selección consistía en la separación de los tubérculos que presentaban malformaciones o daños físicos causados por plagas o herramientas al momento de la cosecha. Por su parte la clasificación se realizaba conforme a tres tamaños: grande, mediana y pequeña (ICA, 2015).

Durante las entrevistas realizadas a los productores informaron que en las cosechas se empleaba un promedio de 23 jornales/ha para recolectar una producción promedio de 16,5 t/ha. La distribución de esta producción se hacía de la siguiente manera: 77% se comercializaba en el mercado nacional, 14% se vendía en el mercado local, 3% se destinaba al autoconsumo y 6% restante eran pérdidas.

Para proteger la cosecha de la deshidratación y mantener su calidad, sólo el 13% de los productores encuestados tenían bodegas de acopio apropiadas. En general, los productores preparaban espacios de sus casas para el almacenamiento temporal cuando no se podía transportar el mismo día de la cosecha, como es el caso del 39% de ellos que tenían la casa en el lugar del cultivo, mientras que el porcentaje restante (48%) preparaban ramadas (cobertizos contruidos con ramas), pero por su alta perecibilidad, los tubérculos eran almacenados por poco tiempo para su protección mientras se trasportaban al lugar de venta.



Uso de Registros. La implementación de registros por parte del productor es una actividad importante para la toma de decisiones y buen manejo del cultivo tanto a nivel administrativo, agronómico y para la comercialización. El manejo de registros cobra mayor importancia, cuando se trata de un producto con posibilidades de incursionar en mercados especializados, debido a que se constituyen en fuentes para la verificación de cumplimiento de requisitos de manejo del cultivo. Además, son el soporte de las trayectorias llevadas a cabo en una actividad para documentarla o para demostrar que se está implementando cierto manejo en el cultivo. También, son pruebas con las que el productor se protege ante los clientes con los que comercializa su producto y ante los proveedores de insumos.

En general, el uso de registros es una actividad que se entiende por parte de los productores como anotaciones no sistemáticas y eventuales, las cuales regularmente se llevan en cuadernos o libretas de uso personal y no corresponde al registro de datos sistemáticos en formatos debidamente estructurados. Cuando se indagó por el uso de algún tipo de anotación relacionado con el manejo de agronómico o presupuestal del cultivo, el 74% de los productores contestó afirmativamente. Pero cuando se preguntó sobre el uso de anotaciones presupuestales y de manejo del cultivo, el 58% manifestó llevar este tipo de control. Por último, el 16% dijo llevar anotaciones de una u otra actividad, como registros fotográficos en medios virtuales o digitales.

Manejo Ambiental. El 84% de los productores entrevistados declaró no creer que el cultivo de papa diploide genera consecuencias nocivas para el medio ambiente, porque consideraban que hacían un buen manejo de empaques y residuos del proceso productivo. Algunos productores implementaron recomendaciones de BPA y reportaron que cultivaban de manera limpia, rotaban cultivos, hacían uso adecuado de agroquímicos y cuidaban las rondas de quebradas o sus espacios.

Los productores menores de 40 años mencionaron estar capacitados en temas que contribuyen a la conservación ambiental como: manejo integrado del



cultivo, labranza mínima, prácticas de conservación de suelos, complementación de la fertilización con el uso de abonos orgánicos y uso general de productos biológicos como alternativa a los productos químicos, entre otros. Sin embargo, el manejo de agroquímicos es alto, entre seis y diez aplicaciones durante el período vegetativo del cultivo.

Elementos del Entorno Competitivo de las Zonas Productoras

La identificación de zonas agroecológicas óptimas para el establecimiento de cultivos de papa diploide, permite obtener cultivares con mayor eficiencia productiva por unidad de área, favoreciendo mayores ingresos por el producto cosechado.

Distancia al Mercado Local. La cadena de comercialización de papa en Colombia está estructurada con el acopiador rural, el transportador, el centro mayorista de origen, la plaza local o regional, la central mayorista o central de abastos y el sector minorista o detallista. El mercado mayorista es el principal eslabón de la estructura debido a que concentra los mayores volúmenes comercializados de papa en Colombia (MADR, 2019).

La distancia a centros de consumo es una fortaleza de las zonas productoras, debido a las bondades que brinda la infraestructura vial existente que repercute en el proceso productivo, pues se involucran los costos de producción, de transporte y de los canales de comercialización. Para el año 2013, el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) reportó que el Departamento de Cundinamarca tenía 89,5% de red vial pavimentada y 10,5% sin pavimentar, facilitando la comunicación terrestre entre municipios (DANE, 2014), lo cual es muy favorable para los productores que intervienen en el mercado local.

Las veredas que pertenecen a las zonas de los Municipios de El Rosal, Subachoque, Granada y Sibaté, presentan buena cobertura vial y aceptables condiciones de las vías que permite la movilidad de la producción hacia su destino final. Por lo regular, se encuentran vías pavimentadas y accesos carreteables descubiertos a las fincas. Además, la zona óptima del Municipio de El Rosal se



encuentra a menos de 20 km del centro de consumo local y entre 20 a 50 km al principal mercado nacional de Corabastos en Bogotá. El 77% de los productores de esta zona se encuentran a una distancia entre 20 a 50 km, siendo una zona con moderadas restricciones, pero cercana a Bogotá; y el porcentaje restante se encuentra a distancias por fuera del rango mencionado.

Densidad Vial. Mide la situación del desarrollo en infraestructuras y/o la accesibilidad de un territorio. La densidad vial se cuantifica como la relación de kilómetros lineales de vía por área del municipio. En este sentido, el Municipio de Zipacón es el que cuenta con mayor densidad vial, mientras que el Municipio de Une es el de menor densidad vial (Tabla 1.5), con un promedio de densidad vial de 0,375 km/km², entre los municipios productores de papa diploide del Departamento de Cundinamarca.

Tabla 1.5

Densidad vial de los municipios productores de papa diploide

Municipio	Densidad vial (km/km ²)	Longitud (km)
El Rosal	0,4	31,75
Granada	0,3	16,42
Pasca	0,3	84,28
Sibaté	0,4	50,36
Subachoque	0,4	88,82
Ubaque	0,4	48,77
Une	0,1	29,08
Zipacón	0,7	35,86

Nota. Infraestructura de datos espaciales regional [IDER] (2022).

En relación con este componente, el departamento tiene ventajas muy favorables de desarrollo económico, debido a la infraestructura vial en óptimas condiciones, y a la cercanía de la urbe más importante del país como lo es Bogotá, Distrito Capital, donde se ubica la principal Central de Abastos de Colombia y el Aeropuerto Internacional El Dorado. Ello permite facilitar negociaciones, canales de comercialización, venta y distribución del tubérculo no solo para el centro del país, sino para todas las regiones que lo demandan.



Así mismos, la cercanía a Bogotá de los Municipios de El Rosal, Granada, Subachoque y Sibaté, junto con una cobertura vial en buenas condiciones, hace de estos municipios una oportunidad para facilitar procesos de exportación.

Organización de Productores. Para los municipios participantes en la investigación se identificaron las siguientes asociaciones con productores de papa diploide: Municipio de El Rosal (El Rosal SAT), Municipio de Granada (Asoagra), Municipio de Sibaté (Criolla Oro), Municipio de Subachoque (Asocriolla) (Cerón et al., 2013).

El 92% de los productores encuestados pertenecían a alguna de las organizaciones mencionadas y se vincularon permanentemente a la investigación, condición que permitió obtener resultados favorables para el sistema productivo a partir de las actividades ejecutadas participativamente. Además, estos productores eran canales de comunicación con los demás agricultores o socios de las asociaciones para la recolección de información y para socializaciones de los avances de la investigación.

Zonas Potenciales para el Cultivo

La zonificación, caracterización y análisis de las áreas productoras es el mecanismo para conocer la distribución espacial de un sistema de producción, más la determinación y la cuantificación de las características de los componentes que conforman su estructura, para entender las interacciones que definen su funcionamiento (FAO, 1997; Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA], 2016).

En la Tabla 1.6 se detalla los requerimientos edafoclimáticos para el cultivo de papa diploide que, de acuerdo con la mayor coincidencia entre los factores intrínsecos de la planta con una amplia variedad de factores físicos como la precipitación y el comportamiento de variables ambientales, como: radiación solar y temperatura, de igual manera, hay variables físicas como la altura, el drenaje y la pendiente (UPRA, 2016), inciden en la sostenibilidad ambiental del cultivo y en su productividad.



Tabla 1.6*Requerimientos edafoclimáticos para el cultivo de papa diploide*

Nombres variables	Unidades	Factor diagnóstico			
		Muy Apta (A1)	Moderadamente Apta (A2)	Marginal Apta (A3)	No Apta (N)
1. Altitud	msnm	2.300 – 2.800	2.800 – 3.000 1.800 – 2.300	3.000 – 3.200	>3.200 <1.800
2. Brillo solar	h/d	4 - 5	3 – 4	2 – 3	< 2
3. Temperatura del ambiente	°C	8 – 12	12 – 16	16 – 18	<8 >18
4. Precipitación	mm/año	700 – 1.000	1.000 – 1.500	1.500 – 2.000	<700 >2.000
5. Clase de drenaje del suelo	Clase	Bien drenado Moderadamente bien drenado	Imperfectamente drenado	Excesivamente drenado Moderadamente excesivo Pobremente drenado	Muy pobremente drenado
6. Textura	Clase	Franco arcillosos (FAr) [†]	Franco – arcilloso – arenosos y Arcillosos limosos	Arenoso / Arcilloso	Arenosos
7. Pendiente	%	0 – 12	12 – 25	25 – 50	> 50
8. Profundidad efectiva del suelo	cm	> 100	50 - 100	25 - 50	< 25

[†] Suelo ideal para la siembra de papa diploide que presenta la siguiente composición: arena entre 20 y 45%, limo entre 15 a 52% y arcilla entre 27 y 40.

Nota. FAO (2008); Navas et al., (2010); Pérez y Riaño (2001); Zapata et al., (2006).

Los requerimientos o factores de diagnóstico de la Tabla 1.6 y planteados por la FAO (1976), consisten en valorar los niveles de cercanía a los requerimientos ambientales y agrológicos del cultivo para el establecimiento y la producción de los tubérculos, así:

- Suelos con mejores condiciones, sin limitaciones en el uso sostenido o no afectan la productividad ni aumentan los costos, por lo tanto, todos los factores de requerimientos para las mejores condiciones coinciden con dichas condiciones edafoclimáticas en el departamento.
- Suelo con condiciones moderadas, con limitaciones no tan graves, pero con menos beneficios o riesgos de degradación en la sostenibilidad del suelo, se considera relevante la condición de textura.
- Suelo con condiciones marginales, presenta limitaciones graves en el uso sostenido y se privilegia el uso por razones distintas a lo económico.



- Suelo no apto, con limitaciones físicas graves que son insuperables a largo plazo. Pueden ser tierras para conservación y no se pueden explotar. También, pueden ser suelos con características que dificultan su manejo reduciendo la productividad y aumentando los riesgos de degradación o de costos.

Las variables edafoclimáticas presentan correlación directa con la calidad de los tubérculos, traducida en variables fisicoquímicas de importancia para la industria, como los contenidos de: materia seca, almidón y azúcares reductores, más la gravedad específica; e igualmente se asocia con las características de cada variedad de papa diploide reflejadas en la morfología de los tubérculos, en las características agronómicas y en las formas de uso tanto para procesamiento como para consumo en fresco.

Entre algunos estudios se ha encontrado la correlación mencionada, como Vázquez et al. (2016) quienes reportaron diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) de la interacción entre ambiente por genotipo para variables físicas y químicas. Díaz (2016) mostró como en las variedades Criolla Galeras y Criolla Latina frente al momento y duración del estrés hídrico, el cultivo y el rendimiento del tubérculo depende del estrés presentado durante el período de crecimiento, así como el clima y las condiciones del suelo; además, reportó que se disminuyó el rendimiento de las plantas en un 50% después de 13 días de déficit hídrico y a los 19 días en la etapa de tuberización se redujo el peso de tubérculos en 93% en Criolla Galeras y 96% en Criolla Latina. Adicionó Díaz (2016) que el número de tubérculos por planta, las tasas de crecimiento, la materia seca del tubérculo y el índice de cosecha disminuyeron a altas temperaturas diurnas y nocturnas, debido a los efectos directos de la temperatura sobre la fotosíntesis, es decir, se presentó una correlación entre variables edafoclimáticas con la calidad de las papas diploides estudiadas.

Por tanto, es importante definir los requerimientos edafoclimáticos para la papa diploide para satisfacer la demanda de la agroindustria que ha designado valores de las características de los tubérculos para su procesamiento (Tabla 1.7).



Tabla 1.7

Características de tubérculos para la agroindustria

Variable	Valor
Contenido de azúcares reductores	Menor a 0,035% del peso del tubérculo
Materia seca	Mayor al 20%
Gravedad específica	Mayor a 1,08
Contenido de almidón	Mayor a 13% del peso del tubérculo

Nota. Vázquez et al., (2016)

Zonificación de las Tierras, para Identificar Escenarios Óptimos

A nivel nacional, regional y local el país ha estado en zonificación de las tierras, para identificar escenarios óptimos del uso de la tierra con el fin de identificar el uso más sostenible (UPRA, 2016), prevenir la degradación, a través de la asignación y uso apropiado, minimizar el riesgo de degradación ambiental y mantener la viabilidad económica de la actividad productiva. Además, crea escenarios para el desarrollo rural y para las recomendaciones de tecnologías que mejoren las posibilidades de competir en un mercado globalizado. Al margen de las condiciones óptimas para el cultivo de la papa diploide, diferentes razones históricas, sociales y políticas ha generado que ocurra que varios de los cultivos se localicen en zonas con condiciones marginales.

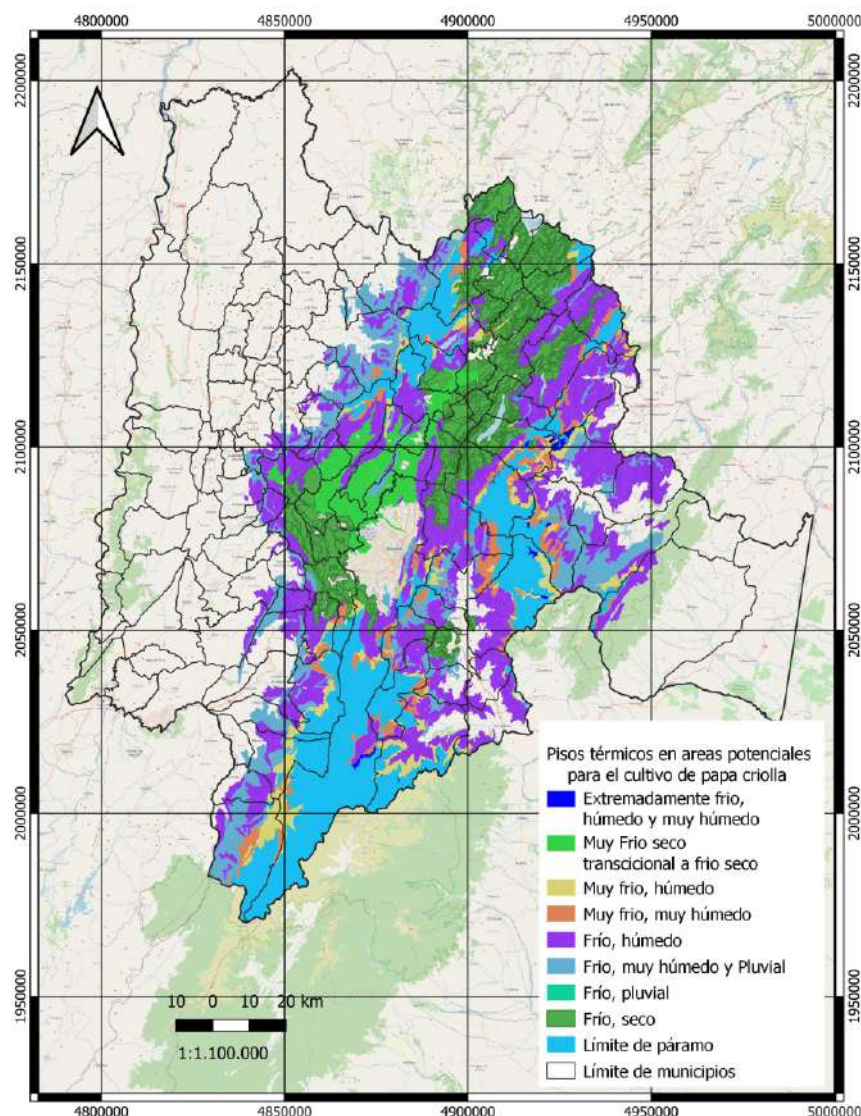
Zonas Moderadas por Pisos Térmicos. Cundinamarca posee un área de 2.421.000 ha, incluyendo el Distrito Capital (IGAC, 2000), de las cuales en clima frío corresponden a 1.191.474 ha. Por delimitación del páramo, las zonas potenciales por piso térmico para el cultivo de papa en el Departamento de Cundinamarca disminuyen a 943.209 ha (Registro Único Nacional de Áreas Protegidas (RUNAP, 2022a). A pesar de la delimitación del páramo, aún se continua la siembra del cultivo de papa en los páramos de Sumapaz, Guerrero y Chingaza (RUNAP, 2022b), cuyas zonas no se recomiendan para dicha actividad.

En la Figura 1.5 se observa la distribución de las áreas potenciales para la papa diploide según los pisos térmicos.



Figura 1.5

Distribución de pisos térmicos en zonas con aptitud biofísica para el cultivo de la papa diploide en el Departamento de Cundinamarca



Nota. Resultados de investigación sobre base cartográfica IGAC (2000).

Teniendo en cuenta otros aspectos diferentes al piso térmico, como la textura, pendiente o grado de inclinación y el drenaje, todavía hay suficiente oferta ambiental para el cultivo en el departamento. En los mapas de la Figura 1.6 se observan las áreas con potenciales para el cultivo de la papa diploide de acuerdo con la temperatura y la precipitación promedio multianual.



En cuanto a la temperatura, la mayor zona productora tenía valores moderadamente aptos entre 12 a 16 °C y la de menor proporción de área productora de los tubérculos, se ubicó en un rango marginalmente apto entre 16 a 18 °C.

De otro lado, existen eventos climáticos en las zonas identificadas que generan preocupación a los productores de papa diploide como, las heladas y las sequías. La ocurrencia de las heladas se concentra en las regiones ubicadas por encima de los 2.500 msnm, por lo que toda el área con mejores condiciones para este cultivo tiene riesgo por dicho fenómeno cuyas características de cielos despejados o escasa nubosidad y con humedad del aire muy baja, que favorecen la ocurrencia de una temperatura igual o menor a 0°C a un nivel de 2 m sobre el nivel del suelo, lo cual genera pérdida de calor del suelo que es cedida a la atmósfera durante la noche. Teniendo en cuenta las áreas ubicadas por encima de esta elevación y su extensión territorial, en la Figura 1.7 se zonifica la mayor o menor susceptibilidad a dicho fenómeno de las heladas.

Otros riesgos climáticos como las granizadas y los periodos prolongados de lluvias se presentan con menor frecuencia y generan menor grado preocupación al productor.

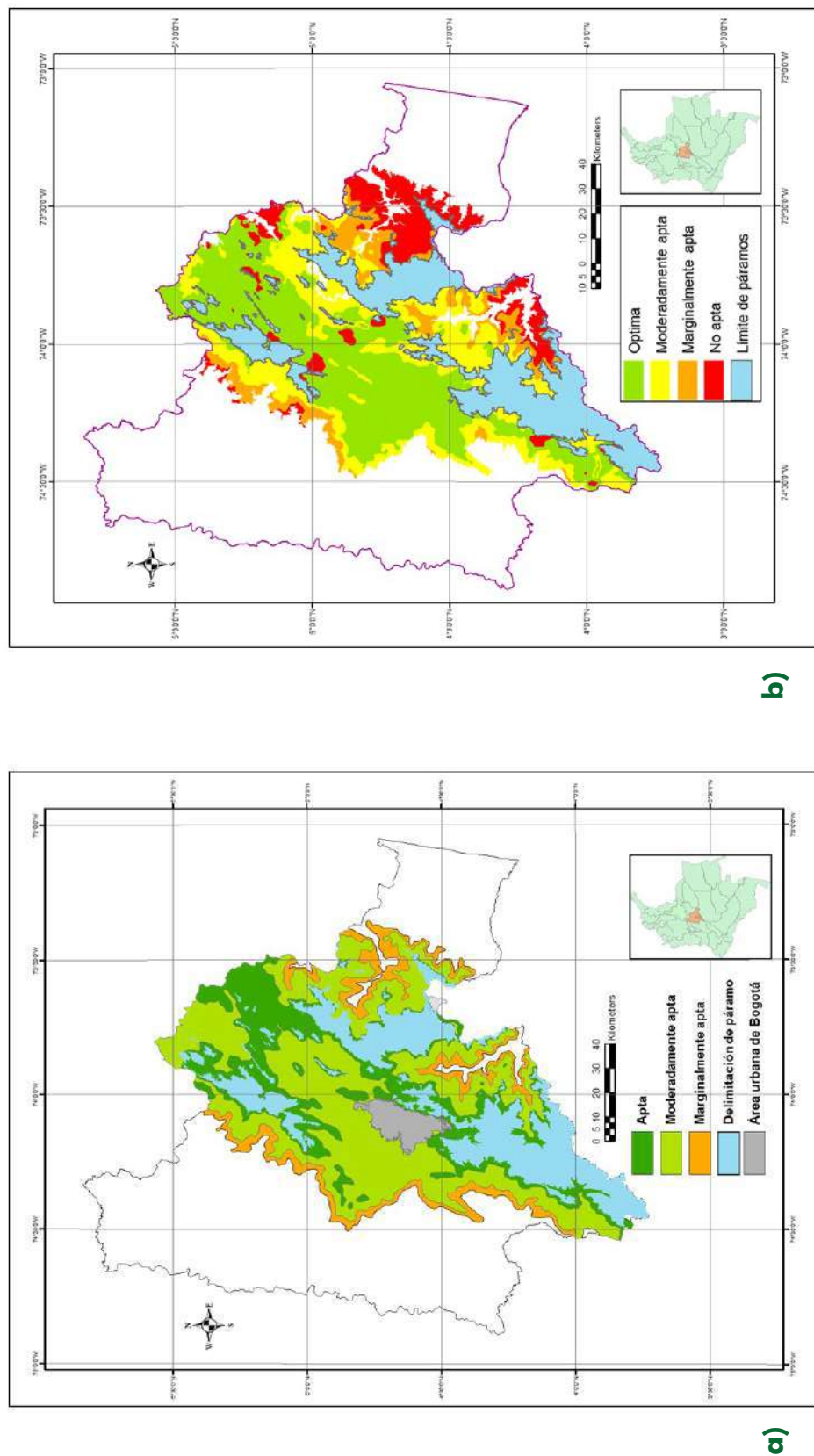
Factores Edáficos

Textura de los Suelos. La textura es una categoría importante en la identificación de la aptitud de los suelos para el cultivo de papa, por ser susceptible a condiciones de mal drenaje del suelo. Los suelos demasiado arcillosos (pesados) o demasiado arenosos (livianos) no se consideran idóneos para el cultivo. Las texturas franco y franco arcilloso son ideales por ostentar suelos con buen drenaje favoreciendo el desarrollo de la planta y de los tubérculos, además, disminuye la presencia de enfermedades y daños por exceso de humedad (Núñez y Rodríguez, 2020).



Figura 1.6

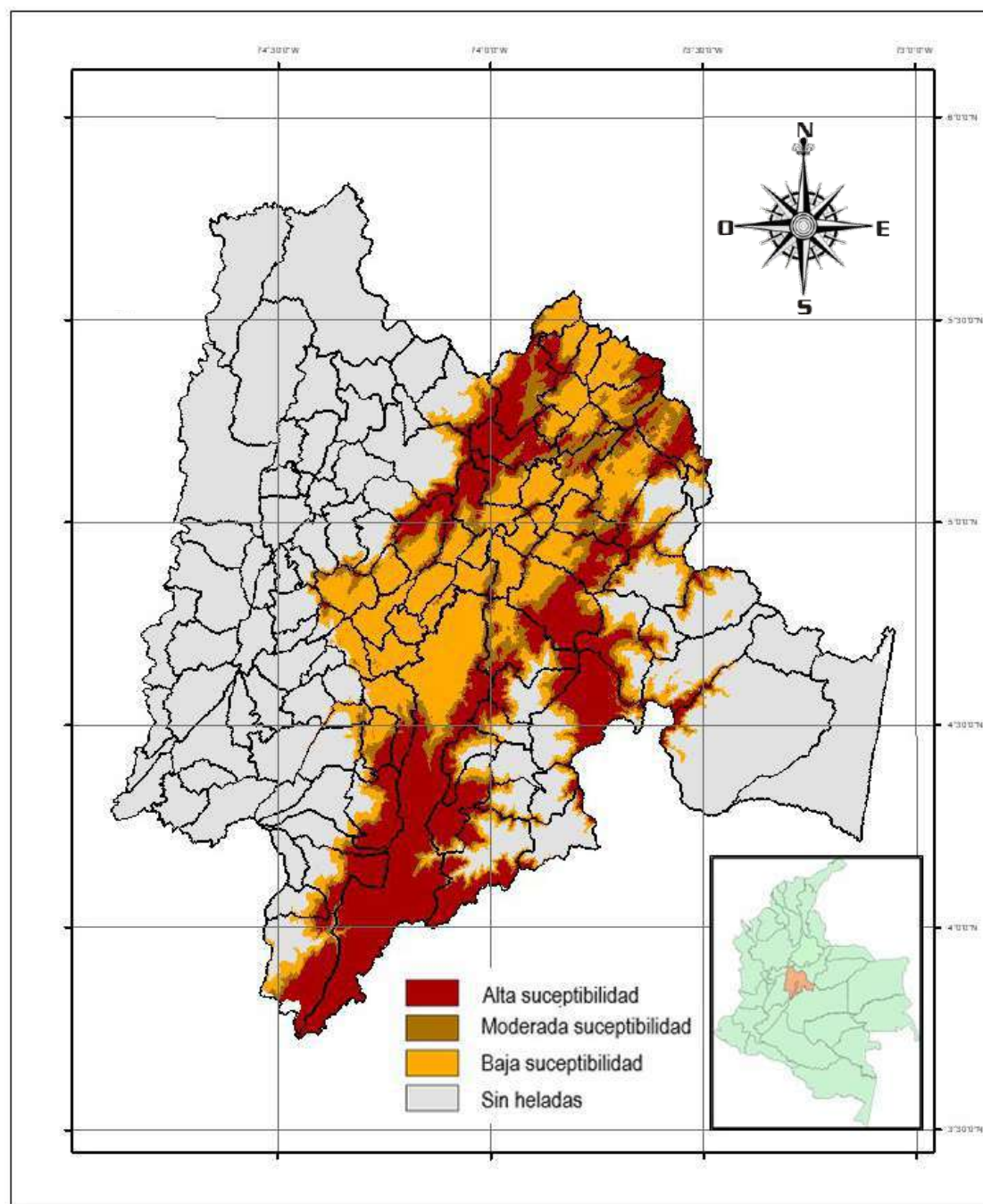
Áreas potenciales para el cultivo de la papa diploide en el Departamento de Cundinamarca



Nota. Mapas: a) con temperatura promedio multianual (°C) y b) con precipitación promedio multianual (mm/año). Resultados de investigación sobre base cartográfica IGAC (2000).

Figura 1.7

Distribución de zonas susceptibles a heladas para el cultivo de la papa diploide en el Departamento de Cundinamarca



Nota. Resultados de investigación sobre base cartográfica IGAC (2000).



Otras zonas con texturas medianamente idóneas requieren manejos de drenaje si son suelos muy pesados o, por el contrario, puede ocurrir estrés hídrico al no almacenar agua (capacidad de campo) el tiempo suficiente entre lluvias o riegos. Por otra parte, el sistema radicular de la planta de papa es fibroso y alcanza una longitud cercana a los 60 cm demandando suelos en buenas condiciones para su desarrollo (texturas francas).

Zonas Moderadas por Textura. Esta zona presenta las mejores condiciones para el cultivo de papa diploide. En el estudio se encontraron 165 ha que se sitúan en cinco veredas de cuatro municipios a saber: El Rosal, Facatativá, Granada y Une (Tabla 1.8).

Tabla 1.8

Municipios y veredas con restricciones moderadas por textura para el cultivo de papa diploide

Municipio	Veredas	ha
El Rosal	Cruz Verde	17
Facatativá	Tierra Morada	17
Granada	Sabaneta	34
Une	La Mesa y Hoya de Pastores	97

Nota. Áreas estimadas sobre cartografía digital IGAC (2000).

En esta condición de la zona, se tienen cotas entre 2.300 y 2.800 msnm, con suelos bien drenados a moderadamente bien drenados, con profundidades mayores a 100 cm, pendientes entre 0 y 12%, temperaturas entre los 8 a 12 °C, con precipitaciones entre 700 y 1.000 mm/año. La textura del suelo es un factor importante para la producción de este tubérculo, donde los suelos franco-arcillosos son óptimos.

En la Tabla 1.9 y en la Figura 1.8 se observan las texturas de suelo en zonas óptimas con sus áreas y la distribución de estas áreas en el Departamento de Cundinamarca para el cultivo de papa diploide.



Tabla 1.9

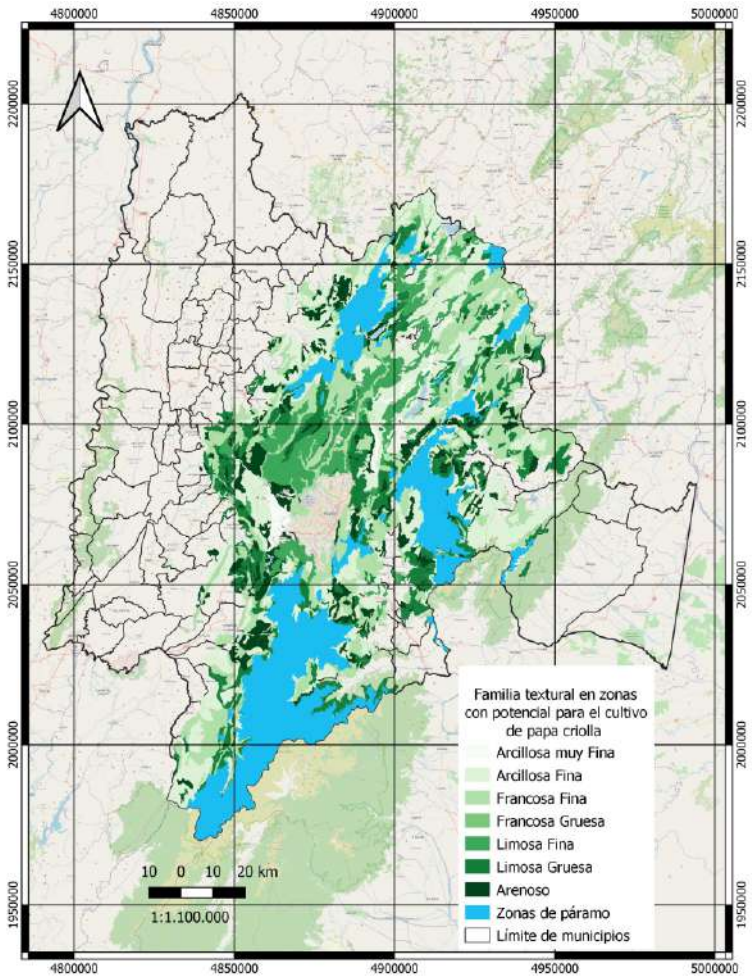
Textura del suelo en zonas moderadas para el cultivo de la papa diploide

Texturas	Áreas (ha)	Texturas	Áreas (ha)
Arcilloso	173.867	Franco arcilloso	269.177
Arcillo arenoso	2.126	Franco arcillo arenoso	52.142
Arcillo limoso	28.567	Franco arcillo limoso	172.255
Franco	41.302	Franco limoso	1.627
Franco arenoso	178.750	Limoso arcilloso	23.397
Total		943.209	

Nota. Áreas determinadas a partir IGAC (2000).

Figura 1.8

Distribución de texturas del suelo en zonas con aptitud biofísica para el cultivo de la papa diploide en el Departamento de Cundinamarca



Nota. Resultados de investigación sobre base cartográfica IGAC (2000).



Pendiente. El gradiente de inclinación del suelo se considera una característica importante ambientalmente, teniendo en cuenta que es un cultivo transitorio que se siembra bajo un manejo convencional, sin otras coberturas, por lo que hace susceptible al suelo y favorece los procesos de erosión. No obstante, es necesario relacionar el drenaje con tierras cuyo gradiente de pendiente está por debajo de 7% puesto que se presentan limitantes por: profundidad efectiva si el nivel freático es alto, deficientes drenados, pérdida de riego e inaccesibilidad al suelo por su costo alto.

Al momento de sembrar el cultivo de papa es importante tener en cuenta el sentido de la pendiente, para trazar los surcos en forma opuesta a la misma. Cuando existan suelos de alta capacidad de campo, se recomienda trazar los surcos teniendo en cuenta el contorno del terreno para evitar que se presenten encharcamientos que favorezcan una mayor humedad relativa. En el caso de presentarse acumulación de humedad, se debe realizar drenajes en estos puntos en muy corto plazo (Núñez y Rodríguez, 2020).

En la Tabla 1.10 y en la Figura 1.9 se muestran las pendientes de los suelos en zonas potenciales y su distribución en el Departamento de Cundinamarca para el cultivo de la papa diploide.

Tabla 1.10
Pendiente del suelo en zonas moderadamente óptimas para el cultivo de la papa diploide

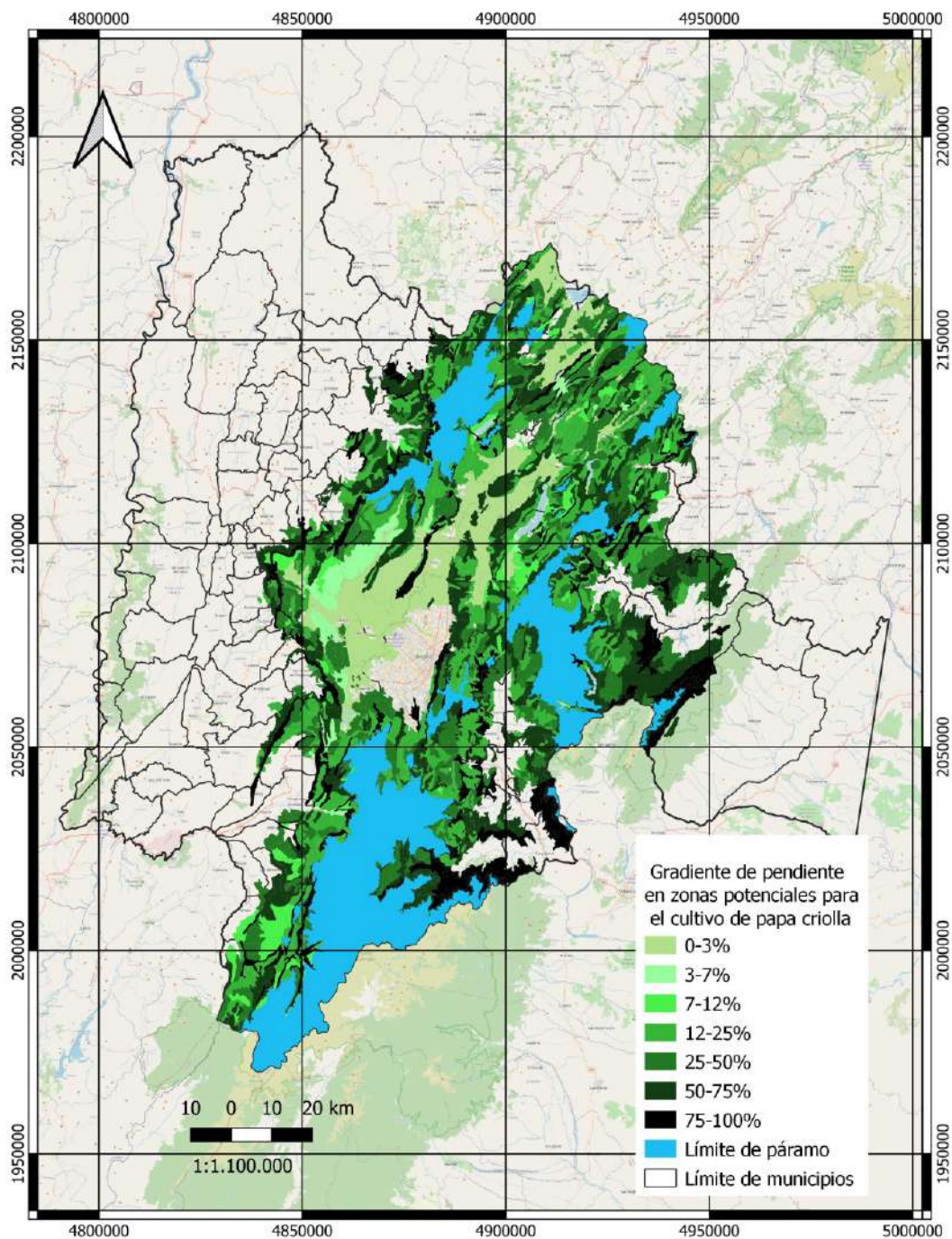
Gradiente de pendiente	Área (ha)
0 a 3	116.034
3 a 7	21.759
7 a 12	36.229
12 a 25	221.065
25 a 50	193.400
50 a 75	224.671
>75	130.050

Nota. Áreas determinadas a partir de IGAC (2000).



Figura 1.9

Distribución de pendientes del suelo en zonas con aptitud biofísica para el cultivo de la papa diploide en el Departamento de Cundinamarca



Nota. Resultados de investigación sobre base cartográfica IGAC (2000).



Drenaje. El cultivo de la papa requiere suelos bien aireados, porosos y con buen drenaje (Doorenbos y Kassam, 1979) para evitar exceso de agua que genera pudrición de la semilla. Si el riego es alto, pero no excesivo, se afecta el desarrollo de las raíces y se generan clorosis foliar y madurez temprana. Los suelos con buen drenaje favorecen el desarrollo de los tubérculos y evitar enfermedades o daños causados por exceso de humedad (Núñez y Rodríguez, 2020). De manera general se recomienda seleccionar lotes con buen drenaje natural (Tabla 1.11). En la Figura 1.10 se muestra la distribución de las áreas por la categoría de drenaje para las zonas potenciales en el cultivo de papa diploide.

Tabla 1.11
Condiciones de drenaje natural del suelo en zonas moderadamente óptimas para el cultivo de la papa diploide en el Departamento de Cundinamarca

Drenaje natural	Áreas (ha)
Bien drenado	631.641
Excesivamente drenado	118.792
Imperfectamente drenado	15.830
Moderadamente drenado	157.099
Muy pobremente drenado	15.198
Pobremente drenado	4.647
Total	943.209

Nota. Áreas determinadas a partir de IGAC (2000).

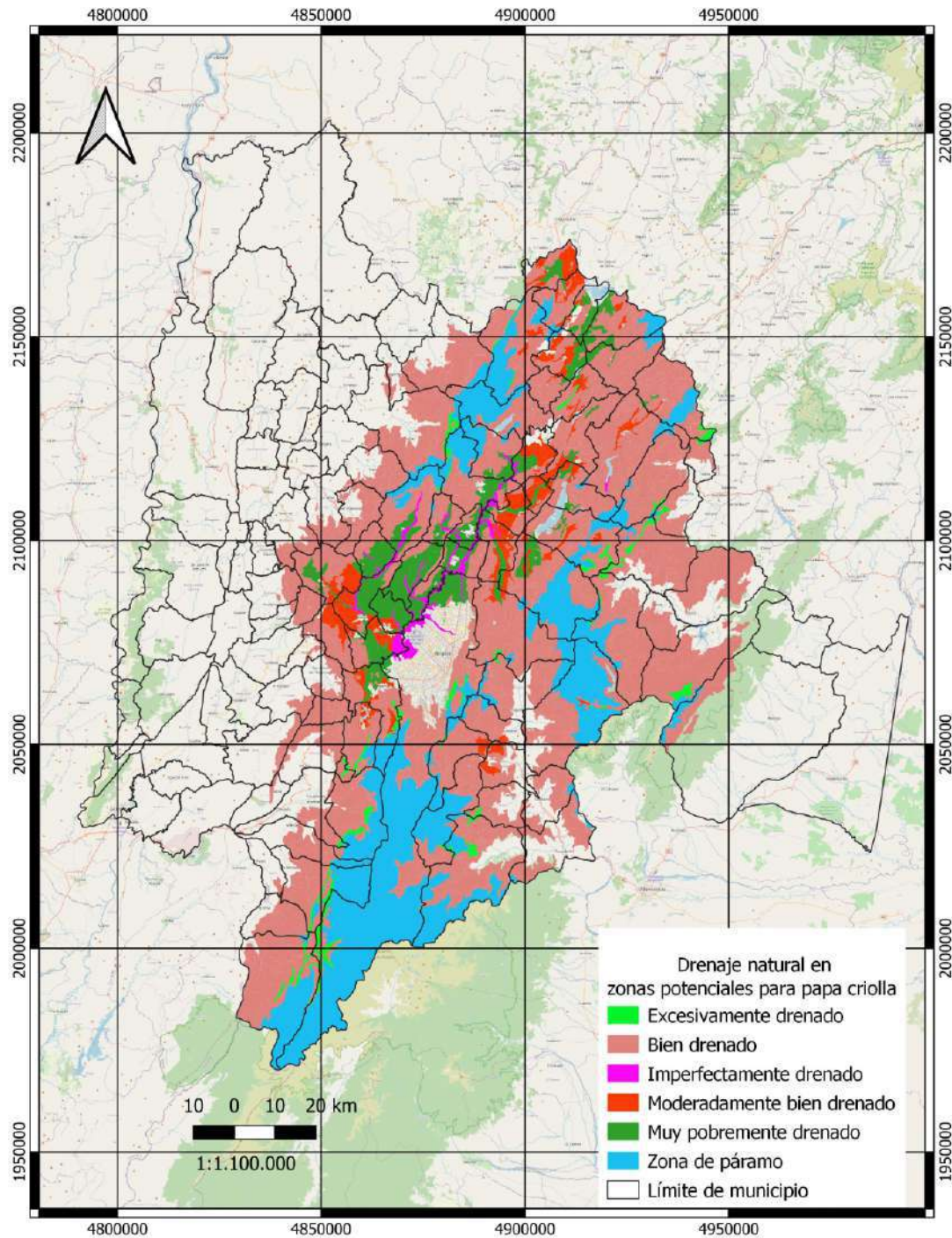
Hay aproximadamente 18.000 ha para el cultivo de papa diploide que cumplen condiciones deseadas por textura, pendiente y drenaje del suelo en el Departamento de Cundinamarca, al combinar dichas categorías y excluyendo las zonas de páramo.

Limitante en Profundidad. La distribución de las áreas según la categoría de profundidad del suelo para la papa diploide, en las zonas potenciales del Departamento de Cundinamarca, se encuentran en la Figura 1.11.



Figura 1.10

Distribución de drenajes del suelo en zonas con aptitud biofísica para el cultivo de la papa diploide en el Departamento de Cundinamarca

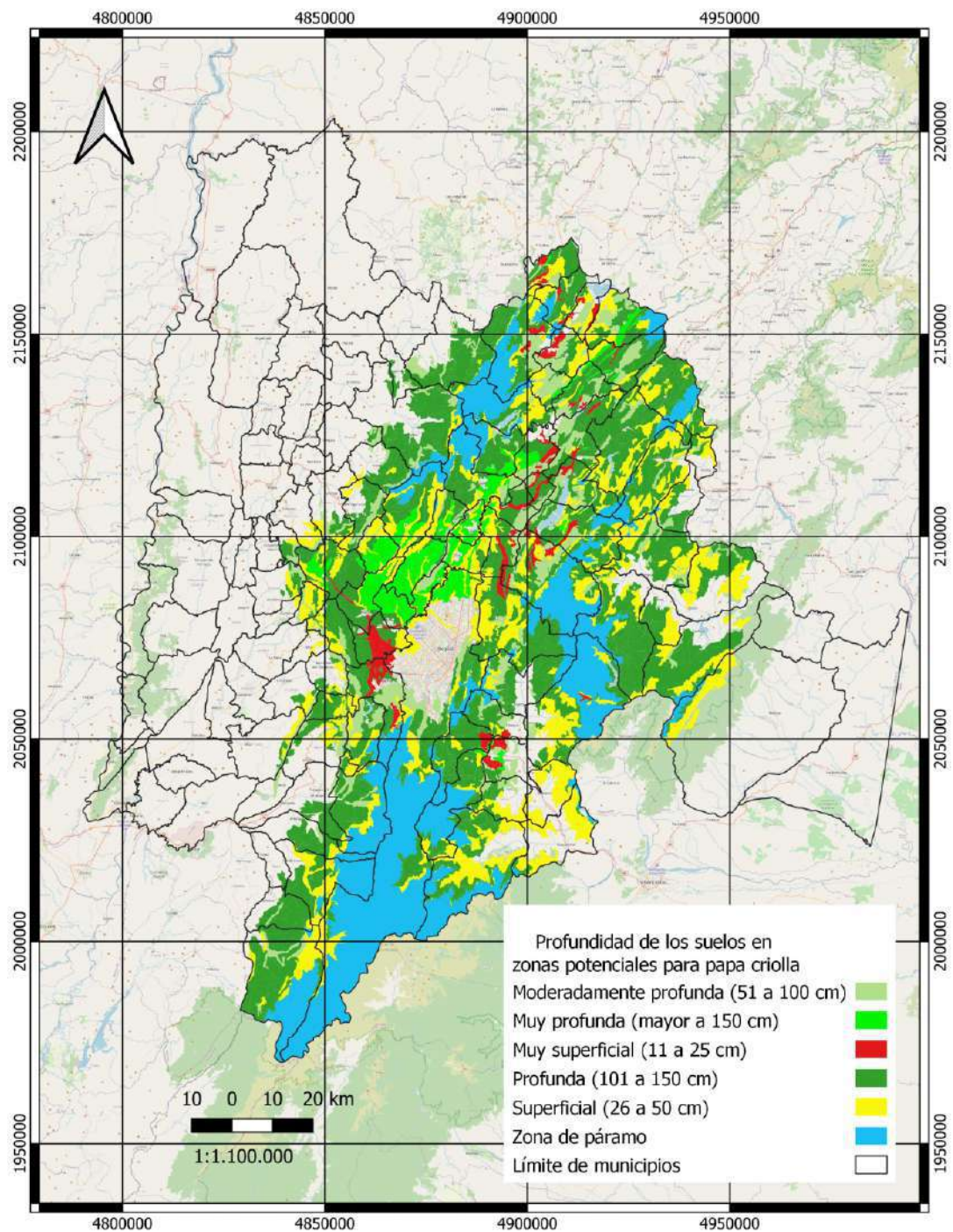


Nota. Resultados de investigación sobre base cartográfica IGAC (2000).



Figura 1.11

Distribución de profundidades del suelo en zonas con aptitud biofísica para el cultivo de la papa diploide en el Departamento de Cundinamarca



Nota. Resultados de investigación sobre base cartográfica IGAC (2000).



Resultados de Aptitud para el Cultivo de la Papa Diploide

La determinación de las mejores condiciones de uso para la papa diploide, se tomó en cuenta variables edafoclimáticas como la temperatura, precipitación, textura, pendiente y drenaje. Las variables de tipo químico como acidez del suelo, pH, nutrientes y materia orgánica, no se evaluaron en razón que son los más posibles de corregir. A partir de la investigación, no se encontraron zonas sin restricciones edafoclimáticas bajo la metodología aplicada con los requerimientos enfrentados. En la Figura 1.12, se presenta un ejemplo del terreno utilizado para la producción de papa diploide en el Municipio de Subachoque y, en la Figura 1.13, se observa el mapa de las áreas con aptitud biofísica para el cultivo de este tubérculo en el Departamento de Cundinamarca.

Figura 1.12

Zonas con condiciones moderadas para la producción de papa diploide en el Municipio de Subachoque

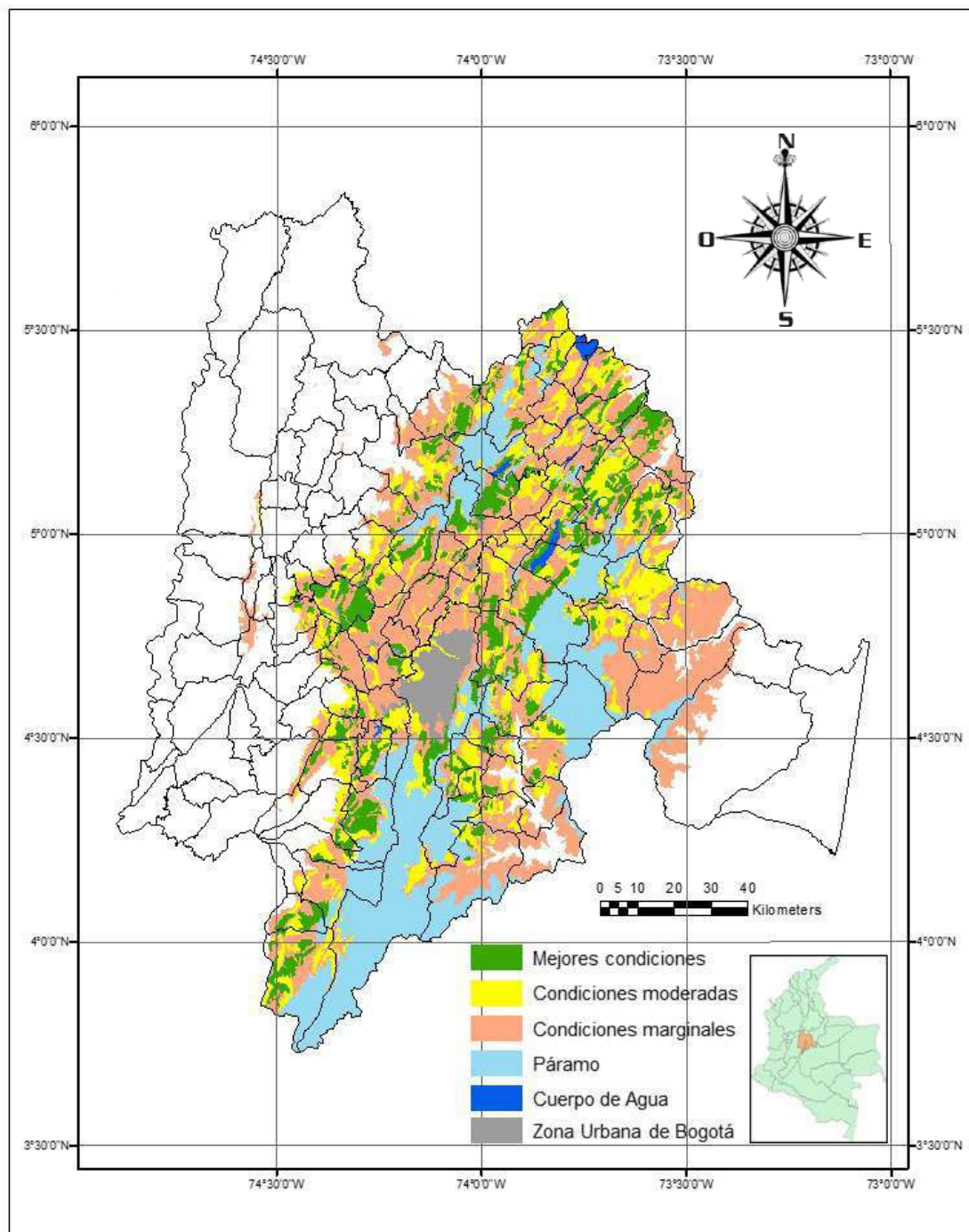


Nota. Foto tomada por María del Socorro Cerón e Isabel Cusgüen.



Figura 1.13

Áreas con aptitud biofísica para el cultivo de papa diploide en el Departamento de Cundinamarca



Nota. Resultados de investigación sobre base cartográfica IGAC (2000).



Zonas con Mejores Condiciones

Con base a estos parámetros se determinó que los suelos con mejores condiciones corresponden a zonas en los municipios de El Rosal, Granada, Une y Facatativá. La variable que influyó para que no se considere plenamente con aptitud para el cultivo es la textura, pues varios autores consideran a la textura un factor determinante para considerar las áreas plenamente aptas para el cultivo de la papa diploide.

Estas tierras presentan las mejores condiciones en las cualidades evaluadas, o ligeras restricciones que no afectan el rendimiento del cultivo. Se ubican entre los 2.300 y 2.800 msnm, con suelos bien drenados a moderadamente bien drenados, profundidades mayores a 100 cm, pendientes inferiores a 12% y temperaturas entre los 8 a 12 °C y las precipitaciones oscilan entre 700 y 1.000 mm/año (Tabla 1.12).

Tabla 1.12

Municipios y veredas del Departamento de Cundinamarca con las mejores condiciones para producción de papa diploide

Zonas	Municipio	Veredas
Mejores condiciones para el cultivo de la papa diploide	El Rosal	Cruz Verde
	Facatativá	Tierra Morada
	Granada	Sabaneta
	Une	La Mesa y Hoya de pastores

Nota. Abaunza et al. (2012).

A partir de la investigación, no se encontraron zonas sin restricciones edafoclimáticas bajo la metodología aplicada con los requerimientos enfrentados.

Zonas con Moderadas Restricciones. Estas zonas con buenas condiciones socioeconómicas para la producción y comercialización de papa diploide, se encontraron 2.733 ha distribuidas en 23 veredas en los Municipios de El Rosal, Granada, Pasca, Sibaté, Subachoque y Zipacón. Estas zonas están ubicadas entre 2.300 y 2.800 msnm, con suelos bien drenados a moderadamente bien drenados, con profundidades mayores a 100 cm, pendientes entre 12 a 25% siendo un poco superiores a las de la zona óptima, temperaturas entre 8 a 12 °C. Las restricciones corresponden a precipitaciones



por encima de los 1.000 mm/año, pendientes superiores a 12% aunque no superan el 25%, texturas pesadas y profundidades de los suelos menores a 50 cm (Tabla 1.13).

Tabla 1.13
Áreas con moderadas restricciones para cultivo de papa diploide en el Departamento de Cundinamarca

Municipio	Vereda	Áreas (ha)
Granada	Santafé	249,7
	Carrizal	73,6
	La Playita	240,3
	Sabaneta	122,28
El Rosal	Cruz Verde	145,43
Pasca	Sabaneta	144,3
Sibaté	San Rafael	0,8
	El Peñón	799,8
	La Unión	72,85
	Chacua	106,75
	El Jazmín	21,69
	San Benito	50,91
	Delicias	104,59
	Casco Urbano	34,82
	Pie de Alto	10,36
	San José	2,11
Subachoque	Rincón Santo	545,0
	Cascajal	484,2
	Santa Rosa	332,1
	Canica Baja	446,2
	El Centro (Llanitos)	430,0
	Galdamez	23,3
Zipacón	Pueblo Viejo	71,7
Total		3.840,9

Nota. Abaunza et al. (2012).

En la Tabla 1.14 se presenta la información consolidada de todas las zonas estudiadas de los municipios y veredas del Departamento de Cundinamarca, con sus hectáreas (Apéndice B). No se anexan áreas con severas restricciones pues la oferta de aptitud en tierras con restricciones moderadas es suficiente para suplir demandas actuales y futuras de la papa diploide.

Tabla 1.14

Consolidado de zonas con moderadas restricciones para el cultivo de papa diploide en el Departamento de Cundinamarca

Descripción de zonas	Áreas (ha)
Zona con moderadas restricciones por textura	156
Moderadas restricciones con temperatura alta y textura	520
Moderadas restricciones con temperatura alta, profundidad y textura	600
Moderadas restricciones con temperatura alta, precipitación alta y textura	352
Moderadas restricciones con temperatura alta, precipitación alta, profundidad y textura	156
Moderadas restricciones con temperatura alta, precipitación alta, pendiente y textura	6.804
Moderadas restricciones con temperatura alta, pendiente y textura	8.519
Moderadas restricciones con temperatura alta	351
Moderadas restricciones con profundidad y textura	229
Moderadas restricciones con precipitación alta y textura	261
Moderadas restricciones con precipitación alta, pendiente y textura	1.696
Moderadas restricciones con pendiente y textura	5.983
Moderadas restricciones con precipitación alta, profundidad y textura	103

Nota. En el Apéndice B se encuentra esta información derivada en la investigación.

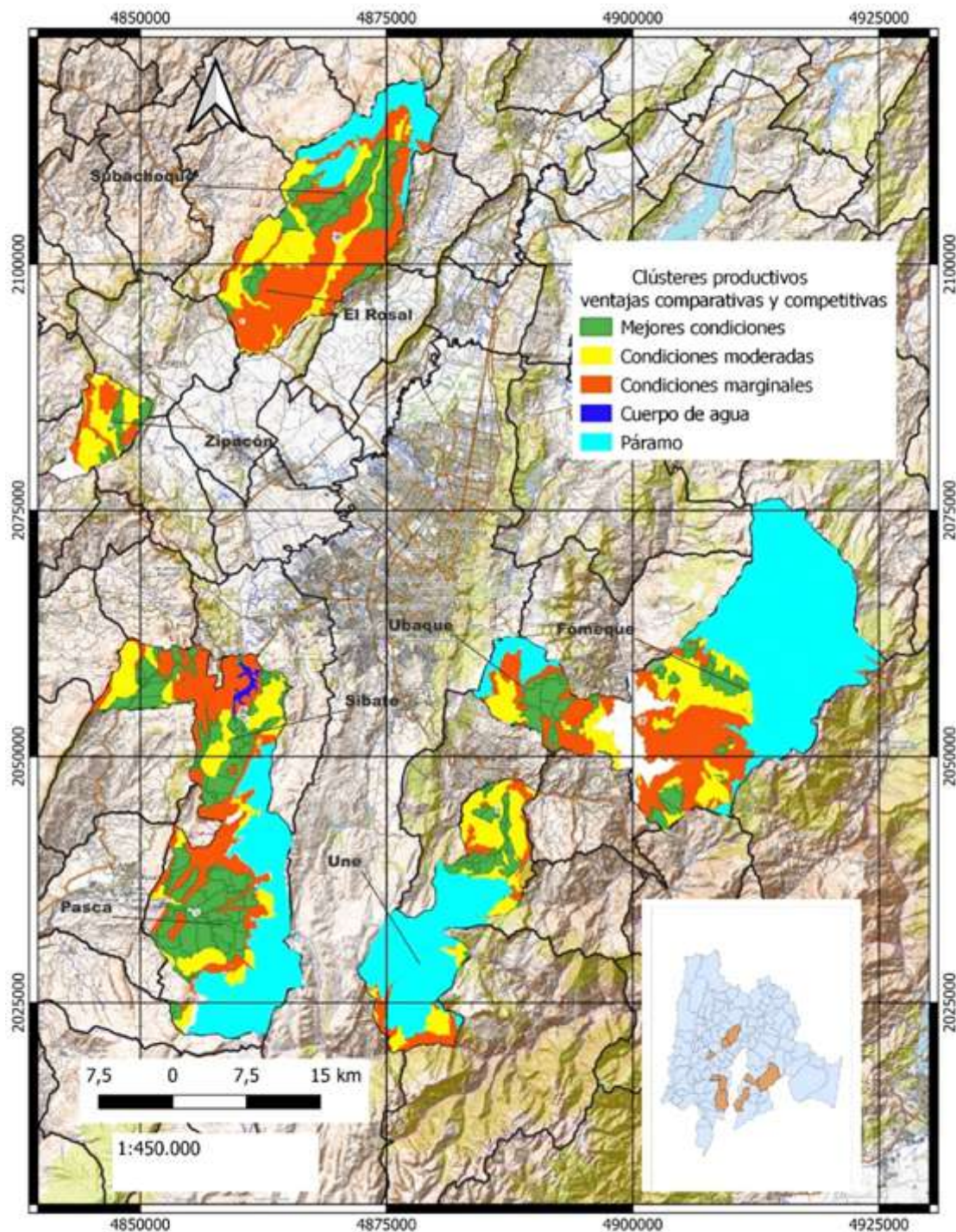
Entorno Competitivo de las Zonas Biofísicas

En la Figura 1.14 se presentan las ventajas comparativas que se obtuvieron al analizar el entorno competitivo de las zonas biofísicas. Entre estas ventajas, se consideran de mediana competitividad aquellas zonas productoras de papa diploide con medianas restricciones, limitantes de planeación de la producción y del manejo tecnológico del proceso productivo que ameritan un mejoramiento permanente.



Figura 1.14

Clústeres productivos, ventajas comparativas y competitivas en el Departamento de Cundinamarca



Nota. Abaunza et al. (2012).



En resumen, las zonas identificadas presentan una situación socioeconómica favorable por su cercanía al principal centro agroindustrial y de consumo del país, lo que facilita el acceso a más opciones de mercado; nichos especializados tanto a nivel nacional como internacional. Además, cuentan con una aceptable cobertura de servicios públicos y una malla vial en condiciones que permite la movilidad de la producción hacia su destino final. Disponen de aceptables servicios de apoyo a la producción por parte de la institucionalidad pública y privada. También existen organizaciones de productores emergentes y algunas en proceso de consolidación, lo que constituye una ventaja para el desarrollo empresarial de la actividad productiva (UPRA, 2016).

Conclusiones

Los aspectos de suelos y de clima fueron factores importantes de analizar antes de planear el establecimiento del cultivo de papa diploide, por lo que este tubérculo tiene condiciones específicas para su manejo, lo que conduce a la eficiencia en la producción, el rendimiento y la calidad del tubérculo. Por consiguiente, la identificación de las zonas de producción permitió visibilizar el sistema productivo y el área de producción en el Departamento de Cundinamarca, para realizar una planificación que canalice los esfuerzos técnicos y productivos de la especie. Además, la identificación de zonas potenciales accedió a la organización del sistema productivo en cuanto a la oferta ambiental, la competitividad de la región y la demanda del tubérculo; con disminución de costos de producción más la protección de las zonas de conservación.

Referencias

- Abaunza, C.A., Forero, C.A., García, G.O. y Carvajal, G.H. (2012). *Zonificación y organización de clúster empresariales para las cadenas de caña panelera, frutales y papa criolla en Cundinamarca*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Agronet. (2022a). *Reporte: área, producción y rendimiento nacional por cultivo. Cultivo de papa criolla 2009-2018*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>.



Agronet. (2022b). Reporte: Principales países de destino de las exportaciones del sector agroindustrial por productos seleccionados. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

<https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=22>

Cerón, M.S., Álvarez, C.P., Prieto, L., Hernández, M.A., Cusgüen, I., Pérez, M.A., Caicedo, M., Becerra, E. y Chalabi, N. (2013). Sembrando la semilla de competitividad sostenible en la cadena: papa criolla de Cundinamarca, Colombia. En P. Henríquez y H. Li Pun (Eds), *Innovaciones De Impacto: Lecciones De La Agricultura Familiar En América Latina y El Caribe* (pp.91 – 104). Banco Interamericano de Desarrollo (BID) e Instituto Interamericano de Cooperación (IICA). <http://bit.ly/37kw8Fo>

Corporación de Abastos de Bogotá S.A. [Corabastos]. (2020). *Históricos de precios*. Corabastos.

<https://precios.corabastosonline.co/#/tendencia/grupos>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE]. (2014). 4001 - *Infraestructura Vial. Documento Técnico*. DANE.

Díaz, P.A. (2016). *Evaluación de la tolerancia al estrés hídrico en genotipos de papa criolla (Solanum phureja Juz et Buk)*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia].

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/55602>

Food and Agriculture Organization [FAO]. (1976). *Esquema para la evaluación de tierras*. (Boletín número 32). FAO.

Food and Agriculture Organization [FAO]. (1983). *Directivas: Evaluación de Tierras para la Agricultura en Secano*. (Boletín de Suelos 52). FAO.

Food and Agriculture Organization [FAO]. (1997). *Zonificación agroecológica. Guía general*. (Boletín de Suelos 73). FAO.

Food and Agriculture Organization [FAO]. (2008). *La papa: Cultivo-Año internacional de la papa 2008*.

<http://www.fao.org/potato-2008/es/lapapa/cultivo.html>



- High Level Panel of Experts [HLPE]. (2014). *Las pérdidas y el desperdicio de alimentos en el contexto de sistemas alimentarios sostenibles*. (Informe del Grupo de alto nivel de expertos en seguridad alimentaria y nutrición del Comité de Seguridad Alimentaria Mundial [CSA]). Food and Agriculture Organization (FAO).
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2015). Resolución 003168. 7/09/2015. Reglamenta y controla la producción, importación y exportación de semillas producto del mejoramiento genético para la comercialización y siembra en el país, así como el registro de las unidades de evaluación agronómica y/o unidades de investigación en fitomejoramiento. ICA.
<https://www.ica.gov.co/getattachment/4e8c3698-8fcb-4e42-80e7-a6c7acde9bf8/2015R3168.aspx>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]. (2000). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Cundinamarca*. Subdirección de Agrología. IGAC.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2019). *Estrategia de ordenamiento de la producción, cadena productiva de la papa y su industria*. Viceministerio de asuntos agropecuarios, Dirección de cadenas agrícolas y forestales.
- Navas, G.E, Díaz, C.A., Tamayo A.J. y Zapata, J.L. (2010). *Manejo técnico del cultivo de papa criolla con fines industriales. Experiencia en el Departamento de Antioquia*. (Cartilla Divulgativa). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Ñústez, C.E. y Rodríguez, L.E. (2020). *Papa criolla (Solanum tuberosum Grupo Phureja): Manual de recomendaciones técnicas para su cultivo en el departamento de Cundinamarca*. Corredor Tecnológico Agroindustrial, CTA-2.
- Ospina, L. (2015). *Implicaciones del tratado de libre comercio entre Colombia y Estados Unidos en la industria colombiana de papa* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia].



- Pérez, Y. y Riaño, A. (2001). *Factibilidad económica y financiera de un cultivo de papa criolla (Solanum phureja Juz et Buk), con aplicaciones de NPK en el municipio de Cogua, Cundinamarca* [Tesis de pregrado, Corporación Universitaria de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA)].
- Porras, P.D. y Herrera C.A. (2015). *Modelo productivo de la papa criolla para los departamentos de Cundinamarca y Boyacá*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Registro Único Nacional de Áreas Protegidas [RUNAP]. (2022a). *Registro único de áreas protegidas*. Parques Nacionales Naturales de Colombia. <https://runap.parquesnacionales.gov.co/departamento/923>
- Registro Único Nacional de Áreas Protegidas [RUNAP]. (2022b). *Áreas protegidas asociadas*. Parques Nacionales Naturales de Colombia. <https://runap.parquesnacionales.gov.co/area-protegida/530>
- Ruiz, J.A., Medina G., González, I.J., Flores, H.E., Ramírez, G., Ortiz, C., Byerly, K.F. y Martínez, R.A. (2013). *Requerimientos agroecológicos de cultivos* (2.a ed, Libro Técnico 3). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias [INIFAP].
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA]. (2016). *Cultivo comercial de papa: identificación de zonas aptas en Colombia, a escala 1:100.000*. UPRA. <http://hdl.handle.net/11438/8630>
- United States International Trade Commission [USITC]. (2020). *Harmonized tariff schedule of the United States* (Rev. 18). USITC.
- Vázquez, M.G., Santiago, D., Rubio, O.A., Torres, C.M., Ayala, A.R. y Vargas, M.L.P. (2016). Efecto ambiental en características fisicoquímicas de papas de la Mesa Central de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(5), 1051-1064.
- Zapata, J.L., Navas, G.E., Tamayo, A.J. y Díaz, C.A. (2006). *Manejo Agronómico de la Papa Criolla para el procesamiento Industrial* (Boletín Técnico). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). <http://hdl.handle.net/20.500.12324/32759>



CAPITULO 2

Análisis del Riesgo por Cambio Climático en el Cultivo de Papa Diploide (*Solanum phureja* Juz. et Buk.) en Municipios Productores del Departamento de Cundinamarca

Carlos Alberto Abaunza González,^{1a} Diego Fernando Sánchez Vivas,^{1b}
María del Socorro Cerón Lasso,^{1b} Lena Carolina Echeverry Prieto²

Resumen

El cultivo de papa en Colombia se enfrenta a los efectos del cambio climático, varias instituciones de carácter público y privado a nivel nacional e internacional han efectuado numerosos estudios que evidencian como la agricultura en general es en un alto grado vulnerable a cambios en la temperatura y la precipitación, acentuados en la ocurrencia de fenómenos extremos de exceso y déficit hídrico. A partir de la identificación de los municipios de El Rosal, Subachoque, Granada y Sibaté (Departamento de Cundinamarca, Colombia) como zonas potenciales para el desarrollo del cultivo de papa diploide (*Solanum phureja* Juz. et Buk.) por la aptitud de sus suelos, por presentar un papel de importancia en la producción y la comercialización de este tubérculo en el centro del país, y dada la necesidad de conocer el riesgo por cambio climático, para aumentar la capacidad de mitigación de los efectos negativos y tomar medidas desde los diferentes actores de la cadena productiva, se analizó dicho riesgo utilizando información del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), y de aptitud de los suelos de la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). Se evidenció que los municipios estudiados tienen una alta capacidad adaptativa, sensibilidad media, baja y muy baja vulnerabilidad.

Palabras Clave: cambio climático, análisis del riesgo, agroecosistema, factores climáticos

^{1a} Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Nataima, Espinal, Tolima-Colombia.

^{1b} Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Tibaitatá, Mosquera, Cundinamarca-Colombia.

² Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá - Docente Investigadora invitada.



Abstract

Potato cultivation in Colombia faces the effects of climate change, several public and private institutions at national and international level have carried out numerous studies showing how agriculture in general is highly vulnerable to changes in temperature and precipitation, accentuated by the occurrence of extreme phenomena of water excess and deficit. Based on the identification of Municipios de El Rosal, Subachoque, Granada, and Sibaté (Departamento de Cundinamarca, Colombia) as potential zones for development of diploid potato (*Solanum phureja* Juz. et Buk.) cultivation due to aptitude of their soils, for presenting a role of importance in the production and marketing of this tuber in the center of the country, and given the need to know the risk due to climate change, in order to increase the capacity to mitigate negative effects and take measures from different actors in production chain, this risk was analyzed using information from Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) and, aptitude of soils from Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). It was evidenced that the municipalities studied have a high adaptive capacity, medium sensitivity, low and, very low vulnerability.

Keywords: climate change, risk analysis, agroecosystem, climatic factors

Introducción

La producción agropecuaria está condicionada por el clima y su comportamiento, la fertilidad del suelo, la disponibilidad de agua y la tecnología implementada. Distintos factores climáticos en combinación como la precipitación, la radiación solar y la temperatura determinan los rendimientos en cuanto permiten la expresión del máximo potencial productivo de la especie. Así, el sector agrícola es altamente vulnerable frente al cambio climático, donde se evidencian cambios en la temperatura y precipitación, y se presentan fenómenos climáticos extremos como inundaciones y sequías (Galindo et al., 2014; Jones et al., 1991).

El actual incremento de la temperatura por el cambio climático conlleva a la reducción acelerada de los glaciares en las altas montañas o a la identificación de eventos climáticos extremos. Entre estos últimos se han presentado ciertos



cambios en la adaptación al interior de los agroecosistemas, lo que involucra riesgos al disminuir la capacidad de adaptación en algunas especies, como las papas nativas (Gutiérrez, 2008).

Dados los diversos impactos negativos en el ámbito social, económico y ambiental generados por el cambio climático, se busca establecer medidas de gestión del riesgo y respuestas de adaptación, que reduzcan la vulnerabilidad de los sistemas de producción agropecuarios a los efectos de los fenómenos climáticos extremos que se presentan en algunas ocasiones con mayor severidad (Campos et al., 2012).

El cambio climático por el incremento de los gases efecto invernadero (principalmente dióxido de carbono - CO₂), afecta la agricultura. En Colombia el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) ha generado escenarios para el clima presente y futuro mediante las variables de precipitación y temperatura. Estos modelos han sido utilizados en diversos estudios para analizar proyecciones en diferentes sectores del país (Fernández, 2013).

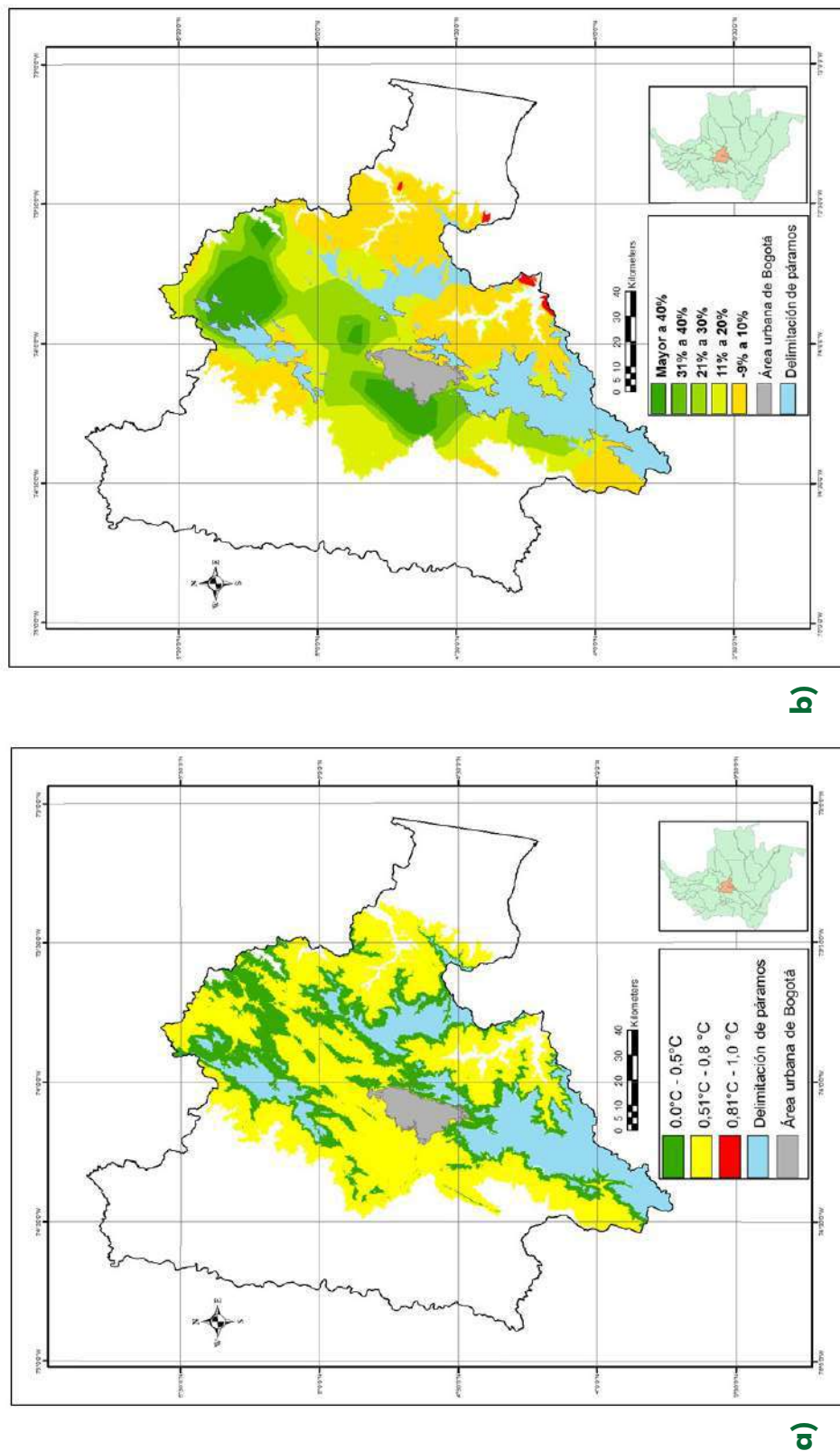
El IDEAM ha estudiado los escenarios del cambio climático para Colombia para un periodo de 89 años (2011-2100) y ha realizado diferentes análisis de las variables de precipitación y temperatura en tres periodos de tiempo específicos: 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100 (IDEAM et al., 2015). Con base en los resultados de los modelos más optimistas, en términos generales, se tiene que en promedio la proyección de la temperatura media en la zona de producción para la papa diploide aumentaría entre 0,51 a 1 °C, para el periodo 2011 a 2040.

En relación con la precipitación, la mayoría de las zonas productoras de este tubérculo, presentarían un incremento en la precipitación en el orden de 10 a 40%, para ese mismo período. En la Figura 2.1 se zonifica la proyección de acuerdo con los escenarios más optimistas en cuanto a precipitación y temperatura.



Figura 2.1

Proyecciones de temperatura y precipitación bajo escenarios de cambio climático para el periodo 2011 a 2040



Nota. a) Mapa con incremento de temperatura media anual y b) Mapa con proyección de precipitación anual.

Adicionalmente, se resalta la tendencia del aumento en las temperaturas y en las precipitaciones en el departamento de Cundinamarca, lo que conlleva a la modificación de las áreas cultivadas. Las proyecciones indican una modificación de las áreas aptas para el cultivo de la papa diploide, que hacen que muchas áreas a mayores alturas tomen aptitud para el cultivo, es decir en áreas de ecosistemas de paramos cuyo uso es la conservación de acuerdo con la delimitación normativa.

Vargas et al. (2020) estudiaron los cambios de las variables de temperatura del aire y precipitación en el Municipio de Subachoque y como afecta la productividad del cultivo de papa diploide. Para ello, diseñaron una alerta agroclimática temprana para la toma de decisiones en el manejo de este cultivo en la región bajo enfoque participativo y análisis estadístico climatológico.

Los análisis mostraron un aumento constante de la temperatura y la precipitación promedio mensual no es suficiente para cubrir el requerimiento de agua del cultivo. Por lo que el agricultor debe aplicar riego entre diciembre a febrero y entre julio a agosto. Además, los autores sugieren sembrar la papa diploide en marzo-abril y agosto-septiembre, cuando la precipitación y la temperatura son adecuadas para el cultivo.

De igual manera, se han desarrollado a nivel mundial numerosos estudios para caracterizar y evaluar los riesgos, efectos e impactos del cambio climático en la agricultura; por ejemplo, Aryal et al. (2020) indica que el impacto de los cambios en los patrones de temperatura y precipitación en la producción de cultivos empeoran la seguridad alimentaria en Sudáfrica; y que en varias partes de Asia el rendimiento de los cultivos se vio reducido entre un 2,5% y un 10% en la década de 2020 y se prevé una disminución de estos, estimada de 5–30 % en la década de 2050. Así mismo, sobre el efecto del calentamiento en el rendimiento de cultivos en la India, los autores describen una disminución del rendimiento en un 5%, 6–8% y 10–30% en cultivos como trigo, arroz y maíz, respectivamente. En el caso del Perú, se espera un efecto negativo en el futuro cercano 2071-2100 para el cultivo de papa y de quinua, que generara mayores demandas de agua y requerimiento de riego durante el ciclo productivo (Torres, 2016).



En Colombia la cadena de producción de la papa ha sido objeto de evaluación en materia de adaptación al cambio climático y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, por parte de actores públicos y privados, como el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), el Departamento Nacional de Planeación (DNP) y la Federación Colombiana de Productores de Papa (Fedepapa). A lo largo de la cadena analizaron el riesgo climático, la resiliencia, la capacidad adaptativa, las emisiones vinculadas y su potencial de reducción en la producción, transformación y distribución del tubérculo. Como resultado este análisis generó elementos para la concientización de productores y consumidores frente a un mercado que exige una productividad y consumo sostenibles e insta, además, se lleven cabo acciones conjuntas para recuperar la economía golpeada por la actual pandemia ante un clima cambiante (Vélez Betancourt, 2021).

También la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica ahora AGROSAVIA) y el Fondo de Adaptación, en el año 2015 realizaron el estudio: “Reducción del riesgo y adaptación al cambio climático”, para la caracterización de la variabilidad climática y la zonificación de la susceptibilidad territorial a los eventos climáticos extremos en el marco del Proyecto Modelos de Adaptación y Prevención Agroclimática (MAPA) (Rojas y Castelblanco, 2016).

El gobierno colombiano creó el Fondo Adaptación en el año 2012 con el fin de atender la construcción, reconstrucción, recuperación y reactivación económica y social en las zonas afectadas con criterios de mitigación y prevención del riesgo (Medina, 2012). Actualmente, el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) con la coordinación del DNP, el MADR y el MADS, junto con la participación del IDEAM y la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), preparan el país para enfrentar eventos climáticos extremos o para la transformación gradual del clima (MADR, 2021).

En este contexto, la aparición de fenómenos extremos asociados al cambio climático como el déficit o exceso hídrico, aumento o reducción de la temperatura inciden directamente y de forma negativa en los rendimientos y calidad del



tubérculo cosechado en el cultivo de papa (Sierra, 2019), de manera que los riesgos asociados a la calidad y rendimiento de la producción son determinantes en la sostenibilidad de pequeños productores, que en su mayoría son quienes cultivan esta papa diploide en medio de la diversidad de condiciones biofísicas, correlacionadas directamente con la producción y calidad del tubérculo.

De esta forma, y por la importancia del cultivo de papa diploide, por su área sembrada y por sus volúmenes de producción, el presente estudio tiene como objetivo, evaluar el riesgo agroclimático asociado al sistema productivo de papa diploide frente al cambio climático y sus efectos en el Departamento de Cundinamarca – Colombia.

Metodología

Área de Estudio

El estudio se desarrolló en las zonas potenciales de producción de papa diploide en los Municipios de: Granada ($4^{\circ}32'45,24''\text{N}$ y $74^{\circ}19'46,34''\text{O}$), Subachoque ($4^{\circ}52'35,71''\text{N}$ y $74^{\circ}11'05,86''\text{O}$), El Rosal ($4^{\circ}52'17,30''\text{N}$ y $74^{\circ}15'04,59''\text{O}$) y Sibaté ($4^{\circ}28'52,56''\text{N}$ y $74^{\circ}15'11,37''\text{O}$) del Departamento de Cundinamarca (Figura 2.2). Dichas zonas productivas de los municipios mencionados fueron identificadas y evaluadas en el capítulo 1. Para estos municipios se revisaron los aspectos climáticos relacionados con los factores de riesgo mediante una clasificación que discrimina la clase y grado de este en los territorios mencionados, teniendo en cuenta la aptitud de uso (Figura 2.3) de estos municipios y su importancia en la producción en el departamento.

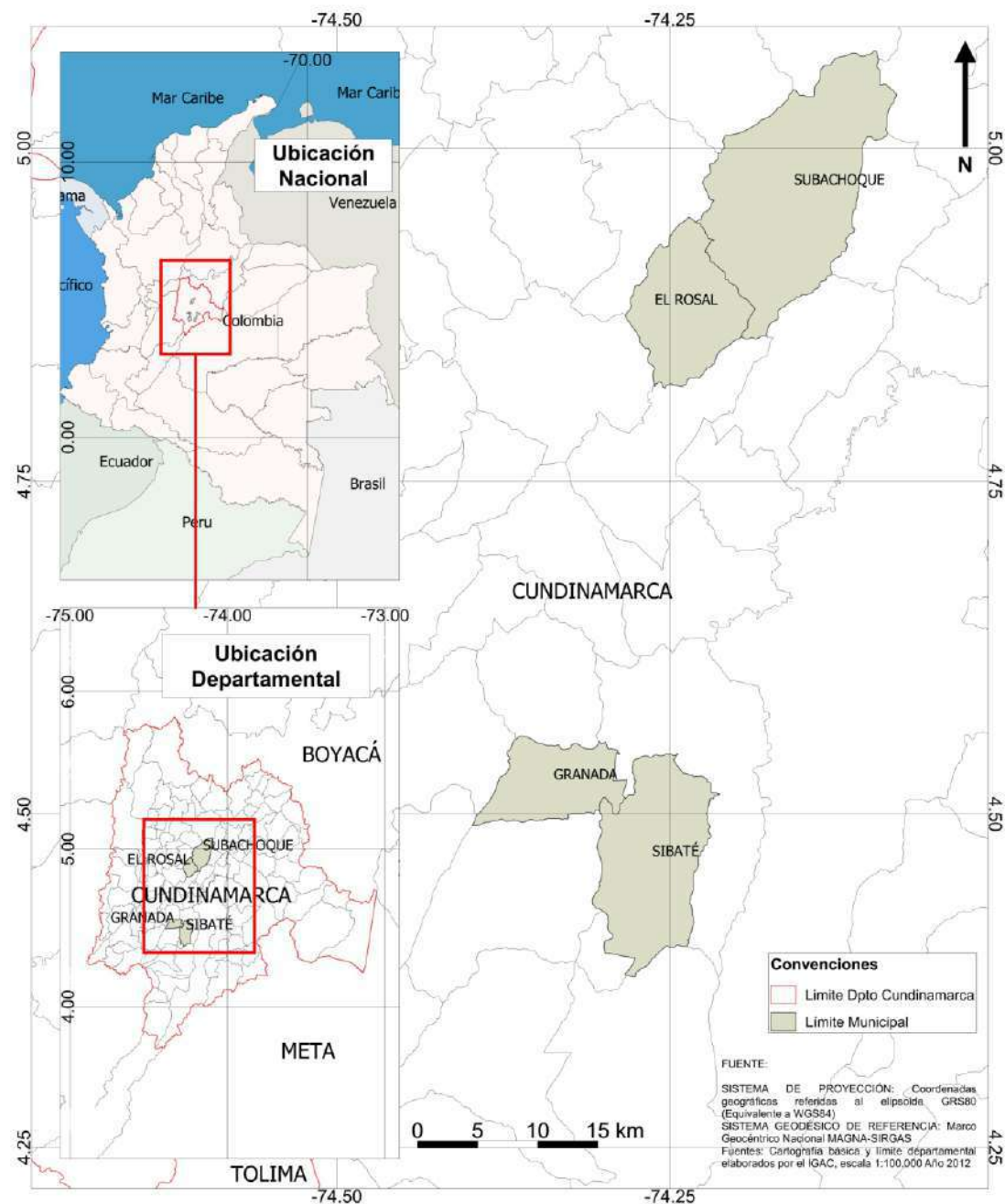
Análisis de Riesgo por Cambio Climático

De acuerdo con el IDEAM (2017b), el análisis de riesgo por cambio climático se define como la ocurrencia de un evento amenazante a este cambio, respecto de la situación de un territorio para responder o verse afectado a los impactos potenciales. Para los municipios seleccionados se abordó el riesgo por cambio climático teniendo la amenaza y la vulnerabilidad como se presenta en la Figura 2.4, calificando la vulnerabilidad en función de la sensibilidad y de la capacidad adaptativa del sistema productivo (Congreso de la República de Colombia, 2018; IDEAM, 2017a, 2017b).



Figura 2.2

Mapa de ubicación de municipios seleccionados en este estudio de productores de papa diploide en el Departamento de Cundinamarca

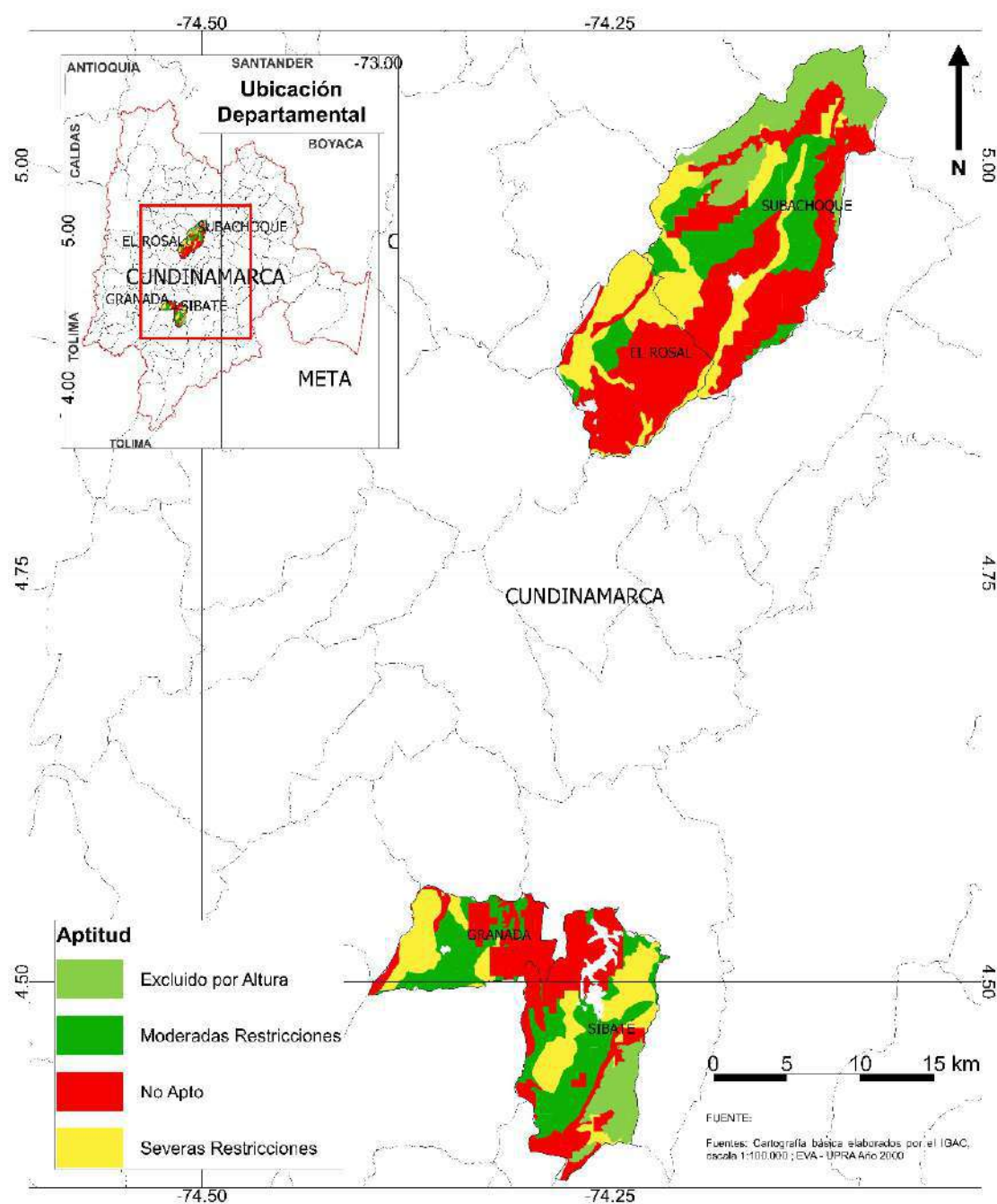


Nota. Elaboración con Base Cartográfica IGAC (2000).



Figura 2.3

Zonas de aptitud de uso para producción de papa diploide en los municipios seleccionados en este estudio

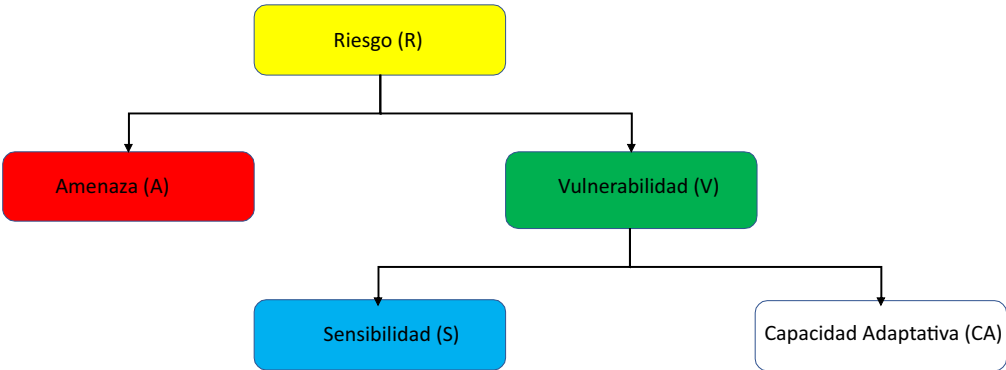


Nota. Elaboración con Base Cartográfica IGAC (2000).



Figura 2.4

Factores concurrentes a la generación del riesgo en el caso de eventos climáticos



Nota. Basado en IDEAM (2017a); Rojas y Castelblanco (2016).

En el marco de los desarrollos propuestos por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático, la Tercera Comunicación retoma la sugerencia de abordar el riesgo por cambio climático y se acoge a la fórmula general: $\text{Riesgo} = \text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad}$. Por consiguiente, el riesgo por cambio climático se analizó, identificando el factor, el indicador y las variables que más le afectan. Los factores como amenaza y sensibilidad tienen indicadores para su cuantificación, como: seguridad alimentaria, recurso hídrico, biodiversidad, salud, hábitat humano e infraestructura.

Productos Logrados

Aspectos Climáticos

Las zonas sin restricciones y con moderadas restricciones físicas identificadas para el cultivo de la papa diploide se definieron considerando los requerimientos climáticos del cultivo y la caracterización climática de las unidades agroecológicas, con el fin de propiciar el desarrollo adecuado del cultivo. La condición climática determina los períodos favorables y oportunos de siembra y la realización de las demás prácticas culturales con menor riesgo. Los eventos climáticos que generan mayor preocupación a los productores de papa diploide son las heladas y las sequías. Otros riesgos climáticos como las granizadas y los periodos prolongados de lluvias se presentan con menor frecuencia y no generan grandes preocupaciones al productor.



Las principales fuentes de agua para los cultivos en las fincas son, en primer lugar, la lluvia y otras fuentes naturales como pequeñas quebradas que surcan las fincas, sin embargo, durante las temporadas secas, el 94% de los entrevistados en el marco del proyecto, manifestaron tener necesidad de riego para los cultivos, por lo que han realizado en sus fincas reservorios y pozos que suministran el agua para mitigar los efectos de los periodos secos.

La provisión de riego es importante para la productividad del cultivo, pues técnicamente se conoce que la poca profundidad de las raíces de la papa provoca altas pérdidas de agua por evapotranspiración, por lo que la respuesta productiva a la irrigación artificial frecuente (cada 3 días) es considerable.

Análisis de Riesgo por Cambio Climático

En la Tabla 2.1 se muestra el factor, el indicador y las variables que más afectan a los municipios productores de papa diploide vinculados a la investigación como: El Rosal, Subachoque, Granada y Sibaté. El factor amenaza muy alta, sucedió con valores iguales o mayores a 0,76 y amenaza muy baja con valores por debajo de 0,378. El factor sensibilidad muy alto con valoraciones iguales o superiores a 0,667 mientras que la sensibilidad muy baja ocurrió con resultados inferiores a 0,189. El hábitat humano y la infraestructura como indicadores se ciñen como amenazas muy altas; así mismo, la seguridad alimentaria y los servicios ecosistémicos son los indicadores de más riesgo en el factor sensibilidad para los cuatro municipios vinculados al estudio.

Capacidad Adaptativa. En la Tabla 2.2 se presenta la calificación de capacidad adaptativa para los municipios productores de papa diploide, la cual corresponde a la habilidad de las personas para ajustarse y responder al daño potencial con el fin de tomar ventaja de la oportunidad o para responder a las consecuencias (IDEAM, 2017a). En general los municipios estudiados tienen una alta capacidad adaptativa, siendo el municipio de Subachoque el que presenta mayor valor, esto se considera como una característica de como los productores pueden enfrentar los cambios a través del tiempo y mantenerse en su entorno productivo.



Tabla 2.1

Factores, indicadores y variables para el análisis de riesgo por cambio climático que afecta a los municipios seleccionados productores de papa diploide en el Departamento de Cundinamarca

Factor	Indicador	Variable	Municipio El Rosal		Municipio Subachoque		Municipio Sibate		Municipio Granada	
			Contribución (%)	Valor	Contribución (%)	Valor	Contribución (%)	Valor	Contribución (%)	Valor
Amenaza	Seguridad alimentaria	Cambio en la superficie de las zonas optimas agroclimáticas en el cultivo de la papa	2,14	0,18	2,14	0,18	2,14	0,18	2,164	0,18
Amenaza	Recurso hídrico	Índice de disponibilidad hídrica	2,398	0,283	2,398	0,283	2,398	0,283	2,307	2,272
Amenaza	Biodiversidad y recursos ecosistémicos	Cambio proyectado en % de área con vegetación natural	4,144	0,374	4,144	0,374	4,144	0,374	4,235	0,378
Amenaza	Hábitat humano	Cambio proyectado en el número de viviendas dañadas por evento meteorológico (inundación, deslizamiento) relacionados con cambios en la precipitación	1,581	0,76	1,581	0,76	1,581	0,76	1,598	0,76
Sensibilidad	Seguridad alimentaria	Porcentaje de área asegurada respecto al total del área sembrada	4,135	0,95	4,135	0,95	4,135	0,95	4,623	0,95
Sensibilidad	Recurso hídrico	Índice de presión hídrica al ecosistema	5,362	0,667	5,362	0,667	5,362	0,667	4,471	0,518
Sensibilidad	Recurso hídrico	Índice de agua no retornada a la cuenca	1,7	0,339	1,7	0,339	1,7	0,339	1,054	0,189
Sensibilidad	Recurso hídrico	Índice de retención y regulación hídrica	1,441	0,67	1,441	0,67	1,441	0,67	1,715	0,695
Sensibilidad	Biodiversidad y recursos ecosistémicos	Porcentaje del área del municipio correspondiente a Bosque	11,051	0,986	11,051	0,986	11,051	0,986	11,642	0,93
Sensibilidad	Hábitat humano	Demanda urbana de agua para industria y construcción	0,599	0,774	0,599	0,774	0,599	0,774	0,276	0,452
Sensibilidad	Hábitat humano	Porcentaje de urbanización	10,354	0,696	10,354	0,696	10,354	0,696	4,898	0,299
Sensibilidad	Hábitat humano	Porcentaje promediado de área municipal afectada por Anomalías (A) de precipitación "muy por debajo de lo normal" (MDN 0-40%)	7,197	0,547	7,197	0,547	7,197	0,547	4,883	0,333
Amenaza	Infraestructura	Cambio proyectado en la disponibilidad del recurso hídrico para generación hidroeléctrica en el SIN	15,593	0,817	15,593	0,817	15,593	0,817	17,425	0,902

Nota. . Resultados obtenidos por los autores basados en información de IDEAM (2017a).

Tabla 2.2

Calificación de capacidad adaptativa para los municipios productores de papa diploide en el Departamento de Cundinamarca

Clasificación	Municipio	Capacidad adaptativa	Interpretación
Municipios con cultivos de papa diploide	El Rosal	0,79	Alta
	Subachoque	0,81	Alta
	Sibaté	0,80	Alta
	Granada	0,77	Alta
Municipio de mayor capacidad adaptativa por cambio climático	Subachoque	0,81	Alta

Nota. Basado en IDEAM (2017a).

Sensibilidad. La Tabla 2.3 muestra la calificación de sensibilidad para los municipios productores evaluados de papa diploide. La sensibilidad corresponde al grado de como un sistema puede ser afectado directa o indirectamente. Si se presenta una sensibilidad alta a media, equivalente a municipios donde las condiciones no son favorables para afrontar la amenaza de cambio climático, bien sea por baja gestión en la calidad de vida de los habitantes o por una alta presión de transformación antropogénica (IDEAM, 2017a).

Tabla 2.3

Calificación de sensibilidad para los municipios productores de papa diploide en el Departamento de Cundinamarca

Clasificación	Municipio	Sensibilidad	Interpretación
Municipios con cultivos de papa diploide	El Rosal	0,37	Medio
	Subachoque	0,35	Medio
	Sibaté	0,35	Medio
	Granada	0,27	Medio

Nota. Basado en IDEAM (2017a).

Vulnerabilidad. Consiste en la predisposición para ser afectado por fenómenos de clima y la resiliencia para sobreponerse a dicha afectación. La vulnerabilidad está en función de la capacidad adaptativa de una región y la susceptibilidad a dichos eventos climáticos



Por lo tanto, se observa en la Tabla 2.4 que la vulnerabilidad de los municipios productores de papa diploide en el Departamento de Cundinamarca está constituida por los factores de susceptibilidad, y la gestión de capacidad adaptativa identifica que están en los rangos de baja a muy baja vulnerabilidad. Así mismo, en esta Tabla se presentan los municipios de referencia de menor y mayor calificación de vulnerabilidad en el departamento de Cundinamarca.

Tabla 2.4
Calificación de vulnerabilidad para los municipios productores de papa diploide en el Departamento de Cundinamarca

Clasificación	Municipio	Vulnerabilidad	Interpretación
Municipios con cultivos de papa diploide	El Rosal	0,14	Baja
	Subachoque	0,14	Baja
	Sibaté	0,14	Baja
	Granada	0,13	Muy baja

Nota. Basado en IDEAM (2017a).

Amenaza. La Tabla 2.5 califica la amenaza al riesgo por cambio climático en los municipios productores del tubérculo diploide. Esta amenaza está catalogada de acuerdo con la premisa de aumento de la temperatura frente a la disminución de precipitaciones bajo los escenarios del año 2040; sin embargo, para la mayoría de los municipios productores del tubérculo se percibe un aumento de precipitación y de temperatura. Este aumento de temperatura generaría un desplazamiento de las áreas hacia mayor altura sobre el nivel del mar, como consecuencia de la disminución de las zonas aptas para el cultivo, debido a la reglamentación sobre la preservación de los páramos. Los municipios de Subachoque y El Rosal calificaron con una amenaza muy alta, su indicador fue el hábitat humano y la infraestructura.

Tabla 2.5
Calificación de amenaza para los municipios productores de papa diploide en el Departamento de Cundinamarca

Clasificación	Municipio	Valor Amenaza	Interpretación
Municipios con cultivos de papa diploide	El Rosal	0,70	Muy alta
	Subachoque	0,71	Muy alta
	Sibaté	0,58	Baja
	Granada	0,67	Alta

Nota. Basado en IDEAM (2017a).

Riesgo. La Tabla 2.6 exhibe la calificación de riesgo para los municipios productores. En el factor de riesgo, los indicadores de biodiversidad y el recurso hídrico, tienen valores de riesgo muy altos, pero en conjunto con los demás indicadores, tienen una contribución que baja el riesgo total por cambio climático.

Tabla 2.6

Calificación de riesgo para los municipios productores de papa diploide en el Departamento de Cundinamarca

Clasificación	Municipio	Riesgo	Interpretación
Municipios con cultivos de papa diploide	El Rosal	0,22	Alto
	Subachoque	0,21	Alto
	Sibaté	0,19	Medio
	Granada	0,18	Medio

Nota. Basado en IDEAM (2017a).

Similarmenete Marmolejo y Ruíz (2018) reportan como el cambio climático influye sobre la tolerancia a heladas en cultivos de papas nativas (*Solanum spp.*). Además, consideran que las variedades tolerantes a heladas deben tener en cuenta modificaciones de carácter morfológico, como capas empalizadas del parénquima, mayor grosor con relieve áspero en las hojas, mayor número de estomas y tallos con pigmentación morada; generados a partir de procesos genéticos. Por tanto, lo anterior conduce a los investigadores a revisar continuamente los análisis de riesgos para reconocer los cambios de la agrobiodiversidad en las zonas productivas de papa diploide y plantear estudios que beneficien a los cultivos frente a los efectos por el cambio climático.

Conclusiones

De acuerdo con el análisis de riesgo implementado, los eventos climatológicos asociados a las heladas y las sequías son los que causan mayor preocupación en los productores de papa diploide, de los municipios estudiados. Por otro lado, los riesgos climáticos como las granizadas y los periodos prolongados de lluvias se presentan con menor frecuencia, motivo por el cual no generan mayores preocupaciones en los productores encuestados.



La capacidad adaptativa se define como una cualidad que poseen las poblaciones para enfrentar los cambios a través del tiempo y mantenerse en su entorno productivo. De acuerdo con el estudio adelantado, en general, los productores de papa de los municipios estudiados tienen una alta capacidad adaptativa, siendo los productores de Subachoque los que reportan el valor más alto para este indicador.

Para el 2040, en la región de estudio, se ha identificado una amenaza relacionada con la disminución de precipitaciones y aumento de la temperatura; este aumento de temperatura generaría un desplazamiento de las áreas de cultivos hacia zonas geográficas de mayor altura sobre el nivel del mar. Sin embargo, debido a la reglamentación colombiana, relacionada con la preservación de las áreas de páramo, se prevé una disminución considerable de las zonas aptas para el cultivo, en relación con este fenómeno climático.

Los municipios de Subachoque y El Rosal calificaron con una amenaza muy alta, para los indicadores de hábitat humano e infraestructura. En el factor de riesgo, los indicadores de biodiversidad y el recurso hídrico, tienen valores de riesgo muy altos, pero en conjunto con los demás indicadores, tienen una contribución que baja el riesgo total por cambio climático.

Referencias

- Aryal, J.P., Sapkota, T.B., Khurana, R., Khatri-Chhetri, A., Rahut, D.B., y Jat, M.L. (2020). Climate change and agriculture in South Asia: adaptation options in smallholder production systems. *Environment, Development and Sustainability* 22, 5045–5075. <https://doi.org/10.1007/s10668-019-00414-4>
- Campos G., A., Holm-Nielsen, N., Díaz G., C., Rubiano V., D.M., Costa P., C.R., Ramírez C., F. y Dickson, E. (Eds.). (2012). *Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia: un aporte para la construcción de políticas públicas*. Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento / Banco Mundial Región de América Latina y El Caribe.



- Congreso de la República de Colombia. (2018). *Directrices para la gestión del cambio climático*. [Ley 1931 del 27/07/2018]. <https://dapre.presidencia.gov.co/normativa/leyes>
- Fernández, M.E. (2013). *Efectos del cambio climático en la producción y rendimiento de cultivos por sectores: Evaluación del riesgo por sectores*. Fondo financiero de Proyectos de desarrollo (Fonade) e Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios ambientales (IDEAM). Primer Informe, Contrato de Cooperación CO- T1150. IDEAM.
- Galindo, L.M., Samaniego, J., Alatorre J.E., y Ferrer, J. (2014). *Reflexiones metodológicas del análisis del cambio climático. Una visión desde América Latina*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Gutiérrez, R. (2008). *Papas nativas desafiando al cambio climático. Propuestas de adaptación tecnológica del cultivo de papas nativas frente al cambio climático en Cusco y Ancash*. Comisión Europea.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS], Departamento Nacional de Planeación [DNP] y Cancillería. (2015). *Nuevos escenarios de cambio climático para precipitación y temperatura para Colombia 2011-2100 herramientas científicas para la toma de decisiones – Enfoque Nacional - Departamental: Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático*.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS], Departamento Nacional de Planeación [DNP] y Cancillería. (2017a). Análisis de la capacidad adaptativa al cambio climático de los municipios de Colombia para el cálculo de vulnerabilidad y riesgo. En *Tercera Comunicación Nacional de Colombia a la convención marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático* (Cap. 5.4 pp.34-37). IDEAM, PNUD, MADS, DNP, Cancillería y FMAM.



- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS], Departamento Nacional de Planeación [DNP] y Cancillería. (2017b). Análisis Multidimensional. En *Tercera Comunicación Nacional de Colombia a la convención marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático* (Cap. 4.8 pp.76- 90). IDEAM, PNUD, MADS, DNP, Cancillería y FMAM.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]. (2000). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Cundinamarca. Subdirección de Agrología*. IGAC.
- Jones, D.A. y Hassan, O.T. (1991). Climate change and agriculture. *Trends in Ecology and Evolution*, 6(3), 101. [https://doi.org/10.1016/0169-5347\(91\)90186-2](https://doi.org/10.1016/0169-5347(91)90186-2)
- Marmolejo, D. y Ruiz, J.E. (2018). Tolerancia de papas nativas (*Solanum* spp.) a heladas en el contexto de cambio climático. *Scientia agropecuaria* 9(3), 393-400. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.03.10>
- Medina, G.S (2012). *Evolución aciertos y desaciertos con el fondo de adaptación* [Tesis de Especialización, Universidad Militar Nueva Granada].
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2021). Resolución 000355 por la cual se adopta el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático del Sector Agropecuario-PIGCCS. MADR.
- Rojas M., J. y Castelblanco R., L.F. (2016). *Plan de Manejo Agroclimático Integrado de Papa (Solanum tuberosum) en Silos, Norte de Santander, Colombia*. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/publication/319403650>
- Sierra, J. (2019). *Cambio climático y producción de papa en Zona papera de Boyacá 1986-2017* [Tesis de Maestría, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia].



- Torres, S. (2016). *Impacto del cambio climático en el cultivo de papa (Solanum tuberosum) y quinua (Chenopodium quinoa Will) en el departamento de Puno* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina].
- Vargas, J.C., Plata, A.M. y Guevara, O. (2020). Diseño participativo de una alerta agroclimática temprana para el cultivo de papa criolla (*Solanum phureja*) en Subachoque, Colombia. *Acta Agronómica*, 69(3) 179-187. <https://doi.org/10.15446/acag.v69n3.77051>
- Vélez Betancourt, A.F. (2021). *Cadenas sostenibles ante un clima cambiante. La papa en Colombia*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ).



CAPITULO 3

Manejo Integral del Cultivo de Papa Diploide (*Solanum phureja* Juz. et Buk.)

José Luis Zapata Pareja¹, María del Socorro Cerón Lasso²

Pedro David Porras Rodríguez³, Carlos Alberto Herrera Heredia²

Resumen

La papa diploide (*Solanum phureja* Juz. et. Buk.) es considerada como un “Tesoro Dorado”, por su color amarillo brillante del tubérculo y por todas sus bondades. Es un alimento con alta aceptación entre los consumidores en Colombia y con grandes ventajas comerciales para su exportación. Los cultivares diploides con piel y pulpa de color amarillo y de forma redonda, han evolucionado en nuevas variedades que ofrecen ventajas agronómicas, culinarias, industriales, nutricionales y nutraceuticos. Gracias a los permanentes esfuerzos de investigadores, agricultores, industriales, comercializadores, entidades del sector público y privado; quienes representan a los diferentes eslabones vinculados a la cadena agroalimentaria de la papa. Por lo anterior, esta investigación tuvo como objetivo entregar recomendaciones sobre el manejo integrado del cultivo que presenta las fases: preliminar a su establecimiento, durante su desarrollo en campo, cosecha y poscosecha; dirigidas a mejorar la productividad, la competitividad y a garantizar la sostenibilidad de esta importante cadena productiva en el país. Bajo los lineamientos de las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA), para una producción rentable de la explotación comercial, se identificaron factores como: el ambiente, el uso de semilla de buena calidad, la fertilización balanceada acorde a los requerimientos nutricionales del cultivo, el manejo fitosanitario integrado y la programación de las actividades para alcanzar el manejo sostenible del cultivo. En la cosecha y la poscosecha, dada la perecibilidad del tubérculo, la recolección y sus labores complementarias de selección, clasificación, empaque y manipulación fueron factores de éxito en la entrega de un producto de óptima calidad.

Palabras Clave: control cultural, sanidad vegetal, calidad de las semillas, calidad del suelo, fitomejoramiento, producción vegetal.

¹Ingeniero Agrónomo, Máster en fitopatología, Consultor Particular.

²Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Tibaitatá, Mosquera, Cundinamarca-Colombia.

³Ingeniero Agrónomo, Consultor Particular.



Abstract

The diploid potato (*Solanum phureja* Juz. et. Buk.) is considered a “Golden Treasure”, due to its bright yellow color of the tuber and all its benefits. It is a food with high acceptance among consumers in Colombia and with large commercial advantages for export. Diploid cultivars with skin and flesh of yellow color and round shape, have evolved into new varieties that offer agronomic, culinary, industrial, nutritional, and nutraceutical advantages. Thanks to the permanent efforts of researchers, farmers, industrialists, marketers, entities of public and private sector; who represent different links linked to potato agri-food chain. Therefore, this research aimed to provide recommendations on integrated management of the crop that presents the phases: preliminary to its establishment, during its development in the field, harvest and post-harvest; aimed at improving productivity, competitiveness and guaranteeing the sustainability of this important production chain in the country. Under the guidelines of Good Agricultural Practices (GAP), for a profitable production of commercial exploitation, factors were identified such as: environment, use of good quality seed, balanced fertilization according to the nutritional requirements of the crop, integrated phytosanitary management, and programming of activities to achieve sustainable management of the crop. In harvest and post-harvest, given the perishability of the tuber, harvest and its complementary tasks of selection, classification, packaging and handling were factors of success in the delivery of an optimum quality product.

Keywords: cultural control, plant health, seed quality, soil quality, plant breeding, vegetable production

Introducción

El manejo integrado de los cultivos (MIC) permite la adopción de tecnologías y sistemas de producción sostenibles, que involucren un adecuado manejo de sistemas agrícolas para la preservación del medio ambiente para lo cual, se estima necesaria la disponibilidad de la mano de obra no calificada y técnica, así como el uso de la tierra, para que los agricultores respondan a las necesidades de alimentos (Food and Agriculture Organization [FAO], 2010).



En Colombia la producción de papa incluye dos grupos taxonómicos para *Solanum tuberosum*: la papa tetraploide llamada papa común, papa negra, papa blanca, guata o papa de año (*Solanum tuberosum* L.) y la papa diploide, conocida como papa criolla (*Solanum phureja*), la cual hace parte de los sistemas agrícolas más importantes de clima frío.

Para el año 2021, la Cadena Agroalimentaria de la Papa reportó una siembra de 120.190 ha con una producción total de 2.621.344 t y un rendimiento promedio de 21,8 t/ha (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR] (2021). Los Departamentos de Cundinamarca (43.677 ha), Boyacá (32.391 ha), Nariño (25.789 ha) y Antioquia (6.492 ha) representaron el 90 % del área nacional cultivada (MADR, 2021).

De otra parte, el comportamiento del área sembrada de papa diploide en Colombia mostró su mayor registro en el período 2006 a 2018 con 15.393 ha; no obstante, para el siguiente año llegó a 8.460 ha, cifra similar al promedio del quinquenio 2009 a 2013. Así mismo, la producción promedio entre 2009 y 2018 estuvo en 148.000 t y con un valor máximo en el año 2017. El rendimiento presentó una tendencia creciente al pasar de 10,1 t/ha en el 2011 a 14,2 t/ha en el 2018. Los Departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Nariño, Antioquia y Norte de Santander participaron con la mayor área sembrada en papa diploide en el país (Agronet, 2020).

La potencialidad como producto de exportación se centra en productos procesados en diferentes presentaciones, dirigidas principalmente a destinos como Estados Unidos, la Comunidad Europea y Japón, donde el mercado ha reaccionado positivamente con una demanda creciente.

El presente documento tiene como objetivo entregar recomendaciones prácticas sobre el manejo integrado durante las fases previas al establecimiento del cultivo de la papa diploide, durante su desarrollo vegetativo, su cosecha y su



poscosecha. Con la adopción de las recomendaciones de manejo integrado se busca el incremento de la competitividad y de la productividad, así como la sostenibilidad del cultivo en Colombia.

Metodología

Se revisó el estado del arte sobre prácticas culturales dentro del esquema de manejo integrado de la papa diploide en el país, para consolidar información útil y actualizada, basada en investigación, desarrollo, extensión y transferencia relacionadas con prácticas de cultivo y poscosecha, generada por entidades públicas y privadas, y se consultó con especialistas sobre la importancia del tema y la pertinencia para la publicación. Adicionalmente, se consolidó la experiencia de los autores en el cultivo de la papa diploide, tanto como productores como investigadores.

Se identificaron tres fases durante las cuales se consolidaron e integraron las recomendaciones y se priorizaron las de mayor importancia, así:

- **Fase I:** previa a la siembra que incluye aspectos de diagnóstico de la zona y del predio, más la planeación de la producción con la variedad seleccionada.
- **Fase II:** inicia con la siembra y continúa con el desarrollo vegetativo de las plantas hasta su madurez comercial.
- **Fase III:** consiste en la cosecha y la poscosecha de los tubérculos, más criterios de calidad del producto para su comercialización o consumo o industrialización.

Así mismo, se establecieron relaciones entre prácticas culturales que impactan positivamente la productividad del cultivo y la calidad del tubérculo.

Análisis Fase I

La papa diploide constituye un recurso genético de importancia para Colombia por poseer alta diversidad genética. Es un tubérculo prioritario en la



seguridad alimentaria de la zona andina y posee características especiales para la agroindustrialización. Todo lo anterior lo hace un tubérculo merecedor de estudios enfocados en la búsqueda de la eficiencia del sistema productivo, favorecer la calidad y el potencial de rendimiento de los cultivares de este grupo.

Variedades de Papa Diploide en Colombia

El mejoramiento de papa diploide en Colombia se inició a mediados de la década de 1990, razón por la cual el número de variedades diploides generadas no es comparable con el de las tetraploides, que llevan más de 60 años con procesos de investigación y desarrollo (Bonilla Cortés et al., 2019). La Tabla 3.1 presenta un resumen de las variedades de papa diploides amarillas obtenidas hasta la fecha y en la Figura 3.1 se observa la nueva variedad Corpoica Sol Andina.

Tabla 3.1

Variedades de papa diploides de color amarillo y forma redonda registradas ante el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) en Colombia

Variedad	Genealogía	Rendimiento promedio (t/ha)	Materia seca (%)	Año de entrega	Entidad
Agrosavia Alhaja	Selección clonal - 15061989	25,5	19,18	2019	AGROSAVIA
Agrosavia Oyanza	Selección clonal - 15062586	22,8	20,28	2019	
Corpoica Sol Andina	Selección clonal - 15062591	29,4	22,96	2017	AGROSAVIA
Corpoica Tiba	Selección clonal - 15062589	29,8	23,25	2017	
Agrosavia Estrella	Selección clonal - 15062590	27,7	22,96	2017	
Criolla Ocarina	Criolla Galeras x Criolla Guaneña	30,0 – 32,5	> 23	2015	Universidad Nacional de Colombia (UNAL)
Criolla Dorada	Criolla Guaneña x Criolla Galeras	23,6 – 29,3	19 - 21	2015	
Criolla Sua Pa	Criolla Latina x Criolla Colombia	37,3	23,8	2015	
Criolla Guaneña	Criolla Colombia x Amarilla Tumbay	32	> 23	2007	
Criolla Galeras	Criolla Colombia x Amarilla Tumbay	30	20,21-23	2007	
Criolla Paisa	Amarilla Tumbay x Criolla Colombia	20	20,21-23	2005	
Criolla Latina	Criolla Colombia x Amarilla Tumbay	25	20,21-23	2005	
Criolla Colombia	Clon 1. Selección clonal de cultivares redondos amarillos	15 - 25	20,21-23	2005	UNAL, Federación Colombiana de Productores de Papa (Fedepapa), ICA

Nota. Basado en datos del Instituto Colombiano Agropecuario [ICA] (2017a, 2017b); ICA (2018); ICA (2019 a, 2019b); ICA (2020); UNAL (2020).



Las características agronómicas evaluadas para su mejoramiento genético han sido predominantemente el color, la forma, la profundidad de ojos, la resistencia a organismos fitopatógenos, el rendimiento y el mayor tiempo de reposo del tubérculo. Adicionalmente, se ha buscado mejorar su calidad culinaria y sus características específicas para el procesamiento industrial para encurtidos, enlatados o precocida congelada; y recientemente, los atributos relacionados con la nutrición humana (Lachman y Hamouz, 2006; MADR, 2010).

Figura 3.1

Aspecto de la variedad de papa diploide Corpoica Sol Andina



Nota. Tomado de Mosquera (2017).

La entrega de las variedades de papa diploide por parte de AGROSAVIA, ha sido el resultado del proceso de investigación participativa llevado a cabo por varios años entre investigadores, agricultores, comerciantes, consumidores, asistentes técnicos y estudiantes de diferentes campos de la ciencia. En el proceso se evaluaron en condiciones de campo diferentes características de diversos genotipos estudiados del Programa de Mejoramiento que poseen atributos de interés agronómico, de cosecha y de poscosecha. Las evaluaciones agronómicas se realizaron bajo diferentes condiciones ambientales en localidades representativas de la producción comercial de la papa diploide conforme los protocolos establecidos por el ICA. La producción de semilla con certificación oficial para las variedades entregadas por AGROSAVIA, se inició en los



laboratorios del Centro de Investigación de Tibaitatá del municipio de Mosquera (Departamento de Cundinamarca), seguida por la multiplicación bajo la técnica de aeroponía con el fin de garantizar la sanidad y pureza de las variedades. Realizada esta etapa, la semilla se distribuyó a diversas organizaciones de productores, se obtuvo el registro de los cultivares ante el ICA y se realizó la entrega de estas.

Es importante aclarar que en algunas regiones de Colombia se cuenta con genotipos de papa diploide de otros colores fuera de las variedades amarillas relacionadas en la Tabla 3.1, como las siguientes variedades:

- Milagros con piel roja, pulpa amarilla clara y tubérculo de forma redonda.
- Paola con piel marrón, pulpa crema y tubérculo de forma elíptica.
- Paysandú con piel roja-morada, pulpa morada y tubérculo de forma elíptica.
- Primavera con piel morada, pulpa morada y tubérculos de forma obovada.
- Violeta con piel violeta oscura, pulpa violeta y tubérculo de forma elíptica.
- UN-San Pedro con piel morada rojiza oscura, pulpa anaranjada intermedio y tubérculos de forma redonda.

Estas variedades liberadas en el 2015, son nuevos cultivares con alta resistencia a la gota y a la sarna polvosa. Presentan alto contenido de compuestos antioxidantes que aportan beneficios para las dietas de los consumidores. Por sus colores atractivos hacen de estas variedades nuevas ofertas gastronómicas y diversidad de productos novedosos (Contexto Ganadero, 2014; Núñez López, 2018; UNAL, 2020).

Planeación de la Producción

Todo sistema productivo requiere de un plan de actividades encaminadas a lograr el éxito de la explotación en términos de productividad, sostenibilidad y rentabilidad. En el caso del cultivo de la papa diploide la planificación permite



disminuir los riesgos de pérdidas para que los agricultores obtengan un producto que satisfaga las necesidades de los consumidores. A continuación, se presenta las principales recomendaciones aplicables al sistema productivo de este tubérculo.

Elección del Lote. La producción de papa diploide en Colombia se encuentra ubicada en zonas frías, bajo diversas condiciones ambientales que satisfacen los requerimientos del cultivo. Entre los elementos climáticos más importantes se destaca la temperatura media entre 10 y 18 °C, precipitación total media entre 1.000 y 1.200 mm/año bien distribuido y la ausencia de heladas (Soto Garcés et al., 2018; Zapata et al., 2006).

Esta papa requiere de suelos medianamente profundos, moderadamente sueltos, de textura franca, con buena porosidad que evite la excesiva acumulación de humedad en el suelo y con una estructura que favorezca las labores de remoción del suelo y el desarrollo de raíces, estolones y tubérculos. De igual manera, es indispensable mantener un equilibrio entre drenaje y retención de humedad para evitar excesos de agua en el suelo que deteriora la calidad del tubérculo (Soto Garcés et al., 2018; Zapata et al., 2006). También, se deben evitar los suelos pedregosos, las pendientes pronunciadas, los suelos mal drenados o de textura arcillosa, porque pueden deformar los tubérculos. Por todo lo anterior y previo a la siembra, se recomienda considerar los siguientes aspectos:

Zona. Inicialmente acudir a la información suministrada por las autoridades ambientales de la jurisdicción, como los planes o esquemas de ordenamiento territorial del municipio, para conocer las áreas sometidas a restricciones técnicas o legales con el fin de identificar los predios donde se pueda o no desarrollar la actividad agrícola.

De otra parte, la zonificación de aptitud para el cultivo comercial de papa a escala 1:100.000 generado por la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA) puede servir como referente para ubicar las coordenadas geográficas, lo que permite el establecimiento en zonas potencialmente aptas y evitar sembrar en áreas de baja aptitud para el cultivo por las condiciones físicas o socioecosistémicas (Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA], 2016).



Predio. Los antecedentes de plagas o enfermedades se deben identificar, en lo posible disponer de registros de producción y calidad de cosechas anteriores y cualquier información adicional que evite potenciales pérdidas económicas. Adicionalmente, se recomiendan suelos descansados por varios años, procedente de pastos o en rotación previa, diferente a cultivos de papa que presentan menores riesgos de afectaciones por plagas y enfermedades.

Selección de la Semilla. El insumo principal para establecer cualquier cultivo es la semilla como unidad biológica, capaz, de generar otra planta de igual constitución genética. La papa diploide se propaga vegetativamente por medio de tubérculos y si esta semilla está infectada con algún fitopatógeno, se convierte en la primera fuente de propagación de enfermedades sistémicas ocasionadas por virus o viroides, por algunos hongos, bacterias, nematodos y por otros organismos que están en el interior o adheridos superficialmente (ICA, 2011).

La calidad de la semilla no solo es el resultado de su procedencia sino de su manejo poscosecha (Figura 3.1), que evite tubérculos mal brotados, con daños mecánicos o presencia de patógenos. La semilla empleada para la producción comercial debe ser preferiblemente de la categoría certificada, con la que el agricultor encuentra múltiples beneficios, como un alto valor sanitario, la trazabilidad de su procedencia y la óptima calidad avalada por una entidad oficial. Sin embargo, no todos los productores tienen la oportunidad de acceder a esta semilla y se dirigen a emplear otras fuentes, dentro de las cuales se distinguen:

Semilla Producida en la Finca. A partir de un cultivo procedente de semilla certificada o de semilla de alta calidad, el agricultor puede obtener su propio material de siembra al realizar la selección en su lote. En este caso, se parte de una zona apta o de un predio sano, descansado y productivo, con base en la información del historial del lote que se destina para la siembra o para la selección de las áreas más sanas de los lotes dedicados a la producción comercial. Durante el desarrollo vegetativo y antes de la cosecha, es importante



demarcar y seleccionar aquellas áreas o plantas que reúnan las condiciones de calidad, sanidad y homogeneidad (selección positiva). Estas plantas marcadas se cosechan primero, y de cada una de ellas nuevamente se seleccionan los tubérculos que cumplen las condiciones y requisitos para una semilla de calidad. Entre las características a tener en cuenta, al momento de la cosecha, la piel de los tubérculos debe estar firme sin desprenderse. Las semillas se cosechan separadamente de la producción global. Tan pronto culmina la recolección, los tubérculos destinados a semilla se deben seleccionar, clasificar y posteriormente tratarlos para plagas y enfermedades con productos debidamente registrados ante el ICA de acuerdo con las indicaciones de etiqueta, para luego almacenarlos adecuadamente.

Adquisición de Semilla Obtenida por Otros Agricultores. En la mayoría de los casos, los productores de papa no conocen el origen de los tubérculos que se van a destinar como semilla y se limitan a confiar en la calidad visual del producto que se ofrece en las zonas de producción y que se encuentra empacado en bultos. Lo anterior se constituye en un factor de incertidumbre respecto al resultado que se pueda obtener de sembrar estos materiales.

Para esto, se recomienda visitar los lotes de producción antes o en floración para asegurar la sanidad y la homogeneidad de las plantas, y en la cosecha para verificar la calidad de los tubérculos. Adicionalmente, esta es una excelente oportunidad para estrechar vínculos entre productores y para facilitar el fomento de relaciones comerciales que se originan en el cultivo de la papa diploide.

Compra de Tubérculos de Procedencia Desconocida. Es común que productores inexpertos adquieran tubérculos convertidos en semilla por parte de agentes externos a la producción de papa diploide y que no lograron la comercialización como papa fresca. Estos tubérculos no son recomendados como semilla, debido a su dudosa calidad, sanidad, productividad, así como sus condiciones de manejo precosecha.



Manejo de Semillas. Una vez se obtiene la semilla, es necesario realizar labores que permitan mantener o mejorar su calidad, entre ellas, hacer una nueva selección, clasificación, tratarlas y, de ser necesario, realizar un almacenamiento que mantenga su calidad y permita las mejores condiciones para su brotación. En seguida, se presentan algunas indicaciones o prácticas posteriores a la cosecha para conservar el tubérculo destinado a semilla en condiciones ideales.

Selección. Consiste en escoger los tubérculos que reúnan condiciones óptimas como semilla que incluye la forma del mismo y se debe separar los tubérculos no aptos como, por ejemplo: aquellos que tengan malformaciones que corresponden a protuberancias y hundimientos, formas atípicas a la característica del cultivar que se ha establecido en campo o distribución irregular de brotes; daños mecánicos, rajaduras o cortes; deterioros por insectos como minas, raspaduras, consumos de pulpa, orificios superficiales o profundos; signos de enfermedades como esclerocios, manchas, roñas y pústulas³, pudriciones secas o húmedas; mezcla varietal y tubérculos que no tienen la posibilidad de emitir brotes, que se conocen como papas ciegas. Los tubérculos no aptos pueden ser usados para la alimentación de animales de la finca, frescos para ganado vacuno, y cocinados para cerdos.

Clasificación. En esta labor se separa por tamaño o peso, los tubérculos destinados para semilla. Un tamaño similar del tubérculo-semilla garantiza la homogeneidad en el establecimiento, emergencia y desarrollo de las plantas. En la normatividad colombiana sobre producción de semillas bajo la Resolución 3168 de 2015, no se autoriza para destinar a semilla los tubérculos de papa diploide muy pequeños con diámetros de 20 mm ni los muy grandes con diámetros mayores a 50 mm (ICA, 2015). Los tamaños más grandes presentan una mayor reserva y posibilidad de desarrollo de brotes vigorosos, condición benéfica especialmente cuando se presenta estrés⁴ de las plantas por déficit de humedad en etapas como la emergencia del cultivo y el desarrollo inicial de raíces

³ Prominencias o pequeños bultos que pueden localizarse en cualquier órgano verde de la planta y se tornan de colores blanquecinos, amarillo claro, naranja, marrón o negruzcos, que al desaparecer del tejido dejan lesiones muy visibles.

⁴ En el contexto vegetal, se refiere al estado de una planta cuando no realiza normalmente sus funciones fisiológicas deteniendo su crecimiento y desarrollo.



y estolones, aunque en el momento de la siembra se requiere mayor cantidad de semilla por unidad de superficie.

Tratamiento. Consiste en la aplicación de diferentes sustancias de origen sintético u orgánico al tubérculo destinado para semilla, dirigido a prevenir el ataque de insectos-plaga, como larvas de las polillas *Tecia solanivora* y *Phthorimaea operculella*, los áfidos o pulgones como *Myzus persicae*, y de algunas enfermedades fungosas como la rizoctoniasis (*Rhizoctonia solani*). Existen dos maneras principales para tratar la semilla de papa: la primera, es por vía húmeda mediante aspersión que demanda un exigente secado de los tubérculos antes de almacenarlos en la bodega o también cuando se realiza una aplicación sobre el surco durante la siembra; y, la segunda, por vía seca mediante la práctica de espolvoreo en forma generalizada antes de almacenamiento o superficialmente en los arrumes dentro la bodega. En caso del uso de gasificantes debidamente autorizados por el ICA para la desinfestación de semilla con presencia de larvas vivas de polillas, debe ceñirse a la implementación de las medidas de manejo especificadas en la etiqueta.

Almacenamiento. El tubérculo de papa diploide carece de período de reposo o es muy corto en nuevas variedades (Avilés Chaves y Piedra Naranjo, 2017; Rodríguez et al., 2009), y con el almacenamiento se busca prolongar el tiempo de vida útil de la semilla para lo que se recomienda se haga en bodegas limpias, secas, aireadas y en condiciones de luz difusa o indirecta con temperatura baja. Además, disponer la semilla en canastillas en lo posible para generar brotación lenta, brotes múltiples, vigorosos, uniformes, cortos, oscuros y que no se desprendan fácilmente.

El almacenamiento apropiado genera verdeamiento del tubérculo y no hay pérdida significativa de peso por deshidratación. Se sugiere, realizar vigilancia sanitaria periódica, así como la inspección de la calidad de la brotación. El adecuado almacenamiento puede prolongar la vida útil de la semilla en unos 30 días más, lo que permite realizar labores simultáneas de adecuación del suelo, planeación de la fertilización y aplicación de correctivos o enmiendas, entre otras.



Condiciones adversas de almacenamiento como las que se presentan en bodegas oscuras con poca ventilación, alta temperatura y baja humedad relativa, promueven brotes delgados y escasos, de color blanco, desprendimiento fácil, rápida deshidratación de los tubérculos y un ambiente favorable para la presencia y multiplicación de plagas y enfermedades.

Es común almacenar la semilla en sacos de fibra de polipropileno y se sugiere hacer arrumes de dos a tres bultos de máximo 50 kg uno sobre otro, separados y colocados sobre estibas de madera para promover la aireación, en beneficio de una brotación lenta y uniforme. Una alternativa puede ser el uso de canastillas con capacidad de 25 kg o cajas plásticas o de madera, con lo que el productor puede hacer arrumes sin generar peso sobre los tubérculos de la parte inferior. Una alternativa puede ser el uso de canastillas con capacidad de 25 kg o cajas plásticas o de madera, con lo que el productor puede hacer arrumes sin generar peso sobre los tubérculos de la parte inferior (Figura 3.2).

Las semillas con daños mecánicos o que han sido excesivamente manipuladas (golpeadas o reempacadas) tienden a disminuir su vida útil, si se compara con tubérculos sanos o que han tenido un adecuado manejo poscosecha. El tiempo en el que se rompe el reposo de la semilla de papa diploide, está influenciado por la constitución genética propia de la variedad y del medio dispuesto durante el almacenamiento.

Figura 3.2

Brotación de la semilla de la variedad Criolla Colombia en canastilla plástica



Nota. Fotografía tomada por Lena Prieto Contreras

El período de reposo de la semilla es el tiempo comprendido entre la cosecha y la activación de las yemas localizadas en los ojos de los tubérculos, las cuales darán origen al brote del mismo (Ñústez y Rodríguez, 2020). No obstante, es común encontrar tubérculos de papa diploide con brotes antes de la cosecha, posiblemente debido a cambios bruscos de temperatura, alta humedad en el suelo, a la edad de formación de los tubérculos en los diferentes estolones o por demoras en la recolección.

Frente a los cultivares tetraploides de papa que se caracterizan por tener diferenciadas las edades fisiológicas del tubérculo y que pasan por cuatro etapas como el reposo, la dominancia apical, la brotación múltiple y la senescencia; la brotación apical no es fácil de apreciar en papa de variedades diploides y es frecuente encontrar rápidamente una brotación múltiple por la activación de las yemas de los ojos laterales de los tubérculos; en un corto tiempo se observa la senescencia cuando el tubérculo-semilla se ha deshidratado y en este caso los brotes se muestran alargados, con poco vigor que se desprenden fácilmente.

En caso de almacenar la semilla en un ambiente controlado a temperaturas bajas o de refrigeración con la finalidad de prolongar su tiempo de reposo, antes de sembrarla es necesario aumentar la temperatura gradualmente hasta lograr el nivel del ambiente, esto con el ánimo de regular el metabolismo de la brotación e impedir daños durante la emergencia del cultivo.

La siembra de papa diploide se recomienda cuando los tubérculos-semilla se encuentren en el inicio de la brotación múltiple porque la semilla está activa y se puede garantizar un excelente establecimiento en el campo, condición que conduce a la mejor oportunidad de tener varios brotes por cada semilla y un número adecuado de tallos principales por sitio de siembra.

De otra parte, la siembra de semillas seniles con excesiva brotación o sobretalladas genera pérdidas en el establecimiento del cultivo, emergencia no uniforme, poca formación de raíces y estolones, baja producción de tallos y ramas, área foliar reducida con baja capacidad fotosintética y aceleración del ciclo vegetativo; lo que se traduce en bajo rendimiento, mayor susceptibilidad al ataque



de plagas y enfermedades, baja absorción de nutrientes y deterioro de la calidad del producto cosechado.

Adecuación y Preparación del Suelo. Para el cultivo de papa diploide se recomienda la siembra en suelos con textura franca, de buena porosidad, bien drenados, con profundidad media y pH entre 5,2 a 5,9. Se debe evitar aplicar materia orgánica sin compostar, porque esta práctica tiende a disminuir la calidad del tubérculo a cosechar. En algunos casos, la aplicación de materia orgánica está asociada con el manchado de la piel del tubérculo. No es recomendable sembrar en suelos arcillosos que inducen la pudrición de los tubérculos y, en algunos casos, su deformación (ICA, 2017a; Navas y Díaz, 2012; Núñez y Rodríguez, 2020; Zapata et al., 2006).

En general, el cultivo de papa demanda un repetido número de remociones de suelo a lo largo de su ciclo productivo incluidas la preparación y las labores de desyerba y de cosecha. En la mayoría de las áreas productoras de papa diploide del país, la preparación del suelo incluye arada y pulida, labores que se deben realizar en dirección transversal a la pendiente y evitar la erosión inducida por la sobremecanización.

En algunas zonas productoras del Departamento de Nariño, aún se implementa una práctica ancestral de labranza sostenible denominada “guachado” para la siembra de papa (Figura 3.3), en la que se mantiene con cobertura vegetal para mantener la humedad del suelo durante todo el cultivo (Ordoñez, 2007). Esta práctica inicia en lotes procedentes de pastos, en los que se ingresa ganado y sobrepastoreo; posteriormente, los agricultores cortan secciones o cespedones (capa de pasto de 30 a 40 cm) que voltean para dejar la parte verde hacia abajo. La misma práctica se realiza por el lado opuesto para unir los bordes de los dos cespedones y formar el surco o guacho entre los bordes unidos con el fin de depositar la semilla; la calle corresponde en el que se extrajeron los cespedones. La labor se realiza en pendientes hasta del 50 % y se complementa con rotaciones de abonos verdes (Herrera et al., 2000; Zamudio y León, 2008).



Figura 3.3

Elaboración de surcos mediante la práctica del guachado en el Departamento de Nariño



Nota. Fotografías tomadas por Jorge Enrique Castro

Se sugiere que la preparación del terreno se realice con suficiente anticipación y, en lo posible, evitar la remoción con el arado de disco y maquinaria pesada puesto que su uso intensivo tiende a compactar el suelo y provoca la formación de capas impermeables, con la disminución de su capacidad de retención de humedad. Por eso, es necesario reducir el número de operaciones en la preparación del suelo hacia lo estrictamente indispensable, en particular en condiciones de sequía prolongada o de excesiva humedad en el suelo.

En terrenos planos se recomienda el uso de arado de chuzo o cincel (fijo o vibratorio) con el propósito de conservar la estructura del suelo y construir zanjas de desagüe para prevenir encharcamientos e inundaciones. Cuando se trata de terrenos inclinados se recomienda surcar siguiendo curvas a nivel (Figura 3.4) y las zanjas laterales para evacuar las aguas de escorrentía. En este caso, los surcos quedan con una ligera inclinación, lo cual permite una buena conservación de humedad en épocas prolongadas de sequía o el drenaje lento en épocas de abundantes lluvias.



Figura 3.4

Terreno de cultivo de papa diploide con curvas a nivel



Nota. Fotografía tomada por José Luis Zapata

Análisis Fase II**Siembra**

En Colombia se cultiva la papa diploide durante todo el año y es recomendable tener en cuenta las necesidades hídricas del cultivo. Para las épocas de siembra y en la etapa de inicio de la floración, debe haber un suministro adecuado de agua que favorezca la formación y el llenado de los tubérculos de las plantas. Desde el punto de vista agronómico, es aconsejable evitar que las heladas y las épocas excesivamente secas coincidan con la tuberización y llenado debido a que corresponde a una etapa crítica en el desarrollo del cultivo; así mismo, evitar épocas de excesivas lluvias en la etapa de madurez comercial.

La población de plantas por unidad de superficie está en función de las distancias entre surcos y entre sitios de siembra, el tamaño de la semilla, la topografía del terreno y las condiciones del mercado objetivo, entre otros factores. La densidad de siembra condiciona la cantidad de tallos por hectárea, como un componente de rendimiento, como lo es también el número de tubérculos por tallos y el peso de tubérculos.



Cuando se requiere producir tubérculos de papa diploide de tamaños grandes y medianos, se recomienda sembrar semilla tamaño primera en densidades de siembra cercanas de 28.000 a 33.000 plantas/ha y si es para industria de enlatado o semilla, en densidad más alta cercana a 40.000 plantas/ha con semilla mediana (Ñústez y Rodríguez, 2020; Zapata et al., 2006).

En general, una alta población de tallos provoca una competencia entre ellos en detrimento del rendimiento por planta porque se generan tubérculos de tamaño pequeño, pero a mayor distanciamiento entre plantas se favorece la producción de tubérculos de tamaños grandes mayores a 3,5 cm de diámetro, ideales para el mercado de consumo y de papas fritas (chips). Además, hay otras variables que inciden en la utilización del tamaño de semilla y de la densidad de siembra como la fertilización, el tipo de suelo, la disponibilidad de agua, la variedad a cultivar, entre otras.

En la Tabla 3.2 se presenta un resumen de las distancias sugeridas para la siembra de papa diploide según la topografía del terreno y el destino de la producción (Zapata et al., 2006).

Tabla 3.2

Distancias de siembra de papa diploide según destino del tubérculo

Destino del tubérculo	Distancia de siembra surcos x plantas (m x m)	Plantas/ha esperadas
Semilla	1 x 0,25	40.000
Consumo	1 x 0,30	33.333
Siembra en terreno plano	1 x 0,40	25.000
Siembra en terreno ondulado	1,1 x 0,40	22.727
Siembra en terreno con pendiente	1,2 x 0,40	20.833

Nota. Basado en Cerón et al. (2016); Zapata et al. (2006)



Una vez realizado el surcado se procede a depositar la semilla en el fondo del surco junto con los fertilizantes y demás insumos (Figura 3.5). Posteriormente, se procede a tapar con suelo para protegerlos de las condiciones adversas y promover el desarrollo de raíces y la emergencia de las plantas.

Figura 3.5

Siembra experimental de papa diploide en el Municipio de La Unión del Departamento de Antioquia



Nota. Fotografía tomada por José Luis Zapata

Fertilización

La fertilización tradicional se basa en la cantidad de fertilizante por cantidad de semilla, con diferencias hasta del 50 % en función del tamaño y las distancias de siembra. En lo posible, se debe ajustar a una fertilización inteligente, acorde con los resultados de los análisis de suelos y al número de plantas a sembrar para garantizar una nutrición homogénea y eficiente del cultivo.

Para diagnosticar la fertilidad del lote destinado a la siembra, se sugiere tomar muestras representativas del suelo con suficiente anticipación para enviarlas a un laboratorio que determine sus principales propiedades físicas y químicas. Una vez obtenidos e interpretados los resultados, se determinan las dosis y las cantidades de nutrientes acordes al grado de fertilidad determinada a partir de la muestra para aplicarlos con el fin de que la planta reciba los nutrientes necesarios durante su desarrollo.



Existen dos tipos de análisis de suelos: el primero se denomina análisis de caracterización, el cual suministra información sobre textura, pH, materia orgánica, acidez, aluminio intercambiable, fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg); y el segundo se designa análisis químico completo, que relaciona las cantidades presentes de los elementos menores como hierro (Fe), cobre (Cu), Mg, zinc (Zn) y boro (B).⁵

Para disminuir la acidez y favorecer la disponibilidad del Mg y Ca, se aplican productos químicos u orgánicos o enmiendas, como las cales agrícolas o dolomita, las cuales deben ser incorporadas por lo menos con 30 días antes de la siembra. La utilización de materia orgánica debidamente compostada es importante para favorecer la estructura del suelo y con ello la cama de los tubérculos, también, para evitar patógenos del suelo como la bacteria *Streptomyces* sp. (Torres, 2002), porque sin este procedimiento previo de compostaje se puede inducir el ataque de algunos patógenos que manchan el tubérculo y se pierde la calidad de este. Para suelos arcillosos se recomienda no aplicar materia orgánica, así sea compostada, por la afectación de sanidad y de calidad del tubérculo por la tendencia al manchado de la piel. La aplicación de los suplementos de Ca, Mg, B, Mn, Cu y Zn, elementos promotores de rendimiento y calidad deben responder a los requerimientos del cultivo, así como a su diagnóstico de deficiencia.

Con los resultados del laboratorio se procede a solicitar las recomendaciones de los expertos para aplicar los insumos de fertilización edáfica que incluye el uso de enmiendas, materia orgánica, y de ser necesario, aplicaciones foliares suplementarias con elementos secundarios y menores. La fertilización foliar tiene como soporte el diagnóstico visual o el resultado de análisis foliar.

Se debe evitar la sobrefertilización de nitrógeno (N), debido a que promueve un excesivo desarrollo vegetativo, en detrimento del rendimiento. No obstante, dado el periodo vegetativo del cultivo de 120 días a cosecha, es recomendable hacer la fertilización completa al momento de la siembra (100 %). En algunas

⁵ AGROSAVIA ofrece en su laboratorio del Centro de Investigación de Tibaitatá del Municipio de Mosquera (Departamento de Cundinamarca, Colombia) los servicios de análisis de fertilidad en suelos para los productores del país.



zonas de los Departamentos de Antioquia y Boyacá utilizan la práctica llamada retape que consiste en sembrar los tubérculos sin la aplicación del fertilizante, el cual se aplica tan pronto la planta emerja del suelo, aproximadamente entre los 15 a 21 días después de la siembra, posteriormente se realiza un pequeño aporque para tapar el fertilizante y promover el desarrollo de las plantas.

En experimentos realizados en el Departamento de Antioquia se encontró que no hay diferencias estadísticas en la producción cuando se aplica todo el fertilizante al momento de la siembra y cuando se fracciona, por lo cual se recomienda la primera opción para economizar mano de obra (Zapata et al., 2006). Adicionalmente, experiencias de investigación en fertilización con elementos N, P y K en variedades de papa diploide, para producir tubérculos para el procesamiento industrial (de 2,5 a 3,0 cm de diámetro) y un contenido apropiado de materia seca, se demostró que Criolla Colombia, Criolla Latina y Criolla Paisa respondieron a la aplicación edáfica por hectárea de 50 kg N, entre 50 y 100 kg de P_2O_5 y 100 kg de K_2O , al momento de la siembra a partir de fuentes simples: urea (CH_4N_2O), superfosfato triple (STP) y cloruro de potasio (KCl). Los rendimientos obtenidos en el Municipio de Sonsón (Departamento de Antioquia) para las tres variedades mencionadas en su orden fueron: 21,1; 24,6 y 22,9 t/ha, respectivamente (Navas et al., 2010).

En evaluaciones realizadas en el Departamento de Cundinamarca para clones de papa dioploide candidatos a registro ante el ICA, se encontraron rendimientos promedios de 29 t/ha con aplicaciones por hectárea de 125 kg N, 225 kg P_2O_5 , 225 kg K_2O , 38 kg CaO, 19 kg MgO, 27 kg SO_4 y 0,75 kg B (Alzate et al., 2017); a partir de urea (CH_4N_2O), fosfato diamónico (DAP) y KCl, más aplicaciones de yeso agrícola (sulfato de calcio), nitrato de magnesio ($Mg(NO_3)_2$) y borato de sodio (bórax) como fuente de Ca, Mg, S y B. Se sembraron en suelos de pH 4,9 con textura limosa, materia orgánica 17,99 %, fósforo 3,2 mg/kg y potasio 0,4 cmol/kg.



Pérez et al. (2008) determinaron experimentalmente el efecto del fraccionamiento de la fertilización edáfica con N, P, K, Mg y aplicación de B, Mn y Zn, sobre el crecimiento, desarrollo, rendimiento y calidad de tubérculo para la variedad Criolla Colombia. No hubo diferencias estadísticas de los tratamientos para la interacción entre elementos menores. La fertilización edáfica 100 % en la siembra logró resultados superiores para el desarrollo foliar y la cuantificación del rendimiento, por lo que no se recomienda el fraccionamiento de la fertilización aplicada al suelo.

Desyerbe y Aporque

El desyerbe o manejo de las arvenses en el cultivo de la papa diploide se debe realizar durante los primeros días de emergencia del cultivo, puesto que es una de las etapas críticas, para impedir la competencia por agua, nutrientes, luminosidad y espacio. Esta labor se hace mecánicamente con la ayuda del azadón o cute, así como zanjadoras o aporcadoras arrastradas por tracción animal.

El aporque consiste en arrimar suelo procedente de las calles a la base de las plantas con el fin de cubrir las raíces y el extremo apical de los estolones, con lo que se promueve la diferenciación de tubérculos y con esto, evitar la proliferación de tallos aéreos secundarios improductivos. Así mismo, es una práctica cultural de control de arvenses cuando estas se cortan y se incorporan al surco (Figura 3.6). Entre más amplia sea la distancia entre surcos, más fácil serán estas prácticas culturales.

Cuando el aporque se realiza después de la emergencia del cultivo, la planta de papa diploide crece rápidamente, desarrolla abundante follaje que cubre el suelo y este fenómeno se conoce como cierre de calle porque las arvenses tienen poca oportunidad de competir. Dependiendo de la localidad y de las condiciones meteorológicas, las arvenses aparecen nuevamente a medida que el cultivo comienza su maduración. También es posible hacer la siembra y dejar aporcado, puesto que ha sido una práctica experimental que ha traído resultados interesantes cuando se siembra semilla de tamaño grande de papa diploide.



El aporque es una práctica que protege los tubérculos de la radiación solar que genera verdeamiento y del ataque de plagas y enfermedades. Esta labor cultural promueve la regulación del contenido de humedad del suelo en épocas de sequía y evita el encharcamiento del cultivo en épocas de lluvias, siempre y cuando estén trazados los surcos apropiadamente y utilizar curvas de nivel en suelos con pendientes (Figura 3.4).

Dentro del manejo fitosanitario se recomienda un aporque alto, cubriendo la base de la planta, con el fin de crear una barrera física frente al ingreso de algunos insectos-plaga tipo barrenadores del tubérculo como la polilla guatemalteca de la papa (*Tecia solanivora*), palomilla de la papa (*Phthorimaea operculella*), gusano blanco de la papa (*Premnotrypes vorax*), chisas (*Ancognatha scarabaeoides*) y tiroteador (*Naupactus* sp.).

Figura 3.6

Plantas de la variedad Criolla Colombia: a) aporcadas en el Municipio La Unión (Antioquia); b) aporcadas en el Municipio de Subachoque (Cundinamarca)



Nota. Fotografías tomadas por a) José Luis Zapata; b) Ana Magdalena Garnica

Manejo fitosanitario

En el cultivo de papa diploide se presentan varias plagas y enfermedades que pueden ocasionar pérdidas económicas a los agricultores porque afectan la calidad y el rendimiento de los tubérculos cosechados. Para su manejo y control se hace necesario aplicar los conceptos de Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades (MIPE), el cual reúne medidas de control genético, cultural, biológico, etológico y químico (ICA, 2011; Núñez y Rodríguez, 2020; Pérez y Forbes, 2011).



Para un MIPE efectivo, el primer paso es la identificación del agente causal del problema, mediante la observación y evaluación directa o indirecta de poblaciones, síntomas y signos que se encuentran al hacer vigilancia fitosanitaria, acompañada de registros periódicos durante el ciclo del cultivo; igualmente, se deben considerar los factores que favorezcan o no la aparición, diseminación, reproducción y desarrollo de estos organismos dañinos.

Para las estrategias del MIPE se debe considerar el control etológico el cual está basado en el comportamiento de las plagas (ICA, 2011). Se recomienda el uso de trampas de diversos tipos: las de interceptación para adultos de gusano blanco de la papa y el tiroteador o de captura como las de luz negra empleada para adultos de las chisas y de color para tostón (*Liriomyza* sp.) áfidos y mosca blanca de los invernaderos (*Trialeurodes vaporariorum*), así como las feromonas sexuales utilizadas para vigilancia fitosanitaria de poblaciones de adultos machos de polillas de la papa. En cualquier caso, es indispensable hacer un seguimiento de esta tecnología de manejo, para evaluar su presencia, movimiento, dinámica y riesgo de daño de los insectos perjudiciales en diferentes etapas del cultivo.

En el mercado existen productos para el control biológico registrados ante el ICA y regulados por esta institución tales como biopreparados y diversas ofertas tecnológicas institucionales ofrecidas por AGROSAVIA y otras entidades en el país. De igual manera, se vinculan a este tipo de manejo, las labores de campo como distancias y profundidad de siembra, desyerbas, drenajes, recolección de residuos de cosecha y la aceleración de la madurez a cosecha. Empleando el aporque alto se disminuye el riesgo de afecciones por gota o ranchara (*Phytophthora infestans*) porque una mayor capa de suelo incorporada en el aporque sirve como barrera de protección para los esporangios arrastrados por la lluvia.

El uso del control químico debe responder a la necesidad de mitigar o controlar algunas plagas o enfermedades bajo el criterio de uso seguro de plaguicidas. El empleo de productos para la protección de cultivos debe ser de preferencia de baja peligrosidad, los cuales están identificados por etiquetas con



franjas de color azul o verde que se encuentren debidamente registrados para el cultivo de papa y seguir las instrucciones de dosis, mezclas, épocas y condiciones ambientales recomendados para su utilización, así como el considerar el período de carencia y la disposición final de sus residuos posconsumo (Zapata, 2000).

Análisis Fase III

Cosecha y Poscosecha

La cosecha es el procedimiento por el cual se extraen y se colectan la producción de los tubérculos cuando llegan a su madurez comercial. En la papa diploide se presenta cuando las plantas cambian de color verde intenso a verde amarillento y la piel de los tubérculos no se desprende al ejercerle presión con los dedos. El tiempo de cosecha depende de la variedad y de las condiciones ambientales a pesar de que la planta no presente senescencia completa de su parte aérea.

Dentro de las estrategias de manejo del cultivo, en una época cercana a la madurez para cosecha, es posible acelerarla aún sin haber logrado la madurez comercial, dadas las condiciones favorables de mercado o la necesidad de recolectar la producción ante una amenaza de daños por plagas o por enfermedades. Existen tres maneras para lograr este propósito, las cuales están basadas en ocasionar daño a la parte aérea de la planta para promover en poco tiempo (entre 10 y 15 días) la fijación de la piel al tubérculo. La primera opción es la eliminación mecánica de la parte aérea de la planta, mediante la práctica conocida como corte de rama. La segunda consiste en causar un daño mecánico a los tallos doblándolos para que la planta muera. Y la tercera alternativa es mediante la aplicación foliar de un agente que induzca la senescencia de las hojas.

La extracción del tubérculo del suelo se realiza en forma manual halando la planta y a veces con la ayuda del azadón, gancho o cuto u otro instrumento apropiado para tal fin. Como la papa diploide es un producto muy perecedero, durante la cosecha la producción debe estar protegida de los rayos directos del sol y se debe evitar su excesiva manipulación, con el fin de prevenir su deterioro o posteriores pudriciones de los tubérculos cosechados. La cosecha en forma manual es una de las etapas del cultivo que requiere mayor empleo de mano de obra.



Adicionalmente, la cosecha es una práctica que debe hacerse de forma metódica sin dejar residuos de tubérculos en el suelo. Aunque, un porcentaje de papa comercial queda en el suelo sin recolectar, es indispensable reducir estas pérdidas, evitando abandonar tubérculos no comerciales en el lote cultivado o en los alrededores y que hayan sido afectados por patógenos e insectos puesto que son fuente de diseminación de problemas fitosanitarios que pueden llegar a afectar una región como en el caso de la polilla guatemalteca (*T. solanivora*). Por esto, se recomienda que los tubérculos afectados por patógenos del suelo como la sarna polvorosa (*Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea*), rizoctoniasis (*Rhizoctonia solani*), roña común (*Streptomyces scabies*) y el carbón de la papa (*Thecaphora solani* B.), no sean utilizados para la alimentación de animales de la finca y se recomienda enterrarlos en áreas que se tenga para la disposición de residuos orgánicos, alejados de los lotes para siembra de cultivos.

Después de la cosecha se debe evitar volver a sembrar papa en el mismo sitio y utilizar estos lotes en pastos o rotaciones de cultivos con especies diferentes a solanáceas con lo que se rompe el ciclo de plagas y enfermedades para hacer un uso más eficiente de los nutrientes del suelo (Navas et al., 2010; Núñez y Rodríguez, 2020).

Cuando el tubérculo permanece sobre el surco por algún tiempo, el aire permite el secado de las partículas de suelo con lo que se facilita su prelimpieza y mejora las condiciones para su selección en campo. Una vez realizada la cosecha, los tubérculos deben ser empacados y llevados a su destino ya sea el mercado fresco o la industria. Para los tubérculos que tienen como destino el mercado en fresco, el lavado de la papa diploide es una práctica exigida por comerciantes y consumidores en varias zonas del país porque en esta presentación el consumidor reduce el tiempo de limpieza y no adquiere papa con daños que no son visibles si viene sucia.

En la poscosecha de la papa diploide (Figura 3.7) se realiza lavado, secado, selección, clasificación y empaque para darle un mayor valor agregado, pero se incrementa su precio por los recursos adicionales utilizados como agua,



mano de obra, equipos y otros. Estas operaciones se pueden hacer en forma manual en la finca, pero es importante evitar contaminaciones de las fuentes hídricas. También existen empresas de lavado de papa con maquinaria, generalmente localizadas cerca de las centrales de abastos.

Figura 3.7

Papa diploide lavada



Nota. Fotografía tomada por José Luis Zapata

El tubérculo destinado para semilla se selecciona, clasifica y empaca, pero no se lava para evitar la propagación de enfermedades ocasionadas por bacterias fitopatógenas puesto que el agua del lavado es un eficiente vehículo para diseminar dichos patógenos. Así mismo, el lavado y la manipulación disminuyen su vida útil y le restan calidad como material de siembra.

La papa diploide una vez cosechada, seleccionada, lavada y clasificada, se transporta en vehículos acondicionados para esta actividad. El transporte a grandes distancias se debe hacer en horas de la noche con el fin de evitar que las altas temperaturas generadas en algunas zonas del trayecto durante el día afecten el tubérculo. El vehículo no debe estar cerrado herméticamente para impedir el deterioro o pudrición del tubérculo y con ello la disminución de la vida útil o calidad de este. La mayoría de los productores transportan la papa diploide en bultos de 50 kg; sin embargo, la mejor forma de transportarla es en canastillas de 25 kg de capacidad pues más allá de este peso y sin la adecuada conservación bajo almacenamiento puede originar pérdidas de la calidad comercial del tubérculo.



Durante el acopio, no se debe hacer arrumes muy altos en la bodega o en el vehículo transportador porque las papas ubicadas en la parte inferior soportan todo el peso, lo que ocasiona daños físicos por la presión soportada. También se debe tener cuidado durante el cargue y descargue con una mínima manipulación para evitar que sucedan daños al tubérculo. Una vez que la producción entra al centro de acopio debe ser distribuida en el menor tiempo posible hasta el consumidor final. Cuando se trata de papa destinada al procesamiento industrial, las bodegas del almacenamiento temporal deben tener ventilación circulante, sin luz (para evitar el verdeamiento) y la temperatura dependerá del proceso de transformación.

Calidad Externa del Tubérculo

El aspecto exterior del tubérculo representa la aceptación o el rechazo por parte de los comercializadores, que condicionan los precios en el momento de su adquisición. Un color amarillo uniforme, brillante, con piel firme, sin manchas, de forma redonda, con ojos superficiales, sin brotes, ni daños mecánicos, representa un mayor valor frente a un tubérculo con deficiente presentación. La calidad es un aspecto determinante en la rentabilidad del cultivo de papa diploide; sin calidad en el tubérculo, así sea alto potencial de rendimiento, el valor del producto es inferior por la baja aceptación del mercado y esto depende del manejo adecuado del cultivo, de la utilización de excelente semilla, de la selección del lote, del tipo de fertilización aplicada, del manejo de los patógenos y de la cosecha. Adicionalmente, las prácticas de generación de valor agregado tales como el lavado, la clasificación y el empaque, promueven precios más favorables y la satisfacción del consumidor final.

De otra parte, las industrias agroalimentarias demandan productos inocuos y con una oferta constante que satisfaga sus necesidades. En el caso de la papa diploide, se requieren ciertas características del tubérculo destinado a procesos de transformación industrial en presentaciones como papa precocida congelada, enlatada o envasada en conserva, papas fritas o chips, harinas precocidas y otros productos.



Conclusiones

Antes de sembrar se debe planificar e identificar las ventajas y desventajas de la zona y del predio en relación con los requerimientos climáticos, edáficos, sanitarios, de infraestructura, de productividad, entre otros, de acuerdo con la variedad y la época a sembrar. En la fase de planificación es importante acceder a una semilla de calidad, preferiblemente de la categoría certificada que garantice la sanidad y la productividad del cultivo. Así mismo, para la preparación del suelo se recomienda la implementación de labranza reducida que favorece la conservación del suelo como sucede con el guachado en algunas zonas del Departamento de Nariño.

Para la siembra se recomienda evitar realizarla en lotes contaminados por organismos fitopatógenos presentes en el suelo. Durante las épocas de sequía es importante aplicar riego suplementario en etapas de desarrollo como lo son: inicio de formación y diferenciación de tubérculos y llenado de los mismos, los excesos de humedad en el suelo, generados por lluvias o inundaciones, se deben evacuar mediante drenajes para evitar daños irreversibles en la calidad y en rendimiento. Adicionalmente, las dosis, épocas de aplicación y fuentes de correctivos y fertilizantes, deben estar acordes a las recomendaciones emitidas en los análisis de suelos.

El manejo fitosanitario es fundamental para proteger el cultivo con un adecuado manejo integrado de plagas y enfermedades (MIPE) en las diferentes etapas de desarrollo de las plantas y es prioritario conocer las medidas de prevención y control para decidir qué tipo de medida realizar en determinada fase de desarrollo del cultivo sea de tipo cultural, biológico, microbiológico, etológico o químico.

En el caso del control químico como estrategia de manejo fitosanitario, se debe tomar la decisión de aplicación después de haber acudido a las herramientas de diagnóstico y vigilancia. Para su uso se requiere seguir las instrucciones consignadas en la etiqueta, donde se describen la información general como el



nombre técnico del ingrediente activo, la concentración, la formulación, grupo químico, toxicología, y datos específicos como cultivo autorizado, dosis, épocas, frecuencias, posibles mezclas y período de carencia, entre otros.

El uso adecuado de agroquímicos y plaguicidas contribuyen a garantizar la inocuidad del alimento, en particular, dosis, épocas, frecuencias de aplicación y períodos de carencia deben ser considerados como prioritarios para evitar la presencia de residuos de moléculas y metabolitos que no superen los límites máximos permisibles.

La decisión de cosecha está en función de la madurez del tubérculo y las condiciones del ambiente y del mercado. En la recolección se recomienda hacer procesos detallados de selección y clasificación dirigidos a entregar tubérculos de alta calidad que satisfagan las necesidades de los consumidores. Existen muy pocas posibilidades de almacenamiento o demoras en la recolección de la cosecha, porque el tubérculo de papa diploide no tiene período de reposo o es muy corto; eventualmente, es posible acelerar la recolección cuando se induce la madurez comercial del tubérculo, pero es un riesgo retrasarla por ocasiona pérdidas por deterioro de la calidad del tubérculo.

Referencias

- Agronet (2020). *Reporte: área, producción y rendimiento nacional por cultivo. Cultivo de papa criolla 2009-2018*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>
- Alzate, L.G., Cerón, M.S., Espitia, E.M. y Coronel, B. (2017). *Papa Criolla Corpoica Sol Andina*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).
- Avilés Chaves, J. y Piedra Naranjo, R. (2017). *Manual del cultivo de papa en Costa Rica (Solanum tuberosum L.)*. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA).



- Bonilla Cortés, M.H., Cardozo Puentes, F. y Morales Castañeda, A. (2009). *Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de la papa en Colombia con énfasis en papa criolla*. MADR, CORPOICA, UNAL. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/12813>
- Contexto Ganadero. (2014). *Colombia tiene 5 nuevas variedades de papa*. <https://www.contextoganadero.com/agricultura/colombia-tiene-5-nuevas-variedades-de-papa>
- Food and Agriculture Organization [FAO]. (2010). *Asistencia a los países andinos en la reducción de riesgos y desastres en el sector agropecuario*. <http://www.fao.org/climatechange/25233-04bd095f1ea610a665f2d10f775006f52.pdf>
- Herrera, C., Fierro, L. y Moreno, J. (2000). *Manejo integrado del cultivo de la papa* (Manual técnico). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). <http://hdl.handle.net/20.500.12324/34707>
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2011). *Manejo fitosanitario del cultivo de la papa (Solanum tuberosum subsp. andigena y Solanum phureja): Medidas para la temporada invernal*. ICA.
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2015). Resolución 003168. 7/09/2015. Reglamenta y controla la producción, importación y exportación de semillas producto del mejoramiento genético para la comercialización y siembra en el país, así como el registro de las unidades de evaluación agronómica y/o unidades de investigación en fitomejoramiento. ICA. <https://www.ica.gov.co/getattachment/4e8c3698-8fcb-4e42-80e7-a6c7acde9bf8/2015R3168.aspx>
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2017a). Resolución 00011599. 23/09/2017. Registro de la variedad de papa criolla Corpoica-Sol Andina para la Subregión Natural Altiplano Cundiboyacense. ICA y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Colombia.



- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2017b). Resolución 00011600. 23/09/2017. Registro de la variedad de papa criolla Corpoica-Tiba para la Subregión Natural Altiplano Cundiboyacense. ICA y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Colombia.
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2018). Resolución 00020077. 01/02/2018. Modificación parcial de la Resolución 00011600 del 23/09/2017 de la variedad de papa criolla Corpoica-Tiba para la Subregión Natural Altiplano Cundiboyacense. ICA y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Colombia.
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2019a). Resolución 00017700. 5/11/2019. Registro de la variedad Agrosavia Oyanza para Región Andina, Subregión Nudo de los Pastos. ICA y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Colombia.
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2019b). Resolución 00017702. 5/11/2019. Registro de la variedad Agrosavia Alhaja para Región Andina, Subregión Nudo de los Pastos. ICA y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Colombia.
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2020). Resolución 0068122 20/05/2020. Modificación parcial a la Resolución ICA 1161 del 23/09/2017. Registro de la variedad de papa criolla Agrosavia Estrella. ICA.
- Lachman, J. y Hamouz, K. (2006). Red and purple coloured potatoes as a significant antioxidant source in human nutrition - a review. *Plant Soil and Environment*, 51 (11), 477-482. <https://doi.org/10.17221/3620-PSE>
- Malagamba, P. (1999). Fisiología y Manejo del tubérculo-semilla. En Centro Internacional de la Papa [CIP](Ed.), Producción de tubérculos-semillas de papa (Manual de capacitación, Fascículo 2.2). CIP.



- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2010). *Acuerdo de competitividad de la cadena agroalimentaria de la papa en Colombia*. MADR. <https://sioc.minagricultura.gov.co/DocumentosContexto/P008-NUEVO%20ACUERDO%20DE%20COMPETITIVIDAD%20PAPA.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2021). *Cadena de la papa*. Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales. Junio 2021. MADR. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Papa/Documentos/2021-06-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Mosquera, C. (2017). *Papa Criolla: Tubérculos y Cultivo* [Fotografía]. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/34143/RaicesTuberculos_PapaCriolla_SolAndina_Ventaquemada.jpg?sequence=1&isAllowed=y
- Navas, G.E. y Díaz, C.A. (2012). *Criterios para la evaluación y producción de la papa criolla para la industria*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Navas, G.E., Zapata, J.L., Díaz, C.A. y Tamayo, V.A. (2010). *Manejo técnico del cultivo de papa criolla con fines industriales*. Experiencia en el Departamento de Antioquia. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Ñústez, C.E. (2018). *Papas diploides: un legado ancestral para la agricultura en Colombia*. Grupo de Investigación en Papa. Facultad de Ciencias Agrarias. Bogotá. <http://www.papaunc.com/blog/papas-diploides-un-legado-ancestral-para-la-agricultura-en-colombia>
- Ñústez, C.E. y Rodríguez, L.E. (2020). *Papa criolla (Solanum tuberosum Grupo Phureja): Manual de recomendaciones técnicas para su cultivo en el departamento de Cundinamarca*. Corredor Tecnológico Agroindustrial, CTA-2.



- Ordoñez, E. (2007). *Efecto del sistema Guachado (Wachay) y uso del suelo sobre algunas propiedades físicas en la microcuenca del río Bobo, Departamento de Nariño* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira, Convenio con la Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/2460>
- Pérez, L.C., Rodríguez, L.E. y Gómez, M. I. (2008). Efecto del fraccionamiento de la fertilización con N, P, K y Mg y la aplicación de los micronutrientes B, Mn y Zn en el rendimiento y calidad de papa criolla (*Solanum phureja*) variedad Criolla Colombia. *Agronomía Colombiana*, 26(3), 477-486.
- Pérez, W. y Forbes, G. (2011). *Guía de identificación de plagas que afectan a la papa en la zona andina*. Centro Internacional de la Papa (CIP).
- Rodríguez, L.E., Núñez, C.E. y Estrada, N. (2009). Criolla Latina, Criolla Paisa y Criolla Colombia, nuevos cultivares de papa criolla para el Departamento de Antioquia (Colombia). *Agronomía Colombiana*, 27(3), 289-303.
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/13204/37297>
- Soto Garcés, A.M., Cotes Torres, J.M. y Rodríguez Caicedo, D. (2018). Modelo de simulación del crecimiento y desarrollo de la papa criolla. *Ciencia en Desarrollo*. 9(1), 9-20.
- Torres, H. (2002). *Manual de las enfermedades más importantes de la papa en el Perú*. Centro Internacional de la Papa (CIP).
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA]. (2016). *Cultivo comercial de papa- identificación de zonas aptas en Colombia, a escala 1:100.000*. <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/handle/11438/8630>
- Universidad Nacional de Colombia [UNAL]. (2020). *Variedades liberadas por la Universidad Nacional de Colombia. Variedades diploides*. <http://www.papaunc.com/variedades-liberadas-por-la-universidad-nacional-de-colombia>



- Zamudio, C. y León, T. (2008). Transferencia y adopción de prácticas de agricultura de conservación del “proyecto checua”, en los municipios de Caldas (Boyacá) y Nemocón (Cundinamarca). *Gestión y Ambiente*, 11(2), 149-162.
- Zapata, J. (2000). Manejo Integrado de las enfermedades de la papa. En C. Herrera, L. Fierro, y J. Moreno (Eds.), *Manejo integrado del cultivo de la papa* (Manual técnico, pp.130-141). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
<http://hdl.handle.net/20.500.12324/34707>
- Zapata, J.L., Navas, G.E., Tamayo, A.J. y Díaz, C.A. (2006). *Manejo Agronómico de la Papa Criolla para el procesamiento Industrial* (Boletín Técnico No. 19). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
<http://hdl.handle.net/20.500.12324/32759>



CAPITULO 4

Manejo de Plagas Según las Etapas de Desarrollo del Cultivo de Papa Diploide (*Solanum phureja* Juz. et Buk.)

Eduardo María Espitia Malagón¹, Nubia Liliana Cely Pardo¹

Nancy del Carmen Barreto Triana¹, Pedro David Porras Rodríguez²

Resumen

Las plagas afectan la papa diploide (*Solanum phureja* Juz. et. Buk.) en las diferentes etapas de desarrollo del cultivo y en la poscosecha del tubérculo. Por esto se propuso evaluar los posibles ataques de plagas desde la preparación del suelo y durante el ciclo vegetativo, planteando estrategias de manejo. Para el tiroteador y las chisas se recomiendan seguimientos de adultos en las semanas previas a la siembra, hasta el inicio de floración. En la siembra se debe contar con semilla libre de plagas, factor que contribuye al buen desarrollo de la nueva planta. Desde la emergencia del cultivo, el monitoreo permanente es indispensable para detectar oportunamente la aparición de plagas en el follaje, especialmente pulgilla y tostón, así como otras plagas. En esta fase inicial de cultivo se debe vigilar la entrada de adultos de tiroteador y gusano blanco por los bordes de los lotes. Las polillas de la papa se deben detectar oportunamente para lo cual es posible usar trampas con feromona sexual. El aporque oportuno, y que cubra completamente los tubérculos en formación, permitirá que éstos estén protegidos adecuadamente del ataque de las larvas de polillas. Buenos drenajes se deben mantener para evitar el daño por babosas. Un monitoreo a los tubérculos en formación permitirá detectar focos de ataques de polillas, tiroteador o de chisas. El tubérculo se debe seleccionar cuidadosamente si se utiliza como semilla. En todas las medidas de control se deben aplicar criterios de Manejo Integrado del Cultivo para mantener la fitosanidad en beneficio de los productores y los consumidores.

Palabras Clave: insectos dañinos, medidas fitosanitarias, métodos de control, prácticas agrícolas.

¹ Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Tibaitatá, Mosquera, Cundinamarca-Colombia.

² Ingeniero Agrónomo, Consultor Particular.



Abstract

Pests affect diploid potato (*Solanum phureja* Juz. et. Buk.) in the different stages of crop development and in post-harvest of the tuber. For this reason, it was proposed to evaluate possible pest attacks from soil preparation and during the vegetative cycle, proposing management strategies. For whitefringed beetle and white grub, monitoring of adults is recommended in the weeks prior to sowing, until the beginning of flowering. In sowing, pest-free seed must be available, a factor that contributes to good development of the new plant. From emergence of the crop, permanent monitoring is essential to promptly detect the appearance of pests in the foliage, especially flea beetles and leafminer fly, as well as other pests. In this initial phase of cultivation, the entry of whitefringed beetle and weevil adults through the edges of the lots should be monitored. Potato moths must be detected early, for which it is possible to use sex pheromone traps. The timely hilling, and that it completely covers the tubers in formation, will allow them to be adequately protected from the attack of moth larvae. Good drainage must be maintained to prevent slug damage. A monitoring of tubers in formation will allow to detect foci of attacks by moths, whitefringed beetle or white grub. Tuber must be carefully selected if used as seed. In all control measures, Integrated Crop Management criteria must be applied to maintain phytosanitary conditions for the benefit of producers and consumers.

Keywords: harmful insects, phytosanitary measures, control methods, agricultural practices.

Introducción

Las plagas que afectan el cultivo de la papa diploide producen daños de impacto variable, desde muy bajos e imperceptibles hasta muy altos, que afectan el rendimiento y la calidad en términos económicos para los agricultores. Mientras que las plagas que no generan daños económicos suelen pasar desapercibidas, las más perjudiciales requieren de mayor atención e implementación de medidas de control.



Existen diferentes enfoques para abordar las plagas: el Manejo Integrado de Plagas - MIP (dirigido a problemas fitosanitarios), el Manejo Integrado del Cultivo [MIC] (que involucra sus diversos componentes) y las Buenas Prácticas Agrícolas [BPA] (que incorporan, además, la inocuidad del producto cosechado, la salud del productor (con atención al trabajador) y del consumidor, y la preservación del medio ambiente). Los tres enfoques están muy relacionados y permiten manejar integralmente 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 términos de inocuidad, es decir tubérculos sin residuos de plaguicidas.

Por su amplitud, el enfoque BPA es el más integrador y para esto, tanto el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) como la Federación Colombiana de Productores de Papa (Fedepapa), han propuesto una serie de prácticas que permiten valorar aspectos administrativos, impacto ambiental, MIC (uso de semillas, fertilización, manejo de suelos y agua, labores culturales, plagas, enfermedades y malezas, manejo de plaguicidas), cosecha, poscosecha, mercadeo y aspectos sociales (Fedepapa et al., 2008; Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 2011).

Por consiguiente, se propuso evaluar los posibles ataques de plagas desde la preparación del suelo y durante el ciclo vegetativo, planteando estrategias de manejo y abordando de manera integral la ocurrencia, los hábitos y el manejo de las siguientes especies plaga: el gusano blanco *Premnotrypes vorax* (Hustache) y el tiroteador *Naupactus* sp. (Coleoptera: Curculionidae); las polillas de la papa (Lepidoptera: Gelechiidae) incluyendo la polilla guatemalteca *Tecia solanivora* (Povolný 1973) y la palomilla de la papa también conocida como “torimea” o “tomineja” *Phthorimaea operculella* (Zeller 1873); las chisas (Coleoptera: Melolonthidae) también llamadas mojoy o morrongo, incluyendo las especies *Ancognatha scarabaeoides* Erichson 1847, *Phyllophaga obsoleta* Blanchard y *Clavipalpus ursinus* Blanchard; los trozadores (Lepidoptera: Noctuidae), con las especies *Agrotis ipsilon* y *Feltia* sp.; el nematodo quiste o nematodo blanco *Glodobera pallida* (Stone) Beherens (Tylenchida: Heteroderidae); la mosca blanca



de los invernaderos *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Hemiptera: Aleyrodidae); el tostón, minador o entretelado *Liriomyza* spp. (Diptera: Agromyzidae); los áfidos o pulgones *Myzus persicae* (Sulzer) y *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas 1878) (Hemiptera: Aphididae); la pulguilla *Epitrix* sp. (Coleoptera: Chrysomelidae); el gusano alambre *Agriotes* sp. (Coleoptera: Elateridae); y las babosas *Deroceras reticulatum* (Müller), *Limax marginatus* (Müller), *Milax gagates* (Draparnaud), *Vaginulus* spp. (Gastropoda: Stylommatophora: Limacidae y Veronicelidae).

Estos organismos, en su mayoría insectos, se presentan en diferentes etapas del cultivo, y están favorecidos tanto por las condiciones ambientales como también por el manejo agronómico que se implemente. Esta combinación de efectos determina los niveles de daño y las correspondientes pérdidas producidas en el cultivo.

Metodología

La literatura relacionada con investigación, desarrollo, extensión y transferencia en papa diploide afín a plagas, generada por diferentes fuentes públicas y privadas en Colombia, se revisó y se analizó la importancia de cada tema más su pertinencia para la publicación.

Las principales plagas en cultivo y poscosecha que afectan la papa diploide o criolla se identificaron para priorizar las de mayor impacto económico. Además, el estado del arte sobre la biología y las estrategias de manejo y control se revisó para consolidar información útil y actualizada.

Así mismo, se concertó una presentación novedosa e integral para el capítulo, diferente a la oferta tecnológica tradicional que describe cada plaga, su biología, hábitos y manejo de forma separada. Para ello, se decidió mostrar cada plaga relacionándola con tres fases, así:

- Primera, previa a la siembra.
- Segunda, durante el desarrollo fenológico del cultivo de la papa criolla, con base al estudio realizado por Valbuena et al. (2010).
- Tercera, en la poscosecha.



Y en cada fase se analizaron las estrategias de manejo y control fitosanitario.

Análisis Primera Fase

Preparación del Suelo para la Siembra

La decisión de siembra del tubérculo semilla abarca aspectos de diagnóstico sanitario tanto de la zona como del predio a cultivar. Para tal fin, es necesario hacer un recorrido en la localidad donde se desea establecer el cultivo, con el ánimo de evaluar factores de riesgo asociados a insectos dañinos presentes en lotes vecinos o reportados por los agricultores en cosechas anteriores.

Teniendo en cuenta que las estrategias de Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades (MIPE) se aplican para que los niveles de organismos dañinos en los cultivos no causen daño económico, la prevención es una de las principales herramientas y las prácticas culturales pueden generar algunas condiciones adversas para las plagas. La planificación e implementación de estas prácticas culturales se deben definir para cada localidad según la ocurrencia de gusano blanco de la papa, tiroteador, polillas de la papa, chisas, trozadores, nematodos y babosas, entre otras. Así mismo, se reportan prácticas como el establecimiento de trampas e inspecciones que permiten confirmar su presencia y ubicar fuentes de infestación.

A nivel de lote, es necesario conocer su historial de uso, en particular, el tiempo entre la última cosecha de papa y la nueva siembra. Si antes del cultivo se han establecido barbechos, descansos prolongados en pastoreo o cultivos diferentes a solanáceas, éstos pueden representar un menor riesgo de encontrar plagas que puedan llegar a atacar el cultivo. En contraste, si el cultivo inmediatamente anterior fue papa, se genera un mayor riesgo de presencia de las plagas, gracias al refugio y al alimento que se encuentra aún enterrado, y a la aparición de toyas³. En caso de presentarse esta última situación, con restos de una

³ Toyas son plantas espontáneas de papa que aparecen en un cultivo, pero no corresponden a las semillas de ese cultivo sino a tubérculos de la cosecha anterior que dan lugar a nuevas plantas.



cosecha que tuvo ataque de plagas y enfermedades, se recomienda hacer una exhaustiva recolección de esos residuos o abstenerse de una nueva siembra de papa, posponerla o hacer rotación de cultivos.

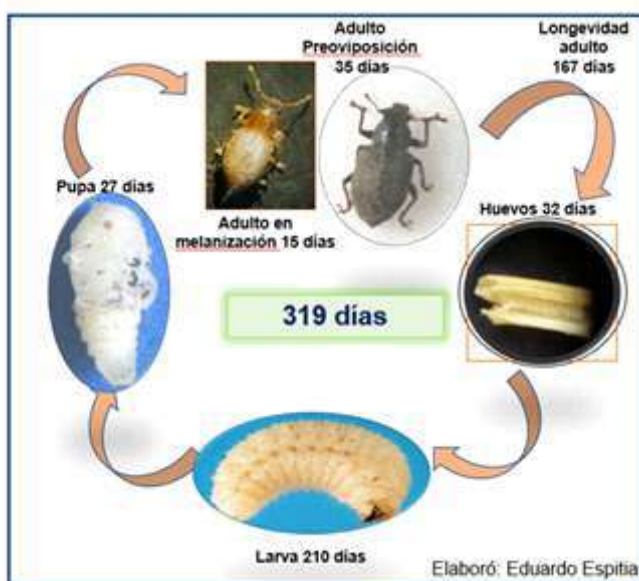
El tiroteador es una de las plagas clave en la fase de preparación para la siembra. Es un insecto coleóptero que tiene metamorfosis completa y sus cuatro estados de desarrollo transcurren en un ciclo de vida que dura, en un promedio, 319 días, bajo condiciones controladas en la Sabana de Bogotá (Colombia). La actividad de los adultos (que darán lugar a las larvas que dañan la cosecha) comienza en el lote incluso semanas antes de la siembra (Garza, 2006). Es un insecto polífago⁴ que ataca plantas de cultivo como la papa, las hortalizas y las gramíneas (Rodríguez y Espitia, 2006). Algunos estados biológicos de este insecto tienen similitudes con el gusano blanco, tanto en su aspecto, como en su comportamiento.

Las posturas (Figura 4.1) se pueden encontrar en grupos protegidos en restos de tallos secos de gramíneas. Las larvas (Figura 4.1) son de tipo curculioniforme⁵ y su apariencia es muy similar a la del gusano blanco, diferenciándose de ésta en que la del tiroteador carece de cápsula cefálica y en cambio tiene las mandíbulas muy desarrolladas. Las larvas no crecen dentro de los tubérculos, sino que tienen vida libre en el suelo, por lo cual pueden dañar diferentes tubérculos. El adulto (Figura 4.1), al igual que el de gusano blanco, tiene actividad nocturna; se alimenta de los folíolos de la planta de papa y produce en el borde de ellos un daño por mordeduras en forma de medialuna (Figura 4.2).

⁴ Insecto polífago es aquel que consume una gran variedad de alimentos.

⁵ Curculioniforme es un tipo de larva áptoda, de aspecto robusto y generalmente curvada, cabeza bien diferenciada y quitinizada, característica de las familias Curculionidae, Bruchidae y de algunas otras familias del orden Coléoptera.



Figura 4.1Ciclo de vida de tiroteador (*Naupactus sp.*)

Nota. Elaborado por Eduardo Espitia y fotografías tomadas por Maria V. Zuluaga y Jennifer Garza.

Figura 4.2

Daño tiroteador en follaje de plantas de papa



Nota. Fotografía tomada por Jennifer Garza

Si se realizan siembras consecutivas de papa, la recolección de residuos de cosecha (tubérculos de descarte) se constituye en la principal práctica de manejo. La preparación del lote y la remoción del suelo (aradas y pulidas), permite exponer diferentes estados biológicos de las plagas como huevos, larvas y pupas, que son



afectados por la radicación solar, la deshidratación o el consumo por aves. Esta labor permite, además, desenterrar tubérculos y facilita su recolección para evitar que continúen su brotación como toyas y sean refugio y alimento para gusano blanco, tiroteador y polillas de la papa, disminuyendo así las poblaciones iniciales de estas plagas. La exposición de chisas y larvas de gusano alambre o espartillo, con el volteo de los suelos, es una importante estrategia para su manejo (Castellón, 2011; Sánchez et al., 2000).

Esta práctica también contribuye al manejo de los nematodos para mantenerlos en niveles de población tan bajos que hacen imperceptible su daño (Smith et al., 1997) dado que éstos se encuentran en la capa arable del suelo (hasta 15 cm de profundidad) y que las condiciones ambientales de temperatura y humedad, además de la aireación del suelo pueden afectar su supervivencia y movimiento (Evans, 1968).

En esta etapa es importante detectar la presencia de adultos de polilla guatemalteca, mediante el uso de trampas con feromona sexual, que se describe más adelante. Desde el inicio del cultivo (preparación del terreno) se recomienda colocar 4 trampas/ha en los bordes del lote y realizar conteo de adultos capturados semanalmente. Esto permitirá establecer oportunamente la presencia del insecto, identificar posibles fuentes de infestación (papa almacenada, toyas o residuos de cosecha en lotes aledaños, cultivos de papa cercanos en estado de floración o llenado de tubérculos) y así tomar medidas preventivas eficientes.

La rotación de cultivos es muy favorable para el manejo de plagas monófagas⁶ como el gusano blanco o la polilla guatemalteca. Pero no lo es tanto para plagas polífagas como las chisas o el tiroteador. A diferencia del gusano blanco, el tiroteador es un insecto polífago, para el cual se ha confirmado su acción sobre las especies arvenses y cultivadas como: pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinum*), lengüilla (*Rumex acetocella*), haba (*Vicia faba*), trigo (*Triticum aestivum*), arveja (*Pisum sativum*), maíz (*Zea mays*) y avena (*Avena sativa*) (Rodríguez y Espitia, 2006).

⁶ Plagas que se alimentan de un solo tipo de alimento.



Las arvenses, además de competir con el cultivo por recursos como nutrientes, agua, luz y espacio, pueden ser hospederos alternos tanto de plagas como de enfermedades. Por esta razón, en el manejo integrado de las plagas, la eliminación de estas plantas en presiembra, se convierte en una práctica muy adecuada para el futuro cultivo de la papa. Antes de la siembra es conveniente realizar un control de las arvenses clave: las que son hospederos alternos del tiroteador; y las que son hospederos de la mosca blanca de los invernaderos: lengua de vaca (*Rumex crispus*), corazón herido (*Polygonum nepalense*), barbasco (*Polygonum segetum*), vinca o cortejo (*Catharanthus roseus*), ruda amarilla (*Ruta graveolens perenne*), diente de león (*Taraxacum officinale*), llantén (*Plantago major*), batatilla (*Ipomoea purpurea*), cenizo (*Chenopodium* sp.) y ortiga (*Urtica* sp.), entre otras, y a su vez, del virus del amarillamiento de las venas (PYVV) (ICA, 2020a). El manejo de la mosca blanca es determinante para reducir la transmisión horizontal, del virus, la cual se suma a la transmisión vertical, a través del tubérculo-semilla (Salazar et al., 2000). Así mismo, la yerba mora (*Solanum nigrum*) y malva (*Malva* spp.) que son hospederas alternas de áfidos o pulgones transmisores de virus.

Debido principalmente a su largo ciclo de vida y a la sincronía con factores climáticos como las lluvias, las chisas son una importante plaga por considerar desde la etapa de preparación. Estos insectos tienen una amplia distribución en las zonas paperas, pero han suscitado especial atención en los Departamentos de Antioquia y Nariño.

Las chisas son un complejo de especies de escarabajos de la familia *Melolonthidae*. En cada región puede variar el número de especies presentes por lo cual se requiere identificar cuáles de ellas están presentes a nivel local. Según las especies presentes pueden variar las épocas del año en que representan riesgo, la duración de sus ciclos de vida y por ende las medidas de control. Aspectos detallados sobre las chisas más importantes en papa, su descripción, diferenciación, identificación de géneros (a nivel de larvas) y características



diferenciales relacionadas con el manejo se pueden encontrar en Sánchez et al. (2000). Aquí se resaltan las más importantes por los daños ocasionados en el cultivo de papa reportados en el país.

En las zonas productoras en Colombia, las especies que más se han reportado son: *Ancognatha scarabaeoides* Burmeister, *A. ustulata* (Burmeister), *A. vulgaris* Arrow, *Phyllophaga obsoleta* Blanchard y *Clavipalpus ursinus* Blanchard (Sánchez et al., 2000). Los ciclos de vida de varias de las especies corresponden a las condiciones climáticas: los adultos aparecen con la llegada de las lluvias.

Los adultos hembras se valen de sus cuerpos robustos, para penetrar el suelo buscando un sitio para la oviposición (Sánchez et al., 2000). Las larvas recién nacidas tienden a ser de color blanco traslúcido y poseen largas setas; tienen forma de C. Pasan por tres instares a lo largo de los cuales mantienen la forma del cuerpo, aumentando su tamaño y especialmente el del abdomen.

Pueden llegar a medir hasta 50 mm. Tienen patas torácicas largas, y la cápsula cefálica y las mandíbulas, fuertemente esclerotizadas. Los patrones de la disposición de setas y ganchos en su parte anal, son usados para diferenciar entre géneros de este grupo de insectos (Sánchez et al., 2000). Las larvas tienen vida libre y es en este estado en el que pueden causar daño a los tubérculos de papa. Al completar su máximo crecimiento dejan de alimentarse, se profundizan en el suelo, forman una cámara pupal en el cual se transforman en pupa. La pupa es de tipo exarata⁷ (Figura 4.3) y deja ver la disposición que tendrán algunas partes del futuro adulto. Los estados inmaduros que permanecen en el suelo pueden quedar expuestos cuando se hace volteo de éste.

⁷ Exarata es un tipo de pupa en la cual los apéndices no están adheridos al cuerpo pupal. Pueden observarse en algunos de los insectos del orden Coleóptera, Himenóptera y Neuróptera.



Figura 4.3Ciclo de las chisas (*Ancognatha scarabaeoides*)

Nota. Fotografías tomadas por Martha Londoño, Carolina Díaz y Yuly Sandoval

La diferenciación de especies también se hace evidente en el estado adulto: *A. scarabaeoides* tiene una longitud promedio de 2,5 cm y son de color negro brillante; *A. ustulata* y *A. vulgaris* tienen la misma longitud, pero su coloración es amarillo opaco con manchas negras sobre el protórax⁸ y los élitros⁹. *P. obsoleta* son de color amarillo opaco con el pronoto¹⁰ de color marrón y miden 1,8 cm (Sánchez et al., 2000). Hay un marcado dimorfismo sexual, que se evidencia, en general, con el abdomen de las hembras más desarrollado y con las patas anteriores de los machos adaptadas para agarrar.

Los huevos tienen un período de incubación aproximado de 30 días. Las larvas duran varios meses, por lo que en el caso del cultivo de la papa diploide pueden atacar tubérculos siempre que ellos estén en el suelo. Después de la cosecha, la fase de pupa dura algunos meses más y así el insecto completa un ciclo de vida, que puede ser anual, hasta la llegada de las siguientes lluvias.

⁸Protórax es la porción anterior (hacia la cabeza) del tórax de los insectos.

⁹Élitro es la estructura de protección del cuerpo de los insectos, ubicadas en el tórax. Anatómicamente corresponden a las alas anteriores modificadas en estructuras fuertemente quitinizadas.

¹⁰Pronoto es la zona posterior a la cabeza y la más visible del tórax de un coleóptero.



Los adultos emergen del suelo y buscan actividad para alimentarse y copular principalmente en horas de la noche. Son especialmente atraídos por la luz negra y la amarilla, por lo cual son utilizadas trampas para su captura (descritas más adelante en el apartado uso de trampas). En el cultivo de la papa, los adultos pueden llegar a consumir follaje, sin alcanzar un umbral de daño económico. En altitudes superiores a 2.500 msnm la especie más predominante es *Clavipalpus pos ursinus* (Sánchez et al., 2000).

La larva es el estado que causa el daño directo en los tubérculos, produciéndoles mordeduras amplias en la superficie que dejan expuesta la carne del tubérculo a manera de raspado. Al ser insectos polífagos, la papa no es su alimento preferido y pueden alimentarse de las arvenses presentes en el lote.

Las chisas tienen enemigos naturales entre los que se destacan el hongo *Metharizium anisoplie* y la bacteria *Bacillus popilliae* (Sánchez et al., 2000).

Estrategias de Manejo de Plagas en la Preparación para la Siembra. Se recomienda realizar las siguientes actividades:

- Revisar el historial del lote y de lotes vecinos con respecto a la incidencia de plagas. Esto permite implementar adecuadamente las medidas de manejo.
- Hacer volteo del suelo durante el laboreo con el fin de exponer los estados inmaduros (huevos, larvas o pupas) de plagas presentes como gusanos blancos, chisas, polilla, pulguilla y babosas. De esta manera los individuos quedarán expuestos a elementos climáticos como radiación directa del sol, lluvia y viento; así como a la acción de enemigos naturales especialmente aves.
- Si en la preparación y laboreo del suelo se encuentran individuos afectados por enemigos naturales (larvas de chisas o de gusanos blancos afectados por entomopatógenos, por ejemplo) se debe evitar al máximo la aplicación de fungicidas sobre ellos y procurar hacer labranza de conservación (López-Ávila y Espitia-Malagón, 2000; Sánchez et al., 2000).



- Iniciar el seguimiento de las plagas como chisas y tiroteador mediante el uso de las trampas descritas en este capítulo.
- En áreas húmedas o para épocas de mayor precipitación, realizar preparación profunda que permita hacer surcos más altos.

Siembra

Para el establecimiento del cultivo el productor debe decidir cuál variedad emplear. Esta elección no afecta directamente el manejo fitosanitario del cultivo de papa diploide pues no se ha reportado que exista resistencia a plagas en las variedades registradas en Colombia. Sin embargo, las diferencias en rendimiento y otras bondades agronómicas, pueden compensar de manera diferencial las pérdidas atribuidas a daños de plagas. En Colombia se encuentran registradas ante el ICA, 13 variedades de papa diploide amarilla redonda (ICA, 2020b) que, aunque no reportan resistencia a plagas, sí tienen diferencias en sus rendimientos.

Diversos estudios confirman la susceptibilidad del cultivo de papa diploide a algunos insectos plaga. Cely et al. (2014), Eraso y Echevarría (1998) y Cañón (1999) al evaluar variedades de papa comercial sembradas en Colombia (tanto *S. tuberosum* subsp. *andigena* como *S. phureja*) afirman que estos materiales no exhiben resistencia o tolerancia a la polilla guatemalteca y en cambio resaltan que la papa diploide es de las más susceptibles al ataque del insecto. Igualmente, Bonilla y Pérez (2010), encontraron que la variedad Criolla Colombia es una variedad altamente susceptible al ataque de gusano blanco y relacionan esta característica con el color claro, textura blanda y su alto contenido de azúcares de los tubérculos. La papa diploide en Colombia es altamente susceptible al nematodo quiste *Globodera pallida* (Arciniegas et al., 2012; Vallejo et al., 2021). Así mismo, Arciniegas (2003) evidencia que la papa diploide es uno de los cultivares más susceptibles al virus PVV, por lo que se hace necesario el control de su vector, la mosca blanca de los invernaderos.

La calidad de la semilla es decisiva para alcanzar una óptima productividad. Los tubérculos destinados para semilla deben provenir de cultivos sanos (libres de virus y enfermedades), vigorosos y productivos. La selección es un



proceso determinante para descartar los tubérculos con daños o con presencia de insectos vivos, especialmente larvas de polillas o de gusano blanco, evitando así la infestación en el lote de siembra. Aunque la semilla de papa diploide no tiene reposo o es muy corto en variedades recientemente entregadas a los agricultores en Colombia y no existen prolongados tiempos de almacenamiento en comparación con los tres meses (que requieren como mínimo los genotipos de *S. tuberosum* subsp. *andigena*) la exposición de semilla de papa diploide a plagas como áfidos o polillas de la papa, sea de un mes (o hasta dos, en variedades como Criolla Galeras y Criolla Guaneña), es conveniente tratar los tubérculos con productos químicos o biológicos, con registro ICA, en formulación para espolvoreo (Porras y Herrera, 2015). En la siembra es recomendable tapar la semilla con suficiente suelo que le sirva como una barrera física al ingreso de la plaga lo que contribuye a la protección de los estolones cuando se inicie (más adelante en el ciclo de cultivo) la diferenciación y llenado de los tubérculos.

Para que las plantas estén en mejores condiciones de soportar ataques de plagas se debe fertilizar de manera eficiente, de acuerdo con las recomendaciones del análisis de suelo. Se deben evitar tanto las deficiencias como los excesos. Es importante evitar el exceso de nitrógeno edáfico o foliar que al producir un desarrollo vegetativo exagerado promueve el ataque de plagas del follaje como pulgilla, tostón, mosca blanca y áfidos. Así mismo, el desarrollo excesivo de área foliar impide una adecuada cobertura de los productos para la protección fitosanitaria.

Cuando se hace uso de materia orgánica como suplemento de la fertilización química o mejorador de las condiciones físicas y biológicas del suelo, es necesario que este material se encuentre adecuadamente compostado para evitar la propagación de organismos fitopatógenos o que se induzca la presencia de plagas como nematodos (Herrera et al., 2000). Las toyas de papa que aparecen en el lote son las primeras en verse afectadas: en la parte aérea usualmente por el tostón y la pulgilla y en el tubérculo, por las polillas de la papa.



Esto se debe a que son plantas que no tienen manejo agronómico en fertilización, sanidad o labores culturales y que emergen en tiempo diferentes con lo que las plagas tienen alimento asegurado.

Dentro de las plagas clave, cuyo manejo es importante en la etapa previa a la siembra, está el gusano blanco. De esta plaga, la larva es la que causa el daño de importancia económica (Figura 4.4). El ciclo de vida desde huevo hasta alcanzar el estado de adulto puede durar entre 85 y 170 días (Figura 4.5); los adultos llegan a vivir hasta un año, la duración del ciclo de vida depende de las condiciones de altura sobre el nivel del mar, la humedad del suelo y la disponibilidad de alimento (López-Ávila, 2000; Pérez-Álvarez et al., 2009). Específicamente se ha reportado que, en individuos alimentados con tubérculos de papa diploide, en condiciones de cuartos de cría, se registró una supervivencia de 35,6% y una duración del ciclo de $92,3 \pm 9,4$ días (Pérez-Álvarez et al., 2009).

Figura 4.4

Daño en tubérculo de gusano blanco de la papa (Premnotrypes vorax)



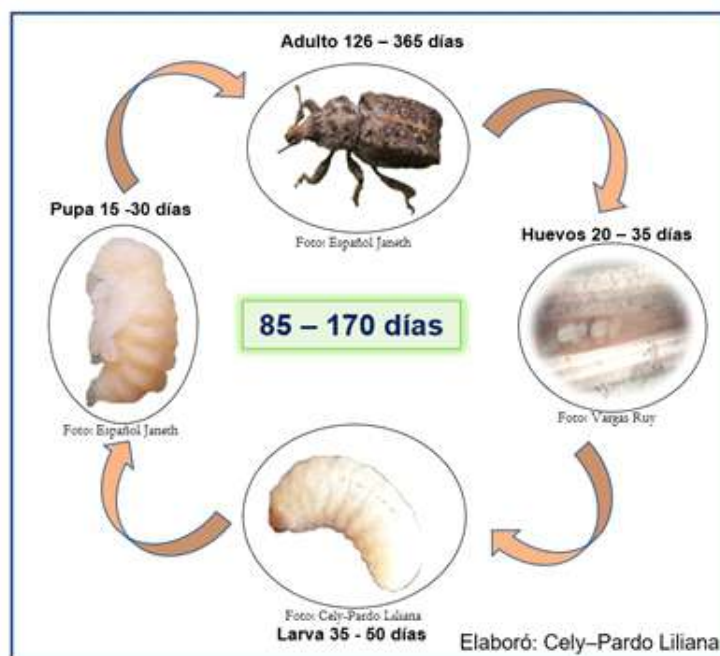
Nota. Fotografías tomadas por Janet Español

La longevidad de las hembras de gusano blanco es de aproximadamente 154 días. Inician la oviposición cerca a los 14 días de emergencia y pueden poner un poco más de 340 huevos en un período de 90 días (Pérez-Álvarez et al., 2009). Lo anterior permite deducir que el cultivo de papa está expuesto a la plaga desde la etapa de formación de los tallos principales hasta la cosecha, suministrando alimento para todos los estados de desarrollo del insecto (Figura 4.26). Por esta razón es importante hacer la detección y seguimiento de las poblaciones de los adultos, mediante el uso de trampas de paso o de caída (más adelante se expone sobre trampas para gusano blanco y tiroteador).



Figura 4.5

Ciclo biológico de gusano blanco (*Premnotrypes vorax*)



Nota. Elaborado por Liliana Cely-Pardo y fotografías tomadas por Janeth Español, Ruy Vargas y Liliana Cely-Pardo. Basados en Sánchez et al. (2000)

Los adultos del gusano blanco y del tiroteador tienen hábitos de defensa que dificultan la ventana para el control: simulan estar muertos (tanatosis) cuando perciben riesgos y sus posturas están protegidas en tallos secos de gramíneas (Garza, 2006). El adulto de gusano blanco de la papa es de hábitos nocturnos y el ser un gran caminador lo hace muy efectivo en la colonización de nuevos lotes.

Una alta humedad en el suelo puede favorecer la acción de enemigos naturales del gusano blanco de la papa. Varios estudios han reportado microorganismos entomopatógenos que afectan principalmente a las larvas. Naturalmente se han encontrado los hongos *Paecilomyces fumosoroseus*, *Metarhizium anisopliae*, *Beauveria brongniartii* y *B. bassiana* (Villamil et al., 2016; Villamil et al., 2015). Estos hongos entomopatógenos afectan larvas y adultos del gusano blanco y se pueden encontrar individuos afectados cuando las condiciones de humedad y de ausencia de fungicidas en el suelo, lo permiten.



Existe una relación entre la planta de papa y el adulto del gusano blanco, el cual se desplaza hacia el cultivo por efecto de las kairomonas¹¹; es por ello que los ataques inician en las orillas gracias a que estos individuos caminan en la noche buscando alimento (en este caso follaje) y asegurar que sus larvas puedan ingerir tubérculo. En los lotes en los que se repite el cultivo con la plaga presente, se tendrá un daño más generalizado que el de focos en orillas en lotes nuevos. El ataque de gusano blanco de la papa está muy relacionado con la temperatura. Su presencia y daño de mayor importancia en zonas altas por encima de 2.900 msnm, y menor impacto en zonas más bajas, con mayor temperatura, por ejemplo, de la Sabana de Bogotá (Colombia).

En el estado adulto e inmaduro también afectan la semilla los áfidos al succionar los brotes y pueden transmitir virus lo que puede afectar su calidad y por ende el futuro cultivo. Los áfidos son insectos chupadores y polífagos. Es una plaga de especial cuidado en zonas dedicadas a la producción de tubérculos semilla por el potencial en la transmisión de virus. Puesto que las poblaciones de áfidos son más frecuentes en zonas bajas, la semilla es generalmente producida en zonas de mayor altitud.

Las especies más comunes son: *Myzus persicae* (Pulgón verde de la papa), *Macrosiphum euphorbiae* y *Rhopalosiphum* sp., conocido también como áfido de la raíz (Fedepapa, 2005).

El principal impacto de los áfidos tiene que ver con la transmisión de virus. Se destaca *Myzus persicae* como la especie más importante como transmisora del virus del enrollamiento de las hojas PLRV (*Potato leafroll virus*)¹², siendo los tubérculos semilla infectados el medio de diseminación de virus en lotes de todas las zonas de Colombia y ocasionando disminución en la producción (Zapata, 2004).

¹¹ Kairomona es un compuesto volátil producido por un organismo (en este caso la planta), que es percibido por otro organismo que se beneficia (el insecto).

¹² Acerca del PLRV se tratará en detalle en el capítulo de enfermedades.



Estrategias de Manejo de Plagas en la Siembra.

Para el manejo de estas plagas se sugieren las siguientes acciones:

- Protección de tubérculos semilla mediante tratamiento con plaguicidas registrados para el cultivo de la papa, especialmente contra polillas y áfidos.
- Asegurar las medidas de protección para materiales con mayor tiempo de reposo como las variedades registradas Criolla Guaneña y Criolla Galeras.
- Realizar al momento de la siembra el tapado de la semilla en el menor tiempo posible. Hacer una siembra profunda, con suficiente suelo para un completo cubrimiento que debe ser al menos el triple del diámetro medio de la semilla.
- Permitir la acción de depredadores sobre larvas de chisas si se presentan en esta etapa y, de ser posible, hacer recolección de ellas.
- Colocar trampas de paso o de caída para seguimiento de adultos de gusano blanco.

Análisis Segunda Fase

Las siguientes etapas fenológicas del cultivo de papa diploide, sobre las cuales se continua la descripción de la ocurrencia de plagas y su manejo, corresponden a las descritas por Valbuena et al. (2010), quienes reportan cinco etapas conforme a la escala BBCH.¹³

Etapa Fenológica 1

Esta etapa, de acuerdo con Valbuena et al. (2010), comprende el desarrollo de los brotes del tubérculo-semilla y la emergencia de estos, sobre la superficie del suelo. En esta etapa inicia la diferenciación de raíces y muy temprana de los primeros estolones. La planta aún depende en gran medida de las reservas de la semilla (Figura 4.6).

Después de la siembra, el ambiente condiciona en gran medida el desarrollo del cultivo. Con el despliegue de los primeros folíolos sobre la

¹³ La escala extendida BBCH (Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und CHemische Industrie) es un sistema decimal de dos dígitos, que codifica los estadios fenológicos de las plantas monocotiledóneas y dicotiledóneas.



superficie del suelo, se puede iniciar el ataque de plagas del follaje tales como pulguilla, tostón, torimea, áfidos y trozadores (Figura 4.26). El daño de estos insectos se puede ver favorecido por condiciones de sequía y presencia de toyas. Por otra parte, en épocas húmedas y en suelos con alto contenido de materia orgánica, se presentan ataques de babosas en brotes y hojas de plantas recién emergidas (ICA, 2011).

Figura 4.6

Etapa 1. Desarrollo de tallos principales



Nota. Valbuena et al. (2010)

Suelen aparecer en las plantas recién emergidas unas perforaciones profusas que pueden afectar gravemente el desarrollo de las plantas en crecimiento. Este daño es causado por la pulguilla. Los adultos son pequeños cucarrones brillantes de forma casi oval con antenas largas, de color negro a café de 2 a 3 mm de longitud. Los adultos saltan de hoja a hoja a corta distancia. Se alimentan de los tejidos más jóvenes de las plantas. El daño se manifiesta en pequeños orificios redondos de 1 a 1,5 mm de diámetro (Figura 4.7); cuando las hojas atacadas crecen, los orificios crecen en diferentes tamaños –a manera de colador- o cicatrices redondas y claras en el haz de los folíolos (ICA, 2011).



Figura 4.7

Daño de pulguilla (*Epitrix* sp.) en follaje de plantas de papa



Nota. Fotografía tomada por Janeth Español

Poblaciones abundantes del insecto pueden destruir gran parte del área foliar en plantas de hasta 30 días. En este período las inspecciones deben hacerse cada tercer día, especialmente en época seca cuando aumenta la población y el daño (ICA, 2011). Los adultos pueden también ser detectados mediante el uso de la red entomológica o jama.

Otra plaga del follaje y de ocurrencia esporádica es la torimea, que durante esta fase del cultivo puede atacar los brotes recién emergidos (López, 1981), en épocas secas, con lo que también se podría afectar el número de tallos por sitio de siembra.

La palomilla actúa esporádicamente como minador de hojas, como barrenador de tallos o como barrenador de tubérculos (Figura 4.8a y 4.8b) (López, 1981). Es también una especie de la familia *Gelechiidae*. Al igual que la polilla guatemalteca es muy favorecida por épocas secas, pero se diferencia de ella en que tiene varios hospedantes, una amplia distribución geográfica y afecta diferentes cultivos y plantas arvenses. El seguimiento poblacional de adultos machos mediante la captura en trampas con feromona sexual se constituye en una medida de manejo integrado para la toma de decisiones de control (López, 1981).



Figura 4.8

Daño de torimea (*Phthorimaea operculella*), (a) semillas, (b) follaje de plantas de papa



Nota. Fotografías tomadas por Isabel Cusgüen

En condiciones del Departamento de Cundinamarca, la plaga completa una generación cada dos meses (unas ocho generaciones durante un año) (López, 1981). En condiciones de la Sabana de Bogotá (Colombia) el ciclo de este insecto dura entre 45 y 50 días (López, 1981) (Figura 4.9).

Figura 4.9

Ciclo de vida de torimea (*Phthorimaea operculella*)



Nota. Elaborado por Liliana Cely-Pardo y fotografías tomadas por Janeth Español, Liliana Cely Pardo y Maite Santisteban (2011). Basados en López-Ávila (2000)



De acuerdo con la descripción que reportan Sánchez y Giraldo (2001), este insecto completa hasta cuatro generaciones en variedades de papas de *S. tuberosum* subsp. *andigena*. Por lo anterior, en papa diploide se podrían presentar unas tres generaciones en un ciclo de cultivo: la primera, taladrando los brotes tiernos de las plantas de papa recién emergidas; la segunda generación actuando como minador de hojas o como barrenador de tallos y la tercera generación barrenando tubérculos, especialmente los más superficiales.

Los trozadores corresponden a las larvas de polillas de la familia *Noctuidae* (Figura 4.10). Son insectos muy voraces que actúan durante la noche. Cortan los tallos a medida que van emergiendo lo cual retrasa el crecimiento del cultivo, el cual se puede recuperar por la capacidad de rebrote de la planta de papa. Cuando alcanzan su máximo tamaño pueden actuar sobre plantas pequeñas y causar un daño de consumo de follaje que corta tallos o disminuye el área foliar (López-Ávila, 2000). Atacan generalmente en focos y su número se incrementa además en presencia de pastos, malezas gramíneas o residuos de cosechas anteriores (López-Ávila, 2000). Los adultos son pequeñas polillas que en el día se esconden bajo residuos de cosecha, terrones, malezas y hojas secas. En altas poblaciones de trozadores, es crítico el daño que se pueda ocasionar en esta etapa del desarrollo fenológico del cultivo de papa diploide (Figura 4.26).

Figura 4.10

Larva de trozador (*Lepidoptera: Noctuidae*) en la típica posición de rosquilla



Nota. Fotografía tomada por Tito Bacca



En esta etapa también pueden atacar los áfidos que afectan el área foliar (Figura 4.11), se localizan en los brotes tiernos chupando la savia, producen ligeras deformaciones y entorchamientos de las hojas, lo que afecta el desarrollo normal de la planta. Poblaciones altas producen exudados en los que se desarrolla un hongo denominado Fumagina. Sólo condiciones extremas, principalmente de sequía, permiten la aparición de los áfidos en niveles de importancia económica; sin embargo, hay que recordar que pueden transmitir virus. Colonias abundantes, además de succionar savia, pueden producir deformaciones. Se han reportado enemigos naturales como avispitas, hongos, crisopas, los cuales pueden detener o afectar su desarrollo (Fedepapa, 2005).

Figura 4.11

Colonias de áfidos (Hemiptera: Aphididae) en plantas de papa en el envés de hojas y folíolos en formación



Nota. Fotografía tomada por Janeth Español

Estrategias de Manejo de Plagas en la Etapa Fenológica 1. Para esta etapa es importante considerar:

- Eliminación de toyas que son las plantas más susceptibles al ataque de plagas dado que son las primeras en emerger y no tienen manejo agronómico, así como recoger los demás residuos de cosecha que sirven de refugio y alimento a otros organismos fitopatógenos.



- Detección y monitoreo de pulguilla y tostón mediante la observación del daño y el uso de jama o red entomológica, para la vigilancia de poblaciones. La valoración de adultos se hace con red entomológica preferiblemente en horas de la mañana: en 10 pases dobles de jama, desde la emergencia hasta el comienzo de floración, si se capturan 10 adultos en 10 pases dobles, se justifican medidas de control. Las poblaciones de pulguilla se determinan visualmente en las partes intermedias y más jóvenes de las plantas, mediante conteo de orificios por foliolo y por planta; si se encuentra en promedio, más de una pulguilla por cogollo, se recomienda el uso de riego o el control con insecticidas.
- Instalación de trampas amarillas pegajosas para áfidos, pulguilla y tostón, haciendo lecturas y renovación de éstas, semanalmente (se describen más adelante en trampas amarillas).
- Detección y monitoreo de babosas y trozadores mediante observación de plantas.
- Cebos y trampas para babosas y trozadores (se describen en uso de cebos).
- Uso de riego para disminuir presencia de pulguilla, tostón y ataques tempranos de mosca blanca y áfidos.
- Seguimiento a presencia de gusano blanco y tiroteador mediante trampas de paso y de caída (descritas en la sección: trampas para gusano blanco y tiroteador), así como observación del daño del adulto (mordeduras en forma de medialuna en los folíolos de las plantas), haciendo recorridos en bordes de lotes nuevos o generalizado en lotes de siembra continua.
- Seguimiento de trampas de polilla guatemalteca y de torimea (más adelante se describe en trampas con feromona para polillas de la papa).



- Inspección de toyas y arvenses, como posibles focos de algunas plagas como mosca blanca, gusano blanco, tiroteador, polilla guatemalteca, torimea y áfidos.
- El control químico se debe aplicar bajo recomendaciones de manejo y énfasis en las BPA, utilizando insecticidas de baja categoría toxicológica que tengan registro ICA para su uso en el cultivo de la papa, contra la plaga que se quiere controlar y de acuerdo con los hábitos, comportamiento y niveles de población del insecto.
- Para aplicaciones de plaguicidas dirigidos a la superficie del suelo, se requiere de una adecuada humedad del suelo, favorecida por riego cuando sea posible y que permita la penetración de los ingredientes activos a la zona de tuberización.
- Para el control de los pulgones, existen métodos culturales y químicos. Dentro de las prácticas culturales para evitar o disminuir su aparición, se destaca el uso de semilla de papa certificada libres de virus, y el manejo de malezas con especial atención a las de flores amarillas (Fedepapa, 2005). En caso de aplicar control químico, emplear afidicidas¹⁴ autorizados por el ICA bajo recomendaciones de la etiqueta (Corzo et al., 2003).
- Hacer recolección manual de larvas de chisas y de gusanos blanco si se presentan en esta etapa y permitir la acción de depredadores sobre ellas.

Etapa Fenológica 2

De acuerdo con Valbuena et al. (2010), corresponde al crecimiento vegetativo inicial de la planta con la elongación de tallos principales y secundarios, y el crecimiento de ramas y hojas; simultáneamente, ocurre una mayor diferenciación del gancho de los estolones y de buena parte de los tubérculos. El sistema de raíces permite el anclaje de la planta que se ve favorecido por las prácticas de desyerba-aporque (Figura 4.12).

¹⁴ Los afidicidas son insecticidas sistémicos con acción sobre áfidos.



El desarrollo foliar favorece el ataque de plagas como pulguilla, tostón, áfidos, mosca blanca y en algunas zonas, torimea (Figura 4.26). También es la etapa en la que se comienzan a hacer evidentes en el follaje los daños ocasionados en la raíz por plagas como los nematodos.

Figura 4.12

Etapa 2. Formación de tallos secundarios



Nota. Valbuena et al. (2010)

La mosca blanca es un insecto chupador muy pequeño (Figura 4.13) que puede causar daño directo cuando los adultos y las ninfas succionan la savia del floema de las plantas. Si las colonias del insecto crecen a poblaciones abundantes, el daño se puede reflejar en la reducción de los rendimientos. Produce también un daño indirecto al favorecer la aparición de fumagina como consecuencia de las secreciones azucaradas producto de la alimentación. La fumagina cubre la superficie foliar, reduciendo la capacidad fotosintética de la planta.

Figura 4.13

Mosca blanca (Trialeurodes vaporariorum) en plantas de papa, a) adultos, b) ninfas



Nota. Fotografías tomadas por a) Yuly Sandoval, b) Carolina Díaz.



El otro daño indirecto, pero el más importante, es la transmisión del virus del amarillamiento de las venas de la papa - PYVV (Franco-Lara et al., 2013; ICA, 2011) (Figura 4.14).

Figura 4.14

Síntomas de la infección causada por el virus del amarillamiento de las venas de la papa (PYVV) en follaje de plantas de papa



Nota. Fotografía tomada por Liliana Cely-Pardo

La mosca blanca no se considera una plaga importante en el cultivo de la papa, ya que el efecto sobre el rendimiento del cultivo no es significativo y no alcanza niveles de daño económico (Rincón et al., 2019); sin embargo, es el único vector reportado del PYVV. El establecimiento de este insecto en los cultivos depende en gran medida de la temperatura, factor que determina su distribución geográfica, metabolismo, ciclo de vida y comportamiento (Rendón et al., 2001).

Regionalmente, la mayor fuente de diseminación del PYVV es el uso de tubérculos infectados (Cuadros et al., 2017). La semilla procedente de plantas enfermas por amarillamiento de venas es semilla infectada que generará plantas enfermas; en presencia de su vector mosca blanca el problema puede aumentar y el rendimiento del cultivo disminuir considerablemente.

En esta etapa también se pueden presentar ataques del nematodo quiste *G. pallida* que causa graves daños en las raíces de las plantas (Talavera, 2003). El nematodo está presente en muchos de los suelos productores de papa en Colombia, en los que puede permanecer por varios años. Sin embargo, los daños



no son fácilmente detectados y los síntomas sólo son evidentes en el follaje hasta que se presenta una alta población en el suelo (Carrión y Rojas, 2013). Según muestreos realizados en zonas productoras de papa en Colombia entre los años 2013 y 2014, las zonas con mayor prevalencia del nematodo quiste fueron los Departamentos de Nariño, Boyacá y Antioquia (72, 63 y 54%) seguidos del Departamento de Cundinamarca (49%) (Vallejo et al., 2021). Estos departamentos son los mayores productores de papa diploide en Colombia.

La presencia del nematodo quiste se manifiesta con los siguientes síntomas en la parte aérea de las plantas: marchitez, amarillamiento de hojas, folíolos con poco desarrollo y más pequeños que en una planta sana (disminuyendo el área y capacidad fotosintética), enanismo, tallos muy delgados y retraso en el desarrollo general de la planta (Figura 4.15) (Ortega, 2008; Vallejo et al., 2021). Por los síntomas en el follaje, los daños causados por el nematodo en las raíces de las plantas de papa se pueden confundir con deficiencias nutricionales o estrés hídrico, se recomienda hacer un exhaustivo diagnóstico visual en las raíces de las plantas para detectar los diferentes estados biológicos del fitoparásito (Arciniegas et al., 2012; Carrión y Rojas, 2013).

En la parte subterránea de las plantas, los estados juveniles del nematodo se adhieren a las raíces (Figura 4.16), crean úlceras en los tejidos, los deterioran y además dan acceso a otros patógenos. Se establecen en la corteza de las raíces creando quistes y se alimentan de las células del sistema radicular, así, disminuyen la absorción de nutrientes (Figura 4.16) (Barriga, 1978; Carrión y Rojas, 2013; Guerrero, 1986; Rosende et al., 2003; Vallejo et al., 2021).



Figura 4.15

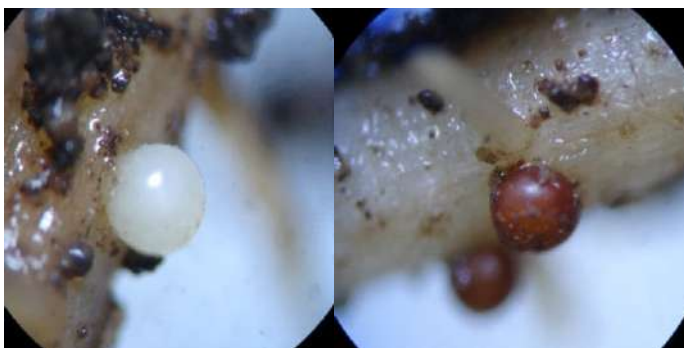
Síntoma de daño por nematodo (*Globodera pallida*) en la parte aérea de la planta de papa



Nota. Fotografía tomada por Diego Rojas

Figura 4.16

Nematodo (*Globodera pallida*) quiste adherido al tejido radicular de la planta de papa



Nota. Fotografías tomadas por Diego Rojas

El follaje también puede ser atacado en esta etapa por el tostón o minador, como un agresivo consumidor de follaje. Este insecto en su estado adulto es una mosca de 2,5 mm de longitud, es de color negro con manchas amarillas en la cabeza y tórax. Tiene una longevidad aproximada de 30 días (Figura 4.17). Las hembras perforan las hojas para alimentarse y ovipositar dentro de la epidermis. Las larvas, después de nacer, se alimentan de los tejidos vegetales. Dañan la lámina foliar y reducen la tasa fotosintética produciendo túneles o galerías que varían de tamaño, hasta llegar a formar ventanas en el foliolo (Figura 4.18).



Al completar 7 a 10 días, la larva hace un agujero en la epidermis, por el envés, abandona la hoja y se deja caer al suelo para pupar. Algunas pupas pueden encontrarse en las hojas o en la base de las plantas (Lopez-Avila, 2000). Épocas prolongadas de lluvia no favorecen el desarrollo de la plaga (Corzo et al., 2003; Fedepapa, 2005).

Figura 4.17

Ciclo de vida de mosca minadora (*Liriomyza* spp.)



Nota. Elaborado por Liliana Cely-Pardo y fotografías tomadas por Janeth Español, Carolina Díaz y Liliana Cely-Pardo. Basados en López-Ávila (2000); Porras y Herrera (2015).



Figura 4.18

Daño ocasionado por minador o por tostón (Liriomyza spp.) en plantas de papa



Nota. a) y b) Galerías en folíolos, c) Pupa en folíolo y d) Planta afectada. Fotografías tomadas por Diego Suárez.

Estrategias de Manejo de Plagas en la Etapa Fenológica 2. Otras recomendaciones a tener en cuenta en esta etapa, son:

- Para el manejo de la pulgilla y el tostón, se debe hacer detección y monitoreo mediante la observación del daño y el uso de jama o red entomológica para detectar la presencia de adultos.
- En el caso del tostón, durante el desarrollo de los tallos y hasta la floración, se sugiere hacer monitoreo semanal realizando 10 pases dobles de jama y aplicar un umbral de alerta de 15 adultos capturados (Fedepapa, 2005) para ejercer alguna medida de control. Realizar vigilancia permanente al cultivo para detectar las minas activas que se hayan producido y cuantificar el porcentaje de área foliar con daño. Si se determina que es igual o superior al 20 %, se requiere realizar control. Antes de la floración, el daño no debe superar un tercio del área foliar



afectada por planta. El control debe ser dirigido al follaje que es la parte de la planta donde los adultos colocan los huevos. El manejo de esta plaga se debe hacer en todo el tiempo del cultivo en que haya follaje verde. Por esta amplia ventana de ocurrencia es importante cumplir rigurosamente la rotación de ingredientes activos de insecticidas químicos (Fedepapa, 2005). Para el control de larvas, es recomendable usar insecticidas de acción translaminar y sistémico.

- Uso de trampas amarillas pegajosas para áfidos, mosca blanca, pulguilla y tostón. En el caso de pulguilla, se siguen las mismas recomendaciones de la etapa anterior mediante la vigilancia de poblaciones y la determinación de daño en el cultivo, especialmente bajo condiciones de sequía cuando aumenta la severidad del daño.
- Para la detección y eventual manejo de áfidos se debe continuar la recomendación dada en la etapa anterior.
- Uso de riego por aspersión para manejo de poblaciones de pulguilla, áfidos, tostón y ataques tempranos de mosca blanca.
- La desyerba y el aporque favorecen el desarrollo de estolones y de tubérculos. Se deben formar surcos altos, con aporque apisonado cubriendo la base de la planta alrededor del cuello e induciendo una buena aireación del suelo para favorecer la protección de las raíces y tubérculos frente al ataque de nematodos y polillas de la papa. Desyerbas y aporques deficientes promueven la generación de tallos improductivos y eventualmente una exposición y verdeamiento de los tubérculos que se formarán más adelante.
- El control químico se debe aplicar bajo recomendaciones de manejo y énfasis en las BPA como se mencionó en la etapa anterior. En el caso de mosca blanca, iniciar las aplicaciones dirigidas al envés de las hojas del tercio inferior de la planta cuando aparezcan las primeras ninfas de mosca blanca y evitar las aplicaciones calendario. Se recomienda la



aplicación de insecticidas de baja toxicidad y que estén registrados ante el ICA en el cultivo de la papa. Usar de preferencia las categorías III y II (ICA, 2011).

- Como control cultural de la mosca blanca, realizar fertilización sin exceder nitrógeno para evitar hojas más succulentas y, por ende, más atractivas para esta plaga. Utilizar trampas amarillas pegajosas para el monitoreo de la población (ICA, 2011).

Etapa Fenológica 3

Esta etapa comprende la aparición de los botones florales hasta la floración media del cultivo que coincide con el máximo desarrollo foliar, lo que representa la mayor tasa fotosintética del ciclo vegetativo. Se presenta un llenado inicial a intermedio de los tubérculos ya diferenciados, con una baja ganancia de peso de estos (Valbuena et al., 2010) (Figura 4.19).

Figura 4.19

Etapa 3. Floración



Nota. Fotografía tomada por John Alexander Martínez.

La diferenciación de los primeros tubérculos junto a la máxima área foliar es una condición que favorece el ataque de plagas como mosca blanca, polillas de la papa, nematodos y áfidos, entre otros (Figura 4.26). La mosca blanca se presenta en esta etapa del cultivo generando problemas similares a los de la etapa 2.

El máximo desarrollo vegetativo de la papa diploide en la tercera etapa permite daños foliares sin llegar a impactar significativamente el rendimiento, por



lo que estas plagas no tendrían una mayor atención para su manejo. No obstante, se debe prestar especial atención a la mosca blanca y los áfidos por tratarse de vectores de virus, pues ellos podrían comprometer el cultivo, especialmente si su destino es semilla.

En esta etapa comienza a tener mucha relevancia la polilla guatemalteca. Este insecto es un pequeño lepidóptero de la familia Gelechiidae, que agrupa polillas principalmente fitófagas. En Colombia se ha constituido en los últimos 25 años en la plaga más importante de la papa y se conoce que esta especie ha estado relacionada con la planta de papa por largos períodos en su región de origen en Centroamérica.

Varios autores reportan que las plantas poseen sustancias atrayentes (volátiles) para los insectos, en el caso de la polilla guatemalteca los adultos son atraídos al cultivo de papa al inicio de la floración, fase que coincide con el período de tuberización. En estudios realizados por Karlsson et al. (2009), se analizaron esos compuestos volátiles producidos por diferentes órganos de la planta de papa y determinaron que los compuestos liberados en flores y tubérculos atraen a *T. solanivora*. Esto explica, en parte, por qué cuando se hace seguimiento de la población de polilla con trampas de feromona sexual, las capturas semanales de machos aumentan a partir del estado de floración y dependiendo de la precipitación se mantienen en aumento hasta la cosecha.

Al comenzar la tuberización, las hembras buscan ovipositar en la base de las plantas o grietas en el suelo garantizando dejar sus posturas lo más cerca de las raíces. Luego de la eclosión del huevo, las larvas se dirigen directamente a los tubérculos que se están formando. Por esta razón, al realizar un aporque apisonado se forma una barrera física que impide el fácil acceso de las hembras de la polilla guatemalteca de la papa, y sus larvas, a los tubérculos en formación.

Las larvas de *T. solanivora* forman galerías en el tubérculo al alimentarse de éste. Dejan parte de su excremento en el interior, lo cual genera pudriciones secundarias. Esto afecta la apariencia del tubérculo reduciendo su valor comercial y por ende los ingresos de los productores (Figura 4.20).



Adicionalmente, los tubérculos con altos niveles de daño pierden toda calidad y no pueden ser usados como semilla o para consumo humano o animal (ICA, 2011). En condiciones de campo el ciclo de vida de la polilla guatemalteca varía entre 75 y 90 días (Figura 4.21). Esto permite la aparición de, por lo menos, dos generaciones de la plaga en un ciclo de cultivo, teniendo en cuenta que su llegada al lote se puede dar desde el inicio de floración hasta la cosecha, y que es hasta la cosecha cuando se hace evidente el daño.

Figura 4.20

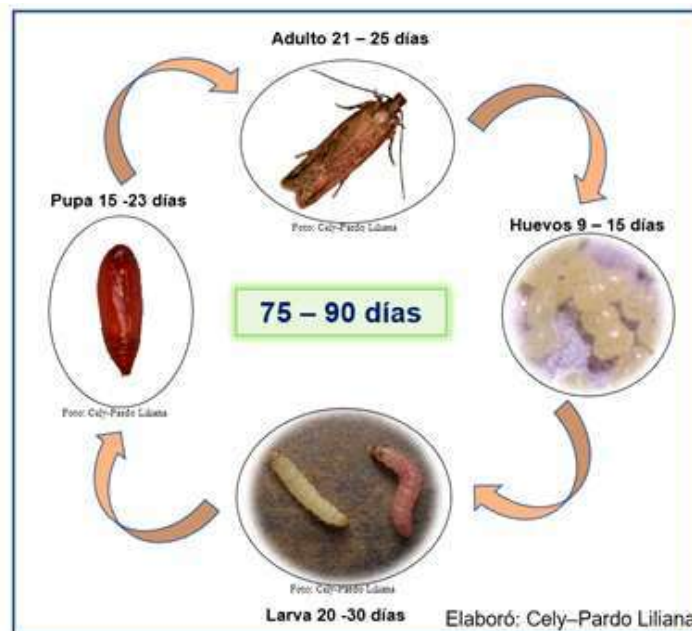
Daño causado por Tecia solanivora en tubérculos de papa diploide



Nota. Fotografías tomadas por Janeth Español

Figura 4.21

Ciclo de vida de polilla guatemalteca (Tecia solanivora)



Nota. Elaborado por Liliana Cely-Pardo y fotografías de Ñustez et al. 2020. Basado en López-Ávila (2000).



La estrategia de control químico de la polilla guatemalteca se desarrolla relacionando el número de capturas de machos en las trampas de feromona, con la tuberización y no se debe usar como control preventivo. Es importante tener en cuenta que recientes investigaciones demuestran resistencia de *T. solanivora* a las moléculas químicas más usadas para su control (Gutiérrez et al., 2019), encontraron resistencia múltiple de polilla guatemalteca al efecto de algunos piretroides (Bacca et al., 2016) a organofosforados y carbamatos. Esos estudios determinaron que las poblaciones resistentes se adaptan a la exposición de los insecticidas, reducen su ciclo de vida, aumentan la mortalidad en larvas y retrasan la oviposición. Es posible que esta adaptación de la plaga haga más corta su exposición a los insecticidas que son aplicados al suelo (Barreto-Triana et al., 2019).

En esta etapa los síntomas por el ataque del nematodo quiste se agudizan. Se disminuye considerablemente el número de botones florales y afecta el número y el tamaño de los tubérculos (Figura 4.22) (Ortega, 2008; Vallejo et al., 2021). Los quistes (hembras adultas) son mayormente visibles en la etapa de floración (Arciniegas et al., 2012; Carrión y Rojas, 2013).

Figura 4.22

Afectación en rendimiento de plantas de papa variedad Criolla Colombia por efecto de Globedera pallida en condiciones experimentales



Nota. a) Con nematodos, b) Sin nematodos. Fotografías tomadas por Diego Rojas



Por su parte, la presencia de tostón después de la floración puede afectar el área foliar y bajar los rendimientos de la planta al disminuir la actividad fotosintética.

Estrategias de Manejo de Plagas en la Etapa Fenológica 3. Las siguientes actividades se recomiendan para llevarlas a cabo en esta etapa:

- En algunas localidades es posible el ataque de torimea como barrenador de tallos. Para su manejo, el control químico se convierte en una alternativa.
- Evitar el uso indiscriminado de insecticidas para el control de mosca blanca, en particular, en altas poblaciones de la plaga.
- Para tostón, entre el desarrollo de los tallos y hasta la floración, se sugiere realizar 10 pases dobles de jama, continuando con el umbral de alerta de 15 adultos capturados. Si se supera el umbral se debe aplicar el control químico con los criterios ya anotados (Fedepapa, 2005).
- Para la detección y eventual manejo de áfidos se debe continuar la recomendación dada en la etapa anterior.
- En el caso de polilla guatemalteca de la papa, desde esta etapa fenológica se deben tener en cuenta, el número de machos capturados en las trampas de feromona según lo recomendado al inicio del capítulo (50 polillas promedio/trampa) para ejercer alguna medida de control. Cuando esta medida es la aplicación de insecticidas de síntesis química se deben aplicar los productos registrados ante el ICA para polilla y para el cultivo de papa.
- Control químico bajo recomendaciones de manejo y énfasis BPA, empleando solo insecticidas registrados y autorizados por el ICA.

Etapa Fenológica 4

Comienza la disminución del área fotosintética, aunque la parte aérea de la planta se mantiene aún verde; los tubérculos demandan materia seca de la parte aérea de la planta con un llenado intermedio rápido (Valbuena et al., 2010) (Figura 4.23).



En esta etapa declina la fotosíntesis, pero inicia el llenado de los tubérculos. Por lo anterior, es un período crítico para el manejo de plagas en papa diploide, dado que el llenado es un fenómeno que se presenta hacia el final del ciclo del cultivo y cualquier afectación en la parte aérea o subterránea, podrían generar grandes pérdidas. La polilla guatemalteca, la mosca blanca, el minador y el gusano blanco pueden generar, en esta etapa, gran impacto en el rendimiento del cultivo y en la calidad de los tubérculos (Figura 4.25).

Figura 4.23

Etapa 4. Inicio de llenado del tubérculo



Nota. Valbuena et al. (2010)

La etapa de madurez de este cultivo es la más crítica frente al ataque de *T. solanivora*, la cual se presenta desde el inicio de tuberización, aunque el insecto no tiene preferencia por un determinado estado de desarrollo de los tubérculos. La polilla no ocasiona disminución en el potencial de rendimiento de la planta, pero sí disminuye la cantidad y el peso de los tubérculos con calidad comercial (Sánchez et al., 2005).

Cuando se presenta ataque del nematodo quiste en la etapa 4 del cultivo, se afecta la producción. Vallejo et al. (2021), en experimentos realizados en condiciones controladas con la variedad Criolla Colombia, observaron pérdidas en rendimiento entre 20 y 70%, según el nivel de infestación de *G. pallida* presente en el suelo.



Estrategias de Manejo de Plagas en la Etapa Fenológica 4. A

continuación se presentan algunas actividades a tener en cuenta:

- Es importante realizar inspecciones de tubérculos para observar cantidad, formación y velocidad de llenado. Las plagas que atacan el tubérculo, especialmente las polillas de la papa deben ser evaluadas de manera permanente para evitar, o por lo menos disminuir, los daños hasta la cosecha. Esta evaluación complementa el registro que se obtenga con las trampas de captura de adultos.
- Si se presenta ataque de tostón después de la floración, se reduce el área foliar, la actividad fotosintética y se afecta el llenado de los tubérculos disminuyendo los rendimientos (Fedepapa, 2005). Por lo anterior es indispensable continuar el monitoreo de la plaga, aunque en esta etapa se ajusta el umbral de acción: después de la floración, realizar 10 pases dobles de jama, con un umbral de alerta de 20 adultos. Si se supera el umbral se debe aplicar el control químico con los criterios ya anotados (Fedepapa, 2005).
- Para la detección y eventual manejo de áfidos se debe continuar la recomendación dada en la etapa anterior.
- Realizar el control químico de acuerdo con los umbrales establecidos para cada plaga y las recomendaciones para su manejo.
- Si se detecta ataque de chisas, hacer aplicación de insecticidas que tengan registro para estas plagas en el cultivo de la papa. Pero sólo en las áreas del lote donde se hayan encontrado.

Etapa Fenológica 5

Comprende la maduración fisiológica del cultivo cuando las hojas se tornan amarillentas (pero no mueren), por el descenso de las tasas de fotosíntesis con una acelerada acumulación de materia seca en los tubérculos, hasta que éstos alcancen la madurez comercial, cuando fijan su epidermis. Esta etapa se considera como crítica para el llenado del tubérculo en papa diploide (Valbuena et al., 2010) (Figura 4.24).



En esta etapa declina el área fotosintética activa y se presenta el máximo llenado de tubérculos llegando a madurez comercial. Por esta razón el control sanitario se concentra en los tubérculos en fase de llenado y maduración. Las plagas que afectan el tubérculo (gusano blanco, polilla guatemalteca, torimea y tiroteador, larvas de pulguilla, gusano alambre, chisas y babosas), se encuentran ya establecidas en los lotes o están siendo atraídas a los tubérculos si no se han realizado prácticas de manejo eficientes (Figura 4.25).

Figura 4.24

Etapas 5. Terminación del llenado del tubérculo



Nota. Valbuena et al. (2010)

Las larvas de gusano blanco y de las polillas que atacan los tubérculos ya están dentro de ellos causando el daño, de manera que éste se hace evidente para el productor sólo al momento de la cosecha; de ahí la importancia de las inspecciones previas. La vida libre de las larvas de tiroteador (por fuera de los tubérculos que atacan) les permite a éstas afectar más de un tubérculo. El daño que produce este insecto es una perforación superficial del tubérculo (Figura 4.25) que afecta la calidad del tubérculo para comercialización.

En esta etapa, que concluye con la cosecha, los quistes del nematodo *G. pallida* se desprenden de la raíz y pueden quedar en el suelo en latencia por más de 20 años, hasta que los exudados radiculares de la planta de papa provoquen la emergencia de juveniles y activen nuevamente su ciclo de vida. Así, una vez los nematodos se han establecido en un terreno de cultivo, es prácticamente imposible erradicarlos (Arciniegas et al., 2012; Carrión y Rojas, 2013).



Figura 4.25

Daño causado por tiroteador (Naupactus sp.) en tubérculo de papa



Nota. Fotografía tomada por Janeth Español

Estrategias de Manejo de Plagas en la Etapa Fenológica 5. Para esta etapa se deben considerar:

- La continuación de las inspecciones de tubérculos para observar cantidad, formación y llenado, así como la presencia de daño de plagas.
- En caso de alcanzar niveles de daño económico en las diferentes evaluaciones a los tubérculos, es posible promover la maduración comercial del cultivo para lograr una cosecha anticipada mediante: eliminación mecánica de la parte aérea de la planta (corte de rama), daño mecánico del follaje mediante prácticas como doblar rama, apaleo o pasar caneca.¹⁵ No se deben emplear desecantes (herbicidas post-emergentes o totales).
- Si ha habido detección de chisas, no eliminar las malezas ya que las chisas se dedicarían exclusivamente a atacar los tubérculos de papa.
- Mantener suficiente humedad en el suelo para prevenir nuevos daños producidos por las larvas de las polillas de la papa, chisas y tiroteador.
- Si se presenta un ataque severo de áfidos, se recomienda acelerar el corte de rama (Corzo et al., 2003).
- Para control cultural de la mosca blanca al final del cultivo es necesario eliminar totalmente los rastrojos y hacer rotación con cultivos no hospederos (maíz, cebolla, pastos, repollo o lechuga) (ICA, 2011).

¹⁵Por pasar caneca se entiende el paso de una caneca rodándola (manualmente o con tracción mecánica o animal) produciendo un volcamiento en las plantas.



- Control químico bajo recomendaciones de manejo y énfasis BPA con especial atención al período de carencia, a las dosis recomendadas, y no hacer mezclas que aumenten la dosis de un mismo ingrediente activo.

En la Figura 4.26 se observan las etapas fenológicas del cultivo de la papa diploide, descritas en la segunda fase y las plagas que se encuentran latentes para sus ataques y afectación tanto de la planta como de los tubérculos destinados para semilla, para consumo o para la industria.

Análisis Tercera Fase

Cosecha y Poscosecha

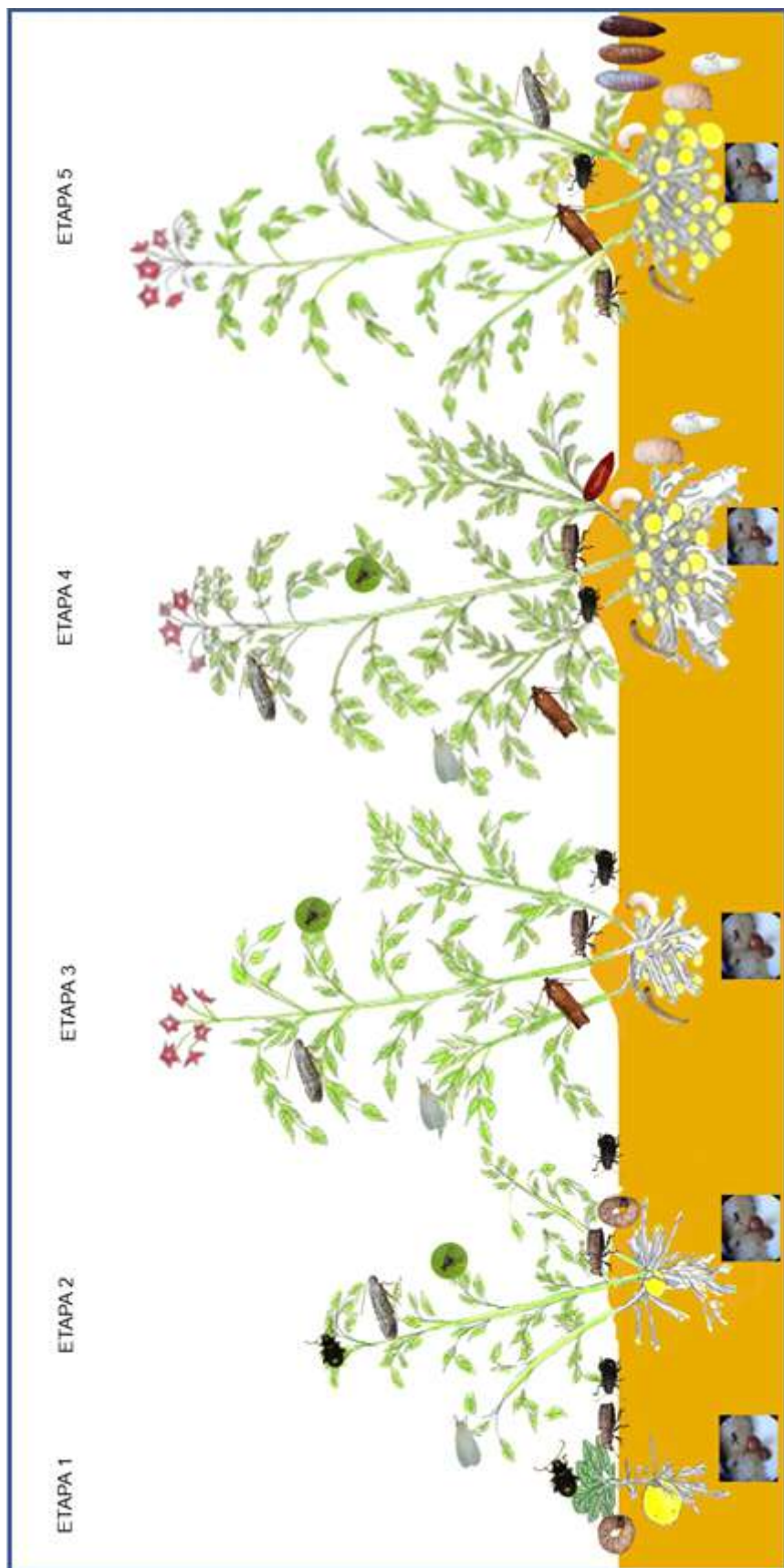
Por último, en la cosecha y poscosecha se presenta una etapa crucial en el manejo de las plagas. Los tubérculos se pueden constituir en medios de propagación de las poblaciones de plagas. Por esto es importante atender las siguientes recomendaciones de manejo fitosanitario:

- Cosechar oportunamente disminuye nuevos focos de infestación de polilla guatemalteca y gusano blanco, y permite cortar los ciclos de vida de estas plagas.
- Durante la recolección de la cosecha, realizar selección rigurosa en campo descartando para comercialización los tubérculos con presencia de daño o de individuos vivos de insectos plaga. Se debe hacer una correcta disposición de los tubérculos afectados, enterrándolos a profundidad o empleándolos en alimentación animal.
- La papa no comercial, pequeña o deforme, con daño leve por plagas, pero no de enfermedades, se puede llegar a utilizar para la alimentación de ganado vacuno (fresca) o para cerdos (cocinada) o en la elaboración de ensilaje (sólido) o en compostaje.
- Los tubérculos de papa infectados con *Spongospora subterranea*, causante de la sarna polvosa de la papa, o camanduleo de la papa, no deben ser usados como semilla ni para la alimentación de los animales. Los tubérculos semilla infectados portan las esporas de este patógeno



Figura 4.26

Ciclo fenológico del cultivo de papa diploide y sus etapas críticas en cuanto a presencia de insectos plaga



Nota. Elaborado por Liliana Cely-Pardo basado en Valbuena et al. (2010)



por lo que es un riesgo para los lotes de producción de papa libres del problema. Las esporas son altamente resistentes y pueden sobrevivir el paso por el tracto digestivo de los animales y estos a su vez, llevan las esporas a lotes que están en pastoreo por medio de sus excrementos o heces. Los tubérculos afectados por esta enfermedad se deben enterrar en una fosa sanitaria. La fosa es como su nombre lo indica, un hueco profundo en el suelo para vaciar ahí todos los tubérculos enfermos.

- Realizar recolección de residuos de tubérculos del suelo.
- No abandonar tubérculos afectados por plagas en campo.
- Hacer rotación de cultivos, especialmente con especies diferentes a solanáceas. O establecer en los lotes, largos períodos de descanso.
- En caso de ser necesario almacenar tubérculos para semilla se recomienda seleccionar sólo los que estén sanos y tratarlos antes de que se cumplan ocho días después de cosechados con un producto registrado en el ICA para el control de polillas de la papa. Así se evita que las hembras ovipositen sobre los tubérculos y que las larvas recién nacidas alcancen a penetrarlos.
- También se recomienda la limpieza del sitio de almacenamiento de la semilla y su revisión periódica; así como utilizar empaques nuevos o canastillas como medida preventiva, ya que los empaques usados pueden llevar huevos o pupas de la plaga (Corzo et al., 2003).
- Por último, es deseable que se almacene bajo luz difusa para favorecer el verdeamiento de la semilla, una brotación vigorosa y una protección natural frente al ataque de plagas.

Recomendaciones Generales

Algunos criterios importantes que aplican para el manejo de las diferentes plagas antes de establecer el cultivo y durante el desarrollo.

Labores Culturales

Se refiere a cada una de las prácticas agronómicas que son requeridas para garantizar el desarrollo del cultivo, entre las que se destacan la remoción del



suelo en las fases de preparación, siembra, desyerba y aporque; manejo de semilla, fertilización, aplicación de medidas de manejo fitosanitario que incluye control etológico mediante el uso de trampas y cebos aplicación de plaguicidas, uso de riego suplementario y la recolección de la cosecha.

Preparación. Seguir las recomendaciones que permiten detectar a tiempo la ocurrencia de plagas. La detección oportuna de plagas como chisas, tiroteador, babosas o gusanos blancos permitirá establecer medidas oportunas o favorecer las prácticas culturales que limitan las poblaciones de las plagas.

Aporques. Esta labor debe permitir, además de cubrir completamente los tubérculos en formación, establecer una barrera efectiva entre las plagas y el tubérculo en formación. Es especialmente efectiva contra las polillas. En el aporque dirigido a proteger, no basta con cubrir los lados del surco con tierra sino colocar tierra en el pie de los tallos.

Riegos. En condiciones de sequía y cuando se están llenando o madurando los tubérculos, el riego es una medida eficaz para ataques como el de la polilla guatemalteca. El agua complementa la barrera física para proteger los tubérculos.

Fertilización. Debe hacerse una fertilización equilibrada de acuerdo con las recomendaciones del análisis de suelo. Se debe evitar el exceso de nitrógeno para no atraer plagas del follaje.

Semilla Sana. Varios insectos plaga pueden ser introducidos al lote de cultivo a través de la semilla, especialmente aquellos cuyas larvas viven dentro del tubérculo. Debe hacerse una selección exhaustiva para evitar que tubérculos infestados pasen al almacén en la semilla y posteriormente al lote.

Rotación. La rotación de cultivos es una práctica que permite cortar los ciclos biológicos de plagas, patógenos y malezas. Específicamente debe considerarse que las poblaciones de nematodo pueden aumentar exponencialmente en lotes donde no se realiza rotación de cultivos (Arciniegas et al., 2012; Carrión y Rojas, 2013); así como de las plagas monófagas (polilla guatemalteca y gusano blanco).



Uso de Trampas

El manejo de plagas de la papa es un proceso complejo pero que se viabiliza al conocer la biología y hábitos de los organismos plaga que la atacan. A partir del comportamiento y hábitos de cada una, es posible conocer cuándo aparecen con mayor actividad (Figura 4.25), qué cambios ocurren en esa dinámica y en qué áreas del lote aparecen. Varios tipos de trampas han sido diseñadas para tal fin. Aquí se describen algunas de ellas, relacionando las plagas para las que se utilizan y cómo aprovechar la información que generan.

Trampas para Gusano Blanco de la Papa y Tiroteador. En la época de preparación del suelo es recomendable realizar las primeras instalaciones de trampas para el seguimiento de tiroteador y de gusano blanco. Mediante captura de adultos en trampas de paso, se ha podido determinar que la actividad de los adultos de tiroteador se presenta desde antes de la siembra en un lote de papa (Espitia y Zuluaga, 2006). Su ciclo de vida largo hace coincidir la actividad de los adultos anticipadamente a la aparición de tubérculos (Garza, 2006). Igualmente, estas trampas se utilizan para detectar poblaciones de adultos de gusano blanco en zonas productoras de papa en Colombia (Argüelles et al., 2012; Pérez-Álvarez et al., 2010).

Los adultos de estos insectos, durante el día prefieren ocultarse en lugares frescos oscuros y húmedos, en la base de plantas de papa o debajo de terrones, y durante la noche recorrer el campo en busca de alimento (Gallegos et al., 1997; Garza, 2006), estos cucarrones colonizan el cultivo de papa por los bordes adenaños a las fuentes potenciales de infestación (Pérez-Álvarez et al., 2010), así, se presenta mayor infestación en los bordes de cultivos de papa en lotes que vienen de barbecho; mientras que en lotes que provienen de cultivos de papa, el insecto se distribuye también al interior del mismo (Porrás y Herrera, 2015; Garza, 2006).

Teniendo en cuenta el comportamiento de estos insectos se recomienda el uso de dos tipos de trampas, de caída y de paso.



- Las trampas de caída consisten en recipientes plásticos que se entierran a nivel del suelo, se ubican a una distancia de 10 m entre una y otra por todo el borde del lote, se llenan hasta la mitad con agua jabonosa, se protege con una cubierta de cartón o madera elevada a 2 ó 3 cm del suelo (Figura 4.27a).
- Las trampas de paso consisten en piezas de cartón o empaques de fique viejos de aproximadamente 40 x 40 cm que se colocan en el suelo en los bordes del lote, debajo de estos se disponen hojas de papa o tubérculos impregnados de insecticida (Figura 4.27b)

Las trampas se revisan una vez por semana y se cuentan los adultos capturados, cuando las lecturas arrojen datos superiores a 15 adultos/trampa, se recomienda la aplicación de control de síntesis química haciendo énfasis en los lugares por donde se registran mayores capturas y solamente en una franja a lo largo de los 4 ó 5 primeros metros del borde del lote (Pérez-Álvarez et al., 2010).

Figura 4.27

*Trampas para captura de adultos de gusano blanco (*Premnotrypes vorax*) y tiroteador (*Naupactus* sp.)*



Nota. a) Trampas de caída y b) Trampas de paso. Fotografías de a) Liliana Cely-Pardo, b) Ñustez et al. 2020.

Las trampas permiten iniciar oportunamente el manejo preventivo y orientan la toma de decisiones. Al permitir identificar los focos facilitan un manejo oportuno y posibilitan hacer aplicaciones de insecticidas de manera localizada y con mayor eficacia.



Trampas con Feromona para Polillas de la Papa *Tecia solanivora* y *Phthorimaea operculella*. El método de seguimiento de las polillas de la papa en campo más recomendado es el uso de trampas con feromona sexual, que permiten registrar exclusivamente la presencia y la fluctuación de adultos machos de la plaga en el lote.

La trampa con feromona consiste en un tarro o garrafón plástico de galón con tapa, al que se le abren dos ventanas laterales. De la tapa, y sujeto a un alambre se suspende un dedal de caucho impregnado con la feromona comercial sintética. En el fondo del tarro se dispone agua jabonosa con el fin de atrapar los adultos machos, sin que la cantidad de agua se aproxime a las ventanas del tarro. A su vez, el tarro se fija en un soporte a una altura del suelo entre 1-1,2 m con las ventanas a favor de la dirección del viento, con el fin de que la pluma de olor de la feromona se distribuya en el ambiente de una mejor manera (Figura 4.28). La trampa se revisa una vez por semana, se registra el número de adultos capturados y se reemplaza el agua jabonosa. Se deben instalar inicialmente 4 trampas/ha en las orillas del lote. Cuando las capturas en promedio sean superiores a 50 adultos/trampa, se debe duplicar el número y seguir este incremento hasta llegar a máximo 16, y tener en cuenta que, a partir de inicio de tuberización y floración, si se supera este umbral, se debe aplicar un insecticida para su control (Corzo et al., 2003; Porras y Herrera, 2015). La trampa también se utiliza en almacenamiento para detectar polillas que estén acechando el tubérculo almacenado. En este caso, el registro de capturas en la trampa llama a extremar las medidas preventivas de protección.



Figura 4.28

Trampas con feromona sexual para seguimiento y monitoreo de polillas



Nota. Fotografías tomadas por Liliana Cely-Pardo

Trampas con Atrayentes para Babosas. Estos dispositivos se instalan en el suelo para eliminar babosas y reducir su impacto al cultivo. Consisten en un recipiente sin tapa dentro del cual se coloca un cebo como hojas de lechuga embebidas en cerveza. Las babosas son atraídas por el olor y caen dentro del recipiente donde pueden ser colectadas y eliminadas (ICA, 2011).

Trampas de Luz. Para el cultivo de papa se pueden emplear trampas de luz negra del espectro ultravioleta o amarilla, de bombillo, para la captura de adultos de chisas. Esta luz se ha reconocido por su atracción a estos insectos. El monitoreo de la plaga se efectúa en la época de lluvias cuando se presenta el vuelo nupcial (Fedepapa, 2005; López-Ávila, 2000). Estas trampas son muy útiles para el reconocimiento de especies y para determinar la época de aparición de los adultos y los días de pico de vuelo. Estas capturas disminuyen las poblaciones de adultos con lo que se reducirán las larvas que ataquen en el siguiente cultivo. Su efecto se potencia con la implementación de este método por parte de grupos de agricultores en una determinada zona (Sánchez et al., 2000).

Uso de Cebos. Para el manejo de babosas y trozadores se pueden emplear cebos tóxicos. Para el caso de babosas la sustancia tóxica es metaldehído y el cebo se emplea en una dosis de 3 g/m² (Bonilla y Pérez, 2010), en las zonas del lote afectadas. Los cebos se deben aplicar en las horas de la tarde para que tengan acción durante la noche (Cabezas, 2001). Así su acción se optimiza por los hábitos



nocturnos de los insectos tierreros, a los cuales van dirigidos los cebos. Sin embargo, los cebos peletizados para babosas tienen corta residualidad por su fácil lavado y destrucción por efecto de la humedad y la lluvia (ICA, 2011).

En el caso de trozadores, durante los primeros días después de emergencia del cultivo, se recomienda hacer observaciones permanentes de los surcos para detectar plantas trozadas. Para este caso se debe aplicar 1 g/planta de cebo tóxico en las áreas afectadas del lote. La preparación del cebo para una hectárea de cultivo se hace con 50 kg de salvado de maíz o trigo, 12 L de agua, 12 L de melaza, 600 g de insecticida comercial de ingestión. Los cebos aplican en corona alrededor de las plantas y de preferencia al final del día (Martínez et al., 1999).

Trampas Amarillas. Son piezas de plástico de color amarillo que se disponen en los lotes a la altura del follaje de las plantas. Este color ha sido determinado como especialmente efectivo para la atracción de áfidos, minadores y moscas blancas. Se impregnan de pegante (pegante para insectos o aceites). Según su tamaño se fijan en estacas o postes en el lote, o pueden ser portátiles (Figura 4.29).

Permiten la captura masiva de adultos de mosca blanca, minador y áfidos. Se pueden emplear como captura masiva de adultos empleando trampas de gran tamaño, incluso varios metros (Mujica, 1999) o trampas pequeñas, de 8 x 12 cm, como indicador de presencia y cambios en la densidad de población (Espitia et al., 2017). Utilizar trampas amarillas pegajosas de 30 x 40 cm, ubicadas a la altura del follaje (60 cm aproximadamente) en diferentes sitios del lote, a una distancia de 10 m para observar presencia de adultos.



Figura 4.29

Trampas amarillas con pegante para captura y seguimiento de poblaciones de minador en cultivos de papa



Nota. Fotografías de a) Yeny Peña, b) Ñustez et al. 2020.

El uso de las diferentes trampas para el seguimiento de las plagas que ocurren en un cultivo en condiciones comerciales se ha validado de manera integrada en parcelas de papa de otras variedades y en localidades del Altiplano Cundiboyacense, siendo la base de modelos demostrativos de MIP. Esta estrategia ha permitido reducir los costos de producción, generar tubérculos de mejor calidad y reducir el impacto ambiental del cultivo (Espitia et al., 2017).

Uso de Plaguicidas

La aplicación de umbrales de acción de los plaguicidas permite tener una acción efectiva y racional frente a la presencia de plagas y da la oportunidad de que factores ambientales y agronómicos ejerzan su acción cuando las poblaciones de plagas están por debajo del umbral. Son un criterio de decisión basado en el nivel de población o de daño de la plaga. Deben seguir la aplicación de otras medidas de control. En el cultivo de la papa, aunque faltan estudios que precisen umbrales para todas las plagas, se ha avanzado en el uso de umbrales para las polillas con base en el conteo en trampas con feromona, para gusano blanco y tiroteador con trampas de caída y de paso, y para minadores y pulguilla con la observación de plantas con daño y captura de adultos. Para estas plagas se ha indicado en cada etapa del cultivo, cómo se deben aplicar los umbrales.



Adicionalmente se recomienda:

- Mantener humedad en el suelo, en particular para aplicaciones de insecticidas dirigidos a la base de la planta.
- No hacer aplicaciones sin haber verificado la presencia de la plaga.
- Usar plaguicidas de categoría toxicológica II y III según la Norma Andina, registrado ante el ICA para el cultivo y la plaga. Entre menor sea la categoría toxicológica se reduce el riesgo para aplicadores y consumidores del tubérculo.

Rotación

La rotación de cultivos es una práctica que permite cortar los ciclos biológicos de plagas, patógenos y arvenses. Específicamente debe considerarse que las poblaciones de nematodo pueden aumentar exponencialmente en lotes donde no se realiza rotación de cultivos (Arciniegas et al., 2012; Carrión y Rojas, 2013); así como de las plagas monófagas (polilla guatemalteca y gusano blanco).

Conclusiones

El manejo de las plagas continúa siendo un componente crucial en el cultivo de la papa diploide. El seguimiento de las recomendaciones con enfoque de Buenas Prácticas Agrícolas y Manejo Integrado de Plagas permiten la obtención de un producto de calidad e inocuo para los consumidores. Las variedades de papa diploide que se producen en Colombia son todas susceptibles al ataque de las diferentes plagas reportadas. Los ciclos biológicos de las plagas en interacción con las condiciones ambientales determinan la dinámica con que estos organismos interactúan con el cultivo. La variación de condiciones ambientales según las zonas de producción y las agronómicas según las decisiones que tomen los agricultores, definen la aparición y severidad con que las plagas atacan el cultivo.

En cada zona de Colombia se puede requerir un ajuste particular a las recomendaciones dadas, según las plagas que sean más prevalentes.



El conocimiento de la diversidad de organismos plaga y de su comportamiento permite implementar las recomendaciones con un máximo de eficiencia en el control de las poblaciones de plagas y la completa ejecución de un manejo integrado con los beneficios que este enfoque trae para los productores, trabajadores y consumidores. Las regulaciones nacionales en cuanto al uso seguro y eficaz de los plaguicidas permiten tener un soporte técnicamente fundamentado para la seguridad y confianza que requieren los productores en el uso de los insumos del control de las plagas.

Referencias

- Arciniegas, N., Caicedo, R. y Arévalo, E. (2012). Nematodo dorado presente. *Revista papa*, 26, 33-36.
- Arciniegas, N. (2003). *Técnicas de diagnóstico y evaluación de resistencia al virus del amarillamiento de las nervaduras de la papa (PVYV) en accesiones de la Colección Central Colombiana de Solanum phureja* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia].
- Argüelles, J. H., Pérez, R., Barreto-Triana, N. y 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*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Bacca, T., Haddi K., Pineda, M., Carvalho, R. y Oliveira, E. (2016). Pyrethroid resistance is associated with a kdr-type mutation (L1014F) in the potato tuber moth *Tecia solanivora*. *Pest Management Science*, 73(2), 397–403. <https://doi.org/10.1002/ps.4414>
- Barreto-Triana, N., Bacca, T., Espitia, E., Espinel, C. y Cely-Pardo, L. (2019). Aportes al desarrollo de componentes para manejo integrado de la polilla guatemalteca en Colombia. En Centro Internacional de la Papa [CIP], Dirección General de Agricultura del Gobierno de Canarias, Instituto Canario de Investigaciones Agrarias [ICIA] y Cabildo Insular de Tenerife (Eds.), *Libro resúmenes IV Taller Internacional de la Polilla Guatemalteca de la Papa, Tecia solanivora* (pp 46-51).



- Barriga, R. (1978). *Nemátodos Fitoparásitos en Papa*. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Colombia.
- Bonilla, C.R. y Pérez, Y.M. (2010). *Papa criolla (Solanum phureja) producción y manejo poscosecha*. Universidad Nacional de Colombia.
- Cabezas, M. (2001). Algunos aportes sobre el manejo integrado de babosas en cultivos hortícolas. En Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica] y Sociedad Colombiana de Entomología [Socolen] (Eds.), *Hortalizas, plagas y enfermedades* (Compendio de eventos, pp. 30-34).
<https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/17815>
- Cañón, L. (1999). *Rendimiento de papa criolla Solanum phureja y arveja Pisum sativum L. e incidencia y severidad del daño causado por la polilla guatemalteca Tecia solanivora (Povolny) en dos sistemas de cultivo* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Colombia].
- Castellón, M.C. (2011). *Estudios biológicos y elementos para el manejo de Typophorus nigratus Fabricius (Coleoptera: Chrysomelidae) en plantaciones de boniato (Ipomoea batatas (L.) Lam.)* [Tesis Doctorado, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas].
- Carrión, Y.A. y Rojas, D. (2013). *Distribución poblacional del nemátodo quiste de la papa (Globodera spp) en dos zonas productoras de los Municipios de Tausa (Cundinamarca) y Ventaquemada (Boyacá)* [Tesis de pregrado, Corporación Universitaria Minuto de Dios].
- Cely, L., Barreto, N. y Pérez, O. (2014). Evaluación de materiales genéticos promisorios de la Colección Central Colombiana de papa (CCC) para mejoramiento por resistencia a *Tecia solanivora* Lepidóptera.: Gelechiidae. En C.E. Ñustez y L.E. Rodríguez (Eds.), *Memorias XXVI Congreso de la Asociación Latinoamericana de la papa [ALAP]* (pp. 176).
<http://anyflip.com/xrvf/hnmj>
- Corzo, P., Moreno, J., Franco, B. y Fierro, H. (2003). *Manual de papa para productores*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).



- Cuadros, D.F., Hernández, A., Torres, M.F., Torres, D.M., Branscum, A. J. y Rincón, D.F. (2017). Vector transmission alone fails to explain the potato yellow vein virus epidemic among potato crops in Colombia. *Frontiers in plant science*, 8, 1654. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01654>
- Eraso, L. y Echeverría, C. (1998). Apetencia de *Tecia solanivora* (Povolny) (Lepidóptera: Gelechiidae) a seis variedades de papa en el Municipio de Pasto. En Universidad Nacional de Colombia (Ed.), *Conclusiones y memorias, Taller Planeación estratégica para el manejo de Tecia solanivora en Colombia* (p. 46).
- Espitia, E., Barreto, N., Cely, L., Wilches, W., Ospina, C., Sosa, C. y Mesa, P. (2017). *Insectos plaga en el cultivo de papa y su manejo* (Informe componente sanidad en proyecto: contribuyendo con la sostenibilidad del cultivo de papa de Cundinamarca para Colombia. Corredor Tecnológico Agroindustrial). Universidad Nacional de Colombia y Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Espitia, E.M. y Zuluaga, M.V. (2006). *Conozcamos el tiroteador de la papa*. (Material divulgativo para agricultores). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Evans, K. (1968). *The Influence of some factors on the Reproduction of Heterodera rostochiensis* [Tesis Doctorado, Universidad de Londres, Reino Unido].
- Federación Colombiana de Productores de Papa [Fedepapa], Secretaría de Agricultura y Desarrollo Económico y Gobernación de Cundinamarca. (2008). *Manual de protocolo interno de buenas prácticas agrícolas para el sistema productivo papa criolla*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Centro Virtual de Investigación de la Cadena Agroalimentaria de la Papa (Cevipapa) y Alianza por el Tesoro Dorado.
- Federación Colombiana de productores de papa [Fedepapa]. (2005). *Guía para el cultivo de papa*. Fedepapa.



- Franco-Lara, L., Rodríguez, D. y Guzmán, M. (2013). Prevalence of potato yellow vein virus (PVYV) in *Solanum tuberosum* Group Phureja Fields in Three States of Colombia. *American Journal of Potato Research* 90, 324–330. <https://doi.org/10.1007/s12230-013-9308-1>
- Gallegos, P., Ávalos, G. y Castillo, C. (1997). *Gusano blanco (Premnotrypes vorax) en el Ecuador: comportamiento y control*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP].
- Garza, J. (2006). *Estudios biológicos del tiroteador de la papa Naupactus sp. (Coleoptera; Curculionidae)* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Javeriana].
- Guerrero, O. (1986). *Nematológicas para trabajos con el nematodo quiste de la papa*. (Manual 033). Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).
- Gutiérrez, Y., Bacca, T., Zambrano, L., Pineda, M. y Guedes, R. (2019). Trade-off and adaptive cost in a multiple-resistant strain of the invasive potato tuber moth *Tecia solanivora*. *Pest management science*, 75(6), 1655-1662. <https://doi.org/10.1002/ps.5283>
- Herrera, C., Fierro, L. y Moreno, J. (2000). *Manejo integrado del cultivo de la papa*. (Manual técnico). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). <http://hdl.handle.net/20.500.12324/34707>
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2011). *Manejo fitosanitario del cultivo de la papa (Solanum tuberosum subsp. andigena y S. phureja): medidas para la temporada invernal*. Produmedios. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/2281>
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2020a). *Virus del amarillamiento de las venas de las hojas de la papa y su vector la Mosca Blanca*. MADR. <https://www.ica.gov.co/getattachment/47f58d3d-93e7-4e6f-bfd4-75d59319bb1f/Virus->
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2020b). *Registro Nacional de Cultivares. Pruebas de Evaluación Agronómica*. <https://n9.cl/har8>



- Karlsson, M., Birgersson, G., Cotes, A., Bosa, F., Bengtsson, M. y Witzgall, P. (2009). Plant odor analysis of potato: Response of Guatemalan moth to above and belowground potato volatiles. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(13), 5903-5909. <https://doi.org/10.1021/jf803730h>
- López, A. (1981). Biología y ecología de la palomilla de la papa, *Phthorimaea operculella* (Zeller) (Lepidoptera: Gelechiidae). En Sociedad Colombiana de Entomología [Socolen] (Ed.) *Seminario palomilla de la papa (Bogota y Tunja)* (pp. 14-22).
https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/33220/4123_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- López-Ávila, A. (2000). Insectos plaga del cultivo de la papa en Colombia y su manejo. En Federación Colombiana de productores de papa (Fedepapa) (Ed.) *Papas Colombianas con el mejor entorno ambiental, Capítulo III: Plagas y enfermedades* (pp.146-154).
https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/32476/39480_23368.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- López-Ávila, A. y Espitia-Malagón, E. (2000). *Plagas y benéficos en el cultivo de la papa en Colombia* (Boletín Técnico Divulgativo). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Programa Nacional de Transferencia de Tecnología (Pronatta), Programa Nacional de Manejo Integrado de Plagas (MIP).
- Martínez, R., Rodríguez, D. y Borrero, F. (1999). *Manejo de plagas en hortalizas de clima frío* (Boletín de sanidad vegetal 28). Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), División de Sanidad Vegetal.
- Mujica, N. (1999). *Uso de trampas amarillas en el control de adultos de mosca minadora y mosca blanca: Trampas amarillas pegajosas* (Hoja Divulgativa No. 1). Centro Internacional de la papa (CIP).



- Ñústez, C.E., Delgado, M.C., Alba, A.F., Duque, L.D., Mosquera, T., Rodríguez, L.E., García, C., Cotes, A.M., Beltrán, C.R., Espitia, E., Barreto, N., Cely, L., Wilches, W. y Ospina, C.E. (2020). *Papa de año (Solanum tuberosum Grupo Andigenum): Manual de recomendaciones técnicas para su cultivo en el departamento de Cundinamarca*. Corredor Tecnológico Agroindustrial, CTA-2.
- Ortega, E. (2008). El nematodo quiste de la papa: origen, disseminación, biología e importancia económica. *Inia hoy*, 1, 1-18
- Pérez-Álvarez, R., Argüelles-Cárdenas, J. y Aguilera-Garramuño, E. (2010). Distribución espacial de *Premnotrypes vorax* (Hustache) (Coleoptera: Curculionidae) en cultivos de papa. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 11(1), 11-20. https://doi.org/10.21930/rcta.vol11_num1_art:190
- Pérez-Álvarez, R., Garza, J. y Argüelles-Cárdenas, J. (2009). Método de cría en laboratorio del gusano blanco de la papa *Premnotrypes vorax* (Coleoptera: Curculionidae). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 10(1), 16-23.
- Porras, P.D. y Herrera C.A. (2015). *Modelo productivo de la papa criolla para los departamentos de Cundinamarca y Boyacá*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Rendón, F., Cardona, C. y Bueno, J. (2001). Pérdidas causadas por *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera Aleyrodidae) y *Thrips palmi* (Thysanoptera Thripidae) en habichuela en el Valle del Cauca. *Revista Colombiana de Entomología*, 27(1-2), 39-43.
<https://www.researchgate.net/publication/313204217>
- Rincón, D.F., Vásquez, D.F., Rivera-Trujillo, H.F., Beltrán, C. y Borrero-Echeverría, F. (2019). Economic injury levels for the potato yellow vein disease and its vector, *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae), affecting potato crops in the Andes. *Crop Protection* 119, 52-58. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.01.002>



- Rodríguez, T. y Espitia, E. (2006). Evaluación de hospederos alternos del Tiroteador de la papa en el altiplano Cundiboyacense. En Sociedad Colombiana de Entomología [Socolen] (Ed.) *Resúmenes XXXIII Congreso de Entomología* (p. 84). Socolen.
- Rosende, O., García, L. y Cabaleiro, C. (2003). Nematodos del género *Globodera* y alternativas de control en Galicia. *Boletín de sanidad vegetal. Plagas*, 29, 63-69.
- Salazar, L.F., Müller, G., Querci, M., Zapata, J.L. y Owens, R.A. (2000). Potato yellow vein virus: its host range, distribution in South America and identification as a crinivirus transmitted by *Trialeurodes vaporariorum*. *Annals of Applied Biology*, 137(1), 7–19. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2000.tb00052.x>
- Sánchez, G., Londoño, M., Peña, L. y Espitia, E. (2000). Manejo integrado de plagas. En C.A. Herrera, L. H. Fierro y J.D. Moreno (Eds), *Manejo integrado del cultivo de la papa* (Manual técnico, pp 111-128). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). <http://hdl.handle.net/20.500.12324/34707>
- Sánchez, J., López-Ávila, A. y Rodríguez, L. (2005). Determinación de las etapas críticas en el desarrollo fenológico del cultivo de la papa *Solanum phureja*, frente al ataque de la polilla guatemalteca *Tecia solanivora* (Lepidóptera: Gelechiidae). *Agronomía Colombiana*, 23(2), 230-238.
- Sánchez, C. y Giraldo, R. (2001). *Plagas y enfermedades de la papa*. En J. Alarcón, y J. Galindo (Eds.) (Boletín de sanidad vegetal 32, pp. 45-50). Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), División de sanidad vegetal.
- Santisteban, M. (2011). *Phthorimaea operculella* 2/3 [Fotografía]. <https://www.biodiversidadvirtual.org/insectarium/Phthorimaea-operculella-2-3-img267656.html>
- Smith, I.M., McNamara, D.G., Scott, P.R. y Holderness, M. (1997). *Globodera rostochiensis* and *Globodera pallida* Data Sheets on Quarantine Pest. En CAB International y EPPO (Eds.) *Quarantine Pest for Europe* (2a Ed., pp. 601-606).



- Talavera, M. (2003). *Manual de Nematología Agrícola. Introducción al análisis y al control nematológico para agricultores y técnicos de agrupaciones de defensa vegetal*. Institut de Recerca i Formació agraria i pesquera. Conselleria d'Agricultura i Pesca de les illes Balears.
<http://www.caib.es/sacmicrofront/archivopub.do?ctrl=CENTSP722ZI4569&yid=4569>
- Valbuena, R.I., Roveda, G., Bolaños, A., Zapata, J.L., Medina, C.I., Almanza, P. y Porras, P. (2010). *Escalas fenológicas de las variedades de papa Parda Pastusa, Diacol Capiro y Criolla Yema de huevo en las zonas productoras de Cundinamarca, Boyacá, Nariño y Antioquía*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Vallejo, D., Rojas, D.A., Martínez, J.A., Marchant, S., Holguin, C.M., & Pérez, O.Y. (2021). Occurrence and molecular characterization of cyst nematode species (*Globodera* spp.) associated with potato crops in Colombia. *PloS one*, 16(7), e0241256. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0241256>
- Villamil, J., Martínez, J. y Pinzón, E. (2016). Actividad biológica de hongos entomopatógenos sobre *Premnotypes vorax* Hustache (Coleoptera: Curculionidae). *Revista de Ciencias Agrícolas*, 33(1), 34 - 42.
<http://dx.doi.org/10.22267/rcia.163301.4>
- Villamil, J., Martínez, J. y Pinzón, E. (2015). Actividad entomopatógena de aislamientos autóctonos de *Beauveria* spp. sobre *Premnotypes vorax* (Hustache) *In vitro*. *Temas Agrarios*, 20(1), 21 - 35.
- Zapata, J. (2004). Algunos aspectos sobre virus de la papa en Colombia. En Centro Virtual de Investigación de la Cadena Agroalimentaria de la Papa [Cevipapa], Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR] y Consejo Nacional de la Papa (Eds.). *Taller Nacional sobre patógenos del suelo, virus e insectos plaga diferentes a Tectia solanivora* (pp.24 – 40). Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).



CAPITULO 5

Enfermedades de la Papa Diploide (*Solanum phureja* Juz. et Buk.) en Colombia

José Luis Zapata Pareja,¹ Pedro David Porras Rodríguez,²
María del Socorro Cerón Lasso,³ Carlos Alberto Herrera Heredia³

Resumen

En Colombia el cultivo de la papa aportó el 3,3% del Producto Interno Bruto (PIB) agropecuario en el año 2020. La papa diploide (*Solanum phureja* Juz. et. Buk.) ha sido una de las variedades más sembradas en el país y el cultivo se ha visto afectado por enfermedades de origen biótico de tipo bacteriano, vírico o fúngico, entre otros, representando aproximadamente el 14% de los costos, lo cual impacta la producción, el rendimiento y la calidad de los tubérculos. Lo anterior, como consecuencia de un ambiente favorable para las enfermedades, prácticas agronómicas inapropiadas y la baja adopción de nuevas variedades, entre otros factores. Por tanto, el objetivo de este capítulo consiste en describir los principales aspectos de las enfermedades de la papa diploide: el agente causal, la sintomatología y las recomendaciones de manejo integrado para cada patógeno. Los principales organismos que afectan el cultivo se agruparon en: los que causan daños en la parte aérea de la planta, de origen no viral y por virus, y los presentes en el suelo que son transmitidos especialmente por el tubérculo-semilla. Dicha revisión de las principales enfermedades de la papa diploide, permite mantener actualizado el estado de la investigación y el desarrollo fitosanitario para este importante cultivo en Colombia.

Palabras Clave: microorganismos, organismos patógenos, síntomas, fitopatología, sanidad vegetal.

¹ Ingeniero Agrónomo, Máster en Fitopatología, Consultor Particular.

² Ingeniero Agrónomo, Consultor Particular.

³ Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Tibaitatá, Mosquera, Cundinamarca-Colombia.



Abstract

In Colombia, the potato crop contributed 3.3% of the agricultural Gross Domestic Product (GDP) in 2020. Diploid potato (*Solanum phureja* Juz. et. Buk.) has been one of the most widely planted varieties in the country and the crop has been affected by diseases of biotic origin of bacterial, viral or fungal type, among others, representing approximately 14% of the costs, which impacts production, yield and quality of the tubers. Above-mentioned, as consequence of one favorable environment for diseases, inappropriate agronomic practices, and low adoption of new varieties, among other factors. Therefore, the objective of this chapter is to describe the main aspects of diploid potato diseases: causal agent, symptomatology, and integrated management recommendations for each pathogen. Main organisms that affect the crop were grouped thus: those that cause damage to aerial part of the plant, non-viral and virus origin, and those present in soil that are transmitted especially by the tuber-seed. This review of main diseases of diploid potato allows to keep updated the state of research and phytosanitary development for this important crop in Colombia.

Keywords: microorganisms, phytopathogenic organisms, symptoms, phytopathology, plant health.

Introducción

Para el año 2020 se sembraron 125.426 ha de papa con 2,6 millones de toneladas cosechadas y un rendimiento de 20,9 t/ha, lo cual aportó en el Producto Interno Bruto (PIB) agropecuario de Colombia el 3,3% (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR], 2021). Adicionalmente, en los últimos años se han mejorado y optimizado las técnicas empleadas en las explotaciones agrícolas y los sistemas de producción, con un notable incremento en el rendimiento. No obstante, en Colombia las enfermedades de las plantas constituyen un factor limitante en la producción, ocasionando en muchos casos grandes pérdidas de la calidad y del rendimiento.

Las enfermedades surgen como resultado de la interacción entre un hospedero susceptible, en este caso la papa diploide, con un patógeno virulento



que puede ser un hongo, un oomiceto, un virus, un viroide, una bacteria o un nemátodo en presencia de un ambiente favorable determinado por la temperatura, la humedad relativa, la precipitación o el tipo de suelo, entre otros elementos. Una enfermedad no aparece espontáneamente, sino que necesita de varios factores para expresarse; por lo tanto, su conocimiento es una herramienta necesaria para implementar un proceso de manejo y control. Además, los patógenos afectan diferentes partes de la planta como hojas, tallos, estolones, tubérculos y raíces, por lo que las estrategias para enfrentarlos son diferentes, según sea el caso.

Entre las enfermedades de importancia económica de origen biótico, se encuentran la gota o tizón tardío de la papa (*Phytophthora infestans*); la alternariosis (*Alternaria solani*); los virus: *Potato virus Y* (PVY), *Potato virus X* (PVX), *Potato leafroll virus* (PLRV) y *Potato virus S* (PVS); la costra negra o rizoctoniasis (*Rhizoctonia solani*); la sarna común (*Streptomyces scabies*) y la sarna polvosa *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea*. En cuanto a la papa diploide, los productores del Departamento de Cundinamarca demandan el 3 % de los costos de producción para el control de enfermedades en sus cultivos.

Dependiendo del patógeno y de las acciones tomadas para su control, se pueden presentar disminuciones leves del rendimiento (en este caso se dan cuando hay afección por virus) y pérdidas totales. Cuando se registran ataques tempranos de la gota de la papa, ésta es completamente destructiva en épocas de alta humedad ambiental más deficiente manejo agronómico; o de la sarna polvosa, ésta inhabilita lotes de producción comercial de papa por varios años. Por todo este contexto, se propuso como objetivo describir los principales aspectos de las enfermedades de la papa diploide: el agente causal, la sintomatología y las recomendaciones de manejo integrado para cada patógeno.

Para efectos del manejo fitosanitario, es importante recordar el concepto de enfermedad, la cual puede definirse como el deterioro del estado normal del organismo vegetal o de cualquiera de sus componentes, que interrumpe o modifica el desempeño de las funciones vitales, siendo una respuesta a factores



ambientales, a agentes infecciosos específicos, a defectos inherentes del organismo o a combinaciones de estos factores (Jiménez-Díaz, 2017; Martínez et al., 2004). Por otra parte, los agricultores centran su mayor atención en el control de las enfermedades basados en la observación de síntomas y signos, pero muchas veces de manera tardía para ejercer una intervención eficaz. Desde las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) se formulan las siguientes recomendaciones de manejo integrado en el cultivo de la papa para la prevención o manejos de las enfermedades, así:

- Usar semilla certificada.
- Evitar siembras en localidades marginales para el cultivo que presenten mayores riesgos de desarrollo de enfermedades por condiciones ambientales que las favorezcan, especialmente temperatura elevada y alta humedad relativa.
- Evitar el monocultivo en el tiempo y en el espacio. El inóculo de varios organismos fácilmente se disemina por el viento desde cultivos afectados a lotes sanos que se encuentran en diferentes estados de desarrollo, así mismo, se dispersa eficientemente en las herramientas de trabajo y por la acción del personal que se desplaza en diferentes lugares.
- Destruir los residuos de tubérculo abandonados de cosechas anteriores, toyas y otras plantas susceptibles pero diferentes al cultivo principal, que sirven como fuente de inóculo en el campo.
- Disminuir la densidad de siembra y evitar encharcamientos mediante drenajes.
- Monitorear constantemente el cultivo por lo menos tres visitas a la semana, revisando la parte aérea y la parte subterránea de las plantas.
- Evitar el uso excesivo de nitrógeno edáfico y foliar, el cual induce el exagerado desarrollo vegetativo y aplicar nutrientes como potasio y calcio que favorezcan la formación y fortalecimiento de las paredes celulares de los tejidos de la planta.



- Hacer uso eficiente de riego, si se dispone de este recurso, para superar el estrés hídrico y hacer menos susceptible el cultivo al ataque de enfermedades.
- Realizar aspersiones uniformes y completas de productos para la protección de cultivos cuando se observen los primeros síntomas en el campo, porque todo el cultivo tiene la misma oportunidad de estar infectado y la enfermedad se está incubando.
- Hacer la elección y la aplicación correcta de fungicidas de contacto o sistémicos. Cuando se utilicen productos de contacto, se debe cubrir el 100 % del follaje asegurando una buena cobertura, especialmente en el envés de las hojas y en la zona inferior de las plantas donde se localiza la fuente de inóculo para las enfermedades foliares.
- Rotar los ingredientes activos de los diferentes grupos químicos y mecanismos de acción de los productos para la protección de cultivos, así como utilizar adyuvantes y agua de buena calidad, conforme las recomendaciones emitidas en la asistencia técnica prestada por un ingeniero agrónomo.
- Evitar siembras en localidades marginales para el cultivo que presenten mayores riesgos de desarrollo de enfermedades por condiciones ambientales que las favorezcan, especialmente temperatura elevada y alta humedad relativa.
- Evitar el monocultivo en el tiempo y en el espacio. El inóculo⁴ de varios organismos fácilmente se disemina por el viento desde cultivos afectados a lotes sanos aún en diferentes estados de desarrollo, así mismo se dispersa eficientemente en las herramientas de trabajo y por la acción del personal que se desplaza en diferentes lugares.
- Destruir las fuentes de inóculo en el campo como los residuos de tubérculo abandonados de cosechas anteriores, de toyas y de otras plantas susceptibles pero diferentes al cultivo principal.

⁴Cantidad de microorganismos (patógeno) necesaria para iniciar la infección y provocar enfermedad en la planta hospedera.



- Disminuir la densidad de siembra y evitar encharcamientos mediante drenajes.
- Monitorear constantemente el cultivo por lo menos tres visitas a la semana, revisando la parte aérea y la parte subterránea de las plantas.
- Evitar el uso excesivo de nitrógeno edáfico y foliar, el cual induce el exagerado desarrollo vegetativo y aplicar nutrientes que favorezcan la estructura de la planta como potasio y calcio.
- Hacer uso eficiente de riego por aspersión, si se dispone de este recurso, puesto que se genera un ambiente de mayor humedad dentro del cultivo.
- Realizar aspersiones uniformes y completas de plaguicidas al cultivo cuando se observan los primeros síntomas en el campo, porque todo el cultivo tiene la misma oportunidad de estar infectado y la enfermedad se está incubando.
- Hacer la elección y aplicación correcta de fungicidas de contacto o sistémicos. Cuando se utilicen productos de contacto, se debe cubrir el 100% del follaje asegurando una buena cobertura, especialmente en la parte inferior de la planta donde se localiza la fuente de inóculo.
- Rotar los ingredientes activos de los diferentes grupos químicos y mecanismos de acción de los productos para la protección de cultivos. Utilizar adyuvantes y agua de buena calidad con la asistencia técnica de un Ingeniero Agrónomo.

Metodología

La literatura relacionada con investigación, desarrollo, extensión y transferencia afín a enfermedades de origen biótico en papa diploide, generada por diferentes fuentes públicas y privadas en Colombia se revisó y se consultó además especialistas sobre la importancia del tema y su pertinencia para la publicación. Así mismo, se tuvo en cuenta la experiencia investigativa de los autores en este campo.



Las principales enfermedades en el cultivo y en la semilla que afectan la papa diploide, se identificaron para priorizar las de mayor impacto económico. Estas enfermedades se dividieron en tres grupos, así:

- Primero, las enfermedades no virales.
- Segundo, las enfermedades producidas por virus.
- Tercero, las enfermedades presentes en el suelo y diseminadas por semilla.

Para cada enfermedad, se describe su efecto, el agente causal, la sintomatología y las estrategias de manejo y control. También se revisó el estado del arte sobre la biología para consolidar información útil y actualizada.

Productos Logrados

Enfermedades no Virales que Afectan el Follaje

La parte aérea de la planta de papa diploide es frecuentemente atacada por organismos fitopatógenos que causan daños en las láminas foliares y, en ocasiones tallos y ramas, con una consecuente reducción del rendimiento por la afectación del área fotosintéticamente activa (Bonilla y Pérez, 2010; Núñez López y Rodríguez Molano, 2020). El medio ambiente ejerce un significativo efecto en el desarrollo de las enfermedades, sumado a la susceptibilidad del genotipo sembrado. Condiciones de alta humedad en el campo, favorecen el desarrollo de la mayoría de las enfermedades de origen biótico (Federación Colombiana de Productores de Papa [Fedepapa], 2010) tales como la gota de la papa. En seguida, se presentan cuatro enfermedades foliares no virales que afectan la papa diploide en Colombia con recomendaciones específicas de manejo.

Gota, Tizón Tardío, Gotera, Chispeado, Lancha o Rancho. Principal enfermedad foliar que ataca la planta en Colombia por cuanto afecta diferentes órganos de la planta y en las diferentes etapas de crecimiento, tanto en hojas, tallos y tubérculos, influenciada por las condiciones ambientales existentes en la región donde se establecen los cultivares de papa (ICA, 2011).

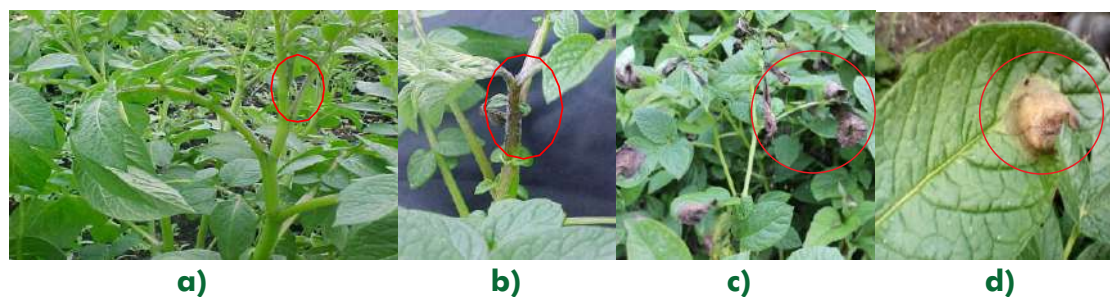


Agente Causal. *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. El oomiceto es el causante de la enfermedad que ocasiona las mayores pérdidas económicas en el cultivo de papa en el mundo. Se esperan fuertes ataques cuando se tiene una variedad susceptible y se presenta un período de tiempo con alta humedad relativa y temperaturas bajas (entre 12 y 18 °C), seguido de días soleados. El patógeno no necesita períodos de abundante lluvia, sólo una pequeña fuente de inóculo en presencia de una humedad relativa superior a 95% durante 12 h. Además, el uso inapropiado (en dosis, frecuencias y mezclas) y permanente de fungicidas sistémicos, induce la formación de poblaciones naturales del patógeno resistente a dichos productos (Céspedes et al., 2013).

Síntomas y Signos. El patógeno ataca diferentes partes de la planta en cualquier estado de desarrollo del cultivo. Cuando afecta el follaje, después de pocas horas de infección, se desarrollan manchas pequeñas irregulares de color verde claro a oscuro, de apariencia húmeda y aceitosa, las cuales se convierten en zonas de manchas pardas a negras (como consecuencia de la necrosis del tejido) en el peciolo de la hoja. En condiciones de alta humedad, las manchas se convierten en lesiones necróticas grandes de color castaño a negro, que pueden ocasionar la muerte de la hoja y pasar al tallo; cuando la infección alcanza la parte basal del tallo, puede matar rápidamente la planta (Figura 5.1).

Figura 5.1

Síntomas iniciales de gota, a y b) en el tallo, c y d) en follaje



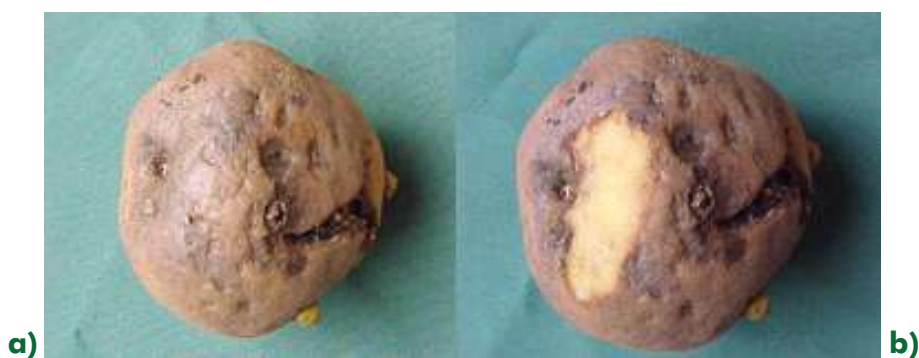
Nota. Fotografías a, c y d, tomadas por Isabel Cusgüen y b por José Luis Zapata



La enfermedad se disemina por el viento y por el tubérculo-semilla. Su presencia en el campo se manifiesta en las horas de la mañana cuando se observan pequeñas manchas irregulares de color verde claro a oscuro o, en estado más avanzados, una vellosidad de color blanco correspondiente a los esporangios del patógeno en el envés del folíolo de la hoja atacada. El patógeno también infecta los tubérculos-semilla, los cuales presentan decoloración superficial irregular con lesiones necróticas aparentemente secas y de color marrón, que muchos productores llaman comúnmente papas viraguadas (Figura 5.2).

Figura 5.2

Tubérculo de papa diploide afectado por la gota, a) piel o cáscara, b) carne



Nota. Navas et al. (2010)

Manejo. Para contrarrestar los efectos de esta enfermedad se recomienda:

- Sembrar nuevas variedades de papa diploide registradas ante el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) que presentan respuesta diferencial de resistencia/tolerancia a la enfermedad y alto rendimiento.
- Evitar la mezcla innecesaria de fungicidas sistémicos, cuando muchos de ellos presentan el mismo mecanismo de acción.
- Utilizar adyuvantes que mejoren la eficacia de los productos para la protección de cultivos.
- Rotar ingredientes activos y mecanismos de acción de los productos registrados para el control de la enfermedad en el cultivo.



Tizón Temprano, Alternariosis o Mancha Negra de la Hoja. Las hojas basales de las plantas de papa muestran manchas necróticas con un halo de color amarillento a su alrededor. Es importante la vigilancia del cultivo cuando se presentan condiciones húmedas y secas alternadas pues el hongo que se encuentra en los residuos de cosecha, en el suelo y en arvenses, se puede multiplicar rápidamente propagando la enfermedad (Avilés Chaves y Piedra Naranjo, 2017; Núñez López y Rodríguez Molano, 2020).

Agente Causal. *Alternaria solani* Sorauer. La enfermedad se encuentra en todas las zonas donde se cultiva papa; este hongo se presenta en planta adulta, mal nutrida y en hojas senescentes.

Síntomas y Signos. La infección comienza casi siempre por las hojas inferiores pudiendo ocasionar la senescencia prematura de las plantas y reducción del área foliar. Se presentan lesiones iniciales a manera de pequeñas manchas que luego se tornan ovoides, de color castaño negro. A menudo, presentan consistencia seca y anillos concéntricos formados por tejido necrótico hundido y levantado alternadamente dando apariencia de ojo de buey rodeado de un halo clorótico (Figura 5.3).

El patógeno también puede atacar los tubérculos en los cuales presenta lesiones oscuras hundidas de forma irregular, a veces rodeadas de bordes levantados de color bronceado. Esta enfermedad también ataca a diferentes solanáceas, diferentes al cultivo de papa como lo es el tomate de mesa (*Solanum lycopersicum* L.).

Figura 5.3

Síntoma típico del tizón temprano (*Alternaria solani*)



Nota. Fotografías tomadas por Isabel Cusgüen y Maria del Socorro Cerón



Manejo. Con relación a las acciones que se pueden desarrollar para mitigar el ataque de esta enfermedad se encuentran:

- Manejo y uso de semilla certificada.
- Control de los arvenses.
- Eliminación de toyas o rebrotes y residuos de cosecha.
- Realización de rotación de cultivos.

Cenicilla u Oidiosis. Esta es una enfermedad que afectan la parte aérea de la papa diploide (Bonilla y Pérez, 2010). En Colombia las zonas más afectadas son aquellas donde hay mayor humedad, su presencia se da en órganos juveniles de la planta como los tallos, botones y frutos, su sintomatología visualiza la presencia de un polvillo de color blancuzco (Herrera Ramírez, 2011).

Agente Causal. *Erysiphe cichoracearum* D.C. ex Merat. Es un hongo que puede llegar a constituirse de importancia económica si no se realiza una efectiva prevención y control en el cultivo antes de lograr la madurez comercial de los tubérculos.

Síntomas y Signos. Las plantas infectadas presentan en los tallos y hojas, manchas alargadas de color castaño claro que a menudo se unen para formar áreas grandes, húmedas y ennegrecidas. Inicialmente, las manchas son de color blanco pulverulento y luego se van oscureciendo. Generalmente, el patógeno se observa en épocas secas, en el envés de las hojas por lo que pasa inadvertido si no hay una continua y detenida observación. Las hojas se tornan de color grisáceo, acartonadas y se secan antes de caer, dejando únicamente las hojas terminales de los tallos que toman apariencia de roseta.

Manejo. Como control de esta enfermedad se tiene que:

- Eliminar residuos de cosecha.
- Utilizar fungicidas preventivos con base en azufre.
- Utilizar fungicidas curativos, cuando la enfermedad esté presente en el cultivo.
- Evitar altas densidades de siembra (Herrera Ramírez, 2011).
- Realizar rotación de cultivos.



Punta Morada (PMP). La Resolución 103325 del 13 de agosto de 2021 (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 2021), reportó la presencia del vector asociado a la Punta Morada de la Papa (PMP) y Zebra Chip (ZC) en el Departamento de Nariño. Esta enfermedad de amplia presencia en el mundo y en el Ecuador se reportó desde el año 2013 (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP], 2018), la cual es ocasionada por bacterias vasculares y se pueden generar pérdidas hasta del 100% del cultivo de la papa.

Agente Causal. Corresponde a las bacterias vasculares *Candidatus Phytoplasma* y *Candidatus Liberibacter solanacearum*, las cuales son transmitidas por *Bactericera cockerelli* (Hemíptera: Triozidae) (ICA, 2021).

Síntomas y Signos. Corresponden al enrollamiento de folíolos hacia arriba con presencia de coloración amarilla o púrpura (Figura 5.4), crecimiento abultado en el ápice de la planta, hinchamiento de los nudos en tallos principales, proliferación de yemas axilares, formación de tubérculos aéreos y pardeamiento de los tejidos internos del tubérculo (ICA, 2011; Pérez et al., 2021). En los tubérculos se producen brotes ahilados y ramificados (Pérez et al., 2021). Esta enfermedad conduce a la disminución en el rendimiento y la calidad de los tubérculos (Gutiérrez et al., 2012).

Manejo. Para tratarse la enfermedad es necesario dividirla en: el vector y el patógeno. En cuanto al vector, el cual es introducido al país desde Ecuador al Departamento de Nariño y con el potencial de llegar al resto del país, su manejo es a través de vigilancia fitosanitaria, control etológico y químico, sí hay reporte, mientras que se otorgan registros respecto a la enfermedad por el ICA. Además, seguir identificación en campo, estrategias de manejo cultural y demás recomendaciones referidas por el CIP (Torres, 2002) y el ICA (ICA, 2011).

Algunos manejos que se pueden llevar a cabo son:

- Evitar la dispersión de la enfermedad a regiones libres de ella, a través de semilla, equipos, personal, herramientas, maquinaria, entre otros.
- Utilizar semilla certificada.



- Monitorear síntomas de la enfermedad en campo y realizar seguimiento periódico.
- Evitar el uso de semilla que provenga de lotes que presenten la enfermedad.
- Hacer seguimiento periódico y control del vector.
- Evitar hospederos verdaderos del vector, entre ellos las solanáceas, como el tomate de árbol (*Solanum betaceum*), tomate de guiso o mesa (*Solanum lycopersicum*), uchuva (*Physalis peruviana*), lulo (*Solanum quitoense*), entre otros.

Figura 5.4

Síntoma de planta con punta morada (PMP)



Nota. Fotografías tomadas por Isabel Cusgüen y Maria del Socorro Cerón



Enfermedades Ocasionadas por Virus

Los virus son parásitos obligados, por lo cual la mayoría de las veces no producen la muerte de la planta hospedera, pero si pueden disminuir la producción y la calidad de los tubérculos. Generalmente, reducen el vigor de las plantas y su rendimiento (Salazar, 1995). Los virus fitopatógenos se pueden definir como partículas de nucleoproteínas compuestas por genomas de ácidos nucleicos de tipo ARN o ADN, protegidos por una o varias proteínas de cápside, que requieren infectar a la célula vegetal y así utilizar la maquinaria metabólica y ribosomas de esta, logrando la replicación viral. La infección viral causa alteraciones funcionales y morfológicas a la planta, con disminución del vigor y manifestaciones como clorosis, enanismo, enrollamiento o necrosis, entre otras, según sea el virus, el huésped y el órgano afectado (Guzmán-Barney, 2008).

Los virus se pueden transmitir por diferentes medios como: semillas contaminadas, injerto de un órgano o tejido infectado, inóculo de segmentos de material vegetal, de savia o de ácidos nucleicos, mecánicamente a través de herramientas, polinización natural, hongos o nemátodos y a través de diferentes especies de insectos (Guzmán-Barney, 2008). Como la propagación del cultivo de la papa diploide es vegetativa, la diseminación de las enfermedades ocasionadas por virus es relativamente fácil, una vez la planta adquiere el patógeno en condiciones de campo no hay una forma rentable que permita eliminarlo.

En condiciones de la zona productora de papa en Colombia, algunos cultivos se aprecian aparentemente sanos, pero al hacer una observación exhaustiva de los mismos, generalmente se aprecia un cierto porcentaje de plantas con síntomas virales. Este resultado puede depender del tipo de virus, de la altitud y del número de veces que el productor haya empleado descendencias de la misma semilla pues se ha encontrado que entre más veces se siembra la misma semilla, mayor es la incidencia de las enfermedades virales. Los síntomas más frecuentes son el amarillamiento de venas, el enrollamiento de hojas, además de los mosaicos suave y rugoso⁵

⁵ Consiste en zonas entre mezcladas de coloración normal y de color amarillento o verde claro.



Para la producción de semilla certificada de papa en Colombia, la presencia de virus es una de las principales causas de rechazo, por lo que se hace necesario mantener lotes libres de estas enfermedades, con aislamiento espacial en el tiempo, vigilancia fitosanitaria y pruebas para detectar su presencia.

A continuación, se presentan las características de los principales virus que afectan al cultivo de papa diploide.

Amarillamiento de Venas de la Papa - PYVV (*Potato Yellow Vein Virus* por sus siglas en inglés). A la fecha este virus se encuentra en todas las regiones de Colombia, afectando la producción de papa hasta un 25 % en cultivares (Hernández-Guzmán y Guzmán-Barney, 2014). Así mismo, el virus se encuentra en Ecuador, Perú, Bolivia y Venezuela, donde es un patógeno cuarentenario y también fue reportado en invernadero en Inglaterra. En Colombia, su incidencia se encuentra entre 5 y 60 % y ocasiona pérdidas hasta del 50 % en el rendimiento (Guzmán-Barney, 2008). El virus se puede encontrar en forma asintomática en algunas arvenses como el barbasco (*Polygonum segetum* H.B.K.), lengua de vaca (*Rumex crispus* L.), corazón herido (*Polygonum nepalense*), yerbamora (*Solanum nigrum* L.) y en tomate de mesa (*Solanum lycopersicum* L.) (Zapata, 2000).

Agente Causal. El virus es transmitido por la mosca blanca de los invernaderos (*Trialeurodes vaporariorum*) de forma semipersistente (Figura 5.5), cuando se alimenta de una planta infectada con el virus, luego se traslada y se alimenta nuevamente de una planta sana de papa (Guzmán-Barney, 2008; Osorio et al., 2016).

Síntomas y Signos. Los primarios se manifiestan en forma de aclareo de las venas secundarias y terciarias de las hojas superiores, luego el color de las venas se torna en amarillento; con frecuencia los síntomas se inician en los bordes de las hojas. Los síntomas secundarios se presentan en plantas provenientes de semilla infectada por el virus, en este caso comienzan con pequeños puntos amarillos en el limbo de un folíolo de la hoja que posteriormente aumentan en número y tamaño hasta unirse, luego aparece el color amarillo de las venas y los



espacios intervenales permanecen verdes. Cuando el ataque es muy temprano en una variedad muy susceptible y las condiciones ambientales son favorables, el amarillamiento invade la totalidad de las hojas (Osorio et al., 2016).

Figura 5.5

Mosca blanca de los invernaderos sobre hojas de papa diploide



Nota. a) Zapata et al. (2006); b) Fotografía tomada por Isabel Cusgüen

Las primeras manifestaciones se evidencian sólo en las nervaduras de las hojas, que adquieren un color amarillo brillante para posteriormente generalizarse a toda la lámina foliar. El amarillamiento de las venas aparece de 10 a 15 días después de la inoculación con el vector; las venas secundarias se afectan y las hojas se vuelven amarillas. En condiciones ambientales apropiadas, la planta entera se amarilla; no obstante, las plantas infectadas no siempre producen síntomas visibles (plantas asintomáticas). Adicionalmente, los tubérculos pueden sufrir deformaciones (Guzmán-Barney, 2008) (Figura 5.6).

La enfermedad se disemina en el campo con el uso de semilla infectada con el virus, a través de su vector *T. vaporariorum* o mediante arvenses que sirven como hospedantes para el virus (Figura 5.7).



Figura 5.6

Síntomas del amarillamiento de venas en papa variedad Criolla Colombia



Nota. Fotografía tomada por José Luis Zapata

Figura 5.7

Cultivo de papa variedad Criolla Colombia afectado por el virus del amarillamiento de las venas de la papa



Nota. Fotografías tomadas por Isabel Cusgüen y Maria del Socorro Cerón

Manejo. La mejor estrategia de control de esta enfermedad se fundamenta en prevenir la llegada de esta, con las siguientes prácticas:

- Sembrar en lotes retirados de cultivos de fríjol y de otras especies de solanáceas que sirvan de albergue a la plaga o susceptibles a la enfermedad.
- Realizar control del vector en el campo.
- Controlar las arvenses hospederas de la mosca blanca.
- Evaluar la posibilidad de descartar plantas con síntomas iniciales con lo que se contribuye a retardar la diseminación de la enfermedad en el campo.



Mosaico Latente o Mosaico Suave. El *Potato virus X* (PVX) es uno de los virus más limitantes del cultivo de la papa en el mundo. Es transmitido solamente por contacto y por tubérculo-semilla. Su control se fundamenta en la siembra de tubérculos libres del virus y en la disponibilidad de metodologías de diagnóstico altamente sensibles (Guzmán-Barney et al., 2010). De igual manera en Colombia, el Género Potexvirus, Familia Alphaflexiviridae, es uno de los más importantes problemas fitosanitarios para la producción de semilla de papa (Kerlan, 2008; Salazar, 2006).

Agente Causal. Virus X de la papa - PVX (*Potato virus X* por sus siglas en inglés) o virus latente de la papa tiene distribución mundial y puede llegar a disminuir el rendimiento entre 10 y 50 % (Guzmán-Barney, 2008), pero cuando se presenta simultáneamente con otros virus como el *Virus Y* de la papa - PVY, las pérdidas pueden alcanzar hasta 80 % (Osorio et al., 2016; Salazar, 1995).

Síntomas y Signos. La enfermedad puede ser del tipo latente, que no muestra síntomas evidentes en el follaje, con la excepción de una ligera reducción del vigor de la planta; puede también inducir mosaico rugoso con enanismo de la planta y reducción del tamaño de las hojas. En combinación con otros virus puede provocar rugosidad o necrosis en el tejido vegetal y afectar considerablemente el rendimiento. El virus se disemina fácilmente en el campo por rozamiento entre plantas enfermas con sanas (Osorio et al., 2016; Salazar, 1995). La transmisión del virus se realiza sin involucrar un vector: se transmite mecánicamente por inoculación y no se transmite a través de semilla ni de polen (Guzmán-Barney, 2008).

Manejo. Se recomiendan realizar las siguientes acciones para impedir la aparición de este virus en el cultivo, como:

- Evitar el contacto con plantas infectadas con el virus o el contacto de tubérculos afectados con sanos en condiciones de bodega o lugar de almacenamiento para semilla.
- Evadir visitas a lotes sanos después de visitar un lote con presencia de la enfermedad.



- Lavar manos con jabón antes de tocar las plantas sanas, cuando se haya tenido contacto manual con plantas enfermas.

Mosaico Rugoso. Como los anteriores virus, el PVY o *Virus Y* de la papa es uno de los patógenos que inciden sobre manera en la producción de papa diploide en Colombia. Este virus ocasiona pérdidas considerables en el rendimiento (Medina et al., 2015).

Agente Causal. *Virus Y* de la papa - PVY (*Potato Virus Y* por sus siglas en inglés). Se considera como uno de los virus más importantes de la papa, debido a que se disemina fácilmente por áfidos o por la inoculación mecánica. Su tiempo de adquisición e inoculación es corto, lo cual es característico de la transmisión no persistente por áfidos (Medina et al., 2015; Salazar, 1995). Es endémico en todas las áreas donde se cultiva papa y puede infectar hasta 200 diferentes especies vegetales, siendo *Myzus persicae* el principal vector (Guzmán-Barney, 2008).

Síntomas y Signos. La severidad de los síntomas en el follaje de la papa difiere ampliamente en relación con el patógeno y el cultivar: van desde síntomas leves a manera de moteado, hasta necrosis fuerte y muerte de las plantas infectadas. Cuando la infección se produce tardíamente, el follaje puede no presentar síntomas, pero los tubérculos de estas plantas pueden llevar consigo la enfermedad. Los síntomas primarios se manifiestan en forma de necrosis o de amarillamiento de las hojas y a veces muerte temprana. Las plantas con infección secundaria son quebradizas, enanas, con hojas encarrujas y moteadas, a veces se produce necrosis en las nervaduras de hojas y en los tallos (Medina et al., 2015; Salazar, 1995). Los síntomas más severos resultan de la combinación con el *Virus X* de la papa (Guzmán-Barney, 2008).

Manejo. La mejor manera de enfrentar este virus es:

- Usar semilla certificada para disminuir la dispersión viral (Guzmán-Barney, 2008).
- Evitar la manipulación de plantas enfermas y después las sanas.
- Controlar poblaciones de pulgones en campo y almacenamiento de semilla.



Enrollamiento o Enrollado de las Hojas.

Es una de las enfermedades más importantes del cultivo de papa en el mundo y se transmite únicamente por medio de áfidos, siendo *Myzus persicae* el vector en papa (Henao-Díaz et al., 2013).

Agente Causal.

Potato leafroll virus (PLRV) es el agente causal. La especificidad de la transmisión viral resulta de la interacción entre la proteína del virión⁶ y el tracto alimentario del insecto (Guzmán-Barney, 2008; Henao-Díaz et al., 2013).

Síntomas y Signos.

Las pérdidas en los cultivos oscilan entre 10 y 95 %. Las infecciones mixtas de PVY y PLRV tienen el potencial de reducir la producción más de 80 % mientras que para virus suaves como PVX, pueden causar pérdidas de 30 % (Guzmán-Barney, 2008). En el cultivo de papa los síntomas primarios se producen cuando se transmite directamente en el campo y los secundarios, al sembrar semilla infectada con el virus. Los síntomas primarios se manifiestan después de que las plantas sanas han sido atacadas por pulgones virulíferos, provenientes de plantas afectadas por PLRV y se hacen evidentes en las hojas jóvenes, que se tornan erectas, enrolladas y pálidas. En algunas variedades de papa, las hojas jóvenes tienen los bordes rojizos y otras enrollan la base de las hojas. Los síntomas secundarios se hacen evidentes después de que la planta emerge a partir de una semilla infectada: las hojas bajas se enrollan y las hojas superiores tienen un color más claro. En general, las hojas se muestran rígidas y coriáceas y al tocarlas producen sonido crocante como de papel (Medina et al., 2015; Salazar, 1995).

Manejo.

Se sugiere seguir las siguientes recomendaciones:

- Utilizar semilla de categoría certificada.
- Controlar pulgones en campo y en bodega.

Enfermedades Ocasionadas por Patógenos Presentes en el Suelo

La principal estrategia de manejo integrado es la prevención. Para la mayoría de los organismos fitopatógenos, se deben evitar las siembras en suelos donde se hayan detectado las enfermedades, así como usar semilla certificada.

⁶ Virión es un conjunto estructural de un virus formado por la molécula de ácido nucleico y la cápsula proteica que lo envuelve.



La disminución o la supresión del inóculo inicial, se constituye en uno de los principales factores de éxito en el cultivo.

El suelo es un medio necesario que permite el crecimiento de los cultivos, por permitir el anclaje del sistema de raíces de las plantas y la provisión de agua y nutrientes durante el ciclo vegetativo; no obstante, también es un factor ideal para la presencia, persistencia y diseminación de organismos fitopatógenos, muchos de los cuales permanecen latentes por largo tiempo y su control puede llegar a resultar poco eficaz y económicamente inviable.

En un lote contaminado por patógenos, una semilla sana de papa diploide puede infectarse, generando signos superficiales perceptibles a simple vista como es el caso de la roña, la rizoctoniasis, el carbón o la dormidera. Los productores de tubérculo comercial y en particular de semilla, tienen la posibilidad de obtener con suficiente anticipación, información acerca del inóculo inicial en condiciones de campo realizando el análisis de laboratorio para la identificación de *Spongospora subterranea*, *Rhizoctonia solani* y *Streptomyces scabies*.⁷

Antes de la siembra de un cultivo comercial de papa diploide, es posible verificar la presencia de algunos patógenos en arvenses como es el caso de *Spongospora subterranea* en *Solanum nigrum* o *Rosellinia* sp. en *Poligonum segetum*). También es posible observar signos de enfermedades como *R. solani*, *S. subterranea* o *S. scabies*, entre otras, en tubérculos enterrados o en toyas que emergen de cosechas anteriores (Figura 5.8).

A la fecha no existe reporte de variedades de papa diploide con resistencia a organismos fitopatógenos presentes en el suelo. Así mismo, las siembras consecutivas a manera de monocultivo en lotes contaminados, sin dejar períodos prolongados de descanso, sin la debida rotación con otros cultivos no susceptibles o con permanente remoción del suelo, presentan una mayor posibilidad de daño con aumento paulatino en severidad e incidencia de las enfermedades.

La semilla es un insumo determinante en el comportamiento del cultivo, en razón a que el inóculo de buena parte de las enfermedades es diseminado a partir

⁷ Estos análisis se pueden realizar en los laboratorios de fitopatología de Agrosavia



del tubérculo sembrado. En esta siembra de papa diploide, los signos leves a moderados de las enfermedades resultan muchas veces imperceptibles como en el caso de *S. scabies* o pasan desapercibidos como en *R. solani*. Por lo tanto, la selección y el tratamiento de la semilla son prácticas que reducen el riesgo de dispersión en el cultivo.

Figura 5.8

Presencia de Spongospora subterranea en el sistema radicular de una planta de papa variedad Criolla Colombia



Nota. Fotografía tomada por Isabel Cusgüen

En general, el uso de materia orgánica parcialmente descompuesta de origen animal favorece la severidad de la mayoría de los fitopatógenos presentes en el suelo. En el caso de requerirse su aplicación como enmienda, ésta debe estar completamente compostada, preferiblemente con registro oficial de venta del ICA (MADR et al., 2006). El control químico para enfermedades como carbón, roña, caratoseo y verticiliosis para el cultivo de papa en Colombia, aún se encuentra en fase de desarrollo, mientras que para rizoctoniasis existen alternativas eficaces en el mercado para su aplicación para proteger la semilla y para condiciones de campo, siguiendo las recomendaciones de etiqueta como parte del manejo fitosanitario integrado. Para evitar el aumento en la severidad

del daño ocasionado por estos organismos patogénicos, es necesario realizar la cosecha del tubérculo de forma oportuna y sin demoras. La inspección semanal del tubérculo en las fases de llenado y maduración, es una labor necesaria para verificar tanto el rendimiento como la calidad del producto a recolectar (Figura 5.9).

Figura 5.9

Inspección de tubérculos próximos a maduración comercial de la variedad Criolla Colombia



Nota. Fotografía tomada por Pedro David Porras Rodriguez

Después de la cosecha, los tubérculos afectados no pueden ser utilizados como materia prima para la elaboración de ensilajes sólidos o líquidos; ni para compostajes en la alimentación de ganado vacuno, porque varios de los patógenos se encontrarán viables en el estiércol de los animales; tampoco, se recomienda el tubérculo atacado por enfermedades como insumo para la elaboración de abonos orgánicos.

Costra Negra o Rizoctoniasis. En Colombia esta enfermedad es importante de consideración en la producción de semilla certificada y en la producción comercial de papa, debido a que es un hongo del suelo, lo que hace imposible garantizar que la semilla está libre del patógeno (Ferrucho et al., 2012). La regulación sobre producción de semilla certificada de papa en Colombia permite hasta un 10 % del total de tubérculos con rizoctoniasis leve (ICA, 2015).



Agente Causal. *Rhizoctonia solani* Kühn. Es un hongo fitopatógeno habitante natural del suelo y la enfermedad tiene un amplio rango de hospederos, el cual es común en todas las zonas donde se cultiva la papa. Puede afectar los tubérculos y el cuello de las plantas recién emergidas.

Síntomas. En la superficie de los tubérculos se forman pequeñas costras duras de color negro llamadas esclerocios, que tienen apariencia de terrones pequeños de tierra adheridos a la piel que se forman en los días cercanos a la maduración, pero que se desprenden fácilmente al hacerles presión con el dedo (Figura 5.10).

Figura 5.10

Esclerocios de Rhizoctonia solani sobre tubérculos de papa variedad Criolla Colombia



Nota. Zapata et al., (2006)

La piel de la papa por debajo de los esclerocios no presenta anomalías, por lo cual los tubérculos no deberían perder su valor comercial para el consumo en fresco, pero sí, para el procesamiento industrial, ya que estas costras son resistentes al lavado y disminuyen la calidad del producto al teñir la salmuera después del proceso de escaldado (Tsrer, 2010; Zapata et al., 2006).

En el campo, el daño principal se produce cuando en la siembra se emplea semilla contaminada con el inóculo. En infecciones tempranas, las plantas recién emergidas son afectadas por el patógeno por el estrangulamiento de los brotes subterráneos, trayendo como consecuencia la no emergencia o retardo de ésta, ocasionando desigualdad en el desarrollo del cultivo y reducción en la producción. No obstante, la muerte de un brote puede llegar a promover el



desarrollo de otro brote sano. Cuando ataca estolones, los tubérculos ya formados, quedan pequeños (Torres, 2002). Las plantas afectadas también presentan disminución en el vigor, acortamiento de entrenudos, hojas engrosadas de color púrpura y formación de tubérculos aéreos en las axilas de las hojas (Figura 5.11). Igualmente, se reporta la deformación de tubérculos y menor tamaño (Fedepapa, 2010).

Figura 5.11

Sintomatología de Rhizoctonia solani en condiciones de campo en papa variedad Criolla Colombia



Nota. a) Tubérculos aéreos; b) Detención del crecimiento y c) Entorchamiento de hojas apicales, d) detección en raíz. Fotografías a), b) y d), tomadas por Isabel Cusgüen y c) Porras y Herrera (2015).

Manejo. Dentro de las principales recomendaciones para el manejo de esta enfermedad se tiene que:

- Usar semilla certificada, libre de la enfermedad y en lo posible, a las semillas sanas realizarles tratamiento preventivo con productos debidamente autorizados por el ICA.
- Evitar el uso de estiércoles parcialmente descompuesto sin compostar como fuente para la fertilización edáfica.
- Utilizar de manera adecuada los productos para la protección del cultivo en condiciones de campo, bajo las recomendaciones de etiqueta.
- Evitar demoras en la cosecha y el uso de tubérculos enfermos para la alimentación de animales de la finca.



Carbón de la Papa. El patógeno viene diseminándose rápidamente en la zona productora del tubérculo en el país, con reportes de daño en diferentes localidades en cultivos comerciales de papa diploide de los Departamentos de Cundinamarca y Boyacá. Puede llegar a ocasionar pérdidas por encima del 80 % de la producción debido a la afectación del sistema subterráneo de la planta.

Agente Causal. *Angiosorus solani* O'Brien y Thirumalachar (1972) [Syn. *Thecaphora solani* Barrus y Müller (1944)]. El hongo puede sobrevivir en el suelo por períodos de más de siete años, principalmente por el uso de semilla infectada y a partir de suelo contaminado.

Síntomas y Signos. La enfermedad puede afectar tubérculos, estolones y tallos, sin manifestación de daño en la parte aérea de la planta ni en raíces. Los tubérculos afectados muestran superficialmente hinchamientos en forma de verrugas o tumores carbonosos que pueden confundirse con daños ocasionados por nemátodos; al cortar los tubérculos transversalmente, se observan estrías radiales que corresponden a las soras o bolsas donde se alojan las esporas de color marrón claro. De acuerdo con Torres (2002), en la base de los tallos también se forman tumores que pueden llegar hasta los 10 cm de diámetro en plantas susceptibles (Figura 5.12).

Figura 5.12

Presencia de la enfermedad de carbón de la papa en variedad Criolla Colombia



Nota. Porras y Herrera (2015)



Manejo. Con el fin de evitar esta enfermedad se sugiere realizar las siguientes acciones:

- Rotación con cultivos que no sean afectados por el patógeno cuando la enfermedad haya sido detectada en un lote.
- Uso de semilla certificada o libre de la enfermedad en lotes que no presenten el patógeno.
- Mantenimiento de los campos libres de arvenses hospederas como el estramonio o chamico (*Datura stramonium*).

Sarna Común, Manchado del Tubérculo, Carate o Caratoseo. La enfermedad la ocasiona una bacteria, patógeno del suelo que está en todo el mundo, aún no se ha encontrado el control para disminuir la población en el suelo, por ello se estudia resistencia genética en cultivares (Zuluaga et al., 2014). En casi todos los suelos donde se cultiva papa se encuentra esta enfermedad, excepto en los muy ácidos.

Agente Causal. *Streptomyces scabiei* (Thaxter) Wakeman y Henrici [Syn. *Streptomyces scabiei*]. Es una bacteria que provoca pérdida de calidad en la piel del tubérculo para daños iniciales, provocando disminución de la calidad para el mercado especializado y para el procesamiento industrial, lo que genera menor valor comercial para el mercado de consumo en fresco; al aumentar la severidad del daño compromete no solo la piel sino la carne del tubérculo, hasta generar excoriaciones profundas. Aunque el rendimiento de producto cosechado no se ve afectado, existen pérdidas por disminución del valor comercial por defectos visuales de la piel del tubérculo, daños en la carne y descarte de tubérculos severamente afectados.

Síntomas y Signos. Hasta ahora no se han encontrado y descrito manifestaciones de la enfermedad en la parte aérea de la planta. Las lesiones en los tubérculos se observan inicialmente como puntos oscuros superficiales dispersos que se van ampliando y profundizando hasta convertirse en



excoriaciones⁸ reticulares de color café que pueden ser superficiales a poco profundas (Figura 5.13). A medida que la enfermedad avanza, el daño va profundizando a manera de grietas hasta comprometer parcialmente la carne. La presencia de la enfermedad es común a medida que se repite el número de siembras de papa en un mismo lote, con lo que aumenta la incidencia y severidad del daño en los tubérculos. Para el caso del cultivo de papa diploide, la aplicación alta de materia orgánica parece estar asociada al aumento de la incidencia de la enfermedad (Torres, 2002). En la etapa de llenado del tubérculo y madurez comercial del cultivo se debe evitar los excesos de humedad en el suelo para evitar el incremento del manchado de la piel por la bacteria.

Manejo. Para impedir el ataque de esta enfermedad se recomienda:

- Evitar encalamiento innecesario, es decir, aplicación de compuestos con calcio al suelo, así como la aplicación de materia orgánica de origen animal parcialmente descompuesta.
- Prevenir excesos de humedad en el suelo en la etapa de maduración del cultivo.
- Evitar el tiempo de demora en la cosecha.

Figura 5.13

*Manchado del tubérculo de papa variedad Criolla Colombia asociado a *Streptomyces scabiei**



Nota. Fotografía tomada por Isabel Cusgüen

⁸ Consiste en erosiones en forma de red que se producen en la piel del tubérculo de la papa.



Roña, Sarna Polvosa o Camanduleo. Es una de las enfermedades más significativa de este cultivo en Colombia. El efecto negativo de la presencia de este patógeno no solo es por la pérdida de la calidad del tubérculo; sino que, en algunos casos, las zoosporas de la enfermedad pueden transmitir el *Potato mop-top virus* (PMTV, Pomovirus) (Arcila et al., 2014). Se ha detectado esta enfermedad donde se cultiva papa en todos los departamentos del país de Colombia como consecuencia del flujo de semillas contaminadas entre zonas productoras. La roña ataca varias especies de la familia Solanácea que producen tubérculos y otras que no los producen como la Yerbamora (*Solanum nigrum*) y algunos tabacos como *Nicotiana rustica* (Osorio et al., 2012).

Agente Causal. *Spongospora subterranea* (Wallr.) Lagerh. f. sp. *subterranea* Tomilson. En condiciones de campo, el protozooario patógeno se ha encontrado afectando las raíces de la variedad Criolla Colombia. Se considera que esta enfermedad es la más importante del cultivo, por el desconocimiento del comportamiento del patógeno, por la falta de estrategias validadas para su manejo y por las pérdidas que puede ocasionar, tanto en producción y calidad como en contaminación de lotes. Esta enfermedad puede llegar a ser la más destructiva, si la distribución e intercambio de semilla no se maneja apropiadamente.

Síntomas y Signos. Las variedades comerciales de papa comúnmente cultivadas, incluyendo la papa diploide, son susceptibles a la enfermedad y son las principales diseminadoras de la misma a través de semilla que porta estructuras reproductivas en su piel. La infección más común y fácil de detectar, se observa en la variedad Criolla Colombia, con manifestación de daño en la raíz y los estolones. Inicialmente, son manchas muy pequeñas, que posteriormente se transforman en verrugas grandes o protuberancias de color blanco lechoso, que dan un aspecto de camándula; como se observa en la Figura 5.14.



Figura 5.14

Aspecto del camanduleo por *Spongospora subterranea* en papa variedad Criolla Colombia



Nota. Fotografía tomada por Isabel Cusgüen

Cuando las verrugas maduran, se tornan de color castaño oscuro y en esta etapa ya se han formado las esporas de descanso o quistosoros. Estas camándulas maduras se desintegran fácilmente, y el polvillo oscuro se confunde con el suelo y son la fuente del inóculo de la enfermedad. Si la infección es temprana y se producen muchas protuberancias, la planta puede marchitarse y morir rápidamente debido a la necrosis de las raíces o a la obstrucción de los vasos conductores.

Manejo. Aunque es una enfermedad que sigue en investigación y de difícil manejo, se han logrado reducciones de presencia de camanduleo por control biológico y algunas prácticas como:

- Emplear biocontroladores o microorganismos potenciales de los géneros *Trichoderma* spp., *Pseudomonas* sp., *Bacillus* sp. y *Streptomyces* spp. (Mesa et al 2017).
- Realizar rotaciones de cultivos y período de descanso por varios años.
- Utilizar semilla de categoría certificada.



- No alimentar el ganado con tubérculos contaminados por esta enfermedad, ya que en las deposiciones de sus heces se disemina fácilmente el patógeno.
- Evitar la excesiva remoción del suelo que promueve la dispersión de la enfermedad en el lote de cultivo.
- Evitar el uso de maquinaria que haya sido utilizada en lotes contaminados sin previa desinfección.
- No se debe sembrar papa donde se conozca la presencia de la enfermedad.
- Realizar un análisis microbiológico del suelo.

Moko, Dormidera o Marchitez Bacteriana. Es una de las enfermedades más destructivas del cultivo de la papa y es una limitante de la producción, especialmente cuando se destina para semilla. En Colombia está catalogada como cuarentenaria presente y sujeta a control oficial (ICA, 2014). Afecta a más de 30 familias de plantas tanto cultivadas como silvestres. Entre las más susceptibles están solanáceas como la papa (*S. tuberosum* L.), el ají (*Capsicum* sp.), la berenjena (*Solanum melongena*), el pimentón (*Capsicum annuum*) y la uchuva (*Physalis peruviana*) (Carreño et al., 2007).

Agente Causal. *Ralstonia solanacearum* (Smith). Esta bacteria se transmite por el tubérculo-semilla puede permanecer en el suelo hasta por un año, dependiendo de la raza fisiológica, la capacidad de resistencia del hospedero y las condiciones del suelo. Los suelos infestados con nematodos favorecen la severidad de la enfermedad y su diseminación.

Síntomas. En el campo se observa marchitez y muerte de la planta, y algunas veces se aprecia amarillamiento del follaje. Inicialmente, sólo un tallo se marchita, pasados 2 o 3 días todos los tallos y las ramas de la planta se marchitan; este fenómeno se acelera en días calurosos. Este marchitamiento es muy rápido y puede ser similar al ocasionado cuando se presenta estrés por deficiencia de agua o cuando hay daño mecánico en el tallo con lo que se imposibilita el flujo de agua y



de nutrientes. Al hacer un corte del tallo atacado, se observan manchas o rayas oscuras que corresponden a los haces vasculares infectados y obstruidos por la bacteria (Centro Internacional de la Papa [CIP] y Servicio Nacional de Sanidad Agraria [SENASA], 2016).

Para comprobar la presencia de la enfermedad en una planta sospechosa en condiciones de campo, se obtiene una porción de la base del tallo enfermo y se sumerge en un vaso de vidrio transparente con agua limpia. A través de la pared del vaso se puede observar el flujo bacteriano que se desprende del tallo que queda flotando, formando hilos de color lechoso y que se proyectan hacia el fondo del vaso (Martín, 1981).

Los tubérculos recién infectados no siempre muestran síntomas, pero cuando son destinados al procesamiento industrial, después del escaldado un exudado blanco se acumula en los ojos del tubérculo, lo cual disminuye su calidad. Posteriormente, el agua del medio se enturbia con la bacteria y esto es motivo de descarte. Cuando la infección en el campo es muy severa, el exudado bacteriano se aglutina en los ojos del tubérculo o en la cicatriz del estolón donde se adhieren partículas de suelo. La semilla puede presentar infección latente, es decir, el patógeno en estado de reposo sin multiplicarse, siendo la forma más común y fácil para diseminar la enfermedad. Cuando se efectúa la siembra y la temperatura ambiental aumenta o se siembra en lotes de baja altitud sobre el nivel del mar, la enfermedad se expresa rápidamente; por lo tanto, se debe evitar su presencia en lotes destinados a la producción de semilla de papa. La sobrevivencia de la bacteria en el campo depende de la raza fisiológica⁹, del rango de hospederos presente en el campo, de las condiciones ambientales (temperatura, humedad del suelo, precipitación y radiación solar, entre otros) y de las condiciones del suelo como presencia de capas compactas, texturas arcillosas o suelos de baja fertilidad. Dentro del mismo campo, la enfermedad se puede diseminar por el agua de riego, el calzado de las personas y las herramientas de trabajo. La bacteria penetra únicamente por heridas en la raíz, tubérculos o tallos. La infección generalmente empieza por el sistema radical.

⁹Representa una población de patógenos de la misma especie que son similares estructuralmente, pero diferentes en sus características fisiológicas y patológicas sobre el hospedero.



Manejo. Para controlar y erradicar la marchitez bacteriana (Pérez y Forbes, 2011), se propone:

- Usar semilla certificada.
- Sembrar en suelos libres del patógeno.
- Hacer rotaciones con cultivos no hospedantes.
- Realizar en las prácticas culturales control de nemátodos.
- Eliminar rastrojos de papa contaminada por esta enfermedad después de su cosecha.
- Desinfectar los utensilios y los zapatos empleados en campos infestados.
- Evitar transporte de tubérculos con esta enfermedad a campos no contaminados.

Lanosa, Mortaja Blanca, Palomillo, Peste Nieve, Tocineta, Macana o Lana. Esta enfermedad se manifiesta por un recubrimiento miceliano de color blanco que causa pudrición a los tubérculos y muerte de brotes (Torres, 2002), por lo cual la planta no emerge.

Agente Causal. *Rosellinia* sp. Este patógeno es muy importante en zonas altas y húmedas, en suelos de alto contenido de materia orgánica. También, se ha encontrado en suelos donde antes había bosque o lotes recién talados. Inicialmente, la enfermedad se presenta en focos que pueden aumentar de tamaño hasta cubrir gran parte del lote, a medida que se emplea maquinaria e implementos para la remoción del suelo. Los focos detectados se deben marcar y no sembrar con papa y, en lo posible, implementar las medidas de manejo integrado como la solarización.¹⁰ La semilla de papa es uno de los principales vehículos de diseminación del patógeno, al igual que el estiércol de ganado vacuno alimentado con papas afectadas por la enfermedad (Andrade Bolaños y Domínguez Arias, 2015).

Síntomas. En infecciones graves no emerge la planta y sí están recién brotadas, se detiene su desarrollo y las mata rápidamente. Antes de su floración se marchitan con amarillamiento de hojas y mueren lentamente. Los tallos pueden

¹⁰Proceso de desinfección del suelo empleando el calor generado por la energía solar capturada.



llegar a presentar chancros, las raíces y estolones toman coloración oscura y se cubren con una capa algodonosa blanca. Los tubérculos enfermos se encuentran parcial o totalmente cubiertos con esta capa, al momento de la cosecha (Figura 5.15).

Al cortar los tubérculos se observa una faja de hilos blancuzcos que se inician en la superficie y penetran hasta el centro (Andrade Bolaños y Domínguez Arias, 2015). La enfermedad también afecta los cultivos de zanahoria (*Daucus carota*), remolacha (*Beta vulgaris*) y yuca (*Manihot esculenta*); arvenses como lengua de vaca (*Rumex* sp.), barbasco (*Poligonum segetum*) y corazón herido (*P. nepalense*).

Figura 5.15

Aspecto de la superficie del tubérculo de papa variedad Criolla Colombia con *Rosellinia* sp.



Nota. Porras y Herrera (2015)

Manejo. Es importante prevenir esta enfermedad por lo cual se sugiere:

- Evitar el uso excesivo de maquinaria agrícola para la remoción del suelo, que dispersa el inóculo en el terreno al cultivar y genera focos de mayor tamaño.
- Evitar el uso de semilla infectada y adquirir semilla certificada.
- Hacer limpieza de maquinaria, equipos, implementos y herramientas antes como después de su uso en diferentes lotes.
- Mantener los suelos libres de arvenses.



Marchitez por *Verticillium* o Verticiliosis. Es una enfermedad que genera en las plantas la producción de tubérculos pequeños o muerte temprana de las plantas, lo que genera una pérdida en el rendimiento por menor peso de los tubérculos (Torres, 2002). Además de afectar la papa, también ataca la berenjena (*Solanum melanongera*), el tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y arvenses como el cenizo (*Gamochaeta americana*) y el diente de león (*Taraxacum officinali*).

Agente Causal. *Verticillium* spp. Reinke y Berth. Se ha encontrado afectando más de 50 especies correspondientes a 23 familias, excepto las gramíneas que no son consideradas hospedantes del patógeno.

Síntomas. La sintomatología en los tubérculos se ha confundido con problemas fisiológicos y la magnitud del daño se ha subestimado. Causa senescencia prematura de la planta y la parte aérea se torna de color verde claro o amarillo y muere joven. Las plantas pueden mostrar marchitamiento especialmente en días soleados y calurosos o en cualquier época del cultivo. Los síntomas generalmente se observan en las hojas de un solo lado del tallo o en la mitad de los folíolos de una hoja. Cuando se corta el tallo, se observa el tejido de color castaño claro, muy similar al producido por *Ralstonia solanacearum* (Smith). Los tubérculos de las plantas afectadas al ser partidos muestran decoloración castaño claro o estrías de color castaño en el sistema vascular. El punto de inserción del tubérculo con el estolón también se decolora. Para la papa diploide, la cual es generalmente de forma redonda y su diámetro es el mismo, por esto se sugiere hacer el corte por su ecuador puesto que los polos son sus extremos basal y apical.

El patógeno permanece en el suelo por un tiempo más o menos prolongado. Las rotaciones por más de tres años con pastos u hortalizas disminuyen la cantidad de inóculo en el suelo; así mismo, puede adherir a la superficie de los tubérculos, el cual sirve como fuente de inóculo para la próxima siembra. La enfermedad se disemina por la semilla infectada, la maquinaria agrícola y el agua de riego.



Manejo. En el control de la marchitez por *Verticillium*, Torres (2002) recomienda:

- Usar semilla certificada.
- Rotar cultivos en los suelos infestados por pastos o cereales que no se afectan por la enfermedad durante cuatro a cinco años.
- Incorporar al suelo abonos verdes.
- Limpiar el suelo del cultivo de papa de arvenses hospedantes del hongo.

Conclusiones

La prevención es uno de los métodos más efectivo para evitar la diseminación de organismos fitopatógenos en el cultivo comercial de papa diploide, así como para disminuir el inóculo inicial de las enfermedades y su aumento de severidad e incidencia en las diferentes zonas productoras del tubérculo. El principal insumo que condiciona la multiplicación de patógenos en este cultivo es la semilla. La calidad genética y fitosanitaria del tubérculo destinado a semilla se constituye en eje principal del manejo integrado de enfermedades. Lastimosamente, muchos patógenos pasan inadvertidos a simple vista y la semilla se convierte en la primera fuente de dispersión de enfermedades entre zonas, muchas de ellas libres donde se constituyen en factor de pérdidas económicas para los agricultores.

Las labores culturales que se efectúan a lo largo del cultivo son herramientas de manejo que contribuyen a la dinámica fitosanitaria de la papa diploide en el país. El control de arvenses, de toyas, del manejo de focos, de la evaluación temprana de daños y de la decisión de cosecha; permiten a los agricultores disminuir el impacto de la mayoría de las enfermedades. El uso del control químico debe atender los parámetros establecidos en las BPA y del uso seguro de plaguicidas que genere entre otros, el menor impacto ambiental, el cuidado de las personas y la inocuidad del alimento.



Referencias

- Andrade Bolaños, H.J. y Domínguez Arias, M.V. (2015). *Evaluación de la calidad de dos categorías de semilla (Prebásica y Seleccionada) con fertilización química y organomineral en la variedad de papa Superchola (Solanum tuberosum) Pintag, Pichinchacha*. UCE.
<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/6524>
- Arcila, I.M., González, E.P., Zuluaga, C.M., Marín, M.A. y Cotes, J.M. (2014). Efecto de la Infección de *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea* en hospederos alternos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*. 67(2). 7261-7269. <http://dx.doi.org/10.15446/rfnam.v67n2.44167>
- Avilés Chaves, J. y Piedra Naranjo, R. (2017). Manual del cultivo de papa en Costa Rica (*Solanum tuberosum* L.). Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA).
- Bonilla, C.R. y Pérez, Y.M. (2010). *Papa criolla (Solanum phureja) producción y manejo poscosecha*. Universidad Nacional de Colombia.
- Carreño, N., Vargas, A., Bernal, A.J. y Restrepo, S. (2007). Problemas fitopatológicos en especies de la familia Solanaceae causados por los géneros *Phytophthora*, *Alternaria* y *Ralstonia* en Colombia. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 25(2), 320-329.
- Centro Internacional de la Papa [CIP] y Servicio Nacional de Sanidad Agraria [SENASA]. (2016). ¿Qué es la marchitez bacteriana de la papa? Centro Internacional de la Papa (CIP). <https://hdl.handle.net/10568/72901>
- Céspedes, M.C., Cárdenas, M.E., Vargas, A.M., Rojas, A., Morales, J.G., Jiménez, P., Bernal, A. y Restrepo, S. (2013). Physiological and molecular characterization of *Phytophthora infestans* isolates from the Central Colombian Andean Region. *Revista iberoamericana de micología*, 30(2), 81-87. <https://doi.org/10.1016/j.riam.2012.09.005>
- Ferrucho, R.L., Cifuentes, J.M., Ceresini, P. y García-Domínguez, C. (2012). *Rhizoctonia solani* GA-3PT es el principal patógeno asociado con el chancro del tallo y la sarna negra de la papa en Colombia. *Agronomía Colombiana* 30(2), 204-213.



- Gutiérrez, A., Laguna, A., Rojas, R., González, R. y Salgado, M. (2012). Molecular detection and classification of the phytoplasma that causes purple top in potatoes (*Solanum tuberosum*) in the State of Mexico. *Ciencia e Investigación Agraria*, 39(2), 339-346.
- Guzmán-Barney, M.M. (2008). *Manual de protocolos para la detección de algunos virus que infectan la papa (Solanum spp.)*. Centro Virtual de investigación de la Cadena Agroalimentaria de la Papa (Cevipapa) y Universidad Nacional de Colombia.
<http://hdl.handle.net/20.500.12324/32815>
- Guzmán-Barney, M.M., Román, V., Franco L. y Rodríguez, P. (2010). Presencia de cuatro virus en algunas accesiones de la Colección Central Colombiana de papa mantenida en campo. *Agronomía Colombiana* 28(2), 225-233.
- Henao-Díaz, E., Gutiérrez-Sánchez, P. y Marín-Montoya, M. (2013). Análisis filogenético de aislamientos del Potato virus Y (PVY) obtenidos en cultivos de papa (*Solanum tuberosum*) y tomate de árbol (*Solanum betaceum*) en Colombia. *Actualidades Biológicas*. 35(99), 219-232.
- Hernández-Guzmán, A.K. y Guzmán-Barney, M.M. (2014). Detección del virus del amarillamiento de las nervaduras de la hoja de la papa en diferentes órganos de *Solanum tuberosum* Grupo Phureja cv Criolla Colombia utilizando RT-PCR convencional y en tiempo real. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 16(1), 74-85.
<https://dx.doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v16n1.44226>
- Herrera Ramirez, C.D. (2011). Adaptabilidad de clones de papa *Solanum tuberosum* y sus características agronómicas en la hacienda experimental San Francisco. *SATHIRI* (1), 65-76.
<https://doi.org/10.32645/13906925.205>
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2011). *Manejo fitosanitario del cultivo de papa (Solanum tuberosum subsp. andigena y S. phureja)*. Medidas para la temporada invernal. ICA y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.



- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2014). *Resultados de la vigilancia fitosanitaria hasta el año 2014, Ralstonia solanacearum (Smith, 1986), Yabuuchi et al., 1996 Raza 3 Biovar 2 (R3Bv2) en los departamentos de Antioquia, Córdoba, Cundinamarca, Boyacá, Nariño y Norte de Santander (Boletín epidemiológico)*. <https://n9.cl/e7tv>
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2015). Resolución 003168. 7/09/2015. Reglamenta y controla la producción, importación y exportación de semillas producto del mejoramiento genético para la comercialización y siembra en el país, así como el registro de las unidades de evaluación agronómica y/o unidades de investigación en fitomejoramiento. ICA. <https://www.ica.gov.co/getattachment/4e8c3698-8fcb-4e42-80e7-a6c7acde9bf8/2015R3168.aspx>
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2021). Resolución 103325. 13/08/2021. “Por la cual se establecen medidas fitosanitarias para la vigilancia y control del insecto *Bactericera cockerelli* Sulc (Hemiptera: Triozidae), vector de microorganismos fitopatógenos asociados a las enfermedades Punta Morada y Zebra Chip, en cultivos de papa del departamento de Nariño”. ICA. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP]. (2018). *INIAP ejecuta un plan emergente frente a la presencia de Punta Morada de la Papa en Ecuador*. <https://www.iniap.gov.ec/>
- Jiménez Díaz, R.M. (2017). Las enfermedades de las plantas: impactos, amenazas y control. *Boletín de la Real Academia de Córdoba*. 96(166), 111-130.
- Kerlan, C. (2008). Potato viruses. En B. W. Mahy y M. H. van Regenmortel (Eds.), *Desk encyclopedia of plant and fungal virology* (pp. 458-471). Academic Press.
- Martín, C. (1981). *La marchitez bacteriana en la papa Pseudomonas solanacearum*. Centro Internacional de la Papa (CIP). <http://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/09/TIBes20919.pdf>



- Martínez, L., Ortiz, C.F., Osorio-Osorio, R., Ruíz, P., Alberto, W., García, R., Arredondo, H.C., Lagunes, A., Rodríguez, J.C., Cibrian, J., Ruelas, J., Ortega, L.D., Rocha, M.A., Philips, W., Phillips-Mora, W., Oropeza, C.M., Ramirez del Ángel, M., Becerra, E.N. y Maldonado, H. (2004). *Simposio Nacional de Manejo Fitosanitario de Cultivos Tropicales*.
https://www.researchgate.net/publication/305479253_Simposio_Nacional_de_Manejo_Fitosanitario_de_Cultivos_Tropicales
- Medina, H.C., Gutiérrez, P.A. y Marín, M. (2015). Detección del potato virus y (PVY) en tubérculos de papa mediante TAS-ELISA y QRT-PCR en Antioquia (Colombia). *Bioagro*, 27(2), 83-92.
- Mesa, P. E., García-Domínguez, C. y Cotes, A.M. (2017). En búsqueda de una alternativa de manejo del camanduleo de la papa ocasionada por *Spongospora subterranea*. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(2), 378-386. <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2017v11i2.6150>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR], Gobernación de Antioquia, Fondo Nacional de Fomento Hortofrutícola [FNFH], Asociación Hortifrutícola de Colombia [Asohofrucol], y Sociedad de Agricultores y Ganaderos del Valle del Cauca [SAG]. (2006). *Plan Frutícola Nacional, Desarrollo de la Fruticultura en Antioquia*.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2021). *Cadena de la papa Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales junio 2021. El Campo es de todos*. MADR.
- Navas, G.E, Díaz, C.A., Tamayo A.J. y Zapata, J.L. (2010). *Manejo técnico del cultivo de papa criolla con fines industriales. Experiencia en el Departamento de Antioquia*. (Cartilla Divulgativa). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
<http://hdl.handle.net/20.500.12324/2257>
- Núñez, L., C.E. y Rodríguez, M. L.E. (2020). *Papa criolla (Solanum tuberosum Grupo Phureja): Manual de recomendaciones técnicas para su cultivo en el departamento de Cundinamarca*. Corredor Tecnológico Agroindustrial, CTA-2.



- Osorio, I., Gutiérrez, P.A. y Marín, M. (2012). Revisión: *Spongospora subterranea* f.sp. *subterranea* y su Virus Asociado *Potato mop-top virus* (PMTV), dos patógenos reemergentes en los cultivos de papa de Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*, 65(1), 6361-6378.
- Osorio, M., Marques, A., Romay, G., Roa, S., Demey, J. y Vegas, A. (2016). Adaptación de la técnica RT-PCR para el diagnóstico del virus del amarillamiento de las venas de papa en Venezuela. *Bioagro* 28(1), 047-052.
- Pérez, W.A. y Forbes, G.A. (2011). *Guía de identificación de plagas que afectan a la papa en la zona andina*. Centro Internacional de la Papa (CIP). <http://www.fao.org/3/as407s/as407s.pdf>
- Pérez, W., Castillo Carrillo, C., Navarrete, I., Gamarra, H., Arango, E., Naccha, J. y Andrade-Piedra, J. L. (2021). *Cartilla para la identificación de síntomas de la punta morada de la papa. Serie: Plagas emergentes del cultivo de papa en Latinoamérica. Material de capacitación 3*. Centro Internacional de la Papa (CIP), Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA). <https://doi.org/10.4160/9789290606161>
- Porras, P.D. y Herrera, C.A. (2015). *Modelo productivo de la papa criolla para los departamentos de Cundinamarca y Boyacá*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). <http://hdl.handle.net/20.500.12324/13752>
- Salazar, L.F. (1995). *Los virus de la papa y su control*. Centro Internacional de la Papa (CIP).
- Salazar, L.F. (2006). Emerging and re-emerging potato diseases in the Andes. *Potato Research*, 49(1), 43-47. <https://doi.org/10.1007/s11540-006-9005-2>
- Torres, H. (2002). *Manual de las enfermedades más importantes de la papa en el Perú*. Centro Internacional de la Papa (CIP).



- Tsrer, L. (2010). Biology epidemiology and management of *Rhizoctonia solani* on potato. *Journal of Phytopathology*, 158 (10), 649-658.
- Zapata, J. (2000). Manejo Integrado de las enfermedades de la papa. En C. Herrera, L. Fierro, y J. Moreno (Eds.), *Manejo integrado del cultivo de la papa* (Manual técnico, pp.130-141). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
<http://hdl.handle.net/20.500.12324/34707>
- Zapata, J.L., Navas, G.E., Tamayo, A.J. y Díaz, C.A. (2006). *Manejo agronómico de la papa criolla para el procesamiento Industrial* (Boletín Técnico). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
<http://hdl.handle.net/20.500.12324/32759>
- Zuluaga, C.M., González, E.P. y 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. <https://doi.org/10.18359/rfcb.326>



A person wearing a blue denim jacket over a light-colored shirt is shown from the chest down, harvesting potatoes. They are holding a large cluster of yellow potatoes with dark spots and soil on their roots. The background is a lush green field of potato plants with some small pink flowers.

Estudios y prácticas de manejo para la sostenibilidad del cultivo

sección 2

Contenido de la Sección 2

Capítulo 6

Producción de Semilla de Papa Diploide (*Solanum phureja* Juz. et Buk.)

Usando la Técnica de Aeroponía.....	229
Resumen.....	229
Introducción.....	230
Técnica de Aeroponía.....	233
Metodología.....	233
Sitio de Estudio y Genotipos Utilizados.....	233
Invernadero.....	234
Producción de Semilla.....	235
Estado Sanitario de las Plantas.....	239
Soluciones Nutritivas y su Manejo.....	239
Productos logrados.....	241
Seguimientos al Interior del Invernadero.....	241
Suministro de la Solución Nutritiva.....	242
Manejo de las Plantas Bajo la Técnica Aeroponía.....	244
Cosecha y Almacenamiento de Minitubérculos.....	244
Conclusiones.....	247
Referencias.....	247

Capítulo 7

Caracterización de Productores y Costos Asociados al Cultivo
de Papa Diploide (*Solanum phureja* Juz. et Buk.) en Cuatro

Municipios del Departamento de Cundinamarca.....	251
Resumen.....	251
Introducción.....	252
Metodología.....	254
Caracterización de los Productores.....	255



Costos Asociados al Cultivo de la Papa Diploide.....	255
Productos Logrados.....	255
Productores de Papa Diploide.....	255
Costo Total de Producción.....	261
Resultados Financieros.....	267
Conclusiones.....	268
Referencias.....	269

Capítulo 8

Estrategias de Agricultura Sostenible en Cultivos de Papa Diploide

(<i>Solanum phureja</i> Juz. et Buk.).....	273
Resumen.....	273
Introducción.....	274
Metodología.....	278
Experiencia con Agricultores de Papa Diploide en el Manejo de Biopreparados.....	278
Experiencia con Agricultores de Papa Diploide en Procesos de Transformación Ambiental para un Manejo Sostenible del Suelo.....	279
Productos Logrados.....	280
Experiencia con Agricultores de Papa Diploide en el Manejo de Biopreparados.....	280
Experiencia con Agricultores de Papa Diploide en Procesos de Transformación Ambiental para un Manejo Sostenible del Suelo.....	292
Conclusiones.....	310
Referencias.....	311



CAPITULO 6

Producción de Semilla de Papa Diploide

(*Solanum phureja* Juz. et Buk.)

Usando la Técnica de Aeroponía

Andrés Felipe Uribe Gaviria,^{1a} María del Socorro Cerón Lasso,^{1a} Julián Fernando Mateus Rodríguez,^{1b} Yajaira Romero Barrera,^{1a} Luis Alonso Lavado Villalobos^{1a}

Resumen

El uso de la técnica de aeroponía en la producción de tubérculos semillas de papa diploide (*Solanum phureja* Juz. et. Buk.), es una alternativa importante para la obtención de semilla con estándares de alta calidad genética y sanitaria. Lo anterior, favorece la producción y la utilización de semilla de papa en Colombia. Este estudio tuvo como objetivo ajustar los procesos y los métodos sobre la producción de minitubérculos de papa diploide bajo la técnica aeropónica; la cual, inicia con el alistamiento del invernadero, la siembra en las camas donde las plántulas crecen y el empleo de soluciones nutritivas en los diferentes momentos del ciclo de cultivo. Para llevarlo a cabo, se trabajaron: cinco variedades registradas como Corpoica Sol Andina, Corpoica Tiba, Agrosavia Estrella, Agrosavia Alhaja y Agrosavia Oyanza; seis genotipos promisorios identificados como 2, 3, 8, 9, 12 y 13; más la variedad comercial Criolla Colombia como testigo. Los genotipos en el sistema aeropónico alcanzaron cosechas entre 90 y 110 días. La producción de tubérculos-semillas presentó variaciones entre variedades y el testigo, obteniendo diferente número de tubérculos en la segunda cosecha. Los rendimientos oscilaron entre 3 y 30 tubérculos/planta y la variedad Criolla Colombia produjo en promedio 7 tubérculos/planta. Los genotipos codificados como 12 y 3 produjeron como máximo 27 y 30 tubérculos/planta respectivamente. Los resultados obtenidos demostraron la eficiencia exponencial de esta metodología para la producción de semilla de papa diploide usando la técnica de aeroponía.

Palabras Clave: cultivo sin tierra, calidad de la semilla, tubérculo, soluciones nutritivas.

^{1a} Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Tibaitatá, Mosquera, Cundinamarca-Colombia.

^{1b} Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Palmira, Palmira, Valle del Cauca-Colombia.



Abstract

Aeroponics technique handling in production of diploid potato (*Solanum phureja* Juz. et. Buk.) seed tubers, it is an important alternative for obtaining seed with high genetic and sanitary quality standards. The above, it favors the production and use of potato seed in Colombia. This study aimed to adjust processes and methods on production of diploid potato minitubers under the aeroponic technique; which begins with preparation of the greenhouse, planting in beds where the seedlings grow, and use of nutrient solutions at different times of the crop cycle. To carry it out, it was worked with: five registered varieties as Corpoica Sol Andina, Corpoica Tiba, Agrosavia Estrella, Agrosavia Alhaja, and Agrosavia Oyanza; six promising genotypes identified as 2, 3, 8, 9, 12, and 13; plus, commercial variety Criolla Colombia as a witness of the experimentation. The genotypes in aeroponic system reached harvests between 90 and 110 days. The production of tubers-seeds presented variations between varieties and the witness, obtaining different numbers of tubers in the second harvest. Yields ranged between 3 and 30 tubers/plant and Criolla Colombia variety produced an average 7 tubers/plant. The genotypes coded as 12 and 3 produced a maximum of 27 and 30 tubers/plant, respectively. Results obtained showed exponential efficiency of this methodology for diploid potato seed production using the aeroponics technique.

Keywords: landless culture, seed quality, tuber, nutrient solutions.

Introducción

La producción de semilla de papa libre de enfermedades y virus es uno de los retos más importantes para la obtención de semilla de calidad. Para esto, se parte de material de alta calidad y se produce bajo invernadero, para reducir los costos de operación e instalación y aumentar el rendimiento por planta (Centro Internacional de la Papa [CIP], 2008).



A nivel mundial, la necesidad de producir tubérculos de alta calidad genética y fitosanitaria para abastecer las demandas de semillas y a la vez, favorecer la productividad del cultivo, condujo a la implementación de la técnica de la aeroponía. Este es un método de rápida propagación usado en la producción de semilla de papa. Ofrece ventajas como: mejor aprovechamiento del espacio de las infraestructuras de producción en condiciones controladas, aumento en el número final de tubérculos-semilla por planta, ciclos de producción más largos, mejora importante en la calidad fisiológica y sanitaria de los minitubérculos, minimización de los costos de producción por concepto de agua y de fertilizantes puesto que este sistema permite la recirculación de soluciones nutritivas, aplicación de nebulizaciones de forma uniforme a las raíces de las plantas.

En Corea y China se realiza la producción comercial de semilla de papa de calidad con la aplicación de la aeroponía. Esta técnica se emplea exitosamente en la Zona Centro Andina de Sudamérica desde el año 2006. En la estación experimental del CIP-Huancayo (Perú) se obtuvo una producción de más de 100 tubérculos/planta, con la utilización de materiales de bajo costo para su implementación (Otazú, 2010). Reportes adicionales sobre la introducción de esta técnica en los sistemas de producción de semilla de papa de calidad se han dado en algunos países africanos ubicados al sur de la Zona del Sahara (Otazú, 2010).

En Colombia se siembran alrededor de 8460 ha de papa diploide con un rendimiento promedio de 15,25 t/ha (Agronet, 2022), con algunas limitantes tecnológicas tanto del cultivo como de la disponibilidad de semillas certificadas para los productores. De aquí la importancia de contar con semillas de calidad para que cumplan con los requisitos establecidos en la Resolución 3168 (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 2015). Aunque son conocidos los métodos de producción de semilla de papa por esquemas convencionales, la técnica de



aeroponía es utilizada recientemente en los esquemas de producción y de certificación en Colombia.

Por tanto, se propuso como objetivo producir minitubérculos de papa diploide bajo la técnica aeropónica mediante el ajuste de los procesos y de los métodos sobre su producción. Esta técnica se implementó para la propagación asexual de papa (tubérculo-semilla), usando genotipos procedentes de la Colección Central Colombiana de Papa del Banco de Germoplasma Vegetal del estado colombiano que administra AGROSAVIA. Para la aplicación de la técnica de aeroponía en la producción de semillas, previamente se realizó la multiplicación *in vitro* en laboratorios de micropropagación, de donde posteriormente se trasladaron las plántulas de papa para su etapa conocida como endurecimiento o adaptación ambiental antes de su siembra definitiva en invernaderos.

Técnica de Aeroponía

Esta técnica es un método alternativo de los cultivos sin suelo realizada bajo ambientes controlados en invernaderos o casas de malla. Las partes subterráneas de las plantas se encuentran suspendidas en contenedores o cajones oscuros con suministro de agua y nutrientes constante a través de un sistema de nebulización. Esto permite favorecer una mayor aireación de la zona radical, que favorece los rendimientos en comparación con sistemas hidropónicos convencionales (Soffer y Burger, 1988). Inicialmente, esta técnica ha sido utilizada de manera exitosa en cultivos hortícolas como lechuga (He y Lee, 1988), tomate (Eldridge et al., 2020; Wang et al., 2019; Komosa et al., 2020; Gysi y von Allmen, 1997; Cho et al., 1996), pepino (Park et al., 1997) y plantas ornamentales (Movahedi y Rostami, 2020; Şimşek y Gül, 2018; Molitor y Fisher, 1999). De igual manera, en Korea se reportaron las primeras aplicaciones de esta técnica en la producción de tubérculos semilla de papa (Kim et al., 1999; Kang et al., 1996).

Adicionalmente se destaca que no se emplea sustrato para la siembra, evitando así la contaminación de la parte radical de las plantas, al no estar en



contacto con el suelo y evitando así la propagación de agentes patógenos. Con la técnica de aeroponía es posible lograr incrementos en los rendimientos finales y reducir los costos de producción de semillas en comparación con los métodos convencionales (Figura 6.1) o con otros métodos de cultivo sin suelo que usan sustratos inertes (Otaú, 2010)

Figura 6.1

Sistema de producción de tubérculo-semilla con sustrato inerte



Nota. Fotografía tomada por Andrés Felipe Uribe Gaviria

Metodología

Sitio de Estudio y Genotipos Utilizados

El estudio se realizó en el Centro de Investigación Tibaitatá, ubicado en el Municipio de Mosquera (Departamento de Cundinamarca), donde se evaluó la producción de minitubérculos bajo el sistema de aeroponía de: cinco variedades registradas como Corpoica Sol Andina, Corpoica Tiba, Agrosavia Estrella, Agrosavia Alhaja y Agrosavia Oyanza; seis genotipos promisorios identificados como 2, 3, 8, 9, 12 y 13; más la variedad comercial Criolla Colombia como testigo.



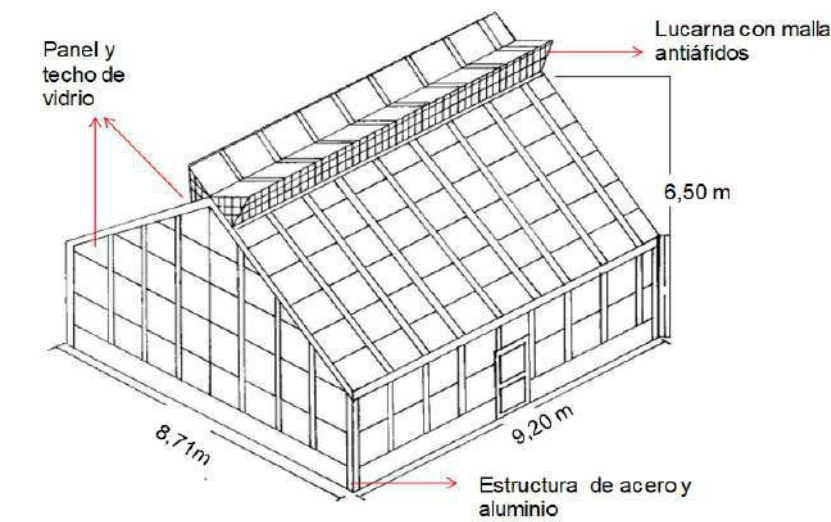
Invernadero

Para la producción de semilla mediante la técnica de aeroponía fue importante contar con la estructura de un invernadero o de una casa de malla. El invernadero estaba construido y adaptado para que ofreciera condiciones de aislamiento a problemas sanitarios y favoreciera condiciones óptimas para el desarrollo de las plantas de papa. Las condiciones ambientales ideales fueron: temperatura no superior a los 25 °C y humedad relativa entre 60% y 75% (CIP, 2008).

El invernadero se construyó con aluminio, acero galvanizado y vidrio. Contó con dos ventanas movedizas en el techo, malla antiáfidos en la parte superior para retirar el aire caliente y evitar el ingreso de insectos plaga, más una ventana al costado izquierdo que permitió una circulación permanente del aire fresco. A continuación, se presenta un esquema de la vista superior del invernadero implementado en la experimentación de la investigación (Figura 6.2). Dentro se instalaron cuatro módulos o cajones para el trasplante de las plantas de los genotipos de papa diploide y cada módulo o cajón tuvo una capacidad de 120 plantas.

Figura 6.2

Esquema del invernadero para aeroponía



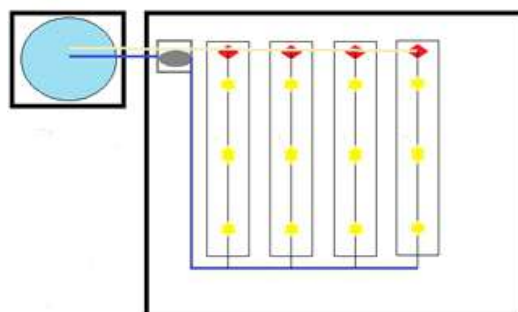
Nota. Estructura ubicada en el Centro de Investigación Tibaitatá (Municipio de Mosquera – Departamento de Cundinamarca)



En la Figura 6.3 se muestra un diagrama de la vista superior de los módulos, del sistema de bombeo del agua y de su recirculación al tanque de agua. El círculo azul representa el tanque de agua donde se disolvieron los fertilizantes. Mediante la acción de una electrobomba de 1 hp (óvalo gris), el contenido del tanque se bombeó por tubos de PVC (líneas de color azul) a los módulos de siembra (rectángulos negros). En éstos, operaban nebulizadores con un diámetro de aspersión de 70 cm (estrellas de color amarillo) para hidratar y fertilizar las plantas en períodos de 15 min de aspersión y 15 min de descanso de la electrobomba, hasta los primeros 50 días después de la siembra; posteriormente, se trabajó 15 min de aspersión y 0,5 h de descanso. Esta técnica permitió la recirculación de agua y fertilizantes al tanque (círculo azul) mediante sifones (rombos de color rojo) conectados a una tubería de desagüe (línea de color crema).

Figura 6.3

Vista superior de módulos para aeroponía con circulación de agua y fertilizantes



Nota. Diseño de los módulos construidos en el invernadero del Centro de Investigación Tibaitatá (Municipio de Mosquera – Departamento de Cundinamarca).

Producción de Semilla

La producción de semilla de papa diploide inició desde el momento de la obtención de las plántulas *in vitro*, las cuales fueron obtenidas, multiplicadas y conservadas en el laboratorio, con el objeto de eliminar o limpiar las plantas de patógenos y virus que pudieran tener los materiales utilizados y que pudiesen arriesgar la actividad de producción de semillas de calidad certificada.



Acondicionamiento de las plántulas *in vitro*. Luego de tener las plántulas listas y conservadas en frascos de vidrio con una humedad relativa al interior del 100 %, se procedió a extraerlas y pasarlas a una fase denominada de endurecimiento o de acondicionamiento, la cual se realizó en una mezcla de sustratos en una proporción 1:1, como: cascarilla de arroz (tostada al 50%) y escoria o turba². Después de tener la mezcla de sustratos, se sometió a solarización como método de desinfección; se colocó el sustrato en un área seca, se lo tapó con un plástico para permitir el incremento de la temperatura con los rayos solares al interior del sustrato durante 15 a 20 días.

Fase de Endurecimiento. Una vez sembradas las plantas de los materiales evaluados, sobre camas de siembra con la mezcla de sustratos mencionados, se cubrieron con vasos plásticos transparentes (10 - 12 oz de volumen) con el fin de generar una cámara cerrada que permitiera mantener la humedad relativa de cada planta. Pasados 12 a 15 días, los vasos fueron retirados y se observaron plantas más fuertes y vigorosas (endurecidas).

De manera alternativa, se pudo realizar esta etapa de endurecimiento sin uso de sustrato alguno. Las plantas se almacenaron en una cámara húmeda, la cual consistió en un mesón de aluminio que contenía agua y plástico en la parte superior. El agua y una solución nutritiva (a concentración media de la concentración empleada en el sistema aeropónico), fueron recirculadas constantemente a través de una pequeña bomba hacía un tanque. Las plantas fueron ubicadas en bandejas enraizadoras (tipo hortalizas) sin sustrato alguno, con el cuidado de sacar por abajo sus raíces para que flotaran dentro de la piscina o del contenedor.

Trasplante al Sistema Aeropónico. Después de la fase de endurecimiento, las plantas estaban en condiciones para transferirlas cuidadosamente a los módulos o cajones del sistema de aeroponía. Este paso fue de vital importancia para no maltratar las raíces de las plantas y, conservar la humedad y la turgencia de las plantas hasta su establecimiento final.

² La escoria es un subproducto de las siderúrgicas y es similar al carbón, y la turba son restos de material vegetal descompuestos de lugares pantanosos y su base también es carbón, pero más ligero.



El uso de pinzas laboratorio fue de gran ayuda para el trasplante final, además, de una brocha fina para retirar el sustrato de las raíces. También se utilizó un atomizador manual con agua limpia para retirar el sustrato sin causar daños severos en las raicillas. Un trozo de espuma se envolvió alrededor del cuello de cada plántula que se colocó en los agujeros de las tapas de los módulos con el fin de sostenerlas y evitar que cayeran dentro de los cajones. Con un par de pinzas se procedió a empujar la esponja con la planta hacia abajo hasta que la raíz quedara totalmente expuesta a la nebulización de la solución nutritiva. Después de realizado el trasplante se cubrieron los agujeros, donde se sembraron las plantas, con plástico negro o espuma (bloqueador de luz) alrededor de cada planta para evitar la entrada de luz a los cajones siguiendo las recomendaciones de Otazú (2010).

A los 30 días del trasplante, se instalaron las mallas de tutorado de nylon que sirvieron para guiar las plantas y brindarle soporte debido al abundante crecimiento foliar en esta metodología de siembra. En el sistema aeropónico se utilizaron hasta cuatro líneas de tutorado por cajón y soportes alrededor de los cajones que sostuvieran las mallas de tutorado. Se emplearon soportes en forma de estacas y mallas de tutorado de nylon.

Cosecha y Almacenamiento. Una vez logrado el llenado de minitubérculos (crecimiento apropiado) en las plantas se procedió a cosecharlos. Las paredes laterales del módulo o cajón de aeroponía se retiraron y luego cuidadosamente se quitó la cortina de plástico interna, para prevenir daños al sistema radical de las plantas. Las cosechas se programaron en horas de la mañana con un ambiente de temperatura fresca, con el fin de evitar un choque de temperatura sobre el ambiente radical, así como una deshidratación de las raíces. Los programadores de tiempo de riego se detuvieron por 0,5 h.

La técnica de aeroponía permitió cosechas secuenciales y se realizaron dos cosechas. En cada cosecha se consignó el número de minitubérculos por planta y por genotipo para establecer su rendimiento. En el momento de cada cosecha, los



minitubérculos fueron tratados con una solución de 0,1% de hipoclorito de sodio (NaClO), seguido de 1 o 2 enjuagues con agua con el fin de evitar contaminaciones por patógenos diversos, como una medida de precaución.

Una vez cosechados los minitubérculos, se revisaron y se separaron de acuerdo con su tamaño y variedad en canastas plásticas. En seguida, los minitubérculos se colocaron en ambiente seco y limpio para su curado u oreado por dos o tres semanas a temperatura ambiente bajo condiciones de luz difusa antes de su ubicación final en almacenamiento en cuarto frío.

En la Figura 6.4 se muestran las fases o etapas llevadas a cabo según la metodología descrita en la producción de minitubérculos bajo el sistema de aeroponía.

Figura 6.4

Producción de tubérculo-semilla de papa diploide por aeroponía



Nota. Fotografías tomadas por Andrés Felipe Uribe Gaviria



Estado Sanitario de las Plantas

En la actividad de producción de tubérculo-semilla fue importante la confirmación sanitaria de las plantas que estaban en producción. Para esto se tomaron muestras de folíolos en estado de floración y en un laboratorio autorizado se sometieron a prueba de ELISA o ensayo por inmuno-absorción ligado a enzimas. La prueba permitió determinar si existía alguna contaminación por virus en el tejido de los genotipos.

Soluciones Nutritivas y su Manejo

Un aspecto fundamental que se tuvo en cuenta en la aeroponía de la especie papa, fue la determinación de las fórmulas de las soluciones nutritivas para aplicarlas a la planta que carecían de sustrato de siembra (Andrade-Piedra, et al. 2015; Cayambe, 2010). La planta de papa diploide no posee los mismos requerimientos nutricionales de otras especies de papa, debido principalmente a la duración del ciclo de cultivo (más precoz), mientras que las papas tetraploides (*S. tuberosum* L.) son de ciclo tardío (Seminario-Cunya et al., 2018).

Una vez establecidas las plantas en los módulos o cajones del sistema de aeroponía, fue fundamental el manejo de la solución nutritiva (macro y micronutrientes, así como elementos menores) y los tiempos de operación de la bomba de riego; pues esto incidió en el crecimiento y desarrollo de las plantas de papa. Para el caso de papa diploide se diseñó un plan de fertilización dividido en tres fases a lo largo del tiempo de acuerdo con su ciclo fenológico:

- La primera fase (I) se enfocó en el desarrollo vegetativo hasta los 35 días después del trasplante, buscando un crecimiento del área foliar y área radical acorde con las necesidades nutricionales de la planta.
- La segunda fase (II) se diseñó con el objeto de buscar un estrés en las plantas el cual se hizo cambiando el nitrato de potasio (KNO_3) por cloruro de potasio (KCl) y reduciendo la dosis a la mitad del resto de los elementos de la solución nutritiva. El objeto del cambio consistió en inducir un estrés que favoreciera la formación de estolones e inducción de tuberización. Se determinó que esta fase estaba entre los 35 a 45 días después del trasplante.



- La tercera fase (III) o última fertilización que favoreció el llenado (crecimiento) final de los tubérculos, se emplearon las concentraciones iniciales de las soluciones nutritivas para obtener minitubérculos con diámetros deseados, después de los 45 días de realizado el trasplante final. Para la solución nutritiva inicial se manejaron fuentes de fertilizantes a base de nitratos y sulfatos, aunque se aplicaron de manera independiente, pero interactuaron entre si cuando ingresaron a la planta. Debido a las interacciones que ocurrieron entre los iones y nutrientes, de maneras sinérgicas o antagónicas, se recomendó utilizar fuentes de elementos menores de forma quelatada con el fin de favorecer la interacción entre las fuentes aplicadas a la solución de fertirrigación (Lucena, 2009).

A continuación, en la Tabla 6.1 se relacionan los componentes de las soluciones nutritivas en partes por millón (ppm) que se disolvieron en un tanque de agua de 500 L de capacidad. La conductividad eléctrica y el pH fueron indicadores de gran importancia, los cuales se verificaron en cada solución nutritiva regularmente.

Tabla 6.1
Macro y micronutrientes en partes por millón (ppm) suministrados en las fases de fertilización para 12 genotipos de papa diploide evaluados

Fases	Días	Nutrientes (ppm) (mg/L)											
		K	N	Ca*	S*	Mg*	P	Fe	Mn	B*	Zn	Cu	Mo
I	< 35	170	120	130	40	60	35	3,5	1,00	0,5	0,15	0,1	0,05
II	35 a 45	230	50	100	80	35	40	1,2	0,5	0,5	0,15	0,1	0,05
III	> 45	180	60	130	40	60	20	3,5	1,0	0,5	0,15	0,1	0,05

*Incluye elementos aportados por el agua de riego

Nota. Basado en Mateus-Rodríguez (2010). En la fase I se utilizaron altos contenidos de N y P para lograr plantas con un crecimiento foliar óptimo y un adecuado desarrollo radical; en la fase II se aumentó el contenido de K para lograr la formación de los estolones y, en la fase III su formulación favoreció el llenado de los minitubérculos.



Productos logrados

Seguimientos al Interior del Invernadero

La propagación de plantas aprovechó eficientemente el espacio vertical del invernadero y se mantuvo el balance humedad-aire con el fin de optimizar el desarrollo de raíces, tubérculos y follaje (Figura 6.5). Adicionalmente, el ciclo vegetativo de los genotipos se redujo al desarrollarlo en las mejores condiciones fitosanitarias sin aplicación de agroquímicos y con menor manejo de mano de obra (CIP, 2008).

Figura 6.5

Sistema de producción de tubérculo-semilla por aeroponía



Nota. Fotografía tomada por Andrés Felipe Uribe Gaviria

Con respecto a las condiciones internas del invernadero, se presentó como principal inconveniente el manejo de la temperatura, puesto que los rayos solares sobre el vidrio entraban de forma más directa y en consecuencia incrementaba la temperatura interna. Por lo tanto, se planteó como solución mantener las ventanas superiores abiertas en su totalidad para permitir el flujo de aire.

Después de sembrar los genotipos se verificó y eliminó la entrada de la luz al interior de los módulos y se aseguró que todas las raíces estuvieran siendo humedecidas. Los soportes que sostuvieron las mallas de tutorado, fueron usados



a partir de la segunda o tercera semana, cuando las plantas no podían sostenerse por sí mismas (Figura 6.6).

Figura 6.6

Vista superior de plantas de papa diploide en los módulos del sistema de aeroponía



Nota. Fotografía tomada por Andrés Felipe Uribe Gaviria

Suministro de la Solución Nutritiva

La conductividad eléctrica no excedió de 2,0 S/m y el pH se mantuvo entre 5,5 y 6,5. Para bajar el pH se preparó una solución ácida, disolviendo 7 mL de ácido fosfórico (H_3PO_4) al 70% en 1.000 L de agua. También se tuvo en cuenta el cambio del agua y una reposición de la solución nutritiva cada 15 días, según el estado fenológico de las plantas. Se observó que cuando las plantas desarrollaban abundante follaje en su estado adulto, el consumo de agua y nutrientes aumentó; por tanto, se estuvo verificando el nivel del tanque constantemente. En el caso de un consumo anormal o excesivo de nutrientes se inspeccionaba el sistema para encontrar alguna fuga y corregirla inmediatamente, lo cual también es considerado por otros autores (Otazú, 2010).

Con el fin de promover la mayor producción de minitubérculos por planta, se recomienda cambios en las concentraciones de elementos en la solución nutritiva para reducir el contenido de nitrógeno y aumentar la fuente de potasio y magnesio. También, es conveniente utilizar fuentes de fertilización en forma de



de quelatos y no de sulfatos para el aporte de elementos menores para facilitar su absorción (Cayambe, 2010; Kang et al., 1996).

Manejo de las Plantas Bajo la Técnica Aeroponía

En la fase de endurecimiento, transcurrido un período de 15 a 20 días se obtuvieron plántulas con un promedio de altura 15 cm de parte vegetativa y 10 cm de longitud de raíz. En el trasplante al sistema aeropónico, después de pasado un mes fueron removidas con un bisturí las hojas inferiores ubicadas en la zona basal siguiendo estrictas normas de asepsia. Con el fin de evitar la formación de tallos secundarios y ganar tubérculos en la producción final, se introdujo levemente la planta en una labor de aporque³, favoreciendo la formación de estolones en la parte interior del módulo o cajón de aeroponía. Los genotipos de papa diploide suelen formar estolones superficiales y podrían formar los tubérculos en los orificios de soporte superior del cajón, ocasionando el estrangulamiento del tallo de la planta y su posterior pérdida.

La Figura 6.7 muestra los genotipos a los 30 días después de la siembra. Esta fase consistió en lograr un adecuado desarrollo del área foliar, para prevenir enfermedades causadas por microorganismos e insectos no benéficos que podían afectar el óptimo desarrollo de los genotipos.

Figura 6.7

Plantas de papa diploide a los 30 días de siembra por aeroponía



Nota. Fotografía tomada por Andrés Felipe Uribe Gaviria

³El aporque–hundimiento consiste en el proceso de bajado de tallos. Se realiza con la finalidad de inducir el mayor número de estolones y por ende producir un mayor número de tubérculos. Es equivalente al aporque en el campo.

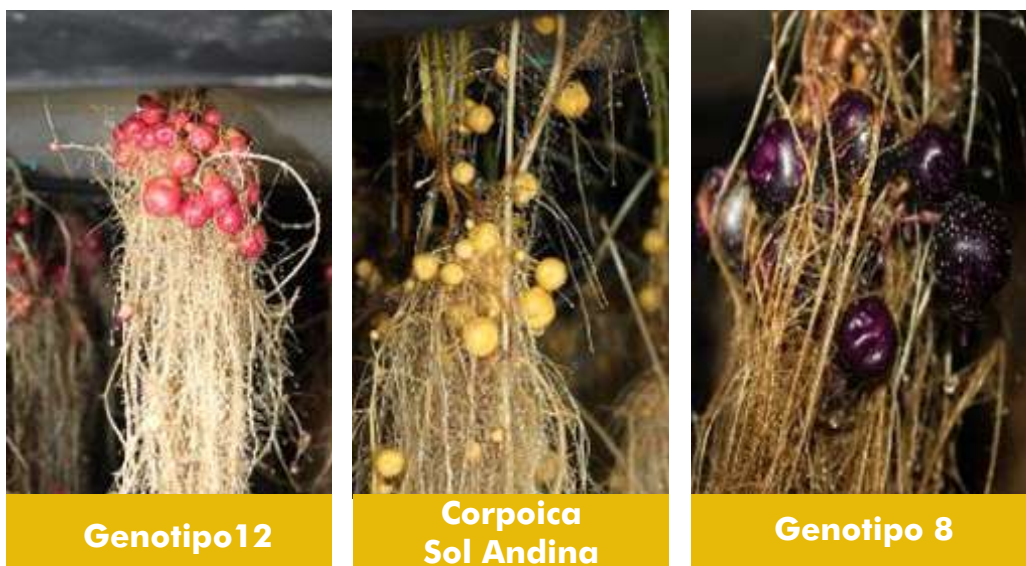


Cosecha y Almacenamiento de Minitubérculos

Entre 40 y 50 días después del trasplante, algunos genotipos precoces de papa diploide empezaron a producir minitubérculos. Fue posible cosecharlos con 8 g o más, teniendo en cuenta el tamaño deseado de semilla para campo que osciló con diámetros entre 2,8 a 3,8 cm (Figura 6.8), lo cual fue una ventaja en la aplicación de la técnica de aeroponía.

Figura 6.8

Minitubérculos producidos bajo la técnica de aeroponía, edad de formación tubérculos 105 días después de la siembra



Nota. Fotografía tomada por Andrés Felipe Uribe Gaviria

Después de la primera cosecha, entre los 10 a 14 días dependiendo del genotipo, se realizó una segunda cosecha. La cosecha de minitubérculos obtenidos bajo la técnica de aeroponía es diferente a la cosecha de minitubérculos convencionales. La diferencia radica en que, por aeroponía se llevan a cabo cosechas secuenciales, entre tres y cuatro, mientras que en el método convencional se hace una sola cosecha. No obstante, dependiendo del cultivar, en aeroponía se realizan varias cosechas hasta 10 o más. Hay reportes de cosechas sucesivas durante 12 a 15 días con 4 a 6 cosechas/ciclo de cultivo para otras variedades (Farran y Mingo-Castel, 2006).



Bajo condiciones del Centro de Investigación Tibaitatá, los genotipos evaluados alcanzaron cosechas entre los 90 y 110 días. El resultado de la producción total presentó variaciones y una alta concentración de número de minitubérculos en la segunda cosecha. Los rendimientos por planta para los genotipos oscilaron entre 3 y 30 minitubérculos/planta. La variedad Criolla Colombia produjo en promedio 7 minitubérculos/planta y los genotipos identificados con los números 12 y 3 produjeron 27 y 30 minitubérculos/planta, respectivamente (Tabla 6.2). A pesar de que los genotipos 12 y 3 fueron los de mayor rendimiento para la producción de semilla con la técnica aeropónica, durante los procesos de evaluación participativa no fueron seleccionados por los agricultores, debido a las características de color de piel e intensidad del color de la carne en el tubérculo, ello por cuanto la demanda de los consumidores en Colombia es por tubérculos de color de piel y de carne amarillo.

Tabla 6.2

Producción de minitubérculos por planta de genotipos de papa diploide bajo sistema de aeroponía

Genotipos	Número de minitubérculos			Número de plantas	Rendimiento (minitubérculos / planta)
	Cosecha 1	Cosecha 2	Total		
Genotipo 2	30	143	173	26	7
Genotipo 3	39	172	511	17	30
Variedad Agrosavia Alhaja [†]	26	267	293	28	10
Variedad Agrosavia Oyanza [†]	55	619	674	41	16
Variedad Corpoica Sol Andina ^{††}	50	333	383	36	11
Variedad Corpoica Tiba ^{††}	29	572	601	37	16
Genotipo 8	69	0	69	25	3
Genotipo 9	59	461	520	41	13
Variedad Agrosavia Estrella [†]	67	408	470	25	19
Criolla Colombia – testigo	0	289	289	41	7
Genotipo 12	114	1027	1141	42	27
Genotipo 13	47	511	558	45	12

Las nuevas variedades se presentan en [†]ICA (2019a, 2019b, 2020); ^{††}ICA. (2017a, 2017b, 2018).



Los resultados de este experimento sugieren que existe un efecto del genotipo sobre la producción de minitubérculos y se hace necesario ajustar las soluciones nutritivas y estandarizar las metodologías de manejo de las plantas en cajones o módulos de aeroponía con el fin de maximizar los rendimientos por planta (Mateus-Rodríguez et al., 2014).

Los minitubérculos cosechados no presentaron problemas sanitarios ni se requirió el uso de otros productos de control (Figura 6.9). Tampoco hubo presencia de virus, según la prueba de ELISA, y se obtuvieron minitubérculos de calidad élite (ICA, 2015). Después, del curado u oreado se almacenaron los minitubérculos o semillas de papa diploide por más de 2 meses en cuarto frío a 4 °C, inspeccionando que no se quemara el brote y se redujera la brotación.

Figura 6.9

Minitubérculos cosechados bajo técnica de aeroponía



Nota. Fotografía tomada por Andrés Felipe Uribe Gaviria

Una posible desventaja de las cosechas secuenciales es que, al culminarlas se tiene un lote de semillas poco uniforme en cuanto al estado de brotación de los minitubérculos, pues aquellos cosechados en los primeros meses brotarán antes que los cosechados en los últimos meses, lo cual podría causar una emergencia irregular en el campo. Esto se puede manejar con un adecuado almacenamiento en frío de las cosechas. En climas fríos en zonas altoandinas es posible llevar los minitubérculos cosechados bajo aeroponía a un almacén a temperatura ambiente y con luz difusa para su correcta brotación. Para los más pequeños



(1 a 2 g) que en campo no son fáciles de manejar, pueden ser usados en nueva actividad de multiplicación ya sea del tipo convencional con sustrato (camas o era) de acuerdo con lo recomendado por el CIP (Otazú, 2010).

Conclusiones

La técnica de aeroponía posibilita la obtención de semilla de calidad libre de agentes contaminantes, la conservación de la identidad genética de cada genotipo y el aumento del rendimiento de minitubérculos por unidad de área. Para la infraestructura de un sistema aeropónico y costos de mantenimiento, se requiere de una inversión más personal técnico calificado para el manejo agronómico y fertilización de las plantas. Esta técnica debe usar un sistema de filtración de agua para remover impurezas que afecten la calidad de los minitubérculos, especialmente por bacterias que causen pudriciones acuosas.

Los semilleristas de Colombia pueden conseguir semilla certificada en las categorías súper élite y élite según la Resolución 3168 de 2015 expedida por el ICA en un sistema aeropónico. Además, permite vincular rápidamente nuevos genotipos a la cadena productiva de papa, como las variedades registradas Corpoica Sol Andina, Corpoica Tiba, Agrosavia Estrella, Agrosavia Alhaja y Agrosavia Oyanza, las cuales arrojaron una producción de número de minitubérculos por planta superior al testigo la variedad Criolla Colombia en el sistema aeropónico.

Referencias

- Agronet (2022). *Estadísticas agropecuarias año 2018*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1#>
- Andrade-Piedra, J.L., Kromann, P. y Otazú, V. (Eds.). (2015). *Manual para la Producción de Semilla de Papa usando Aeroponía: Diez años de Experiencias en Colombia, Ecuador y Perú*. Centro Internacional de la Papa (CIP), Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA).



- Centro Internacional de la Papa [CIP]. (2008). *Alternativas al uso del bromuro de metilo en la producción de semilla de papa de calidad*. CIP. División de Manejo de Recursos Naturales.
- Cayambe, J. (2010). *Evaluación de soluciones nutritivas dinámicas para la producción de tubérculo-semilla categoría prebásica en dos variedades de papa bajo el sistema aeropónico*.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.11471.23205>
- Cho, Y.D., Kang, S.G., Kim, Y.D., Shin, G.H. y Kim, K.T. (1996). Effects of culture systems on growth and yield of cherry tomatoes in hydroponics. *RDA Journal of Agricultural Science*. 38(1), 563–567.
- Eldridge, B.M., Manzoni, L.R., Graham, C.A., Rodgers, B., Farmer, J.R. y Dodd, A.N. (2020). Getting to the roots of aeroponic indoor farming. *New Phytologist*, 228, 1183–1192.
- Farran, I. y Mingo-Castel A.M. (2006). Potato minituber production using aeroponics: effects of plant density and harvesting intervals. *American Journal of Potato Research*, 83, 47–53.
- Gysi, C. y Allmen, F.V. (1997). Balance of water and nutrients in tomatoes grown on soil-less systems. *Agrarforschung* 4 (1), 1–6.
- He, J. y Lee, S.K. (1998). Growth and photosynthetic responses of three aeroponically grown lettuce cultivars (*Lactuca sativa* L.) to different rootzone temperatures and growth irradiances under tropical aerial conditions. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 73, 173–180.
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2015). Resolución 003168. 7/09/2015. Reglamenta y controla la producción, importación y exportación de semillas producto del mejoramiento genético para la comercialización y siembra en el país, así como el registro de las unidades de evaluación agronómica y/o unidades de investigación en fitomejoramiento. ICA.
<https://www.ica.gov.co/getattachment/4e8c3698-8fcb-4e42-80e7-a6c7acde9bf8/2015R3168.aspx>



- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2017a). Resolución 00011599. Registro de la variedad de papa criolla Corpoica-Sol Andina. ICA.
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2017b). Resolución 00011600. Registro de la variedad de papa criolla Corpoica-Tiba. ICA.
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2018). Resolución 00020077. 01/02/2018. Modificación parcial de la Resolución 00011600 del 23/09/2017 de la variedad de papa criolla Corpoica-Tiba para la Subregión Natural Altiplano Cundiboyacense. ICA.
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2019a). Resolución 00017700. Registro de la variedad de papa criolla Agrosavia Oyanza. ICA.
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2019b). Resolución 00017702. Registro de la variedad de papa criolla Agrosavia Alhaja. ICA.
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2020). Resolución 0068122 20/05/2020. Modificación parcial a la Resolución ICA 1161 del 23/09/2017. Registro de la variedad de papa criolla Agrosavia Estrella. ICA.
- Kang, J.G., Kim, Y., Om, Y.H. y Kim, J.K. (1996). Growth and tuberization of potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars in aeroponic, deep flow technique and nutrient film technique culture films. *Journal of the Korean Society for Horticultural Science*, 37, 24–27.
- Kim, H.S., Lee, E.M., Lee, M.A., Woo, I.S., Moon, C.S., Lee, Y.B. y Kim, S.Y. (1999). Production of high quality potato plantlets by autotrophic culture for aeroponic systems. *Journal of the Korean Society for Horticultural Science*, 123, 330–333.
- Komosa, A., Markiewicz, B., Kleiber, T., Mieloszyk, E. y Mieloch, M. (2020). Yield and nutrient status of greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) grown in new and re-used rockwool, polyurethane, NFT and aeroponics. *Journal of Elementology*, 25, 523–536.
- Lucena, J.J. (2009). El empleo de complejantes y quelatos en la fertilización de micronutrientes. *Revista Ceres*, 56(4), 527-535.



- Mateus-Rodríguez, J. F. (2010). *Efectos del ambiente sobre la producción de minitubérculos de 10 genotipos de papa cultivados bajo un sistema aeropónico* [Tesis de Maestría, Universidad Agraria La Molina].
- Mateus-Rodríguez, J.F., De Haan, S. y Rodríguez-Delfín, A. (2014). Genotype by environment effects on potato mini-tuber seed production in an aeroponics system. *Agronomy*, 4, 514-528.
- Movahedi, Z. y Rostami, M. (2020). Production of Some Medicinal Plants in Aeroponic System. *Journal of Medicinal Plants and By-Products-Impb* 1, 91–99.
- Molitor, H.D. y Fischer, M. (1999). Effect of several parameters on the growth of chrysanthemum stock plants in aeroponics. *Acta Horticulturae*, 481, 179–186.
- Otazú, V. (2010). *Manual de producción de semilla de papa de calidad usando aeroponía*. Centro Internacional de la Papa (CIP).
- Park, H.S., Chiang, M.H. y Park, H.S. (1997). Effects of form and concentration of nitrogen in aeroponic solution on growth, chlorophyll, nitrogen contents and enzyme activities in *Cucumis sativum* L. plant. *Journal of Korean Society for Horticultural Science*, 38, 642–646.
- Seminario-Cunya, J., Villanueva-Guevara, R. y Valdez-Yopla, M. (2018). Yield of early yellow potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.) of the Phureja Group. *Agronomy Mesoamerican*, 29(3), 639-653
- Şimşek, A. y Gül, A. (2018). Ornamental Plant Seedlings in The Production Aerofog (Aeroponic) Comparison with Other Classic Rooting Environment System. *Journal of Natural Applied Sciences*, 22, 760–767.
- Soffer, H. y Burger, D.W. (1988). Effects of dissolved oxygen concentration in aeroponics on the formation and growth of adventitious roots. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 113, 218-221.
- Wang, M., Dong, C. y Gao, W. (2019). Evaluation of the growth, photosynthetic characteristics, antioxidant capacity, biomass yield and quality of tomato using aeroponics, hydroponics and porous tube-vermiculite systems in bio-regenerative life support systems. *Life Science in Space Research* 22, 68–75.



CAPITULO 7

Caracterización de Productores y Costos Asociados al Cultivo de Papa Diploide (*Solanum phureja* Juz. et Buk.) en Cuatro Municipios del Departamento de Cundinamarca

Claudia Patricia Álvarez Ochoa¹, Carlos Arturo Arango Almaza¹,

Isabel Cusgüen Londoño², Luz Mireya Pinzón Perdomo³

Resumen

Mediante diagnóstico participativo se determinaron características sociales, técnicas, comerciales y organizacionales de 42 productores de papa diploide (*Solanum phureja* Juz. et. Buk.) de los Municipios de Subachoque, Granada, El Rosal y Sibaté en el Departamento de Cundinamarca, vinculados al proyecto de investigación para la generación de nuevas variedades de papa diploide durante el período de 2008-2013. Los datos recolectados mediante entrevistas se proyectaron con información secundaria de la Federación Colombiana de Productores de Papa (Fedepapa), estimando los costos de producción y el beneficio obtenido para el cultivo como resultado del desarrollo de la actividad productiva y la rentabilidad. Se encontró que el costo total de producción por hectárea para el año 2019 fue de \$16.791.374, los costos directos representaron el 80% de los costos totales con un valor de \$ 13.433.099 y los costos indirectos el 20% con \$ 3.358.275. El mayor peso en los costos de producción estaban en la mano de obra y los insumos que representaban el 64,8% del total. Como resultado de la actividad productiva, los productores obtuvieron en promedio un margen de utilidad del 25,49%. No obstante, los agricultores reconocieron que los costos de producción pueden variar por los cambios drásticos en el clima, por la capacidad de la producción de cada productor y por las características socioeconómicas de la región.

Palabras Clave: agricultores, diagnóstico rural participativo, costos de producción, análisis de costos y beneficios, costo estimado, rentabilidad.

¹ Universidad de La Salle, Bogotá – Colombia.

² Sociedad Agraria de Transformación (SAT) El Rosal y Criollas de los Andes S.A.S. Colombia.

³ Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Obonuco, Pasto, Nariño-Colombia.



Abstract

Through participatory diagnosis were determined social, technical, commercial, and organizational characteristics of 42 farmers of diploid potato (*Solanum phureja* Juz. et. Buk.) from Municipios de Subachoque, Granada, El Rosal, and Sibaté in Departamento de Cundinamarca, linked to research project for generation of new diploid potato varieties during the period 2008-2013. Data collected by interviews were projected with secondary information from Federación Colombiana de Productores de Papa (Fedepapa), estimating production costs and obtained benefit for the crop as a result of productive-activity development and profitability. It was found that total cost of production per hectare for 2019 year was \$16,791,374; direct costs represented 80% of total costs with a value of \$13,433,099 and indirect costs 20% with \$3,358,275. The greatest weight in production costs was in labor and supplies, which represented 64.8% of the total. As a result of productive activity, the farmers obtained an average profit margin of 25.49%. However, the farmers recognized that production costs may vary due to drastic changes in the climate, due to production capacity of each farmer, and due to socioeconomic characteristics of the region.

Keywords: farmers, participatory rural diagnosis, production costs, cost-benefit analysis, estimated cost, profitability.

Introducción

La cantidad monetaria que se paga para adquirir un bien o un servicio se denomina costo (Horngren et al., 2012) y, en el contexto agropecuario, los costos de producción se definen como el valor a precios de mercado, del total de los insumos aplicados al suelo o planta, semilla de calidad, materiales y servicios utilizados o consumidos durante el período productivo del cultivo, como: mano de obra, arriendos, transporte, riego, fumigación, maquinaria, terreno, manejo administrativo y contable del negocio. Así mismo, los costos permiten determinar



la rentabilidad que depende de los precios pagados al productor, así como de las fluctuaciones de los precios en el mercado (Arango, 2010; Calleja, 2013).

Según Núñez y Rodríguez (2020), en la actualidad los productores de papa diploide son relativamente especializados y se ha incrementado, el desarrollo tecnológico, la producción de semilla certificada, el uso de herramientas y equipos para un mejor manejo agronómico del cultivo. No obstante, Villa y Barrientos (2012) mencionan que los productores en el Departamento de Cundinamarca se caracterizan por manejar un nivel tecnológico entre bajo a medio y no disponen de recursos financieros para mejorar la productividad. Además, dichos productores son pequeños y medianos agricultores puesto que cultivan entre 500 m² hasta 3 ha; y para algunos productores, el cultivo de la papa presenta todavía altos costos de producción que no convienen a veces para la comercialización (Correal, 2009; Piñeros, 2006).

La importancia del manejo de los costos de producción se puede observar en varios aspectos. Los costos proveen al propietario del cultivo una guía para la toma de decisiones durante el proceso productivo porque cuantifican los recursos utilizados y permiten estimar los niveles de inversión requeridos y la rentabilidad esperada. Así mismo, comprender los costos de un sistema de producción a escala departamental y municipal permite identificar oportunidades de negocio para productores con condiciones y características específicas.

En esta vía, y con el propósito de asegurar el retorno del esfuerzo de los productores en el cultivo de la papa, fue necesario abordar los procesos posteriores a la cosecha y de los que dependía la generación de ingresos. Por ello, se planteó como objetivo determinar las características sociales, técnicas, comerciales y organizacionales que dan soporte al desarrollo de la actividad productiva y proporcionan una visión más amplia del mercado, y la rentabilidad del cultivo, que es resultado de los costos de producción y el precio de venta del producto en el mercado.

La participación de los productores en el mejoramiento de los procesos productivos se fortalece cada vez en la medida que experimentan y construyen



creativamente alternativas de solución a sus problemas productivos y empresariales, enriqueciendo sus propios procesos de innovación (Beduschi et al., 2017; Gutiérrez, 2010; Ortiz et al., 2020). Por ende, los métodos participativos facilitan la apropiación de las innovaciones y por esta razón, los productores de papa diploide del Departamento de Cundinamarca (Colombia) estuvieron vinculados en todas las etapas de la investigación con el fin de propiciar el desarrollo de capacidades para favorecer la sostenibilidad de las iniciativas de los agricultores y el éxito de sus actividades productivas.

Metodología

Para establecer las características de los productores de papa diploide, así como los costos de producción y el beneficio obtenido, se realizó con los agricultores durante su vinculación a la investigación desde el año 2008 hasta el año 2013, el diagnóstico participativo mediado por un instrumento (Apéndice A) para la toma de datos a través de encuestas (Puentes, 2011).

En el desarrollo de la investigación, participaron 42 productores asociados en cuatro organizaciones: 11 en la Asociación de Productores de Papa Criolla Fina y Cultivos Asociados (Asocriolla) en Subachoque, 12 en la Asociación de Agricultores de Granada (Asoagra) en Granada, 7 en la Sociedad Agraria de Transformación (SAT) de El Rosal y 12 en la Asociación de Productores y Comercialización de Papa Criolla (Criolla Oro) en Sibaté (Tabla 7.1) del Departamento de Cundinamarca.

Tabla 7.1

Cantidad de productores participantes en la investigación en cuatro municipios del Departamento de Cundinamarca

Municipio	Asociación	No. de productores
Granada	Asoagra	12
Sibaté	Criolla Oro	12
Subachoque	Asocriolla	11
El Rosal	SAT* El Rosal	7
Total		42

Nota. * SAT (Sociedad Agraria de Transformación).



Caracterización de los Productores

Con la información recolectada en la encuesta se establecieron los aspectos sociales, técnicos, comerciales y organizacionales, así como el valor de las erogaciones en las que incurren estos productores en cada actividad del cultivo para obtener el tubérculo, en una hectárea de tierra y dos ciclos de producción por año.

Costos Asociados al Cultivo de la Papa Diploide

Para la determinación de los costos asociados al cultivo de la papa diploide se identificaron las cantidades de recursos consumidos en cada una de las etapas del cultivo, como: preparación de tierra, siembra, fertilización, control de plagas, enfermedades y arvenses, otras labores de cultivo, cosecha y empaque. Posteriormente se clasificaron los costos en directos e indirectos, y se calculó el porcentaje de participación de cada rubro en el total y se realizó una proyección al año 2019 según los datos presentados por la Federación Colombiana de Productores de Papa (Fedepapa, 2019).

Productos Logrados

A partir de la información recopilada se establecieron las principales características de los productores de papa diploide y, además, se establecieron los costos asociados, como se expone a continuación.

Productores de Papa Diploide

Los aspectos sociales, técnicos, comerciales y organizacionales de los 42 productores o agricultores de papa diploide en los Municipios de Granada, Sibaté, Granada y El Rosal, del Departamento de Cundinamarca (Colombia) participantes en la investigación (Cerón et al., 2013), se presentan a continuación.

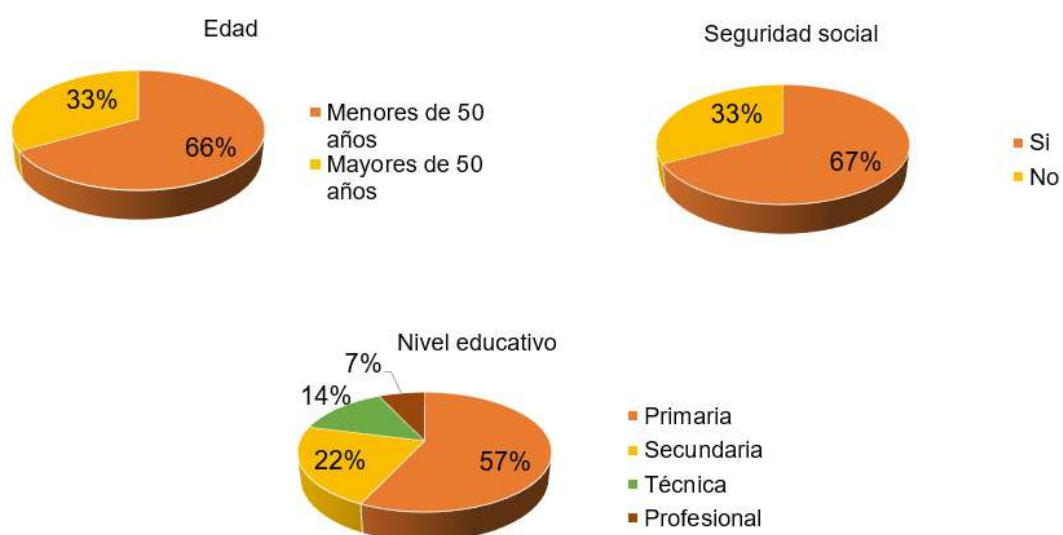
Aspectos Sociales. El 67% de los agricultores correspondían a pequeños productores y sus unidades productivas generaban en promedio cinco empleos. Los productores eran, en su mayoría, menores de 50 años (66%) y el 67% tenía acceso a la seguridad social. Adicionalmente, el 57% culminó los estudios de primaria, el 22% finalizó la secundaria y el 21% avanzó en estudios superiores a nivel técnico o profesional (Figura 7.1).



La edad y la escolaridad fueron variables que favorecieron el proceso de investigación y transferencia de tecnología, porque se contó con capacidades básicas que facilitaron el proceso de comprensión, reflexión y acción en razón al convencimiento del productor respecto a las ventajas de las propuestas técnicas para el mejoramiento del manejo del cultivo, con el fin de propiciar la competitividad de la cadena productiva de papa diploide en los mercados internos y externos. Se destacó el hecho de que estaban incursionando en esta actividad productiva profesionales con formación en Ingeniería Agronómica en el Municipio de Sibaté.

Figura 7.1

Edad, acceso a seguridad social y nivel educativo de los productores de papa participantes



Por otro lado, se encontró una participación del 64% de las mujeres en diferentes actividades del cultivo. La participación de las mujeres en el sistema productivo y su menor incidencia en la comercialización de los productos no es sólo una condición propia del cultivo de papa diploide, sino que es característica en la agricultura debido al mayor tiempo que destina la mujer a las labores

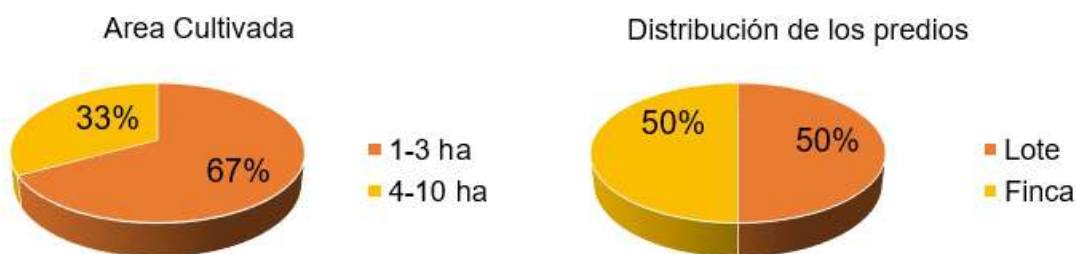


domésticas y los imaginarios sociales respecto a su rol como cuidadora del hogar, que limitan su participación fuera del sistema productivo (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020).

Aspectos Técnicos. Los 42 productores tenían en conjunto un área de 254 ha cultivadas y el 67% de ellos realizaban el cultivo en predios con un área entre 1 y 3 ha. Los predios eran arrendados y se distribuían en la misma proporción entre fincas y lotes (Figura 7.2).

Figura 7.2

Condiciones del predio de productores de papa diploide



En el seguimiento de los dos ciclos anuales del cultivo de papa diploide, se estableció que el 79% de los productores utilizaban prácticas de agricultura tradicional (con uso intensivo de agroquímicos) y el 21% de agricultura limpia (prácticas amigables con el medio ambiente), esto se confirmó cuando se indagó por el tipo de prácticas y se encontró que el 76% realizaba actividades de desyerbe, aporque, aplicación de fertilizantes y plaguicidas y el 24% solo practicaba el desyerbe y aporque⁴. El 62% efectuaba preparación mecánica del suelo y el 95% de los productores participantes en la investigación, dependían de las lluvias para el riego y no tenían cultivos asociados, aunque realizaban rotación con siembras de arveja, pastos, papa tetraploide y zanahoria (Figura 7.3).

⁴ Consiste en acumular tierra alrededor del tronco de una planta

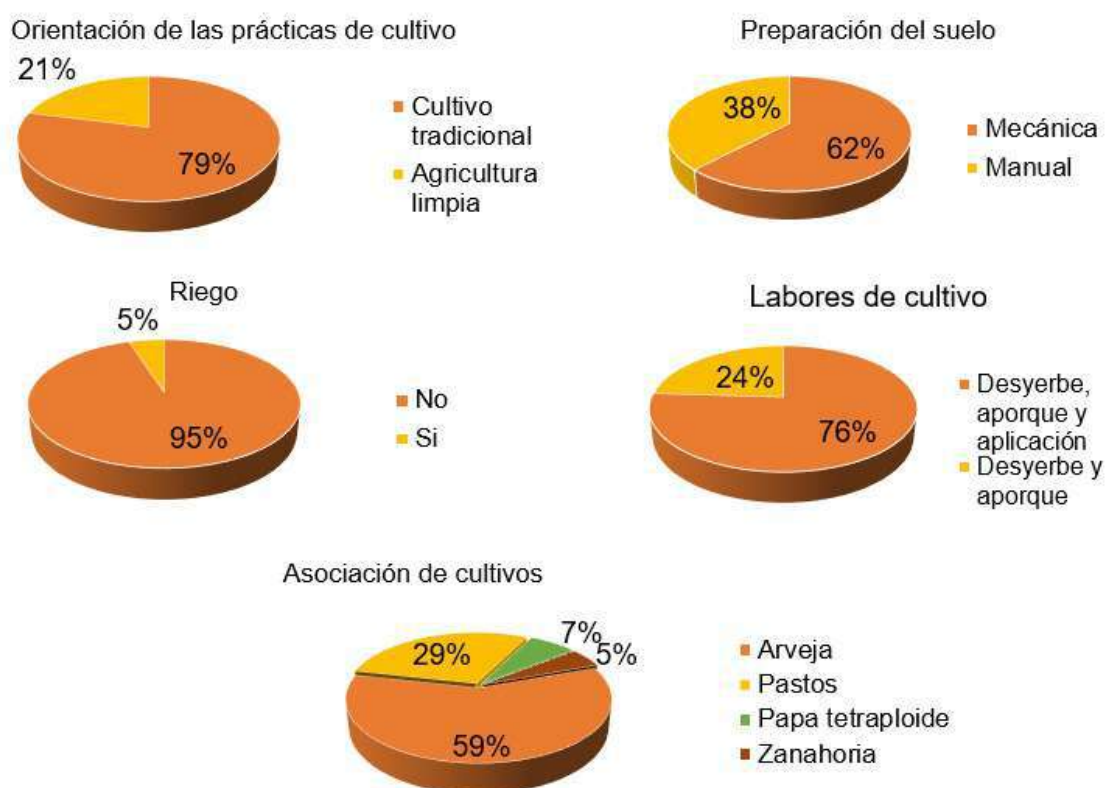


Adicionalmente, los productores señalaron que el invierno y el acceso permanente a semilla certificada dificultó el cultivo de la papa diploide.

En cultivos de la variedad Criolla Colombia o papa diploide del Municipio de Granada, Bautista et al. (2012) estudiaron la absorción de fertilizantes y encontraron que el costo de estos insumos llegó al 17% de los costos totales. Además, mencionaron que, al realizar un manejo inapropiado de fertilizantes con excesos, conduce a ineficiencia técnica más inversiones elevadas. Por esto recomiendan dichos autores, determinar las necesidades de absorción de los fertilizantes en la variedad diploide para lograr beneficios económicos.

Figura 7.3

Condiciones técnicas del sistema productivo de papa diploide en los municipios evaluados



Aspectos Comerciales. El principal sitio de venta de la papa diploide en el Departamento de Cundinamarca es la Corporación de Abastos de Bogotá S.A. (Corabastos) en un 62%, pero también los productores venden su producto a intermediarios en bultos y sin ningún tipo de valor agregado, como lo confirman Núñez y Rodríguez (2020). El mayor problema en el mercado se asoció con el precio de venta en un 79%, con los rechazos por calidad en un 14% y con el estado de las vías en un 7%.

El precio de venta de la papa diploide suele ser superior al de la papa tetraploide, sin embargo, su rendimiento de producción por hectárea es menor al 50%, lo que hace que el ingreso no siempre sea superior. Es por esta razón que el valor agregado de los tubérculos se puede aumentar con un buen manejo poscosecha y con la implementación de diferentes procesos de transformación.

Aspectos Organizacionales. En los cuatro municipios del Departamento de Cundinamarca había presencia de un importante número de instituciones vinculadas con el sector agropecuario, de manera que los productores eran asistidos en diferentes ámbitos de la actividad productiva con asesoría y capacitación para mejorar el manejo técnico del cultivo de la papa, los procesos organizativos y la gestión empresarial para la promoción de la actividad productiva como un negocio (Buitrago y Peñuela, 2018; Díaz y Díaz, 2010).

Los productores participantes tenían vínculos con diferentes actores que hacen presencia en los municipios, entre estas organizaciones se encontraron la Federación Colombiana de Productores de Papa (Fedepapa), la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica actualmente AGROSAVIA), Universidades (Universidad de La Salle y Universidad Nacional de Colombia), la Corporación Autónoma Regional (CAR), Organizaciones no Gubernamentales (ONG) como la Corporación PBA para el desarrollo participativo y sostenible de los pequeños productores rurales, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) con el programa Alianzas Productivas y las Unidades Municipales de Asistencia Técnica (Umata). Las entidades con mayor



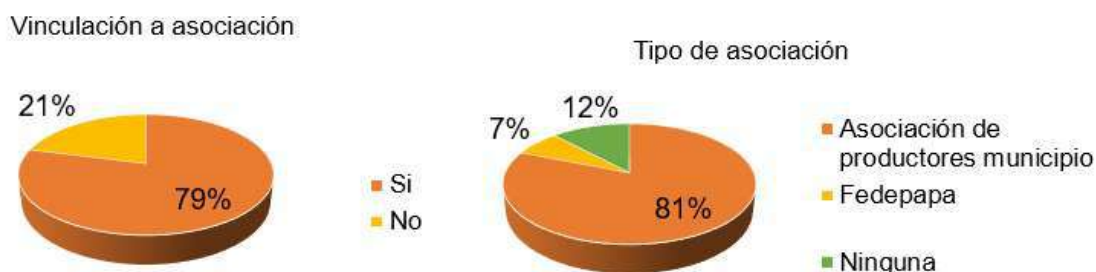
reconocimiento entre los productores fueron Fedepapa, las Universidades y la CAR. Algunos productores indicaron haber recibido asesorías hasta de tres entidades, además de las asesorías técnicas que prestaban los profesionales de las casas comercializadoras de productos agroquímicos.

Los productores recibieron apoyo por parte de las instituciones, en su mayoría por Fedepapa, con formación en aspectos técnicos del cultivo. Estas acciones contribuyeron posteriormente a una mejor calidad y cantidad del tubérculo, lo que se apreció en 2019 con producto más uniforme, sin daño y un rendimiento de 18 t/ha, valor superior a las 12 t/ha que en promedio se tuvieron en el año 2013.

Respecto a la vinculación de los productores a organizaciones, el 79% de ellos pertenecían a asociaciones, de las cuales el 81% correspondían a asociaciones de su municipio (Figura 7.4).

Figura 7.4

Vinculación a asociaciones de los productores de papa diploide



Las características encontradas en los productores corroboraron lo encontrado en otros estudios. El diagnóstico realizado por Bonilla et al. (2009), mostró algunas limitantes del desarrollo competitivo de la cadena, tales como: falta de desarrollo de nuevos productos procesados de papa, alto costo de los fertilizantes, poco aprovechamiento de recursos genéticos de este tubérculo, falta de procesos de certificación en la adopción de BPA, inadecuado manejo poscosecha del tubérculo, baja asociatividad, escaso mercadeo, introducción de transferencia de tecnología, disponibilidad de información estadística y comercial, más acuerdos de competitividad.



Cabe resaltar que los productores de las asociaciones participantes constituyeron la unión temporal denominada Alianza por el Tesoro Dorado en el año 2006 dentro del marco de un proyecto de Alianzas Productivas del MADR. Así mismo, la asociación de productores de papa del Municipio de Sibaté nombrada Criolla Oro, contaba con registro del ICA para producción de semilla y era proveedora para los productores del mismo municipio y de otros municipios aledaños.

Costo Total de Producción

El estimado del costo promedio de producción de una hectárea de papa diploide para el año 2019 correspondió a \$16.791.374; según la estructura de costos de los productores del estudio. Del costo total de producción, el 80% se aplicó en costos directos y el 20% en costos indirectos, con equivalencias de \$13.433.099 y \$3.358.275, respectivamente; según lo que se observa en la Tabla 7.2 (todos los costos presentados se expresan en valores de pesos colombianos [COP]).

Tabla 7.2

Estructura de los costos de producción de la papa diploide por hectárea al 2019

Descripción	Costo promedio (\$/ha)	Participación (%)
Mano de obra	5.991.162	35,68
Insumos	4.889.648	29,12
Maquinaria y equipo	2.552.289	15,20
Costo total directo	13.433.099	80,00
Arriendo de la tierra	1.657.086	9,87
Administración	1.076.550	6,41
Servicios públicos	624.639	3,72
Costo total indirecto	3.358.275	20,00
Costo total producción	16.791.374	100,00

Nota. Basado en valores de los productores entrevistados y datos proyectados según informe de Fedepapa (2019).



En el Departamento de Cundinamarca para el año 2018, se reportó un costo de producción por hectárea de \$16.116.752 (Fedepapa, 2019), valor que se aproximó a los datos encontrados en esta investigación participativa. Al comparar los costos totales de producción con variedades de la papa tetraploide (\$18.506.977/ha), se encontró que los costos de la papa diploide son menores, esto se justifica en el menor uso de fertilizantes, lo que también se evidenció en las cifras de Fedepapa (2018).

Costos Directos. En la Tabla 7.3 se observan los costos directos, que corresponden a los egresos asociados con la producción e incluyen los valores de la mano de obra, los insumos, la maquinaria y equipo (Arango, 2010). Entre los cuales, se evidenció que la mayor participación estuvo en la mano de obra (35,68%), seguido de los insumos (29,12%) y, por último, en la maquinaria y equipo (15,20%).

Tabla 7.3

Detalle de los costos directos de producción de la papa diploide

Descripción	Costo promedio (\$/ha)	Participación (%)
Mano de obra		
Preparación de tierras	71.893,94	0,43
Siembra	539.204,58	3,21
Fertilización	587.133,88	3,50
Control de plagas	245.637,64	1,46
Control de enfermedades	293.566,94	1,75
Control de arvenses	784.842,22	4,67
Otras labores de cultivo	47.929,30	0,29
Cosecha y empaque	3.420.953,50	20,37
Costo total mano de obra	5.991.162,00	35,68
Insumos		
Preparación de tierras	34.227,54	0,20
Siembra	1.579.356,30	9,41
Fertilización	1.916.253,05	11,41
Control de plagas	195.585,92	1,16
Control de enfermedades	190.696,27	1,14
Control de arvenses	185.806,62	1,11
Otras labores de cultivo	0,00	0,00
Cosecha y empaque	787.722,29	4,69
Costo total insumos	4.889.648,00	29,12
Maquinaria y equipo		
Preparación de tierras	898.405,73	5,35
Siembra	0,00	0,00
Fertilización	375.186,48	2,23
Control de plagas	0,00	0,00
Control de enfermedades	17.866,02	0,11
Control de arvenses	43.388,91	0,26
Cosecha y empaque	1.217.441,85	7,25
Costo total maquinaria y equipo	2.552.289,00	15,20
Costo total directo	13.433.099,00	80,00

Nota. Basado en valores de los productores entrevistados y datos proyectados según informe de Fedepapa (2019).



Mano de Obra. En muchos casos, el cultivo de papa diploide se ha convertido en una empresa agrícola familiar (Troncoso, 2011), dado que, la mano de obra proviene de los miembros del núcleo familiar del productor, incluyendo al cónyuge e hijos mayores de edad.

En las zonas del estudio, los niños se encontraban matriculados en planteles educativos y generalmente se tenía previsto por las familias que sus hijos culminaran los estudios de secundaria, por esta razón su vinculación en la actividad productiva ha sido ocasional y especialmente en la etapa de cosecha.

Cuando se recurrió a contratación de personal se hizo con gente de la zona de influencia y conocida por el productor. El valor promedio del jornal para esta zona fue superior al de otras zonas productoras del país y al pagado en la recolección de otras variedades de papa. Para el año 2019, el jornal promedio en el Departamento de Cundinamarca fue de \$42.600 para papa del tetraploide, en tanto que para la papa diploide fue de \$44.000. El valor del jornal en la región se explica por la poca oferta de mano de obra en ciertos lugares del departamento debido al desplazamiento hacia otros sectores productivos más atractivos porque presentan mayor formalidad y mejores condiciones de trabajo, con la mayor exigencia en la labor de recolección de la cosecha por el tamaño más pequeño de la papa diploide (Fedepapa, 2019).

En cuanto a las actividades desarrolladas en el cultivo, el mayor peso de los costos de mano de obra correspondió a la cosecha y empaque con un 20,37%, le siguieron las labores de control de arvenses con 4,67%, la fertilización con 3,5%, y la siembra con un 3,21% (Tabla 7.3). En estas actividades se operó con un promedio de 12 jornales/ha.

Para los productores consultados, es de anotar que el costo de la mano de obra en el proceso de preparación del terreno tiene poca incidencia en el costo total; en casi todos los casos, los agricultores hacen preparación mecanizada. Además, en la cosecha, los productores hacen el pago de las labores de recolección, clasificación, lavado y empaque por unidad de peso (kg); solamente en uno de los casos estudiados, el agricultor manifestó hacer el pago de la recolección por jornal.



Insumos. En cuanto a los insumos, los mayores costos se generaron en las labores de fertilización (11,41%) y de siembra (9,41%) (Tabla 7.3). En la fertilización se encontró el uso de abonos foliares, aminoácidos, elementos menores y bioestimulantes polielementales; en menor proporción, había fertilizantes compuestos con porcentajes de mezclas de nitrógeno, fósforo y potasio de 15-15-15, 10-20-20 y 13-26-6. En cuanto al uso de fertilizantes simples se mencionó únicamente el uso de potasio en la forma de cloruro de potasio (KCl) por parte de uno de los productores.

En la siembra, el mayor costo lo generó la semilla que, en pocos casos correspondió a semilla certificada. Adicionalmente, los agricultores reportaron que las pérdidas por afectación por plagas no fueron económicamente importantes, lo que se corroboró con la baja participación en el costo total de los insumos (1,16%).

En el control de plagas se encontró que, en la zona de los productores vinculados a la investigación, se realizaron aplicaciones de piretroides y organofosforados para la prevención y control de: gusano blanco (*Premnotripes vorax*), polilla guatemalteca (*Tecia solanivora*), pulguillas (*Epitrix* spp) y áfidos (*Aphis gossypii*). Así mismo, para el control de enfermedades se halló que los agricultores implementaban medidas de control para la gota (*Phytophthora infestans*) y la rhizoctoniasis o costra negra (*Rhizoctonia solani*) con el uso de fungicidas sistémicos.

Tanto en los costos de mano de obra como de insumos, la realización de labores de desyerbe, aporque y cultivada fue escasa, por lo que se presume que el control de plantas no deseables para el cultivo de la papa diploide fue químico, realizándose básicamente con herbicidas. Los más utilizados fueron: herbicidas de acción sistémica de posemergencia contra malezas de hoja ancha y gramíneas; herbicidas selectivos tanto para pre como para posemergencia aplicable sobre arvenses de hoja ancha y gramíneas; y herbicidas para el control de posemergencia de maleza gramínea y de plantas de hoja ancha en el cultivo de papa.



La preparación de tierras fue la etapa del cultivo con menor uso de insumos, únicamente se consideró la aplicación de desinfectantes edáficos en uno de los lotes. Por otra parte, los empaques que se utilizaban en la cosecha fueron sacos de polipropileno, para los tubérculos de tamaño grande eran nuevos, pero para las demás categorías de tamaño se utilizaron sacos de segunda o reutilizables, y su costo representó el 4,69% de los costos totales de los insumos.

Maquinaria y Equipo. Los mayores costos asociados al uso de maquinaria y equipo se encontraron en las labores de cosecha y empaque (7,25%) y preparación de la tierra (5,35%), en el valor total de este rubro de los costos directos de producción (Tabla 7.3).

En el caso de los productores, la labor de surcada se realizaba con surcadoras mecánicas y con tracción animal. En la totalidad de los casos de los productores vinculados a esta investigación, utilizaron para desarrollar los procesos de campo con maquinaria alquilada y los precios de alquiler variaron poco de una zona a otra. En los Municipios de Subachoque y El Rosal, el costo fue ligeramente más alto que en el Municipio de Granada; así mismo, el precio fue independiente de la labor a realizar. Adicionalmente, para la aplicación de los diferentes insumos se trabajó con bombas estacionarias generalmente de espalda y en un solo caso, se mencionó el uso de tractor para la ejecución de esta tarea.

En la cosecha y empaque, el uso de maquinaria y equipo se refirió para el transporte en dos momentos, así: primero, el transporte desde el lote de producción hacia la vía de acceso; y segundo, desde la vía de acceso hasta el centro de acopio. En el primer momento se utilizaron tractor, vehículos de tracción animal o animales de carga; en el segundo momento se empleó camión. Las unidades de cobro para el caso del tractor fue el viaje y en los vehículos de tracción animal o animales de carga fue la unidad de peso (kg), y su valor se liquidó de acuerdo con la distancia recorrida hasta el centro de acopio.

Costos Indirectos. Además de los desembolsos exigidos por las labores de campo, los agricultores asumieron una serie de cargos que debían ser tenidos



en cuenta para asegurar los resultados financieros de la actividad. Estos costos indirectos incluyen rubros como: el arriendo de la tierra, las labores de administración del cultivo, el pago de los servicios utilizados en el proceso de producción y el costo de capital (Arango, 2010). Como se mencionó anteriormente, los costos indirectos corresponden al 20% del costo total de producción y se distribuyeron en 9,87% por arriendo de tierras; 6,41% por administración y 3,72% por servicios públicos (Tabla 7.4).

Tabla 7.4

Estructura de los costos indirectos de producción de la papa diploide

Descripción	Costo promedio (\$/ha)	Participación (%)
Arriendo de la tierra	1.657.086	9,87
Administración	1.076.550	6,41
Servicios públicos	624.639	3,72
Costo total indirecto	3.358.275	20,00

Nota. Basado en valores de los productores entrevistados y datos proyectados según informe de Fedepapa (2019).

Los productores encuestados desarrollaban el cultivo en tierras arrendadas y pagaron en promedio un alquiler de \$1.657.086/ha. El arriendo más alto lo tenían las tierras ubicadas en el Municipio de Subachoque. El valor del arriendo dependía de las condiciones del terreno como la inclinación del lote, la distancia a los centros urbanos, la facilidad del acceso y la calidad del suelo (Fedepapa, 2019).

Como los activos productivos (maquinaria y equipo) fueron tomados en alquiler, el valor de la depreciación estuvo incluido en el canon que se pagó por su arriendo. Además, los productores no contabilizaron los gastos de ventas e incluyeron estas actividades dentro del pago por concepto de mano de obra. Así mismo, los productores no reportaron erogaciones por impuestos o seguros, condición que se pudo atribuir al uso de tierra y maquinaria alquilada.



Para el rubro de administración se determinó que está labor estaba a cargo del productor o su cónyuge y no se incluyó como un valor adicional en los costos, por lo que se calculó el tiempo destinado a esta actividad, equivalente a 1,3 SMMLV (Salario Mínimo Mensual Legal Vigente) por ciclo del cultivo. Por otra parte, los servicios públicos se establecieron con el valor pagado al acueducto, la energía y las comunicaciones (telefonía). En los servicios privados los productores reportaron asistencia técnica gratuita realizada por Fedepapa y por AGROSAVIA).

Respecto al costo de capital se encontró que solo dos productores contaban con créditos con entidades financieras, con una tasa mensual promedio del 1,7%; y lo demás de la actividad productiva lo financiaban con recursos propios o en sociedad, obteniendo beneficio por la venta del producto, lo cual coincide con lo reportado por Núñez y Rodríguez (2020). Por lo anterior, este costo no fue incluido en la estructura de costos del cultivo.

Resultados Financieros

En los cultivos de los productores participantes, no se encontraron mayores diferencias en los costos de producción. Es importante señalar que los resultados financieros no pueden ser generalizados a todos los productores de este tubérculo por cuanto el margen se afecta por aspectos como las prácticas de cultivo y la tenencia de la tierra, que en este caso correspondió a fincas y lotes en arriendo, situación que afectó de manera importante el flujo de recursos financieros.

Los resultados financieros se evidencian en los ingresos percibidos por el productor, dependen del precio de venta del producto. Con el desarrollo de la investigación se lograron rendimientos en la cosecha de 18 t/ha de producto comercial (90% de la cosecha). El precio promedio pagado a los productores en el año 2019 fue de \$1.252/kg, para las diferentes categorías de tamaño del tubérculo y producto sin lavar; esto generó ingresos por \$22.536.000/ha (Tabla 7.5).



Tabla 7.5

Estado de resultados financieros para el cultivo de papa diploide por hectárea

Descripción	Valor
Ventas	\$22.536.000
Costos directos de producción	\$13.433.099
Costos indirectos de producción	\$3.358.275
Costo total de producción	\$16.791.374
Utilidad	\$5.744.626
Rentabilidad sobre las ventas	25,49%
Rentabilidad sobre costos totales	34,21%
Rentabilidad sobre costos directos	42,76%

Nota. Basado en valores de los productores entrevistados y datos proyectados según informe de Fedepapa (2019).

Es de anotar que, aunque el precio de la papa diploide lavada puede ser superior en un 100% al de los tubérculos sin lavar, los productores han optado por vender su producto sin ningún valor agregado y entregarlo al centro de acopio para que realice el lavado.

Los datos obtenidos permitieron calcular una utilidad promedio por hectárea de \$5.744.625 y de \$320/kg de producto. Lo anterior significó un margen de rentabilidad sobre las ventas del 25,49% que corresponde a 34,21% sobre los costos totales y 42,76% sobre los costos directos (Tabla 7.5). De conformidad con la información de precios y costos, se encuentra que la rentabilidad supera el costo de oportunidad en el mercado financiero, aunque también es claro que los productores no valoran todos los rubros lo que puede afectar el margen de rentabilidad.

Conclusiones

La información permitió establecer que el cultivo de papa diploide generó una ganancia para estos productores, pero es necesario considerar que los costos de producción pueden variar por la estacionalidad de la producción, las

condiciones agroclimáticas, el tamaño de la producción y las características socioeconómicas de la región. Lo anterior significa que se pueden afectar los ingresos de cada productor por el precio de venta y de los rendimientos obtenidos. Además, los agricultores reconocen que los costos de producción varían por cambios drásticos en el clima, es decir, cuando se presentan períodos prolongados de lluvias o de verano, los cultivos de papa se afectan por aumento de presencia de gota (*Phytophthora infestans*) y de polilla guatemalteca (*Tecia solanivora*).

Por otro lado, lo que puede verse como una debilidad respecto al acceso a activos fijos por cuanto la tierra, maquinaria y equipo son tomados en arriendo, puede ser una condición que da flexibilidad al productor y da la posibilidad de diversificar la actividad productiva cuando los márgenes de rentabilidad no correspondan a lo esperado, situación que se corrobora con los años que tienen los productores en este cultivo y su satisfacción frente a los resultados obtenidos en las cosechas.

Por último, se puede afirmar que con la estructura de costos identificada se logra una óptima rentabilidad que puede aumentar con una menor dependencia de insumos externos y el desarrollo de procesos para la generación de valor agregado.

Referencias

- Arango, C.A. (2010). *Administración de costos en empresas agrícolas: principios metodológicos para su correcto registro y presentación*. Ediciones Universidad de la Salle.
- Bautista, H.F., Ramírez, W., y Torres, J. (2012). Nutrient uptake of the diploid potato (*Solanum phureja*) variety Criolla Colombia, as a reference point to determine critical nutritional levels. *Agronomía Colombiana*, 30(3), 436-447.



- Beduschi, L, Contreras, R. y Holz, R. (2017). Innovación para el desarrollo rural sostenible: avanzando hacia un marco teórico. En Comunidad de Estados Latinoamericanos y Caribeños [Celac] y Food and Agricultural Organization [FAO](Eds.), *Sistemas de Innovación para el desarrollo rural sostenible* (pp.1-8). Celac y FAO. <http://www.fao.org/3/a-i7769s.pdf>
- Bonilla, M.H., Cardozo, F. y Morales, A. (2009). *Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva la papa en Colombia con énfasis en papa criolla*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (Proyecto Transición de la Agricultura), Universidad Nacional de Colombia y Corpoica.
- Buitrago, R. y Peñuela, L. (2018). La papa: un alimento de oportunidades con opciones de comercialización internacional. *Equidad y Desarrollo*, 32, 181-206. <https://doi.org/10.19052/ed.5135>
- Calleja, F. J. (2013). *Costos* (2.a ed.). Pearson.
- Cerón, M.S., Álvarez, C.P., Prieto, L., Hernández, M.A., Cusgüen, I., Pérez, M.A., Caicedo, M., Becerra, E. y Chalabi, N. (2013). Sembrando la Semilla de Competitividad Sostenible en la Cadena: Papa criolla de Cundinamarca, Colombia. En P. Henríquez y H. Li Pun (Eds), *Innovaciones De Impacto: Lecciones De La Agricultura Familiar En América Latina y El Caribe* (pp.91 – 104). Banco Interamericano de Desarrollo (BID) e Instituto Interamericano de Cooperación (IICA).<http://bit.ly/37kw8Fo>
- Correal, P.E. (2009). *Propuesta estratégica para la conversión de sistemas productivos de papa criolla (Solanum phureja) de convencional a ecológico desde una perspectiva de gestión ambiental. Caso Asociación de productores de papa criolla “Asocriolla” Municipio de Subachoque (Cundinamarca)* [Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Javeriana].
- Díaz, N. y Díaz, M. (2010). *Acercamiento a las características y el proceso administrativo en las empresas Mipymes de familia rurales del Municipio de El Rosal ubicado en el Departamento de Cundinamarca* [Tesis de pregrado, Universidad de La Salle].



- Federación Colombiana de Productores de Papa [Fedepapa]. (2018). *Boletín Regional Cundinamarca* 2 (1) <https://Fedepapa.com/boletines-regionales/>
- Federación Colombiana de Productores de Papa [Fedepapa]. (2019). *Boletín Regional Cundinamarca* 3(1). <https://Fedepapa.com/boletines-regionales/>
- Gutiérrez, O. (2010). Desarrollo de la metodología Innovación Rural Participativa en la zona andina central de Colombia. *Agronomía Colombiana*, 28 (3), 525-533.
- Horngren, C., Datar, S. y Rajan, M.V. (2012). *Contabilidad de costos: un enfoque gerencial* (14.a ed). Pearson.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2020). *Situación de la Mujer Rural en Colombia 2010-2018*. MADR.
- Núñez, L., C.E. y Rodríguez, M. L.E. (2020). *Papa criolla (Solanum tuberosum Grupo Phureja): Manual de recomendaciones técnicas para su cultivo en el departamento de Cundinamarca*. Corredor Tecnológico Agroindustrial, CTA-2.
- Ortiz, O., Thiele, G., Nelson, R. y Bentley, J.W. (2020). Participatory research (PR) at CIP with potato farming systems in the Andes: evolution and prospects. En H. Campos y O. Ortiz (Eds.), *The potato crop: its agricultural, nutritional and social contribution to humankind* (pp. 451-474). Springer.
- Piñeros, C. (2006). *Recopilación de la investigación del sistema productivo papa criolla*. Federación Colombiana de Productores de Papa [Fedepapa] y Gobernación de Cundinamarca.
- Puentes, G.A. (2011). *Formulación y evaluación de proyectos agropecuarios*. Ecoe Ediciones.
- Troncoso, J. (2011). *Principios de administración de empresas agrícolas*. Editorial Académica Española.
- Villa, M.R. y Barrientos, J.C. (2012). Incremento de la rentabilidad económica en el cultivo de papa criolla mediante fertilización con manganeso. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 6 (1), 67-75



CAPITULO 8

Estrategias de Agricultura Sostenible en Cultivos de Papa Diploide (*Solanum phureja* Juz. et Buk.)

Lena Carolina Echeverry Prieto,¹ Ana Magdalena Garnica Holguín,²
Daniel Guillermo García González,³ María del Socorro Cerón Lasso⁴

Resumen

En el desarrollo de alternativas limpias y sostenibles para el cultivo de papa diploide (*Solanum phureja* Juz. et Buk.) en el Departamento de Cundinamarca (Colombia), se llevaron a cabo experiencias participativas con el fin de preparar y aplicar biopreparados y enmiendas orgánicas para el proceso de mineralización incrementando el contenido de macro y de micronutrientes, el acondicionamiento del suelo y la reducción de agroquímicos en los planes de manejo de plagas y enfermedades, en particular, para la gota (*Phytophthora infestans*) y la polilla guatemalteca (*Tecia solanivora*). En el marco de una agricultura sostenible, primero, los agricultores prepararon 4 purines y 4 caldos con diferentes funciones tanto fungicidas como insecticidas para aplicar al cultivo con reducción de aplicaciones de agroquímicos. Segundo, en los Municipios de Granada y Sibaté se hizo seguimiento en la disminución de aplicaciones de agroquímicos a plaguicidas de poca peligrosidad junto con bioplaguicidas resultantes de fermentaciones con hongos naturales del suelo. Adicionalmente, los productores líderes realizaron la fabricación comunitaria de abonos orgánicos con los residuos generados en los predios del cultivo y con fines de comercialización. También, los agricultores experimentaron y comprobaron el beneficio de la siembra de abonos verdes para la sostenibilidad del suelo debido a que se logró el aumento de algunos nutrientes necesarios como: nitrógeno, potasio y fósforo. Todas estas experiencias demostraron que la capacidad productiva del suelo se puede mejorar mientras se afianza la sostenibilidad ambiental del sistema productivo.

Palabras Clave: abonos, agricultura alternativa, productos biológicos, educación agraria, buenas prácticas agrícolas.

¹ Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá - Docente Investigadora invitada.

² Universidad de La Salle, Bogotá – Colombia.

³ Corporación para el Desarrollo Participativo y Sostenible de los Pequeños Productores Rurales - Corporación PBA. Colombia.

⁴ Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Tibaitatá, Mosquera, Cundinamarca-Colombia.



Abstract

In the development of clean and sustainable alternatives for the crop of diploid potato (*Solanum phureja* Juz. et. Buk.) in Departamento de Cundinamarca (Colombia), participatory experiences were carried out in order to prepare and apply bio-preparations and organic amendments for mineralization process by increasing the content of macro and micronutrients, soil conditioning, and reduction of agrochemicals in pest and disease management plans, particularly for potato late blight (*Phytophthora infestans*) and potato Guatemalan moth (*Tecia solanivora*). In the frame of one sustainable agriculture, first, farmers prepared 4 slurries and 4 mineral broths with different functions as fungicides and insecticides to apply to the crop with reduction of agrochemical applications. Second, in Municipios de Granada and Sibaté, monitoring was carried out on reduction of agrochemical applications to slightly hazardous pesticides together with biopesticides resulting from fermentations with natural soil fungi. Additionally, leading farmers carried out the community manufacture of organic fertilizers with the waste generated on the farms and for marketing purposes. Also, farmers experienced and verified the benefit of sowing green manures for sustainability of the soil due to the increase in some necessary nutrients such as: nitrogen, potassium, and phosphorus. All these experiences demonstrated that the productive capacity of the soil can be improved while the environmental sustainability of the productive system is strengthened.

Keywords: fertilizers, alternative agriculture, biological products, agricultural education, good agricultural practices.

Introducción

La riqueza biológica de Colombia es una gran oportunidad para la agricultura como centro de recursos genéticos, por consiguiente, es menester el mejoramiento de sus variedades para establecer semillas de alta calidad, como su conservación y uso sostenible. Y de la mano, está la producción orgánica de dichos cultivos como compromiso con el medio ambiente y con el desarrollo de la agenda 2030 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). La agricultura



orgánica, es una herramienta para conseguir procesos agrícolas sostenibles, porque se basa en prácticas fitosanitarias y de producción a partir de productos y procesos naturales, con el objetivo de generar producciones limpias, con calidad nutricional, que no causen problemas a la salud y preserve el medio ambiente, los recursos naturales y la biodiversidad (Adhya, et al., 2018; Thakur, et al., 2022; Verma et al., 2020).

Tradicionalmente se ha empleado agroquímicos para el control de plagas y enfermedades en los cultivos agrícolas, los cuales se clasifican de acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2020), por el grado de peligrosidad en las categorías: sumamente peligroso (Ia), muy peligroso (Ib), moderadamente peligroso (II), poco peligroso (III) y poco probable que presente un peligro agudo (U ó IV). Esta clasificación la aplica actualmente el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) para el registro nacional de plaguicidas. Anteriormente, se clasificaban en categorías toxicológicas, así: I extremadamente tóxicos, II altamente tóxico, III medianamente tóxico y IV ligeramente tóxicos (Ministerio de Salud, 1991, 1992) y aún, hoy en día, algunos productores emplean esta última clasificación.

Los productores de papa diploide utilizan comúnmente insumos que pertenecen a las categorías muy peligroso o alta toxicidad y moderadamente peligroso o tóxico, y en casos excepcionales, algunos productores usan insumos sumamente peligrosos o de extrema toxicidad (Correal, 2009); aunque las disposiciones del ICA (2003) sobre el control de los plaguicidas químicos de uso agrícola han conducido a la reducción del empleo de insumos tóxicos. Además, este tipo de sustancias maneja grandes volúmenes de agua para su preparación, ocasionando la contaminación química del suelo por la acumulación de sustancias tóxicas y afectando la calidad del agua superficial y subterránea de los cultivos (Federación Colombiana de Productores de Papa [Fedepapa], 2004).



Esto conlleva a la destrucción de la biodiversidad por el alto nivel de contaminación con el uso indiscriminado de agroquímicos en una agricultura intensiva, la pérdida de servicios ecosistémicos y el aumento y/o aparición de problemas de salud en animales y seres humanos por su persistencia y bioconcentración (Alfonso y Toro, 2010; Guzmán-Plazola et al., 2016; Torres y Capote, 2004). Por ello, se debe trabajar en el marco de la sustentabilidad y la tendencia mundial que busca una agricultura más limpia, que afronte estas problemáticas y que responda a los retos de tipo: técnico, social, ambiental y económico, como ejes centrales en el manejo y conservación de los recursos naturales y el de salvaguardar la salud (Cárdenas y Vallejo, 2016).

La implementación de tecnologías que favorezcan el cuidado del cultivo de papa diploide y disminuyan la contaminación del medio ambiente durante el cultivo, son claves en la producción sostenible, como el uso de extractos de plantas con características fungicidas y plaguicidas que contribuyen al manejo integrado de enfermedades e insectos plagas, de fácil degradación, ya que se consideran limpios desde el punto de vista ambiental y no destruyen la vida silvestre, antes bien pueden favorecer en algunos casos el crecimiento de algunas plantas, reemplazando así el uso de compuestos químicos tradicionales que son conocidos por los efectos adversos que tienen sobre el medio ambiente, el ser humano y/o los animales y contribuyen a la fertilización de los suelos (Pszczolkowski y Sawicka, 2018). Igualmente, el uso de enmiendas verdes favorece la producción de cultivos en sistemas de manejo sostenible, reestablece la capacidad del suelo hacia la degradación física, mejora el funcionamiento del suelo con suministro de nutrientes, facilitan la absorción de nutrientes al aumentar la temperatura del suelo y a la vez, aportan beneficios a la textura del suelo con buena retención de agua (Delgado, 2017).

Los bioinsumos son una estrategia que busca disminuir el empleo de agroquímicos para combatir los problemas fitosanitarios, al ir reemplazando con el tiempo el uso de algunos químicos o trabajándolos en conjunto, y también una



herramienta en la disminución del impacto de cambio climático (Cavicchioli et al., 2019). Estos bioinsumos pueden prepararse con mezclas de desechos de la cosecha, material vegetal de cultivos específicos, de microorganismos y/o sus productos metabólicos, que pueden tener un carácter controlador de organismos macro y micro fitopatógenos, además que por su alto contenido de nutrientes se comportan como acondicionadores de suelos. También pueden tener una acción bioestimulante del crecimiento vegetal o de microorganismos beneficiosos presentes en la rizósfera⁵ (Mamani de Marchese y Filippone, 2018).

Por lo anterior, un objetivo del estudio consistió en trabajar de manera directa con pequeños productores de papa diploide, del Departamento de Cundinamarca, con el fin de implementar algunos biopreparados en el cultivo para controlar el ataque de la polilla guatemalteca (*Tecia solanivora* Povolny) y la enfermedad de la gota (*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary). De igual manera, se emplearon con los biopreparados productos minerales de baja toxicidad con el propósito de mineralizar la planta en condiciones de estrés y mejorar así la producción del cultivo. Con respecto al manejo de enmiendas verdes se trabajó con Núcleos de Investigación Participativa con el objetivo de realizar planes de manejo integrado de plagas y enfermedades, disminución del uso de agroquímicos, acondicionamiento del suelo e implementación de abonos verdes.

De esta manera se aporta al ODS 2: Hambre Cero, de la Agenda de Desarrollo Sostenible, que hace alusión a poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria, la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible -ecosistemas saludables y adecuada gestión de los recursos naturales-, y el ODS 12: Producción y Consumo Responsables, que busca repensar la manera de producir los alimentos, mediante el desarrollo de nuevas tecnologías ecológicamente racionales que impliquen una menor huella ambiental (Food and Agriculture Organization [FAO], 2019).

⁵Zona localizada debajo de la superficie del suelo cerca al sistema radicular vegetal.



Metodología

Experiencia con Agricultores de Papa Diploide en el Manejo de Biopreparados

Con el apoyo financiero de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural del Departamento de Cundinamarca, la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica actualmente AGROSAVIA) realizó un proyecto titulado “Mejoramiento del proceso de producción de papa criolla para pequeños productores en el Departamento de Cundinamarca”, enfocado a la utilización de alternativas limpias para el manejo productivo de papa diploide que permitiera el cambio del manejo agronómico tradicional del cultivo a un manejo alternativo, promoviendo la conservación de los agroecosistemas frágiles, el recurso hídrico y la disminución de aplicación de pesticidas en el cultivo. También se contó con el apoyo de las Unidades Municipales de Asistencia Técnica Agropecuaria (Umata) de los Municipios de Zipaquirá, Subachoque, Granada, Sibaté y Une (Departamento de Cundinamarca, Colombia), para socializar a los productores la importancia del uso de bioplaguicidas en la prevención del insecto plaga conocido como polilla guatemalteca (*T. solanivora*) y la enfermedad denominada gota o tizón tardío (*P. infestans*).

Durante el desarrollo de la experiencia se capacitaron a los productores en las fincas sobre los diferentes procesos de preparación, manejo y uso de biopreparados más el uso de productos químicos de muy baja residualidad. La metodología de capacitación utilizada fue de tipo constructivista (Ortiz, 2015) puesto que fue un proceso de construcción personal de nuevos conocimientos a partir de los ya existentes en los productores, en cooperación con los compañeros y la instructora.

Se llevaron a cabo dos giras educativas, la primera en el Municipio de Zipaquirá y la segunda en el Centro de Investigación Tibaitatá de Corpoica, con el objetivo de dar a conocer las experiencias entre los agricultores participantes y los productores de papa diploide del Departamento de Cundinamarca.



En general con las giras educativas se buscó que los productores difundieran los conocimientos adquiridos en las capacitaciones e interactuaran con otros productores de diferentes municipios, para dinamizar el desarrollo comunitario y que ellos pudieran impartir sus conocimientos entre los agricultores vecinos de sus veredas y de los municipios para una agricultura más productiva y sostenible.

Se realizó la estimación de costos de los biopreparados recomendados, para que los agricultores tuvieran un referente de cuál es la inversión económica al elaborar los biopreparados, aunque muchos ingredientes pueden ser obtenidos fácilmente por el productor o pueden ser sembrados por él. Así mismo, el agua lluvia, el estiércol, el mantillo y la ceniza pueden ser obtenidos sin costo.

Experiencia con Agricultores de Papa Diploide en Procesos de Transformación Ambiental para un Manejo Sostenible del Suelo

Esta segunda experiencia, la Corporación PBA estableció espacios donde confluían las comunidades de agricultores de los Municipios de Granada y Sibaté para participar en procesos de evaluación, aprendizaje e innovación, denominados Núcleos de Investigación Participativa (NIP) (García et al., 2011) dentro de un proyecto marco titulado: Agricultura Sostenible y Competitiva de Papa Criolla (Piedrahita-López, 2012). Los NIP eran espacios para formación más apoyo técnico y fueron diseñados con el fin de implementar un manejo más sostenible en las zonas del cultivo de la papa diploide, así como, fomentar reducciones importantes en la inclusión de productos agroquímicos en el desarrollo del cultivo, como: herbicidas, insecticidas, fungicidas y coadyuvantes. Las actividades desarrolladas en los NIP establecidos se apoyaron con talleres participativos sobre la importancia del medio ambiente en el cultivo y sobre diagnósticos de problemas sostenibles del suelo.

Adicionalmente, en los talleres de identificación de problemas fitosanitarios se promovió la inclusión de un bioplaguicida proveniente de fermentación con hongos microscópicos procedentes del suelo, como control biológico en el plan de manejo integral de plagas y enfermedades para el cultivo



de papa diploide. Dicho plan lo elaboraron los agricultores de forma participativa revisando las etapas fenológicas del cultivo y además del control biológico, examinaron otros controles como: cultural, químico, de trampas y/o cebos y etológico. Con los productores se trabajó la manera de establecer el plan de manejo integrado para el cultivo, reconociendo que factor estaba interviniendo en el desarrollo de este, si era una plaga, una enfermedad o alguna condición climática desfavorable, para implementarlo de manera adecuada.

En otro NIP se organizaron los productores para la elaboración de abonos orgánicos en un espacio construido para tal fin con materiales residuales de sus predios. En la Vereda Carrizal (Municipio de Granada) se estableció un NIP y se sembró la variedad Criolla Colombia, 500 kg/ha con abonos verdes (avena forrajera) y se realizaron prácticas de manejo integrado de plagas y enfermedades aprendidas durante el transcurso de la investigación participativa.

Productos Logrados

Experiencia con Agricultores de Papa Diploide en el Manejo de Biopreparados

Zonas, Productores y Unidades Demostrativas de la Experiencia.

Se realizó el diagnóstico de las necesidades de capacitación de los productores de papa diploide luego de varias reuniones que permitieron comprender el entorno y el contexto de las comunidades productoras de este tubérculo. Esto permitió seleccionar cinco veredas del Departamento de Cundinamarca (una por municipio) con un total de setenta y seis (76) productores líderes de la producción de la papa diploide (Tabla 8.1). También se vincularon a las formaciones los integrantes de los núcleos familiares de los productores líderes, llegando así un total de 272 personas capacitadas.



Tabla 8.1

Productores de papa diploide capacitados en el uso de biopreparados en el Departamento de Cundinamarca

Municipio	Vereda	Productores Líderes
Zipaquirá	Venta Larga	12
Sibaté	San Miguel	13
Subachoque	El Guamal	16
Granada	El Carrizal	22
Une	El Salitre	13
Total		76

Nota. Resultados del proyecto financiado por la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural del Departamento de Cundinamarca.

En la Figura 8.1 se evidencia la reunión introductoria con los productores líderes realizada en el Municipio de El Rosal (Departamento de Cundinamarca), en el cual participaron diferentes agricultores de los municipios invitados para la realización del trabajo de investigación.

Figura 8.1

Reuniones con productores de papa diploide en el Municipio de El Rosal



Nota. Fotografía de María del Socorro Cerón Lasso

Unidades Demostrativas para el Manejo del Cultivo de la Papa Diploide. Se establecieron tres unidades demostrativas (parcelas) de 1000 m² cada una, así:



- Primera unidad demostrativa con manejo tradicional del cultivo.
- Segunda unidad demostrativa con manejo racional de agroquímicos y de baja residualidad.
- Tercera unidad demostrativa con manejo y enfoque de alternativas limpias.

Para un solo ciclo de producción de papa diploide en la investigación participativa con los productores del Municipio de Une, se estableció un área de experimentación de 3000 m². En los Municipios de Zipaquirá, Subachoque, Granada y Sibaté se organizaron tres ciclos de producción con un área de 2000 m², de donde 1000 m² se dispuso con el manejo de alternativas limpias y 1000 m² bajo un manejo tradicional del cultivo y enfoque racional de agroquímicos.

Entre los municipios participantes se establecieron por cada ciclo de producción, un total de trece unidades demostrativas, en las que se utilizaron dos tamaños de semillas certificadas de papa diploide con diámetros entre 2,5 y 3,5 cm con distancias de siembra de 25 y 30 cm entre plantas. Cada 8 días se realizó el seguimiento y evaluación de las parcelas demostrativas, valorando variables vegetativas y reproductivas bajo la metodología de investigación participativa e integrando al núcleo familiar en este proceso. En la cosecha de los tubérculos se seleccionaron semillas entre de 2,5 a 3,0 cm de diámetro del tubérculo (tamaños pequeño y mediano de los tubérculos según Resolución ICA 3168 de 2015).

Procesos de Capacitación para la Preparación y la Aplicación de Biopreparados. En los procesos de capacitación se enseñó el uso y manejo de biopreparados (purines y caldos), conceptos generales de estos compuestos, así como los materiales a utilizar en cada uno de ellos. De igual manera, se estandarizaron las condiciones de extracción de cada una de las especies de plantas a utilizar en los biopreparados, tiempos y formas de aplicación, acorde a las etapas fenológicas de las plantas y se emplearon metodologías sencillas y fáciles de utilizar para su posterior implementación (Figura 8.2).



Figura 8.2

Preparación de biopreparados por parte de productores de papa diploide



Nota. Fotografías de María del Socorro Cerón Lasso

También, se hizo énfasis sobre las etapas críticas de vulnerabilidad en el cultivo, debido a las plagas y enfermedades que afectaban significativamente la producción y la calidad de las cosechas. Estas etapas fueron: el primer desyerbe e inicio de la floración hasta la culminación del ciclo del cultivo. Durante la investigación se realizaron 136 visitas de capacitación y seguimiento a las unidades demostrativas.

Los procesos de capacitación participativa promovieron el aprendizaje mediante la práctica lo que favoreció el empoderamiento del productor para la toma de decisiones que beneficiaran su desarrollo y su bienestar y el de sus familias además de probar nuevas alternativas al uso de productos químicos (Montes et al., 2011; Soto, 2020).

Manejo y Seguimiento de Aplicaciones en los Cultivos de Papa Diploide. Durante el primer ciclo del cultivo, desde que las plantas presentaron la edad de 45 días después de siembra hasta 20 días antes de la cosecha, la aplicación de los biopreparados se realizó cada 8 a 10 días dependiendo de la necesidad del cultivo en la prevención de la gota (*P. infestans*) y polilla guatemalteca (*T. solanivora*), dejando una rotación de 48 h, cuando se requería realizar la aplicación de dos biopreparados o un biopreparado y un producto químico. A la vez se impartieron semanalmente capacitaciones en la elaboración y aplicación de biopreparados.



En el segundo y tercer ciclo de producción, las capacitaciones impartidas y el seguimiento de las parcelas demostrativas, se llevaron a cabo cada 15 días por parte de los investigadores de AGROSAVIA, puesto que el conocimiento impartido sobre los procesos y procedimientos para la preparación, uso y manejo de los biopreparados y caldos orgánicos, ya habían sido adoptado por los agricultores. Es importante resaltar el grado de responsabilidad y el conocimiento que alcanzaron los productores líderes y los grupos familiares que participaron, en la realización de las extracciones de las plantas, manejo y uso, cumplimiento del cronograma de aplicaciones bajo normas y condiciones impartidas.

En todas las unidades demostrativas se realizó la inspección de las plantas (Figura 8.3) con los agricultores, permitiendo conocer las diferentes etapas del cultivo y que plagas y enfermedades pudieron atacarla, de acuerdo con el tiempo de crecimiento de estas. Todo lo anterior se llevó a cabo en los diferentes eventos de capacitación impartidos y así mismo se procedió a realizar las preparaciones de los biopreparados y aplicaciones de estos, cada ocho días. Para el seguimiento y la evaluación de las parcelas o unidades demostrativas establecidas se involucró en la gran mayoría de los casos al núcleo familiar.

Figura 8.3

Inspección de plantas de papa diploide por los agricultores



Nota. Fotografía tomada por Yaquelin Molina Cita



Rendimientos de Producción en Unidades Demostrativas. Las cosechas en las unidades demostrativas se realizaron entre 110 a 120 días para evitar el deterioro de la calidad del tubérculo dirigido a la venta, revisando la fijación y textura de la piel del tubérculo. Como las variedades de papa diploide no tienen período de reposo, al momento de la cosecha se realizó la clasificación de esta, separando los tubérculos por tamaños, los tubérculos sanos de aquellos atacados por plagas y/o enfermedades. Se les recomendó a los agricultores no lavar el tubérculo para evitar la formación rápida de brotes, los cuales inician su formación antes de cumplir una semana después de la cosecha.

Por cada unidad demostrativa se llevaron a cabo dos eventos de capacitación en el manejo de cosecha y poscosecha. Además, se realizaron once días de campo durante las cosechas de cada una de las unidades demostrativas, en los cuales los asistentes a los eventos observaron calidad, producción y rendimiento. Los promedios de la producción por cada una de las unidades demostrativas evaluadas en la investigación se relacionan en la Tabla 8.2 por municipio del Departamento de Cundinamarca. Además, se observa el tratamiento en las parcelas con manejo de alternativas limpias, manejo de uso racional de agroquímicos y manejo tradicional del cultivo.

Tabla 8.2

Rendimientos de producción para las unidades demostrativas

Municipios	Parcela Tratamiento	Área sembrada	Semilla utilizada	Producción neta	Producción afectada	Afectación por		Rendimiento por semilla	Rendimiento por área de 10000 m ²
		m ²	kg	kg	kg	Polilla	Gusano blanco	kg	kg/ha
Sibaté	Bioplaguicidas	1.000	75	1.800	30	x	-	24,0	20.000
	Uso racional agroquímicos	1.000	75	1.700	30	x	-	22,7	18.888,9
Zipaquirá	Bioplaguicidas	900	75	1.650	125	-	x	22,0	18.333,3
	Uso racional agroquímicos	900	75	1.600	687,5	-	x	21,3	17.777,8
Subachoque	Bioplaguicidas	900	75	1.325	62	x	-	17,2	14.722,2
	Uso racional agroquímicos	900	75	1.300	62	x	-	17,3	14.444,4
Granada	Bioplaguicidas	700	52,5	927,5	32	x	-	16,5	15.800,3
	Uso racional agroquímicos	700	52,5	450	92	x	-	15,4	14.540
Une	Bioplaguicidas	1.000	87,5	24	0	x	-	No se cuantificó	No se cuantificó
	Uso racional agroquímicos	1.000	87,5	2.400	0	x	-	27,43	24.000
	Manejo tradicional	1.000	162,5	2.280	0	x	-	14,03	22.800

Nota. Resultados del proyecto financiado por la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural del Departamento de Cundinamarca.



En la unidad demostrativa del Municipio de Granada para el primer ciclo se trabajó en un área más pequeña, en su periodo vegetativo se presentó helada y la planta no expresó el vigor de la variedad utilizada. Adicionalmente, en el Municipio de Une, para el manejo con alternativas limpias, en el inicio de floración los agricultores no pudieron hacer aplicaciones cada ocho días resultando un ataque severo de gota perjudicando el área foliar de las plantas por lo cual sus rendimientos no se cuantificaron. En la Tabla 8.2 se observa también que en el Municipio de Subachoque se presentaron rendimientos de papa diploide por área de 1000 m² muy similares, sin importar el uso de bioplaguicidas o el uso racional de agroquímicos. Así mismo se encontró que en el Municipio de Une los rendimientos de producción limpia (bioplaguicidas) son similares a los obtenidos en cultivos de manejo tradicional como lo corrobora Santamaria et al. (2010).

Es importante resaltar la priorización de emplear tratamientos biológicos antes de cualquier otra alternativa química de síntesis en el manejo integrado de plagas (Bernal, 2010). Según Santos et al. (2018), los bioplaguicidas no dejan residuos tóxicos y hay menos probabilidad de que induzcan las plagas a resistencia, con respecto a lo ocurrido en las aplicaciones de agroquímicos.

Giras Educativas. La primera gira permitió conocer las experiencias entre los agricultores de las cuatro asociaciones de productores y participantes en la investigación. El número de asistentes en la primera gira realizada en el Municipio de Zipaquirá fueron cuarenta y dos (42). En la segunda gira los asistentes fueron setenta y dos (62) productores de papa diploide y seis (6) profesionales de otras instituciones aliadas. Las asociaciones presentaron sus experiencias ante los asistentes sobre las capacitaciones y la formación adquirida durante la ejecución de la investigación; además, los agricultores conocieron el quehacer investigativo de Corpoica en ese momento, empresa que actualmente se denomina AGROSAVIA.



Biopreparados Recomendados para el Cultivo de Papa Diploide.

Los biopreparados que se prepararon y aplicaron en los cultivos de las unidades demostrativas durante la experiencia, se relacionan en la Tabla 8.3.

Tabla 8.3

Biopreparados utilizados en cultivo de papa diploide

	Biopreparado	Recomendación
Biofertilizante	Purín de ortiga	- Con melaza: para estrés de las plantas por sequía aplicar posterior a heladas - Con cola de caballo (<i>Equisetum bogotense</i> Kunth): para mineralización del cultivo
	Caldo supermagro	Favorece el vigor de la planta en su floración y llenado de frutos
	Caldo sulfocálcico	Favorece la formación de órganos subterráneos en la planta de papa diploide.
Bioinsecticida / Biorepelente	Purín de ajo-aji	Para tratar: - Trips (<i>Frankliniella</i> sp.) - Polilla guatemalteca (<i>Tecia solanivora</i> Povolny) - Rhizoctonias (<i>Rhizoctonia solani</i>)
	Purín de ortiga y ajo Fungicida combinado (Plantas - compuestos químicos) Caldo bordelés	Para prevenir: Presencia de gota (<i>P. infestans</i> (Mont.) de Bary)
Biofungicida	Caldo ceniza	Para tratar: Hongos en hojas de manera generalizada

Nota. Elaboración a partir de PNUD (2015); IPES-RUAF-FAO (2010); FAO-MAG (2013); y resultados del proyecto financiado por la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural del Departamento de Cundinamarca.

Los biopreparados fueron cuatro purines en fermentación y cuatro caldos. Para la elaboración de los purines se capacitaron a los agricultores en la ejecución del proceso general que consistió en: selección de plantas sanas, limpieza de impurezas con agua, corte de las plantas en trozos de 1 cm, maceración de las plantas, mezcla con los demás componentes de la formulación del biopreparado, agitación de la mezcla en un balde tapado con muselina posteriormente, fermentación de la mezcla 3 días como mínimo y hasta 15 días, agitación diaria, filtración con una tela o muselina y almacenamiento del biopreparado en un recipiente plástico tapado con costalillo o muselina para favorecer el ingreso del oxígeno. Para la preparación de los caldos, el proceso seguido fue: pesaje de las sustancias o de los compuestos



minerales, dilución, calentamiento, enfriamiento, filtración y almacenamiento. Para el caldo supermagro, no hubo calentamiento sino fermentación hasta 30 días (FAO-MAG, 2013; IPES-RUAF-FAO, 2010; Mediavilla, 2014; PNUD, 2015; Tencio, 2017).

A continuación, se describe la acción de los biopreparados evaluados participativamente con los productores de papa diploide.

Purín de Ortiga (*Urtica dioica* L.). Este biopreparado es un fungicida sistémico, es decir, la sustancia es absorbida por la planta a través del follaje o de las raíces y dentro de la planta, creando defensas contra las enfermedades (FAO-MAG, 2013). Según Restrepo (2007), el estiércol bovino aporta microorganismos (levaduras, hongos, protozoos y bacterias como el *Bacillus subtilis*) para que ocurra la fermentación y su microbiota se desarrolle de manera aeróbica (en presencia de oxígeno) y anaeróbica (sin presencia de oxígeno). Además, esta preparación aporta nitrógeno (N), potasio (K), vitaminas A y C, minerales, ácido fórmico, resina, histamina y flavonoides, entre otros compuestos, para revitalizar los cultivos (PNUD, 2015; IPES-RUAF-FAO, 2010).

Purín de Ortiga (*Urtica dioica* L.) y ajo (*Allium sativum* L.). Se recomienda aplicarlo para prevenir la presencia de gota (*P. infestans* (Mont.) de Bary). Cuando la planta entra en contacto con el extracto vegetal, este se absorbe, alterando su olor natural. El ajo al entrar en contacto con la enzima alinasa produce la alicina que se convierte en tiosulfatos que atacan el sistema nervioso de los insectos causando su alteración y confusión (Salazar y Betancourth, 2009).

Purín de Ajo (*Allium sativum* L.) – Ají (*Capsicum annum* L.). Este bioinsecticida ataca directamente a la plaga puesto que muere al entrar en contacto con el producto. El compuesto químico capsaicina del ají crea un efecto antialimentario, por el contacto o la ingestión del picante, altera el sistema nervioso central de las plagas. Esta mezcla tiene acción repelente, insecticida, nematocida, fungicida y bactericida (PNUD, 2015).

Fungicida Combinado (Plantas – Compuestos Químicos). El extracto de cola de caballo contiene hasta 10% de ácido salicílico lo cual le otorga propiedades fungicidas e insecticidas (Donaire y García, 2006). En el caso de la papa



diploide, para el control del tizón tardío o gota (*P. infestans* (Mont.) de Bary) se sugiere utilizar agentes fungistáticos puesto que inhiben la germinación de las esporas del hongo. Es importante señalar que estas sustancias son preventivas, por lo cual se deben aplicar antes de que aparezca la enfermedad en el cultivo.

Este biopreparado contiene la planta cola de caballo (*Equisetum bogotense* Kunth), ortiga (*Urtica dioica* L.) y otros compuestos, como la melaza o miel de purga que aporta la energía necesaria para potencializar el proceso de fermentación y algunos minerales como calcio, potasio, fósforo, boro, hierro, azufre, manganeso, zinc y magnesio; así como las sales minerales que nutren y fertilizan el suelo y las plantas (Restrepo, 2007).

Caldo Bordelés al 1%. El caldo bordelés o caldo mineral conocido también en algunas regiones como caldo de poda es una solución de sulfato de cobre y óxido de calcio (sulfato cuprocálcico o cobre metálico), fungicida y acaricida que actúa como repelente contra algunos coleópteros de la papa (IPES-RUAF-FAO, 2010). Controla hongos en general y se aplicó para el control de la gota (*P. infestans* (Mont.) de Bary) de la papa diploide.

Aunque la aplicación del caldo bordelés data de mediados del siglo XIX para el control de patógenos en los viñedos en Francia, investigadores reportan que la aplicación continua y en dosis altas podría acumular cobre en las capas superiores del suelo y afectar la actividad microbiana edáfica o producir efectos fitotóxicos en las plantas (Denaix et al., 2016).

Caldo de Ceniza. La ceniza proporciona minerales y elementos trazas. Las mejores cenizas son las que se originan a partir de gramíneas como cascarilla de arroz, bagazo de caña y maíz (Restrepo, 2007). Es un fungicida para control de hongos en hojas de la planta de papa diploide.

Caldo Supermagro. Utilizado para deficiencias de elementos menores, prevención de ataque de enfermedades en las hojas de las plantas pues favorece el vigor de la planta en su floración y llenado de frutos. Este caldo elaborado con sulfatos de zinc, hierro y magnesio más otros componentes, se aplica como biofertilizante puesto que promueve una mejor nutrición de la planta y por ello su resistencia a los ataques de insectos y enfermedades (Restrepo, 2007).



Caldo Sulfocálcico. Su principio activo es el mineralizado polisulfuro de calcio, que detiene el crecimiento foliar en la planta y favorece la formación de órganos subterráneos en la planta de papa diploide. Además de actuar como biofertilizante, controla enfermedades causadas por hongos en el cultivo (Restrepo, 2007).

Aplicación de los Purines en Cultivo de Papa Diploide. En los ensayos con los agricultores, la aplicación de los purines constó de las siguientes etapas: alistamiento del purín y del *Aloe vera*, adición del *Aloe vera* más aumento del volumen del purín, agitación y aplicación del biopreparado al cultivo (Figura 8.4). Para la dilución del biopreparado se manejó la relación 1:10, es decir, 1 L de biopreparado se llevó a 10 L diluidos. Así mismo, la FAO-MAG (2013) recomiendan diferentes relaciones de dilución de acuerdo con el tipo de biopreparado a emplear en un cultivo.

Figura 8.4

Proceso general de aplicación de los purines en el cultivo de papa diploide



Nota. Imágenes tomadas de Canva (<https://www.canva.com/>)



Se adicionó *Aloe vera* a la preparación porque se ha reportado que contiene 200 compuestos activos, como saponinas, enzimas, flavonoides, ácido salicílico, grasas solubles, vitaminas hidrosolubles y compuestos fenólicos. También alrededor de 75 nutrientes. Además, se ha descrito en la literatura su capacidad antibacteriana y antifúngica de varios fitopatógenos como *Fusarium* sp. *Sclerotinia* sp. y *Aspergillus* sp. (Ahmad et al., 2018; Chowdhary, y Sharma, 2019; Dammak, et al., 2018; Danish et al., 2020). Confiriéndole un valor agregado al bioproducto para controlar el hongo de la gota en los cultivos de papa diploide.

León et al. (2013) reportaron como tres purines controlaron la gota en cultivo de papa diploide en un municipio del Departamento de Cundinamarca. Dichos purines tuvieron evaluación en invernadero y en *in vitro*. Además, mostraron la proyección de optimizar el coadyuvante para asegurar su éxito sobre *P. infestans*. También es importante continuar con estudios sobre las frecuencias de aplicación de los biopreparados en cultivos de papa diploide para establecer recomendaciones de uso. Así mismo, se recomienda para los caldos mineralizados analizar la residualidad del cobre en los tubérculos y suelos debido a que se conoce que altas concentraciones de este compuesto cambia el funcionamiento biológico del suelo (Gómez y Agudelo, 2006; Mediavilla, 2014; Pro-Mix, 2021). Y, adicionalmente, se recomienda estudiar el sabor, el color, la composición nutricional y el estado microbiológico de los tubérculos para garantizar su inocuidad al consumidor luego de la utilización de biopreparados.

Estimación de Costos de los Biopreparados Recomendados.

Muchos de los ingredientes biológicos como es el caso de las plantas pueden ser obtenidos fácilmente por el productor o pueden ser sembrados por él. Así mismo, el agua lluvia, el estiércol, el mantillo y la ceniza pueden ser obtenidos sin costo. Sin embargo, para dar una idea al lector del costo por litro de los biopreparados, se realizó una estimación de precios para todos los ingredientes (Tabla 8.4). Los costos estimados se realizaron con los precios comerciales en pesos colombianos (COP) que tienen las plantas, con el costo del agua que fue asumido por el valor del metro cúbico



del consumo domiciliario básico estrato medio del Municipio de Subachoque y con el valor del estiércol que fue relacionado por el valor del estiércol bovino comercial. Para el valor de la ceniza al no encontrar un valor comercial se relacionó con el valor de la leña, de la cual se puede obtener este ingrediente.

Tabla 8.4

Estimación de costos de biopreparados recomendados para productores de papa diploide

Biopreparados	Función	Costo por litro de preparación (COP/L)
Ortiga	Fertilizante	3.960
Ajo - Ají	Insecticida	6.450
Ortiga - Ajo	Fungicida	3.308
Fungicida combinado	Fungicida	1.872
Caldo ceniza	Fungicida	11.523
Caldo bordelés	Fungicida	1.399
Caldo sulfocalcico	Fertilizante	4.088
Caldo supermagro	Fertilizante	4.773

Nota. Elaboración propia a partir de costos estimados en pesos colombianos con precios de ingredientes del año 2022.

Los bioinsumos permiten disminuir los costos en la producción agrícola, reemplazar los químicos de uso agrícola tradicional, mejorar la calidad del suelo y aumentar el rendimiento de los cultivos como controlar plagas y enfermedades. Con la gran biodiversidad vegetal y microbiana que posee Colombia es una línea de investigación que debe seguirse trabajando para tener biotecnologías limpias, de fácil acceso y contribuyan con la disminución del efecto de cambio climático.

Experiencia con Agricultores de Papa Diploide en Procesos de Transformación Ambiental para un Manejo Sostenible del Suelo

A continuación, se presenta otra experiencia con los agricultores de papa diploide del Departamento de Cundinamarca, para un manejo más sostenible del ambiente junto con prácticas que contribuyen a mejorar las condiciones de los suelos de los cultivos.



Control Biológico de Plagas y Enfermedades. En la Tabla 8.5 se observan los registros del NIP y como se manejaba antes las aplicaciones de plaguicidas comerciales en el cultivo en la vereda Santa Fe del Municipio de Granada. Además, en la Tabla 8.5 se aprecia que comúnmente realizaban doce aplicaciones de agroquímicos por los agricultores con inclusión de productos de categorías de peligro Ib, II y III. Como resultado de esas prácticas en las veredas, se puede apreciar en la Tabla 8.6 que las aplicaciones de agroquímicos disminuyeron a siete, con una reducción del 41,7% por hectárea y se utilizaron más productos poco peligrosos (categoría III). En este NIP se cosecharon 12,1 t/ha de tubérculos de papa diploide con menos aplicaciones de agroquímicos.

Aunque se logró reducir el número de aplicaciones de plaguicidas comerciales en la mayoría de los NIP y en los cultivos de los agricultores participantes, en el último NIP establecido específicamente para la producción de semilla básica de papa diploide, se presentaron condiciones no favorables de clima como exceso de lluvias, lo que condujo a repetir las aplicaciones para el control de gota (*P. infestans*), y así, el número total de aplicaciones para todo el ciclo del cultivo fueron nueve (Tabla 8.7) con respecto al modelo presentado anteriormente de siete aplicaciones (Tabla 8.6).

En la Tabla 8.7 se observa que, para un manejo más amigable con el medio ambiente, se aplicaron plaguicidas comerciales de categoría de peligro III (88,89%) y fueron suministrados con éxito en el cultivo. También se resalta la utilización de productos nuevos con ingredientes activos de tipo biológico o bioplaguicida (11,11%) en la quinta aplicación, procedente de una fermentación enzimática con hongos: *Metarhizium anisopliae*, *Beauveria bassiana* y *Paecilomyces* sp., disminuyendo aún más la categoría toxicológica de los productos utilizados. Bautista et al. (2018) reportaron que los bioplaguicidas son obtenidos en procesos de fermentación por hongos procedentes del suelo y compuestos de proteínas, metabolitos secundarios y enzimas procedentes extracelularmente. Algunos metabolitos secundarios ofrecen actividad biocontroladora y por esta razón, la investigación sobre agentes de control biológico ha aumentado en los últimos años ante el retiro de productos muy tóxicos o peligrosos (UTZ, 2015).



Tabla 8.5

Productos agroquímicos aplicados en un ciclo de papa diploide antes de la investigación participativa

Aplicación	Fecha (días)	Componentes activos aplicados*	Función	Dosis por caneca	Categoría Peligro**
1	0	Metribuzina	Herbicida	Sin dato	III
2	10	Deltametrina	Insecticida	100 cm ³	II
		Cimoxanilo y Mancozeb	Fungicida	50 g	III
3	6	Deltametrina	Insecticida	100 cm ³	II
		Cimoxanilo y Mancozeb	Fungicida	50 g	III
4	5	Deltametrina	Insecticida	100 cm ³	II
		Cimoxanilo y Mancozeb	Fungicida	50 g	III
5	5	Dimetomorfo	Fungicida	120 g	III
		Mancozeb	Fungicida	1 kg	III
		Deltametrina	Insecticida	Sin dato	II
		Alcohol etoxilado y Polioxietilen alquil éter	Coadyuvante	1 L	IV
6	2	Deltametrina	Insecticida	100 cm ³	III
		Cimoxanilo y Mancozeb	Fungicida	50 g	III
7	6	Alcohol etoxilado y Polioxietilen alquil éter	Coadyuvante	1 L	IV
		Mancozeb	Fungicida	1 kg	III
		Lambda cihalotrina	Insecticida	1 L	II
		Propineb y Cymoxanil	Fungicida	1 kg	III
8	9	Mancozeb	Fungicida	1,5 kg	III
		Propineb y Cymoxanil	Fungicida	1 kg	III
9	10	Mancozeb	Fungicida	1,5 kg	III
		Propineb y Cymoxanil	Fungicida	1 kg	III
10	3 y 4	Bifentrina	Insecticida	Sin dato	Ib
		Mancozeb	Fungicida	1,5 kg	III
11	8	Propineb y Cymoxanil	Fungicida	1 kg	III
		Mancozeb	Fungicida	1,5 kg	III
12	12	Propineb y Cymoxanil	Fungicida	1 kg	III

Nota. *El ICA permanentemente reevalúa los componentes de los plaguicidas por lo cual se recomienda revisar cuales se autorizan para las aplicaciones (ICA, 2014).

**OMS (2020). Código de colores se observa en las Tablas 8.6 y 8.7.



Tabla 8.6

Disminución de aplicaciones de productos agroquímicos a un ciclo de papa diploide en la investigación participativa con agricultores

Aplicación	Fecha (días)	Componentes activos aplicados	Función	Dosis por caneca	Cantidad canecas / aplicación	Categoría Peligro*
1	0	Glifosato	Herbicida	1 L	0,5	III
2	11	Lambda cihalotrina y Thiamethoxam	Insecticida	2 cm ³	0,5	II
		Metalaxil-M y Mancozeb	Fungicida	1 kg		III
3	15	Metalaxil-M y Mancozeb	Fungicida	1 kg	0,5	III
		Propineb y Cymoxanil	Fungicida	0,5 kg		III
		Coadyuvante	Coadyuvante	300 cm ³		IV
4	21	Propineb y Cymoxanil	Fungicida	0,5 kg	0,5	III
		Lambda cihalotrina y Thiamethoxam	Insecticida	200 cm ³		II
		Coadyuvante	Coadyuvante	300 cm ³		IV
5	10	Propineb y Cymoxanil	Fungicida	0,5 kg	1	III
		Dimetomorfo	Fungicida	0,5 kg		III
6	9	Dimetomorfo	Fungicida	0,5 kg	0,8	III
		Mancozeb	Fungicida	0,5 kg		III
7	15	Lambda cihalotrina y Thiamethoxam	Insecticida	150 cm ³	0,8	II
		Acefato	Insecticida	0,5 kg		III

Color	Peligrosidad
Ia	Sumamente peligroso
Ib	Muy peligroso
II	Moderadamente peligroso
III	Poco peligroso
IV	Poco probable que presente un peligro agudo

Nota. *OMS (2020).



Tabla 8.7

Aplicaciones de productos agroquímicos a un lote de producción de semilla básicas de papa diploide en un ciclo con agricultores

Aplicación	Fecha (días)	Componentes activos aplicados	Función	Dosis por caneca	Cantidad canecas / aplicación	Categoría Peligro*
1	0	Glifosato	Herbicida	1 L	1	III
2	6	Mancozeb	Fungicida	0,5 kg	1	III
		Propineb y Cymoxanil	Fungicida	0,5 kg		III
3	6	Mancozeb	Fungicida	0,5 kg	1	III
		Metalaxil-M y Mancozeb	Fungicida	0,5 kg		III
4	7	Propineb y Cymoxanil	Fungicida	1 kg	1	III
5	5	**Aminoácidos de fermentación enzimática y Oligoelementos	Bionsecticida	100 g	1	IV
6	3	Dimetomorfo	Fungicida	0,5 kg	1	III
7	8	Propineb y Cymoxanil	Fungicida	1,5 kg	1	III
8	9	Propineb y Cymoxanil	Fungicida	0,5 kg	1	III
		Mancozeb	Fungicida	0,5 kg		III
		Dimetomorfo	Fungicida	0,5 kg		III
9	15	Propineb y Cymoxanil	Fungicida	0,5 kg	1	III
		Mancozeb	Fungicida	0,5 kg		III

Color	Peligrosidad
Ia	Sumamente peligroso
Ib	Muy peligroso
II	Moderadamente peligroso
III	Poco peligroso
IV	Poco probable que presente un peligro agudo

Nota. *OMS (2020).

**Este biopreparado microbiano procedió de una fermentación de los hongos *Metarhizium anisopliae*, *Beauveria bassiana* y *Paecilomyces* sp., los cuales habitan en el suelo y actúan como parásitos de las plagas reduciendo su población en el cultivo.



La reducción y la racionalización del uso de plaguicidas y la utilización de técnicas alternativas como el control biológico con bioplaguicidas, las prácticas culturales, el uso de trampas de feromonas, atrayentes, repelentes o cualquier otro método que no deteriore el medio ambiente y contribuya a reducir las poblaciones de plagas a nivel no perjudiciales, hacen parte de un plan de manejo integrado de plagas y enfermedades. Adicionalmente, los agricultores de papa diploide aprendieron que antes de establecer un plan era necesario conocer que factor está interviniendo en el desarrollo del cultivo para implementar el manejo adecuado sobre plagas y enfermedades (Figura 8.5).

Figura 8.5

Manejo de trampas para plagas del cultivo de papa diploide por agricultores



Nota. Fotografía tomada en la investigación participativa orientada por la Corporación PBA.

Plan de Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades Ajustado a las Condiciones Locales. La papa es atacada por un gran número de insectos, plagas y enfermedades que afectan la producción, dañan la calidad y demeritan el producto. Los daños más importantes por insectos-plagas se manifiestan en épocas con condiciones de baja precipitación y con elevadas temperaturas, sin embargo, cuando se presenta humedad relativa elevada, es decir, un alto contenido de humedad en el aire esto incrementa la proliferación de hongos que también afectan el cultivo.



En cuanto a la mitigación y el control de *Rosellinia* sp., el cual es un hongo saprófito facultativo habitante natural del suelo, que puede afectar y causar enfermedades en las plantas, los agricultores acordaron realizar prácticas más apropiadas antes de la siembra, como: usar semilla sana, evitar sembrar en suelos infestados, mejorar el drenaje de los suelos y así evitar la acumulación de agua, realizar rotaciones de cultivo con plantas que no sean susceptibles, mantener el lote limpio de material leñoso y libre de malezas, quemar todos los residuos de plantas infectadas. Además, se aconsejó la aplicación de cal al momento de la siembra como parte del control de este hongo (Kuhar et al., 2013).

Las actividades desarrolladas en los NIP con los agricultores para los planes de manejo integrado de plagas y enfermedades dieron como resultado el establecimiento de un plan diseñado participativamente por los productores (Tabla 8.8) de una forma más racional, económica y ambientalmente sostenible de producción de papa diploide en los Municipios de Sibaté y Granada del Departamento de Cundinamarca (Piedrahita-López, 2012). En este plan se consideraron la aplicación de controles: cultural, químico, biológico, con trampas y/o cebos y etológico durante las diferentes cinco etapas del cultivo, comenzando con la formación de la plántula, su desarrollo, el crecimiento (tuberización), la producción y finalmente la madurez fisiológica para su cosecha. Así mismo, determinaron que hacer antes de iniciar la siembra. Es importante resaltar, la aceptación de los agricultores para la aplicación de bioplaguicidas procedentes de hongos propios del suelo como control biológico (color verde). También identificaron las plagas y cuales prácticas de manejo integrado se debían realizar. Para facilidad de lectura del plan y de aplicación de este, se establecieron participativamente un código de colores.



Tabla 8.8

Manejo integrado de las principales plagas y enfermedades del cultivo de papa diploide bajo los grupos NIP

Plaga	Prácticas de manejo integrado	Aplicación	Etapa del cultivo				
			C1	C2	C3	C4	C5
Gusano blanco de la papa (<i>Premnotrypes vorax</i> y <i>Naupactus</i> sp)	Cultivos trampa, trampas de caída.	En todo el cultivo.					
Gusano blanco de la papa (<i>Premnotrypes vorax</i> y <i>Naupactus</i> sp)	Aplicación de insecticida foliar comercial: 2 al cultivo trampa y una al cultivo de principal.	Aspersión a la base de la planta, inyección con lanza desarrollada en el proyecto.					
Gusano blanco de la papa (<i>Premnotrypes vorax</i> y <i>Naupactus</i> sp)	<i>Beauveria bassiana</i> y <i>Metarhizium anisopliae</i>	Aspersión a la planta y al suelo. Protección de semilla.					
Tostón, mosco o entretelado (<i>Lyriomyza quadrata</i> , <i>Lyriomyza huidobrensis</i>)	Trampas amarillas pegajosas.	Todo el cultivo.					
Tostón, mosco o entretelado (<i>Lyriomyza quadrata</i> , <i>Lyriomyza huidobrensis</i>)	Variedades resistentes, rotación de cultivos, épocas de plantación, eliminación de rastrojos y malezas, selección de cultivos adyacentes y optimización del riego y la fertilización.	Durante todo el cultivo.					
	Aplicación insecticida foliar químico comercial.	Aspersión a la planta.					
Polilla Guatemalteca (<i>Tecia solanivora</i>)	Rotación de cultivos, siembra de semilla sana, aporque adecuado, recolección de residuos de cosecha, cosecha oportuna.	Durante todo el cultivo.					
	Uso de feromonas.	Aspersión a la semilla.					
Polilla Guatemalteca (<i>Tecia solanivora</i>)	<i>Baculovirus phthorimaeae</i>	Cuarto poscosecha.					
Polilla Guatemalteca (<i>Tecia solanivora</i>)	Almacenamiento bajo luz directa.	Inyección con lanza.					

Nota. Seguimientos en investigación participativa con agricultores de los Municipios de Sibaté y Granada

Continuación de la Tabla 8.8

Plaga	Prácticas de manejo integrado	Aplicación	Etapas del cultivo				
			C1	C2	C3	C4	C5
Muques o comedores de follaje (<i>Copitarsia consueta</i> W. y <i>Pedidroma</i> sp H.)	Eliminación de residuos de cosecha, buena preparación de suelo, aporque alto, rotación de cultivos, semilla sana, control de malezas.	Durante todo el cultivo.					
Muques o comedores de follaje (<i>Copitarsia consueta</i> W. y <i>Pedidroma</i> sp H.)	Cebos tóxicos.	En la base del tallo.					
Muques o comedores de follaje (<i>Copitarsia consueta</i> W. y <i>Pedidroma</i> sp H.)	<i>Bacillus thuringiensis</i>	Aspersión a la base del tallo.					
Muques o comedores de follaje (<i>Copitarsia consueta</i> W. y <i>Pedidroma</i> sp H.)	<i>Beauveria bassiana</i>	Aspersión a la base del tallo.					
Chisa, mojoy o morrongo (<i>Ancognatha scarabaeoides</i>)	Épocas de siembras adecuadas, distancia de siembra adecuada, recolección de residuos de cosecha.	Al inicio del cultivo.					
Chisa, mojoy o morrongo (<i>Ancognatha scarabaeoides</i>)	Trampas de luz negra o luz día.	En todo el cultivo.					
Chisa, mojoy o morrongo (<i>Ancognatha scarabaeoides</i>)	<i>Metarrhizium anisopliae</i> <i>Beauveria bassiana</i>	Aspersión al follaje.					
Babosa (<i>Arion ater</i> L.)	Recoger residuos de cosecha, control de malezas.	Durante el cultivo.					
Babosa (<i>Arion ater</i> L.)	Cebos tóxicos.	En el cultivo.					
Babosa (<i>Arion ater</i> L.)	Metaldehído.	Aplicar a la base del tallo.					
Mosca blanca (<i>Bemisia tabaci</i> Gennadius)	Aplicación de cinco diferentes insecticidas químicos comerciales.	Aspersión foliar por el envés.					
Mosca blanca (<i>Bemisia tabaci</i> Gennadius)	<i>Bacillus thuringiensis</i>	Aspersión foliar por el envés.					
Mosca blanca (<i>Bemisia tabaci</i> Gennadius)	<i>Beauveria bassiana</i>	Aspersión foliar por el envés.					
Mosca blanca (<i>Bemisia tabaci</i> Gennadius)	<i>Verticillium lecanii</i>	Aspersión foliar por el envés.					
Gota o tizón tardío (<i>Phytophthora infestans</i>)	Recolección de residuos de cosecha, semilla de buena calidad, épocas de siembra, fertilización adecuada, aporques altos, cosecha a tiempo, rotación de cultivos.	Durante todo el cultivo.					

Nota. Seguimientos en investigación participativa con agricultores de los Municipios de Sibaté y Granada

Continuación de la Tabla 8.8

Plaga	Prácticas de manejo integrado	Aplicación	Etapa del cultivo				
			C1	C2	C3	C4	C5
Gota o tizón tardío (<i>Phytophthora infestans</i>)	Rotación de productos protectantes con sistémicos de cinco fungicidas químicos comerciales. Realizar podas, desear del lote el material infectado, realizar control de malezas para evitar fuente de inóculo, realizar rotación de cultivo, fertilización adecuada.	Aspersión a la planta cuando se presenten condiciones favorables.					
Cenicilla o Mildew polvoso (<i>Erysiphe cichoracearum</i>)	Aplicación de dos fungicidas químicos comerciales. Eliminación de plantas infectadas, podas constantes, control de malezas, rotación de cultivos.	Durante todo el ciclo del cultivo.					
Cenicilla o Mildew polvoso (<i>Erysiphe cichoracearum</i>)	Aplicación de un fungicida químico comercial.	Aplicación a las plantas.					
Rhizoctonias (<i>Rhizoctonia solani</i>)	Aplicación de otro fungicida químico comercial.	Durante todo el ciclo del cultivo.					
Rhizoctonias (<i>Rhizoctonia solani</i>)	Usar como semilla tubérculos sanos, evitar sembrar papa en suelos infestados, mejorar el drenaje de los suelos incorporando materia orgánica, para evitar la acumulación de agua, realizar rotaciones de cultivo con plantas que no sean susceptibles, mantener el lote limpio de material leñoso y libre de malezas, quemar todos los residuos de plantas infectadas.	Aplicación a plantas.					
Rhizoctonias (<i>Rhizoctonia solani</i>)		Aplicación a plantas afectadas.					
<i>Rosellinia</i> sp.		Antes de la siembra.					
<i>Rosellinia</i> sp.	Cal u óxido de calcio.	En el momento de la siembra.					

Nota. Seguimientos en investigación participativa con agricultores de los Municipios de Sibate y Granada



Continuación de la Tabla 8.8

Tipo de control	Convenciones	Etapas del cultivo
Cultural		C1=Plántula
Químico		C2=Desarrollo
Biológico		C3=Crecimiento (tuberización)
Trampas y/o Cebos		C4=Producción
Etológico		C5=Madurez fisiológica

Nota. Seguimientos en investigación participativa con agricultores de los Municipios de Sibaté y Granada

Producción y Manejo de Enmiendas Orgánicas como Alternativa Sostenible en el Cultivo de Papa Diploide. Una enmienda orgánica o abono es el producto del proceso de descomposición y mineralización de residuos vegetales, animales e industriales que se adicionan al suelo para mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas en particular la actividad microbiana, control de pH y retención del agua. Los abonos verdes, lodos de depuración, biochar⁶, abonos orgánicos, vermicompost⁷ y microorganismos eficientes son algunos ejemplos de enmiendas orgánicas (Infante-Lira, 2010; Montoya et al., 2020).

Durante los diagnósticos participativos previos, los productores enfatizaron en el desarrollo e implementación de procesos de producción y uso de abonos elaborados con materiales y desechos locales con el fin de establecer esquemas de fertilización más limpios y sostenibles que contribuyeran con el mejoramiento de la condiciones biológicas, físicas y químicas del suelo. Para ello, se estableció un NIP para la producción, evaluación y uso de bioinsumos, con la orientación de los profesionales de las entidades de acompañamiento.

Los pequeños productores participantes establecieron una planta piloto de producción de bioinsumos que comprendía una plancha de cemento, una caseta construida con madera y una cubierta con materiales de invernadero (plásticos y polisombras) (Figura 8.6). También, se incorporó al proceso un molino picador para obtener un abono más homogéneo, con características físicas superiores, mejor

⁶Biochar es un derivado carbonado de residuos de biomasa para aplicar al suelo con el propósito de mejorar sus propiedades.
⁷Vermicompost es un residuo orgánico obtenido por compostaje con lombrices y se conoce como humus de lombriz.



presentación y que a la vez reducía los costos de producción; puesto que esta máquina facilitaba el proceso de selección de acuerdo con el tamaño de partícula, labor que antes se realizaba manualmente.

Varios ciclos de producción del tubérculo se realizaron, en medio de talleres prácticos de capacitación e intercambios de experiencia, como visitas a otras organizaciones de productores más avanzados en el proceso. Durante los tres primeros ciclos, se tuvo el espacio y el tiempo necesario para desarrollar capacidades, evaluar y estandarizar los procesos con miras a mejorar la eficiencia, las características físicas y el aporte nutricional del abono, así como también la rentabilidad y la sostenibilidad de este. En el tercer ciclo, quedaron recursos económicos para la compra de materiales y así continuar con el proceso.

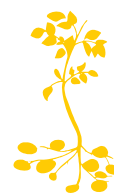
Figura 8.6

Planta piloto local establecida por pequeños productores participantes para la producción de enmiendas orgánicas



Nota. Fotografías tomadas en la investigación participativa orientada por la Corporación PBA

Las diferentes sesiones de capacitación a los agricultores de la Asociación de Agricultores de Granada (Asoagra) y de la Asociación Criolla Oro Sibaté, estuvieron sobre la preparación de abono verde conocido como bokashi (materia orgánica sólida en japonés) y de abonos líquidos. Además, se estableció un comité de abonos para organizar la participación, evaluar diferentes materiales e insumos utilizados en la preparación, estimar costos de producción, rentabilidad y unificar el proceso de elaboración.



Durante este proceso se ensayaron diversos materiales y cantidades hasta encontrar la fórmula más adecuada. Dicha preparación estuvo compuesta de:

- Porquinaza o residuos de porquerizas como estiércol de cerdos con orines, sus camas y el agua de lavado.
- Gallinaza o estiércol de gallinas.
- Rumen o residuos del estómago de ganado una vez sacrificado.
- Melaza o líquido denso que proviene de la caña de azúcar.
- Microorganismos eficientes o conocidos como EM que están presentes en los ecosistemas como bacterias que promueven desarrollo de plantas, bacterias productoras de ácido láctico, hongos de fermentación, entre otros.
- Residuos de sustratos para champiñón.
- Concentrado para terneros.
- Roca fosfórica.
- Levadura.

Después, las asociaciones de agricultores continuaron con la preparación de abonos orgánicos en la planta de producción, vendiéndolos a otros productores de la zona e incorporándolos en la producción de semilla limpia de papa diploide, en otros cultivos y en parcelas para la producción de hortalizas y árboles frutales.

Como resultado de esta investigación participativa, se concluyó que la aplicación de fertilizantes orgánicos complementados con dosis bajas de fertilizante químico, puede satisfacer adecuadamente la nutrición mineral en el cultivo de papa diploide, con respecto a la fertilización netamente química. También, se concluyó que es posible reducir los costos en la fertilización del cultivo de este tubérculo en la región de los Municipios de Granada y Sibaté, incorporando estos bioinsumos al esquema de fertilización para generar procesos más limpios y sostenibles de producción. Así mismo, se demostró el mejoramiento de las características del suelo, como: contenido de materia orgánica, densidad aparente, porosidad, capacidad de intercambio catiónico, entre otros.



Oyarzun et al. (2002) confirman que la aplicación de enmiendas orgánicas al cultivo de la papa, contribuye a las condiciones del suelo a favor de los organismos antagónicos naturales y aportan microflora saprófita para el control de patógenos o de enfermedades presentes. Mendoza-Dávalos et al. (2021) reportan el empleo de enmiendas orgánicas en cultivos de papas nativas en zonas andinas como una relevante alternativa frente al manejo de agroquímicos que presentan consecuencias de contaminación ambiental, riesgos para la salud e incremento de los costos de producción. Su estudio se realizó con dos variedades nativas *S. goniocalyx* Juz. et Buk., aplicando tres enmiendas orgánicas de guano de islas, compost y estiércol de ovino encontrando que las enmiendas incrementaron la humedad gravimétrica, las poblaciones de bacterias, hongos y actinomicetos hasta un 14%. Por tanto, estos autores concluyeron que el efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas mejora la fertilidad de los suelos en zonas andinas.

En el caso del cultivo de papa diploide, Muñoz y Lucero (2008) evaluaron el manejo de abono orgánico en relación al rendimiento de producción de la variedad Criolla Colombia en el Departamento de Nariño (Colombia) a 2.520 msnm y 45 cm de profundidad en suelo de textura franca a franco-arcillosa. Compararon la aplicación de fertilizante químico frente al manejo de abono orgánico y encontraron que las cantidades adecuadas de abono orgánico estuvieron entre 800 a 1.200 kg/ha con un rendimiento de 13.888,9 kg/ha de tubérculos. El análisis económico demostró que el abono orgánico tuvo la mayor relación beneficio-costeo.

Siembra de Abonos Verdes como Práctica Sostenible en la Capacidad Productiva del Suelo. La reutilización de material vegetal (ramas, hojas, flores, frutos, entre otros) resultantes de los sistemas agrícolas para integrar al suelo se conocen como abonos verdes. Son una enmienda orgánica y una alternativa de fertilización económica a los agricultores y ambientalmente sostenible, que mejora las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del suelo, su estructura, los nutrientes se van liberando allí gradualmente incrementando los micro y macronutrientes requeridos para el cultivo. Se emplean principalmente leguminosas y fabáceas que pueden formar asociaciones simbióticas con bacterias fijadoras de



nitrógeno atmosférico incrementando el nitrógeno disponible para la asimilación de los cultivos, por ende, su empleo reduce el empleo de agroquímicos (Montoya et al., 2020; Muñoz y Lucero, 2008).

Por lo anterior, se tuvo en cuenta esta enmienda como alternativa de producción más limpia y sostenible acompañada con ciclos de rotación entre cultivo y cultivo, con el objetivo de mejorar las condiciones y la capacidad productiva de los suelos. Además, para romper con los ciclos de las plagas y enfermedades del cultivo de papa diploide, entre otros cultivos alternativos de la zona. Para ello se establecieron algunos NIP en los que se sembró avena Cayuse o avena forrajera (*Avena sativa* L.), como abono verde antes de la siembra de papa diploide (Figura 8.7).

Figura 8.7

a) Lote antes de la siembra de abonos verdes, b) Lote con avena Cayuse sembrada de 3 meses en el Municipio de Sibaté



Nota. Fotografías tomadas en la investigación participativa orientada por la Corporación PBA

Luego de cuatro meses de siembra la avena en los NIP, se desbrozaba o limpiaba de maleza y se integraba en el suelo para que se reincorporaran los nutrientes y la materia orgánica en el mismo. Posteriormente se establecía el cultivo de papa diploide en estos mismos suelos y se evaluaban parámetros referentes a la capacidad productiva del suelo (Tabla 8.9). Estos procesos de uso de abonos verdes, eran desconocidos totalmente antes del desarrollo de las investigaciones participativas, por los pequeños productores de los Municipios de Granada y Sibaté.



Tabla 8.9
Evaluación de suelos antes y después del manejo de abonos verdes

Predio	NIP*	Muestra	Parámetros***										
			pH	CE	CO	N	Ca	K	Mg	Na	Al	CICE	CIC
El Pereque	Lote de abono verde	Antes de la siembra		dS/m	%					meq/100g			
			5,7	ns**	11,4	0,98	9,33	0,37	1,63	0,16	0	11,5	49,6
			P	S	Cu	Fe	Mn	Zn	B	Ar	L	A	Textura
					mg/kg						%		
			10,1	ns	0,91	54,8	1,24	2,63	0,32	8	40	52	Franca
Parámetros***													
El Pereque	Lote de abono verde	Después de dos ciclos con abono verde (avena)	pH	CE	CO	N	Ca	K	Mg	Na	Al	CICE	CIC
				dS/m	%					meq/100g			
			5,8	ns**	14,2	1,24	9,65	0,53	1,74	0,19	0	12,7	64,6
			P	S	Cu	Fe	Mn	Zn	B	Ar	L	A	Textura
					mg/kg						%		
			12,3	ns	1,25	47,3	1,08	2,8	0,41	8	39	53	Franca

* Núcleo de investigación participativa, ** ns: no significativo, *** Conductividad eléctrica (CE), Carbono orgánico (CO), Nitrógeno (N), Calcio (Ca), Potasio (K), Magnesio (Mg), Sodio (Na), Aluminio (Al), Capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE), Capacidad de intercambio catiónico (CIC), Fósforo (P), Azufre (S), Cobre (Cu), Manganeseo (Mn), Hierro (Fe), Zinc (Zn), Boro (B), Arcilla (Ar), Limo (L), Arena (A).

Nota. Análisis de los suelos en la investigación participativa orientada por la Corporación PBA

En el Departamento de Cundinamarca se reportó la experiencia sobre abonos verdes, por parte de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) con 120 agricultores de papa, maíz y arveja del Municipio de Fúquene. Ellos reconocieron que esta nueva alternativa protege el suelo y en el caso de manejar la avena como abono verde, esta actúa como un colchón ayudando a que el goteo no llegue directamente al suelo y minimiza los efectos (CAR, 2018). También estos abonos verdes aportan nutrientes al suelo.

Los productores se concientizaron de las bondades de incorporar al sistema productivo la rotación con abonos verdes y percibieron que, mediante la labranza mínima y la utilización de la avena forrajera, el suelo conservaba sus nutrientes y arrojaba buenos resultados en términos productivos. Por otro lado, al realizar el aporte de abono verde al lote se reducían las cantidades requeridas de fertilizantes químicos, repercutiendo favorablemente en la rentabilidad del cultivo. Los abonos verdes se descomponen y en el proceso de humidificación



proceden dos formas de humus, el activo que entrega nutrientes a las plantas y el estable que maneja reserva de nutrientes en el suelo que se liberan poco a poco asegurando su fertilización (Guanche, 2012).

En la Tabla 8.10 se describen los cambios en detalle como resultado de este proceso, específicamente, en el área sombreada se muestra la variación favorable de cada parámetro después de haber realizado la rotación del suelo con avena forrajera.

Tabla 8.10

Variación de parámetros antes y después de la siembra de abonos verdes en el suelo

Muestra	pH	N (%)	K (meq/100g)	P (mg/kg)	CO (%)	MO (%)	CIC (meq/100g)	Observaciones
Antes de la siembra	5,7	0,98	0,37	10,1	11,4	19,66	49,6	Aunque la fertilidad de este suelo se considera buena y no tenía mayores limitantes físicos ni químicos, se destaca la gran cantidad de ciclos de cultivo continuos que se realizaron en los últimos 10 años (aproximadamente 14).
Después dos ciclos con abono verde (avena)	5,8	1,24	0,53	12,3	14,2	24,5	64,6	Se observó que la fertilidad del suelo aumentó aún más, lo cual fue positivo (con una enmienda de tipo orgánico, como el abono verde, se mejoró la fertilidad de este sin acudir a fertilizantes de síntesis química).
Cambio en número del parámetro	0,1	0,3	0,16	2,2	2,8	4,84	15	Fue indicador para el cambio en la capacidad productiva del suelo, la cual fue aún mayor, recuperándose de los años de mala explotación y afianzó su sostenibilidad ambiental.
Nitrógeno (N), Potasio (K), Fósforo (P), Carbono orgánico (CO), Materia orgánica (MO), Capacidad de intercambio catiónico (CIC).								
Para el cálculo de MO del suelo se aplicó la ecuación %MO=%CO x factor de equivalencia de 1,724.								

Nota. Interpretación de parámetros en la investigación participativa orientada por la Corporación PBA (2011)

Bajo los resultados de las Tablas 8.9 y 8.10, se observan las siguientes contribuciones por los nutrientes incluidos al suelo, mediante el manejo de abonos verdes, así:



Nitrógeno (N). La adición de materia orgánica al suelo aportó nitrógeno más en forma de nitratos que en forma amoniacal, por lo tanto, se contribuyó a regular la acidez del suelo. Este aporte de nitrógeno correspondió a mayor cantidad de forma disponible y menos volátil. Además, con el aumento de este nutriente se pudo reducir el aporte de fertilizantes, como la urea que contribuía a la acidificación del suelo.

Potasio (K). Con el abono verde hubo una regulación y aumento del pH (aún siendo solo de una décima) y se contribuyó al aumento de la capacidad de intercambio catiónico (CIC). Esto favoreció la disponibilidad de potasio, pues el indicador de 0,16 resaltó que el manejo del suelo en este NIP, presentó un balance con el magnesio y el calcio, permitiendo mayor disponibilidad de potasio de importancia para la formación de tubérculos, conservando la capacidad productiva del suelo, en donde se hizo menos adiciones de nutrientes y solamente se incluyeron los requeridos por el cultivo.

Fósforo (P). En general en los suelos tropicales la acidez limita la disponibilidad de este elemento, por lo que, en el cultivo de papa diploide se hacen constantes adiciones para aumentar los niveles de fósforo. En el caso particular del fósforo que es un elemento de baja movilidad en el suelo, se obtuvo un valor positivo (2,2) lo que indicó que el abono verde contribuyó en la deficiencia de este elemento nutriente en el suelo debido a que se presentaron valores de P menores a 20.

Otros nutrientes. También se observó que mediante los abonos verdes se aumentó el nivel de nutrientes que son limitantes en la producción, como el magnesio (Mg) el cual pasó de 1,63 a 1,74, el calcio (Ca) que pasó de 9,33 a 9,65 y el boro (B) de 0,32 a 0,41; además, de reducir la cantidad de hierro (Fe) de 54,8 a 47,3 evitando la posible toxicidad por este elemento (Tabla 8.9).

Lo expuesto anteriormente demostró que implementar esquemas de producción limpia, mediante la utilización de abonos orgánicos, el uso de abonos verdes, la labranza de conservación y las estrategias agroforestales, permitieron el mejoramiento de la competitividad y de la sostenibilidad ambiental del sistema



productivo de la papa diploide que trabajan los productores del Departamento de Cundinamarca. Además, el establecimiento de procesos participativos en la inclusión de abonos orgánicos y abonos verdes al manejo del cultivo, facilitaron no solamente el mejoramiento de la competitividad del sistema productivo, sino también la conservación ambiental, la disminución de costos de producción, la generación de nuevos negocios comunitarios y el mejoramiento de la calidad de vida de las familias de los agricultores (Ciro, 2009; Gómez y Agudelo, 2006; Pumisacho y Sherwood, 2005; Salazar-Villareal, 2010).

Conclusiones

Mediante las experiencias participativas con agricultores de papa diploide en los municipios del Departamento de Cundinamarca, se encontró que la aplicación de biopreparados en las plantas de papa diploide favoreció la disminución de ataques de insectos plaga como la polilla guatemalteca (*Tecia solanivora*) y la utilización de productos minerales de baja peligrosidad permitió mantener las plantas sanas de enfermedades como la gota (*Phytophthora infestans*), sin embargo, es necesario emplear metodologías que determinen la eficiencia biológica de los biopreparados en la mortalidad de las plagas.

Otra alternativa de sostenibilidad del suelo es la reducción de aplicaciones de plaguicidas químicos de baja residualidad por la inclusión de bioplaguicidas procedentes de fermentaciones de hongos habitantes del suelo en el manejo integrado de plagas y enfermedades. Así mismo, el suelo se beneficia con las enmiendas orgánicas que mostraron su eficacia al aumentar nutrientes principales en el suelo para los cultivos de las unidades demostrativas de comparación, y permitieron establecer recomendaciones para la producción de papa diploide. Actividades que se realizaron mediante procesos de transferencia y aprendizaje de tecnología con productores líderes en las fincas participantes durante la investigación.

Por otra parte, dada la necesidad del mercado por alimentos inocuos y sin residuos de origen químico, es imperativo el cambio del manejo del cultivo tradicional de este tubérculo a un manejo sostenible con alternativas limpias. Aunque el



desarrollo sostenible de las comunidades rurales es un proceso complejo en el que están involucrados diversos aspectos tanto sociales y culturales como biológicos, ambientales y económicos, obedece a que se aborden estrategias integrales y multidisciplinarias que permitan continuar en la aplicación de estas alternativas limpias.

Referencias

- Adhya, T. K., Lal, B., Mohapatra, B., Paul, D. y Das, S. (Eds.). (2018). *Advances in soil microbiology: recent trends and future prospects. Volume 1: Soil-Microbe Interaction*. Springer.
- Ahmad, N., Jan, S.A., Sajjad, W., Faisal, S., Gao, B., Khakemin, K., Hayat, M. y Kumar, T. (2018). *In vitro* antimicrobial activity of Aloe vera L. extracts against pathogenic bacteria and fungi. *Mycopathologia*, 14(1 y 2), 21-27. <http://111.68.103.26/journals/index.php/mycopath/article/viewFile/1302/603>
- Alfonso, F.L. y Toro, I. (2010). Riesgo ambiental por el uso de agroquímicos. *Inventum*, 5(9), 32-41. <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.5.9.2010.32-41>
- Bautista, E.J., Mesa, L. y Gómez, M.I. (2018). Alternativas de producción de bioplaguicidas microbianos a base de hongos: el caso de América Latina y El Caribe. *Scientia Agropecuaria*, 9(4), 585-604. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.04.15>
- Bernal, G. (2010). *Las buenas prácticas agrícolas (BPA) desde la perspectiva de la microbiología de suelos [Simposio Magistral]*. XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Provincia Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador.
- Cárdenas, J.I. y Vallejo, L.E. (2016). Agricultura y desarrollo rural en Colombia 2011-2013: una aproximación. *Apuntes del Cenec*, 35(62), 87-123.



- Cavicchioli, R., Ripple, W.J., Timmis, K.N., Azam, F., Bakken, L.R., Baylis, M., Behrenfeld, M.J., Boetius, A., Boyd, P.W., Classen, A.T., Crowther, T.W., Danovaro, R., Foreman, C.M., Huisman, J., Hutchins, D.A., Jansson, J.K., Karl, D.M., Koskella, B., Welch, D.B.M., ... Webster, N.S. (2019). Scientists' warning to humanity: microorganisms and climate change. *Nature Reviews Microbiology* 17, 569–586. <https://doi.org/10.1038/s41579-019-0222-5>
- Chowdhary, K. y Sharma, S. (2019). Antifungal activity of Aloe vera L. inflorescence against plant pathogenic fungus. *Indian Phytopathology*, 72, 373–376 <https://doi.org/10.1007/s42360-019-00121-0>
- Ciro, P. y Villegas, B. (2009). *Mis buenas prácticas agrícolas: Guía para agroempresarios*. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) y Corporación Colombia Internacional (CCI). <http://hdl.handle.net/20.500.12324/2311>
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca [CAR]. (2018). *Agricultores conocen experiencias sobre abono verde y labranza mínima en Fúquene. Colombia*. <https://www.car.gov.co/saladeprensa/agricultores-conocen-experiencias-sobre-abono-verde-y-labranza-minima-en-fuquene>
- Correal, P.E. (2009). *Propuesta estratégica para la conversión de sistemas productivos de papa criolla (Solanum phureja) de convencional a ecológico desde una perspectiva de gestión ambiental. Caso asociación de productores de papa criolla "Asocriolla" Municipio de Subachoque (Cundinamarca)* [Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Javeriana].
- Dammak, I., Lasram, S., Hamdi, Z., Moussa, O.B., Hammi, K.M., Trigui, I., Houissa, H., Mliki, A., y Hassouna, M. (2018). *In vitro* antifungal and anti-ochratoxigenic activities of Aloe vera gel against *Aspergillus carbonarius* isolated from grapes. *Industrial Crops and Products*, 123, 416-423. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.07.023>
- Danish, P., Ali, Q., Hafeez, M.M. y Malik, A. (2020). Antifungal and antibacterial activity of Aloe vera plant extract. *Biological and Clinical Sciences Research Journal*, 2020, e003. <https://bcsrj.com/wp-content/uploads/2020/04/BCSRJ2020e004.pdf>



- Delgado, D.M. (2017). Aplicación de enmiendas orgánicas para la recuperación de propiedades físicas del suelo asociadas a la erosión hídrica. *Lámpsakos*, 17, 77-83. <https://doi.org/10.21501/21454086.1907>
- Denaix, L., Anatole-Monnier, L., y Thiéry, D. (2016). *Effet de l'utilisation répétée de bouillie bordelaise sur la contamination des sols, la biodisponibilité du cuivre et son accumulation dans la vigne*. 46 congrès du Groupe Français des Pesticides, Bordeaux. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01869886/document>
- Donaire, R. y Garcia, W. (2006). Alternativa agroecológica para el control del tizón tardío, *Phytophthora infestans*, de la papa en Colomi - Bolivia. *Acta Nova*, 3(3), 564-577.
- Federación Colombiana de Productores de Papa [Fedepapa]. (2004). *Guía ambiental para el cultivo de la papa*. Fedepapa - Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. <https://redjusticiaambientalcolombia.files.wordpress.com/2012/09/guia-ambiental-para-el-cultivo-de-la-papa.pdf>
- Food and Agriculture Organization [FAO] y Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG]. (2013). *Los biopreparados para la producción de hortalizas en la agricultura urbana y periurbana*. FAO – MAG, Paraguay.
- Food and Agriculture Organization [FAO]. (2019). *El apoyo de la FAO para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible en América del Sur – Panorama*. FAO.
- García, D.G., Orozco, M.R., Suárez, D.M. y Perry, S. (2011). *MTP. Mejoramiento tecnológico participativo: una guía para construir procesos de innovación tecnológica en comunidades rurales*. (Manual para facilitadores). Corporación PBA. <https://redprodepaz.metabiblioteca.com/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=1909>
- Gómez, L.E. y Agudelo, S.C. (2006). *Cartilla para educación agroecológica*. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/2006>



- Guanche, A. (2012). *Los abonos verdes. Información Técnica*. Agrocabildo.
https://www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/agec_454_abonos_verdes.pdf
- Guzmán-Plazola, P., Guevara-Gutiérrez, R.D., Olguín-López, J.L. y Mancilla-Villa, O.R. (2016). Perspectiva campesina, intoxicaciones por plaguicidas y uso de agroquímicos. *Idesia (Arica)*, 34(3), 69-80.
<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292016000300009>
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2003). Resolución 3759. Por la cual se dictan disposiciones sobre el Registro y Control de los Plaguicidas Químicos de uso agrícola. ICA.
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2014). Resolución 3497. Por medio de la cual se establece el procedimiento para la revaluación de los plaguicidas químicos de uso agrícola registrados con anterioridad a la entrada en vigencia de la Decisión CAN 436 y se establecen otras disposiciones. ICA.
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2015). Resolución 3168. Por medio de la cual se reglamenta y controla la producción, importación y exportación de semillas producto del mejoramiento genético para la comercialización y siembra en el país, así como el registro de las unidades de evaluación agronómica y/o unidades de investigación en fitomejoramiento y se dictan otras disposiciones. ICA.
- Infante-Lira, A. (2010). *Manual de biopreparados para la agricultura ecológica. Programa Territorial Orgánico (PTO)* Fundación para la Innovación Agraria (FIA) y Surfrut.
- IPES-RUAF-FAO. (2010). *Biopreparados para el manejo sostenible de plagas y enfermedades en la agricultura urbana y periurbana*. IPES-Promoción del Desarrollo Sostenible, Fundación RUAF, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).
<https://www.trinacionalrioempa.org/mtrf/archivos/biblioteca/publicaciones/manuales/biopreparados-para-el-manejo-sostenible-de-plagas.pdf>



- Kuhar, T. P., Kamminga, K., Philips, C., Wallingford, A. y Wimer, A. (2013). Chapter 13: Chemical control of potato pests. En P. Giordanengo, C. Vincent y A. Alynckhin (Eds.) *Insect Pests of Potato: Global Perspectives on Biology and Management* (pp.375-397). Elsevier.
- León, T.E., Coca, A., Forigua, W.A. y Castellanos, D.E. (2013). Efectos de purines de chipaca (*Bidens pilosa* L.) y de microorganismos en la incidencia y severidad de *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary en papa criolla (*Solanum phureja*) cultivada en Tenjo (Cundinamarca, Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín*, 66(2), 7009-7020.
- Mamani de Marchese, A. y Filippone, M.P. (2018). Bioinsumos: componentes claves de una agricultura sostenible. *Revista agronómica del noroeste argentino*, 38(1), 9-21.
- Mediavilla, M.C. (2014). *Biopreparados para el manejo de plagas y enfermedades*. Prohuerta e Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). https://inta.gob.ar/sites/default/files/cartilla_biopreparados.pdf
- Mendoza-Dávalos, K., Sanabria-Quispe, S., Pérez-Porras, W. y Cosme-DeLaCruz, R. (2021). Enmiendas orgánicas y su efecto en las propiedades de suelos alto andinos cultivados con papa nativa (*Solanum goniocalyx* Juz.et Buk.). *Agroindustrial Science*, 11(2), 221-229. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2021.02.12>
- Ministerio de Salud. (1991). Decreto 1843 22/07/1991. Por el cual se reglamentan parcialmente los títulos III, V, VI, VII y XI de la Ley 09 de 1979, sobre uso y manejo de plaguicidas. https://www.dadiscartagena.gov.co/images/docs/normatividad/decretos/decreto_1843_22_07_1991.pdf
- Ministerio de Salud. (1992). Resolución 010834 25/11/1992. Por el cual se reglamenta parcialmente el capítulo III del Decreto 1843 de 1991. <https://www.ins.gov.co/Normatividad/Resoluciones/RESOLUCION%2010834%20DE%201992.pdf>



- Montes, A., Díaz, D., Perry, S. y Nova, Y. (2011). *Empoderamiento de los pequeños productores rurales (EPPR): fortalecimiento de las competencias de la población rural para la participación ciudadana*. (Manual para facilitadores). Corporación PBA.
- Montoya, S. A.M., Mora, A.M. y Vásquez, C.J.F. (2020). La importancia de las enmiendas orgánicas en la conservación del suelo y la producción agrícola. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 7(1), 58-68.
- Muñoz, L.A. y Lucero, A.M. (2008). Efecto de la fertilización orgánica en el cultivo de papa criolla *Solanum phureja*. *Agronomía Colombiana*, 26(2), 340-346. <https://www.redalyc.org/pdf/1803/180314732019.pdf>
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2020). *Clasificación recomendada por la OMS de los plaguicidas por el peligro que presentan y directrices para la clasificación 2019*. World Health Organization.
- Ortiz, D. (2015). El constructivismo como teoría y método de enseñanza. *Sophia: colección de Filosofía de la Educación*, 19(2), 93-110.
- Oyarzún, P., Gallegos, P., Asaquibay, C., Forbes, G., Ochoa, J., Paucar, B., Prado, M., Revelo, J., Sherwood, S. y Yumisaca, F. (2002). Capítulo 4. Manejo integrado de plagas y enfermedades. En M. Pumisacho, y S. Sherwood, (Eds.) *El Cultivo de la Papa en Ecuador* (pp.85-169). Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) - Centro Internacional de la Papa (CIP).
- Piedrahita-López, L., Peña, Y.Z., y Maldonado, L. (2012). Agricultura sostenible y competitiva de la papa criolla en Colombia. En: G. Thiele, C.A. Quirós, J. Ashby, G. Hareau, E. Rotondo, G. López, R. Paz Ybarnegaray, R. Oros, D. Arévalo, J. Bentley, (Eds.) *Métodos participativos para la inclusión de los pequeños productores rurales en la innovación agropecuaria: Experiencias y alcances en la región andina 2007-2010*. (pp.67-76). Programa Alianza Cambio Andino Centro Internacional de la Papa (CIP).



- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD]. (2015). *Recetas caseras de abonos orgánicos y biopesticidas*. PNUD, Unión Europea (UE) y Corporación El Canelo de Nos.
- Pro-Mix. (2021). *La función del cobre en el cultivo de plantas*. Centro de Formación. Pro-Mix marca registrada de Premier Horticulture Ltd. <https://www.pthorticulture.com/>
- Pszczolkowski, P. y Sawicka, B. (2018). The effect of application of biopreparations and fungicides on the yield and selected parameters of seed value of seed potatoes. *Acta Agrophysica*, 25(2), 239–255. <https://doi.org/10.31545/aagr/93104>
- Pumisacho, M y Sherwood, S (Eds). (2005). *Guía metodológica sobre Escuelas de campo de Agricultores*. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (Iniap) y Centro Internacional de la Papa (CIP).
- Restrepo, J. (2007). *Biofertilizantes preparados y fermentados a base de mierda de vaca*. Feriva.
- Salazar, C. y Betancourth, C. (2009). Evaluación de extractos de plantas para el manejo de polilla guatemalteca (*Tecia solanivora*) en cultivos de papa en Nariño, Colombia. *Agronomía Colombiana*, 27(2), 219-226.
- Salazar-Villareal, M. (2010). *Cartilla Alternativas para el manejo de plagas y enfermedades en nuestras fincas*. Progressio-CEA.
- Santamaría, M., Montañéz, J. y Sánchez, R.R. (2010). Evaluación de la producción limpia de papa criolla (*Solanum phureja*) en Madrid, Cundinamarca. *Inventum* 9, 8-12.
- Santos, A.M, Cotes, A.M., Caro, A., Bustillo, A.E., Escobar, A., Balbin, A., Díaz, A., Arcila, A.M., Carabalí, A., Vásquez, A.A., Lohr, B.L., Oehlschlager, C., Beltrán, C.R., Moreno, C.A., Espinel, C., González, C., Clerck, C., Hoy, C.W., Narváez, C.A....., Martínez, Y.A. (2018). *Control biológico de fitopatógenos, insectos y ácaros: agentes de control biológico*. (V. 1). AGROSAVIA. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/33829>



- Soto, G. (2020). El continuo crecimiento de la agricultura orgánica: Orgánico 3.0. *Revista de Ciencias Ambientales*, 54(1), 215-226.
<https://dx.doi.org/10.15359/rca.54-1.13>
- Tencio, R. (2017). *Guía de elaboración y aplicación de bioinsumos para una producción agrícola sostenible*. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica (MAG), Fundecooperación, Fondo Multilateral de Inversiones (Fomin). <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F08-10924.pdf>
- Thakur, N., Kaur, S., Kaur, T., Tomar, P., Devi, R., Thakur, S., Tyagi, N., Thakur, R., Mehta, D.K. y Yadav. A.N. (2022). 25 - Organic agriculture for agro-environmental sustainability. En R. Soni, D. Suyal, A. Yadav, R. Goel. (Eds.) *Developments in Applied Microbiology and Biotechnology. Trends of Applied Microbiology for Sustainable Economy*.(pp.699-735) Academic Press.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91595-3.00018-5>
- Torres, D. y Capote, T. (2004). Agroquímicos un problema ambiental global: uso del análisis químico como herramienta para el monitoreo ambiental. *Revista Ecosistemas*, 13(3), 2-6.
<https://revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/201>
- UTZ. (2015). *Lista de plaguicidas prohibidos y lista de plaguicidas en vigilancia, Versión 1.0. Holanda*.
<https://utz.org/wp-content/uploads/2016/02/ES-UTZ-List-of-Banned-Pesticides-v1.0-2015.pdf>
- Verma, B.C., Pramanik, P. y Bhaduri, D. (2020). Organic Fertilizers for Sustainable Soil and Environmental Management. En R.S. Meena (Ed.) *Nutrient Dynamics for Sustainable Crop Production* (pp. 289-313). Springer.



A photograph showing several students in white lab coats working in a kitchen or food processing lab. They are standing around a stainless steel table covered with white paper towels. On the table are numerous samples of potato chips, some golden-brown and some green, arranged in rows. Several clear plastic cups are also on the table. One student in the foreground is holding a pen and looking at a piece of paper. The background shows kitchen equipment, including a sink and a pressure cooker.

**Conservación, aprovechamiento,
perspectivas comerciales
e innovaciones**

sección 3

Contenido de la Sección 3

Capítulo 9

Alternativas en el Acondicionamiento y Almacenamiento de los

Tubérculos de Papa Diploide (<i>Solanum phureja</i> Juz. et Buk.).....	325
Resumen.....	325
Introducción.....	326
Metodología.....	327
Proceso de Acondicionamiento de Genotipos de Papa Diploide.....	328
Almacenamiento de los Tubérculos con y sin Envase.....	329
Seguimiento a los Genotipos en los Dos Tipos de Almacenamiento.....	330
Diseño Estadístico.....	330
Productos Logrados.....	330
Factores que Inciden en la Calidad de los Tubérculos.....	330
Implementación de Nuevos Equipos para el Acondicionamiento.....	334
Formas de Almacenamiento.....	336
Condiciones y Variables a Considerar.....	339
Análisis del Uso de Diferentes Envases y Atmósferas.....	341
Estudios Sobre Uso de Películas y Recubrimientos Comestibles.....	349
Conclusión.....	349
Referencias.....	350

Capítulo 10

Análisis Físico y Nutricional de Tubérculos de Papa Diploide

(<i>Solanum phureja</i> Juz. et Buk.).....	357
Resumen.....	357



Introducción.....	358
Metodología.....	359
Características Físicas de los Tubérculo.....	360
Caracterización Nutricional de los Tubérculos.....	363
Productos Logrados.....	364
Características Físicas de los Tubérculos.....	364
Caracterización Nutricional de los Tubérculos.....	374
Conclusiones.....	382
Referencias.....	382

Capítulo 11

Aprovechamiento Potencial de la Papa Diploide

(<i>Solanum phureja</i> Juz. et Buk.) para la Industria Alimentaria.....	391
Resumen.....	391
Introducción.....	392
Metodología.....	393
Principales Productos.....	394
Consideraciones Generales para los Procesos de los Principales Productos.....	399
Otros Productos Elaborados.....	401
Productos Logrados.....	402
Criterios de Selección.....	402
Control de la Enzima Peroxidasa.....	403
Principales Productos.....	404
Otros productos con papa diploide de color amarillo.....	423
Potencial de productos de papa diploide de colores diferentes al amarillo.....	428
Conclusiones.....	431
Referencias.....	432



Capítulo 12

Costos de Procesamiento de la Papa Diploide

(*Solanum phureja* Juz. et Buk.) y el Potencial de sus Productos

en Mercados Internacionales.....	443
Resumen.....	443
Introducción.....	444
Metodología.....	446
Productos Logrados.....	447
Costo Estimado de Productos Procesados.....	447
Ingresos.....	448
Punto de Equilibrio.....	448
Potencial de Productos Procesados en los	
Mercados Internacionales.....	451
Conclusiones.....	454
Referencias.....	454

Capítulo 13

Innovaciones Derivadas de Procesos de Investigación

Participativa con Agricultores de Papa Diploide

(<i>Solanum phureja</i> Juz. et Buk.).....	457
Resumen.....	457
Introducción.....	458
Metodología.....	461
Estructura Organizativa de las Comunidades	
de Productores.....	461
Actividades Participativas con los Agricultores.....	462
Productos Logrados.....	465
Agricultores como Actores del Proceso Participativo Rural.....	465



Manejo del Tubérculo Semilla.....	466
Manejo del Cultivo con Prácticas Sostenibles.....	468
Desarrollo de Planes de Negocio.....	472
Enfoque Organizacional y de Empresarización para Productores.....	475
Participación de Agricultores en la Transformación del Tubérculo.....	476
Innovaciones Logradas para el Sistema Productivo de Papa Diploide.....	478
Conclusiones.....	479
Referencias.....	479



CAPITULO 9

Alternativas en el Acondicionamiento y Almacenamiento de los Tubérculos de Papa Diploide (*Solanum phureja* Juz. et Buk.)

Ana Magdalena Garnica Holguín¹, Javier Alexander Suárez Cano,¹

María del Socorro Cerón Lasso², Lena Prieto Contreras¹,

Jader Rodríguez Cortina², Isabel Cusgüen Londoño³

Resumen

Los tubérculos de papa diploide (*Solanum phureja* Juz. et. Buk.) son más perecederos que otras variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) y se pueden almacenar solamente por períodos cortos. Por consiguiente, se fortaleció la capacidad instalada de los productores de papa y, además, se desarrollaron alternativas para el acondicionamiento y el almacenamiento, a partir de 17 genotipos y de la variedad Criolla Colombia como testigo, procedentes de los Municipios de Sibaté y de Granada (Departamento de Cundinamarca, Colombia). Estos genotipos se lavaron, desinfectaron, clasificaron, envasaron en dos atmósferas modificadas (activa y pasiva) y en dos envases (BOPP y PEBD), y se almacenaron en dos ambientes (18 y 5 °C). En el seguimiento se descartaron tubérculos con pudrición, pronta brotación, deshidratación y otras fisiopatías. El tiempo de vida útil de los tubérculos en almacenamiento variaron entre 14 hasta 48 días para genotipos del Municipio de Sibaté y entre 15 hasta 49 días para los tubérculos del Municipio de Granada, bajo las diferentes variables experimentales de envasado y de almacenamiento, se encontró que el uso del método de conservación por envases BOPP con atmósfera modificada a 5 °C pueden extender la vida útil de los tubérculos de 44 a 49 días.

Palabras Clave: limpieza de tubérculos y raíces, actividades cooperativas, pérdida poscosecha, defectos, envase flexible, almacenamiento atmósfera controlada.

¹ Universidad de La Salle, Bogotá – Colombia.

² Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Tibaitatá, Mosquera, Cundinamarca-Colombia.

³ Sociedad Agraria de Transformación (SAT) El Rosal y Criollas de los Andes S.A.S. Colombia.



Abstract

Diploid potato tubers (*Solanum phureja* Juz. et. Buk.) are more perishable than other potato varieties (*Solanum tuberosum* L.) and can be stored only for short periods. Consequently, the installed capacity of potato producers was strengthened and, in addition, alternatives were developed for conditioning and storage, based on 17 genotypes and Criolla Colombia variety as a witness, from Municipios de Sibaté and Granada (Departamento de Cundinamarca, Colombia). These genotypes were washed, disinfected, classified, packed in two modified atmospheres (active and passive) and in two packages (BOPP and PEBD), and stored in two environments (18 and 5 °C). In the follow-up, rotten tubers, early sprouting, dehydration, and other physiopathies were ruled out. Shelf life of tubers in storage varied between 14 to 48 days for genotypes from Municipio de Sibaté and between 15 to 49 days for tubers from Municipio de Granada. Under different experimental variables of packaging and storage, it was found that usage of conservation method by BOPP packages with modified atmosphere at 5 °C can extend shelf life of tubers from 44 to 49 days.

Keywords: tubers and roots cleaning, cooperative activities, postharvest loss, defects, flexible packaging, controlled atmosphere storage.

Introducción

La papa diploide se cultiva todo el año en ciclos de cuatro meses y su precio de comercialización depende de la oferta. Este tubérculo manifiesta brotación precoz y, por ende, su tiempo de vida útil es corto entre 5 a 8 días, lo que limita su comercialización en mercados internacionales e incluso en los nacionales (Suárez et al., 2017; Wilson, 2007). Cabe recordar que, en todas las etapas de suministro de tubérculos frescos como: cosecha, manipulación, acondicionamiento, almacenamiento y comercialización, se presentan pérdidas cuantitativas y cualitativas; especialmente, en el almacenamiento por lo cual se deben buscar soluciones para evitarlas (Food and Agriculture Organization [FAO], 1993; Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2015).



Ante el contexto anterior, el objetivo de la investigación se centró en fortalecer las actividades de acondicionamiento de los productores y estudiar las alternativas de acondicionamiento, envasado y almacenamiento de tubérculos de papa diploide provenientes de dos municipios productores del Departamento de Cundinamarca. Generalmente, en Colombia, esta papa se comercializa sin lavar en los centros de acopio y de allí se vende a centrales mayoristas y a empresas que realizan el lavado y el empaque o el envase para almacenes de grandes superficies, hasta llegar al consumidor final. Es importante señalar que la limpieza y clasificación de la papa a través de intermediarios incrementa hasta el 50% su precio final (Núñez y Rodríguez, 2020).

Adicionalmente, el almacenamiento de tubérculos busca preservarlos en el tiempo para ser usados como semilla o ser consumidos, intercambiados o expuestos en los mercados (Rhoades et al., 1988). Por esto se consideran dos tipos de almacenamiento, uno destinado a la alimentación y otro dirigido al abastecimiento de semilla. Los tubérculos para consumo, requieren conservar las cualidades comestibles y por ello, es importante regular la luz, la temperatura, la humedad relativa del aire y la ventilación. Para los tubérculos destinados a semilla, demandan que se mantenga su turgencia o rigidez, formación de brotes sanos y vigorosos, debido a que su conservación es de más tiempo (6 a 9 meses) para obtener plantas óptimas en desarrollo, calidad, sanidad y eficiencia productiva (Lescano, 1986; Vejarano y Morales, 2014).

Metodología

La información fue recopilada con base a la observación de las actividades de los productores, en conjunto, con el conocimiento y la experticia de los autores. También fueron revisadas fuentes secundarias de diferentes investigaciones sobre el acondicionamiento y el almacenamiento de papa diploide, con el fin de integrar la información teórica con los resultados obtenidos en el marco del proyecto de Generación de nuevas variedades de papa papa diploide para el Departamento de Cundinamarca (Colombia). Además, junto con los productores del Municipio de



Subchoque de este departamento se evidenciaron limitaciones en el acondicionamiento de papa, lo que condujo al fortalecimiento de las capacidades empresariales de esta comunidad, mediante la construcción de una máquina seleccionadora de papa a partir de la donación de materiales para ese fin.

Con respecto a las pruebas experimentales, en los Municipios de Sibaté ($4^{\circ}28'52,56''\text{N}$ y $74^{\circ}15'11,37''\text{O}$) y de Granada ($4^{\circ}32'45,24''\text{N}$ y $74^{\circ}19'46,34''\text{O}$) (Departamento de Cundinamarca, Colombia) fueron cultivados 17 genotipos y la variedad Criolla Colombia como testigo, provenientes de la Colección Central Colombiana de Papa del Banco de Germoplasma Vegetal del estado colombiano que administra AGROSAVIA (Suárez et al., 2017) los cuales fueron almacenados en una bodega del Centro de Investigación de Tibaitatá (Municipio de Mosquera, Departamento de Cundinamarca) y evaluados en los laboratorios de esta entidad.

Proceso de Acondicionamiento de Genotipos de Papa Diploide

Los tubérculos se transportaron en costales desde los municipios a la bodega del Centro de Investigación de Tibaitatá, donde se registró el peso de cada genotipo y de la variedad testigo. Enseguida se seleccionaron y clasificaron por color, forma y tamaño según la metodología de Gómez (2000), con los siguientes requisitos: sin magulladuras, ni cortes en la piel, madurez adecuada con piel adherida completamente, sin presencia de plaga (gusanos), color característico, forma regular del tubérculo, y sin ojos muy profundos. Después, se realizó el lavado con agua potable suficiente para retirar las impurezas mayores y la desinfección con alquildimetilbencilamonio clorado en dilución de 3,8 g en 7,53 L de agua (200 ppm). Los tubérculos se secaron con toallas absorbentes para eliminar el agua superficial (Suárez et al., 2017). Finalmente se obtuvieron 3,6 kg de cada genotipo para las pruebas de almacenamiento.



Envasado de Tubérculos en Diferentes Envases y Atmósferas.

Para esta actividad se alistaron envases flexibles de polipropileno biorientado (BOPP) y de polietileno de baja densidad (PEBD), con el fin de colocar 100 g de cada genotipo. Enseguida, se procedió a manejar en los envases dos tipos de atmósferas.

Atmósfera Modificada Activa (AMA). Con una empacadora al vacío se extrajo el aire atmosférico del envase con los tubérculos y seguidamente se inyectó una mezcla de gases previamente preparada. La inyección de gas se realizó mediante boquillas situadas en la cámara de la empacadora. Las mezclas gaseosas empleadas fueron: 1% O₂, 10% CO₂ y balance con N₂ para la papa diploide proveniente del Municipio de Sibaté; y 5% O₂, 10% CO₂ y balance con N₂ para los genotipos del Municipio de Granada (Suárez et al., 2017).

Atmósfera Modificada Pasiva (AMP). Los envases flexibles con los tubérculos se cerraron con una selladora manual durante 5 s para los envases de BOPP y 3 s para los de PEBD.

Almacenamiento de los Tubérculos con y sin Envase

Los genotipos y la variedad testigo envasados se almacenaron en dos ambientes: en un cuarto con luz natural y en fitotrones marca Conviron® bajo refrigeración. En la Tabla 9.1 se presentan las variables que se controlaron en los almacenamientos (Suárez et al., 2017).

Tabla 9.1

Variables en los almacenamientos de los genotipos envasados de papa diploide

Papa diploide	Temperaturas (°C)	Humedades Relativas (%)	Envases	Atmósferas	Almacenamiento
Variedad testigo	18	70	Sin	Ambiente	Cuarto
17 genotipos	18	70	PEBD BOPP	Dos AMA	Cuarto
	5	90			Fitotrones
	18	70	PEBD BOPP	Una AMP	Cuarto
	5	90			Fitotrones

Nota. Condiciones experimentales con AMA: atmósfera modificada activa y AMP: atmósfera modificada pasiva.



Seguimiento a los Genotipos en los Dos Tipos de Almacenamiento

Inició con la toma del peso de los tubérculos recién envasados y cada 48 h se registraron los pesos de cada genotipo envasado en los dos ambientes, hasta el inicio de la brotación como peso final. El seguimiento a cada genotipo se realizó por triplicado para un total de 272 pruebas. Además, se hicieron registros fotográficos y observaciones sobre los cambios en los tubérculos en su textura, dureza y color, así como, los cambios en los envases por presencia de hongos, de agua y de abombamientos (Suárez et al., 2017).

Diseño Estadístico

En total se evaluaron 17 genotipos de papa diploide, dos mezclas de gases de diferente composición, dos tipos de envases y dos temperaturas de almacenamiento, con el fin de obtener un período de conservación mayor al que se obtiene tradicionalmente 3 a 8 días. A partir de la estadística básica se elaboraron gráficas comparativas y las medias ajustadas basadas en un diseño factorial.

Productos Logrados

A continuación, se presentan algunas consideraciones que afectan el acondicionamiento y el almacenamiento de los tubérculos, así como los resultados obtenidos a partir de los ensayos realizados.

Factores que Inciden en la Calidad de los Tubérculos

Las pérdidas y los desperdicios de los tubérculos pueden ser altos si la producción es de baja calidad, así las condiciones de almacenamiento sean ideales. Por esto, es importante considerar algunos factores previos al almacenamiento de la papa diploide, que inciden en estas pérdidas y que se relacionan directa o indirectamente (Crisci, 1992; Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], 2013; Malagamba, 1999; Montesdeoca, 2005; Naranjo, 1986; Naranjo et al., 2002).



La Variedad del Tubérculo. La duración del período de reposo y de la edad fisiológica del tubérculo, depende de la genética y por consiguiente de las condiciones de almacenamiento a que se somete. Este período se toma cuando el 80% de los tubérculos de una muestra mínima de 20 tubérculos de tamaño uniforme han desarrollado uno o más brotes de por lo menos 3 mm de largo (Torres et al., 2011). Algunas nuevas variedades registradas de papa diploide, han presentado períodos de reposo inferiores a un mes (Santos, 2010), condición para considerar en la implementación de almacenamientos más óptimos.

Tamaño del Tubérculo. Durante el almacenamiento de tubérculos-semilla, Montesdeoca (2005) recomienda un diámetro de 4 cm con peso de 40 a 120 g puesto que tamaños menores demuestran más ojos por unidad de peso y por ello producen más tallos (Huaraca et al., 2009; Oyarzún et al., 2002). Este aspecto es de considerar también para las operaciones involucradas en el acondicionamiento de los tubérculos antes de su comercialización.

Manejo Agronómico del Cultivo. Para garantizar la inocuidad y calidad de los tubérculos y su adecuado almacenamiento se deben considerar las Buenas Prácticas Agrícolas. Estas se relacionan con el estado sanitario del cultivo que contribuye para obtener una buena productividad de tubérculos de buena calidad sin presencia de plagas o enfermedades. La fertilización si es baja en el suelo durante la formación y el desarrollo de los tubérculos conduce a la reducción del período de reposo y la disponibilidad de agua si varía puede presentar deformaciones de los tubérculos o desarrollar enfermedades que afecta la calidad del producto (DANE, 2013; FAO, 1993; Lora, 2005; Vejarano y Morales, 2014).

Nutrientes Aportados por el Suelo. Sierra et al. (2013) reportaron que en el manejo postcosecha, los nutrientes influyen de forma notoria en la sensibilidad del tubérculo a los maltratos mecánicos como golpes, debido a los contenidos de K, N, Cl y Na. Para la resistencia de los tubérculos en el almacenamiento influye los contenidos de N y de Ca (Alarcón, 2000; Becerra et al., 2007; Belanger et al., 2002; Echeverría, 2007).



Efecto de la Cosecha. Los tubérculos con daños mecánicos y presencia de patógenos durante la cosecha son susceptibles a la presencia de pudriciones y alteraciones fisiológicas que a la postre generan problemas en el almacenamiento (Eltawil et al., 2006; FAO, 1993; Hembers, 1995; Torres et al., 2011; Vejarano, 1985; Vejarano y Morales, 2014). Además, se ha reportado que durante la cosecha se produce cerca del 75% del daño total de los tubérculos, respecto a todo el ciclo del cultivo (Kalazich et al., 1994). En la Figura 9.1 se observa la cosecha de papa diploide y la evaluación de la calidad de los tubérculos por parte de los agricultores, con el fin de no afectar el almacenamiento del producto.

Figura 9.1

Agricultores evaluando la calidad de los tubérculos diploides en la cosecha



Nota. Cosecha en el Municipio de Subachoque (Departamento de Cundinamarca)
Fotografía de María del Socorro Cerón Lasso.

Temperatura del Suelo. Para no afectar la calidad de los tubérculos almacenados, se recomienda cosechar a temperaturas de suelo superiores a 10 °C puesto que por debajo de esta temperatura se aumenta la sensibilidad de los tubérculos a los daños mecánicos producidos por golpes (INTA, 2019).

Humedad del Suelo. Cuando la tierra queda adherida a los tubérculos se genera enfermedades, que producen pérdidas de peso en el almacenamiento, como pudriciones húmedas ocasionadas por tizón tardío o gotera o rancho de la papa (*Phytophthora infestans*), pie negro (*Pectobacterium* sp.), pudrición seca (*Fusarium* spp.) o sarna común (*Streptomyces scabies*). Por el contrario, el suelo



seco tiende a desprenderse fácilmente de los tubérculos, especialmente cuando éstos permanecen algún tiempo descubiertos sobre la superficie del suelo (Figura 9.2).

Figura 9.2

Suelo seco en la cosecha de papa diploide



Nota. Fotografía de María del Socorro Cerón Lasso

Condiciones de Transporte. En los diferentes municipios del Departamento de Cundinamarca, los bultos de papa diploide se colocan en filas en el campo y se recogen en forma selectiva de acuerdo con su destino: consumo o semilla. En cuanto al empaque de la papa diploide, es común el uso de costales de fibra de polipropileno de 50 kg de color rojo para tamaños medianos o papa pareja (2,1 – 3,5 cm) y de color blanco para tamaños grandes o papa gruesa (diámetro mayor a 3,5 cm) (Figura 9.3); con el fin de proteger a los tubérculos durante la manipulación, el transporte y el almacenamiento, garantizando la ventilación para evitar acumulación de calor y de dióxido de carbono (FAO, 1993).

Los sacos o costales se cargan y se apilan en camiones de estacas o camionetas hasta completar un viaje para llevar al centro de acopio la Corporación de Abastos de Bogotá S.A. (Corabastos) y para el transporte se da prioridad a la papa de mayor valor comercial y se deja para el final los sacos que contienen los calibres pequeños o la papa de descarte (Navas y Díaz, 2012).



Figura 9.3*Empacado de papa diploide en costales rojos y blancos*

Nota. Costales rojos y blancos para tubérculos medianos y gruesos respectivamente. Fotografías tomadas por Isabel Cusgüen y Lena Prieto

Durante el transporte y la descarga se recomienda evitar maltratos por golpes o pisadas sobre los tubérculos frescos, ya que posteriormente estos maltratos se traducen en problemas de pudriciones durante el almacenamiento. Según la Norma Técnica Colombiana NTC 341-3 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC], 1996; Porras y Herrera, 2015) es importante mantener limpios los camiones o vehículos de transporte de papas para evitar la proliferación y afectación por plagas. Además, el transporte debe poseer un material de cobertura para proteger los tubérculos de la luz pero que no impida la circulación del aire (Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia, 2013).

Implementación de Nuevos Equipos para el Acondicionamiento

Como lo señalan Lancheros et al. (2013), en las microempresas se presentan inconvenientes para el acondicionamiento de tubérculos en el sistema de lavado de estos, debido a las malas condiciones, bajo rendimiento y baja capacidad del proceso. Esta situación fue identificada en Asociolla por sus productores del Municipio de Subachoque en el Departamento de Cundinamarca (Cerón et al., 2013) y, con el fin de fortalecer su capacidad empresarial, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) de Colombia a través de AGROSAVIA, donó los materiales para la construcción de una seleccionadora en



estructura metálica, con transmisión y cadena de desplazamiento de 2 m de largo y 1 m de ancho con cuatro salidas, la cual fue incorporada a una línea de lavado existente. Esta máquina permitió que dos personas a lado y lado clasificaran y dispusieran los tubérculos con daños como se observa en la Figura 9.4.

Luego más adelante cuando se conformó la asociación Criollas de Los Andes SAS por productores del Departamento de Cundinamarca quienes invirtieron en instalaciones, equipo y personal para la comercialización de la papa, continuaron empleando la seleccionadora construida. Los productores de los Municipios de El Rosal y de Sibaté vendían los tubérculos a la asociación Criollas de Los Andes SAS para darle valor agregado al producto y aumentar su utilidad. Sin embargo, en ocasiones era más rentable la venta directa de la papa sin lavar a las centrales de abastos debido a la fluctuación de precios y a la competencia.

Figura 9.4

Seleccionadora de tubérculos por daños en la asociación Asocriolla



Nota. Fotografías tomadas por Isabel Cusgüen (Municipio de El Rosal, 2013)

Después de lavada y seleccionada la papa diploide, se empacaba en bolsas plásticas perforadas en presentaciones de 1 a 6 kg (Figura 9.5). En cuanto a los tubérculos con destino al procesamiento industrial se disponían a granel en canastillas plásticas de 20 a 25 kg de capacidad. En la poscosecha, los productores de la asociación Criollas de Los Andes SAS lavaban los tubérculos, que luego vendían



para su precocción y congelación por el método de congelado rápido individual (IQF por su sigla en inglés) para exportarla al Japón.

Cabe resaltar, que el fortalecimiento de la capacidad empresarial de los productores de papa diploide involucrados en la investigación del Departamento de Cundinamarca, a través de la asociación Criollas de Los Andes SAS, es un ejemplo de asociatividad y de implementación de resultados investigativos mediante la participación de los agricultores con el fin de incursionar en la comercialización con la papa lavada.

Figura 9.5

Presentación comercial en empaque plástico de 1 kg de papa diploide



Nota. Fotografía tomada por Ana Magdalena Garnica Holguin

Formas de Almacenamiento

Los tubérculos de papa diploide contienen en promedio 80% de agua, esto hace que sea susceptible a daños después de la cosecha y que la conservación tenga problemas relacionados con procesos biológicos y que están influenciados por el ambiente que los rodea en el almacenamiento. Por esto, es importante distinguir las formas de almacenamiento en la cadena de abastecimiento de la papa diploide luego de su cosecha, en su comercialización y en el consumo final.

Almacenamiento al Aire Libre. La papa diploide es cultivada e inmediatamente transportada para comercialización debido a su rápida brotación (5 a 8 días). Sin embargo, en el caso que los productores no puedan enviar su



producción al mercado por algún problema de transporte el mismo día de su cosecha, ellos dejan los tubérculos hasta el día siguiente en el campo cubiertos con vegetación para protegerlos del sol y del frío. Otros productores la almacenan en un depósito o bodega temporal conocida como enramada, la cual es un área cubierta con fibra alrededor de sus laterales y techo de tejas de zinc; su construcción es simple, económica y se utiliza para proteger los tubérculos de la lluvia, el frío y la luz (Figura 9.6). Generalmente el piso es de tierra, el cual debe estar seco, liso y compacto.

Figura 9.6

Almacenamiento temporal al aire libre para tubérculos cosechados



Nota. Fotografías tomadas por Ana Magdalena Garnica Holguin y Lena Prieto

Almacenamiento de Tubérculos-Semilla. Los productores almacenan el tubérculo-semilla de su propio cultivo para la próxima siembra y lo seleccionan por tamaño. Para almacenarla se sugiere colocar 4 bultos en costales en la parte inferior (tendido) y 4 en la parte superior para una altura de 2 bultos, con el fin de garantizar la buena ventilación y la formación de brotes uniformes y vigorosos (Rizo y Palma, 2019). Los tubérculos-semilla deben ser almacenadas correctamente o de lo contrario podrían perder su calidad y poner en riesgo el desempeño y la productividad de la próxima cosecha. Los productores del Departamento de Cundinamarca reportaron la utilización de tubérculos-semilla en cantidades de 20 kg de papa gruesa o 16 kg de papa pareja por hectárea de cultivo.



Almacenamiento Bajo Techo. Las bodegas de comercialización de papa son construidas con ladrillo, teja y con ventilación en los laterales (ventanas) y con luz natural. Las bodegas de almacenamiento de la papa deben estar limpias y desinfectadas, sin restos de tubérculos. Deben estar libre de goteras o de áreas húmedas y con un buen sistema de ventilación para colocar los bultos de papa sobre estibas. Cuando la papa se almacena en costales debe tener una altura de hasta 2,50 m y es recomendable el uso de ductos y chimeneas para mejorar la aireación, aconsejándose dejar pequeños corredores para la circulación del aire. Si la papa es almacenada en canastillas estas deben ser colocadas máximo de tres hileras uno sobre otro, sobre estibas y con espacio suficiente que permita verificar la calidad (Porrás y Herrera, 2015).

Almacenamiento Tradicional. En los centros de acopio, en los sitios de comercialización y en los hogares del Altiplano Cundiboyacense, se almacena la papa diploide a temperatura ambiente ($\pm 18^{\circ}\text{C}$) en costales, en bolsas plásticas con perforaciones o en canastillas plásticas a granel. Sin embargo, estas condiciones de temperatura pueden superar los 20°C y su corto período de reposo en variedades registradas hacen que algunos tubérculos tengan una vida útil de 5 a 8 días después de su cosecha puesto que luego de este tiempo los tubérculos comienzan su proceso de brotación. Muchas familias colombianas conservan este tubérculo en el cajón de la verdura de la nevera (6°C) con el fin de evitar la rápida brotación del tubérculo, pero la exposición de los tubérculos a bajas temperaturas genera cambios físicos y nutricionales (Acuña y Cádiz, 2011).

En este sentido, con el fin de garantizar la conservación de todas las características físicas y nutricionales de la papa diploide, se recomienda al consumidor final solo comprar las cantidades que se requieran consumir y almacenar en un ambiente oscuro, seco, ventilado y fresco (no más de 19°C) por 3 días máximo (sí se considera que el tubérculo puede tomar entre 2 a 3 días en llegar al mercado local después de pasar por el centro de acopio). No obstante, se sugiere la conservación por 4 a 5 días después de su cosecha a una temperatura de 4 a 5°C y humedad relativa del 85 a 90% (condiciones del cajón de verduras



del refrigerador), con la salvedad que el producto cambiará algunas de sus cualidades nutritivas y su color, pero no se brotará fácilmente. En el caso de tener exceso de este tubérculo, en lugar de almacenarlo en fresco se puede optar por procesarlo para evitar las pérdidas y los desperdicios de este alimento.

Condiciones y Variables a Considerar

Durante el almacenamiento es importante tener en cuenta ciertos aspectos que permiten mantener los tubérculos en óptimas condiciones para su posterior consumo.

Condiciones de Higiene. Los tubérculos se deben almacenar en un lugar fresco y seco. Así mismo, en almacenamiento se debe realizar la rotación del producto bajo el sistema de Primero en Entrar Primero en Salir (PEPS) y se sugieren seguir los lineamientos del Ministerio de Salud y Protección Social en la Resolución 2674 de 2013 en relación con las recomendaciones básicas de higiene (Prieto et al., 2013). Las bodegas deben garantizar las condiciones de almacenamiento ideales para los tubérculos en fresco y permitir una adecuada limpieza y desinfección. Deben ser bien ventilados y evitar el ingreso de plagas. Los costales se deben apilar alejados del piso en estibas o palets, lejos de los muros y con un espacio entre cada apilamiento para permitir la ventilación (FAO, 2019).

Temperatura. La temperatura indica la energía interna (calor o frío) de un cuerpo y su control permite reducir las pérdidas poscosecha, pues las bajas temperaturas disminuyen la actividad de las enzimas y de los microorganismos (FAO, 2003). En temperaturas por debajo de 4 °C durante el almacenamiento de los tubérculos, los cambios de composición nutricional de mayor importancia corresponden: al almidón que afecta la textura y su valor para la industria; al azúcar que cambia el sabor y las condiciones culinarias; y a la pérdida de vitamina C (Acuña y Cádiz, 2011; Mahto y Das, 2014; Valencia et al., 2019). Razón por la cual, solo de ser necesario se recomienda almacenar de 4 a 5 días después de su cosecha a una temperatura de 4 a 5 °C, pero los tubérculos para procesamiento industrial no se deben almacenar por debajo de 10 °C porque se esto afectará la calidad del producto final (Acuña y Cádiz, 2011). A una temperatura aproximada de 20 °C la



papa pierde agua, se oxida y se brota fácilmente. Estos cambios fisiológicos de los tubérculos por la influencia de la temperatura se explican con mayor detalle en el análisis del uso de diferentes envases y atmósferas.

Humedad Relativa. La humedad relativa (HR) expresa la cantidad de agua presente en el aire a una temperatura determinada. En los tejidos vegetales el agua se encuentra en equilibrio en forma líquida (como jugo celular) y en forma gaseosa (en espacios intercelulares) en concentraciones muy próximas a la saturación ($HR \approx 100\%$). Por lo tanto, si existe una diferencia de presiones de vapor entre el alimento y su entorno, esto genera que el producto se deshidrate. Así pues, en almacenamiento una HR baja implica entre otros cambios, la deshidratación del producto, la pérdida de peso, tubérculos blandos, susceptibles a daños por presión y manipulación; mientras que una HR alta implica el desarrollo de microorganismos y podredumbre (FAO, 2003, 2019; Vejarano y Morales, 2014). Por lo cual, para minimizar la actividad interior del tubérculo y evitar la brotación o germinación de la papa diloide se recomienda una HR de 85-90%.

Ventilación. Al inicio del almacenamiento se requiere un ambiente con una adecuada aireación que favorezca la cicatrización del peridermo en las heridas del tubérculo. Una buena ventilación, elimina el exceso de humedad de la superficie de los tubérculos y proporciona condiciones menos favorables al desarrollo de pudriciones. Sin embargo, un exceso de aire no aumenta significativamente la velocidad de enfriamiento, pero si aumenta el grado de deshidratación, de ablandamiento y la mancha negra de los tubérculos (Banse, 1980; Rojas et al., 1994).

Luz. Los procesos fisiológicos en una planta están regulados por moléculas de señalización luminosa de crecimiento. Cuando los tubérculos son expuestos a la luz se vuelven verdes y/o germinan (brotación), lo cual depende de la disponibilidad de agua (humedad) y de la temperatura. El cambio de coloración está asociado a la exposición de luz brillante o luz de baja intensidad en el almacenamiento y este proceso, es controlable con la oscuridad.



Tasa o Velocidad de Respiración. Los tubérculos son órganos vegetales vivos que consumen oxígeno y desprenden al ambiente que les rodea dióxido de carbono y calor, razón por la cual, el manejo de la ventilación y la temperatura del lugar de almacenamiento son esenciales para evitar las fermentaciones y, por ende, la pudrición de los tubérculos. Así mismo, es importante recordar que los daños mecánicos y las heridas en los tubérculos aumentan la respiración (Booth y Shaw, 1989; Crisci, 1992). El proceso de respiración depende del estado de madurez y de la temperatura de almacenamiento. Las temperaturas cercanas al punto de congelación aumentan la velocidad de respiración, provocando problemas de suboxidación, oscurecimiento interno del tubérculo y corazón negro; mientras que temperaturas altas, también aumentan la tasa de respiración y provocan necrosis interna del tubérculo (Tester et al., 2004).

Análisis del Uso de Diferentes Envases y Atmósferas

Luego de realizar el estudio de los genotipos de papa diploide en envases flexibles BOPP y PEBD con dos tipos de atmósfera modificada AMA y AMP, se obtuvieron los siguientes resultados.

Acondicionamiento de Tubérculos en Estudio. De los genotipos recibidos, ocho eran de colores rojos y púrpuras diferentes al amarillo característico de la papa diploide comercial en Colombia y seis genotipos tenían formas alargadas diferentes a la forma redondeada de las variedades adquiridas por los consumidores normalmente en el mercado. Nueve genotipos presentaron ojos muy profundos y se dificultó la remoción total de los residuos de tierra sin afectar la piel del tubérculo durante el lavado y desinfección. Por lo cual, se llegaron a deteriorar por presencia de hongos en los ojos durante su almacenamiento. Los tubérculos que presentaron los defectos presentados en la Tabla 10.2 fueron descartados de la evaluación (Suárez et al., 2017).

Deterioros en los Tubérculos Almacenados. Los tubérculos que se almacenaron entre 4 a 5 °C y con humedad relativa alta (80 a 90%), con heridas o raspaduras y con tierra adherida, fueron susceptibles a la podredumbre húmeda o pudrición blanda causada por la bacteria *Pectobacterium carotovorum* (llamada



anteriormente *Erwinia carotovora*), la cual invade el interior del tubérculo a través de las lenticelas de la epidermis (Acuña y Cádiz, 2011; Barreiro y Sandoval, 2006).

Adicionalmente, los envases de PEBD con menos permeabilidad, interactuaron con el medio externo y presentaron condensación de humedad producida por una presión de vapor de agua más elevada que la de la humedad de los tubérculos, y por nivelación de la presión de vapor entre el producto y el ambiente, la papa tendió a liberar humedad hacia el ambiente y perdió peso mostrando cambios en la textura, es decir, papas más blandas al final del almacenamiento (Tabla 9.2).

Cabe mencionar que el almacenamiento a temperatura ambiente y con humedad relativa baja favorece la aparición de un defecto físico en forma de una pequeña trizadura o grieta en la piel de la papa, conocida como impresión de uña (Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria [INTA], 2019; Kramm, 2017). Sin embargo, este defecto no se presentó en las muestras evaluadas puesto que la humedad relativa se mantuvo en 70%.

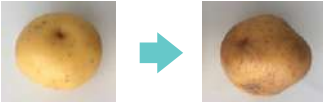
También se observaron daños por frío en la estructura física y la composición nutricional de los tubérculos de papa diploide. Puesto que, por debajo de 6 °C el proceso respiratorio se activa desdoblándose el almidón a azúcares reductores lo cual genera que los tubérculos cambien su color característico de amarillo a naranja (Tabla 9.2). Según Acuña y Cádiz (2011) en el proceso de fritura de estos tubérculos se produce un color café en las hojuelas lo cual es indeseable para el consumidor.

Así mismo, cabe señalar que la calidad de los tubérculos cosechados afecta su acondicionamiento y el almacenamiento, pues las papas sin madurez comercial son sensibles a daños por su alto contenido de azúcares reductores, los cuales también se generan, como se mencionó anteriormente, por la temperatura de almacenamiento. En tanto que las papas cosechadas en su momento óptimo tienen mayor contenido de materia seca y menor contenido de azúcares (Morales-Fernández, 2018; Vejarano y Morales, 2014).



Tabla 9.2

Defectos presentados en los tubérculos almacenados

Defectos	Observaciones	Registro fotográfico
Presencia de hongos	Los tubérculos con ojos muy profundos retuvieron humedad más residuos de tierra y desarrollaron hongos en los ojos.	
Podredumbre blanda	Los tubérculos con daños mecánicos por la cosecha incrementaron la tasa de respiración y la temperatura, originando la descomposición de tejidos (textura blanda), pérdidas de peso por liberación de agua, afectación por bacterias y menor vida útil.	 Daño externo  Daño interno 
Cambios de color	El cambio de coloración de amarillo a naranja - café se presentó en algunos tubérculos a temperatura baja por la conversión de los almidones en azúcares reductores.	
Brotación	Los tubérculos muy maduros iniciaron su brotación pronto, por lo cual se recomienda retirarlos del almacenamiento de papa para consumo con el fin de que no ocasionen daño o deterioro alguno a los otros tubérculos.	

La tasa de crecimiento de brotes (Tabla 9.2) fue baja a 5 °C y se aceleró a temperaturas altas. Para controlar el crecimiento de los brotes en la papa diploide, Crisci (1992) recomienda almacenar a baja temperatura (tubérculo-semilla y tubérculo para consumo) y con luz difusa (tubérculo-semilla); pues la brotación del tubérculo deshidrata, altera el sabor y afecta la vitamina C (FAO, 1993).

También se presentan otros deterioros fisiológicos en los tubérculos diferentes a los mencionados en la Tabla 9.2, que incrementan las pérdidas del producto, y se recomienda considerarlos y controlar las condiciones de almacenamiento para evitarlos. Como es el caso del deterioro por deshidratación o pérdida de agua que se produce en condiciones ambientales lo que genera



pérdida de peso y de calidad culinaria por su flacidez (Contreras, 1993; Crisci, 1992; Rizo y Palma, 2019). Otro defecto que se puede presentar es el corazón negro que se genera por elevadas temperaturas, falta de ventilación adecuada, exceso de humedad y este deterioro no puede verse hasta que se corta el tubérculo.

Adicionalmente, cuando las condiciones de almacenamiento no son las adecuadas, los insectos como la polilla pequeña o palomilla (*Phthorimaea operculella*), polilla guatemalteca (*Tercia solanivora*) y áfidos (*Aphis* spp.); los patógenos (bacterias y hongos) y los roedores se alimentan de los tubérculos almacenados y deterioran o ensucian la papa diploide y reducen o afectan totalmente su calidad lo que genera pérdidas y desperdicios (Cámara de Comercio de Bogotá [CCB], 2015; FAO, 2019).

En cuanto a los tubérculos que muestran verdeamiento por el desarrollo de clorofila debido a la fotosíntesis ante la exposición a la luz, producen solanina, un glico-alcaloide tóxico amargo, en respuesta a golpes, a heridas y durante la brotación. Para evitar que este alcaloide se desarrolle se recomienda mantener los tubérculos con verdeamiento en la oscuridad, en un lugar fresco y seco (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2018).

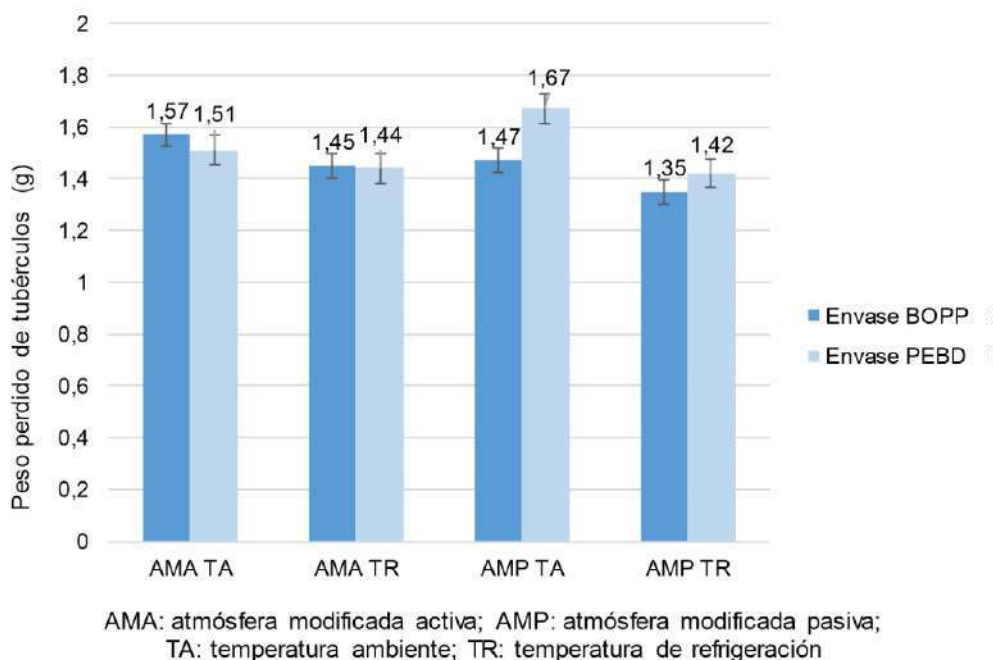
Vida Útil de los Tubérculos Almacenados. A continuación, se presenta el análisis de los resultados obtenidos por cada municipio evaluado.

Municipio de Sibaté. En la Figura 9.7 se observa que los genotipos envasados perdieron en promedio entre el día 0 y el inicio de su brotación, más peso en el envase PEBD en AMP a 18 °C (1,67 g) seguido por el envase BOPP en AMA a la misma temperatura (1,57 g). Pero perdieron menos peso los tubérculos en el envase BOPP en AMP a 5 °C (1,35 g) y en el envase PEBD a la temperatura de refrigeración (1,42 g).



Figura 9.7

Comparación de pérdida de peso de tubérculos envasados y procedentes del Municipio de Sibaté



Nota. Envase BOPP: polipropileno biorientado; Envase PEBD: polietileno de baja densidad.

Para ampliar la vida útil de la papa diploide, se evaluó la aplicación del envasado en AMA con mezcla de N_2 más CO_2 y un contenido reducido de O_2 . El CO_2 altamente soluble en agua con propiedades bacteriostáticas y fungistáticas, retardó el crecimiento de hongos y bacterias aeróbicas. Sin embargo, no es totalmente inerte y puede influir sobre el color, la consistencia y otros atributos de la calidad de la papa (Parry, 1995; Wilson, 2007).

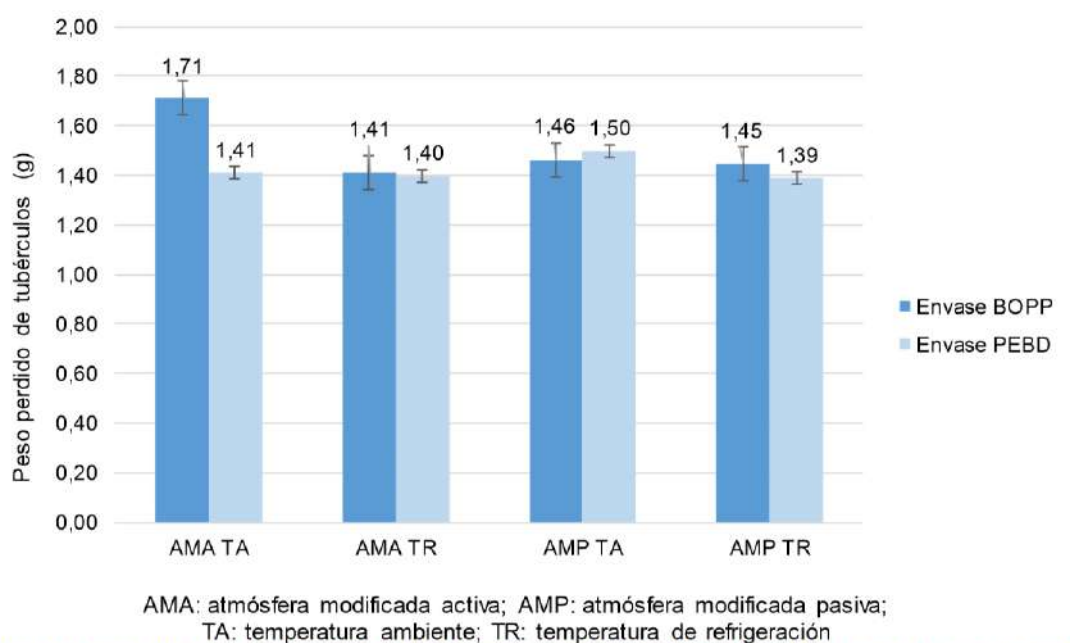
Considerando que en teoría la vida útil varía de 3 a 8 días, los genotipos cosechados en el Municipio de Sibaté produjeron promedios de vida útil entre 44 a 48 días con envase de BOPP a temperatura de refrigeración para AMP y AMA con mezcla de gases de 1% de O_2 y 10% de CO_2 (Figura 9.7). En cuanto a los genotipos envasados con PEBD en AMP y AMA a 18 °C produjeron promedios de vida útil más altos a los teóricos, entre 13 a 16 días (Suárez et al., 2017).



Municipio de Granada. En el inicio de la brotación de los tubérculos presentaron más pérdida de peso los que se encontraban en el envase BOPP con AMA a 18 °C (1,71 g), empero, los demás ensayos reflejaron pérdidas de peso cercanas en ambos tipos de atmósfera y el de menos valor fue en los genotipos con envases de PEBD en AMP a 5 °C (1,39 g) (Figura 9.8).

Figura 9.8

Comparación de pérdida de peso de tubérculos envasados y procedentes del Municipio de Granada



Nota. Envase BOPP: polipropileno biorientado; Envase PEBD: polietileno de baja densidad.

Los genotipos envasados en BOPP con AMP y AMA a 5 °C perdieron menos peso durante el almacenamiento, por cuanto el envase tuvo una buena permeabilidad y no permitió interacción con el exterior prolongando la vida útil de la papa diploide. Las pocas pérdidas de peso se generaron por la disminución de la respiración del tubérculo al tener controladas la temperatura y la humedad relativa del almacenamiento (Krochmal-Marczak et al., 2020).



Para los genotipos oriundos del Municipio de Granada y envasados en BOPP en refrigeración (5 °C) con AMP y AMA que contenía 5% O₂ y 10% CO₂ arrojaron un promedio de vida útil de los tubérculos de 48 a 49 días (Figura 9.8). Para los tubérculos envasados en PEBD tanto con AMP como en AMA obtuvieron promedios por arriba al teórico, entre 15 a 16 días de vida útil, pero sin diferencias significativas entre atmósferas modificadas utilizadas (Suárez et al., 2017).

Comparación de Vida Útil Entre los Dos Municipios Evaluados. Al contrastar la vida útil del almacenamiento de los genotipos procedentes de los Municipios de Sibaté y de Granada, se obtuvo para este último municipio mencionado, mayor prolongación de vida útil con el envasado en BOPP a 5 °C bajo AMA y AMP hasta 49 días bajo condiciones controladas. Las AMA y AMP en los envasados de PEBD a 18 °C arrojaron vida útil hasta 17 días (Figura 9.9). El interior del envase con mezcla gaseosa preservó el color y la textura, pero cuando la permeabilidad excedió del 5 a 6% de concentración de O₂, inició la brotación debido a la activación de enzimas por cambios bioquímicos (Mani et al., 2014).

En la Figura 9.10 se observa una tendencia similar en el comportamiento de los tubérculos estudiados, las mejores condiciones de almacenamiento independientemente del genotipo fueron para el envase de BOPP con AMA para el Municipio de Sibaté y almacenado en refrigeración. El comportamiento de barrera BOPP presentó una mejor barrera que el PEBD que junto con la temperatura de refrigeración permitieron disminuir la tasa de respiración de las muestras, de esta forma los genotipos almacenados con la mezcla de gases con menor porcentaje de O₂ presentaron una mayor vida útil (Erturk, 2000).

Además, en los resultados del almacenamiento de papa diploide se hallaron diferencias altamente significativas ($\alpha=0,01$) para los genotipos, el tiempo de evaluación (días), los tipos de envase, las temperaturas de almacenamiento; las interacciones de los genotipos por el tiempo de evaluación, entre atmósferas y genotipos, envases por genotipos y temperaturas por genotipos (Suárez et al., 2017).



Figura 9.9

Medias ajustadas de los efectos principales para la vida útil de la papa diploide

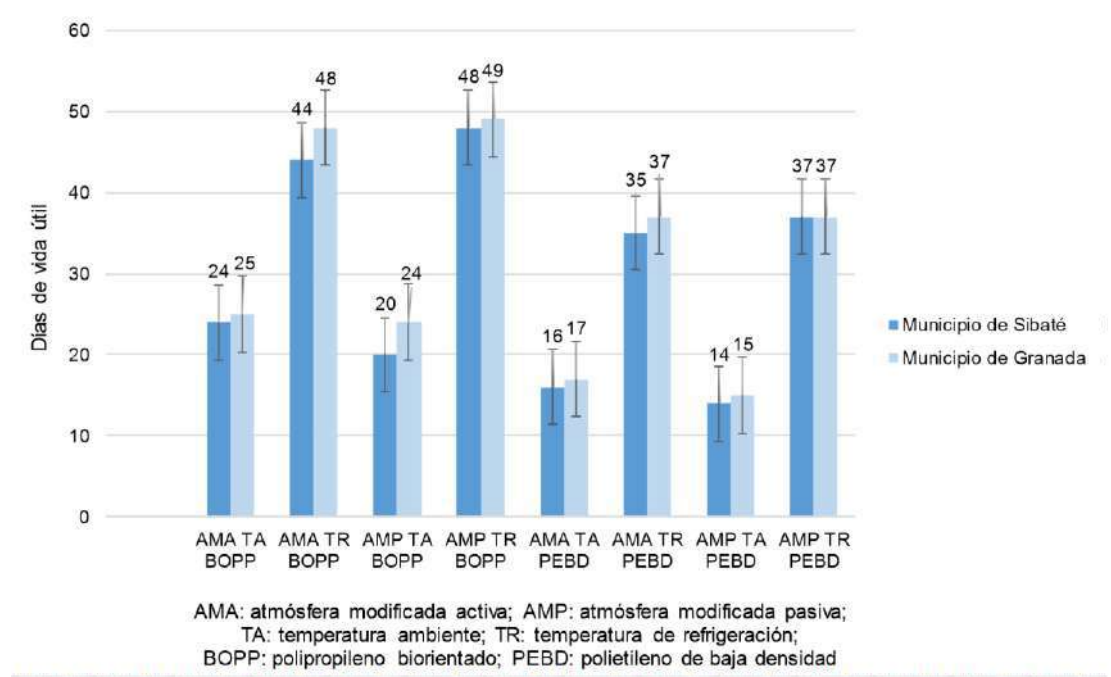
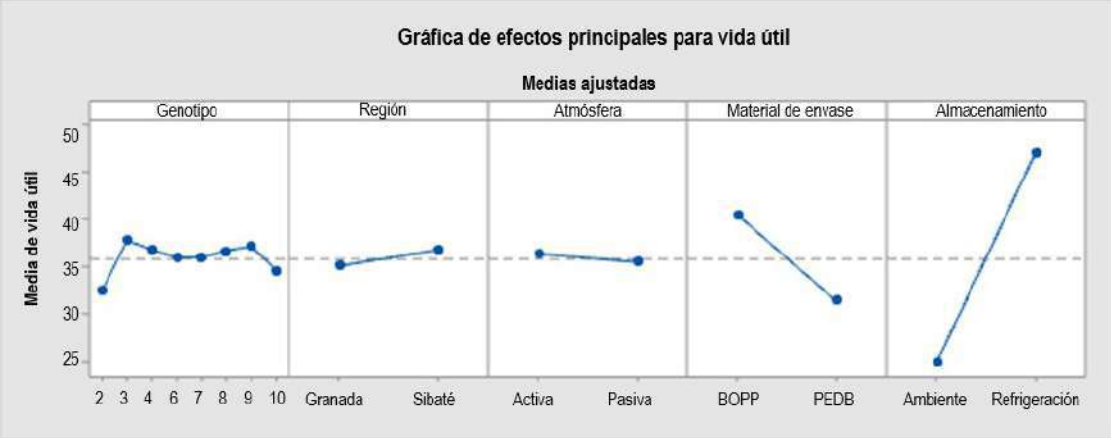


Figura 9.10

Medias ajustadas de los efectos principales para la vida útil de la papa diploide



Nota. Basado en Suárez et al. (2017).

El almacenamiento con atmósferas modificadas y refrigeración disminuyen la velocidad de brotación y enraizamiento de las papas diploides, pero muchas veces no es posible su utilización por el costo (FAO, 2003; Khanbari y Thompson, 1996). No obstante, el uso del método de conservación por envases



BOPP con atmósfera modificada pueden extender la vida útil de los tubérculos. Es importante continuar con un estudio de factibilidad y de costos para evaluar la viabilidad de su implementación por los productores de papa diploide. Además, es necesario anotar que, en el caso de contar con sistemas de refrigeración, el costo por mantener temperaturas bajas incide en el precio de venta.

Estudios Sobre Uso de Películas y Recubrimientos Comestibles

En vista de los inconvenientes de conservar la papa diploide por su rápida brotación y pérdida de nutrientes, se han realizado investigaciones de recubrimientos como otra opción de aumentar la vida útil. Por esto, Pino (1995) evaluó el uso de películas y recubrimientos en este tubérculo, pues este tipo de productos disminuyen la velocidad de deshidratación e inhiben el intercambio de gases en la respiración de los alimentos. Como resultado de su investigación, Pino (1995) aseguró que los tubérculos almacenados a 2 °C y 90% de humedad relativa con un tratamiento de fungicida y aplicación de cera, presentaron vida útil de 30 días con óptima calidad organoléptica.

Así mismo, Guancha et al. (2016) evaluaron las propiedades de una película o recubrimiento a base de *Aloe vera* L. y quitosano para la papa diploide durante 48 h. Estos autores sugirieron una proporción de 20% del gel de *Aloe vera* L., en mezcla de quitosano al 2,5% p/v, ya que con este recubrimiento se conservó el 70% de los carotenoides totales en los tubérculos. Adicionalmente, recomendaron continuar con los estudios para evaluar el intercambio de gases entre el tubérculo y su entorno; y analizar el efecto a temperaturas menores de 10 °C con este tipo de recubrimientos.

Conclusiones

Las variables para tener en cuenta durante el corto período de almacenamiento de la papa diploide por su alta perecibilidad son la luz, la temperatura, la humedad relativa, la ventilación o aireación del sitio destinado para este fin y la tasa de respiración de los tubérculos. La falta de control de estas variables genera problemas en los tubérculos como deshidratación, asfixia, corazón negro, daños por frío, brotación, verdeamiento y deterioro por plagas y



enfermedades. Y el uso del método de conservación por envases BOPP con atmósfera modificada pueden extender la vida útil de los tubérculos. Se recomienda continuar con los estudios de conservación de la papa diploide en fresco para garantizar un mínimo de pérdidas nutricionales y buenas características organolépticas con un bajo costo del proceso.

Referencias

- Alarcón, N.H. (2000). Corpoica - Efecto del potasio en la calidad de la papa para industria, en Usme-Cundinamarca. *Papas Colombianas 2000 con el mejor entorno ambiental*. 3 (1-2), 78-84.
- Acuña, I. y Cádiz, F. (2011). Principales enfermedades de la papa en el almacenamiento y su manejo. *Informativo Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA)* 83, 1-4. <https://tizon.inia.cl>
- Banse, J. (1980). *Técnicas de Almacenamiento de Papas*. (Boletín Técnico No. 34). Instituto de Investigaciones agropecuarias (INIA).
- Barreiro, J. y Sandoval, B. (2006). *Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas*. Equinoccio
- Becerra, L., Navia, S. & Ñustez, C. (2007). Efecto de niveles de fosforo y potasio sobre el rendimiento del cultivar "Criolla Guaneña" en el Departamento de Nariño. *Revista de la Asociación Latinoamericana de la Papa*, 14(1), 51-60.
- Belanger, G., Walsh, J.R., Richards, J.E., Milburn, P.H. y Ziadi, N. (2002). Nitrogen fertilization and irrigation effects tuber characteristics of two potato cultivars. *American Journal Potato Research*. 79 (4), 269-279.
- Booth, R.H. y Shaw, R.L. (1989). *Principios de almacenamiento de la papa*. Centro Internacional de la papa (CIP).
- Cámara de Comercio de Bogotá [CCB]. (2015). *Manual papa*. CCB.
- Cerón, M.S., Álvarez, C.P., Prieto, L., Hernández, M.A., Cusgüen, I., Pérez, M.A., Caicedo, M., Becerra, E. y Chalabi, N. (2013). Sembrando la Semilla de Competitividad Sostenible en la Cadena: Papa criolla de Cundinamarca, Colombia. En P. Henríquez y H. Li Pun (Eds), *Innovaciones De Impacto: Lecciones De La Agricultura Familiar En América Latina y El Caribe* (pp.91 –



- 104). Banco Interamericano de Desarrollo (BID) e Instituto Interamericano de Cooperación (IICA).<http://bit.ly/37kw8Fo>
- Contreras, A. (1993). *Cosecha y almacenaje de papas* [Jornadas de Extensión Agrícola]. Manejo Agronómico del cultivo de la papa y las perspectivas del mercado. Universidad Católica de Temuco, Chile.
- Crisci, C. (1992). *Almacenamiento de papa*. (Serie técnica 23). Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA).
- 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*. Sistema de información de precios y Abastecimiento del Sector Agropecuario (SIPSA), Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) y DANE.
- Echeverría, H.E. (2007). Papa. En H.E. Echeverría y F.O. García (Eds.). *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos* (pp.365-378). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).
- Eltawil, M.A., Samuel, D.V.K., y Singhal, O.P. (2006). Potato storage technology and store design aspects. *Agricultural Engineering International*, 11, 1–18.
- Erturk, E. (2000). *Modified atmosphere packaging of fresh-cut sweetpotatoes* [Tesis de Doctorado Louisiana State University]
https://digitalcommons.lsu.edu/gradschool_disstheses/7352
- Food and Agriculture Organization [FAO]. (1993). *Prevención de pérdidas de alimentos poscosecha: frutas, hortalizas, raíces y tubérculos*. FAO.
- Food and Agriculture Organization [FAO]. (2003). *Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas, Del campo al mercado*. (Boletín de Servicios Agrícolas). FAO. <http://www.fao.org/3/y4893s/y4893s00.htm>
- Food and Agriculture Organization [FAO]. (2019) *Materiales para capacitación en Semillas, Modulo 6: Almacenamiento de semillas*. FAO.
- Gómez, R. (2000). *Guía para las caracterizaciones morfológicas básicas en colecciones de papa*. Centro Internacional de la Papa (CIP).



- Guancha, M., Caicedo, C., Ruiz, E., y Valencia, M. (2016). Propiedades de conservación: recubrimiento a base de quitosano y Aloe vera aplicado en papa criolla (*Solanum phureja*). *Informador técnico*, 80(1), 9-19. http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/325/423
- Hemberg, T. (1995). Chapter 11. Potato rest. En, P.H. Li (Ed.), *Potato physiology* (pp. 353 – 358.) Academic Press.
- Huaraca, H., Montesdeoca, F. y Pumisacho, M. (2009). *Guía para facilitar el aprendizaje sobre el manejo del tubérculo-semilla de papa*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (Iniap) y Secretaria Nacional de ciencia y Tecnología del Ecuador (Senacyt).
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC]. (1996). *Norma Técnica Colombiana NTC 341-3 Industria alimentaria. Papa para consumo. Almacenamiento y transporte*. Icontec.
- Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria [INTA]. (2019). *Medidas de adaptación al cambio climático. Tema: Papa (Solanum tuberosum (Fichas Técnicas)*. INTA, Ministerio Agricultura y Ganadería Costa Rica, Adaptation Fund, Fundecooperación, MINAE, Dirección de Cambio Climático (DCC).
- Kalazich, J., Rojas, J.S., y González, H. (1994). Fundamentos de almacenamiento y conservación de papa [Curso Taller]. *Metodología para mejorar la producción y uso de tubérculos-semilla de papa en Chile* (Serie Remehue 51, pp. 109-125). Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) y Centro Internacional de la Papa (CIP).
- Khanbari, O.S., y Thompson, A.K. (1996). Effect of controlled atmosphere, temperature and cultivar on sprouting and processing quality of stored potatoes. *Potato Research*, 39, 523–531. <https://doi.org/10.1007/BF02358471>
- Kramm, V. (2017). *Manual del cultivo de la papa en Chile* (Boletín INIA 10). Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) e Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP).



- Krochmal-Marczak, B., Sawicka, B., Krzysztofik, B., Danilčenko, H., y Jariene, E. (2020). The effects of temperatura on the quality and storage stalibity of sweet potato (*Ipomoea batatas* L. [Lam]) grown in central Europe. *Agronomy*, 10(11), 1665-1686
<https://doi.org/10.3390/agronomy10111665>
- Lancheros, D., Duque, J. y Beltrán, K. (2013). Innovación en la transferencia de tecnología Universidad – Empresa. Caso de éxito: Automatización de una línea de lavado para papa criolla. En Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI), International Federation of Engineering Education Societies (IFEES) (Eds.). *Memorias del World Engineering Education Forum [WEEF] Cartagena, Colombia*.
- Lescano, C. (1986). *Almacenamiento de papas*. Universidad Agraria La Molina.
- Li, W., Xiong, B., Wang, S., Deng, X., Yin, L. y Li, H. (2016). Regulation effects of water and nitrogen on the source-sink relationship in potato during the tuber bulking stage. *PloS one* 11(1), e0146877
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146877>
- Lora, R. (2005). *Efecto residual de la fertilización en la papa*. En Centro Virtual de Investigación de la Cadena Agroalimentaria de la Papa [Cevipapa] (Ed.) *Memorias I Taller Nacional sobre suelos, fisiología y nutrición vegetal en el cultivo de la papa* (pp. 75 – 82). Cevipapa.
- Mahto, R. y Das, M., (2014). Effect of gamma irradiation on the physico-mechanical and chemical properties of potato (*Solanum tuberosum* L.) cv. 'Kufri Sindhuri', in nonrefrigerated storage conditions. *Postharvest Biology and Technology*, 92, 37–45.
- Malagamba, P. (1999). Fisiología y Manejo de tubérculos-semillas de papa. En Centro Internacional de la Papa. [CIP] (Ed.). *Producción de tubérculos-semillas de papa*. (Manual de capacitación, Fascículo 2.2). CIP.
- Mani, F., Bettaieb, T., Doudech, N. y Hannachi, C. Physiological mechanisms for potato dormancy release and sprouting: a review. *African Crop Science Journal*, 22(2), 155-174.
<https://www.ajol.info/index.php/acsj/article/view/104945>



- Ministerio de Salud y Protección Social. (2013). Resolución 00002674 22/07/2013. Por el cual se reglamenta el artículo 126 del Decreto Ley 019 de 2012 y se dictan otras disposiciones.
- Montesdeoca, F. (2005). *Guía para la producción, comercialización y uso de semilla de papa de Calidad*. Programa Nacional de Raíces y Tubérculos (PNRT) e Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (Iniap).
- Morales-Fernández, S.D., Mora-Aguilar, R., Salinas-Moreno, Y., Rodríguez-Pérez, J.E., Colinas-León, M.T. y Lozoya-Saldaña, H. (2018). Crecimiento y contenido de azúcares de tubérculo de papa en cuatro estados de madurez en condiciones de invernadero. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 24(1), 53-67. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2016.11.029>
- Naranjo, H. (1986). Algunas sugerencias sobre cómo debe manejar su semilla de papa. En: *Memorias del IV Curso sobre tecnología del cultivo y manejo de semilla de papa* (pp. 147-177).
- Naranjo, H., Mastrocola, N. y Pumisacho, M. (2002). Poscosecha. En M. Pumisacho y S. Sherwood (Eds) *El cultivo de papa en Ecuador*, (pp. 171-187). Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (Iniap) y Centro Internacional de la Papa (CIP).
- Navas, G.E. y Díaz, C.A. (2012). *Criterios para la evaluación y producción de la papa criolla para la industria*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Núñez, C.E. y Rodríguez, L.E. (2020). *Papa criolla (Solanum tuberosum Grupo Phureja): Manual de recomendaciones técnicas para su cultivo en el departamento de Cundinamarca*. Corredor Tecnológico Agroindustrial, CTA-2.
- Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (2015). *Objetivos de desarrollo sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2018). *Natural toxins food*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/natural-toxins-in-food>



- Oyarzún, P., Chamorro, F., Córdova, J., Merino, F., Valverde, F. y Velázquez, J. (2002). Manejo Agronómico. En Pumisacho, M. y Sherwood, S. (Eds). *El cultivo de la papa en Ecuador* (pp. 51-82). Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (Iniap), Centro Internacional de la Papa (CIP).
- Parry, R.T. (1995). *Envasado de alimentos en atmósfera modificada*. Antonio Madrid Vicente.
- Pino, M. (1995). *Métodos para prolongar la vida útil de la papa criolla mediante tecnologías de encerado* [Tesis de pregrado, Universidad de la Sabana].
- Porras, P.D. y Herrera, C.A. (2015). *Modelo productivo de la papa criolla para los departamentos de Cundinamarca y Boyacá*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Prieto, L., Álvarez, C.P., Cerón, M.S., Garnica, A.M., y Molina, Y. (2013). *Manual de procesamiento de la papa criolla*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Universidad de La Salle y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).
<https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/13451>
- Rizo, D. y Palma, N. (2019). *Guía: cultivando papa con buenas prácticas agrícolas*. Proyecto Gestión del Conocimiento para la producción sostenible de hortalizas en Nicaragua, Honduras y Guatemala. Rikolto ONG, Provincia de Flandes Occidental de Bélgica y Bélgica para el Desarrollo.
<https://latinoamerica.rikolto.org/es/noticias/guia-cultivando-papa-con-buenas-practicas-agricolas>
- Rhoades, R., Benavides, M., Recharte, J. y Booth, R. (1988). *Traditional potato storage in Peru: Farmers Knowledge and practices*. Centro Internacional de la papa (CIP).
- Rojas, R., Santos, J., Kalazich, J. y González, H. (1994). Sistemas de Almacenamiento y conservación de papas [Curso Taller]. *Metodología para mejorar la producción y uso de tubérculos-semilla de papa en Chile* (Serie Remehue 51, pp. 127-150). Instituto de Investigaciones agropecuarias (INIA) y Centro Internacional de la Papa (CIP).



- Santos, M. (2010). *Evaluación del crecimiento, desarrollo y componentes de rendimiento de cuatro cultivares de papa criolla en dos localidades del Departamento de Cundinamarca* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia].
- Sierra, C., Santos, J., France, A., Kalazich, J. y Contreras, C. (2013). *El cultivo de la papa en la región de Coquimbo. Manejo del suelo, fertilización y algunos otros factores de manejo agronómico* (Boletín INIA 266). Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA).
- Suárez, J.A., Cerón M.S., Prieto L. y Rodríguez J. (2017). Almacenamiento de clones de papa criolla (*Solanum tuberosum* Grupo *Phureja*) en atmósferas modificadas activas y pasivas. En P. Kromann, X. Cuesta, B.R. Montero, P. Cuasapaz, A. León-Reyes, A. Chulde, (Eds.), *Memorias VII Congreso Ecuatoriano de la Papa* (pp. 91-92). <http://bit.ly/2uGC5Pp>
- Tester, R.F., Karkalas, J. y Qi, X. (2004). Starch - Composition, fine structure and architecture. *Journal of Cereal Science*, 39(2), 151-165.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2003.12.001>
- Torres, L., Montesdeoca, F. y Andrade-Piedra, J. (2011). *Manejo del tubérculo-semilla*. Centro Internacional de la Papa (CIP).
<https://cipotato.org/papaenecuador/manejo-del-tuberculo-semilla/>
- Valencia, L., Trejo, D., Latorre, L., Mejía, D. y Hurtado, A. (2019). Influence of storage conditions on the quality of two varieties of native potato (*Solanum tuberosum* Group *Phureja*). *Dyna* 86 (209), 49-55.
<https://dx.doi.org/10.15446/dyna.v86n209.72958>
- Vejarano, A.H. (1985). *Aspectos fisiológicos del tubérculo cosechado*. IV Curso Internacional sobre cultivo de la papa con énfasis en la producción de semilla. Universidad Agraria La Molina, Centro Internacional de la Papa [CIP] y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD].
- Vejarano, A.H. y Morales, C.G. (2014). Almacenamiento de la semilla de papa bajo condiciones de luz difusa. *Pueblo Continente* 25(2), 93-101.
<http://200.62.226.189/PuebloContinente/article/view/267/235#>
- Wilson, C.L. (2007). *Intelligent and Active Packaging for Fruits and Vegetables*. CRC Press. Taylor y Francis Group.



CAPITULO 10

Análisis Físico y Nutricional de Tubérculos de Papa Diploide (*Solanum phureja* Juz. et Buk.)

Ana Magdalena Garnica Holguín¹, Lena Prieto Contreras¹,
 Claudia Patricia Álvarez Ochoa¹, Juan Carlos Poveda Pisco¹,
 María del Socorro Cerón Lasso², Yaquelin Molina Cita²

Resumen

Con el fin de promover procesos gastronómicos y agroindustriales de las variedades registradas de papa diploide (*Solanum phureja* Juz. et. Buk.) de AGROSAVIA, como productos de investigación, se determinaron características físicas y nutricionales de los tubérculos a partir de métodos estandarizados. Las cinco variedades presentaron piel y carne amarilla, forma redonda, diversos tamaños, ángulos de reposo entre 25,77 - 35,34°, resistencia a la punción de 4,2070 - 9,9785 kgf, densidades reales entre 1.000,61 - 1.186,89 kg/m³, densidades aparentes entre 419,83 - 502,27 kg/m³ y gravedades específicas (GE) desde 1,0707 hasta 1,900. Además, se encontraron rangos de contenidos de materia seca 17,66 - 27,22%, cenizas 0,62 - 1,66%, azúcares reductores 0,043 - 0,345%, almidón 23,23 - 11,95% y proteína 0,75 - 2,46% en BH. Y se establecieron ecuaciones de regresión lineal que correlacionaron la materia seca y el almidón con la GE. En relación a la capacidad antioxidante se evidenció el incremento de su valor medido por ABTS y FRAP y para fenoles en relación a los tubérculos frescos y cocidos. La vitamina C de los tubérculos disminuyó en la cocción del 40,91 al 67,68%. En el análisis de carotenoides, se encontró que todas estas variedades contienen α -caroteno. Conocer estas características físicas y nutricionales, permite demostrar el potencial de las variedades registradas como alimento nutritivo y funcional.

Palabras Clave: colorimetría, propiedades mecánicas, valor nutritivo, carotenoides, antioxidantes.

¹ Universidad de La Salle, Bogotá – Colombia.

² Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Tibaitatá, Mosquera, Cundinamarca-Colombia.



Abstract

In order to promote gastronomic and agroindustrial processes for registered varieties of diploid potato (*Solanum phureja* Juz. et. Buk.) from AGROSAVIA, as research products, physical and nutritional characteristics of tubers were determined using standardized methods. The five varieties presented yellow skin and pulp, round shape, various sizes, angles of repose between 25.77 - 35.34°, puncture resistance of 4.2070 - 9.9785 kgf, real densities between 1,000.61 - 1,186.89 kg/m³, apparent densities between 419.83 - 502.27 kg/m³ and specific gravities (SG) from 1.0707 to 1.900. In addition, content ranges were found of dry matter 17.66 - 27.22%, ashes 0.62 - 1.66%, reducing sugars 0.043 - 0.345%, starch 23.23 - 11.95% and protein 0.75 - 2.46% in WB. And linear regression equations were established that correlated dry matter and starch with SG. In relation to antioxidant capacity was evidenced the increase of its value measured by ABTS and FRAP and for phenols in relation to fresh and cooked tubers. Vitamin C of tubers decreased in cooking from 40.91 to 67.68%. In carotenoid analysis, all these varieties were found to contain α -carotene. Knowing these physical and nutritional characteristics allows demonstrating the potential of registered varieties as nutritional and functional food.

Keywords: colorimetry, mechanical properties, nutritional value, carotenoids, antioxidants.

Introducción

Las papas nativas son tubérculos que han sido seleccionados, conservados y cosechados por agricultores e indígenas de la Región Andina desde hace miles de años, los cuales presentan formas y colores diversos. Estas variedades nativas representan la oportunidad de recuperar la biodiversidad y contribuir a la seguridad alimentaria global (Food and Agriculture Organization [FAO], 2003).



La papa diploide es una variedad nativa que contiene entre otros compuestos, almidón y carbohidratos, por lo cual es buena fuente de energía para el ser humano. Así mismo, posee metabolitos como fenoles (3 a 4 veces más en tubérculos nativos de carne roja o púrpura) y carotenoides (mayor contenido en tubérculos de carne amarilla) (Muñoz, 2014). Adicionalmente, los tubérculos nativos colombianos se caracterizan por su alta variabilidad genética con múltiples formas y colores (Moreno et al., 2009).

Según Abedi et al. (2019), para sistemas automáticos de separación de tubérculos es fundamental conocer e identificar las formas, los tamaños y los colores de las papas y así mismo, esta información es útil para las líneas de lavado de las variedades de papa comercial. Los consumidores también exigen determinados parámetros de calidad para los tubérculos, que se enfocan en su apariencia física como la profundidad de los ojos, el color de la piel, la forma, el tamaño y la textura; en general, se busca una apariencia sin defectos en el tubérculo (Stark et al., 2020). Sumado a esto, es necesario conocer su composición nutricional con el propósito de ampliar el uso de los tubérculos andinos (Espín et al., 2004).

Por tanto, en el marco de la investigación sobre generación de nuevas variedades de papa diploide, se propuso caracterizar física y nutricionalmente genotipos diploides cultivados en los Departamentos de Cundinamarca y de Nariño en Colombia. Además, cabe resaltar que la papa diploide se puede aprovechar como alimento funcional potencial a partir de sus características físicas y nutricionales, determinadas por investigadores, tanto en productos derivados de una transformación agroindustrial como en preparaciones de consumo en los hogares (Cerón et al., 2018; Molina et al., 2015; Prieto et al., 2013; Waglay y Karboune, 2016).

Metodología

La caracterización de tubérculos de cinco genotipos diploides y de la variedad comercial Criolla Colombia como testigo, se realizó en las plantas piloto y en el Laboratorio de Química de la Universidad de La Salle (Bogotá, Colombia).



Estos genotipos fueron suministrados de la Colección Central Colombiana de Papa del Banco de Germoplasma Vegetal del estado colombiano que administra AGROSAVIA.

Posteriormente, los genotipos fueron registrados como nuevas variedades ante el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) como variedades: Corpoica Sol Andina, Corpoica Tiba y Agrosavia Estrella de la Subregión del Altiplano Cundiboyacense del Departamento de Cundinamarca (ICA, 2017a, 2017b, 2018, 2020); Agrosavia Alhaja y Agrosavia Oyanza de la Subregión del Nudo de Los Pastos en el Departamento de Nariño (ICA, 2019a, 2019b).

Para los análisis por triplicado se tomó 1 kg de cada variedad provenientes de los Municipios de:

- Granada (4°32'45,24"N 74°19'46,34"O), El Rosal (4°51'07"N 74°15'46"O), Subachoque (4°55'41"N 74°10'25"O) y Sibaté (4°28'52,56"N 74°15'11,37"O) del Departamento de Cundinamarca.
- Córdoba (0°51'18"N 77°31'16"O), Ipiales (0°49'49"N 77°38'40"O), Puerres (0°52'54"N 77°30'29"O) y Pasto en el Centro de Investigación (C.I.) Obonuco de AGROSAVIA (1°12'28"N 77°16'38"O) del Departamento de Nariño.

Características Físicas de los Tubérculos

El color, la forma, el tamaño, el ángulo de reposo, la textura y la densidad, se determinaron a los tubérculos de las variedades de AGROSAVIA.

Color del Tubérculo. Para cuantificar el color de la piel y de la carne del tubérculo, se utilizó la técnica de colorimetría bajo el modelo cromático de las coordenadas CIE $L^*a^*b^*$ (CIELAB) que representan las características presentadas en la Tabla 10.1. Estas coordenadas se determinaron con un colorímetro Kónica Minolta® referencia CR-410C con iluminante D65 (luz de día) y observador patrón 10°. Luego de registrar los valores de las coordenadas del color de las variedades evaluadas, estos resultados se representaron en gráficos del espacio CIE $L^*a^*b^*$ tridimensional.



Tabla 10.1*Parámetros y representación gráfica del modelo CIE $L^*a^*b^*$*

Coordenadas	Característica	Interpretación	Representación Gráfica
L^*	Luminosidad de color	$L^*=0$ negro y $L^*=100$ blanca	
a^*	Posición entre rojo y verde	Valores negativos indican color verde mientras valores positivos indican color rojo.	
b^*	Posición entre amarillo y azul	Valores negativos indican color azul y valores positivos indican color amarillo.	

Nota. Goñi y Salvadori (2015); Piñeiro-Di-Blasi et al. (2014)

Forma General del Tubérculo. A partir de los descriptores morfológicos propuestos por Huamán (2008) para formas comunes y raras en tubérculos de papa, se caracterizaron las muestras de papa diploide.

Tamaño del Tubérculo. El diámetro del tubérculo se midió con un calibrador. Después, se clasificaron los tubérculos en las categorías establecidas por el ICA (2015), como: muy grande (> 5 cm), grande (4,0 - 4,9 cm), mediana (3,0 - 3,9 cm) y pequeña (2,0 - 2,9 cm).

Ángulo de Reposo. Se determinó según el procedimiento de Buitrago et al. (2004), que consistió en llenar una caja de madera de medidas regulares de 0,30 m con tubérculos de un mismo tamaño. Posteriormente se abrió una cara lateral y se dejaron rodar libremente los tubérculos para que se acomodaran según su ángulo de reposo (α); el cual se midió desde los ejes X y Y sobre una de las caras interiores de la caja. Luego se reemplazaron estos valores en la siguiente ecuación:

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{Y}{X}\right)$$

Textura de Tubérculos. Se aplicó el método destructivo de punción con los parámetros establecidos por la American Society of Agricultural and Biological Engineers [ASAE] (2000) para el corte de la papa. La punción al tubérculo sin quitar la piel se realizó en un texturómetro o máquina de esfuerzos (Figura 10.1)



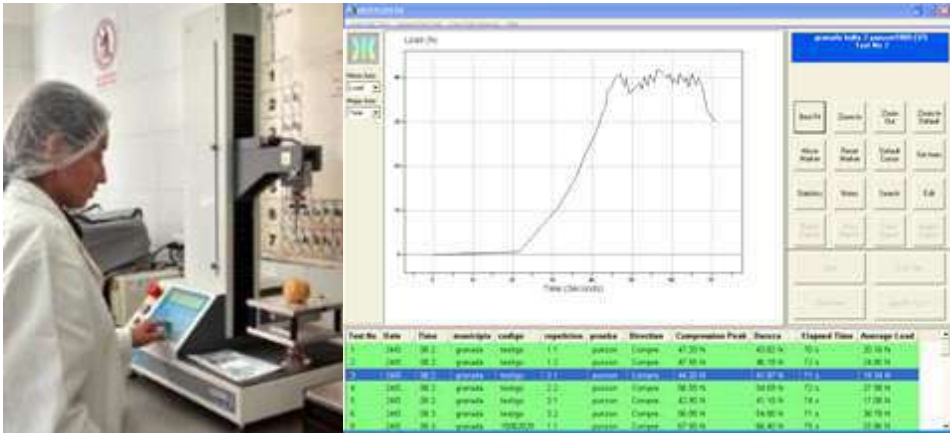
con un aditamento o mordaza de cono de polímero liso con un ángulo de 45º y una velocidad de ensayo de 20 mm/min (Buitrago et al., 2004). Los valores de fuerza fueron registrados en el software Nexygen® para su posterior análisis.

Densidad. La relación que presenta la masa de los tubérculos con respecto a su volumen se cuantificó mediante valores de: densidad real (densidad por unidad o tubérculo), densidad aparente (densidad global) y gravedad específica.

Densidad Real. Esta característica se determinó pesando primero un tubérculo en el aire para conocer su masa y luego se halló su volumen por medio de la medición del desplazamiento del agua en una probeta. El cociente del peso (kg) entre el volumen desplazado (m³) fue el valor de la densidad real (Buitrago et al., 2004), la cual corresponde a la correlación entre la masa y el volumen de partículas individuales.

Figura 10.1

Máquina de esfuerzos o texturómetro y curva de prueba de punción



Nota. Fotografía tomada por Ana Magdalena Garnica Holguin. La curva corresponde a la prueba realizada sobre el testigo Criolla Colombia procedente del Municipio de Granada.

Densidad Aparente. Para su medición se utilizó una caja de cartón de 0,34 x 0,2 x 0,2 m, que se le introdujo al azar tubérculos del mismo tamaño pesados previamente en el aire. Luego se calculó la densidad aparente como el



cociente entre el peso del sólido en el aire (kg) y el volumen (m³) de la caja que contiene los sólidos (Buitrago et al., 2004).

Gravedad Específica. El método de medición de esta característica física se basa en el principio de Arquímedes tanto para la industria como para los investigadores. Por tanto, se utilizó la relación de los pesos de los tubérculos en el aire y en el agua medidos con una balanza analítica Ohaus® de capacidad de 2 kg y se halló el valor numérico de la gravedad específica (GE) mediante la siguiente ecuación matemática:

$$GE = \text{peso en aire} / (\text{peso en aire} - \text{peso en agua})$$

El valor de la GE es el mismo valor numérico de la densidad relativa, el cual se puede cuantificar a partir de la densidad de la papa diploide, relacionada con la densidad del agua a 10 °C (50 °F) como densidad de referencia. Para el valor real de la GE se recomienda aplicar los factores de corrección de temperatura dados por Gould (1999).

Caracterización Nutricional de los Tubérculos

Fueron determinadas sobre muestras de papa diploide crudas o frescas con cáscara o piel y homogenizadas, mediante los métodos estandarizados de la Tabla 10.2.

Tabla 10.2

Métodos para el análisis nutricional de papa diploide

Análisis	Método
Materia seca	AOAC INTERNACIONAL® 925.10/05 (AOAC, 2005a)
Humedad	Por diferencia de peso con materia seca
Almidón	Método Indirecto para la determinación de almidones a través de azúcares reductores en Vegetales (Álvarez Ochoa et al. 2018).
Azúcares reductores	Miller (1959)
Cenizas	AOAC INTERNACIONAL® 940.26/05 (AOAC, 2005b).
Proteínas	AOAC INTERNACIONAL® 935.11/05 (AOAC, 2005c).
Capacidad Antioxidante*	ABTS: Re et al. (1999) FRAP: Benzie y Strain (1996)
Vitamina C*	Shakya y Navarre (2006)
Fenoles Totales*	Zapata et al. (2013)
Carotenoides	Biswas et al. (2011)

Nota. * Las muestras se evaluaron en fresco y en cocido (90 °C por 9 min) y conservadas a -70,8 °C hasta su liofilización para su posterior análisis.



Productos Logrados

La caracterización física y nutricional de los tubérculos de las variedades registradas ante el ICA y procedentes de los Departamentos de Cundinamarca y de Nariño (Colombia), se presenta a continuación.

Características Físicas de los Tubérculos

En el Banco de Germoplasma Vegetal del estado colombiano que administra AGROSAVIA se encontraron genotipos de papa diploide de coloraciones rojizas, moradas violeta, y amarillas en su piel. Además, presentaron color de carne amarillo, morado y rojizo con pigmentaciones rojizas o moradas en áreas o con manchas dispersas en el anillo vascular y médula. Esto lo corrobora Gómez (2000), quien menciona que este tipo de tubérculos presentan diversos colores principales y secundarios en piel o cáscara.

En relación a las variedades registradas y a la variedad comercial Criolla Colombia (testigo) se determinaron las siguientes características.

Color del Tubérculo. El color en los alimentos es uno de los índices de calidad que determinan la aceptabilidad y las preferencias del consumidor (Moreno, 2017). Para las variedades registradas y la variedad testigo, el color de la piel (cáscara) y de la carne (pulpa) fue amarillo.

Color de la Piel. En la Tabla 10.3 se evidencia que, en los genotipos registrados del Departamento de Cundinamarca, el color de la cáscara o piel fue amarillo (coordenada b^*), presentando algunas variaciones según el municipio donde fueron cosechados. Corpoica Sol andina se caracterizó por su color amarillo más intenso en los Municipios de Sibaté y de El Rosal ($b^* = 34,84$ y $b^* = 35,60$ respectivamente). Así mismo, la variedad comercial Criolla Colombia presentó colores predominantes de piel amarillo intenso ($b^* < 35,01$) con una leve tendencia al rojo ($a^* < 8,57$).

Los colores de los genotipos del Departamento de Nariño, se observan en la Tabla 10.4 con un valor máximo de color amarillo en la cáscara para Agrosavia Oyanza con $b^* = 34,27$ y para la variedad Criolla Colombia ($b^* = 34,89$) del Municipio de Pasto (Centro de Investigación Obonuco de AGROSAVIA). Es



importante señalar que las variaciones de color en los municipios se dan por las interacciones genotipo-ambiente y por otros factores no controlados en la investigación como los asociados a la producción primaria y fenómenos químicos y físicos (Gallón Bedoya et al., 2019).

Color de la Carne. Las variedades registradas del Departamento de Cundinamarca (Tabla 10.3), presentaron color de carne amarillo y sobresalió Agrosavia Estrella con $b^* = 46,95$ del municipio de Subachoque y algunas variedades presentaron coloraciones con tendencia al verde ($a^* > -1.71$). En cuanto a las variedades del Departamento de Nariño (Tabla 10.4), Agrosavia Alhaja se destacó por su color amarillo en carne de $b^* = 48,01$ del Municipio de Ipiales, aventajado por el testigo Criolla Colombia con un amarillo equivalente a $b^* = 49,34$ y que se caracterizó por su tendencia al verde $a^* = -3.27$. La variación de la cromaticidad a^* , ocurre por los cambios sufridos en los compuestos coloreados, como las antocianinas. Estos compuestos rojizos se transforman en otros tipos de compuestos, por hidroxilación, metilación y glicosilación; que generan cambios de color, por efectos de pH, temperatura y luz (Reyes y Cisneros, 2007).

Forma General del Tubérculo. Cabe resaltar que la mayoría de los tubérculos de papa diploide del Banco de Germoplasma Vegetal del estado colombiano que administra AGROSAVIA, presentan formas esféricas, comprimidas, elípticas y ovoides; y tan solo el 5% de los genotipos muestran formas raras. La forma de la papa determina su potencial uso para la estandarización de los procesos de transformación industrial (Moreno, 2000). Actualmente el mercado de papa diploide en Colombia exige formas uniformes (redonda y con ojos superficiales) para el procesamiento, con el fin de dar respuesta a las exigencias de los consumidores, que determinan las variedades cultivadas por los agricultores y que son vendidas por los comercializadores.



Tabla 10.3

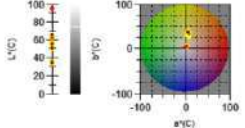
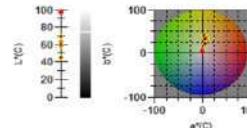
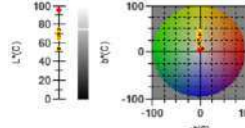
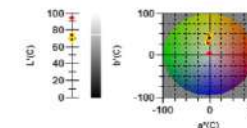
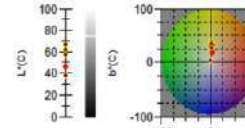
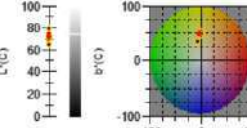
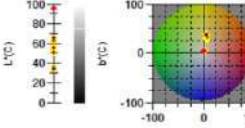
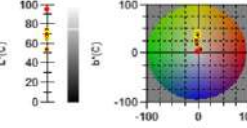
Colorimetría de los tubérculos de papa diploide registrados y de la variedad testigo (Criolla Colombia) en el Departamento de Cundinamarca

Departamento de Cundinamarca							
Municipio	Variedad	Piel			Carne		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*
Granada	Corpoica Sol Andina	50,26	7,45	23,52	70,55	0,62	42,58
	Corpoica Tiba	61,49	7,02	30,35	60,80	1,22	32,38
	Agrosavia Estrella	59,77	7,98	30,78	74,46	0,85	45,50
	Criolla Colombia	59,59	4,31	32,60	66,48	0,77	37,29
	Representación gráfica del modelo CIE L*a*b* (CIELAB)						
El Rosal	Corpoica Sol Andina	62,68	4,60	35,60	70,39	0,82	41,60
	Corpoica Tiba	62,44	4,40	34,18	67,01	0,60	37,70
	Agrosavia Estrella	61,47	5,26	35,34	68,06	0,34	41,27
	Criolla Colombia	65,70	4,88	35,01	69,61	-0,26	37,31
	Representación gráfica del modelo CIE L*a*b* (CIELAB)						
Sibaté	Corpoica Sol Andina	59,45	5,28	34,84	70,60	-0,08	44,43
	Corpoica Tiba	63,43	5,86	34,06	70,72	-0,49	46,17
	Agrosavia Estrella	62,48	6,23	33,57	71,25	0,12	42,64
	Criolla Colombia	63,15	8,57	29,08	72,17	0,53	44,12
	Representación gráfica del modelo CIE L*a*b* (CIELAB)						
Subachoque	Corpoica Sol Andina	57,75	1,17	30,84	66,02	-1,71	41,53
	Corpoica Tiba	50,57	6,74	24,28	71,43	-0,10	45,14
	Agrosavia Estrella	52,82	5,70	27,71	69,73	1,61	46,95
	Criolla Colombia	58,99	6,16	33,22	68,69	0,73	44,48
	Representación gráfica del modelo CIE L*a*b* (CIELAB)						



Tabla 10.4

Colorimetría de los tubérculos de papa diploide registrados y de la variedad testigo (Criolla Colombia) en el Departamento de Nariño

Departamento de Nariño							
Municipio	Variedad	Piel			Carne		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*
Córdoba	Agrosavia Alhaja	53,71	7,55	32,70	70,08	-0,30	34,48
	Agrosavia Oyanza	57,57	6,51	33,41	67,91	0,63	36,22
	Criolla Colombia	54,97	7,46	30,25	70,06	0,37	39,07
	Representación gráfica del modelo CIE L*a*b* (CIELAB)						
Ipiales	Agrosavia Alhaja	55,44	5,39	27,89	71,70	-0,27	48,01
	Agrosavia Oyanza	60,02	1,15	33,05	72,90	-1,88	44,22
	Criolla Colombia	62,56	6,59	24,48	74,82	0,08	42,29
	Representación gráfica del modelo CIE L*a*b* (CIELAB)						
Pasto	Agrosavia Alhaja	56,72	3,58	25,85	67,76	1,32	46,17
	Agrosavia Oyanza	62,74	3,62	34,27	72,14	-1,45	47,78
	Criolla Colombia	60,27	5,54	34,89	71,26	-3,27	49,34
	Representación gráfica del modelo CIE L*a*b* (CIELAB)						
Puerres	Agrosavia Alhaja	53,71	7,55	32,70	69,08	0,76	38,54
	Agrosavia Oyanza	57,57	6,51	33,41	70,08	-0,30	34,48
	Criolla Colombia	54,97	7,46	30,25	70,06	0,37	39,07
	Representación gráfica del modelo CIE L*a*b* (CIELAB)						

En la Figura 10.2 se observa la forma redonda que presenta las variedades registradas. Mientras que, tubérculos con formas raras dificultan su manejo para usos industriales y esta forma incide directamente en el rendimiento durante el pelado y el volumen ocupado en el almacenamiento. Sin embargo, los genotipos no homogéneos por su forma, pueden ser aprovechados en diferentes preparaciones culinarias y convertirse en una fuente potencial de alimentación para la población.



Figura 10.2

Variedades de papa diploide registradas en Colombia frente a la variedad testigo



Tamaño del Tubérculo. Otra característica física importante que determina el aprovechamiento de la papa diploide para preparación culinaria o procesamiento industrial, corresponde a su diámetro. Como se puede observar en la Tabla 10.5, los diámetros de los genotipos evaluados alcanzaron valores hasta 7,2 cm con categoría de tamaño de tubérculos muy grandes (ICA, 2015). También se evidenció la diversidad de tamaños de tubérculos desde muy pequeños a muy grandes para aprovecharlos en diversas aplicaciones culinarias e industriales y así, evitar su desperdicio. Esta característica física es importante para los productores durante la clasificación de la papa-semilla (Bello y Pinzón, 1997; Memorias, 2011; Torres et al., 2011).

Así mismo en la Tabla 10.5 se observa que la variedad Agrosavia Oyanza fue la que mayor diámetro registró en algunos de sus tubérculos en relación a las otras variedades. También se encontró que todas las variedades tienen tubérculos muy pequeños que no hacen parte de la clasificación recomendada por ICA (2015) que omite los tubérculos menores a 2 cm y los cuales, son considerados por los productores como papa riche, tubérculos que pierden su valor comercial por su tamaño. Esto genera pérdidas y desperdicios de este alimento, puesto que



en algunos casos se dejan en el terreno de la cosecha sin recuperarlos o se utilizan para alimentación animal. Razón por la cual, se sugiere el uso de los tubérculos de diámetro inferior a 2 cm para la producción de harina y de otros productos.

Tabla 10.5

Tamaño de tubérculos de las variedades de papa diploide frente al testigo Criolla Colombia

	Variedades						Tamaño*
	Corpoica Sol Andina	Corpoica Tiba	Agrosavia Estrella	Agrosavia Alhaja	Agrosavia Oyanza	Criolla Colombia	
Rango de diámetros (cm)	5,1 - 5,6	5,1 - 5,3	5,2 - 5,4	5,0 - 6,0	5,13 - 7,2	5,16 - 7,2	Muy grande
	4,1 - 4,9	4,05 - 4,88	4,2 - 4,9	4,1 - 4,9	4,1 - 4,9	4,1 - 4,9	Grande
	3,0 - 3,98	3,7 - 3,9	3,16 - 3,98	3,16 - 3,8	3,05 - 3,9	3,2 - 3,9	Mediana
	2,0 - 2,9	2,4 - 2,9	2,1 - 2,5	2,0 - 2,9	2,0 - 2,9	2,1 - 2,8	Pequeña
	1,7 - 1,9	1,1 - 1,9	1,6 - 1,8	1,8	1,8 - 1,9	1,1 - 1,8	Sin clasificación ICA**

Nota. * Tamaños sugeridos por ICA (2015). ** Tubérculos muy pequeños e inferiores a 2 cm de diámetro, denominados por los agricultores de la Región Cundiboyasense de Colombia como tamaño riche.

Ángulo de Reposo. Staley (1981) presenta tres clases de fluidez para los tubérculos: clase 1, muy fluida con ángulo de reposo $\leq 30^\circ$; clase 2, fluye libre con ángulo de reposo entre 30° y 45° ; y clase 3, fluye lento o suave con ángulo de reposo $\geq 45^\circ$. Por consiguiente, la mayoría de los tubérculos evaluados mostraron ángulos de reposo de clase 1 y la variedad Agrosavia Alhaja con ángulo de reposo de clase 2 (Tabla 10.6), el cual se encuentra dentro del promedio reportado por Booth y Shaw (1989) de un ángulo de reposo de 35° para tubérculos sin brotes.

Esta característica que demuestra la fluidez de las variedades registradas, favorece la manipulación de los tubérculos en las actividades de su acondicionamiento a nivel industrial, que comprende: recepción de papa por tolvas, separación de impurezas, lavado por inmersión, limpieza con cepillos, secado, transporte por bandas, clasificación de tubérculos por tamaños, control



de calidad y empaçado (Lancheros et al., 2013). Los ángulos de reposo obtenidos para las variedades diploides, demuestran que los tubérculos pueden desplazarse libremente en la trayectoria de lavado y de transporte durante el acondicionamiento. Adicionalmente, esta característica física se considera útil para calcular la magnitud de la presión horizontal ejercida a una pared por el apilamiento en almacenes de papa a granel mientras que, para la papa almacenada en sacos, bolsas o cajas, la presión total recae sobre el piso (Buitrago et al., 2004; Booth y Shaw, 1989).

Tabla 10.6

Ángulos de reposo para las variedades registradas de papa diploide frente a la muestra testigo

Variedades	Ángulo de reposo (α)
Agrosavia Alhaja	35,34
Agrosavia Oyanza	25,77
Corpoica Sol andina	31,85
Corpoica Tiba	27,35
Agrosavia Estrella	27,62
Criolla Colombia (testigo)	28,07

Textura de Tubérculos. La textura es un reflejo de la estructura del alimento que se relaciona con sus características mecánicas, que se miden en términos de resistencia o de fuerza, la cual se opone al material biológico al ser perforado o comprimido hasta cierta profundidad y deformación (Buitrago et al., 2004; Rosenthal, 2001). Para los genotipos del Municipio de Sibaté (Departamento de Cundinamarca) y del Municipio de Puerres (Departamento de Nariño), mostraron mayores valores de resistencia al corte (Tabla 10.7) y, por lo tanto, estos tubérculos se caracterizaron por su mayor dureza y cantidad de fuerza al pinchar su piel, demostrando una mayor turgencia o rigidez que otros genotipos de los demás municipios. Este aspecto es importante en los alimentos ya que la disminución de la turgencia es un signo avanzado de deshidratación



(Martínez et al., 2003). Adicionalmente, en la textura del tubérculo cosechado, inciden las características del suelo, como las texturas francas, buen drenaje y pH entre 5,2 y 5,9 (Mosquera, 2003).

Tabla 10.7

Textura de los tubérculos de las variedades registradas y de la variedad testigo (Criolla Colombia) medida en ensayos de punción

Departamento	Variedades	Municipios			
		Granada kgf	El Rosal kgf	Sibaté kgf	Subachoque kgf
Cundinamarca	Corpoica Sol Andina	5,3777	6,3069	9,3782	7,9840
	Corpoica Tiba	6,2299	6,2897	8,3374	5,0913
	Agrosavia Estrella	5,8016	5,7581	9,9785	9,1346
	Criolla Colombia	6,3409	5,7825	9,8262	6,2916
Nariño	Variedades	Córdoba kgf	Ipiales kgf	Pasto kgf	Puerres kgf
	Agrosavia Alhaja	4,2070	4,6963	8,8191	7,9481
	Agrosavia Oyanza	4,6470	4,5369	5,9435	7,9040
	Criolla Colombia	5,9890	7,1302	7,0332	9,5344

Nota. Ensayo de punción o de perforación consiste en la prueba de perfil de textura que mide la fuerza necesaria para empujar la sonda en los tubérculos en fresco.

Densidad. La información sobre la densidad de los alimentos es esencial en los procesos de separación, como la centrifugación y la sedimentación, y en el transporte neumático e hidráulico de materiales (Chakespari et al., 2010). Para las variedades se obtuvieron los resultados que se presentan a continuación.

Densidad Real. En la Tabla 10.8 se evidencia que las variedades presentaron densidades reales entre 1.000,61 y 1.186,89 kg/m³ para los dos Municipios analizados de Sibaté y de Granada, cuyos valores fueron cercanos a lo reportado por Buitrago et al. (2004) para la variedad Criolla Colombia, y por Patel et al. (2018) para tubérculos de la variedad Kufri Badshah. La variedad testigo Criolla Colombia fue la que menor densidad real presentó en los dos municipios. El resultado de la densidad real (> 1.000 kg/m³) indica que el tubérculo es más pesado que el agua, por lo que se hundirá en ella. Esto es útil en el diseño de máquinas de limpieza y separación (Golmohammadi y Afkari-Sayyah, 2013).



Densidad Aparente. Esta densidad es empleada para el diseño de contenedores de sólidos puesto que considera a la vez los espacios vacíos y el material sólido y, su valor es inferior a la densidad por unidad, debido al gran número de espacios huecos que quedan entre las partículas. Para las variedades se encontraron densidades aparentes entre 419,83 y 502,27 kg/m³ (Tabla 10.8), valores cercanos a los reportados por Buitrago et al. (2004).

Tabla 10.8

Densidades reales y aparentes de las variedades registradas y de la variedad testigo (Criolla Colombia)

Variedad	Densidad Real		Densidad aparente	
	Sibaté (kg/m ³)	Granada (kg/m ³)	Sibaté (kg/m ³)	Granada (kg/m ³)
Corpoica Sol Andina	1029,29	1070,22	502,27	464,70
Corpoica Tiba	1180,89	1036,36	421,87	364,33
Agrosavia Estrella	1179,60	1010,40	428,99	461,09
Agrosavia Alhaja	1186,89	1081,00	482,60	443,38
Agrosavia Oyanza	1119,94	1000,61	484,24	439,31
Criolla Colombia	1011,33	977,11	456,35	419,83

Gravedad Específica. Gould (1999) menciona que diferentes investigadores han verificado varios factores que influyen sobre el valor de la GE en las papas, como: el clima, la intensidad de la luz solar, la temperatura del aire, los vientos y su humedad, la sequía, la temperatura del suelo, la variedad genética del cultivar, la calidad de la semilla, la densidad de las plantas, las prácticas de fertilización en el suelo, el tipo de suelo y sus características, las plagas y enfermedades, la madurez del tubérculo, entre otros. En la Tabla 10.9 se observa que diversos genotipos diploides en formas y colores, cultivados en condiciones cercanas de temperatura y de altitud en varios municipios de los dos departamentos en Colombia, y los tubérculos presentaron diversos valores de GE dependiendo de las condiciones del suelo y de las culturas agronómicas aplicadas. En cuanto a los valores más altos de GE en los rangos de los Municipios de Granada, de Sibaté y de Córdoba, fueron valores ideales para el



procesamiento de hojuelas o chips (Palacios et al., 2008). En la Tabla 10.10 se observan las GE de las variedades registradas y la variedad Corpoica Sol Andina sobresalió por su alto valor de GE.

Tabla 10.9

Rangos de gravedad específica de genotipos diploides cultivados en diferentes temperaturas y altitudes

Departamento de Cundinamarca			
Municipios	Temperatura (°C)	Altitud (msnm)	Rangos de GE*
Sibaté	13	2700	1,0645 - 1,1286
Granada	13	2695	1,0611 - 1,1426
Subachoque	15	2663	1,0270 - 1,1220
El Rosal	14	2685	1,0080 - 1,1251
Departamento de Nariño			
Municipios	Temperatura (°C)	Altitud (msnm)	Rangos de GE*
Ipiales	10	2898	1,0558 - 1,0856
Córdoba	12	2800	1,0680 - 1,0993
Pasto	12	2790	1,0620 - 1,0862
Puerres	12	2882	1,0739 - 1,1057

Nota: *Rango para todos los genotipos evaluados

Agle y Woodbury (1968) y Schippers (1976), sostienen que la GE es afectada por la zona de producción y las condiciones de almacenamiento, por lo que se recomienda determinar la GE una vez la papa es cosechada o al día siguiente, porque los tubérculos pierden agua y sus almidones se transforman en azúcares. Así pues, los contenidos de almidón y de materia seca se pueden determinar indirectamente a través de relaciones matemáticas establecidas para cada variedad de papa (Gould, 1999) y en el caso de la papa diploide esta correlación se estableció en el apartado que sigue.



Tabla 10.10

Gravedad específica (GE) de variedades registradas y la variedad testigo

Variedades Registradas	GE
Corpoica Sol Andina	1,0900
Corpoica Tiba	1,0850
Agrosavia Estrella	1,0880
Agrosavia Alhaja	1,0731
Agrosavia Oyanza	1,0707
Criolla Colombia (testigo)	1,0881

Nota. Valores de las variedades registradas (ICA, 2017a, 2017b, 2019a, 2019b, 2020) y el valor de la variedad testigo como resultado de la investigación.

Caracterización Nutricional de los Tubérculos

El valor nutritivo de los alimentos se establece con el fin de proponer diferentes usos culinarios y aplicaciones industriales (Espín et al., 2004). Estas estimaciones nutricionales permiten definir el potencial uso para consumo de las variedades registradas de papa diploide.

Materia Seca y Humedad. La materia seca en la papa criolla está influenciada por prácticas de cultivo tales como tipo de suelo, humedad y composición mineral, programas de riego y temperatura durante el crecimiento de la planta (Huertas y Ligarreto, 2001). Para los genotipos evaluados en municipios del Departamento de Cundinamarca, mostraron mayores porcentajes de materia seca los del Municipio de El Rosal y menores valores los del Municipio de Granada. Mientras que, en el Departamento de Nariño, los genotipos cultivados en el Municipio de Puerres presentaron mayor contenido de materia seca y los del Municipio de Pasto (Centro de Investigación Obonuco de AGROSAVIA) arrojaron menor valor respecto a las otras localidades (Tabla 10.11). Por consiguiente, tuvieron un mayor contenido de humedad los tubérculos cosechados en el Municipio de Granada y de Pasto (Tabla 10.11), lo cual dependió de las condiciones medioambientales como la pluviosidad y la humedad del suelo de los municipios (Herrera y Rodríguez, 2011).



Tabla 10.11

Características nutricionales en base húmeda de las variedades registradas de papa diploide y de la variedad testigo Criolla Colombia

DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA							
Municipios	Variedades	Materia seca (%)	Humedad (%)	Cenizas (%)	Azúcar reductor (%)	Almidón (%)	Proteína (%)
Granada	Corpoica Sol Andina	22,43 ± 2,88	77,57 ± 2,88	1,18 ± 0,25	0,170 ± 0,106	16,56 ± 1,07	1,43 ± 0,57
	Corpoica Tiba	22,19 ± 1,03	77,81 ± 1,03	1,10 ± 0,12	0,160 ± 0,042	17,18 ± 0,83	1,37 ± 0,20
	Agrosavia Estrella	21,65 ± 1,76	78,35 ± 1,76	1,19 ± 0,24	0,120 ± 0,037	17,04 ± 2,41	1,38 ± 0,11
	Criolla Colombia	23,28 ± 2,28	76,72 ± 2,28	1,18 ± 0,13	0,103 ± 0,030	17,21 ± 3,58	1,51 ± 0,18
El Rosal	Corpoica Sol Andina	27,15 ± 0,28	72,85 ± 0,28	0,67 ± 0,07	0,240 ± 0,002	23,23 ± 0,16	2,46 ± 0,16
	Corpoica Tiba	27,22 ± 1,31	72,78 ± 1,31	0,62 ± 0,03	0,191 ± 0,015	22,36 ± 0,05	1,47 ± 0,01
	Agrosavia Estrella	24,26 ± 0,55	75,74 ± 0,55	0,66 ± 0,05	0,100 ± 0,002	19,84 ± 0,28	1,48 ± 0,65
	Criolla Colombia	26,46 ± 1,73	73,54 ± 1,73	0,74 ± 0,08	0,239 ± 0,024	19,62 ± 0,49	2,41 ± 0,20
Sibaté	Corpoica Sol Andina	24,33 ± 1,25	75,66 ± 1,24	1,29 ± 0,02	0,120 ± 0,006	20,55 ± 1,74	1,25 ± 0,49
	Corpoica Tiba	25,70 ± 1,72	74,30 ± 1,72	1,34 ± 0,05	0,080 ± 0,013	18,51 ± 1,94	1,80 ± 0,39
	Agrosavia Estrella	24,07 ± 3,51	75,93 ± 3,51	1,23 ± 0,02	0,140 ± 0,011	17,31 ± 0,24	1,98 ± 0,23
	Criolla Colombia	27,51 ± 2,17	72,49 ± 2,17	1,23 ± 0,05	0,110 ± 0,020	22,46 ± 2,50	1,56 ± 0,24
Subachoque	Corpoica Sol Andina	21,62 ± 2,17	78,37 ± 2,17	1,11 ± 0,07	0,290 ± 0,050	17,41 ± 1,55	1,48 ± 0,32
	Corpoica Tiba	23,91 ± 1,87	76,09 ± 1,87	1,10 ± 0,21	0,300 ± 0,104	18,26 ± 0,85	1,46 ± 0,26
	Agrosavia Estrella	24,21 ± 3,10	75,79 ± 3,10	1,12 ± 0,19	0,270 ± 0,053	19,48 ± 1,88	1,28 ± 0,15
	Criolla Colombia	23,94 ± 1,65	76,06 ± 1,65	1,14 ± 0,26	0,260 ± 0,100	18,11 ± 2,51	1,48 ± 0,20
DEPARTAMENTO DE NARIÑO							
Córdoba	Agrosavia Alhaja	21,99 ± 0,74	71,71 ± 0,64	1,65 ± 0,08	0,272 ± 0,049	19,54 ± 0,58	0,75 ± 0,10
	Agrosavia Oyanza	20,99 ± 1,10	71,62 ± 0,75	1,66 ± 0,09	0,345 ± 0,067	16,76 ± 3,02	0,75 ± 0,16
	Criolla Colombia	22,01 ± 1,30	71,60 ± 0,46	1,66 ± 0,05	0,366 ± 0,091	18,81 ± 2,10	0,78 ± 0,07
Ipiiales	Agrosavia Alhaja	20,81 ± 0,81	79,19 ± 0,81	1,09 ± 0,04	0,043 ± 0,002	16,31 ± 0,33	1,64 ± 0,03
	Agrosavia Oyanza	20,62 ± 0,19	79,38 ± 0,19	1,10 ± 0,02	0,047 ± 0,005	15,89 ± 0,68	1,66 ± 0,02
	Criolla Colombia	20,34 ± 0,35	79,66 ± 0,35	1,00 ± 0,06	0,177 ± 0,002	15,04 ± 0,18	2,23 ± 0,04
Pasto	Agrosavia Alhaja	17,66 ± 0,54	82,34 ± 0,54	1,01 ± 0,01	0,204 ± 0,003	11,95 ± 0,54	2,17 ± 0,03
	Agrosavia Oyanza	19,94 ± 0,11	80,06 ± 0,11	1,16 ± 0,01	0,090 ± 0,001	13,81 ± 0,02	1,65 ± 0,01
	Criolla Colombia	18,87 ± 0,03	81,13 ± 0,03	0,98 ± 0,08	0,161 ± 0,002	14,30 ± 0,21	1,35 ± 0,01
Puerres	Agrosavia Alhaja	23,23 ± 3,15	76,77 ± 3,15	1,04 ± 0,17	0,346 ± 0,098	20,70 ± 3,33	1,41 ± 0,22
	Agrosavia Oyanza	23,63 ± 2,08	76,37 ± 2,08	1,22 ± 0,12	0,282 ± 0,027	20,70 ± 2,05	1,32 ± 0,11
	Criolla Colombia	24,06 ± 0,82	75,94 ± 0,82	1,14 ± 0,13	0,298 ± 0,071	21,21 ± 0,35	1,48 ± 0,13

Almidón. La papa es un alimento nutritivo que desempeña funciones energéticas debido a su alto contenido en almidón. Las variables procedentes del Municipio de Sibaté y del Municipio de Puerres para los Departamentos de Cundinamarca y de Nariño respectivamente, presentaron un mayor contenido de este compuesto (Tabla 10.11). Por otra parte, al analizar estadísticamente los datos experimentales de los genotipos cultivados (Tablas 10.9, 10.10 y 10.11), se encontró relación directa entre la GE con los contenidos de materia seca y de almidón, es decir, si aumenta la GE aumentan los contenidos mencionados. Además, presentaron correlaciones (R) altas cercanas a 1 mostrando relación lineal entre la GE y los contenidos de materia seca y de almidón. Por tanto, se obtuvieron las siguientes ecuaciones a partir del modelo de regresión lineal para determinar la GE de los tubérculos de papa diploide:



$GE = 0,003843 (\% \text{ materia seca}) + 0,99944$	$R=0,8396$ entre variables
$GE = 0,003181 (\% \text{ almidón}) + 1,02989$	$R=0,7571$ entre variables

Así mismo, la correlación entre las variables por el modelo de regresión lineal permite con la GE hallada de los tubérculos, predecir los contenidos de materia seca y de almidón, mediante las siguientes ecuaciones:

$\% \text{ materia seca} = 183,3945 * GE - 176,5055$	$R=0,8396$ entre variables
$\% \text{ almidón} = 180,1582 * GE - 177,7681$	$R=0,7571$ entre variables

En la Tabla 10.12 se relaciona la GE con los porcentajes de materia seca y de almidón para los tubérculos de papa diploide, cuyos valores se determinaron a partir de las ecuaciones mencionadas anteriormente. En cuanto a la GE, esta se halló según la metodología descrita.

Azúcares Reductores. Esta es una variable importante para el procesamiento de los tubérculos, porque se relaciona con el sabor amargo y con las reacciones de pardeamiento no enzimático o reacciones de Maillard, ya que al reaccionar los azúcares reductores con los grupos amino de las proteínas genera un color pardo indeseable en la fritura (Herrera y Rodríguez, 2011). Por esto se prefiere papa diploide con un contenido inferior de 0,3% de azúcares reductores para su procesamiento industrial (Moreno, 2000).

En la Tabla 10.11 se encontró un alto contenido de azúcares reductores en los genotipos del Municipio de Subachoque para el Departamento de Cundinamarca y en los Municipio de Córdoba y de Puerres para el Departamento de Nariño. Herrera y Rodríguez (2011) indican que, para lugares fríos y alta altitud, los tubérculos presentan altos contenido de azúcares reductores. Razón por la cual, estos tubérculos pueden presentar reacciones de pardeamiento más rápidamente por la hidrólisis del almidón e influir en la coloración de los productos procesados sometidos a fritura (Lucas et al., 2011).



Tabla 10.12

Estimación de porcentajes de materia seca y de almidón con base en la gravedad específica (GE) de papa diploide

Gravedad específica	Materia seca (%)	Almidón (%)
1,060	17,893	13,200
1,062	18,259	13,560
1,064	18,626	13,920
1,066	18,993	14,281
1,068	19,360	14,641
1,070	19,727	15,001
1,072	20,093	15,361
1,074	20,460	15,722
1,076	20,827	16,082
1,078	21,194	16,442
1,080	21,561	16,803
1,082	21,927	17,163
1,084	22,294	17,523
1,086	22,661	17,884
1,088	23,028	18,244
1,090	23,395	18,604
1,092	23,761	18,965
1,094	24,128	19,325
1,096	24,495	19,685
1,098	24,862	20,046
1,100	25,228	20,406
1,102	25,595	20,766
1,104	25,962	21,127
1,106	26,329	21,487
1,108	26,696	21,847
1,110	27,062	22,208
1,112	27,429	22,568
1,114	27,796	22,928
1,116	28,163	23,288
1,118	28,530	23,649
1,120	28,896	24,009
1,122	29,263	24,369
1,124	29,630	24,730
1,126	29,997	25,090
1,128	30,363	25,450
1,130	30,730	25,811
1,132	31,097	26,171
1,134	31,464	26,531
1,136	31,831	26,892
1,138	32,197	27,252
1,140	32,564	27,612

Nota. Valores calculados a partir de los resultados obtenidos.



Cenizas. Las variedades Corpoica Sol Andina y Corpoica Tiba sobresalieron por su alto contenido de minerales (1,29 y 1,34 % respectivamente) cultivadas en el Municipio de Sibaté y, Agrosavia Alhaja y Oyanza del Municipio de Córdoba con el 1,65 -1,66% respectivamente (Tabla 10.11). En general los genotipos arrojaron contenidos de minerales entre 0,62 a 1,66%, cuyos valores se encuentran en el rango reportado por Peña Melo (2015) para variedades diploides. El contenido de cenizas muestra el material mineral presente en las muestras de un alimento que, según lo reportado por el Instituto Colombiano de Bienestar Familiar [ICBF] (2018), en la papa diploide cruda y con cáscara se encuentran minerales como calcio, hierro, sodio y fósforo.

Proteínas. La papa tiene un alto contenido de aminoácidos esenciales (proteínas) y se utilizan en muchos productos alimentarios como emulsionantes y estabilizadores de emulsiones (Kärenlampi y White, 2009). Estos componentes son de interés para la industria del almidón o fécula de papa, ya que del subproducto de extracto de papa se pueden purificar grandes cantidades de proteínas, como también se pueden extraer del propio tubérculo (Waglay y Karboune, 2016).

Las proteínas en las variedades expresaron valores entre 0,75 a 2,46% en BH (Tabla 10.11), los cuales están cercanos a los obtenidos por Jiménez et al. (2009) para variedades andinas de 0,8 a 2,5 g/100 g BH. También se encontró diferencias en los valores entre las variedades para los diferentes municipios lo que evidenció que el contenido de proteínas fue afectado por las condiciones ambientales (Rodríguez et al., 2011), como es el caso del Municipio de Córdoba, donde se logró el menor valor para esta característica.

Capacidad Antioxidante. Por ABTS, Agrosavia Alhaja y Corpoica Sol Andina presentaron el mayor valor de capacidad antioxidante para sus tubérculos frescos o no cocidos con 9853,2 y 7531,4 TEAC- μ mol Trolox / 100 g de muestra, respectivamente. Y por FRAP, sobresalió Agrosavia Alhaja y Agrosavia Estrella con 109,4 y 103,17 μ mol de AA/100 g de muestra (Tabla 10.13). Así mismo, se observó un incremento en los valores de ABTS y FRAP en las muestras cocidas en relación a las muestras en fresco (Tabla 10.12).



Las papas con pigmentaciones amarillas, anaranjadas, rojizas o moradas son reconocidas por su alto contenido de antioxidantes los cuales neutralizan la acción de los radicales libres que generan el daño tisular oxidativo vinculado al inicio y progresión de una amplia gama de enfermedades crónicas (Bianeth y Restrepo, 2013; Reddivari et al., 2007). Esto da un valor agregado a las variedades que las convierte en un alimento funcional.

Vitamina C. En la Tabla 10.14 se muestra que Corpoica Tiba, es la variedad que presentó mayor cantidad de vitamina C en fresco o sin cocción (16,02 mg ácido ascórbico/100 g de muestra) solo antecedida por la variedad testigo Criolla Colombia (17,39 mg ácido ascórbico/100 g de muestra). Los resultados permitieron establecer un rango de pérdidas del 40,91 al 67,68% en el contenido de vitamina C. Este micronutriente es hidrosoluble, razón por la cual se evidenció su disminución en las variedades en estudio después de la cocción en agua posiblemente debido a fenómenos de lixiviación (Cuastumal et al., 2016).

Por tanto, en una porción servida de 150 g y cocida de Corpoica Tiba aportaría 13,88 mg de ácido ascórbico y de Corpoica Sol Andina sería 9,09 mg de ácido ascórbico. Según National Institutes of Health (NIH) (2019), la dosis diaria recomendada de vitamina C para niños de 1 a 3 años es de 15 mg, lo cual satisface dicha porción servida; y para adultos de 75 a 90 mg, se complementaría con otros alimentos.

Fenoles Totales. Se evidencia en la Tabla 10.14 que Corroica Sol Andina presentó el más alto contenido en fenoles totales con 268,80 mg de ácido gálico/100 g de muestra liofilizada sin cocción. Igualmente se evidenció un incremento en el valor de este componente para las muestras cocidas en todas las variedades, lo que coincide con Molina et al. (2015). Es importante señalar que los factores genéticos y ambientales desempeñan un papel importante en el contenido fenólico la papa ya que se conoce que estos compuestos actúan como mecanismo de defensa contra insectos, plagas y enfermedades en la planta de la papa (Vásquez-Carrillo et al., 2016) y su valor varía, además del genotipo,



por condiciones de cultivo, proceso de poscosecha y de almacenamiento (Bianeth y Restrepo, 2013). Por otra parte, los métodos de cocción optimizados con temperaturas de cocción relativamente bajas y/o tiempos de cocción cortos de 9 min han demostrado mejorar la disponibilidad de varios compuestos fenólicos en las papas (Perla et al., 2012).

Tabla 10.13

Capacidad antioxidante por ABTS y FRAP de las variedades registradas frescas y cocidas frente a la variedad testigo

Variedad	ABTS (μmol de Trolox/100 g de muestra liofilizada)		FRAP (μmol AA*/100 g de muestra)	
	Fresca	Cocida	Fresca	Cocida
Agrosavia Alhaja	9853,2	10674,9	109,4	196,0
Agrosavia Oyanza	5424,4	8377,7	89,15	172,9
Corpoica Sol Andina	7531,4	8392,5	78,4	184,08
Corpoica Tiba	6915,6	8426,8	87,8	182,78
Agrosavia Estrella	7258,5	8459,6	103,17	184,46
Criolla Colombia (Testigo)	6528,8	7525,0	85,0	138,6

Nota. * AA = Ácido ascórbico. Cerón et al. (2018)

Tabla 10.14

Vitamina C y fenoles de las variedades registradas frescas y cocidas frente a la variedad testigo

Variedad	Vitamina C (mg AA*/100 g de muestra)		Fenoles (mg GAE**/100 g de muestra liofilizada)	
	Fresca	Cocida	Fresca	Cocida
Agrosavia Alhaja	15,88	6,29	259,20	355,80
Agrosavia Oyanza	13,20	7,80	161,60	278,20
Corpoica Sol Andina	12,85	6,06	268,80	306,24
Corpoica Tiba	16,02	9,25	216,20	283,35
Agrosavia Estrella	14,88	7,12	253,77	289,96
Criolla Colombia (Testigo)	17,39	5,62	219,20	253,26

Nota. * AA = Ácido ascórbico. **GAE = Acido Gálico, Cerón et al. (2018)



Cereceres-Aragón et al. (2018) publicaron que una ingesta diaria de fenoles en adultos de 280 ± 130 a 2.771 ± 1.552 mg/día presentan beneficios para la salud. En cuanto a la porción servida de 150 g y cocida de Corpoica Tiba contribuiría con 425,02 mg de GAE y de Corpoica Sol Andina con 459,36 mg de GAE, apoyando a los consumidores componentes de prevención de enfermedades.

Carotenoides. La presencia de carotenoides en la papa diploide se ha determinado por investigadores, como la zeaxantina (color naranja) y la luteína (color amarillo), cuyas proporciones varían con el cultivo y la variedad (Burgos et al., 2009; Leyton et al., 2013). En cuanto a las variedades registradas más el testigo Criolla Colombia de piel y de carne de color amarillo, se les determinó presencia del carotenoide α -caroteno. Estos componentes son pigmentos naturales que se encuentran de forma natural en muchos tubérculos y con valor nutricional en la dieta humana (Stange, 2016). El conocimiento de los carotenoides presentes en la papa diploide como pigmentos naturales, puede favorecer su aprovechamiento en la industria de alimentos (Leyton et al., 2013).

Tabla 10.15

Carotenoide α -caroteno en las nuevas variedades registradas y en la variedad Criolla Colombia

Variedades	$\mu\text{g /g de muestra en BS}^*$
Corpoica Sol Andina	1,1834
Agrosavia Estrella	1,3018
Agrosavia Oyanza	1,2722
Corpoica Tiba	1,3525
Agrosavia Alhaja	1,1743
Criolla Colombia (testigo)	0,7858

Nota. *BS: Base seca, Leyton et al. (2013)



Según la Tabla 10.15, Corpoica Tiba fue la nueva variedad que presentó mayor contenido de α -caroteno con $1,3525 \mu\text{g} / \text{g}$ de muestra en BS por encima de la variedad Criolla Colombia usada como testigo. Este carotenoide se ha determinado en variedades con carne amarilla, como Lu et al. (2001), quienes reportaron contenidos de 64 y $111 \mu\text{g} / 100 \text{ g}$ de muestra en BH para papa diploide.

Conclusiones

Debido a la gran biodiversidad de materiales de papa diploide de la Colección Central Colombiana de Papa del Banco de Germoplasma Vegetal del estado colombiano que administra AGROSAVIA, es importante conocer sus características físicas y químicas porque pueden ser una nueva opción de demanda en el mercado. Por esto es importante continuar con estudios para establecer sus posibles usos y aplicaciones en la industria de alimentos; así como, los beneficios nutricionales de estas variedades diploides.

Referencias

- Abedi G., Abdollahpour S. y Bakhtiar M.R. (2019). The physical and mechanical properties of potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers as related to the automatic separation from clods and stones. *Research in Agricultural Engineering*, 65(3), 77–84.
- Agle, W.M. y Woodbury, G.W. (1968). Specific gravity-dry matter relationship and reducing sugar changes affected by potato variety, production area and storage. *American Potato Journal*, 45(4), 119-131.
- Alvarez Ochoa, C.P., Garnica Holguin, A.M., Prieto Contreras, L., Poveda Pisco, J.C. y Universidad de La Salle. Patente de Invención NC2018/0008702 (2018). Método indirecto para la determinación de almidones a través de azúcares reductores en vegetales. Colombia: Superintendencia de Industria y Comercio.
- American Society of Agricultural and Biological Engineers [ASAE]. (2000). *Compression Test of Food Materials of Convex Shape*. (ASAE S368.4). ASAE.



- Association of Official Analytical Collaboration [AOAC] *International*. (2005a). AOAC 925.10 *Official methods of analysis*. Solids (total) and moisture in flour. AOAC International.
- Association of Official Analytical Collaboration [AOAC] *International*. (2005b). *Official methods of analysis of the AOAC* 940.26. Ash of fruits and fruit products. AOAC International.
- Association of Official Analytical Collaboration [AOAC] *International*. (2005c). *Official methods of analysis of the AOAC* 935.11. Protein in animal feed. AOAC International.
- Bello, L.E. y Pinzón, N.F. (1997). *Evaluación del efecto del tamaño de tubérculo-semilla sobre el rendimiento en papa criolla, variedad "Yema de Huevo" (Solanum phureja Juz. et Buk)*. Universidad Nacional de Colombia. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/21672?show=full>
- Benzie, I.F. y Strain, J.J. (1996). The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of Antioxidant Power: The FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239(1), 70-76.
- Bianeth, C. y Restrepo L.P. (2013). Compuestos fenólicos y carotenoides en la papa: revisión. *Actualización en nutrición* 14(1), 25-32
- Biswas, A.K., Sahoo, J. y Chatli, M.K. (2011) A simple UV-Vis spectrophotometric method for determination of β -carotene content in raw carrot, sweet potato and supplemented chicken meat nuggets, *Food Science and Technology*, 44, 1809-1813.
- Booth, R.H. y Shaw, R.L. (1989). *Principios de almacenamiento de la papa*. Centro Internacional de la papa (CIP).
- Buitrago, G.V., López, A.P., Coronado, A.P. y Osorno, F.L. (2004). Determinación de las características físicas y propiedades mecánicas de papa cultivada en Colombia. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 8(1), 102-110. <https://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662004000100015>



- Cereceres-Aragón, A., Rodrigo-García, J., Álvarez-Parrilla, E., y Rodríguez-Tadeo, A. (2018). Ingestión de compuestos fenólicos en población adulta mayor. *Nutrición hospitalaria*, 36 (2), 1-27.
<https://dx.doi.org/10.20960/nh.2171>
- Cerón, M.S., Álzate, A.F., Rojano, B.A. y Ñustez, C.E. (2018). Composición fisicoquímica y propiedades antioxidantes de genotipos nativos de papa criolla (*Solanum tuberosum* Grupo *Phureja*). *Información tecnológica*, 29(3), 205-216. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000300205>
- Chakespari A.G., Rajabipour A. y Mobli H. (2010). Post harvest physical and nutritional properties of two apple varieties. *Journal of Agricultural Science*, 2(3), 61–68.
- Cuastumal, H.G., Ledesma, M.A. y Ordoñez, L.E. (2016). Vitamina C y color superficial en tomate y pimentón verde: efecto de los tratamientos térmicos. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 20, 32 – 36.
- Espín, S., Villacrés, E. y Brito, B. (2004). Caracterización físico - química, nutricional y funcional de raíces y tubérculos andinos. En: V. Barrera, C. Tapia y A. Monteros, *Raíces y tubérculos andinos: alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador* (pp. 91-116). Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Centro Internacional de la Papa (CIP), Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación.
- Food and Agriculture Organization [FAO]. (2003). *Agricultura Orgánica, Ambiente y Seguridad Alimentaria*. FAO.
- Gallón Bedoya, M., Cortés Rodríguez, M., y Cotes Torres, J.M. (2019). Evaluation and modeling of the properties and antioxidant characteristics of a new potato variety (Primavera) during storage at 4 °C. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 72(2), 8873-8881.
<https://doi.org/10.15446/rfnam.v72n2.75155>



- Golmohammadi, A. y Afkari-Sayyah A.H. (2013) Long-Term Storage Effects on the Physical Properties of the Potato. *International Journal of Food Properties*, 16(1), 104-113. h
<https://doi.org/10.1080/10942912.2010.529978>
- Gómez, R. (2000). *Guía para las Caracterizaciones Morfológicas Básicas en Colecciones de papas Nativas. Germoplasma de Papa. Departamento de Mejoramiento y recursos Genéticos. Centro Internacional de la Papa (CIP).*
- Goñi, S.M. y Salvadori, V.O. (2015). *Color measurement from digital images.* <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/45660>
- Gould, W.A. (1999). *Potato production, processing y technology.* Woodhead Publishing.
- Grunenfelder L, Hiller LK y Knowles NR. (2006). Color indices for the assessment of chlorophyll development and greening of fresh market potatoes. *Postharvest Biology and Technology*, 40(1), 73-81. h
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2005.12.018>
- Herrera, A. y Rodríguez, L., (2011). *Tecnologías de producción y transformación de papa criolla.* Universidad Nacional de Colombia.
- Hernández, N.C. y Suárez, J.A. (2009). *Caracterización de accesiones de Solanum phureja procedentes del banco de germoplasma vegetal que administra Corpoica por sus caracteres morfológicos, agronómicos e industriales* [Tesis de pregrado, Universidad de La Salle].
https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos/40
- Huamán, Z. (2008). *Descriptores morfológicos de la papa (Solanum tuberosum L.).* Centro de Conservación de la Biodiversidad Agrícola de Tenerife (CCBAT).
- Huertas, J. y Ligarreto, G.A. (2001). Clasificación de germoplasma de papa (*Solanum tuberosum* subsp. *tuberosum*) por parámetros de calidad para la industria de pasabocas. *Agronomía Colombiana*, 18(1-3), 79-87.



- Instituto Colombiano de Bienestar Familiar [ICBF]. (2018). *Tabla de composición de alimentos colombianos (TCAC)*. ICBF y Universidad Nacional de Colombia.
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2015). Resolución 003168. 7/09/2015. Reglamenta y controla la producción, importación y exportación de semillas producto del mejoramiento genético para la comercialización y siembra en el país, así como el registro de las unidades de evaluación agronómica y/o unidades de investigación en fitomejoramiento. ICA.
<https://www.ica.gov.co/getattachment/4e8c3698-8fcb-4e42-80e7-a6c7acde9bf8/2015R3168.aspx>
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2017a). Resolución 00011599. 23/09/2017. Registro de la variedad de papa criolla Corpoica-Sol Andina para la Subregión Natural Altiplano Cundiboyacense. ICA.
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2017b). Resolución 00011600. 23/09/2017. Registro de la variedad de papa criolla Corpoica-Tiba para la Subregión Natural Altiplano Cundiboyacense. ICA.
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2018). Resolución 00020077. 01/02/2018. Modificación parcial de la Resolución 00011600 del 23/09/2017 de la variedad de papa criolla Corpoica-Tiba para la Subregión Natural Altiplano Cundiboyacense. ICA.
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2019a). Resolución 00017700. 5/11/2019. Registro de la variedad Agrosavia Oyanza para Región Andina, Subregión Nudo de los Pastos. ICA.
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2019b). Resolución 00017702. 5/11/2019. Registro de la variedad Agrosavia Alhaja para Región Andina, Subregión Nudo de los Pastos. ICA.
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2020). Resolución 0068122. 20/05/2020. Modificación parcial a la Resolución ICA 1161 del 23/09/2017. Registro de la variedad de papa criolla Agrosavia Estrella. ICA.



- Jiménez, M. E., Rossi, A. M., y Sammán, N. C. (2009). Phenotypic, agronomic and nutritional characteristics of seven varieties of Andean potatoes. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22(6), 613-616.
- Kärenlampi, S.O y White, P.J. (2009). Chapter 5 - Potato Proteins, Lipids, and Minerals. En J. Singh y L. Kaur (Eds), *Advances in Potato Chemistry and Technology* (pp. 99-125). Academic Press.
- Leyton, G., Abdo, R., Prieto, L., Poveda, J.C. y Cerón, M.S. (2013). Carotenoids extracted from promising genotypes of Criolla potato (*Solanum tuberosum* Group *Phureja*) for food industry. *Revista Latinoamericana de la papa*, 17(2), 103-116. <http://35.231.225.15/index.php/rev-alap/article/view/200>
- Lu, W., Haynes, K., Wiley, E. y Clevidence, B. (2001). Carotenoid Content and Color in Diploid Potatoes. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 126, 722–726. <http://dx.doi.org/10.21273/JASHS.126.6.722>
- Lucas, J.C., Quintero, V.D., Vasco, J.F., y Cuellar, L. (2011). Evaluación de los parámetros de calidad durante la fritura de rebanadas de papa criolla. *Scientia et Technica*, 16(48), 299-304. <http://revistas.utp.edu.do>
- Martínez, A., Lee, R., Chaparro, D. y Páramo, S. (2003). *Postcosecha y mercado de hortalizas de clima frio bajo prácticas de producción sostenible*. Universidad Jorge Tadeo Lozano.
- Miller, G. (1959). Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry*, 31(3), 426–428.
- Molina, Y., Caez G.R., Rodríguez, M.L., Cerón, M.S. y Garnica, A.M. (2015). Contenido de antioxidantes en papas criollas nativas (*Solanum tuberosum* Grupo *Phureja*) en proceso de precocción y congelación. *Alimentos Hoy*, 23(36), 31-41. <https://alimentos hoy.acta.org.co/index.php/hoy/article/view/341/292>
- Moreno, J. (2000). Calidad de la papa para usos industriales. *Papas colombianas 2000 con el mayor entorno ambiental*, 3(1-2), 44-77. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/20385>



- Moreno, J.D., Cerón, M.S., y Valbuena, R.I. (2009). *Papas Nativas Colombianas, Catálogo de 60 Variedades*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Moreno, M. (2017). La importancia del color en los alimentos. *Revista Alimentaria*, 6–7.
- Mosquera, C. J. (2003). *La modesta papa criolla Solanum phureja*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. <http://hdl.handle.net/11348/3649>
- Muñoz, M. (2014). Composición y aportes nutricionales de la papa. *Revista Agrícola*, 36-37.
- National Institutes of Health – NIH. (2019). *Datos sobre la vitamina C*. Office of Dietary Supplements. <http://ods.od.nih.gov/HealthInformation/RecursosEnEspanol.aspx>
- Ñustez, C.E. (2011). *Variedades colombianas de papa*. Universidad Nacional de Colombia, Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria [Fontagro], Instituto de Investigaciones agropecuarias [INIA], Red Latinpapa Red Iberoamericana de Innovación en Mejoramiento y Diseminación de la papa. <https://drive.google.com/file/d/0B0d7qZ6xkUiRTVzdzd5dnFsdjg/view>
- Palacios, B.C., Jaramillo, V.S., González, S.L. y Cotes, T. 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. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/12002>
- Patel, MB, Alok Nath ER, y Dr. Mayani JM. (2018). Evaluation of physical and mechanical properties of fresh potato. *International Journal of Chemical Studies* 6(5): 1454-1459.
- Peña Melo, C. (2015). Evaluación del contenido nutricional y actividad antioxidante en *Solanum tuberosum* Grupo *Phureja* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia].



- Perla, V., Holm, D.G., y Jayanty, S.S. (2012). Effects of cooking methods on polyphenols, pigments and antioxidant activity in potato tubers. *LWT - Food Science and Technology*, 45(2), 161–171.
- Piñeiro-Di-Blasi, J.I., Martínez-Torres, J., Pozo-Antonio, J.S., Iglesias-Comesaña, C., Cuesta, L., Taboada-Castro, J., Gajino-Núñez, P., y Tresaco-Vidaller, E. (2014). Desarrollo de una aplicación para la comparación rápida de pigmentos a partir de sus coordenadas colorimétricas. *DYNA*, 81 (184), 49-54.
- Prieto, L., Álvarez, C.P., Cerón, M.S., Garnica, A.M., y Molina Y. (2013). *Manual de procesamiento de la papa criolla*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Universidad de La Salle y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).
<https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/13451>
- Re, R., Pellegrini N.; Proteggente A.; Pannala Y.; Yang M.; y Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology & Medicine*, 26, 1231-1237.
- Reddivari, L., Hale, A.L. y Miller, J.C. (2007). Determination of phenolic content, composition and their contribution to antioxidant activity in specialty potato selections. *American Journal of Potato Research*, 84, 275-282.
<https://doi.org/10.1007/BF02986239>
- Reyes, L.F. y Cisneros-Zevallos L. (2007). Degradation kinetics and colour of anthocyanins in aqueous extracts of purple- and red-flesh potatoes (*Solanum tuberosum* L.). *Food Chemistry* 100(3): 885-894.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.11.002>
- Rodríguez, D., Núñez, C.E. Cotes, M.J. y Rodríguez L.E. (2011). Heredabilidad del contenido de proteína total en papa diploide *Solanum tuberosum* Grupo *Phureja*. *Bragantia*, 70 (4), pp. 759-766. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052011000400005>
- Rosenthal, A.J. (2001). *Textura de los alimentos medida y percepción*. Acribia.



- Shakya, R. y Navarre, D.A. (2006). Rapid screening of ascorbic acid, glycoalkaloids, and phenolics in potato using high-performance liquid chromatography. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 5253-5260.
- Schippers, P. (1976). The relationship between specific gravity and percentage dry matter in potato tubers. *American Potato Journal*, 53(4), 111-122.
- Stange, C. (2016). *Carotenoids in Nature. Biosynthesis, Regulation and Function*. Springer.
- Stark, J.C, Love, S.L. y Knowles, N.R. (2020). Tuber Quality. En J. Stark, M. Thornton, y P. Nolte (Eds), *Potato Production Systems* (pp.479-497). https://doi.org/10.1007/978-3-030-39157-7_15
- Torres, L., Montesdeoca, F. y Andrade, J. (2011). Manejo del tubérculo semilla. Centro Internacional de la Papa (CIP). <http://cipotato.org/es/sin-categorizar/manejo-del-tuberculo-semilla/>
- Vázquez-Carrillo, M.G., Santiago-Ramos, D., Rubio-Covarrubias, O.A., Torres-Cervantes, C.M., Ayala-Rosas, A.R., y Vargas-Vázquez, M.L.P. (2016). Efecto ambiental en características fisicoquímicas de papas de la Mesa Central de México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(5), 1051-1064.
- Waglay, A. y Karboune, S. (2016). Chapter 4 - Potato Proteins: Functional Food Ingredients. En J. Singh y L. Kaur (Eds.) *Advances in Potato Chemistry and Technology (Second Edition)*, pp 75-104. Academic Press.
- Zapata, K., Cortes, F.B. y Rojano, B.A. (2013). Polifenoles y actividad antioxidante del fruto de Guayaba Agria (*Psidium araca*). *Información tecnológica*, 24(5), 103-112.



CAPITULO 11

Aprovechamiento Potencial de la Papa Diploide (*Solanum phureja* Juz. et Buk.) para la Industria Alimentaria

Ana Magdalena Garnica Holguín¹, Lena Prieto Contreras¹,
Claudia Patricia Álvarez Ochoa¹, María del Socorro Cerón Lasso²

Resumen

La industrialización de la papa diploide (*Solanum phureja* Juz. et. Buk.) en Colombia es del interés de algunas industrias alimentarias que reconocen la importancia de las características de este tubérculo para obtener productos exportables por sus contenidos nutricionales y sensoriales. Por esa razón, diferentes alternativas de procesamiento de los tubérculos se propusieron con los criterios de calidad de la industria alimentaria. Los tubérculos de papa cosechados de una planta generalmente tienen diferentes tamaños y para evitar pérdidas poscosecha, se propusieron cuatro productos principales con sus rendimientos para la industrialización (conservas, precocidas congeladas, harina precocida y fritas en hojuelas). Así mismo, el cambio del color, la textura y los atributos sensoriales de los productos se evaluaron en las variedades procedentes de los Departamentos de Cundinamarca y de Nariño. Como resultado de la investigación, las variedades registradas Agrosavia Estrella y Corpoica Tiba sobresalieron por su textura en papas fritas en hojuelas y precocida congelada. Las hojuelas freídas de la variedad Corpoica Sol Andina presentó menor sensación grasa y menor tendencia al quemado. La variedad Agrosavia Alhaja obtuvo buenos resultados para precocido congelado, chips y un buen contenido de fibra dietaria. Adicionalmente se desarrollaron otros productos potenciales, como: puré deshidratado, papa en cocción al vacío (sous vide), vodka, galletas a partir del subproducto de la extracción del almidón, pan con harina de papa diploide e inclusión de almidón extraído de los tubérculos en mortadela y espagueti.

Palabras Clave: desarrollo industrial, colorimetría, propiedades reológicas, propiedades organolépticas, valor agregado del producto, innovación.

¹ Universidad de La Salle, Bogotá – Colombia.

² Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Tibaitatá, Mosquera, Cundinamarca-Colombia.



Abstract

The industrialization of diploid potato (*Solanum phureja* Juz. et. Buk.) in Colombia is of interest to some food industries that recognize the importance of characteristics of this tuber to obtain exportable products due to their nutritional and sensory contents. For that reason, different alternatives for processing of the tubers were proposed with quality criteria of food industry. Potato tubers harvested from a plant generally have different sizes and to avoid post-harvest losses, four main products were proposed with their yields for industrialization (canned, precooked frozen, precooked flour, and chips). Likewise, change in color, texture, and sensory attributes of the products were evaluated with varieties from Departamentos de Cundinamarca and Nariño. As a result of research, the registered varieties Agrosavia Estrella and Corpoica Tiba stood out for their texture chips and precooked frozen. The fried flakes of Corpoica Sol Andina variety presented less greasy sensation and less tendency to burn. Agrosavia Alhaja variety obtained good results for frozen precooked food, chips, and a good dietary fiber content. Additionally, other potential products were developed, such as: dehydrated puree, vacuum cooked potatoes (sous vide), vodka, cookies from the by-product of starch extraction, bread with diploid potato flour, and inclusion of starch extracted from tubers in bologna and spaghetti.

Keywords: industrial development, colorimetry, rheological properties, organoleptic properties, product added value, innovation.

Introducción

La agroindustria entendida como las actividades posteriores a la cosecha relacionadas con transformación, conservación y preparación de la producción agrícola para su consumo, es un factor que aporta al desarrollo de la economía nacional y favorece la creación de ingresos y de oportunidades de empleo en los países en desarrollo (Wilkinson y Rocha, 2013). Además, los procesos de



transformación y conservación de alimentos permiten ampliar la oferta de alimentos disponibles, ayudan a prolongar la vida útil de estos, contribuyen a garantizar la seguridad alimentaria y diversifican las oportunidades de exportación como es el caso de la papa diploide (Herrera et al., 2011).

De esta forma, el interés de varios países por incorporar y aumentar el consumo de papa es una gran oportunidad para innovar en procesos y dar valor agregado a los productos tradicionales para satisfacer la demanda de los mercados nacionales e internacionales, que se interesan en productos frescos, congelados y procesados de fácil preparación (Villacrés et al. 2004).

Con el fin de diversificar el consumo de la papa diploide y dar opciones de proyectos agroindustriales para el desarrollo empresarial de los productores de papa, se seleccionaron procesos fáciles de adaptar y que pueden ser puestos en práctica a nivel comunitario. Entre ellos se encuentran, la papa conservada en salmera o en líquido de cobertura, la papa en precocida congelada, las papas fritas en hojuelas o chips y la producción de harina de papa precocida. Así mismo, fue necesario evaluar parámetros como el sabor y en la textura de estos alimentos ya que el mercado es cada vez más exigente (Stewart y Taylor, 2017). Por otra parte, se estudiaron otros procesos de transformación de la papa diploide para aplicarse en sustitución parcial de harinas y, además, se propuso usar los residuos de los tubérculos de la extracción del almidón como materia prima con el fin de desarrollar procesos sostenibles y amigables con el medio ambiente (Prada, 2012).

Metodología

A partir de genotipos y de las variedades registradas de papa diploide : Corpoica Sol Andina, Corpoica Tiba y Agrosavia Estrella de la Subregión del Altiplano Cundiboyacense del Departamento de Cundinamarca (ICA, 2017a, 2017b, 2017c, 2018) y Agrosavia Alhaja y Agrosavia Oyanza de la Subregión del Nudo de Los Pastos en el Departamento de Nariño (ICA, 2019a, 2019b) de la Colección Central Colombiana de Papa del Banco de Germoplasma



Vegetal del estado colombiano que administra AGROSAVIA y de la variedad comercial Criolla Colombia como testigo, se tomó 1 kg de cada variedad de los Municipios de: Granada, El Rosal, Subachoque y Sibaté del Departamento de Cundinamarca y de Córdoba, Ipiales, Puerres y Pasto en el Centro de Investigación (C.I.) Obonuco de AGROSAVIA del Departamento de Nariño.

En la Planta Piloto de Frutas y Hortalizas de la Universidad de La Salle en Bogotá (Colombia), se realizaron procesos de transformación de estos tubérculos con las actividades descritas por Prieto et al. (2013). Adicionalmente, durante el desarrollo de la investigación también se estudió la obtención de otros productos potenciales de papa diploide.

Principales Productos

Para dar valor agregado a los tubérculos de papa diploide, se seleccionaron cuatro procesos de transformación: papa en conserva, papa precocida y congelada, papa en hojuelas o chips y harina a partir de papa precocida. Los productos fueron definidos a partir de las tendencias del mercado y el potencial de este tubérculo para diferenciarlo de los productos básicos tradicionales en los mercados internos de Colombia y externos, como es el caso de Japón, Estados Unidos y la Unión Europea (Guzmán, 2016; Moreno-Ortiz y Ruge-Caraballo, 2015).

Papa en Conserva. En el proceso de conserva se seleccionaron los tubérculos sin daños y con tamaño uniforme, de diámetro inferiores a 25 mm o de tamaño pequeño según la Resolución 3168 del 2015 expedida por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA, 2015) y del tamaño conocido por los productores del Departamento de Cundinamarca (Colombia) como *riche*, puesto que este diámetro favorece el manejo de los tubérculos para el envasado en los recipientes de vidrio. Para obtener este producto se siguió el proceso descrito en la Figura 11.1. El líquido de cobertura estaba constituido por 73,6% de agua, 19,1% de vinagre, 3,8% de sal y 3,5% de azúcar (Prieto et al. 2013).

Papa Precocida y Congelada. Se usaron para este proceso papas dentro del diámetro de 21 a 35 mm o de tamaño pequeño y mediano según



medidas establecidas en la Resolución 3168 (ICA, 2015). Y se siguió el proceso relacionado en la Figura 11.2.

Papa Frita en Hojuelas o Chips. Los tubérculos de tamaños medianos, grandes y muy grandes (> 35 mm) se eligieron para la elaboración de papas fritas en hojuelas o chips, puesto que este diámetro garantiza su adecuado manejo para una mejor tajada. En la Figura 11.3 se observa el procedimiento seguido en este proceso.

Harina a Partir de Papa Diploide Precocida. Las papas de descarte (por tamaño o forma) fueron procesadas como harina precocida con el fin de disminuir las pérdidas y los desperdicios de estos tubérculos y el proceso se realizó según la Figura 11.4.

Figura 11.1

Diagrama de flujo en bloques del proceso de papa diploide en conserva

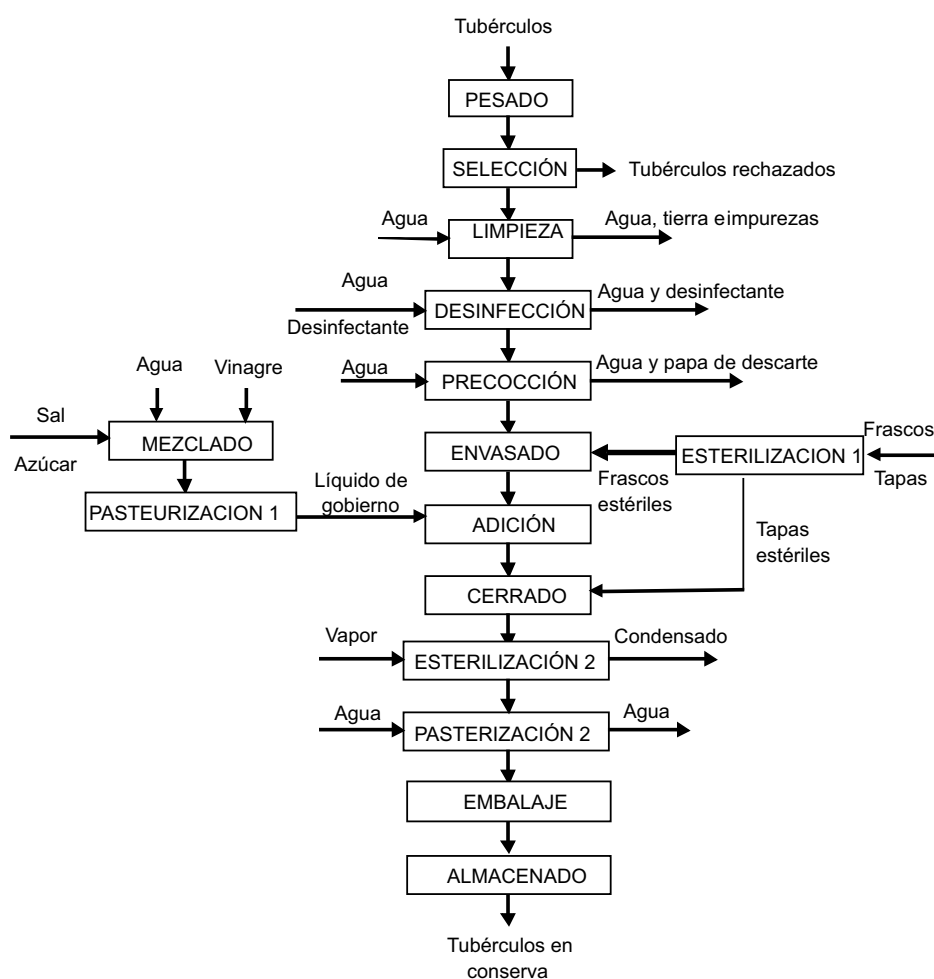


Figura 11.2

Diagrama de flujo en bloques del proceso de papa diploide precocida congelada

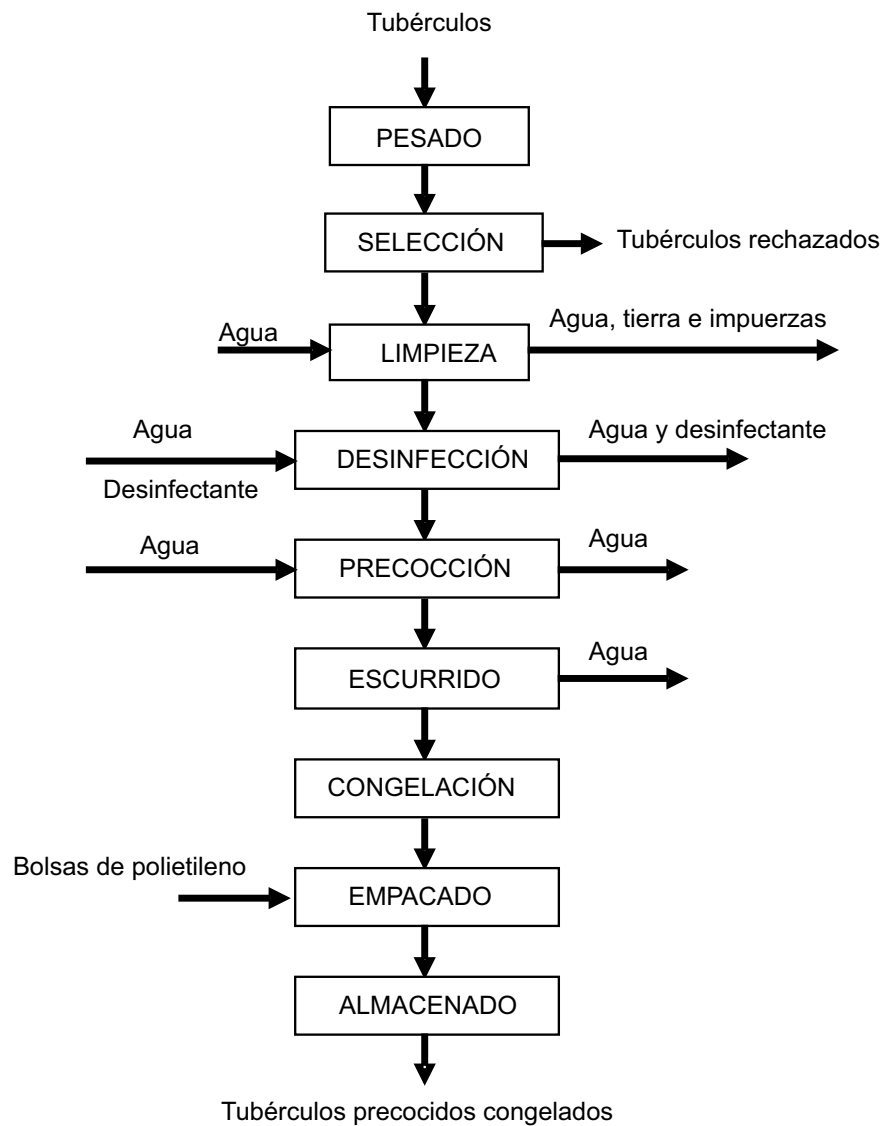


Figura 11.3

Diagrama de flujo de bloques del proceso de papa diploide frita en hojuelas

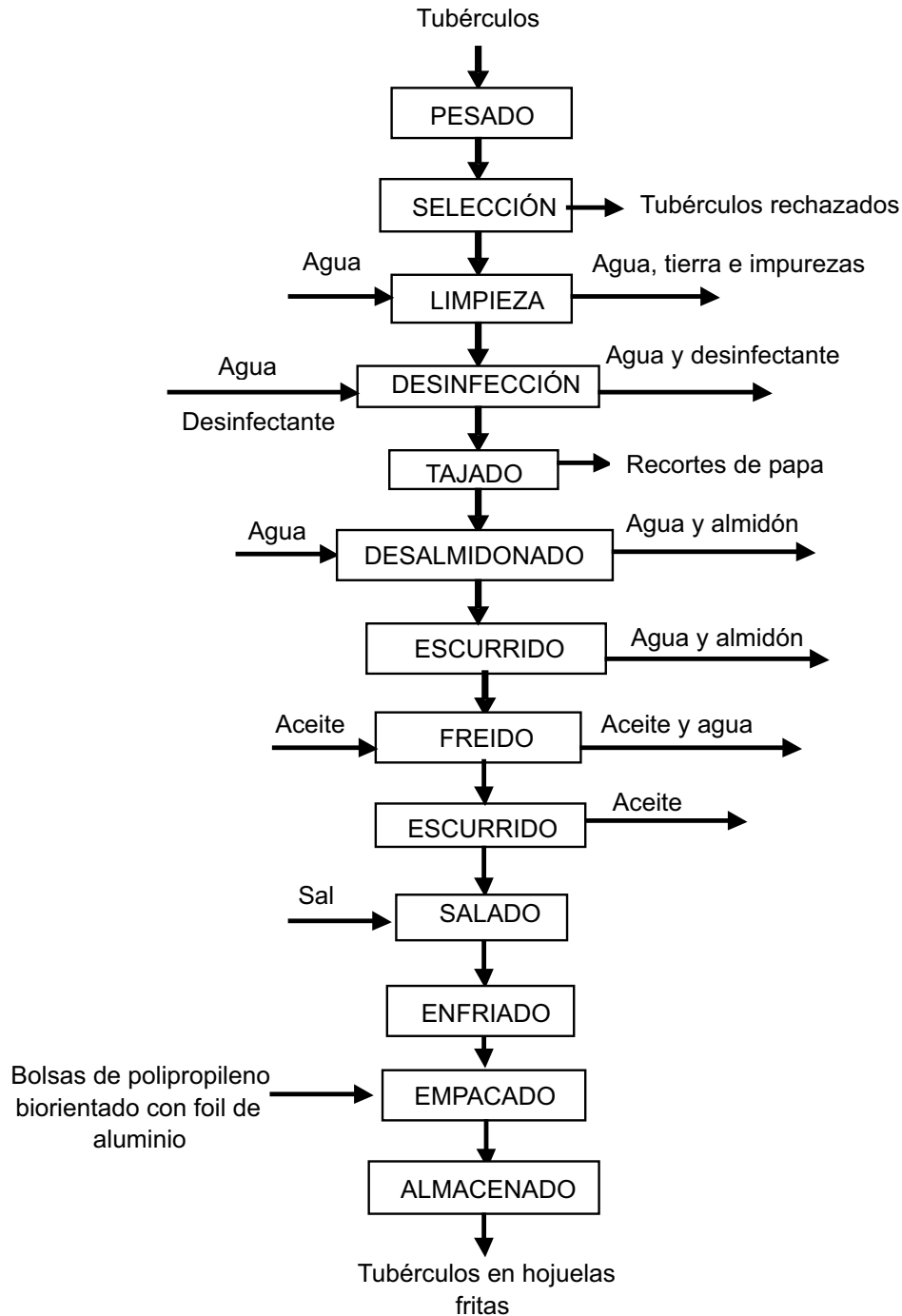
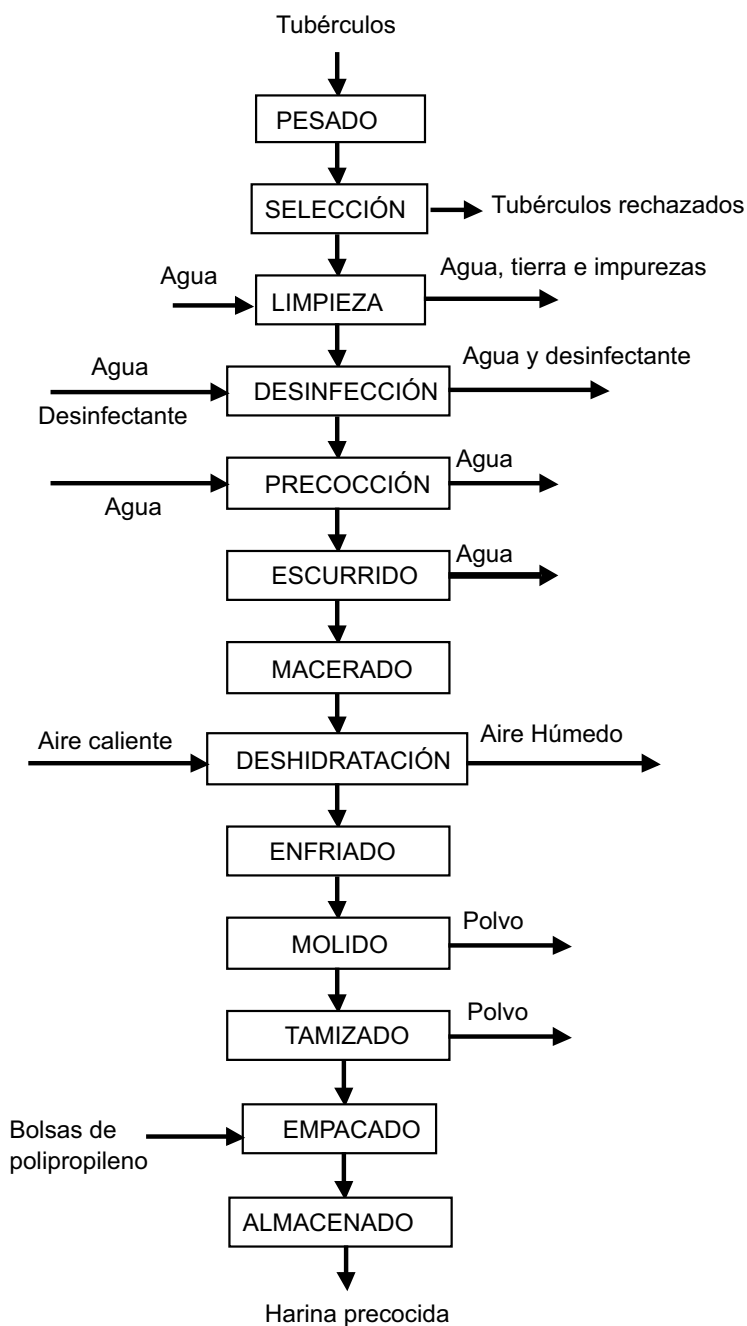


Figura 11.4

Diagrama de flujo de bloques del proceso de harina precocida de papa diploide



Consideraciones Generales para los Procesos de los Principales Productos

A los principales productos mencionados anteriormente, que fueron trabajados con los genotipos de papa diploide por su potencial de industrialización y de exportación, se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones durante sus procesos de transformación.

Criterios de Selección. A partir de las experiencias y resultados obtenidos de las características físicas y nutricionales de los tubérculos expuestas en el capítulo anterior, se establecieron criterios de selección de la papa diploide para su aprovechamiento en los productos alimenticios propuestos.

Control de la Enzima Peroxidasa. Con el fin de evitar el cambio de color, sabor y olor de los tubérculos precocidos para la producción de harina, de papa congelada y de conserva, se estableció el tiempo ideal de precocción. Para lo cual, se evaluó la actividad residual de la enzima peroxidasa mediante el desarrollo de coloración con una solución de peróxido de hidrógeno-guayacol (Lozoya - Saldaña et al., 2007), en los tubérculos con un diámetro promedio de 35 mm, en ensayos de escaldado a diferentes tiempos (Garnica et al., 2015), bajo las condiciones de Bogotá, Colombia (2.600 msnm).

Rendimiento. Para la conserva, el precocido congelado, la fritura y la harina de papa diploide, se evaluó el rendimiento de cada proceso según las fórmulas presentadas en la Tabla 11.1.

Tabla 11.1

Rendimientos según el proceso de transformación

Producto	Fórmula de Rendimiento (R) en porcentaje (%)
Papa en conserva	$\% R = (\text{volumen papa sin líquido (mL)} \times 100) / \text{volumen papa por norma}^* (\text{mL})$
Papa precocida y congelada	$\% R = (\text{peso papa congelada (g)} \times 100) / \text{peso papa inicial (g)}$
Papa frita en hojuelas o chips	$\% R = (\text{peso papa frita en hojuelas (g)} \times 100) / \text{peso papa inicial (g)}$
Harina a partir de papa precocida	$\% R = (\text{peso harina (g)} \times 100) / \text{peso tubérculos iniciales (g)}$

Nota. * En Colombia, a la fecha se maneja como normativa para papa en conserva la Norma Codex Stan 260-2007 para las frutas y hortalizas encurtidas del Codex Alimentarius (2017), en la cual el volumen de productos enteros no debe representar menos del 40% del peso neto.



Colorimetría. Con el fin de analizar el color de los tubérculos precocidos-congelados (después de precocción, congelación y fritura), de las papa fritas como hojuelas y de las harinas, se utilizó un colorímetro Kónica Minolta® referencia CR-410C con iluminante D65 (luz de día) y observador patrón 10° bajo el modelo cromático de las coordenadas CIE L*a*b* (CIELAB) (L* luminosidad de color, a* posición entre rojo y verde, b* posición entre amarillo y azul) (Goñi y Salvadori, 2015); y los resultados fueron representados en gráficos del espacio CIE L*a*b*.

Textura. Las pruebas de textura permitieron identificar los principales parámetros o aspectos relacionados con las características de los productos elaborados a partir de papa diploide y, además, obtener valores instrumentales que fueron confrontados con los análisis realizados por el panel sensorial. Las pruebas de textura descritas en la Tabla 11.2 se realizaron en una máquina universal de esfuerzos.

Tabla 11.2

Referencias para determinación de textura y análisis sensorial por producto

Producto	Método de referencia	
	Textura	Análisis Sensorial
Papa en conserva	Dureza (Guateque, 2014)	Rivera (2006)
Papa precocida y congelada	Análisis del Perfil de Textura* (TPA por sus siglas en inglés) (Leung et al. (1983)	Rivera (2006)
Papa frita en hojuelas o chips	Ruptura o Fractura (Castro, 2008)	Castro (2008)

Nota. *El perfil de textura simula la masticabilidad de un alimento.

En cuanto a las papas precocidas congeladas fueron analizadas por TPA en dos momentos: luego de la precocción de 9 a 10 min (por su tamaño promedio de 3,5 cm) a 90 °C y después de la congelación de 8 días. Para la papa precocida, se dejó enfriar y fue sometida a la prueba de TPA a temperatura ambiente; mientras que la papa congelada fue descongelada a fritura moderada en aceite a 150 °C (sin descongelación previa para evitar la pérdida de agua y porque la fritura es el proceso más frecuente que realizan los consumidores para este alimento), e inmediatamente de su fritura se dejó enfriar para realizar la prueba de TPA.



Análisis Sensorial. Las pruebas de evaluación sensorial buscan conocer la aceptabilidad del producto entre el público objetivo o el consumidor y es usado como indicador de calidad (Olivas et al., 2009). Los productos elaborados a partir de las variedades fueron caracterizados por panelistas consumidores para medir los atributos sensoriales y aceptabilidad. Para esto, cada producto fue evaluado por puntaje con los atributos establecidos con los formatos propuestos en el Apéndice C, Tablas C-1 a C-6. Los datos obtenidos en las evaluaciones sensoriales se analizaron en un gráfico tipo araña para cada variedad y por municipio de procedencia.

Porcentaje de Quemado para Hojuelas Fritas. Para las hojuelas fritas (chips), se estableció el porcentaje de quemado basado en la apreciación visual de los materiales y comparados según las tonalidades presentadas por Dupuis et al. (2016), quienes relacionan 9 colores, de los cuales del 1 al 4 se consideran quemadas. El porcentaje se estableció según la siguiente ecuación:

$$\% \text{Quemado} = \frac{\text{Número de hojuelas quemadas}}{\text{Número total de hojuelas}} \times 100$$

Otros Productos Elaborados

Fuera de los productos principales mencionados, es importante resaltar el potencial de la papa diploide por sus componentes nutricionales y, por ende, se lograron otros productos como: papa diploide en cocción sous vide, puré deshidratado de papa diploide y almidón nativo o extraído. Este último producto brinda un gran aprovechamiento como ingrediente en formulaciones para la industria alimentaria y a partir de este, se obtuvieron productos con su inclusión, como: mortadela o producto cárnico, espagueti y vodka. Así mismo, se consideró el aprovechamiento de los residuos de los tubérculos arrojados en la extracción del almidón y se incluyeron en la formulación de galletas. Todos los otros productos mencionados se caracterizaron y, los gránulos de almidón se analizaron por microscopía óptica (40X) y el programa ImageJ®.



Productos Logrados

Para el procesamiento de los tubérculos se recomienda realizarlos con piel o cáscara, porque esta es una barrera que impide la pérdida de nutrientes (Prieto et al., 2013; Molina et al., 2015). Así mismo debido a su tamaño, el pelado implica además de las pérdidas nutricionales un desperdicio innecesario que genera pérdidas económicas (Álvarez et al., 2011).

Criterios de Selección

Con el fin de guiar a los productores, industriales y personas interesadas en el escalamiento o industrialización de los productos a partir de papa diploide (Cerón et al., 2014) y frente a la necesidad de estandarizar estos productos, se establecieron parámetros de selección de los tubérculos para cada proceso (Tabla 11.3).

Tabla 11.3

Características de los tubérculos de papa diploide según el proceso de transformación

Variable	Papa en conserva	Papa precocida congelada	Papa en hojuelas o chips	Harina de papa precocida
Forma	Redonda o comprimida	Redonda o comprimida	Redonda o comprimida	Indiferente
Diámetro	Inferior a 25 mm	Entre 21 a 35 mm	Superior a 35 mm	Indiferente
Profundidad de ojos	Superficiales	Superficiales	Superficiales	Indiferente
Color*	Característico de la variedad	Característico de la variedad	Característico de la variedad	Característico de la variedad
Materia seca	Inferior al 20%	Inferior al 20%	Mayor al 20%	Mayor al 20%
Azúcares reductores	Inferiores al 0,3%	Inferiores al 0,3%	Inferiores al 0,3%	Inferiores al 0,5%
Almidón	Menor al 16%	Menor al 16%	Mayor al 16%	Mayor al 16%

Nota. *Los genotipos procesados fueron de color amarillo característico, pero la presentación del producto varía en el caso que se aproveche papa diploide de otros colores.

En la Tabla 11.3 se propuso utilizar en los diferentes procesos todos los tubérculos de una cosecha de papa diploide según su tamaño y con el fin de evitar las pérdidas y desperdicios de este alimento. También se observa que la materia seca debe ser mayor al 20% para los procesos de fritura y harina, los cuales involucran la deshidratación de la papa (Hasbún et al. 2009).



Otros autores como Ligarreto y Suárez (2003) basados en información del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA] y el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR] (1999) proponen valores diferentes en algunas de las características descritas en la Tabla 11.3. Cabe mencionar que el reporte del IICA y del MADR contiene información para otras variedades de papa. También se debe considerar que las condiciones ambientales y de cultivo afectan la composición química de los tubérculos, razón por la cual, es responsabilidad del área de producción de las empresas establecer sus propios criterios de selección para cada proceso, basados en las fichas técnicas de la materia prima (tubérculos) según su lugar de procedencia, comportamiento en el procesamiento y criterios que favorezcan la disminución de pérdidas y desperdicios de los tubérculos.

Control de la Enzima Peroxidasa

Se encontró que 10 min (Figura 11.5) es el tiempo promedio necesario para inactivar la enzima peroxidasa de los tubérculos con diámetro promedio de 35 mm (Garnica et al., 2015). Es importante indicar que este tiempo puede variar según el grado de maduración de los tubérculos, el tamaño y su lugar de cultivo, por lo cual se recomienda efectuar siempre esta prueba para establecer los tiempos de escaldado ideales antes de la producción a gran escala.

Figura 11.5

Actividad residual de la enzima peroxidasa del minuto 2 al 10



Nota. Fotografía tomada por Ana Magdalena Garnica Holguin



Es importante recordar que el control de la enzima peroxidasa³ es usado como parámetro de escaldado adecuado debido a la facilidad con la que se determina su actividad y por su estabilidad al calor comparada con otras enzimas. Para garantizar un buen escaldado, se acepta una disminución superior al 90% en su actividad (Guthrie, 1931).

Principales Productos

Los hallazgos importantes de los procesos establecidos por su potencial para dar valor agregado a los tubérculos de papa diploide y para aprovechar todos sus tamaños, se presentan a continuación.

Papa en Conserva. Los tubérculos de papa diploide fueron elaborados en conserva (Figura 11.6) y, las operaciones con los equipos, el flujo de materia y servicios que se requieren para la industrialización se encuentran en el Apéndice D, Tabla D-1. En este proceso se identificó que en la etapa de selección se pueden presentar tubérculos rechazados (o pérdidas) por tamaño, forma, color o apariencia, las cuales se recomienda utilizarlas para la producción de harina o según su estado fitosanitario, se sugiere emplearlas para la alimentación animal, para la producción de biocombustibles o para compostaje (abono). Así mismo, se encontró que los altos contenidos de materia seca en algunos genotipos ocasionaron la ruptura de algunos tubérculos durante el proceso de precocción, lo cual se corrobora con Rodríguez et al. (2009). Y se identificó que en promedio los rendimientos para los genotipos de papa diploide evaluados en la investigación se encontraron entre 91% (Prieto et al., 2013).

Figura 11.6

Variedad Agrosavia Estrella en conserva



Nota. Fotografía tomada por Ana Magdalena Garnica Holguin

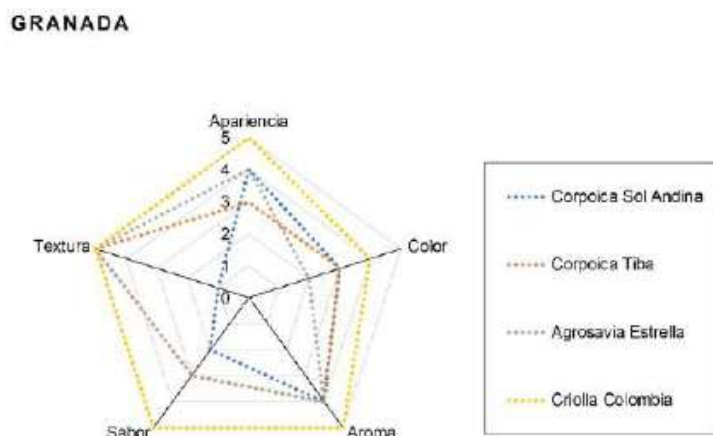
³ La enzima peroxidasa altera el color (produce un pardeamiento u oscurecimiento) y el sabor de los tubérculos por medio de la oxidación y polimerización de compuestos fenólicos.



Análisis Sensorial. El análisis sensorial de las conservas (Figura 11.7) se realizó para las variedades del Municipio de Granada (Cundinamarca) y permitió concluir que Agrosavia Estrella sobresalió por su textura, apariencia y aroma solo antecedida por la variedad Criolla Colombia la cual tiene alto potencial para este proceso por sus buenas características organolépticas (Rivera et al., 2011). En general, para las conservas de papa, la mezcla de sal y ácido acético alteró el sabor característico el cual no fue del agrado de los panelistas consumidores potenciales, razón por la cual se sugiere estudiar otras formulaciones con un líquido de cobertura que realce el sabor del producto y que tenga mayor aceptación.

Figura 11.7

Atributos evaluados en las variedades registradas de papa diploide y el testigo Criolla Colombia en conserva



Papa Precocida y Congelada. Las papas congeladas presentan varias ventajas: fácil y rápida preparación; conservación del sabor, textura y valor nutritivo; pocos desperdicios y para su conservación no se necesitan preservantes. Además, gracias a los fuertes y rápidos cambios de temperatura se reduce de forma importante la presencia de microorganismos. El rendimiento de las papas precocidas congeladas de las variedades se encontraron en un rango de 91,28 al 99,71% (Tabla 11.4.) y la variedad que sobresalió por su rendimiento fue Agrosavia Alhaja (Figura 11.8) del Municipio de Córdoba (Nariño, Colombia).



Tabla 11.4

Rendimientos (R) para los principales productos por variedad y por lugar de cultivo

DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA				
Municipios	Variedades	R. Congelado (%)	R. Hojuelas (%)	R. Harina (%)
Granada	Corpoica Sol Andina	98,59 ± 1,11	21,84 ± 4,55	10,43 ± 1,69
	Corpoica Tiba	98,54 ± 1,65	26,33 ± 1,90	12,01 ± 2,75
	Agrosavia Estrella	98,37 ± 1,00	27,51 ± 1,37	10,16 ± 0,84
	Criolla Colombia	98,90 ± 1,26	27,49 ± 2,09	10,82 ± 1,11
El Rosal	Corpoica Sol Andina	98,13 ± 3,74	31,88 ± 2,78	9,43 ± 0,61
	Corpoica Tiba	93,40 ± 8,13	34,52 ± 2,27	11,60 ± 2,18
	Agrosavia Estrella	96,72 ± 6,57	25,02 ± 4,02	10,86 ± 1,43
	Criolla Colombia	96,71 ± 6,57	34,80 ± 7,69	10,43 ± 1,98
Sibaté	Corpoica Sol Andina	97,65 ± 1,60	32,30 ± 5,20	15,84 ± 1,98
	Corpoica Tiba	98,21 ± 1,32	32,31 ± 2,03	14,31 ± 2,35
	Agrosavia Estrella	97,25 ± 2,22	31,64 ± 4,36	15,51 ± 3,53
	Criolla Colombia	97,91 ± 0,75	35,47 ± 2,34	14,44 ± 1,49
Subachoque	Corpoica Sol Andina	97,72 ± 1,13	21,28 ± 7,66	12,09 ± 2,63
	Corpoica Tiba	97,41 ± 1,19	23,33 ± 0,93	14,75 ± 2,26
	Agrosavia Estrella	97,82 ± 1,06	18,95 ± 2,22	13,53 ± 1,67
	Criolla Colombia	98,01 ± 0,93	21,51 ± 1,32	10,43 ± 0,95
DEPARTAMENTO DE NARIÑO				
Córdoba	Agrosavia Alhaja	99,71 ± 1,39	30,63 ± 3,43	7,46 ± 0,95
	Agrosavia Oyanza	97,98 ± 0,85	27,44 ± 1,69	8,37 ± 0,88
	Criolla Colombia	98,91 ± 1,18	23,42 ± 5,57	7,06 ± 1,19
Ipiiales	Agrosavia Alhaja	99,58 ± 0,29	26,24 ± 0,26	13,43 ± 0,03
	Agrosavia Oyanza	99,48 ± 0,10	26,02 ± 0,23	13,69 ± 0,25
	Criolla Colombia	97,72 ± 0,29	27,83 ± 0,30	9,25 ± 0,01
Pasto	Agrosavia Alhaja	99,60 ± 0,32	22,64 ± 1,27	8,98 ± 0,02
	Agrosavia Oyanza	99,58 ± 0,38	24,84 ± 0,83	8,48 ± 0,04
	Criolla Colombia	98,90 ± 0,30	23,97 ± 0,19	9,23 ± 0,05
Puerres	Agrosavia Alhaja	91,28 ± 5,26	30,97 ± 1,38	17,11 ± 3,28
	Agrosavia Oyanza	99,74 ± 1,64	30,46 ± 0,32	15,59 ± 2,87
	Criolla Colombia	95,96 ± 3,79	31,24 ± 2,80	16,90 ± 2,31

En el Apéndice D, Tabla D-2 se observan las operaciones y los flujos de materiales que se requieren para la elaboración de este producto. En el proceso se identificó que se pueden presentar pérdidas por el rechazo de tubérculos por tamaño, forma, color o apariencia, los cuales se pueden utilizar (si su estado fitosanitario lo permite) para la producción de harina o de lo contrario, se recomienda usarlas



para la alimentación animal, producción de biocombustible o como abono (compostaje).

Figura 11.8

Variedad Agrosavia Alhaja precocida congelada



Nota. Fotografía tomada por Liliana Paola Montejo

Adicionalmente, Garnica et al. (2015) estudiaron el comportamiento de la congelación de 16 genotipos de papa diploide procedentes del Municipio de Sibaté (Departamento de Cundinamarca). A los tubérculos se les determinó la materia seca y el pH a los 0, 90 y 180 días de almacenamiento a -18°C . De las curvas registradas en el software PCIM 7.2® se hallaron velocidades nominales, los tiempos críticos y los puntos de congelación para cada material con el fin de ser valores de referencia en la implementación de este proceso a nivel industrial.

Por otra parte, Molina et al. (2015) analizaron el efecto de la precocción y congelación en las sustancias bioactivas de la papa diploide. Para ello, se evaluó el contenido de antioxidantes en fresco, en precocción y almacenados en congelación por 60 días, de tres genotipos con pigmentaciones cultivados en el Municipio de Granada (Departamento de Cundinamarca). En este estudio se concluyó que la precocción favoreció la retención de los compuestos antioxidantes, pero la congelación afectó el contenido de vitamina C, los fenoles totales y la actividad antioxidante en los tubérculos.

Colorimetría. En la Tabla 11.5 y 11.6 se presentan los resultados obtenidos para la medición del color donde se encontró que la piel o la cáscara de los tubérculos de las variedades registradas para los municipios evaluados en los Departamentos de Cundinamarca y de Nariño cocidos y congelados, fueron de



color amarillo ($b^* < 2,34$) con tendencia al rojo ($a^* > 0$), mientras que la carne o pulpa presentó coloraciones amarillas ($b^* < 38,53$) con una leve tendencia al color verde ($a^* < 0$). En su gran mayoría los tubérculos expresaron un aumento en su luminosidad (L^*) de papa cocida a papa congelada, tanto en la piel como en la carne. Es importante señalar que las variaciones en los valores de a^* se pueden presentar por los cambios en los compuestos coloreados como antiocianinas (Reyes y Cisneros, 2007) y la luminosidad (L^*) se ve influenciada por la transformación de amiloplastos a cloroplastos (Grunenfelder et al., 2006). Del mismo modo, los resultados obtenidos también corroboraron que el color se modificó por el tratamiento térmico (Molina et al., 2015).

Perfil de Textura (TPA). En la Tabla 11.7 y 11.8 se muestran los resultados del TPA para las variedades seleccionadas y la variedad testigo (Criolla Colombia) precocidas y congeladas procedentes de los Departamentos de Cundinamarca y de Nariño respectivamente. En general se observó que los valores de dureza y de rigidez de los tubérculos disminuyeron después de ser congelados y sometidos al freído para su consumo, en relación con el valor inicial después de la precocción, aumentando la facilidad de la masticación.

Los valores de dureza para los Departamentos de Cundinamarca y de Nariño se acercan a lo reportado por García-Segovia et al. (2008) para procesos a temperaturas superiores a 90°C . Las variedades Corpoica Sol Andina, Agrosavia Estrella y Criolla Colombia cosechadas en el Municipio de Subachoque en el Departamento de Cundinamarca y cocidas, exhibieron mayor dureza entre 61,29 a 68,02 N con baja cohesividad. La variedad Agrosavia Oyanza del Departamento de Nariño tuvo mayor dureza de 58,43 N y también con cohesividad baja. Así mismo, se observó que la cohesividad disminuye con los tratamientos a altas temperaturas tal como se evidenció en las Tablas 11.7 y 11.8. Esta relación inversa entre estas dos variables del TPA, demostró que los gránulos de almidón gelatinizados durante la cocción produjeron un desprendimiento celular facilitando la desintegración del tubérculo durante la acción mecánica de la masticación (González et al., 2015; Guateque, 2014).



Tabla 11.5

Colorimetría de las variedades registradas de papa diploide y el testigo Criolla Colombia cocidas y congeladas del Departamento de Cundinamarca (Colombia)

DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA													
Municipio	Variedad	Piel o cáscara						Pulpa o carnosidad					
		Cocida			Congelada			Cocida			Congelada		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
Granada	Corpoica Sol Andina	46,33	3,83	20,42	47,07	5,27	16,61	58,11	-4,83	31,52	67,42	-2,09	31,52
	Corpoica Tiba	46,28	3,64	18,50	46,72	4,66	12,68	57,72	-5,21	30,02	62,09	-1,69	31,54
	Agrosavia Estrella	46,50	3,49	17,97	50,65	2,08	18,56	57,83	-3,27	31,61	58,17	-2,98	20,98
	Criolla Colombia	53,61	3,16	22,18	46,01	2,31	19,46	61,41	-4,09	33,09	66,90	-1,58	29,00
	Representación gráfica del modelo CIE L*a*b* (CIELAB)												
El Rosal	Corpoica Sol Andina	23,53	2,47	5,86	25,26	1,91	7,10	29,85	-0,37	15,07	31,87	-1,16	12,96
	Corpoica Tiba	21,78	2,64	3,22	26,84	1,47	7,55	34,49	-0,67	17,39	34,25	-0,90	16,40
	Agrosavia Estrella	29,01	3,31	8,75	26,02	1,92	7,58	34,53	-0,57	17,84	32,46	0,47	15,92
	Criolla Colombia	32,21	6,21	10,12	30,61	3,78	6,37	36,11	0,74	16,03	44,09	-0,84	13,16
	Representación gráfica del modelo CIE L*a*b* (CIELAB)												
Sibaté	Corpoica Sol Andina	57,15	-0,94	24,04	45,32	4,94	19,49	58,76	-5,83	27,45	67,71	-2,77	34,20
	Corpoica Tiba	49,96	2,94	22,76	40,73	10,25	14,27	58,30	-5,07	36,10	67,47	-0,73	38,43
	Agrosavia Estrella	59,16	-0,05	23,18	53,95	3,39	32,34	53,95	-5,05	29,82	69,35	-2,68	35,53
	Criolla Colombia	48,13	1,70	22,62	58,58	0,92	27,17	55,08	-4,79	28,58	63,95	-1,74	32,20
	Representación gráfica del modelo CIE L*a*b* (CIELAB)												
Subachoque	Corpoica Sol Andina	39,13	2,55	18,88	49,71	1,62	16,48	48,49	-1,12	29,91	60,27	-1,48	35,62
	Corpoica Tiba	46,51	2,71	18,69	52,58	0,48	24,21	46,47	-0,36	27,42	52,30	-1,61	28,45
	Agrosavia Estrella	49,31	1,61	21,49	43,36	7,54	11,12	58,68	-4,14	35,69	68,11	-0,24	17,66
	Criolla Colombia	49,80	2,23	20,34	43,44	5,92	13,59	55,54	-2,87	33,52	60,68	0,89	20,62
	Representación gráfica del modelo CIE L*a*b* (CIELAB)												



Tabla 11.6

Colorimetría de las variedades registradas de papa diploide y el testigo Criolla Colombia cocidas y congeladas del Departamento de Nariño (Colombia)

DEPARTAMENTO DE NARIÑO													
Municipio	Variedad	Piel o cáscara						Pulpa o carnosidad					
		Cocida			Congelada			Cocida			Congelada		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
Córdoba	Agrosavia Alhaja	50,94	3,11	21,59	54,64	3,02	30,47	64,41	-3,87	32,12	63,08	-4,25	38,53
	Agrosavia Oyanza	44,33	4,05	13,89	53,84	5,09	31,47	64,41	-4,04	25,67	64,27	-3,26	41,10
	Criolla Colombia	52,56	2,80	20,99	45,65	3,77	22,93	62,80	-4,35	29,67	60,02	-5,30	34,30
	Representación gráfica del modelo CIE L*a*b* (CIELAB)												
Ipiales	Agrosavia Alhaja	46,58	1,06	16,04	43,72	0,72	15,09	48,69	-4,14	21,96	52,36	-1,66	19,58
	Agrosavia Oyanza	48,09	0,30	17,99	50,67	0,56	18,89	57,46	-4,93	20,82	58,29	-2,46	23,98
	Criolla Colombia	46,95	0,64	14,72	41,88	1,46	10,95	46,15	-3,94	21,30	59,78	-3,07	23,69
	Representación gráfica del modelo CIE L*a*b* (CIELAB)												
Pasto	Agrosavia Alhaja	50,07	0,64	16,31	44,37	1,16	17,25	51,91	-4,31	22,62	46,00	-2,85	16,98
	Agrosavia Oyanza	44,68	3,29	17,89	46,54	1,22	16,87	51,46	-3,72	19,06	49,44	-4,36	17,89
	Criolla Colombia	53,67	0,27	18,03	45,12	1,36	14,56	50,56	-3,59	22,78	53,79	-3,54	19,39
	Representación gráfica del modelo CIE L*a*b* (CIELAB)												
Puerres	Agrosavia Alhaja	48,01	6,08	22,76	42,17	7,29	13,32	62,26	-1,49	37,69	62,72	-2,10	30,38
	Agrosavia Oyanza	56,12	2,50	25,42	48,84	9,04	21,05	57,91	-3,55	30,31	59,17	-1,08	27,37
	Criolla Colombia	44,62	5,85	13,45	52,26	4,50	23,67	58,68	-4,21	29,92	66,09	-1,65	29,80
	Representación gráfica del modelo CIE L*a*b* (CIELAB)												

Además, la dureza es un parámetro de calidad para los consumidores y su valor se relaciona con la gelatinización y retrogradación del almidón en los tubérculos sometidos a cocción (González et al., 2018).

La adhesividad arrojó valores bajos debido a la degradación de la pectina de las paredes celulares durante la cocción dejando menos adhesión intracelular (Van Marle, 1997). Pero esta aumentó luego de ser frita la papa precocida, tal como lo mencionan García-Segovia et al., (2008) quienes además indican que la adhesividad se relaciona con la fuerza necesaria para retirar la papa adherida entre el paladar y los dientes después de la masticación.



Tabla 11.7

Análisis de perfil de textura (TPA) de las variedades registradas de papa diploide y el testigo Criolla Colombia cocidas y congeladas del Departamento de Cundinamarca

DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA							
Municipio	Proceso	Variedad	Dureza (N)	Cohesividad	Masticabilidad (N.mm)	Adhesividad (N.mm)	Rigidez (N/mm)
Granada	Precocida	Corpoica Sol Andina	28,83	0,149	2,061	0,170	24,77
		Corpoica Tiba	75,01	0,151	3,228	2,430	36,14
		Agrosavia Estrella	74,27	0,133	2,631	2,906	56,65
		Criolla Colombia	91,04	0,175	3,747	3,704	40,82
	Congelada	Corpoica Sol Andina	13,55	0,128	1,480	1,487	13,09
		Corpoica Tiba	30,87	0,065	1,919	3,532	16,74
		Agrosavia Estrella	53,77	0,102	1,074	3,158	26,26
		Criolla Colombia	57,53	0,128	1,648	4,511	17,19
El Rosal	Precocida	Corpoica Sol Andina	57,99	0,214	3,733	1,552	19,18
		Corpoica Tiba	95,25	0,211	2,638	1,263	46,84
		Agrosavia Estrella	46,31	0,134	1,538	1,648	29,89
		Criolla Colombia	84,14	0,255	7,171	1,073	32,10
	Congelada	Corpoica Sol Andina	41,25	0,131	1,259	3,287	30,77
		Corpoica Tiba	94,65	0,194	2,044	3,290	31,88
		Agrosavia Estrella	58,03	0,109	1,205	3,621	39,42
		Criolla Colombia	62,76	0,086	3,445	1,964	35,84
Sibaté	Precocida	Corpoica Sol Andina	29,26	0,266	0,871	0,228	21,31
		Corpoica Tiba	51,67	0,302	1,020	1,358	29,94
		Agrosavia Estrella	56,00	0,492	2,368	1,451	44,99
		Criolla Colombia	58,46	0,615	5,896	0,522	58,46
	Congelada	Corpoica Sol Andina	16,50	0,087	0,767	0,341	13,55
		Corpoica Tiba	10,23	0,109	0,959	2,788	14,16
		Agrosavia Estrella	25,77	0,287	1,743	1,608	16,19
		Criolla Colombia	44,42	0,041	1,512	0,985	33,20
Subachoque	Precocida	Corpoica Sol Andina	68,02	0,083	3,612	0,759	30,49
		Corpoica Tiba	54,36	0,087	3,646	1,378	25,52
		Agrosavia Estrella	62,12	0,067	4,413	0,861	34,63
		Criolla Colombia	61,29	0,045	3,021	0,709	52,03
	Congelada	Corpoica Sol Andina	46,78	0,067	3,047	1,402	31,65
		Corpoica Tiba	42,39	0,074	2,934	1,679	21,93
		Agrosavia Estrella	38,65	0,024	0,563	1,185	29,66
		Criolla Colombia	34,85	0,017	1,765	0,904	21,02

Con respecto a la rigidez, los valores más altos fueron hallados en los tubérculos precocidos de Criolla Colombia procedentes del Municipio de Sibaté (58,46 N/mm) y de Corpoica Tiba del Municipio de Granada (56,65 N/mm); más la variedad Agrosavia Oyanza del Municipio Puerres con 41,05 N/mm y Criolla Colombia precocida del Municipio de Córdoba con 46,84 N/mm. Estos tubérculos demostraron la relación de esta variable del TPA con mayores



Tabla 11.8

Análisis de perfil de textura (TPA) de las variedades registradas de papa diploide y el testigo Criolla Colombia cocidas y congeladas del Departamento de Nariño

DEPARTAMENTO DE NARIÑO							
Municipio	Proceso	Variedad	Dureza (N)	Cohesividad	Masticabilidad (N.mm)	Adhesividad (N.mm)	Rigidez (N/mm)
Córdoba	Precocida	Agrosavia Alhaja	33,31	0,101	3,473	1,156	38,81
		Agrosavia Oyanza	39,17	0,086	2,950	0,769	35,78
		Criolla Colombia	41,47	0,112	4,109	0,767	46,84
	Congelada	Agrosavia Alhaja	20,67	0,072	2,818	1,860	12,89
		Agrosavia Oyanza	23,87	0,063	2,404	1,505	14,04
		Criolla Colombia	26,32	0,064	3,237	2,408	17,44
Ipiales	Precocida	Agrosavia Alhaja	44,68	0,110	7,331	0,344	28,77
		Agrosavia Oyanza	54,14	0,062	4,693	0,209	27,11
		Criolla Colombia	46,29	0,066	3,849	0,085	33,81
	Congelada	Agrosavia Alhaja	15,67	0,020	5,096	0,448	16,84
		Agrosavia Oyanza	16,13	0,021	1,950	0,413	20,71
		Criolla Colombia	26,50	0,026	1,981	0,198	26,57
Pasto	Precocida	Agrosavia Alhaja	54,05	0,122	7,307	0,835	20,53
		Agrosavia Oyanza	58,43	0,073	3,050	1,123	18,99
		Criolla Colombia	49,07	0,116	4,869	0,795	18,79
	Congelada	Agrosavia Alhaja	21,75	0,028	3,597	1,897	16,29
		Agrosavia Oyanza	27,36	0,046	2,181	1,661	17,65
		Criolla Colombia	25,52	0,054	2,052	3,272	16,69
Puerres	Precocida	Agrosavia Alhaja	41,08	0,047	2,867	0,958	14,37
		Agrosavia Oyanza	54,71	0,023	5,531	1,105	41,05
		Criolla Colombia	68,93	0,041	7,292	1,150	45,90
	Congelada	Agrosavia Alhaja	30,17	0,022	1,299	1,375	11,26
		Agrosavia Oyanza	52,05	0,025	1,949	1,471	31,87
		Criolla Colombia	47,00	0,024	2,752	1,838	30,71

contenidos de materia seca y de almidón, con contenidos de materia seca entre 23,63-27,22% y de almidón entre 20,70-23,23%, demostrando que la mayor rigidez se debe a los gránulos de almidón hinchado en la cocción del tubérculo. Ante esto, Crespo et al. (2012) sostienen que los cambios de textura en la papa en la cocción corresponden a la gelatinización y retrogradación del almidón en el



calentamiento y enfriamiento respectivamente. Además, estos tubérculos se pueden emplear en fritura y obtención de harina al presentar contenidos de materia seca más altos del 20%. Hay estudios que demuestran que a mayor rigidez se obtienen geles más elásticos (Martínez et al., 2015).

Análisis Sensorial. En la Figura 11.9 se observa la variación de las características sensoriales de las variedades registradas de papa diploide registradas frente a la variedad testigo (Criolla Colombia) para los municipios evaluados de los Departamentos de Cundinamarca y de Nariño. Para el Departamento de Cundinamarca se determinó que los tubérculos precocidos congelados de la variedad Agrosavia Estrella presentaron características similares a la variedad Criolla Colombia en apariencia, color de la piel y textura. La variedad Corpoica Tiba que provenía de los Municipios de Granada y de Subachoque presentó menos defectos. Además, en el Departamento de Nariño la variedad que obtuvo mayor calificación por parte de los panelistas fue la variedad Agrosavia Alhaja de los Municipios de Córdoba y de Ipiales.

Papa Frita en Hojuelas o Chips. La papa diploide frita en hojuelas o chip, es un producto tipo pasaboca o snack, obtenida por la fritura en aceite vegetal de los tubérculos rebanados o tajados en forma de hojuelas (Figura 11.10). Por el tamaño pequeño de los tubérculos, estos no se recomiendan procesarlos en forma de bastones como sí se realiza con otras variedades de papa. Los componentes para su industrialización se encuentran relacionados el Apéndice D, Tabla D-3, donde se encontró que en la actividad de tajado y desalmidonado se liberó el almidón de la papa el cual puede ser recuperado del agua residual (Borja e Irigoyen, 2021). Más adelante, en el apartado de otros productos se profundizará en el tema del almidón y sus aplicaciones.

El rendimiento de la papa diploide frita en hojuelas o chips se encontró entre el 21,28 y 35,47% (Tabla 11.4.). En El Rosal (Cundinamarca, Colombia) sobresalió Corpoica Tiba y Corpoica Sol Andina con un rendimiento de 34,52 y 31,88% respectivamente solo anteceditas por Criolla Colombia con el 34,80%.

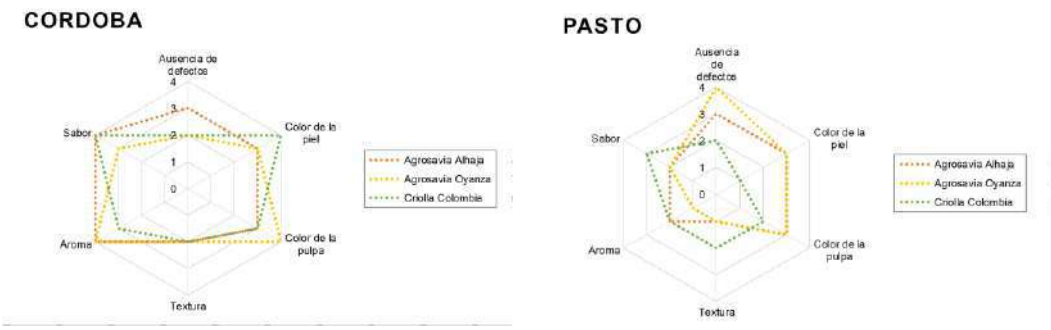


Figura 11.9
Atributos evaluados en las variedades registradas de papa diploide y el testigo Criolla Colombia precocidas y congeladas

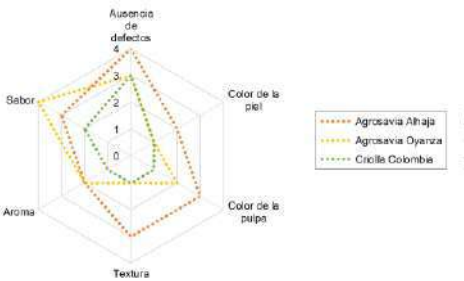
DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA



DEPARTAMENTO DE NARIÑO



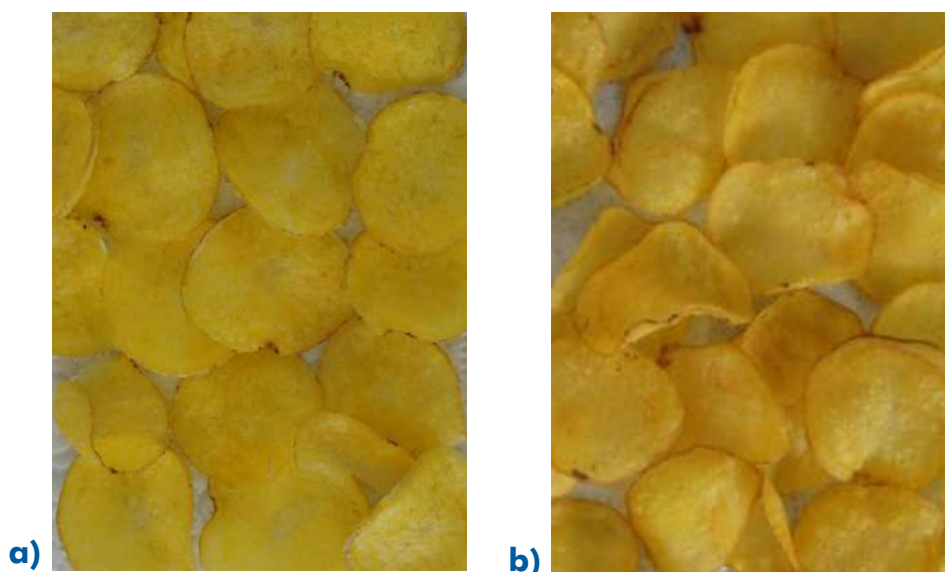
IPIALES



Mientras que en Puerres (Nariño, Colombia), Agrosavia Alhaja y Agrosavia Oyanza presentaron valores de rendimiento muy cercanos entre sí (30,46 y 30,97% respectivamente).

Figura 11.10

Papas fritas en hojuelas de la variedad a) Corpoica Tiba y b) Corpoica Sol Andina



Nota. Fotografías tomadas por Magda Milena Moreno Avellaneda

Colorimetría. Los resultados de la Tabla 11.9 permitieron determinar que las hojuelas fritas de las variedades en los municipios evaluados presentaron coloraciones amarillas ($b^* < 38,45$) con una leve tendencia al color verde ($a^* < 0$) y algunas excepciones al rojo ($a^* > 0$). La menor luminosidad (L^*) la registraron las variedades del Municipio de El Rosal (Departamento de Cundinamarca) y las variedades de los cuatro municipios del Departamento de Nariño tuvieron un color más luminoso.

Textura. La aceptación de la papa frita está dada por la textura puesto que a mayor crujencia mayor nivel de frescura y fracturabilidad. En la Tabla 11.10 se presentan los resultados para la fractura de las hojuelas de papa diploide de los Departamentos de Cundinamarca y de Nariño, en la cual se observa que las variedades provenientes del Municipio de El Rosal fueron más crujientes en



relación con los otros municipios de Cundinamarca. Así mismo, las variedades del Municipio de Córdoba presentaron mayor fracturabilidad respecto a los otros municipios de Nariño. Adicionalmente para los dos Departamentos la crujencia varió de 106,56 a 293,80 gf; valores cercanos a los reportados por Vázquez et al. (2013).

Tabla 11.9

Colorimetría de las variedades registradas de papa diploide y el testigo Criolla Colombia fritas en hojuelas

Variedad	DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA											
	Municipio Granada			Municipio El Rosal			Municipio Sibaté			Municipio Subachoque		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
Corpoica Sol Andina	59,89	-0,55	27,24	34,54	-0,19	14,17	49,26	-2,57	28,08	54,76	0,16	21,89
Corpoica Tiba	55,97	-0,50	20,08	36,70	-1,31	15,03	54,87	-2,90	31,60	68,53	-3,16	33,60
Agrosavia Estrella	56,20	-0,99	21,09	39,57	-3,30	19,56	57,20	-1,88	29,18	55,74	-0,69	24,80
Criolla Colombia	53,38	4,35	21,27	24,80	1,84	5,39	44,82	-1,63	28,69	63,00	-1,62	28,56
Representación gráfica del modelo CIE L*a*b* (CIELAB)												
Variedad	DEPARTAMENTO DE NARIÑO											
	Municipio Córdoba			Municipio Ipiales			Municipio Pasto †			Municipio Puerres		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
Agrosavia Alhaja	57,44	-0,80	28,89	55,61	-0,90	23,38	64,23	2,47	41,87	66,70	-0,49	35,12
Agrosavia Oyanza	59,78	-1,36	31,18	58,96	-0,41	28,05	61,03	1,59	32,53	63,55	4,60	34,40
Criolla Colombia	60,48	-2,23	30,24	57,03	-0,51	25,58	67,84	-1,75	38,45	59,88	4,97	35,14
Representación gráfica del modelo CIE L*a*b* (CIELAB)												

Análisis Sensorial. En la Figura 11.11 las gráficas tipo araña muestran que en el Departamento de Cundinamarca las papas fritas de la variedad Corpoica Tiba fueron las más crujientes, con un alto puntaje para los parámetros de olor característico, salado y alta presencia de burbujas en la hojuela. El producto de la variedad Corpoica Sol Andina presentó menor sensación grasa, menor aceite en la superficie y menor deformación de la rodaja según los panelistas. Agrosavia Estrella obtuvo buena calificación en masticabilidad y crujencia para el Municipio de Granada. En el Departamento de Nariño, en las

localidades de Ipiales y Puerres, las hojuelas fritas de la variedad Agrosavia Alhaja presentaron la mayor calificación en masticabilidad, crujencia y con poca sensación grasa. En general los panelistas identificaron a todas las variedades evaluadas con el color característico de la variedad comercial Criolla Colombia.

Tabla 11.10

Fracturabilidad de hojuelas fritas en gramo fuerza (gf) por método de bola para las variedades registradas y el testigo Criolla Colombia

DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA				
Variedades	Municipios			
	Granada	El Rosal	Sibaté	Subachoque
Corpoica Sol Andina	213,5	270,6	151,5	156,8
Corpoica Tiba	138	293,8	170,2	172,4
Agrosavia Estrella	179,7	204,4	167,1	154,2
Criolla Colombia	184,4	119,4	122,5	177,8
DEPARTAMENTO DE NARIÑO				
Variedades	Municipios			
	Córdoba	Ipiales	Pasto	Puerres
Agrosavia Alhaja	280	146,52	194,77	182,1
Agrosavia Oyanza	240	169,54	106,56	243,6
Criolla Colombia	270	133,49	209,96	228

Porcentaje de Quemado. En la Tabla 11.11 se muestran los porcentajes de quemado para las papas diploide fritas y se encontró que las hojuelas de la variedad Corpoica Sol Andina (Figura 11.10 b) del Departamento de Cundinamarca presentó menor tendencia al quemado. Por otra parte, la variedad Agrosavia Oyanza presentó quemado de hojuelas en menor proporción en el Municipio de Pasto (C.I. de Obonuco) para el Departamento de Nariño. Y en general, se registraron mayores porcentajes de quemado para los genotipos del Departamento de Nariño en relación con los del Departamento de Cundinamarca (Tabla 11.11). Es importante recordar que los altos contenidos de azúcares reductores aumentan el grado de oscurecimiento o quemado de la hojuela y, por la formación de compuestos cetónicos y aldehídicos generados en la reacción de Maillard, dan un sabor amargo a la hojuela de papa frita (Castro, 2008; Hasbún et al., 2009), lo cual fue poco aceptado por el consumidor.



Figura 11.11

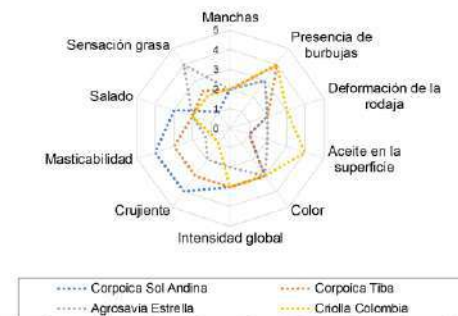
Atributos evaluados en las variedades registradas papa diploide y variedad Criolla Colombia frita en hojuelas

DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA

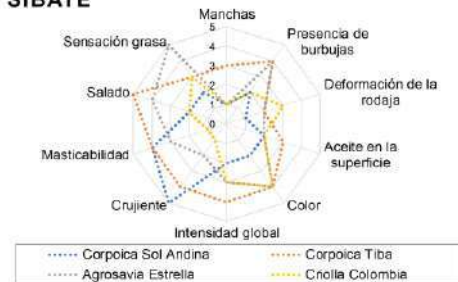
GRANADA



EL ROSAL



SIBATE



SUBACHOQUE



DEPARTAMENTO DE NARIÑO

CORDOBA



IPIALES



PASTO



PUERRES



Tabla 11.11

Porcentaje (%) de quemado para las variedades registradas de papa diploide y el testigo Criolla Colombia frita en hojuelas

DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA				
Variedades	Municipios			
	Granada	El Rosal	Sibaté	Subachoque
Corpoica Sol Andina	2,7	8,16	7,1	0
Corpoica Tiba	7,9	3,9	9,7	6,3
Agrosavia Estrella	14,7	7,94	6,7	3,2
Criolla Colombia	17,1	4,41	0	6,1
DEPARTAMENTO DE NARIÑO				
Variedades	Municipios			
	Córdoba	Ipiales	Pasto	Puerres
Agrosavia Alhaja	10,9	18,2	13,9	33,37
Agrosavia Oyanza	10,28	21	2,3	21,43
Criolla Colombia	18,56	13,8	19,1	18,81

Harina a Partir de Papa Diploide Precocida. La harina es un producto obtenido mediante la precocción, la deshidratación y el molido de los tubérculos de papa diploide. En el Apéndice D, Tabla D-4 se presentan los equipos, las variables y los servicios industriales para tener en cuenta en la industrialización de este producto. Adicionalmente se evidenció que, para la producción de harina, la forma y el tamaño de los tubérculos no tienen relevancia; situación que permite el aprovechamiento de genotipos con irregularidad en su forma, para evitar las pérdidas y los desperdicios de estos tubérculos. Sin embargo, la papa rechazada para este proceso por problemas fitosanitarios se sugiere ser empleada como compostaje (abono) y/o producción de energía (biogás). El rendimiento de la papa diploide en harina (Tabla 11.4.) se encontró entre 7,06 y 17,11%, debido a que presentó pérdida de agua en la deshidratación y pérdidas de masa en la molienda y el tamizado de la harina. En Sibaté (Cundinamarca, Colombia) Corpoica Sol Andina obtuvo el mayor rendimiento (15,84%) mientras que en Puerres del Departamento de Nariño (Colombia) sobresalieron Agrosavia Alhaja y Agrosavia Oyanza (Figura 11.12) con 17,11 y 15,59% respectivamente (Tabla 11.4.).



Figura 11.12*Harina precocida de la variedad Agrosavia Oyanza*

Nota. Fotografía tomada por Luis Miguel Triviño

Colorimetría. Como se observa en la Tabla 11.12 para las variedades registradas de los Departamentos de Cundinamarca y de Nariño. Las harinas presentaron mayor luminosidad (L^*) o brillo, respecto a los productos de otros procesos y fijación del color amarillo ($b^* > 0$) debido a la concentración de la materia seca por el proceso de deshidratación. Para los municipios evaluados en los Departamentos de Cundinamarca y de Nariño presentaron coloraciones con una leve tendencia al verde ($a^* < 0$), excepto en Subachoque e Ipiales que tienden al rojo ($a^* > 0$).

Zárate et al. (2016) evaluaron las isotermas de las harinas de 11 tubérculos precocidos de los Municipios de Sibaté y de Granada (Departamento de Cundinamarca) que fueron modeladas con el modelo matemático de GAB⁴. Las isotermas son curvas que predicen las propiedades higroscópicas de las harinas con el fin de dar información a la industria agroalimentaria de las condiciones de almacenamiento y posibles aplicaciones de estas harinas en la elaboración de sopas deshidratadas, arepas, productos extruidos, entre otros. Además, evaluaron la variedad Agrosavia Oyanza y presentó isoterma en forma de S o tipo II y demostró la mejor estabilidad para las condiciones de almacenamiento de sus harinas con 6,369 g de agua / 100 g de sólidos secos.

⁴El modelo GAB (Guggenheim-Anderson-Boer) describe los fenómenos termodinámicos del agua en los alimentos a una temperatura y humedad relativa mediante curvas o isotermas de adsorción o desorción.



Tabla 11.12

Colorimetría de harina precocida de las variedades registradas y testigo Criolla Colombia

Variedad	DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA											
	Municipio Granada			Municipio El Rosal			Municipio Sibaté			Municipio Subachoque		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
Corpoica Sol Andina	74,56	-1,53	32,28	74,52	-1,25	16,95	77,95	-2,20	29,92	79,19	-1,59	33,62
Corpoica Tiba	70,16	-0,03	29,47	71,71	-1,10	17,59	78,23	-0,94	42,66	72,83	0,94	18,07
Agrosavia Estrella	78,74	-2,13	35,29	73,63	-1,11	16,94	80,63	-2,36	35,74	70,89	0,68	16,67
Criolla Colombia	80,83	-2,01	27,53	66,89	-1,06	17,74	80,15	-2,63	30,35	73,94	0,64	17,68
Representación gráfica del modelo CIE L*a*b* (CIELAB)												
Variedad	DEPARTAMENTO DE NARIÑO											
	Municipio Córdoba			Municipio Ipiales			Municipio Pasto			Municipio Puerres		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
Agrosavia Alhaja	81,25	-0,84	40,14	85,07	0,47	21,92	84,26	-0,80	38,04	81,61	-0,49	30,31
Agrosavia Oyanza	80,92	-0,67	39,66	87,03	0,21	22,42	85,48	-0,91	36,11	81,94	-0,38	31,27
Criolla Colombia	81,85	-0,91	37,95	82,83	0,36	23,74	83,58	-3,30	31,66	81,16	-0,78	26,33
Representación gráfica del modelo CIE L*a*b* (CIELAB)												

Aplicaciones de las Harinas. Dado que la operación de tamizado retuvo las partículas más grandes (harina de grano grueso) del polvo obtenido después de la molienda de los tubérculos precocidos deshidratados, esto generó pérdidas (mermas). Razón por la cual, la Universidad de La Salle realizó una prueba con estas harinas de granulometría gruesa (mallas ≤ 60 Serie Tyler o partículas $\geq 250 \mu\text{m}$) con los productores de papa diploide para la preparación de una bebida tipo colada. Para esto, a 250 mL de leche se adicionó 2 cucharadas soperas de harina de papa diploide, se disolvió y posteriormente, se llevó a ebullición con la adición de 1 cucharadita de azúcar y unas gotas de esencia de vainilla. Luego se dejó reposar y esta bebida se sirvió caliente. Adicionalmente, se incluyeron estas harinas con granulometría gruesa en la preparación de croquetas de papa diploide (Figura 11.13), para esto a la harina de grano grueso se le adicionó huevo y sal, se mezcló hasta obtener una mezcla homogénea, se



moldeó en diferentes formas y finalmente se fritó. La colada y las croquetas fueron degustadas por los productores, quienes vieron el potencial de los tubérculos en el procesamiento de nuevos o variados productos.

Fonseca et al. (2013) evaluaron las harinas precocidas de 10 genotipos de papa diploide procedentes del Municipio de Sibaté frente a 10 harinas no precocidas y concluyeron que en las harinas precocidas hay mayor fijación de color y presencia de almidón resistente (debido a la etapa de precocción). Al mismo tiempo, a partir de la caracterización de estas harinas, establecieron recomendaciones de aplicaciones para la industria alimentaria. También, 17 harinas precocidas de los genotipos diploide evaluados de los Municipios de Sibaté y de Granada se emplearon para elaborar productos preformados por extrusión (Figura 11.13). A estas harinas y a los preformados se les determinaron las características fisicoquímicas, funcionales, reológicas y sensoriales con el fin de caracterizarlos (Espinosa et al., 2013).

Como desarrollo de otro nuevo producto, Morales et al. (2015), estudiaron la aplicación de las harinas precocidas y no precocidas de papa comercial diploide en la elaboración de pan tipo francés (Figura 11.13). El producto preferido por los panelistas fue el pan con una sustitución parcial del 10% de harina de trigo por harina de papa diploide, que presentó una textura suave y olor característico de este tubérculo.

Otros Productos con Papa Diploide de Color Amarillo

Oke y Workneh (2013) señalan la importancia de explorar nuevas opciones en las cuales los nuevos cultivos pueden ser usados industrialmente y con fines de exportación. Razón por la cual, se presentan a continuación otros nuevos productos para dar un valor agregado a la papa diploide. Los tubérculos se sometieron al método de cocción sous vide y al proceso de obtención de puré deshidratado. Además, se evaluó la utilización del almidón como sustituyente de fuentes amiláceas para su inclusión en mortadela, espagueti y vodka. Y se propuso la elaboración de galletas a partir del subproducto de la extracción del almidón de los tubérculos en fresco.



Figura 11.13

Otros productos a partir de papa diploide



Papa Diploide en Cocción Sous Vide. Villarraga et al. (2015), evaluaron la cocción mediante la tecnología de cocción al vacío o sous vide de tres genotipos de papa diploide cosechados en el Municipio de El Rosal. Primero los tubérculos crudos fueron empacados al vacío, cocinados y almacenados en refrigeración. Los tubérculos de la variedad Corpoica Tiba se destacaron en este proceso y el método permitió mantener los tubérculos con alta calidad nutricional (Figura 11.13).

Puré Deshidratado. Cruz et al. (2016), elaboraron puré deshidratado de papa diploide a partir de las variedades registradas cosechadas en el Municipio de Granada (Figura 11.13). Para esto definieron el tiempo y el índice de mezcla entre los ingredientes de 10 a 12 min, las condiciones de rehidratación (1:6,5 de puré deshidratado: agua) por medio del índice de solubilidad y del



índice de absorción de agua. El producto fue deshidratado a 65 °C y posteriormente se le realizaron pruebas: físicas, reológicas y sensoriales. Concluyeron que las variedades registradas fueron potenciales para la elaboración de un puré deshidratado, puesto que Corpoica Sol Andina se destacó por su olor y sabor, Corpoica Tiba tuvo alto puntaje en su textura, y Agrosavia Estrella en textura y color.

Adicionalmente, Alarcón et al. (2016) evaluaron en las variedades registradas la incidencia del tamaño de las partículas en el proceso de rehidratación del puré desarrollado, y determinaron las variables que afectan el proceso de reconstitución del puré a partir de modelos matemáticos (Ley de Fick y Modelo de Peleg) para evaluar la cinética de rehidratación. El puré rehidratado de Corpoica Tiba contenía 16,09% de almidón disponible y 22,22% de materia seca confiriendo texturalmente consistencia y viscosidad para este tipo de producto. El perfil de textura (TPA) del puré rehidratado de Agrosavia Estrella, tuvo una consistencia de 0,4080 kgf, adhesividad de 0,0245 Nm y cohesividad de 0,6096, exhibiendo un producto con textura uniforme y consistencia debido al hinchamiento de los gránulos de almidón del puré al someterlo a temperaturas de cocción. Este comportamiento fue similar por el puré de Corpoica Sol Andina, con una cohesividad de 0,5531 y elasticidad de 21,9867 mm.

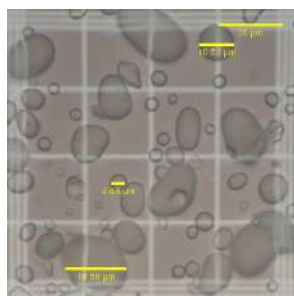
Almidón. Los tubérculos de papa diploide son buena fuente de almidón razón por la cual, Zárate et al. (2014) analizaron las características fisicoquímicas y funcionales de los almidones provenientes de los tubérculos cultivados en los Municipios de Sibaté y de Granada (Departamento de Cundinamarca) para determinar los mejores almidones según su calidad (buena estabilidad, consistencia, retención de agua y emulsión). Así mismo, Manchola (2012) evaluó la densidad aparente, el porcentaje de fósforo, pulpa y ácido láctico, el valor reductor alcalino, pH y los perfiles amilográficos de cinco almidones de genotipos del Municipio de Granada para realizar recomendaciones de aplicaciones de estos almidones.



Durante la investigación, la Universidad de La Salle determinó que los almidones obtenidos de la papa diploide fueron de buena calidad industrial porque poseían alto índice de adsorción de agua, poder de hinchamiento y bajo índice de solubilidad en agua, además, algunos de los geles fueron opacos debido a la presencia de gránulos medianos y grandes. Los almidones analizados de la variedad Corpoica Sol Andina presentaron gránulos en formas circulares, ovales y reniformes con diferentes diámetros (Figura 11.14).

Figura 11.14

Gránulos de almidón nativo extraído de la variedad Corpoica Sol Andina



Nota. Fotografía tomada por Laura Zarate Polanco

El rango de tamaños para los almidones de los tubérculos procedentes del Municipio de Granada y de Sibaté en Cundinamarca (Colombia) se encontraron entre $0,20 \mu\text{m}$ hasta $23,15 \mu\text{m}$ (Tabla 11.13). Además, se evidenció que los almidones de las variedades procedentes del Municipio de Sibaté presentaron gránulos más pequeños lo que demuestra que el lugar de cosecha de los tubérculos influye en el tamaño de los gránulos del almidón debido a la diferencia de temperaturas del terreno y las características agronómicas del suelo (Šimková et al., 2013).

Así mismo, se determinó que los almidones de papa diploide contienen en mayor proporción gránulos pequeños ($1 - 7,5 \mu\text{m}$) con valores superiores al 73,21% (Figura 11.15). Lo cual se corrobora con Cáceres et al. (2012), quienes mencionan, además, que los tamaños pequeños de los gránulos producen menor viscosidad inicial en las pastas de almidón, una mayor resistencia al cizallamiento, un menor poder de hinchamiento y solubilidad. Adicionalmente,



Casarrubias-Castillo et al. (2012) relacionan directamente el tamaño de gránulo con la temperatura promedio de pico y la entalpía de gelatinización.

Tabla 11.13

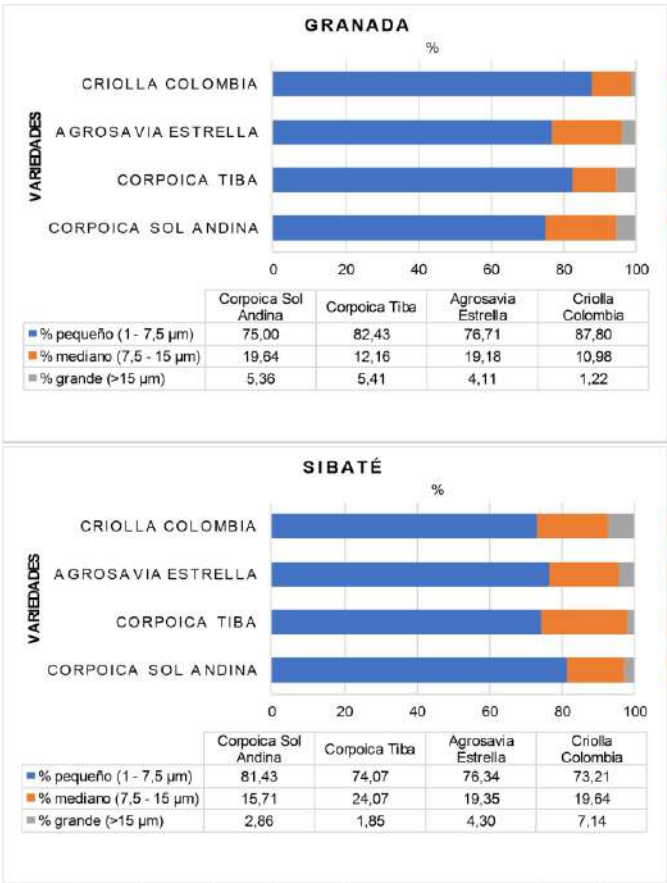
Valores mínimos y máximos de los tamaños del gránulo del almidón de las variedades registradas frente a la variedad testigo

Municipios	Variedades	Mínimo (µm)	Máximo (µm)	Desvest
Granada	Corpoica Sol Andina	1,09	18,58	± 4,19
	Corpoica Tiba	1,13	23,15	± 4,54
	Agrosavia Estrella	1,42	18,78	± 3,72
	Criolla Colombia	1,07	10,80	± 2,14
Sibaté	Corpoica Sol Andina	0,20	22,20	± 4,01
	Corpoica Tiba	0,77	20,00	± 3,90
	Agrosavia Estrella	0,88	19,34	± 4,01
	Criolla Colombia	0,70	17,01	± 4,11

Nota. Desvest: Desviación estándar

Figura 11.15

Distribución de los gránulos de almidón de las variedades para los dos municipios de Cundinamarca (Colombia)



Por otra parte, el almidón de papa nativa mantiene su estructura a altas temperaturas razón por la cual es una alternativa en procesos de cocción para ser usado como espesante (Velásquez Herrera et al., 2017). Además, este producto demostró ser una excelente fuente amilácea para substituir total o parcialmente las fuentes tradicionales como el maíz o el trigo en la elaboración de diferentes productos que se presentan a continuación.

Derivado Cárnico Tipo Mortadela. Zárate et al. (2013) evaluaron tres almidones nativos de genotipos de papa diploide cosechados en el Municipio de Sibaté para la elaboración de mortadela estándar y se obtuvo que el almidón nativo no afectó el sabor, el color ni el olor de la mortadela estándar (Figura 11.14).

Espagueti. Para elaboración de pasta tipo espagueti se realizó modificación hidrolítica del almidón nativo de tres genotipos de papa diploide y se concluyó, que la pasta cuya formulación tenía alta concentración de almidón modificado enzimáticamente, fue la de mayor aceptación por el panel sensorial que la evaluó (Figura 11.14) (Orozco et al., 2014).

Vodka. A partir del almidón nativo obtenido de la variedad Corpoica Sol Andina cosechada en el Municipio de El Rosal, Sánchez et al. (2016), elaboraron una bebida alcohólica destilada tipo vodka por método enzimático aplicado al almidón y fermentación (Figura 11.14). El almidón nativo presentó pureza del 86,5%. Los parámetros de fermentación fueron 25 °C; 5,22 de pH y 89 rpm de agitación, con una velocidad específica de formación de producto de 1,7948 y 1,8046 de alcohol probable formado en °GL/h/(mg biomasa/mL). Las fermentaciones del almidón nativo con levadura *Saccharomyces cerevisiae* bayanus se ajustaron al modelo cinético de Langmuir⁵ y Lineweaver-Burk⁶. El rendimiento promedio de rectificación fue del 15% y la solución alcohólica luego de la destilación simple del mosto fermentado fue del 83,6 °GL y 85,8 °GL (grados Gay Lussac).

⁵ Modelo cinético de Langmuir aplicado para la adsorción de agua o gas en una monocapa de sustancia sólida hasta obtener un valor constante de peso logrando el equilibrio.

⁶ Modelo Lineweaver-Burk explica las reacciones mediadas por enzimas (catalizadores biológicos), en la cual la sustancia sustrato es convertida a otra sustancia conocida como producto.



Galletas con Sustitución Parcial de Harina. Para evitar las pérdidas y los desperdicios de alimentos en la industria de almidón de papa, Cárdenas et al. (2014), propusieron utilizar los residuos o subproductos de papa diploide que quedan en el proceso de extracción de almidón para la sustitución parcial de harina de trigo en la industria de las galletas y con el fin de disminuir el impacto ambiental de los procesos agroalimentarios (Figura 11.14). La galleta con sustitución del 15% obtuvo buena aceptación y la variedad Agrosavia Alhaja obtuvo buenos resultados de fibra dietaria.

Potencial de Productos de Papa Diploide de Colores Diferentes al Amarillo

Durante el desarrollo de la transformación de los tubérculos de papa diploide, se contó con genotipos de diversos colores, y todos se procesaron en productos como: papa precocida y congelada, papa en hojuelas o chips y harina a partir de papa precocida; los cuales fueron caracterizados y evaluados para conocer el grado de aceptación por parte de los consumidores colombianos.

Figura 11.16

Papa diploide de otros colores en diferentes presentaciones



Nota. Fotografías tomadas por Ana Magdalena Garnica Holguin



Con respecto al análisis sensorial de la papa diploide precocida y congelada, los panelistas también evaluaron genotipos de otros colores en gamas del rosado o del color púrpura y relacionaron el color oscuro de la cáscara como un defecto del tubérculo o incluso como un signo de deterioro. Este rechazo obedece principalmente porque el mercado colombiano y los consumidores habituales de papa diploide solo conocen los tubérculos de color amarillo y demostró la falta de divulgación del consumo de papa diploide con colores oscuros que contienen antioxidantes o moléculas bioactivas que pueden prevenir o disminuir los daños celulares causados por radicales libres que afectan la salud de las personas (Cerón-Lasso et al., 2018; Molina et al., 2015).

En cuanto a las hojuelas fritas producidas con genotipos de colores diferentes al amarillo en general tuvieron buena calificación por parte de los panelistas por su sabor, olor y textura. Sin embargo, el color de la hojuela obtuvo baja calificación porque la coloración de tono rojizo y violeta, fue relacionado con la adición de colorantes artificiales e incluso con manipulación genética de la papa diploide. Nuevamente esta percepción sobre el producto, ocurrió porque en Colombia el consumidor solo reconoce el color amarillo para la papa diploide comercial, mientras que, en otros países de la región Andina, como es el caso de Perú, las variedades de colores son comúnmente conocidas y apetecidas por toda la población (Álvarez-Mayorca, 2016; Gil-Rivero et al., 2019).

Similarmente ocurrió con el producto papa en conserva, al evaluar sensorialmente este producto elaborado con genotipos rosados, púrpuras o amarillos con manchas oscuras en la piel o en la carne. Los panelistas fueron consumidores habituales de papa diploide de color amarillo (piel y carne), quienes calificaron el producto con tubérculos de colores oscuros, con apariencia desagradable y poco apetecible; aunque, evaluaron con aceptación el sabor y la textura. De nuevo se demostró que es necesario la divulgación de estos genotipos de colores al consumidor para que los considere en los productos que acostumbra en su alimentación.



Las harinas obtenidas de papa diploide precocida y no precocida a partir de genotipos de colores morado o púrpura, amarillo y rojo, estudiadas por Fonseca et al. (2013), presentaron altos contenidos de almidón disponible (hasta 83,16% con tubérculos no precocidos) para diversas aplicaciones en elaboración de pastas, galletas, productos de panificación, sopas, alimentos para infantes, entre otros. Este producto evidenció la potencialidad de aprovechamiento de los genotipos diploides de diversos colores para su consumo en hogares o en procesamiento industriales.

No obstante, aún se requiere hacer bastante trabajo por parte de las instituciones involucradas en el manejo, la investigación y la difusión de genotipos de papa diploide con diferentes coloraciones, para generar un cambio de mentalidad y el redescubrimiento por parte del consumidor colombiano de las variedades nativas y sus beneficios para la salud por sus propiedades antioxidantes más sus contenidos de nutrientes como minerales, proteínas y otros (Duarte et al., 2021; López-Rodríguez y Ñustez-López, 2020). Cabe recordar que la baja aceptación por parte de comercializadores y consumidores de los productos procesados a partir de genotipos de colores diferentes al amarillo fue uno de los factores que desfavoreció la elección de estos tubérculos para que fueran candidatos de registro a nueva variedad.

La Universidad Nacional de Colombia lanzó variedades de colores solo en el departamento de Antioquia pero que no se conocen en todo el país. No obstante, hay productores que las cultivan por encargo en la zona rural de Bogotá para el mercado gastronómico. Así mismo, se hace necesario impulsar el consumo de las variedades registradas a través del desarrollo de nuevos productos adaptados a las exigencias y los gustos de la vida moderna y que pueden ser atractivos para comercializarlos a nivel nacional e internacional con la ayuda de un buen mercadeo.



Conclusiones

Para el procesamiento agroindustrial de la papa diploide se elaboraron los productos: en conserva, papa precocida congelada, hojuelas o chips y harina. además, se obtuvo almidón y se desarrollaron otros productos con el fin de ampliar la oferta de alimentos que provienen de la papa diploide y que pueden contribuir a la seguridad alimentaria.

Por medio de esta investigación se estableció que la variedad Agrosavia Estrella sobresalió por su textura como frita en hojuelas o chips, mientras que la variedad Corpoica Tiba se destacó en el proceso de precocido congelado. Las hojuelas freídas de la variedad Corpoica Sol Andina presentaron menor sensación grasa y menor tendencia al quemado.

Los procesos mencionados, pueden ser opciones de proyectos industriales para el desarrollo empresarial, por lo que la industria agroalimentaria debe responder a demandas, exigencias nutricionales y sensoriales de los consumidores mediante la inversión, investigación, extensión y mejoramiento del procesamiento, comercialización y distribución de este tipo de productos.

No solo panelistas consumidores sino productores y comerciantes rechazaron los tubérculos de coloraciones rojas y moradas porque, estas son poco conocidas por los consumidores y esto favoreció la selección de los genotipos de color amarillo como candidatos a registro con destino a nuevas variedades. Sin embargo, estudios demuestran la importancia del consumo de genotipos de colores oscuros con contenidos de antocianinas, antioxidantes beneficiosos para la salud, lo cual conduce a un trabajo fuerte de productores, de mercado y de comercialización para su consumo por la población general, más de investigadores para su registro como variedades potenciales con contenidos nutricionales importantes para el ser humano.



Referencias

- Alarcón, L., Montoya, K., Prieto, L. y Cerón, M.S. (2016). *Rehidratación de purés de papa criolla (Solanum tuberosum Grupo Phureja)*. En Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (Ed.), *Compendio de resúmenes XXVII Congreso de la Asociación Latinoamericana de la papa [ALAP]*, (pp. 86-87). <http://anyflip.com/xrvf/nzjt>
- Álvarez, C.P., Prieto, L., Garnica, A.M. y Cerón, M.S. (22 - 24 junio de 2011). *Productos potenciales de clones promisorios de papa criolla (Solanum phureja)* [Ponencia]. XII Congreso Nacional de Fitomejoramiento y Producción de Cultivos. Montería, Colombia.
- Álvarez-Mayorca, M. (2016). Oportunidades para el desarrollo de productos de papas nativas en el Perú. *Revista Latinoamericana de la Papa*, 12(2): 58-79. <https://doi.org/10.37066/ralap.v13i2.134>
- Borja, C.F. y Irigoyen, M.J. (2021). Línea de recuperación de almidón del procesamiento de hojuelas de papa frita de las variedades Desirée y Única para uso en la formulación de snacks. *Journal Boliviano de Ciencias*, 17(Especial), 63-74. <https://doi.org/10.52428/20758944.v17iEspecial.7>
- Cáceres, M., Mestres, C., Pons, B., Gibert, O., Amoros, W., Salas, E., Dufour, D., Bonierbale, M. y Pallet, D. (2012). Physico-chemical characterization of starches extracted from potatoes of the Group Phureja. *Starch/Stärke*, 64, 621-630. <https://doi.org/10.1002/star.201100166>
- Cárdenas, A.V., Castro, C.C., Prieto, L., Poveda, J.C. y Cerón, M.S. (2014). Producto de galletería con residuos generados en la extracción de almidón de clones candidatos a registro de papa criolla (*Solanum tuberosum* Grupo Phureja). En C.E. Ñustez y L.E. Rodríguez (Eds.), *Memorias XXVI Congreso de la Asociación Latinoamericana de la papa [ALAP]*, (p. 217). <http://anyflip.com/xrvf/hnmj>



- Casarrubias-Castillo, M.G., Méndez-Montealvo, G., Rodríguez-Ambriz, S.L., Sánchez-Rivera, M.M., y Bello-Pérez, L.A. (2012). Diferencias estructurales y reológicas entre almidones de frutas y cereales. *Agrociencia*, 46(5), 455-466.
- Castro, M. (2008). *Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de la patata para fritura*. [Tesis de Maestría, Universidad de Burgos]. <https://core.ac.uk/download/pdf/61543501.pdf>
- Cerón, M.S., Molina, Y., Coronel, B., Pérez, M.A., Prieto, L., Argüelles J., Alvarez, C. y Uribe, A.F. (2014). Clones de papa criolla (*Solanum tuberosum* Grupo *Phureja*) evaluados por su potencial de rendimiento y atributos de procesamiento. En C.E. Ñustez y L.E. Rodríguez (Eds.), *Memorias XXVI Congreso de la Asociación Latinoamericana de la papa [ALAP]*, (p. 81). <http://anyflip.com/xrvf/hnmj>
- Cerón-Lasso, M., Alzate-Arbeláez, A.F., Rojano, B.A., & Ñustez-López, C.E. (2018). Composición fisicoquímica y propiedades antioxidantes de genotipos nativos de papa criolla (*Solanum tuberosum* Grupo *Phureja*). *Información tecnológica*, 29(3), 205-216. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000300205>
- Codex Alimentarius (2017). *Norma para las frutas y hortalizas encurtidas*, (Codex Stan 260-2007). <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/list-standards/es/>
- Crespo, G.M., García, P. y Martínez, J. (2012). *Estudio del proceso de cocción en patata "Violette" (Solanum tuberosum var. Blue)* [Tesis de Maestría. Universidad Politécnica de Valencia]. https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/14364/TesinaMaster_GloriaCrespo.pdf?sequence=1
- Cruz, D., Sierra, G., Prieto, L. y Cerón, M.S. (2016). Purés deshidratados de clones candidatos a registro de papa criolla (*Solanum tuberosum* Grupo *Phureja*). En Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (Ed.), *Compendio de resúmenes XXVII Congreso de la Asociación Latinoamericana de la papa [ALAP]*, (pp. 112-113). <http://anyflip.com/xrvf/nzjt>



Duarte, Y.S., Muñoz, L.M. y León, D.E. (2021). La papa nativa: características y algunas alternativas en el desarrollo de producto. En Centro Regional de Gestión para la Productividad y la Innovación de Boyacá (CREPIB), Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación – MINCIENCIAS, Gobernación de Boyacá, Instituto de Ciencia y Tecnología Alimentaria (INTAL), Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC) y Comunidad aliada al proyecto (Eds.) *La papa nativa en Boyacá: un esfuerzo de cohesión desde la cadena productiva* (pp. 49-61). AltaVoz Editores.

<http://www.crepib.org.co/wp-content/uploads/2021/05/La-papa-nativa-en-Boyaca-Un-esfuerzo-de-cohesion-desde-la-cadena-productiva.pdf>

Dupuis, B., Riot, G., Ballmer, T., Thévoz, E., Wüthrich, R. y Hebeisen, T. (2016). Comparaison de l'éthylène et du chlorprophame pour le stockage des pommes de terre. *Recherche Agronomique Suisse*, 7(1), 4–11.

Espinosa, M., Mora, J., Prieto, L., Poveda, J.C. y Cerón, M.S. (2013). Elaboración de un producto preformado con harina precocida y caracterizada de clones promisorios de papa criolla (*Solanum tuberosum* Grupo *Phureja*). En D. Caballero, X. Cuesta, J. Rivadeneira, y J. Andrade-Piedra (Eds.) *Memorias del V Congreso Ecuatoriano de la Papa y IV Congreso Iberoamericano sobre Investigación y Desarrollo en Papa* (pp. 57-58). <http://bit.ly/2vMQsC2>

Fonseca, K.L., Romero, J.E., Prieto, L., Poveda, J.C. y Cerón, M.S. (2013). Evaluación de harinas de clones promisorios precocidos y no precocidos de papa criolla *Solanum tuberosum* Grupo *Diploide* para aprovechamiento industrial. En D. Caballero, X. Cuesta, J. Rivadeneira, J. Andrade-Piedra, (Eds.) *Memorias del V Congreso Ecuatoriano de la Papa y IV Congreso Iberoamericano sobre Investigación y Desarrollo en Papa* (pp. 51-52). <http://bit.ly/2vMQsC2>



- García-Segovia, P., Andrés-Bello, A. y Martínez-Monzó, J. (2008). Textural properties of potatoes (*Solanum tuberosum* L., cv. Monalisa) as affected by different cooking processes. *Journal of Food Engineering*, 88(1), 28-35. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.12.001>
- Garnica, M., Prieto, L., Álvarez, C. y Cerón, M.S. (2015). Comportamiento de la congelación de clones promisorios precocidos de papa criolla (*Solanum tuberosum* Grupo *Phureja*). *Alimentos Hoy*, 23(36), 21-30. <https://alimentos hoy.acta.org.co/index.php/hoy/issue/view/38/showToc>
- Gil-Rivero, A.E., López-Medina, E., Mostacero-León, J., y De La Cruz-Castillo, A.J. (2019). Papas nativas con potencial antioxidante, cultivadas en el norte del Perú. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 18(3), 289-324. <https://doi.org/10.37360/blacpma.19.18.3.19>
- González, A., Alvis, A. y Arrázola, G. (2015). Efecto del recubrimiento comestible en las propiedades de trozos de batata (*Ipomoea Batatas* Lam) fritos por inmersión: Parte 1: Textura. *Información tecnológica*, 26(1), 95-102. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642015000100011>
- González, X., Benítez, L., Ortiz, J. y Paredes, M. (2018). Water pH influence and cooking time over texture, gelatinization and retrogradation from Andean tubers. *Italian Journal of Food Science, suppl. CICABI 2018: 1st International Congress of Food Science and Biotechnology, Pinerolo*, 39-48.
- Goñi, S.M, y Salvadori, V.O. (2015). *Color measurement from digital images*. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/45660>
- Grunenfelder, L., Hiller, L.K. y Knowles, N.R. (2006). Color indices for the assessment of chlorophyll development and greening of fresh market potatoes. *Postharvest Biology and Technology* 40(1), 73-81. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2005.12.018>



- Guateque, M.A. (2014). *Evaluación del rasgo textura en tubérculos de Solanum tuberosum Grupo Phureja y búsqueda de genes candidatos asociados al rasgo* [Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/52274/0779835.2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Guthrie, J. (1931). A method for the determination of peroxidase activity. *Journal of the American Chemical Society*, 53(1), 242-244. <https://doi.org/10.1021/ja01352a033>
- Guzmán, J. (2016) La papa criolla tiene mercado en países de Europa, Estados Unidos y Japón. *Agronegocios*. <https://www.agronegocios.co/agricultura/la-papa-criolla-tiene-mercado-en-paises-de-europa-estados-unidos-y-japon-2621872>
- Hasbún, J., Esquivel, P., Brenes, A. y Alfaro, I. (2009). Propiedades físico-químicas y parámetros de calidad para uso industrial de cuatro variedades de papa. *Agronomía Costarricense*, 33(1), 77-89.
- Herrera Arévalo, A.O. Mendoza Rincón, R. Hernández, M.S. (2011). Procesamiento de papa criolla. En: A.O. Herrera Arévalo, y L.E. Rodríguez Molano. *Tecnologías de producción y transformación de papa criolla* (pp. 55-100). Universidad Nacional de Colombia.
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2015). Resolución 003168. 7/09/2015. Reglamenta y controla la producción, importación y exportación de semillas producto del mejoramiento genético para la comercialización y siembra en el país, así como el registro de las unidades de evaluación agronómica y/o unidades de investigación en fitomejoramiento. ICA. <https://www.ica.gov.co/getattachment/4e8c3698-8fcb-4e42-80e7-a6c7acde9bf8/2015R3168.aspx>
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2017a). Resolución 00011599. 23/09/2017. Registro de la variedad de papa criolla Corpoica-Sol Andina para la Subregión Natural Altiplano Cundiboyacense. ICA.



- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2017b). Resolución 00011600. 23/09/2017. Registro de la variedad de papa criolla Corpoica-Tiba para la Subregión Natural Altiplano Cundiboyacense. ICA.
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2018). Resolución 00020077. 01/02/2018. Modificación parcial de la Resolución 00011600 del 23/09/2017 de la variedad de papa criolla Corpoica-Tiba para la Subregión Natural Altiplano Cundiboyacense. ICA.
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2019a). Resolución 00017700. 5/11/2019. Registro de la variedad Agrosavia Oyanza para Región Andina, Subregión Nudo de los Pastos. ICA.
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2019b). Resolución 00017702. 5/11/2019. Registro de la variedad Agrosavia Alhaja para Región Andina, Subregión Nudo de los Pastos. ICA.
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2020). Resolución 068122. 20/05/2020. Modificación parcial a la Resolución ICA 11601 del 23/09/2017. Registro de la variedad de papa criolla Agrosavia Estrella. ICA.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA] y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (1999). *Acuerdo Marco de competitividad de la cadena agroalimentaria de la papa*. IICA. <http://hdl.handle.net/11348/5559>
- Ligarreto, G. y Suárez, M. (2003). Evaluación del potencial de los recursos genéticos de papa criolla (*Solanum phureja*) por calidad industrial. *Agronomía Colombiana*, 21(1-2), 83-94.
- López-Rodríguez, M.M. y Ñustez-López, C.E. (2020). Antioxidant compounds in diploid potato: Effect of the foliar application of magnesium and manganese. *Agronomía Colombiana*, 38(3), 325-334. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v38n3.79629>



- Lozoya-Saldaña, H., Rivera-Hinojosa, R. y Colinas-León, M.T. (2007). Fenoles, peroxidasa y fenilalanina amonio-lyasa: su relación con la resistencia genética de clones de papa (*Solanum tuberosum* L.) contra el tizón tardío (*Phytophthora infestans* Mont. De Bary). *Agrociencia*, 41(4), 479-489.
- Manchola, B. (2012). *Caracterización fisicoquímica y reológica de almidones nativos de cinco clones promisorios de papa criolla cosechados en el Municipio de Granada* [Tesis de pregrado, Universidad de La Salle]. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos/229
- Martínez, P., Málaga, A., Betalleluz, I., Ibarz, A. y Velezmoro, C. (2015). Caracterización funcional de almidones nativos obtenidos de papas (*Solanum phureja*) nativas peruanas. *Scientia Agropecuaria*, 6(4), 291-301. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2015.04.06>
- Molina, Y., Caez G.R., Rodríguez, M.L., Cerón, M.S. y Garnica, M. (2015). Contenido de antioxidantes en papas criollas nativas (*Solanum tuberosum* . Grupo *Phureja*) en proceso de precocción y congelación. *Alimentos Hoy*, 23(36), 31-41.
- Morales, S., Coca, A., Prieto, L. y Poveda, J. (2015). Elaboración de Pan con Sustitución Parcial de Harina de Trigo por Harinas de Papa Criolla (*Solanum tuberosum* Grupo *Phureja*) Variedad Criolla Colombia. En P. Kromann, B. Montero, M. Romero, X. Cuesta, J. Jiménez, (Eds.). *Memorias VI Congreso Ecuatoriano de la Papa* (pp. 103-105). <https://cipotato.org/es/latinoamerica/informacion/congresos/vi-congreso-ecuatoriano-de-la-papa/>
- Moreno-Ortiz, C.A. y Ruge-Caraballo, J.C. (2015). Sistemas de información geográfica (SIG) en la investigación de mercados para exportaciones de papa criolla colombiana hacia Estados Unidos. *Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica*. 18(1), 261-270. <https://doi.org/10.31910/rudca.v18.n1.2015.447>



- Oke, M.O. y Workneh, T. S. (2013). A review on sweet potato postharvest processing and preservation technology. *African journal of agricultural research*, 8(40), 4990-5003. <https://doi.org/10.5897/ajar2013.6841>
- Olivas, R., Nevárez, G.V. y Gastélum, M.G. (2009). Las pruebas de diferencia en el análisis sensorial de los alimentos. *Revista Tecnociencia*, 3(1), 1-7.
- Orozco, J.S., Quijano, E.J., Prieto, L., Figueroa, L.M. y Cerón M.S. (2014). Modificación enzimática de almidones nativos de clones candidatos a registro de papa criolla (*Solanum tuberosum* Grupo *Phureja*) para elaboración de pasta tipo espagueti. En C.E. Nústey y L.E. Rodríguez (Eds.), *Memorias XXVI Congreso de la Asociación Latinoamericana de la papa [ALAP]*, (pp. 216). <http://anyflip.com/xrvf/hnmj>
- Prada, R. (2012). Alternativa de aprovechamiento eficiente de residuos biodegradables: el caso del almidón residual derivado de la industrialización de la papa. *Revista EAN*, 72, 182-192. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-81602012000100012&lng=en&nylng=es
- Prieto, L., Álvarez, C., Cerón, M., Garnica, A. y Molina, Y. (2013). Manual de procesamiento de la papa criolla. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/13451>
- Reyes, L.F. y Cisneros-Zevallos L. (2007). Degradation kinetics and colour of anthocyanins in aqueous extracts of purple- and red-flesh potatoes (*Solanum tuberosum* L.). *Food Chemistry*, 100(3), 885-894. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.11.002>
- Rivera, J., Herrera, A. y Rodríguez, L. (2006). Evaluación sensorial en productos procesados de papa criolla (*Solanum phureja*) y su importancia para el fitomejoramiento. *Fitotecnia Colombiana*, 6(2), 9-25.
- Rivera, J.E., Herrera, A.O. y Rodríguez, L.E. (2011). Assessment of the processing profile of six "creole potato" genotypes (*Solanum tuberosum* Phureja Group). *Agronomía Colombiana*, 29(1), 73-81.



- Rodríguez, L.E., Núñez, C.E. y Estrada, N. (2009). Criolla Latina, Criolla Paisa y Criolla Colombia, nuevos cultivares de papa criolla para el departamento de Antioquia (Colombia). *Agronomía Colombiana*, 27(3), 289-303.
- Sánchez, L., Triviño, L.M., Lanter, D., Prieto, L. y Cerón, M.S. (2016). Fermentos de un clon promisorio de papa criolla (*Solanum tuberosum* Grupo Phureja) para obtener alcohol etílico. En Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (Ed.), *Compendio de resúmenes XXVII Congreso de la Asociación Latinoamericana de la papa [ALAP]* (pp. 176-177). <http://anyflip.com/xrvf/nzjt>
- Šimkováa, D., Lachmanb, J., Hamouzc, K. y Vokál, B. (2013). Effect of cultivar, location and year on total starch, amylose, phosphorus content and starch grain size of high starch potato cultivars for food and industrial processing. *Republic Food Chemistry*, 141, 3872–3880.
- Stewart, D. y Taylor, M. (2017). *Potato – A basis for human nutrition and health benefits*. <https://potatoes.ahdb.org.uk/publications/potato-%E2%80%93-basis-human-nutrition-and-health-benefits>
- Van Marle, N. (1997). *Characterization of changes in potato tissue during cooking in relation to texture development* [Thesis PhD, WU. Van Marle]. <https://edepot.wur.nl/200362>
- Vázquez, M.G., Santiago, D., Ybarra, M.C., Rubio, O.A. y Cadena, M.A. (2013). Variables fisicoquímicas y calidad de fritura de clones de papa desarrollados para los Valles Altos de México. *Agrociencia*, 47(1), 47-59.
- Velásquez Herrera, J.D., Lucas Aguirre J.C. y Quintero Castaño, V.D. (2017). Physical-chemical characteristics determination of potato (*Solanum phureja* Juz. & Bukasov) starch. *Acta Agronomica*, 66 (3), 323-330. <http://dx.doi.org/10.15446/acag.v66n3.52419>
- Villacrés, E., Brito, B. y Espín, S. (2004). Alternativas Agroindustriales con Raíces y Tubérculos Andinos. En: V. Barrera, C. Tapia y A. Monteros, *Raíces y tubérculos andinos: alternativas para la conservación y uso sostenible en el*



- Ecuador (pp. 117-142). Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Centro Internacional de la Papa (CIP), Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación.
- Villarraga, M., Muñoz, L., Prieto, L. y Cerón, M. (2015). Proceso de cocción con tecnología sous vide de clones candidatos a registro de papa criolla (*Solanum tuberosum* Grupo *Phureja*). En P. Kromann, B. Montero, M. Romero, X. Cuesta, J. Jiménez, (Eds.). *Memorias VI Congreso Ecuatoriano de la Papa* (pp. 100-102).
<https://cipotato.org/es/latinoamerica/informacion/congresos/vi-congreso-ecuatoriano-de-la-papa/>
- Wilkinson, J. y Rocha, R. (2013). Capítulo 3. Tendencias de las agroindustrias, patrones e impactos en el desarrollo. En. C.A. da Silva, D. Baker, A.W. Shepherd, C. Jenane y S. Miranda da Cruz. *Agroindustrias para el desarrollo* (pp. 51-102). FAO.
- Zárate, L.M., Otálora, N.A., Ramírez, L.M., Prieto, L., Cerón, M.S. y Poveda, J.C. (2013). Sustitución del almidón en la formulación de mortadela por almidón de clones promisorios (*S. tuberosum* Grupo *Phureja*). *Revista epsilon*, 20, 41-58. <http://oaji.net/articles/2015/2065-1432479260.pdf>
- Zárate, L.M., Garnica, A.M., Prieto, L., Poveda, J.C. y Cerón, M. (2016). Adsorption isotherms of flours from pre-cooked clones of Criolla potato (*Solanum tuberosum* Group *Phureja*) South American tuber. *International Food Research Journal*, 23(6), 2504–2512.
<http://www.ifrj.upm.edu.my/volume-23-2016.html>
- Zárate, L.M., Ramírez, L.M., Otálora, N.A., Prieto, L., Garnica, A.M., Cerón, M.S. y Argüelles, J.H. (2014). Extracción y caracterización de almidón nativo de clones promisorios de papa criolla (*Solanum tuberosum* L., Grupo *Phureja*). *Revista Latinoamericana de la Papa*, 18(1), 1–24.
<http://35.231.225.15/index.php/rev-alap/article/view/206>



CAPITULO 12

Costos de Procesamiento de la Papa Diploide (*Solanum phureja* Juz. et Buk.) y el Potencial de sus Productos en Mercados Internacionales

Claudia Patricia Álvarez Ochoa¹, Ana Magdalena Garnica Holguín,¹

Lena Prieto Contreras,¹ Beatriz Elena Agudelo Chocontá²

Resumen

El procesamiento de la papa diploide (*Solanum phureja* Juz. et. Buk.) es una opción para extender su vida útil, evitar las pérdidas y aprovechar su potencial en los mercados internacionales. Con este fin se planteó como objetivo evaluar los costos, el margen de contribución y el punto de equilibrio en la transformación de los tubérculos como materia prima hasta la obtención de papa diploide: frita en hojuelas, precocida congelada, conserva y harina, con una capacidad de producción de 44.831 kg de producto. La identificación de los aspectos técnicos para el procesamiento de la papa diploide, en las cuatro líneas de producción propuestas, permitió establecer los costos de la generación de valor agregado al tubérculo. Los costos fijos y variables, el punto de equilibrio para cada producto y el margen de contribución se determinaron por kilogramo, mostrando para la papa frita en hojuelas el mayor valor. Por otro lado, el comportamiento de las exportaciones de la papa reveló oportunidades en el mercado internacional para productos derivados de la papa como: papas cocidas en agua o vapor, congeladas, harina y papas preparadas o conservadas sin congelar.

Palabras Clave: costos de producción, punto de equilibrio, margen de contribución, productos de papa, exportaciones.

¹ Universidad de La Salle, Bogotá – Colombia.

² Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Tibaitatá, Mosquera, Cundinamarca-Colombia.



Abstract

Processing of diploid potato (*Solanum phureja* Juz. et. Buk.) is an option to extend its shelf life, avoid losses and take advantage of its potential in international markets. Therefore, the objective was to evaluate costs, contribution margin, and break-even point on transformation of tubers as raw material until obtaining of diploid potato: chips, frozen precooked, canned, and flour, with a production capacity of 44,831 kg of product. The identification of technical aspects for the processing of diploid potato, in four proposed production lines, allowed establishing the costs of added value generating to the tuber. Fixed and variable costs, break-even point for each product, and contribution margin were determined per kilogram, showing the highest value for potato chips. On the other hand, the behavior of potato exports revealed opportunities in the international market for potato products such as: cooked potatoes in water or steam, frozen, flour, and prepared or preserved potatoes without freezing.

Keywords: production costs, break-even point, contribution margin, potato products, exports.

Introducción

La papa por su adaptabilidad, capacidad de rendimiento, aporte nutricional, y como componente importante de los sistemas de cultivo diversificados, cumple un papel fundamental en la seguridad alimentaria (Devaux et al., 2021). En Colombia, la papa es un producto básico de la canasta familiar y es el principal generador de empleo en las zonas frías del país. De los tubérculos que se comercializan, el 90% se consume en fresco y el 10% es procesado (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR], 2019).



Según WorldAtlas (2022), para el año 2017, los tres países con mayor producción de papa fueron China (99.205.580 t/año), India (48.605.000 t/año) y Rusia (29.589.976 t/año), mientras que Colombia ocupó la posición número 24 con 2.819.026 t/año. Sin embargo, Buitrago Reyes y Peñuela Muñoz (2018), mencionan que al sector de la papa en Colombia le falta crecimiento, participar en el PIB nacional, ser más rentable dentro de la cadena de valor y ser más competitivo internacionalmente.

A nivel internacional, los principales países de destino de las exportaciones colombianas de papa son los Estados Unidos, Japón, España, Canadá y el Reino Unido, los cuales se han mantenido estables en el tiempo y, las exportaciones de papa procesada, corresponden en mayor proporción a papa diploide procesada en diferentes presentaciones (MADR, 2019). Así mismo, hay un notable interés de los consumidores de varios países en adquirir productos exóticos, frescos, congelados y procesados de fácil preparación en los hogares, por lo que es una oportunidad comercial que justifica la innovación en procesos para dar valor agregado a la papa. Por ello, se espera que, en los próximos años, la exportación de papa diploide crezca y se consolide para contribuir a mejorar el nivel de ingreso de los agricultores (Núñez y Rodríguez, 2020).

Para el procesamiento de tubérculos de papa diploide se requiere del montaje de una infraestructura para lograr productos de alta calidad y generar valor agregado al producto, por lo tanto, el análisis financiero de la alternativa de industrialización es fundamental para establecer la conveniencia de la oportunidad de negocio, es por ello que el objetivo de este capítulo fue establecer los costos, el margen de contribución, el punto de equilibrio de un sistema productivo con cuatro líneas de producción (descritas en el capítulo de procesamiento: conservas, precocida congelada, papas fritas y chips), y la identificación de oportunidades para estos principales productos en los mercados internacionales.



Metodología

Su desarrollo se basó en tres supuestos: (1) la disponibilidad de materia prima que provenía de los cultivos de los agricultores que estaban vinculados al proyecto de generación de nuevas variedades en el Departamento de Cundinamarca y que para el año 2015 se estimó en 85.000 kg de papa diploide, con el rendimiento obtenido por las mejoras en el cultivo (18 t/ha); (2) un arreglo productivo para la elaboración de cuatro productos con los que se buscó el aprovechamiento total del tubérculo en consideración a los criterios de selección (Tabla 11.3 del capítulo 11) de la materia prima, así: el 54% cumplió las condiciones para la elaboración de papa frita en hojuelas, el 35% para papa precocida congelada, el 5% para papa en conserva y el 5% para harina de papa precocida; y (3) un diseño funcional de las instalaciones para el flujo de los procesos productivos de acuerdo con los requerimientos higiénico-sanitarios establecidos en la legislación colombiana para la producción de alimentos (Prieto et al., 2013).

La capacidad instalada del proceso productivo se proyectó con cuatro líneas de producción en un proceso discontinuo para los productos procesados descritos en el capítulo de procesamiento (papa frita en hojuelas, papa precocida congelada, papa en conserva y harina de papa precocida). Para establecer el costo de procesamiento de los tubérculos de papa diploide, y según la tecnología presentada en el capítulo de procesamiento de esta publicación, se determinaron los costos variables y los costos fijos de procesamiento (Calleja, 2013).

Los ingresos se calcularon según las ventas esperadas para lo que se definió la cantidad de producto procesado y se estimó el precio de venta según el mercado. El punto de equilibrio se calculó a partir de los costos fijos y variables y los ingresos, para establecer el volumen de producción mínimo requerido y el margen de contribución que se obtendrían por la venta de cada uno de los productos procesados.



Con el propósito de identificar oportunidades en los mercados internacionales para los derivados de la papa diploide, se revisó la información actualizada sobre las tendencias de las exportaciones y se tomaron las cifras de las bases de datos de página web oficial del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia con base en estadísticas de Comercio Exterior del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) y la DIAN con cálculos de la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA), en relación a las cantidades exportadas de papa, los países destino y el valor promedio pagado por tonelada de producto procesado en el período del 2011 al 2021. La papa diploide en Colombia, no posee una partida arancelaria propia por lo que las exportaciones se realizan bajo la partida que contiene a todas las papas procesadas (Piñeros, 2009). Por esto el potencial de exportación se analizó bajo las siguientes subpartidas arancelarias: 0710100000 - papas (patatas) aunque estén cocidas en agua o vapor, congeladas; 1105100000 - harinas, sémola y polvo de papa (patatas) y 2005200000 - Papas (patatas), preparadas o conservadas (excepto en vinagre o en ácido acético), sin congelar.

Productos Logrados

A partir de la información recogida a lo largo de la investigación de generación de nuevas variedades de papa diploide en el Departamento de Cundinamarca se estimaron los costos que se presentan a continuación.

Costo Estimado de Productos Procesados

De acuerdo con los rendimientos promedio obtenidos en el procesamiento la materia prima para cada uno de los cuatro productos propuestos, se tiene para el primer año de operación una producción de derivados de papa diploide de 44.831 kg, lo que equivale a un rendimiento del 52% en el procesamiento total, 21% de rendimiento en la obtención de harina, 33% en la obtención de papa frita en hojuelas, 84% en papa precocida congelada y 91% en papa en conserva (Tabla 12.1).



Tabla 12.1

Cantidades de materia prima y producto terminado por año para cada derivado de la papa diploide

Materia Prima (MP) y Productos Procesados	Cantidad inicial	Rendimiento	Producto
	(kg)	(%)	(kg)
Papa diploide (papa criolla) fresca como totalde MP	85.000	52	44.831
Harina de papa (6% de la MP total)	5.100	21	1.071
Hojuelas fritas (58% de la MP seleccionada)	46.342	33	15.293
Precocida congelada (37% de la MP seleccionada)	29.563	84	24.832
En conserva (5% de la MP seleccionada)	3.995	91	3.635

La Tabla 12.2 presenta los costos fijos y los costos variables, para el año 2020, en los que se incurren en la elaboración de los cuatro productos propuestos. En estos valores no se incluyen los impuestos ni el costo del capital. Los costos fijos contienen los costos directos e indirectos, y del total, se encuentra que la mayor participación la tiene el rubro de personal que corresponde al 50,8%. Por su parte, el costo variable depende de los insumos utilizados y los rendimientos del proceso, esto se comprueba con la harina de papa criolla que tiene el mayor costo variable y el menor volumen de producción.

Ingresos

Los ingresos provienen de la venta de los productos de acuerdo con los volúmenes de producción y el precio de venta. La Tabla 12.3 presenta los ingresos por ventas anuales calculados a partir del precio de venta promedio de productos similares que se encontraron en el mercado para el año 2020.

Punto de Equilibrio

En la Tabla 12.4 se observa el margen de contribución para la papa frita en hojuelas de \$57.656/kg, para la papa precocida congelada de \$770/kg, para la papa en conserva de \$26.360/kg y para la harina de papa de -\$4.825. El punto de equilibrio se alcanza con una producción de 3.790 kg de papa frita en hojuelas, 183.905 kg de papa precocida congelada, 768 kg de papa en conserva. En el caso de la harina de papa criolla, con el volumen de producción y los ingresos generados por las ventas, no se alcanza a cubrir los costos totales.



Tabla 12.2

Costos fijos y variables en el procesamiento de los derivados de la papa diploide (año 2020)

COSTOS FIJOS				
Rubro	Valor Unitario (\$)	Cantidad	Valor Mensual (\$)	Valor Anual (\$)
Arriendo Bodega	6.000.000	1	6.000.000	72.000.000
Jefe de producción	2.775.000	1	2.775.000	33.300.000
Operarios de Planta	1.382.000	4	5.528.000	66.336.000
Transporte producto	2.000.000	1	2.000.000	24.000.000
Manejo de aguas y residuos	1.000.000	1	1.000.000	12.000.000
Mantenimiento maquinas	1.100.000	1	1.100.000	13.200.000
Depreciación	4.800.000	1	4.800.000	57.600.000
Programa aseo y desinfección	180.000	1	180.000	2.160.000
Dotación	43.890	4	175.560	2.106.720
Secretaria	1.160.000	1	1.160.000	13.920.000
Vigilancia	1.160.000	1	1.160.000	13.920.000
Gerente	4.855.000	1	4.855.000	58.260.000
Vendedor	1.160.000	1	1.160.000	13.920.000
Contador	500.000	1	500.000	6.000.000
Internet-teléfono	150.000	1	150.000	1.800.000
Servicio de luz	300.000	1	300.000	3.600.000
Celular	60.000	3	180.000	2.160.000
Desplazamientos	500.000	1	500.000	6.000.000
Aseo y cafetería	100.000	1	100.000	1.200.000
Papelería	100.000	1	100.000	1.200.000
TOTAL COSTOS FIJOS (\$)			33.723.560	404.682.720
COSTOS VARIABLES				
Materia prima	1.990	7.084	14.097.160	169.165.920
Insumos			1.955.000	23.460.000
Agua, alcantarillado y aseo	500.000	12	6.000.000	72.000.000
TOTAL COSTOS VARIABLES (\$)			22.052.160	264.625.920
TOTAL COSTOS FIJOS Y VARIABLES (\$)			55.775.720	669.308.640

Tabla 12.3

Ingresos anuales por venta de los productos derivados de papa diploide (2020)

Producto	Cantidad (kg)	Precio de venta (\$/kg)	Ingresos anuales (\$)
Frita en hojuelas	15.293	67.000	1.024.631.000
Precocida congelada	24.832	4.500	111.744.000
En conserva	3.635	30.000	109.050.000
Harina de papa	1.071	10.000	10.710.000



Tabla 12.4

Punto de equilibrio para cada producto derivado de papa diploide (2020)

	Frita en hojuelas	Precocida congelada	En conserva	Harina de papa
Precio de venta (kg)	\$67.000	\$4.500	\$30.000	\$10.000
Costo variable (kg)	\$9.344	\$3.730	\$3.640	\$14.825
Margen contribución (kg)	\$57.656	\$770	\$26.360	-\$4.825
Costos fijos	\$218.528.669	\$141.638.952	\$20.234.136	\$24.280.963
Punto de equilibrio (kg)	3.790	183.905	768	-5.032

El análisis de los costos evidencia que el mayor costo variable corresponde a la harina de papa diploide, esto se debe al menor rendimiento (21%) en el proceso al eliminar el agua presente en el producto, y a la menor cantidad de materia prima que se destina a este proceso. Es de anotar que este derivado se propone con el fin de aprovechar la papa diploide que no cumple con los requisitos para la elaboración de los otros productos, de esta forma si se aumenta el volumen de producción y se alcanza un mínimo de 6.103 kg de harina de papa diploide se alcanza el punto de equilibrio para este producto.

Los menores costos variables son para la papa precocida congelada y la papa en conserva que tienen valores cercanos, \$3.730 y \$3.640 respectivamente. Esto se debe a los mayores rendimientos en el procesamiento y el aprovechamiento del 84% de la materia prima en la elaboración de papa precocida congelada y el 91% en la papa en conserva.

La papa frita en hojuela tiene un costo variable de \$9.344 con un rendimiento del 33%, esto porque en el freído se pierde parte del agua presente en el tubérculo, pero es el producto con mayor margen de contribución (\$57.656/kg), lo que se puede explicar por el mayor precio del producto en el mercado, aunque el contenido de producto es sólo de 30 g por paquete. En cuanto a la papa precocida congelada, según la proyección realizada del sistema productivo, tiene un margen de \$770/kg como consecuencia del menor precio de este producto en el mercado. El producto con menor margen es la harina de papa diploide.



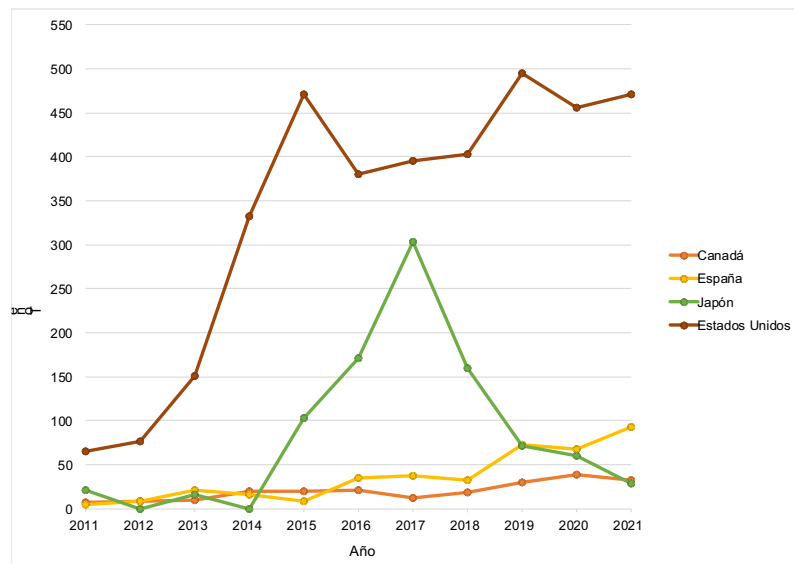
Potencial de Productos Procesados en los Mercados Internacionales

A continuación, se analizan los países de destino y las cantidades exportadas de papas cocidas, en agua o vapor, congeladas (papas precocidas congeladas), las harinas, sémola y polvo de papa (patata) y papas preparadas o conservadas (excepto en vinagre o en ácido acético) sin congelar.

Papas Cocidas, en Agua o Vapor, Congeladas. En la Figura 12.1 se aprecia un crecimiento importante en los últimos años para las exportaciones de la categoría de papas congeladas, cocidas en agua o vapor, situación que evidencia el incremento en el consumo y un potencial para la exportación de estos productos. Los principales países destino de las exportaciones colombianas de papa congelada cocida fueron: Canadá, España, Japón y Estados Unidos, esta última nación, fue la que más compró este producto a Colombia con un total de 3.696,3 t en el período de 2011 a 2021, lo que representó un ingreso para el país en estos últimos años de 9.207,4 miles FOB USD. Así mismo, el precio FOB promedio pagado por los países exportadores por la papa congelada cocida fue de 2,6 miles USD/t por año (Agronet, 2022).

Figura 12.1

Evolución de las exportaciones de papas cocidas en agua o vapor, congeladas del año 2011 al 2021



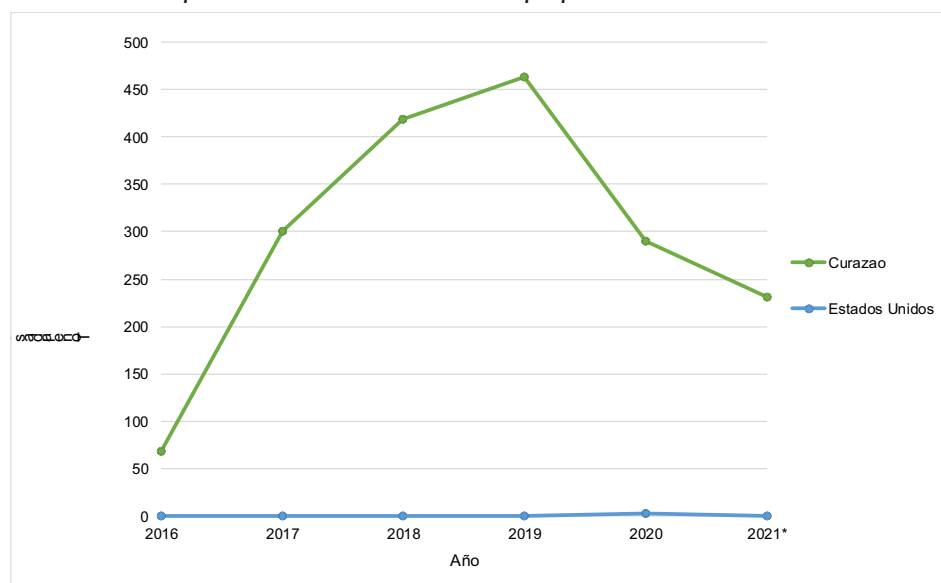
Nota. Basado en Agronet (2022) a partir de datos de DANE-DIAN.



Harinas, Sémola y Polvo de Papa. Se destaca también la exportación harina, sémola y polvo de papa (patata) desde Colombia, con destino a Curazao a partir del año 2016, año en el cual se reportó un volumen de 68 t que aumentó a 463 t en el año 2019 pero disminuyó a casi la mitad para el año 2021 (Figura 12.2), con un valor promedio de 0,5 miles FOB USD/t por año. Excepcionalmente, en el año 2020, se exportaron 2,8 t netas para Estados Unidos (Agronet, 2022; International Trade Center [ITC], 2019). Cabe notar que el potencial de la harina de papa radica en su valor nutritivo y usos industriales como sustituto de otras harinas como la de trigo o de maíz.

Figura 12.2

Evolución de las exportaciones de harina de papa del año 2011 al 2021



Nota. *Datos reportados hasta noviembre de 2021. Basado en Agronet (2022) a partir de datos de DANE-DIAN y cálculos de UPRA.

Papas (Patatas), Preparadas o Conservadas (Excepto en Vinagre o en Ácido Acético), sin Congelar. En la Figura 12.3 se muestran los tres principales destinos de las exportaciones de productos derivados de la papa en los últimos diez años. Panamá y Estados Unidos han sido importadores constantes de estos productos, mientras que Venezuela dejó de comprar a Colombia después del año 2013. Sin embargo, retomó la adquisición de estos alimentos para el

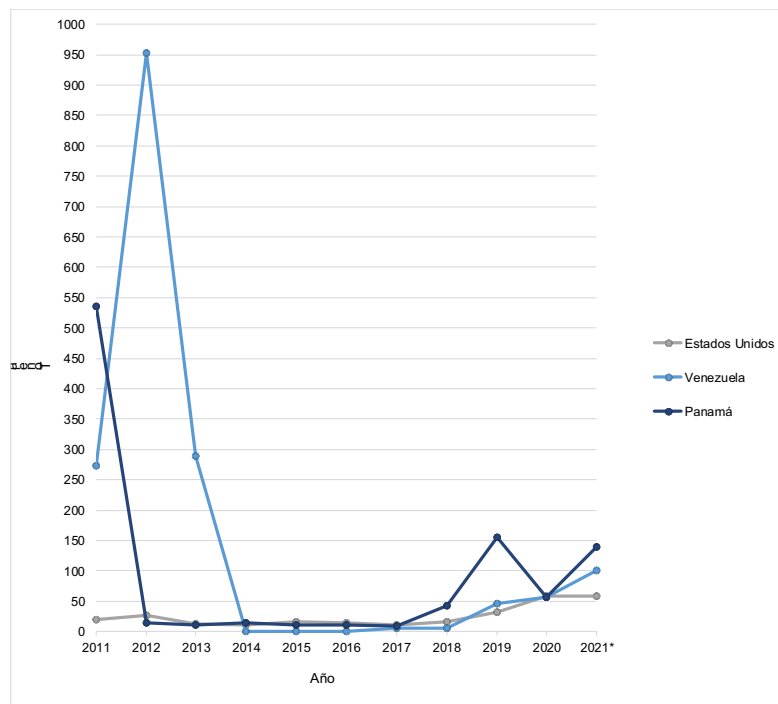


el 2017. Panamá es el mayor comprador de estos productos y en el período del 2011 a 2021 compró un total de 1.834 t con una inversión de 9.567,4 miles de FOB USD. El valor promedio de tonelada al año pagado por estas naciones corresponde a 5,3 miles de FOB USD (Agronet, 2022).

El comportamiento de las exportaciones demostró el incremento en la demanda en los mercados internacionales y el potencial de los derivados de la papa como papas cocidas en agua o vapor, congeladas, en harina, sémola y polvo y las papas preparadas o conservadas sin congelar. Este potencial puede ser mayor en el caso de la papa diploide debido a sus atributos y el carácter exótico del producto. Adicionalmente, según datos de Proexport (2020), Colombia tiene fortalezas en la producción de frituras en especial de papas, lo cual se convierte en una gran oportunidad para la exportación de este tipo de producto procesado.

Figura 12.3

Evolución de las exportaciones de papas preparadas o conservadas sin congelar del año 2011 al 2021



Nota. *Datos reportados hasta noviembre de 2021. Basado en Agronet (2022) a partir de datos de DANE-DIAN y cálculos de UPRA.



Conclusiones

La papa diploide en presentaciones: frita en hojuelas, precocida congelada, conserva y harina, son productos que se desarrollaron con el fin de generar valor agregado a la producción de los agricultores participantes en la investigación y buscar el aprovechamiento total del tubérculo. El análisis de los costos y los ingresos arrojó que con los volúmenes de producción previstos no es conveniente la elaboración de los cuatro derivados propuestos y que se recomienda la elaboración de la papa diploide frita en hojuelas y la papa precocida congelada, con destino al mercado nacional y exportación. Por su parte, aunque en el mercado nacional no hay una demanda para la papa diploide en conserva, este producto sí se vende en el mercado internacional y a un buen precio, por lo que sí puede ser viable su producción si se aumenta la cantidad de materia prima procesada.

Referencias

- Agronet. (2022). *Reporte: Principales países de destino de las exportaciones del sector agroindustrial por productos seleccionados*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.agronet.gov.co/>
- Buitrago Reyes, R. O. y Peñuela Muñoz, L. (2018). La papa: un alimento de oportunidades con opciones de comercialización internacional. *Equidad y Desarrollo*, (32), 181-206. <https://doi.org/10.19052/ed.5135>
- Calleja, F.J. (2013). *Costos*. (2° ed.). Pearson.
- Devaux, A., Goffart, JP., Kromann, P. Andrade-Piedra, J., Polar, V. y Hareau, G. (2021). The Potato of the Future: Opportunities and Challenges in Sustainable Agri-food Systems. *Potato Research* 64, 681–720. <https://doi.org/10.1007/s11540-021-09501-4>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2019). *CADENA DE LA PAPA Indicadores e instrumentos*. MADR.



- Ñústez, L., C.E. y Rodríguez, M. L.E. (2020). *Papa criolla (Solanum tuberosum Grupo Phureja): Manual de recomendaciones técnicas para su cultivo en el departamento de Cundinamarca*. Corredor Tecnológico Agroindustrial, CTA-2.
- Piñeros, C. (2009). *Recopilación de la investigación del sistema productivo de papa criolla*. Convenio Secretaria de Agricultura y Desarrollo Económico de Cundinamarca [SADE] 045/06. Federación Colombiana de Productores de Papa (Fedepapa).
<https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/13653>
- Prieto, L., Álvarez, C., Cerón, M., Garnica, A. y Molina, Y. (2013). *Manual de procesamiento de la papa criolla*. Corpoica.
<https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/13451>
- Proexport. (2020). *Oportunidades de negocio en el sector agroindustria, alimentos procesados*.
<https://www.colombiatrader.com.co/oportunidades/sectores/agroindustrial>
- International Trade Center [ITC]. (2019). *TradeMap - Trade statistics for international business development*.
<https://www.trademap.org/Index.aspx>
- WorldAtlas. (2022). *Where Are The Most Potatoes Grown?*
<https://www.worldatlas.com/articles/countries-with-the-highest-potato-production.html>



CAPITULO 13

Innovaciones Derivadas de Procesos de Investigación Participativa con Agricultores de Papa Diploide (*Solanum phureja* Juz. et Buk.)

Daniel Guillermo García González¹, Yamile Nova Rodríguez¹,
Claudia Patricia Álvarez Ochoa², Ana Magdalena Garnica Holguín,²
Lena Prieto Contreras², Isabel Cusgüen Londoño³

Resumen

Mediante procesos participativos con los agricultores de papa diploide (*Solanum phureja* Juz. et. Buk.) y miembros de asociaciones en los Municipios de Subachoque, Granada, El Rosal y Sibaté (Departamento de Cundinamarca, Colombia), acciones tendientes se llevaron a cabo para generar una visión sistémica de la actividad asociada al cultivo de papa, involucrando no sólo los aspectos técnicos que posibilitaron el mejoramiento del tubérculo, sino también aquellos que permitieron la sostenibilidad de la producción en el tiempo, como los aspectos empresariales y las habilidades personales, las cuales facilitaron la apropiación de las innovaciones derivadas durante el desarrollo de procesos de investigación participativa. En instalaciones de planta piloto, los productores participaron en jornadas de elaboración de productos para dar un mayor valor agregado a los tubérculos e impulsar la creación de asociaciones o empresas que realicen estos procesos de transformación. Adicionalmente, el fortalecimiento de las capacidades empresariales de los productores favoreció la adopción de las innovaciones en el sistema productivo para impactar la generación de ingresos y la sostenibilidad de la actividad productiva asociada al cultivo.

Palabras Clave: innovación, adopción de innovaciones, desarrollo económico, capacidad empresarial, participación comunitaria, desarrollo rural.

¹Corporación para el Desarrollo Participativo y Sostenible de los Pequeños Productores Rurales - Corporación PBA. Colombia.

²Universidad de La Salle, Bogotá – Colombia.

³Sociedad Agraria de Transformación (SAT) El Rosal y Criollas de los Andes S.A.S. Colombia.



Abstract

Through participatory processes with diploid potato (*Solanum phureja* Juz. et. Buk.) farmers and members of associations in Municipios de Subachoque, Granada, El Rosal, and Sibaté (Departamento de Cundinamarca, Colombia), tending actions were carried out to generate a systemic vision of activity associated with potato crop, involving not only the technical aspects that made it possible to improve the tuber, but also those that allowed the sustainability of production over time, such as business aspects and personal skills, which facilitated the appropriation of derived innovations during the development of participatory research processes. In pilot plant layouts, the producers participated in product elaboration days to give greater added value to the tubers and promote the creation of associations or companies that carry out these transformation processes. Additionally, the strengthening of business capacities of the producers favored the adoption of innovations in productive system to impact generation of income and sustainability of productive activity associated with the crop.

Keywords: innovation, adoption of innovations, economic development, entrepreneurship, community participation, rural development.

Introducción

En términos de desarrollo social, el desarrollo económico hace referencia a la capacidad de una sociedad local para formular metas de interés colectivo y movilizar los recursos necesarios para alcanzar esas metas. La evolución de una sociedad local depende de los esfuerzos que se realicen para superar las limitaciones del entorno y aprovechar sus oportunidades mediante la valorización de sus propios recursos (Cuervo, 2006; Rodríguez et al., 2011). No obstante, el territorio influye en el comportamiento de las personas y puede contribuir a la capacidad de introducir innovaciones al interior de la base productiva, acompañadas por cambios sociales que las hacen posibles (Albuquerque, 2007; Vázquez, 2000).



Históricamente las economías locales-familiares de pequeña escala en Colombia (Romero, 2011) se han destacado en el sector agropecuario. En este contexto se presentan retos hacia un desarrollo rural económicamente viable y sostenible, en concordancia con las realidades específicas de cada comunidad desde su convivencia, su conocimiento, su participación y liderazgo (Álvarez et al., 2011; Montes et al., 2011).

En Colombia, cada vez más, han venido incursionando diferentes entidades gubernamentales y privadas en el desarrollo rural agropecuario mediante procesos y metodologías integrales que incluyen empoderamiento, fortalecimiento organizativo y empresarial más apropiación social del conocimiento aprehendido por la vinculación de comunidades a procesos de investigación rural participativa (Gutiérrez, 2010). Si bien el desarrollo sostenible de las comunidades rurales resulta complejo, puesto que intervienen y participan gran variedad de factores tanto biológicos y económicos como sociales y culturales, requiere de una estrategia integral que combine diferentes aspectos, visiones, disciplinas y componentes (Álvarez et al., 2011; Díaz et al., 2011; García et al., 2011; Montes et al., 2011), para propiciar:

- Desarrollo de capacidades y habilidades sociales e individuales.
- Liderazgo para el empoderamiento de las comunidades rurales y la sostenibilidad de los procesos.
- Mejoramiento de las actividades productivas o de servicios generadores de ingresos.
- Validación de tecnologías innovadoras y adoptadas a las condiciones agroambientales de cada zona.
- Consolidación de organizaciones comunitarias basadas en cohesión social y metas comunes.
- Desarrollo de emprendimientos participativos rurales y manejo empresarial eficiente de sus unidades productivas.



- Implementación, difusión y multiplicación de procesos tanto tecnológicos como socio-empresariales exitosos que hagan posible y veraz un proceso de innovación social.

La innovación es fruto de un proceso participativo que requiere de varias etapas de validación y evaluación hasta que sus resultados se hagan tangibles y usables para que finalmente se adopten de manera sostenible por parte de las comunidades rurales. Sólo cuando se logra esta apropiación, se llega a la innovación que aporta al desarrollo de los territorios. La innovación implica el acuerdo de voluntades entre actores para buscar soluciones a sus problemáticas, lo que también incide en la capacidad de adaptación y disminución de la resistencia al cambio y a la búsqueda de un objetivo común que se traduce en la generación de ingresos de forma sostenida (Beduschi et al., 2017; García et al., 2011; Ortiz et al., 2020).

De esta manera, las innovaciones no pueden darse sin un contexto y trascienden al individuo y la empresa, por eso discutir del desarrollo de los productores, es posible si se hace desde el ámbito de su región y en coherencia con sus conocimientos, valores y costumbres; y con una intervención integral que permita el desarrollo de las dimensiones técnica, empresarial y social (Rodríguez et al., 2011). Basados en estas premisas y en el marco del Programa Andino de Innovación Participativa con Pequeños Agricultores (PAI) liderado y coordinado por la Corporación para el Desarrollo Participativo y Sostenible de los Pequeños Productores Rurales (Corporación PBA) y en alianza con AGROSAVIA, centros de investigación, universidades, gobiernos territoriales y locales, entidades públicas y privadas, se emprendieron acciones orientadas a contribuir con el mejoramiento de la calidad de vida de los agricultores. Mediante un análisis interinstitucional, se comprendía que la suma e integración de capacidades y fortalezas de diferentes actores, garantizaba el desarrollo y establecimiento de procesos sostenibles con dichas comunidades, en donde no solamente se trabajaron aspectos técnicos del cultivo sino también los aspectos de apropiación social del conocimiento y de desarrollo socio-empresarial de los productores.



Sobre estos dos últimos aspectos se realizaron actividades conjuntas entre AGROSAVIA, la Corporación PBA y la Universidad de La Salle, bajo el financiamiento del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) de Colombia, con el propósito de que los productores que dedicaban su acción a la producción y comercialización de papa diploide en la zona que se llevó a cabo la investigación, mejoraran sus competencias personales, organizativas y empresariales para garantizar la apropiación y la sostenibilidad de las acciones emprendidas de investigación e innovación tecnológica.

Metodología

Inicialmente se partió de un diagnóstico participativo realizado con agricultores de papa diploide ubicados en los Municipios de Subachoque, El Rosal, Granada y Sibaté del Departamento de Cundinamarca, Colombia, que arrojó como resultado el conocimiento de la realidad de su contexto, los problemas, las debilidades y las necesidades. Basados en ese diagnóstico, se abordó la formulación de procesos participativos con cada comunidad, identificando las posibles rutas y oportunidades de mejoramiento entorno a la actividad del cultivo del tubérculo para el emprendimiento de sus planes rurales de negocios.

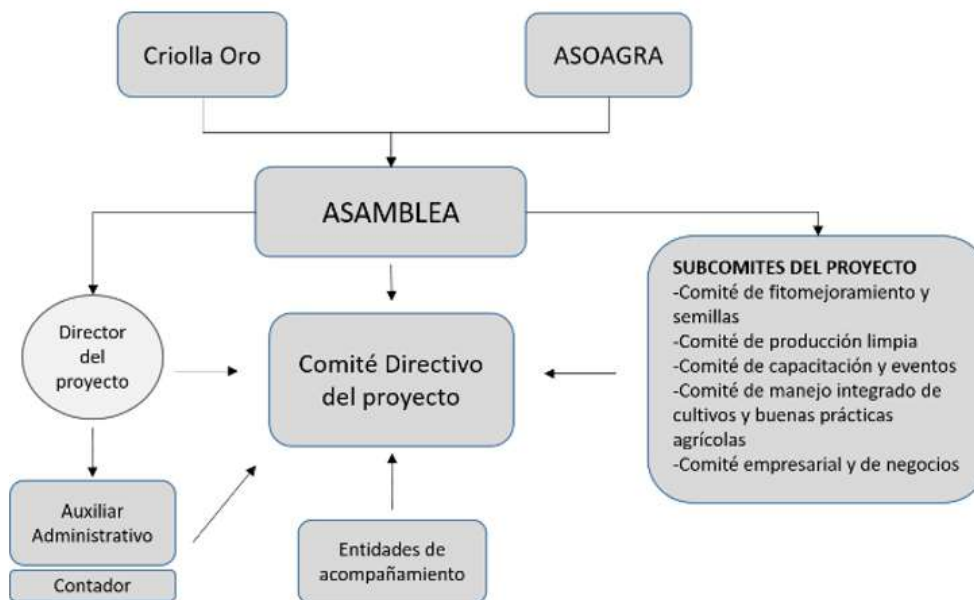
Estructura Organizativa de las Comunidades de Productores

Para la participación de la comunidad de productores por medio de las asociaciones, se creó una asamblea compuesta por los miembros y se establecieron varios subcomités (Figura 13.1). En cada subcomité, se eligió participativamente un socio encargado de coordinar las actividades de cada componente. De igual forma, la asamblea estableció participativamente criterios para la elección del director que fuera miembro de la comunidad, y reconocido por la mayoría, como persona con capacidades de guiar con transparencia y liderazgo las actividades que buscaban el bienestar común.



Figura 13.1

Estructura organizativa establecida para la ejecución del proyecto de innovación rural en papa diploide



Nota. Elaborado por Daniel Guillermo García González a partir de investigación participativa orientada por la Corporación PBA.

Como órgano supremo para la ejecución del proyecto, se estableció el comité directivo (Figura 13.1), del cual hacían parte: el director del proyecto, los coordinadores de cada subcomité, el auxiliar administrativo, el contador y los representantes de las entidades de acompañamiento y/o financiamiento. Este comité que se reunía mensualmente, estuvo encargado de planear las actividades, resolver dificultades, integrar y armonizar el apoyo técnico y socio-empresarial, así como también realizar el seguimiento y la evaluación técnica y presupuestal del proyecto.

Actividades Participativas con los Agricultores

Adicionalmente, se adelantaron acciones de apoyo que favorecieran la apropiación de las innovaciones y de la empresarización a partir del emprendimiento rural participativo de los productores, como fruto de la recuperación de la confianza en sus capacidades, el trabajo en equipo, la



comunicación y el liderazgo. En la Tabla 13.1 se observan las actividades participativas de las entidades que se desarrollaron con los productores vinculados a la investigación.

Tabla 13.1

Actividades adelantadas con los productores durante la ejecución de la investigación

Tipo de actividad	Entidades
• Buenas Prácticas Agrícolas • Producción en aeroponía • Producción de semilla • Manejo y conservación de suelos • Manejo Integrado de plagas y enfermedades	AGROSAVIA [†] Corporación PBA ^{††}
• Desarrollo organizacional • Empoderamiento • Emprendimiento • Elaboración de planes de negocio	Corporación PBA Universidad de La Salle ^{†††}
• Procesamiento de alimentos • Buenas Prácticas de Manufactura • Transformación de papa diploide	Universidad de La Salle

Nota. † Entidad ejecutora, †† Entidad aliada con el apoyo técnico de AGROSAVIA y de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional (Gutiérrez, 2010), ††† Entidad aliada.

Las actividades participativas comenzaron con talleres de identificación de problemas fitosanitarios para un manejo más racional, económico y ambientalmente sostenible del cultivo.

El aprendizaje y apropiación por parte de los productores de como producir una mejor semilla, se desarrolló como proyecto socio-empresarial más el seguimiento de núcleos de investigación participativa para la siembra y producción de semillas de alta calidad que comenzó a partir de 2.500 minitubérculos proporcionados por AGROSAVIA.



La producción de semillas normalmente se realizó en páramos y los agricultores sembraron en zonas por debajo de los 3.000 msnm, con el fin de obtener producción de nuevo material a esta altura y sin afectar zonas de conservación o de significancia ambiental.

El manejo del cultivo, con la reducción y la racionalización del uso de plaguicidas más la utilización de técnicas alternativas que no deterioraran el medio ambiente y contribuyeran a reducir las poblaciones de plagas a nivel no perjudiciales, se llevó a cabo en los Municipios de Granada y Sibaté durante tres años a través de talleres participativos, capacitaciones y aprendizaje bajo procesos de investigación participativa (Gutiérrez, 2010).

Para fortalecer el proceso de empresarización entre los productores de papa diploide de los municipios del Departamento de Cundinamarca que se vincularon en la investigación, la Corporación PBA (Álvarez et al., 2011) y la Universidad de La Salle adelantaron procesos de capacitación y acompañamiento en temas organizacionales y de emprendimiento con los agricultores de los Municipios de Subachoque, Granada, El Rosal y Sibaté en el Departamento de Cundinamarca (Colombia), se realizó un curso para la formulación de un plan de negocios para la producción de semilla limpia certificada. Para tal fin, se identificaron los principales roles de los productores en la cadena productiva de la papa diploide en Colombia.

Por otra parte, se socializó de manera práctica y participativa a los agricultores de papa diploide, los procesos de transformación con los diferentes genotipos evaluados, en las plantas piloto de la Universidad de La Salle. Esta actividad tenía la finalidad de que los productores de los Municipios de Subachoque, Granada, El Rosal y Sibaté, se apropiaran del conocimiento de cómo elaborar productos de valor agregado con el tubérculo cosechado, tanto para proponer nuevas empresas de transformación como para conocer el tipo de empresas alimentarias que serían futuros clientes de este tubérculo.



Posteriormente, AGROSAVIA junto con los agricultores evaluaron y seleccionaron los mejores genotipos de papa diploide según características agronómicas y por los rendimientos de cosecha para la subregión natural del Altiplano Cundiboyacense. Luego se realizaron Pruebas de Evaluación Agronómica (PEAS) ante el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) con el fin de registrar las nuevas variedades seleccionadas.

Productos Logrados

Las comunidades de los Municipios de Subachoque, El Rosal, Granada y Sibaté del Departamento de Cundinamarca se organizaron con el objeto de producir y comercializar la papa diploide y, además, buscaron el fortalecimiento empresarial con miras a constituir una alianza productiva.

Agricultores como Actores del Proceso Participativo Rural

Si bien existen sinergias, actividades y contextos transversales en torno al negocio de la papa diploide, se presentaron realidades diferentes que dieron lugar a procesos e impactos particulares en cada una de ellas. En el caso de la Asociación de Agricultores del Municipio Granada (Asoagra) y la Asociación del Municipio de Sibaté (Criolla Oro), en las etapas de diagnóstico y formulación participativa, los productores identificaron varios limitantes en su cultivo entre ellos la heterogeneidad genética en los genotipos en estudio, lo cual restringía el proceso de industrialización, comercialización y exportación del producto. Además, la utilización de semillas de mala calidad afectaba la sanidad y el rendimiento de los cultivos.

Por otra parte, los problemas de plagas y enfermedades afectaban al cultivo hasta en un 50% y el uso indiscriminado e irracional de insumos para su control más la fertilización química incidían negativamente en el medio ambiente. Adicionalmente, las debilidades organizacionales, empresariales y tecnológicas de cosecha y poscosecha impedían enfrentar las exigencias del mercado (Piedrahita López et al., 2012). Y con base en todo esto, las asociaciones Criolla Oro y Asoagra formularon y ejecutaron un proyecto en el marco del PAI para



asumir el reto de innovación e investigación para el mejoramiento del cultivo a nivel técnico, organizativo y ambiental, para hacerlo competitivo y sostenible y, que a su vez respondiera ante las dinámicas del mercado potencial en crecimiento.

En este sentido Yumisaca et al. (2009) concluyeron que por medio de la investigación participativa se puede dar respuesta a las problemáticas planteadas por los productores por medio de la adopción de genotipos de papa con buen desempeño agronómico y dándoles a conocer diferentes alternativas de mercado. Adicionalmente, Bajgai et al. (2018), mencionan que este tipo de trabajo en conjunto con los productores contribuye a la toma de decisiones por parte de los investigadores.

En lo que concierne a la estructura organizativa (Figura 13.1) esta fue innovadora y eficiente, generó innumerables impactos y capacidades en los productores de papa diploide en términos de participación, organización, liderazgo, manejo administrativo-presupuestal y financiero. Cabe anotar que gran parte de los recursos fueron manejados directamente por las organizaciones de los productores. Esta estructura además de las capacidades, cambios e impactos generados, garantizó el manejo honesto, adecuado y participativo de los recursos del proyecto.

Cabe resaltar que la participación de las mujeres se destacó en las distintas actividades del proceso participativo rural, en cuanto al liderazgo y la dirección de las organizaciones, la apropiación y adopción de las innovaciones tecnológicas alrededor del cultivo de papa diploide, la determinación en la manera con que asumieron nuevos roles y responsabilidades al interior de sus asociaciones. No obstante, sería importante impulsar en el futuro proyectos de desarrollo rural enfocados al fortalecimiento de la mujer en cuanto al acceso, tenencia de la tierra y propiedad del cultivo.

Manejo del Tubérculo Semilla

Una de las actividades más representativa consistió en el establecimiento de procesos comunitarios de producción de semilla certificada de papa diploide.



Al comenzar la investigación participativa con los agricultores, se llegó a pensar que los procesos de certificación de semilla eran complejos de alcanzar para las condiciones locales. Sin embargo, se hizo realidad, gracias a la confianza depositada en el conocimiento y en las capacidades de los productores dentro del marco de la innovación rural participativa propuesta por la Corporación PBA, la cual desarrolló sus metodologías para cumplir dicho objetivo, con el apoyo del esfuerzo y de la persistencia de los productores, acompañados por otras entidades participantes.

La siembra de los minitubérculos dio origen a la semilla básica, la cual fue sembrada y seleccionada participativamente por los productores en los Municipios de Granada y Sibaté (Figura 13.2). Cabe resaltar que los agricultores tienen una gran capacidad para seleccionar las variedades con un mejor comportamiento (De la Fé et al., 2007). Así mismo, es necesario señalar que el cultivo de semillas básicas fue el inicio para la semilla registrada que también fue cultivada para la producción de semilla certificada.

Figura 13.2

Selección participativa de semillas de papa diploide



Nota. a) Lote de propagación de minitubérculos, b) cosecha de semillas, c) selección de semillas y d) empaque. Fotos suministradas por la Corporación PBA.

Además, se gestionó visitas del ICA, entidad encargada de los procesos de certificación, para garantizar el cumplimiento de los parámetros de calidad (Figura 13.3). De esta manera los agricultores podían producir libremente tubérculos de siembra para la venta y consumo propio.

Una vez cumplidos todos los requisitos técnicos y administrativos necesarios, la Asociación Asoagra obtuvo el registro del ICA para producción de semilla certificada de papa diploide, lo cual indudablemente generó un nuevo y próspero negocio comunitario netamente inexistente antes de la investigación participativa, con enormes beneficios e impactos hacia el mejoramiento de la productividad, el medio ambiente y la calidad de vida de las familias de los productores de este tubérculo.

Figura 13.3

Inspección del ICA durante los procesos de certificación de semilla de papa diploide



Nota. Fotografía suministrada por la Corporación PBA.

Manejo del Cultivo con Prácticas Sostenibles

Los productores aprendieron que antes de establecer un plan de manejo integrado para determinado cultivo, era necesario conocer que factor estaba interviniendo en el desarrollo adecuado del mismo, si era una plaga, una enfermedad o alguna condición climática desfavorable, para poder implementar el manejo adecuado. Adicionalmente, se les recomendó a los agricultores que en sus prácticas agrícolas evitaran manejos de semillas o material vegetal o suelos contaminados antes de la siembra.



De acuerdo con lo anterior, se llevaron a cabo núcleos de investigación participativa (Gutiérrez, 2010) con los agricultores de papa diploide en los Municipios de Granada y Sibaté (Departamento de Cundinamarca, Colombia), y de los cuales se derivan las siguientes innovaciones.

Control de Plagas y Enfermedades. Este control requerido en el manejo integrado del cultivo, fue uno de los procesos participativos realizado en los terrenos seleccionados para este fin. Primero se determinaron los manejos del cultivo por parte de los productores, es decir, como ellos controlaban las plagas y las enfermedades con productos agroquímicos (herbicidas, insecticidas, fungicidas y coadyuvantes) de diversas categorías toxicológicas. Luego en el desarrollo de los núcleos de investigación participativa, se logró reducir en la mayoría de los casos el número de aplicaciones de productos agroquímicos (de 12 a 7), y los agricultores incluyeron productos biológicos que contenían hongos microscópicos benéficos. Cabe resaltar que, los nuevos productos incluidos para el manejo del cultivo tuvieron éxito y no hubo aplicaciones de productos de categoría toxicológica alta.

Elaboración de Abonos Orgánicos. Como parte de las evaluaciones realizadas en este núcleo de investigación participativa de bioinsumos, estuvo el análisis previo de los mismos en la producción de papa diploide por parte de los agricultores, quienes utilizaban abonos con escasos nutrientes como: la gallinaza, estiércol de ganado vacuno o porcino sin descomponer; los cuales aumentaban los problemas de plagas y enfermedades en sus cultivos. Por consiguiente, se propuso como meta, el cambio en el uso y la adopción de abonos orgánicos que se incorporaran al sistema de producción. Participativamente se conocieron formas más eficientes, limpias y sostenibles para la fertilización de los cultivos, y se construyó una planta piloto de producción de abonos con materiales de la región para este fin. Además, se generaron nuevos negocios comunitarios pues la elaboración de estos bioinsumos benefició a productores de este tubérculo en otros municipios.



Antes del proyecto participativo, los integrantes de las asociaciones aplicaban en promedio 2.000 kg/ha-año de fuentes orgánicas sin descomponer mientras que al final del proyecto se alcanzó a doblar esta cifra (4.000 kg/ha-año), con la utilización de abonos orgánicos procesados adecuadamente en la planta de bioinsumos, lo cual fue un cambio significativo y de gran impacto hacia una producción más económica y ambientalmente sostenible.

Siembra de Abonos Verdes. Otro trabajo de investigación participativa e innovador para los agricultores, fue la incorporación de abonos verdes al sistema de producción. Para este caso, en los terrenos de cosecha de papa diploide, se sembró avena Cayuse o avena forrajera (*Avena sativa* L.) y después de 4 meses se integró en el suelo con aportes considerables de nutrientes para disminuir el uso de fertilizantes y favorecer la rentabilidad de nuevas cosechas de papa diploide; más la implementación de rotación de cultivos.

Los agricultores estuvieron dispuestos a introducir al sistema productivo la siembra de los abonos verdes para la rotación, pues mediante la labranza mínima, los agricultores notaron que el suelo conservaba sus nutrientes después de incluir la avena forrajera, lo cual fue verificado al analizar en el suelo cuantitativamente los contenidos de nitrógeno, potasio, fósforo, carbono orgánico, materia orgánica, entre otros. Y, además, mostró el beneficio de la recuperación de los suelos para obtener mejores resultados en términos productivos con sostenibilidad ambiental.

En el manejo del cultivo, los agricultores aprendieron y adoptaron prácticas sostenibles tales como control biológico de plagas y enfermedades, fertilización racional, elaboración e incorporación de abonos orgánicos y mantenimiento del suelo con abonos verdes en sistemas de producción de papa diploide, en los núcleos de investigación participativa y luego en los lotes de producción comercial.

De igual forma, se realizó un esfuerzo para establecer las dosis racionales de fertilizante químico y así mejorar la eficiencia en el uso de este insumo,

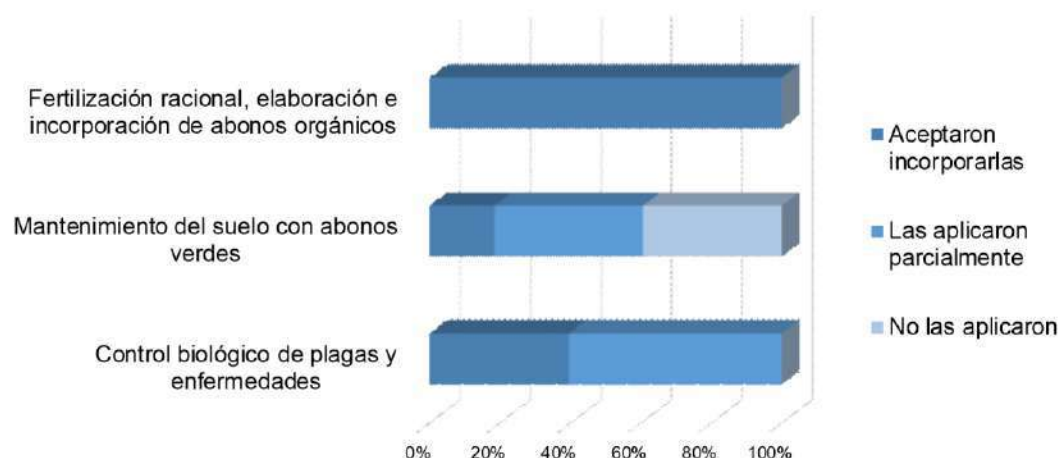


disminuir la degradación química de los suelos y disminuir los costos de producción. En las últimas sesiones participativas se determinó el impacto de las innovaciones incorporadas sobre las prácticas de agricultura más limpia y sostenible de producción, para los productores de los Municipios de Granada y Sibaté.

En la Figura 13.4 se observa que en la experiencia participativa de los Municipios de Granada y Sibaté se adoptaron las prácticas de fertilización racional, la elaboración y la incorporación de abonos orgánicos en sus cultivos. En cuanto a los abonos verdes, la adopción no fue tan significativa como la anterior práctica, debido a que se evidenció que el mantenimiento del suelo con abonos verdes fue un proceso totalmente nuevo para los productores de la zona. Con respecto al control biológico de plagas y enfermedades, fue aplicado parcialmente debido a que los productores decidieron combinar los productos biológicos y agroquímicos para un tratamiento efectivo en el control sanitario del cultivo.

Figura 13.4

Adopción de prácticas más limpias y sostenibles de producción por las familias de agricultores participantes



Lo expuesto anteriormente demostró que implementar esquemas de producción limpia, mediante la utilización de abonos orgánicos, el uso de abonos verdes, la labranza de conservación y las estrategias agroforestales, es posible y permite el mejoramiento de la competitividad y de la sostenibilidad ambiental del sistema productivo de la papa diploide.

Desarrollo de Planes de Negocio

Las actividades de capacitación (Figura 13.5) se realizaron con el trabajo de conjunto de las personas de las comunidades rurales las entidades aliadas, con el fin de que potenciales las microempresas que se desarrollaran fueran enriquecidas por los saberes de los participantes (Solarte, 2011).

Figura 13.5

Agricultores en procesos de capacitación



Nota. Fotografía tomada por Yaquelin Molina Cita.

En la Figura 13.6 se presenta el ejercicio realizado con la Alianza por el Tesoro Dorado (unión de productores en Alianzas Productivas del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - MADR) con los agricultores de los Municipios de Subachoque, Granada, El Rosal y Sibaté (Cundinamarca, Colombia), en el cual se identificaron los acercamientos que hay con el sector de procesamiento de este tubérculo por parte de los productores y también se evidenció que ellos no tienen una relación directa con el consumidor final. Esto último significa una gran oportunidad para desarrollar el comercio directo sin intermediarios y favorecer los mercados campesinos, con el ánimo de llevar el tubérculo directamente del campo a la mesa.



En la construcción del plan de negocios se realizó el acompañamiento a las asociaciones de agricultores vinculadas en la investigación en temas de mercado para identificar los competidores, los volúmenes de venta que se podían ofertar, la proyección de ventas para el primer año y las estrategias de comercialización. Adicionalmente, en el curso sobre la formulación participativa de planes de negocios (Figura 13.7), se hizo énfasis en el análisis financiero, como: costeo, punto de equilibrio, rentabilidad y alternativas de financiación.

Figura 13.6

Roles identificados en Alianza por el Tesoro Dorado para la cadena productiva de papa diploide



Parte importante de este proceso fue el desarrollo de habilidades blandas⁴ individuales y grupales tales como el trabajo en equipo y liderazgo que, sumadas a la formación en capacidades para la gestión, hicieron posible los cambios en las organizaciones de los productores y en la forma de proyectar sus objetivos empresariales.

⁴Características de una persona que le permite relacionarse y comunicarse efectivamente con otros individuos. Entre estas se encuentran las habilidades sociales, de comunicación, de forma de ser, de acercamiento a los demás, entre otras.

Figura 13.7

Capacitación en planes de negocio con productores de papa diploide en el Departamento de Cundinamarca (Colombia)



Nota. Fotografía suministrada por la Corporación PBA.

Es necesario recordar que las innovaciones son el resultado de la iniciativa de las personas y por ello, se debe trabajar en el desarrollo de habilidades blandas que se convierten en la base de todos los procesos y generan nuevas ideas. Una visión poco amplia del sistema donde opera un productor limita su campo de acción, esto hace necesario que los productores puedan acceder a información de los mercados de forma tal que puedan proyectar su actividad en función del entorno y tengan mejores oportunidades para no quedar rezagados.

El plan de negocios en semilla, que fue implementado con éxito, impactó en la elevación de los rendimientos, los ingresos, la sanidad del cultivo y la calidad de este. Más adelante, la asociación Asoagra logró obtener una segunda fase del registro del ICA, con el cual vendieron excedentes de producción de semilla certificada a otros productores y ⁵empresas. A través de estos procesos, se originó la creación de un fondo rotatorio para la producción constante de semilla. Con los ingresos generados por la producción, uso y comercialización de semilla, los productores lograron comprar un terreno (Figura 13.8) utilizado para potenciar las acciones productivas, sociales y organizativas de los agricultores. En cuanto a una semilla de alta calidad y a un buen manejo del cultivo, fueron aspectos claves que habían de abordar como requisito para iniciar un plan de negocio en transformación con miras a la exportación.

⁵Consiste en una alternativa económica, financiera y social, donde cada miembro ingresa periódicamente una cantidad de dinero y puede obtener rotativamente préstamos.



Figura 13.8

Terreno para la producción de semillas básicas de papa diploide



Nota. Fotografía suministrada por la Corporación PBA.

Enfoque Organizacional y de Empresarización para Productores

Con relación a la estructura organizacional, la capacitación se focalizó en la importancia de la Junta Directiva en la dirección de las acciones que adelantan los productores. En este proceso se evidenció que las organizaciones tenían más fortalezas en el área técnica y de producción que en otras relacionadas con el componente empresarial. También se abordó el modelo integrado de la organización, con el fin de identificar los niveles de estructura interna, las funciones, modelo de interrelaciones entre áreas y con otras instancias. A partir de este ejercicio las organizaciones lograron identificar sus potencialidades y debilidades a superar, especialmente los retos en cuanto a gestión de recursos, teniendo en cuenta los vínculos con entidades y otras organizaciones del sector.

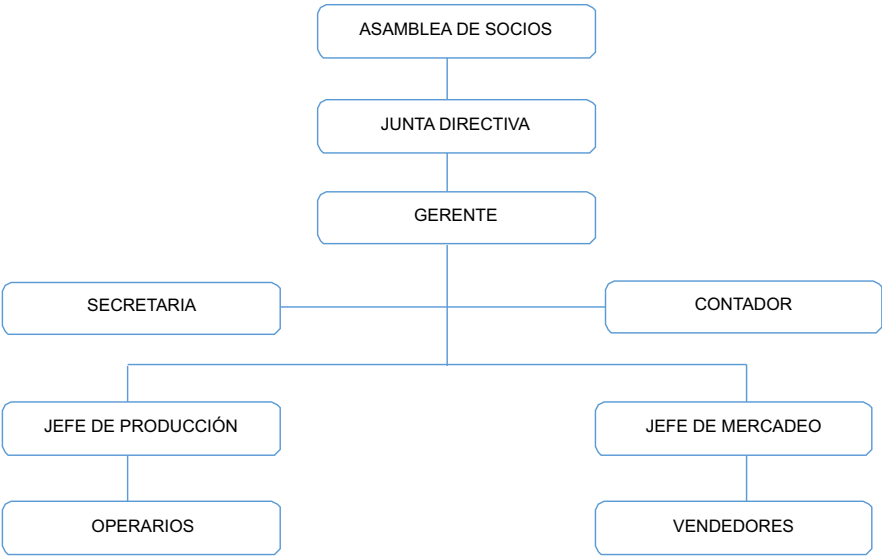
El mercadeo y la empresarización son dos variables que los agricultores consideraron ajenas a su campo de acción por cuanto su fortaleza radica en el conocimiento del sistema de producción. Es importante recordar que la comercialización está condicionada a los ciclos de producción de papa diploide que generan fluctuaciones en los precios por aumento de la oferta. La planeación de la producción y la generación de valor contribuyen a contrarrestar los efectos derivados del ciclo de producción.



En el desarrollo de estas acciones se contribuyó a la conformación de una alianza productiva que originó la creación de una empresa con figura jurídica de Sociedad Anónima Simplificada que fue registrada en la Cámara de Comercio de Bogotá como Criollas de Los Andes S.A.S. en el año 2011, compuesta por las organizaciones participantes en los procesos de innovación rural con 44 socios e inició ventas del producto al canal detallista. En el organigrama de la Figura 13.9 se observa cómo se estructuró internamente la empresa conformada.

Figura 13.9

Organigrama de la empresa Criollas de Los Andes S.A.S.



Participación de Agricultores en la Transformación del Tubérculo

Los agricultores participaron y elaboraron en plantas piloto de la Universidad de La Salle (Bogotá-Colombia) harina precocida, conserva, papa en hojuelas o chips, papa precocida y congelada (Figura 13.10). Para cada producto, se realizó la recepción de los tubérculos de papa diploide suministrados por AGROSAVIA, luego se hicieron las transformaciones necesarias en los equipos o maquinarias respectivas, y finalmente, se envasó cada producto (Prieto et al., 2013). Esta actividad permitió a los productores, reconocer la infraestructura de una planta para procesos agroindustriales e identificar los equipos para la elaboración de los productos procesados con miras a la comercialización de la papa diploide en productos procesados.



Figura 13.10

Capacitación de agricultores en plantas piloto de la Universidad de La Salle



Nota. Fotografías tomadas por Luz Mary Figueroa Zea.

Además, se hizo especial énfasis en aspectos normativos para garantizar la inocuidad de los alimentos transformados y las condiciones higiénico-sanitarias de las plantas procesadoras. Los agricultores participaron en la aplicación de estos requerimientos conocidos como Buenas Prácticas de Manufactura (BPM), y utilizaron los elementos de protección personal además de realizar una ejecución cuidadosa de la transformación del alimento con el propósito de dar cumplimiento a lo exigido por la normatividad, respecto a no obtener productos contaminados por falta de condiciones higiénico-sanitarias.

Todo lo anterior motivó a los agricultores a ser conscientes de la potencialidad de sus cosechas por medio del procesamiento e impulsar el desarrollo de empresas propias con el fin de disminuir los intermediarios en la cadena de suministro de la papa diploide en Colombia.

Innovaciones Logradas para el Sistema Productivo de Papa Diploide

Las acciones participativas llevadas a cabo, se tradujeron en innovaciones que fueron incorporadas en el sistema de producción del tubérculo en los aspectos productivos, de cosecha, valor agregado y organización empresarial de los productores tal como se expone en la Tabla 13.2. Adicionalmente, como resultado de las innovaciones logradas, los productores obtuvieron una mayor visión en cuanto al manejo integrado del cultivo, a la cadena productiva, a los usos de la papa diploide y a las oportunidades que existen de industrialización del tubérculo y exportación de sus derivados.

Tabla 13.2

Innovaciones evidenciadas por los productores de papa diploide

Innovaciones	Resultados obtenidos
Siembra	• Producción y uso de semilla certificada (aumento en los rendimientos, mejoramiento de la calidad y rentabilidad del negocio). • Clasificación y selección de semilla por tamaño. • Certificación de Asoagra (Municipio de Granada) como productor de semilla certificada en el ICA. • Planeación de las épocas de siembra.
Buenas Prácticas Agrícolas	• Avances en manejo integrado del cultivo. • Mejor calidad de producto. • Reducción de costos de producción.
Manejo del producto (cosecha, selección y manejo de bultos)	• Mejores condiciones de almacenamiento y transporte, clasificación selección, disminución de pérdidas, mejor precio y mayor rendimiento en producción (18 t/ha respecto a los 10-12 t/h al inicio del trabajo participativo).
Identificación de nuevos usos	• Participación para la generación de nuevas variedades de papa diploide. • Alternativas de procesamiento del tubérculo en equipos con medidas higiénico-sanitarias.
Constitución de una empresa como Sociedad Anónima Simplificada	• Registro de la empresa Criollas de Los Andes S.A.S. en la Cámara de Comercio de Bogotá. • Venta directa de papa diploide en cadena de supermercados.



En los aspectos productivos se encontró que la mayor innovación fue el uso de semilla certificada proveniente de laboratorio y libre de virus. En el caso que no hubiera posibilidad para acceder a semilla certificada, los agricultores realizaron un proceso de selección en campo que aseguró mayor uniformidad del producto en la cosecha. También se presentaron innovaciones en la cosecha y poscosecha, gracias al mejor manejo del producto y a la selección en campo, lo cual se reflejó en un mejor precio en la venta del producto (Cerón et al., 2013).

Conclusiones

La apropiación social del conocimiento se logró gracias a los procesos experienciales, el desarrollo de actividades de investigación participativa e innovación rural llevadas a cabo con los agricultores de papa diploide, al acompañamiento e interacción de diferentes disciplinas y componentes sobre el manejo integral del cultivo de la papa diploide, en el uso racional de productos agroquímicos, la implementación de prácticas de agricultura limpia, lo que se reflejó en menores costos de producción y mejor calidad del tubérculo.

Adicionalmente, el conocimiento de los procesos productivos de transformación e industrialización del tubérculo, demostraron una nueva generación de valor agregado a las cosechas de papa diploide. También, los agricultores ampliaron su proyección empresarial con miras de crear empresas familiares y ofertar un tubérculo transformado en productos para nuevos consumidores finales potenciales, como amas de casa, hoteles, restaurantes, industrias alimentarias o empresas agroindustriales. Como consecuencia de lo anterior, el productor cambió de actitud respecto a las bondades del cultivo, pues vio en éste, como un negocio o una actividad económica próspera y una oportunidad de organizarse y mejorar la calidad de vida de sus familias.

Referencias

Albuquerque, F. (2007). Teoría y práctica del enfoque de desarrollo económico local. *Revista Observatorio Iberoamericano del Desarrollo Local y la Economía Social [Oidles]*, 1(0), 39-61.



- Álvarez, A., Monroy, L.F. y Perry, S. (2011). *Emprendimientos Participativos Rurales (EPR): una guía para acompañar las iniciativas de negocios de las organizaciones campesinas*. Corporación PBA.
- Bajgai, Y., Dochen, T., Wangchuk, P., Kadian, M.S., Felde, T.Z., Lefebvre, M., Lobzang, Arya, S., Sangay, Wangdi, T., Gyeltshen, T. y Wangdi, N. (2018). Participatory varietal selection of potato and agronomic performance with farmers' feedback on new varieties. *Bhutanese Journal of Agriculture*. 1(1) 1-12. <https://www.bja.gov.bt/wp-content/uploads/2019/06/1.pdf>
- Beduschi, L., Contreras, R. y Holz, R. (2017). Innovación para el desarrollo rural sostenible: avanzando hacia un marco teórico. En Comunidad de Estados Latinoamericanos y Caribeños (Celac) y Food and Agriculture Organization (FAO) (Eds). *Sistemas de Innovación para el desarrollo rural sostenible* (pp.1 – 8). <http://www.fao.org/3/a-i7769s.pdf>
- Cerón, M.S., Álvarez, C.P., Prieto, L., Hernández, M.A., Cusgüen, I., Pérez, M.A., Caicedo, M., Becerra, E. y Chalabi, N. (2013). Sembrando la Semilla de Competitividad Sostenible en la Cadena: Papa criolla de Cundinamarca, Colombia. En P. Henríquez y H. Li Pun (Eds), *Innovaciones De Impacto: Lecciones De La Agricultura Familiar En América Latina y El Caribe* (pp.91 – 104). Banco Interamericano de Desarrollo (BID) e Instituto Interamericano de Cooperación (IICA). <http://bit.ly/37kw8Fo>
- Cuervo, L.M. (2006). *Aprender, Comunicar, Comprender: un balance crítico de la teoría del Desarrollo Económico Local*. Mimeo.
- De la Fé, C., Castillo, J.G., Salomón, J.L., Caballero, A. y Lorenzo, N. (2007). La selección participativa de variedades (SPV) en el cultivo de la papa. *Cultivos Tropicales*, 28 (3),77-82.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193215844012>
- Díaz, D., Nova, Y., Montes, A. y Perry, S. (2011). *Empoderamiento de los pequeños productores rurales (EPPR): fortalecimiento de las competencias de la población rural para la participación ciudadana*. (Manual para facilitadores). Corporación PBA.



- Gutiérrez, O. (2010). Desarrollo de la metodología Innovación Rural Participativa en la zona andina central de Colombia. *Agronomía Colombiana*, 28(3), 509-516.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-99652010000300020&lng=en&tlng=es.
- García, D, Orozco, M., Suarez, D. y Perry, S. (2011). *Mejoramiento Tecnológico Participativo. Una guía para construir procesos de innovación tecnológica con comunidades rurales*. (Manual para facilitadores). Corporación PBA.
- Montes, A., Díaz, D. y Perry, S. (2011). *Desarrollo organizativo para la innovación (DOI): un método para el fortalecimiento de las organizaciones rurales*. (Manual para facilitadores). Corporación PBA.
- Ortiz, O., Thiele, G., Nelson, R. y Bentley, J.W. (2020). Participatory research (PR) at CIP with potato farming systems in the Andes: evolution and prospects. En H. Campos y O. Ortiz (Eds.), *The potato crop: its agricultural, nutritional and social contribution to humankind* (pp. 451-474). Springer.
- Piedrahita López, L., Peña, Y.Z. y Maldonado, L. (2012). Agricultura sostenible y competitiva de la papa criolla en Colombia. En G. Thiele, C.A. Quiros, J. Ashby, G. Hareau, E. Rotondo, G. López, R. Paz Ybarnegaray, R. Oros, D. Arévalo, J. Bentley (Eds.), *Métodos participativos para la inclusión de los pequeños productores rurales en la innovación agropecuaria: Experiencias y alcances en la región andina 2007-2010* (pp. 67-76). Programa Alianza Cambio Andino - Centro Internacional de la Papa (CIP). h
<http://cipotato.org/publications/pdf/005888.pdf>
- Prieto, L., Álvarez, C., Cerón, M., Garnica, A. y Molina Y. (2013). *Manual de procesamiento de la papa criolla*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
<https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/13451>
- Rodríguez, L.A., Bernal, M.E. y Cuervo, L.M. (2011). *Innovación social y desarrollo económico local*. (Serie Políticas Sociales). Naciones Unidas y Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal).



Romero, Y. (2011). Incidencia del PIB agropecuario en el PIB nacional, evolución y transformación. *Gestión y Desarrollo*, 8 (2), 49-60.

<https://doi.org/10.21500/01235834.1832>

Solarte, G. (2011). *Asociatividad, empresarización y pactos territoriales: claves del desarrollo de los territorios rurales*. Corporación Latinoamericana Misión Rural.

Vázquez, A. (2000). *Desarrollo económico local y descentralización: aproximación a un marco conceptual*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal) y Agencia Alemana de Cooperación Técnica (GTZ).

Yumisaca F., Aucancela, R., Haro, F., Pérez, C. y Andrade Piedra, J.L. (2009). Encontrando soluciones sostenibles con pequeños productores de papa a través de investigación participativa en la sierra centro de Ecuador. *Revista Latinoamericana de la Papa*, 15 (1), 86-89.

<http://35.196.170.157/index.php/rev-alap/article/view/160/163>



Apéndice A. Encuesta para Productores

Esta encuesta es realizada a los productores de papa diploide (papa criolla); para identificar el sistema productivo, así como el aspecto socioeconómico de la zona objeto de estudio.

- Nombre Productor: _____
- Departamento _____ Municipio _____
- Vereda: _____
- Dirección: _____ Teléfono fijo: _____
- Celular _____ Correo electrónico _____
- Latitud _____ Longitud _____

Altura sobre el nivel del mar _____

Marque con una x la opción que considere.

1. Identificación del predio

1.1 Tipo de predio:

- a) Finca __ b) Lote __ c) Otro. Cual _____.

1.2 Tenencia de la tierra en la zona:

- a) Propia __ b) Arrendada. __ c) Otra Cual _____

1.3 Qué nivel de escolaridad tiene:

- a) Primaria __ b) Media __ c) Técnica o Tecnológica __ d) Otro.

Cual _____.

1.4 Tipo de Agricultura que utiliza:

- a) Agricultura Orgánica __ b) Agricultura Tradicional __
 c) Agricultura limpia __ d) Invernadero __ e) Otra __
 Cual _____

1.5 Actividad principal de la región:

- a) Agrícola __ b) Pecuaria __ c) Otra __
 Cual _____

1.6 Área total sembrada en papa diploide (papa criolla) _____
 metros cuadrados (m^2).



- La preparación del suelo se hace en forma: a) mecánica _____ b) Manual _____
- Porque escogió ese tipo de preparación _____

1.6.1 Cuantas toneladas de semilla o bultos necesitan para sembrar 1 hectárea de terreno en papa diploide (papa criolla) _____

- Cuanto pesa un bulto _____
- Cual es la distancia de siembra entre surcos _____ y entre plantas _____

1.7 Estado del cultivo

- Edad del cultivo _____ Realizan labores culturales al cultivo Si ____ No ____
- Que labores culturales realizan _____
- A qué edad del cultivo se realiza _____
- A qué edad del cultivo se realiza se realiza la última labor cultural _____
- Que tipo de labor cultural realiza
a) Deshierba _____ b) Abona _____ c) Otros _____
- Realizan rotaciones con otros cultivos: ¿Cuál _____ Por qué? _____
- En que tiempo se hace el primer deshierbe del cultivo de papa diploide (papa criolla) _____
- En que tiempo se hace el aporque del cultivo de papa diploide (papa criolla) _____
- Hacen desinfección a la semilla: Si _____ No _____ si es afirmativo, que tipo de producto químico u otro utilizan _____
- Compra semilla certificada? _____
- Si no compra semilla certificada como selecciona la semilla de su lote de cultivo? _____
porque selecciona su semilla en su lote _____

2. Condiciones agroecológicas

2.1 Que altura es la ideal para sembrar el cultivo de papa diploide (papa criolla) _____ Por qué? _____



2.2 Cuales son las condiciones ideales de lluvia (precipitación mm) para la producción de papa criolla

a) Seleccione la mejor para la producción de papa criolla

- Que llueva en todo el ciclo del cultivo_____
- Que llueva en ciertas épocas como: siembra, aporque, floración y cosecha____
- Que llueva en ciertas épocas como: siembra y floración_____
- Que llueva desde la siembra hasta la floración_____

2.3 El tipo de suelo requerido para sembrar papa diploide (papa criolla) debe ser:

a) Franco_____ b) Franco-arcilloso_____ c) Franco-arcillo-arenoso_____

d) Franco-limoso_____

e) Arcillo-limosos_____ f) Areno-arcillosos_____ g) Arenosos_____

2.4 La Profundidad efectiva del suelo para la producción de papa diploide (papa criolla) debe ser:

a) Menor de 25 centímetros____ b) Entre 25-50 Centímetros____ c) Entre 50-100 centímetros____

d) Mayor de 100 centímetros_____

2.5 Cual es la pendiente aceptada en un suelo para sembrar papa diploide (papa criolla):

a) 0-12% pendiente____ b) 12-25% pendiente____ c) 25-50% pendiente____ d) mayor del 50%_____

2.6 Realizan análisis de suelos: Si _____ No _____ Porque_____

2.7 Utilizan fertilizante en la siembra: Si _____ No _____ En caso afirmativo cual utilizan y porque lo escogieron: _____

Utilizan fertilizante como reabone y a qué edad del cultivo: _____ Que tipo de fertilizante usan: _____

Porque: _____

Cuanto fertilizante aplican:

2.8 Utiliza riego: Si _____ No _____ Porque _____



2.9 Utilizan Materia orgánica (MO) en el cultivo: Si ____ No ____ En caso afirmativo, porque la utilizan _____

Que cantidad Materia orgánica utilizan _____ en qué momento del periodo vegetativo del cultivo la aplican:

Cual Materia orgánica aplican: _____

2.10. Utilizan un cultivo en rotación con la papa diploide (papa criolla): Si ____ No ____ Cual _____ Como es la serie de rotación. _____

Porque utiliza esa serie de rotación? _____

¿Cuál es el beneficio de esa serie de rotación? _____

3. Costos de producción.

3.1 (Costos directos)

3.1.1 Fertilizantes:

Cual es el costo por hectárea de la fertilización en la siembra.

Si hay reabone, cual es el costo por hectárea de la fertilización en el reabone.

3.1.2 Fungicidas: Cual es el costo por ha de cultivo de papa diploide (papa criolla) para el control de las enfermedades _____ Cual es la principal enfermedad que ataca la papa diploide (papa criolla)

Otras enfermedades: _____

Cual es el costo por ha del cultivo de papa diploide (papa criolla) para el control de los insectos plagas _____ Cual es el principal insecto plaga que ataca el cultivo de papa diploide (papa criolla)

Otros Insectos plagas que atacan la papa diploide (papa criolla)

3.1.3 Cual es el costo total de una ha del cultivo de papa diploide (papa criolla)



3.1.4 Cuánto ingreso neto obtiene en una ha _____

3.1.5 Además de la papa diploide (papa criolla) que otros cultivos produce en su finca _____

3.1.6 Cual es el rendimiento de los cultivos en su finca _____

3.1.7 En que modalidad de venta de la papa diploide (papa criolla) se ve más favorecido económicamente?

a) Venta en el lote____ b) Venta en la plaza del pueblo____ c) Venta en Corabastos____ d) Venta en supermercados____ e) Venta en las lavadoras de papa criolla _____

3.2 Costos indirectos

3.2.1 Cuales son los costos indirectos que tiene:

4. Aspecto económico

4.1. Ha tenido algún tipo de financiamiento

a) Si ____ Cual _____

b) No ____ Por qué _____

4.2 En que actividad de la finca hace o hizo uso del tipo de financiamiento.

4.3 Comercialización

Qué variedad de papa criolla siembra	Qué área por material tiene (m ² o ha)	Qué volumen vende	Cada cuanto vende	Comercializa en: fresco sucia, lavada

4.4 Desde que año produce y vende papa diploide (papa criolla)

4.5. Considera que se genera un beneficio económico por la producción de papa diploide (papa criolla) en la sabana Occidente del Departamento de Cundinamarca: a) Si ____ b) No ____ porque _____



4.6 Cual es el destino de su producción de papa diploide (papa criolla):

a) Plazas de mercado ____ b) Intermediarios ____ c) Supermercado ____

4.7. Qué problemas ha encontrado a la hora de comercializar su producción:

a) Distancia a los mercados ____ b) Precios ____ c) Volumen de producción ____

d) Pagos ____ e) Infraestructura vial ____ f) Demanda ____ g) calidad de los tubérculos ____ h) Otro ____ Cual ____

4.8 Lleva registros contables:

a) Si ____ Cuales ____

b) No ____ Porqué ____

5. Aspecto Técnico

5.1.Cuál es la tecnología o innovación más reciente utilizada en el cultivo de papa diploide (papa criolla) ____

5.2. Hubo incremento del rendimiento del cultivo de papa diploide (papa criolla) al emplear la innovación o tecnología:

a) Si ____ b) No ____ Porqué ____

5.3. La calidad y producción de los tubérculos aumentó:

a) Si ____ b) No ____

5.4. Qué problemas más frecuentes ha enfrentado en su producción de papa diploide (papa criolla):

a) Plagas ____ b) Clima ____ c) Enfermedades ____

d) Otros ____ Cuales ____

5.5. Ha utilizado asistencia técnica de:

a) Corporaciones regionales ____ b) ONG ____ c) UMATAS ____

d) Universidades ____ e) Otra ____ Cual ____

f) Ninguna ____ Porqué ____

6. Aspecto Social

6.1. Número de personas que trabajan en la explotación de papa diploide (papa criolla) en su finca:

6.2. Cuantos empleos permanentes genera la producción de papa diploide (papa criolla) en su finca:



6.3. Cuantos empleos genera en época de cosecha la producción de papa diploide (papa criolla) en su finca:

6.4. La explotación de papa diploide (papa criolla) ha generado cambios al interior de la comunidad:

a) Si ____ Cuales _____

b) No ____ Porque _____

6.5 Participa la mujer en todo el proceso:

a) Si ____ b) No ____ Porque _____

6.6 Número de familias beneficiadas por el cultivo de papa diploide (papa criolla) en la finca _____

6.7 Pertenece a alguna asociación

a) Si ____ Cual _____

b) No ____

7. Aspecto Institucional

7.1. Tiene conocimiento de la existencia de la Cadena Agroalimentaria de La Papa

a) Si ____ b) No ____

7.2 Ha recibido apoyo de entidades del Gobierno para:

a) Capacitación ____ b) Investigación ____

c) Mejoramiento de tecnología ____

d) Otra ____ Cual _____ e) Ninguna ____



Apéndice B. Aptitud de Uso de Tierras Para el Cultivo de la Papa Diploide en Municipios del Departamento de Cundinamarca

Municipio	Vereda	Aptitud	Hectáreas
Bojacá	Bobace	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	1
	Chilcal	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Textura	17
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	19
Caqueza	Rio Negro Norte	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	16
	Santa Ana	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	2
Chipaqué	Flores	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	1
	Querente	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	1
Choachí	Bobadillas	Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	3
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	11
	Carrizo	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	4
El Rosal	Buenavista	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	130
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	3
	Cruz Verde	Moderadas Restricciones, Textura	17
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Textura	74
	El Caucho	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	220
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	66
	La Hondura Chingafrio	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	2
	La Hondura Tibagota	Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	1
	La Piñuela	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	53
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	50
	Tibagota	Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	3
		Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	12
Facatativá	El Corzo	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	3
	Paso Ancho	Moderadas Restricciones, Temperatura alta	1
	Tierra Morada	Moderadas Restricciones, Textura	17
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Textura	17
Fomeque	Cerezos	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	2
		Moderadas Restricciones, Precipitación alta, Pendiente, Textura	14
		Moderadas Restricciones, Precipitación alta, Pendiente, Textura	50
	Chinia	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	6
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	15
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	230
	Coacha	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	21
	Coasavista	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	28
	Cuqueta	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	37



Apéndice B. (continuación)

Municipio	Vereda	Aptitud	Hectáreas
Fomeque	El Salitre	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	8
		Moderadas Restricciones, Precipitación alta, Pendiente, Textura	110
	Hato viejo	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	106
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	111
	La Cananea	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	75
	La Moya	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	140
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	225
	La Pastora	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	65
	Paval	Moderadas Restricciones, Precipitación alta, Pendiente, Textura	5
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	103
	Potrero Grande	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	17
		Moderadas Restricciones, Precipitación alta, Pendiente, Textura	151
	Quebrada blanca	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	4
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	620
	San Lorenzo	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	354
	Ucuatoque	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	20
Fosca	Placitas	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	22
Fusagasugá	Los Robles	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	1
Granada	Carrizal	Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	2
	El Ramal	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	83
		Moderadas Restricciones, Profundidad, Textura	8
	Guasimal	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	4
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	13
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	373
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	110
	La Playita	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	160
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Profundidad, Textura	3
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	1
	La Veintidos	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	4
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	45
		Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	20
	Sabaneta	Moderadas Restricciones, Textura	34
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Textura	66
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	11
	San José	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	77
	San Jose Bajo	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	223



Apéndice B. (continuación)

Municipio	Vereda	Aptitud	Hectáreas
Granada	San Raimundo	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	1
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	213
	Santa Helena	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	6
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	371
	Santafé	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	162
Gutiérrez	El Hoyo	Moderadas Restricciones, Precipitación alta, Pendiente, Textura	8
Pasca	Altagracia	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	241
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	48
	Alto del Molino	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Textura	3
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	32
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	37
	Boca de Monte	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	6
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	380
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	80
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Profundidad, Textura	44
	El Bobal	Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	266
		Moderadas Restricciones, Precipitación alta, Pendiente, Textura	57
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	20
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	63
	El Carmen	Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	128
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	61
	El Retiro	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	607
	El Tendido	Moderadas Restricciones, Precipitación alta, Textura	181
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	2
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Textura	105
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Profundidad, Textura	3
	El Zaque	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Textura	61
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	272
	Guchipas	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Textura	177
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Textura	151
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	144
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	75
	Juan XIII	Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	41
		Moderadas Restricciones, Precipitación alta, Pendiente, Textura	23
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	4
	La Argentina	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	1



Apéndice B. (continuación)

Municipio	Vereda	Aptitud	Hectáreas
Pasca	La Cajita	Moderadas Restricciones, Precipitación alta, Pendiente, Textura	1
		Moderadas Restricciones, Precipitación alta, Pendiente, Textura	169
	La Esperanza	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	171
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	3
	La Mesa	Moderadas Restricciones, Precipitación alta, Pendiente, Textura	105
		Moderadas Restricciones, Precipitación alta, Profundidad, Textura	71
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	27
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Profundidad, Textura	213
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Profundidad, Textura	129
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	64
		Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	39
		Moderadas Restricciones, Precipitación alta, Pendiente, Textura	5
	Lázaro Fonte	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Profundidad, Textura	2
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	30
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	488
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	22
	Providencia	Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	269
	Sabaneta	Moderadas Restricciones, Precipitación alta, Pendiente, Textura	13
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	1
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	333
		Moderadas Restricciones, Precipitación alta, Pendiente, Textura	212
	Saldua	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Profundidad, Textura	3
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	324
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	73
	San Joaquín	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	329
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	57
	San Pablo	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Textura	2
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	3
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Textura	29
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	285
	San Pedro	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	21
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Textura	23
		Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	29
	Santa Teresita	Moderadas Restricciones, Precipitación alta, Pendiente, Textura	2
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	295
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	2



Apéndice B. (continuación)

Municipio	Vereda	Aptitud	Hectáreas
San Antonio del Tequendama	Arracachal	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Textura	3
	La Rápida	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	4
San Francisco	La Laja	Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	5
Sibaté	Alto Charco	Moderadas Restricciones, Profundidad, Textura	9
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Profundidad, Textura	9
	Chacua	Moderadas Restricciones, Temperatura alta	48
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta	105
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	15
	Delicias	Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	4
		Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	142
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta	88
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	30
	El Jazmín	Moderadas Restricciones, Temperatura alta	2
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta	22
	El Peñón	Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	460
		Moderadas Restricciones, Precipitación alta, Pendiente, Textura	175
		Moderadas Restricciones, Precipitación alta, Profundidad, Textura	18
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	33
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	173
	La Honda	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Profundidad, Textura	21
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Profundidad, Textura	6
	La Macarena	Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	7
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	17
	La Unión	Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	52
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	209
	Perico	Moderadas Restricciones, Temperatura alta	43
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	2
	Pie de Alto	Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	176
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	327
	San Benito	Moderadas Restricciones, Temperatura alta	6
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	1
	San Eugenio	Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	8
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	24
	San Fortunato	Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	45
		Moderadas Restricciones, Profundidad, Textura	394
			2



Apéndice B. (continuación)

Municipio	Vereda	Aptitud	Hectáreas
Sibaté	San Fortunato	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	39
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Profundidad, Textura	3
		Moderadas Restricciones, Precipitación alta, Profundidad, Textura	14
	San Miguel	Moderadas Restricciones, Profundidad, Textura	161
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Profundidad, Textura	5
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Profundidad, Textura	50
	San Rafael	Moderadas Restricciones, Profundidad, Textura	49
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	1
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Profundidad, Textura	264
	Santa Rosa	Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	22
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	3
	Zona Industrial	Moderadas Restricciones, Temperatura alta	11
Silvania	Agua Bonita	Moderadas Restricciones, Precipitación alta, Profundidad, Textura	1
	Noruega Alta	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	1
	Subia Central	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	8
Soacha	Alto de la Cruz	Moderadas Restricciones, Temperatura alta	2
	Hungría	Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	1
	La Chacua	Moderadas Restricciones, Temperatura alta	14
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	1
	Tinzuque	Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	1
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	1
Subachoque	Altaria	Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	6
		Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	294
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	119
	Canica Baja	Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	176
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	270
	Cascajal	Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	32
		Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	225
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	31
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	195
	El Centro (Ilanitos)	Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	59
		Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	153
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	1
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	217
		Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	160
	El Guamal	Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	160
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	2



Apéndice B. (continuación)

Municipio	Vereda	Aptitud	Hectáreas
Sibaté	El Páramo	Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	33
		Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	529
	El Tobal	Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	147
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	154
	El Valle	Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	1
		Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	113
		Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	280
	Galdamez	Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	165
	La Unión	Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	196
	La Yeguera	Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	38
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	4
	Rincón Santo	Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	268
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	276
	Santa Rosa	Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	116
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	216
	Santuario la Cuesta	Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	26
Tenjo	Chinche	Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	12
	Chitasuga	Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	7
	Churuguaco	Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	1
Ubaque	Belén	Moderadas Restricciones, Precipitación alta, Pendiente, Textura	3
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	411
	Cacique	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	37
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	47
	Guayacundo	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	250
		Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	44
	Pueblo Nuevo	Moderadas Restricciones, Precipitación alta, Pendiente, Textura	126
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	500
	Pueblo Viejo	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	186
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	3
	Puente Amarillo	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	154
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	54
	Sabanilla	Moderadas Restricciones, Precipitación alta, Pendiente, Textura	128
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	333
	San Roque	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	3
	Santa Ana	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	5
	Santa Rosa	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	185



Apéndice B. (continuación)

Municipio	Vereda	Aptitud	Hectáreas
Une	Bolsitas	Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	9
		Moderadas Restricciones, Precipitación alta, Pendiente, Textura	3
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	6
	Combura	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	93
	El Salitre	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	9
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	56
	Hoya de Pastores	Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	79
		Moderadas Restricciones, Precipitación alta, Pendiente, Textura	84
		Moderadas Restricciones, Precipitación alta, Textura	66
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	50
		Moderadas Restricciones, Textura	47
		Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	290
		Moderadas Restricciones, Precipitación alta, Pendiente, Textura	205
		Moderadas Restricciones, Precipitación alta, Textura	14
		Moderadas Restricciones, Textura	42
	Mundo Nuevo	Moderadas Restricciones, Precipitación alta, Pendiente, Textura	28
	Puente Tierra	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	101
	Queca	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	40
	Raspados	Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	411
		Moderadas Restricciones, Precipitación alta, Pendiente, Textura	22
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	75
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	76
	San Isidro	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	44
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	168
	San Luis	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	68
	Timacita	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	26
Zipacón	Chircal	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Textura	77
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Textura	66
	El Chuscal	Moderadas Restricciones, Pendiente, Textura	11
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	217
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	217
	Pueblo Viejo	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	12
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	43
	Rincón Santo	Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Pendiente, Textura	162
		Moderadas Restricciones, Temperatura alta, Precipitación alta, Pendiente, Textura	49

Nota. Basado en IGAC (2000)



Apéndice C. Descripción de Puntajes y Formatos para la Evaluación Sensorial

Tabla C-1

Descripción del puntaje por atributos de papa diploide en conserva

Atributo	Puntaje	Descripción
Apariencia del producto	5 – 4	Buena distribución entre el líquido y el número de papas. Salmuera translúcida y clara. Ausencia total de residuos de tierra, vegetales, brotes de germinación, tubérculos rotos, deformes - y manchas pardas. Tuberculoso de tamaño uniforme.
	3 – 2	Papas muy grandes o pequeñas, con numerosos ojos; un máximo de 5% de brotes; salmuera ligeramente turbia con residuos de material vegetal; baja proporción papa líquido y tubérculos deformes.
	1 – 0	Salmuera coloreada, muy turbia, con residuos de tierra; papas con manchas negras; con más del 10% de brotes; abiertos; con presencia de heridas y partículas extrañas en suspensión.
Color	4 – 3	Papas con color uniforme, amarillo o rojo característico, con ausencia de manchas pardas o verdes en los tubérculos; salmuera incolora.
	2 – 1	Color no homogéneo en los tubérculos y muy amarillo o rojo o muy pálido; salmuera ligeramente coloreada. Tubérculos con manchas del 20% de manchas pardas o verdes.
	0	Papas en su mayoría verdes, pardeadas o muy decoloradas con manchas azules, grises o verdes. Salmuera coloreada, con manchas azules, grises o verdes.
Aroma y sabor	6 – 5	Característico a vinagre y a la papa diploide (papa criolla), buen balance ácido, sal y dulce, ligero sabor a especias.
	4 – 2	Muy ácido, dulce o salado; sobre cocido o crudo; astringente o a tierra.
	1 – 0	Desagradable (a moho, metálico, rancio, fermento, amargo o agrio).
Textura	5 – 4	Papas firmes y túrgidas, no arrugadas, harinosa ni resbalosa.
	3 – 2	Papas moderadamente firmes y túrgidas, con corteza cauchosa.
	1 – 0	Papas duras o muy blandas, babosas, gelatinosas, cauchosas y arrugadas.

Nota. Adaptado de Rivera (2006)

Tabla C-2

Formato de calificación de atributos de papa diploide en conserva

FORMATO DE EVALUACION SENSORIAL - CONSERVA DE PAPA				
Nombre:		Fecha:		
Atributo	Puntaje máx	No. Muestra		
Apariencia	5			
Color	4			
Aroma y sabor	6			
Textura	5			
TOTAL	20			

Nota. Basado en Rivera (2006)



Tabla C-3

Descripción del puntaje por atributos de papa diploide precocida congelada

Atributo	Puntaje	Descripción
Ausencia de defectos	4 – 3	Forma regular del tubérculo (redondo comprimida); piel lisa, ausencia de grietas, magulladuras o picaduras, sin brotes, con bajo número de ojos y superficiales.
	2	Piel con ligeras arrugas, escamosa o reticulada; forma no circular (ovalada, elongada elíptica, ovada); brotes de germinación; ojos profundos y numerosos.
	1 - 0	Presencia de magulladuras y grietas; falta de pedazos del tubérculo; forma irregular (amorfas o indefinidas); picaduras; numerosos brotes de germinación, ojos profundos y numerosos.
Color de la piel	4 – 3	Homogéneo, amarillo intenso característico de la papadiploide (papa criolla) o rojo intenso.
	2	Amarillo o rojo con pocas manchas o pecas negras
	1 - 0	Inapropiado o desagradable (amarillo o rojo suave con numerosas manchas o pecas negras, pardo o quemado).
Color de la carne	3	Brillante, amarillo intenso uniforme.
	2	Amarillo sectorizado con poco centro blanco.
	1 - 0	Inapropiado (amarillo suave, crema, blanco o pardo y abundante centro blanco).
Textura	3 – 2	Carne consistente o rígida, ligeramente arenosa.
	1 - 0	Carne muy blanda, muy harinosa o seca, o pastosa.
Olor	2	Aroma característico de la papa diploide (papa criolla)
	1 - 0	Desagradable (olor a fermento, moho, acetileno o extraño)
Sabor y aroma	4 – 3	Característico de la papa diploide (papa criolla), agradable.
	2	Ligeramente insípido, amargo o rancio.
	1 - 0	Fuertemente insípido, rancio, amargo o dulce.

Nota. Adaptado de Rivera (2006)

Tabla C-4

Formato de calificación de atributos de papa diploide precocida congelada

FORMATO DE EVALUACION SENSORIAL - PRECOCIDA CONGELADA				
Nombre:		Fecha :		
Atributo	Puntaje	No. Muestra		
Ausencia de defectos	1: ausencia 4: muchas			
Color de la piel	1: inapropiado 4: caracteristico			
Color de la carne	1: inapropiado 3: caracteristico			
Textura	1: blanda 3: consistente			
Olor	1: desagradable 4: caracteristico			
Sabor	1: insipido 4: caracteristico			
Marque con una x cual le gustó más y ¿por qué?				

Nota. Basado en Rivera (2006)



Tabla C-5

Descripción del puntaje por atributos de papa diploide frita

Atributo		Puntaje y descripción				
		1	2	3	4	5
Visual	Manchas	ausencia	pocas	algunas	bastantes	muchas
	Presencia de burbujas	ausencia	poca	mediana	bastante	muchas
	Deformación de la rodaja	ausencia	poca	mediana	bastante	alta
	Aceite en la superficie	ausencia	poco	mediano	bastante	mucho
	Color	pálido	un poco pálido	poco intenso	medianamente intenso	intenso
Olor	Intensidad global	ausencia	poco	mediana	alta	intenso
Textura	Crujiente	poco	algo	medianamente	altamente	muy crocante
	Masticabilidad	poco	algo	medianamente	altamente	muy crujiente
Sabor	Salado	ausencia	poco	medianamente	altamente	presencia
	Sensación grasa	ausencia	poca	mediana	alta	presencia

Nota. Adaptado de Castro (2008)

Tabla C-6

Formato de calificación de atributos de papa diploide frita

FORMATO DE EVALUACION SENSORIAL - PAPA FRITA						
Nombre					Fecha	
Atributo		Puntaje		No. Muestra		
VISUAL	Manchas	1: ausencia	5: muchas			
	Burbujas	1: ausencia	5: muchas			
	Deformación de rodaja	1: ausencia	5: alta			
	Aceite en la superficie	1: ausencia	5: mucho			
	Color	1: pálido	5: intenso			
OLOR	Intensidad global	1: ausencia	5: intenso			
TEXTURA	Crocancia	1: poco	5: muy crocante			
	Masticabilidad	1: poco	5: muy crujiente			
SABOR	Salado	1: ausencia	5: presencia			
	Sensación de grasa	1: ausencia	5: presencia			
	Sabores anómalos	1: ausencia	5: presencia			
	cuál?					
¿Cuál prefiere?		Marque con una X				
¿Por qué?						

Nota. Basado en Castro (2008)



Apéndice D. Componentes de Industrialización de los Principales Procesos

Tabla D-1

Componentes de industrialización de la conserva de la papa diploide

Actividad	Equipo	Servicio Industrial	Materiales que maneja	Variables
RECEPCIÓN Y PESAJE	Balanza de pie	Energía eléctrica	Tubérculos de papa	Cantidad, Consumo de energía
SELECCIÓN Y CLASIFICACIÓN	Cinta de inspección	Energía eléctrica	Papa seleccionada Papa rechazada	Diámetro, Apariencia Consumo de energía
LAVADO	Lavadora de aspersión	Agua Energía eléctrica	Papa seleccionada Agua Papa lavada Agua con impurezas	Consumo de energía Alimentación, Tiempo Flujo de agua
DESINFECCIÓN	Tanque	Agua	Papa lavada Agua y desinfectante Papa desinfectada Agua con desinfectante e impurezas	Flujo de agua Cantidad de desinfectante Tiempo Alimentación
PRECOCION	Marmita	Agua Gas	Papa desinfectada Agua Papa precocida Agua de escaldado	Temperatura Tiempo Consumo de gas
MEZCLADO INGREDIENTES LIQUIDO GOBIERNO	Marmita con mezclador	Energía eléctrica Agua	Agua, Vinagre, Sal Azúcar	Velocidad de mezclado Consumo de energía
PASTEURIZACION 1	Marmita con mezclador	Energía eléctrica Vapor	Líquido de gobierno Líquido de gobierno	Temperatura Tiempo Consumo de energía
ESTERILIZADO 1	Línea de exhausting o túnel de vapor	Energía eléctrica Vapor	Envases y tapas Condensado Envases y tapas	Velocidad, Tiempo Temperatura Consumo de energía Consumo de vapor
ESTERILIZADO 2	Línea de exhausting o túnel de vapor	Energía eléctrica Vapor	Papa precocida Líquido de gobierno Envases y tapas Conserva de papa Condensado	Velocidad Tiempo Temperatura Consumo de energía Consumo de vapor
PASTEURIZACION 2	Autoclave	Agua Vapor	Conserva de papa Agua Conserva pasteurizada Agua caliente	Temperatura, Tiempo Flujo de agua Consumo de vapor

Nota. Elaborado por autores.



Tabla D-2
Componentes de industrialización de la papa diploide precocida congelada

Actividad	Equipo	Servicio Industrial	Materiales que maneja	Variables
RECEPCION Y PESAJE	Balanza de pie	Energía eléctrica	Tubérculos de papa	Cantidad
				Consumo de energía
SELECCIÓN Y CLASIFICACIÓN	Cinta de inspección	Energía eléctrica	Papa sseleccionada	Diámetro
			Papa rechazada	Apariencia
LAVADO	Lavadora de aspersión	Energía eléctrica	Papa seleccionada	Consumo de energía
			Agua	Alimentación
		Energía eléctrica	Papa lavada	Tiempo
			Agua con impurezas	Flujo de agua
DESINFECCIÓN	Tanque	Agua	Papa lavada	Flujo de agua
			Agua y desinfectante	Cantidad de desinfectante
		Agua	Papa desinfectada	Tiempo
			Agua con desinfectante e impurezas	Alimentación
PRECOCION	Marmita	Agua	Papa desinfectada	Alimentación
			Agua	Tiempo
		Gas	Papa precocida	Consumo de gas
			Agua de escaldado	Temperatura
ENFRIAMIENTO	Tanque de enfriamiento	Energía eléctrica	Papa precocida	Alimentación
		Refrigerante	Papa precocida enfriada	Tiempo
CONGELACION	Congelador IQF ó túnel de congelación	Energía Eléctrica	Papa precocida enfriada	Temperatura
				Alimentación
		Refrigerante	Papa precocida congelada	Consumo de energía
				Tiempo
EMPAQUE	Empacadora	Energía eléctrica	Papa precocida congelada	Velocidad de dosificación
			Bolsas de polietileno	Tiempo
			Bolsas con papa precocida congelada	Consumo de energía
ALMACENAMIENTO	Congelador industrial	Energía Eléctrica	Bolsas con papa precocida congelada	Tiempo
		Refrigerante		Consumo de energía

Nota. Elaborado por autores.



Tabla D-3

Componentes de industrialización de la papa diploide frita en hojuelas

Actividad	Equipo	Servicio Industrial	Materiales que maneja	Variables
RECEPCIÓN Y PESAJE	Balanza de pie	Energía eléctrica	Tubérculos de papa diploide	Cantidad Consumo de energía
SELECCIÓN Y CLASIFICACIÓN	Cinta de inspección	Energía eléctrica	Papa seleccionada Papa rechazada	Diámetro Apariencia Consumo de energía
LAVADO	Lavadora de aspersión	Agua Energía eléctrica	Papa seleccionada Agua Papa lavada Agua con impurezas	Consumo de energía Alimentación Tiempo Flujo de agua
DESINFECCIÓN	Tanque	Agua	Papa lavada Agua y desinfectante Papa desinfectada Agua con desinfectante e impurezas	Flujo de agua Cantidad de desinfectante Tiempo Alimentación
TRANSPORTE	Alimentador Dosificador	Energía Eléctrica	Papa desinfectada	Velocidad de alimentación, Tiempo Consumo de energía
TAJADO	Rebanadora	Energía eléctrica	Papa desinfectada Recortes de papa y residuos de almidón Hojuelas de papa	Espesor de la hojuela Consumo de energía
DESALMIDONADO	Tanque	Agua	Hojuelas de papa Agua Hojuelas de papa desalmidonada Agua con almidón de papa	Tiempo Flujo de agua
FREIDO	Freído	Gas	Hojuelas de papa desalmidonada Aceite Papa frita en hojuelas Aceite con agua	Tiempo Temperatura Consumo de gas
SALADO	Salador a Rodillo	Energía eléctrica	Papa frita en hojuelas, Sal	Velocidad Tiempo Consumo de energía Cantidad de sal
EMPAQUE	Empacadora	Energía eléctrica	Papa frita en hojuelas salada Bolsas de polipropileno biorientado con foil de aluminio Bolsas con papa frita en hojuelas	Velocidad de dosificación Tiempo Consumo de energía

Nota. Elaborado por autores.



Tabla D-4
Componentes de industrialización de la harina de papa diploide precocida

Actividad	Equipo	Servicio Industrial	Materiales que maneja	Variables
RECEPCION Y PESAJE	Balanza de pie	Energía eléctrica	Tubérculos de papa	Cantidad Consumo de energía
SELECCIÓN Y CLASIFICACIÓN	Cinta de inspección	Energía eléctrica	Papa seleccionada Papa rechazada	Diámetro, apariencia Consumo de energía
LAVADO	Lavadora de aspersión	Agua Energía eléctrica	Papa seleccionada Agua Papa lavada Agua con impurezas	Consumo de energía Alimentación Tiempo Flujo de agua
DESINFECCIÓN	Tanque	Agua	Papa lavada Agua y desinfectante Papa desinfectada Agua con desinfectante e impurezas	Flujo de agua Cantidad de desinfectante Tiempo Alimentación
ESCALDADO	Marmita	Agua Gas	Papa desinfectada Agua Papa precocida Agua de escaldado	Temperatura Tiempo Consumo de gas
MACERADO	Molino de impacto	Energía eléctrica	Papa precocida Papa precocida macerada	Presión de compresión Consumo de energía
DESHIDRATADO	Deshidratador de bandejas	Energía eléctrica	Papa precocida macerada Papa precocida deshidratada	Temperatura Tiempo Consumo de energía
TRASPORTE A MOLIENDA	Cinta transportadora	Energía eléctrica	Papa precocida deshidratada	Velocidad Consumo de energía
MOLIENDA	Molino de martillos	Energía eléctrica	Papa precocida deshidratada Harina de papa diploide precocida Partículas finas	Velocidad Tiempo Consumo de energía
TAMIZADO	Zaranda vibratoria	Energía eléctrica	Harina de papa precocida Harina de papa precocida y tamizada Partículas rechazadas	Diámetro de partícula de la harina Ciclos de vibración Consumo de energía
EMPAQUE	Empacadora	Energía eléctrica	Harina de papa precocida y tamizada	Velocidad de llenado Consumo de energía

Nota. Elaborado por autores.



Apéndice E. Unidades Empleadas

cm	centímetro
cmol	centimol
ds	decisiemens
gf	gramo fuerza
h	hora
ha	hectárea
hp	horse power o caballo de fuerza
kg	kilogramo
L	litro
kgf	kilogramo fuerza
m	metro
min	minuto
mL	mililitro
mm	milimetro
oz	onza
S	Siemens
t	tonelada

Nota. Basado en el Sistema Internacional de Unidades.



Apéndice F. Glosario

Acondicionamiento. Disposición de material vegetal a condiciones ambientales o preestablecidas para la experimentación o la manipulación o el procesamiento o la comercialización.

Arvenses. Planta llamada maleza o mala hierba que es indeseable pues crece de forma rústica al interior de cultivos o en jardines.

Atributo. Característica que se evalúa o cuantifica mediante metodologías experimentales o empíricas.

Brotación. Crecimiento de nuevas yemas o brotes presentados en los tubérculos.

Colorimetría. Estudio del color a través de mediciones que correlacionan con precisión el tono percibido, la saturación, el croma, la luminosidad y el brillo de muestras de un material que se analiza en condiciones específicas.

Compostaje. Proceso biológico aeróbico mediante microorganismos actúan sobre la materia biodegradable como en restos de cosecha o excrementos de animales, entre otros, para obtener abono de excelente calidad para la agricultura.

Control biológico. Liberación de enemigos naturales de los insectos plagas en los respectivos cultivos para disminuir las poblaciones de dichos organismos que causan daño.

Control etológico. Para insectos plagas y se tiene en cuenta el comportamiento biológico de la especie a la que se pretende controlar.

Control químico. Prevención de poblaciones de insectos plagas y de enfermedades con la utilización de productos químicos.

Dureza. Atributo mecánico de textura relacionado con la fuerza requerida para lograr una deformación, penetración o ruptura de la papa.

Edáfico(a). Término para presentar características relacionadas con el suelo.

Efecto invernadero. Elevación de la temperatura de la atmósfera del planeta debido a la concentración en la atmósfera de gases, principalmente dióxido de carbono, generados por actividades antrópicas especialmente.



Emergencia del cultivo o de las plantas. Primera etapa de un cultivo o de camas de semillero o de vivero, cuando surgimiento las plántulas sobre la superficie del suelo a partir de las semillas o de los tubérculos.

Empaque. Material contenedor de los tubérculos que facilita su transporte y mantiene al producto fresco, en el caso de los tubérculos en fresco, se considera que el empaque cumple la función de un envase.

Envase. Recipiente que facilita la conservación y transporte de los alimentos.

Erogaciones. Corresponden a las salidas de dinero (gastos, costos e inversiones) de una entidad o persona.

Esclerocio. Masa compacta de consistencia dura desarrollada por algunos hongos que contiene reservas alimenticias y permite la supervivencia del microorganismo por largo tiempo.

Estolones. Corresponden a los tallos subterráneos modificados y de los cuales se forman los tubérculos. Pueden ser vegetativos o reproductivos.

Fitopatógenos. Llamados así a los microorganismos, que desarrollan enfermedades en las plantas, alterando sus procesos fisiológicos, en su beneficio y para su masiva multiplicación.

Foliar. Relativo a las hojas de las plantas que son órganos vegetativos, generalmente aplanados, situados lateralmente sobre el tallo y encargados de la fotosíntesis.

Genotipo. Hace referencia a la información genética que posee un organismo de cualquier especie. En cuanto a la papa diploide corresponde a la información genética de las variedades y de los clones presentados en este libro.

Helada. Fenómeno climático ocasionado por descenso de la temperatura hasta llegar a punto de congelación del agua que causa daños en las hojas de las plantas afectando la calidad los tubérculos.

In vitro. Técnica aplicada a un cultivo, la cual consiste en tomar una porción de una planta para ser regenerada muchas veces dentro de un recipiente de vidrio en un ambiente artificial.



Inocuidad. Estado de un alimento que garantiza su consumo sin ocasionar daño a la salud. Para su producción se llevan a cabo medidas de higiene, buenas prácticas agrícolas y buenas prácticas de manufactura con el fin de reducir contaminaciones por agroquímicos, residuos de metales pesados y microorganismos.

Jornal. Corresponde al pago del salario de un agricultor por un día de trabajo.

Manejo fitosanitario. Métodos y técnicas empleados para la prevención y control de enfermedades y plagas en las plantas, procurando la estabilidad y bienestar del cultivo o agroecosistema.

Minitubérculos. Semillas de papa de alta calidad genética, fitosanitaria, fisiológica y física, obtenidas bajo condiciones protegidas en aeroponía o sistema convencional de producción de semillas.

Necrosis. Degeneración de un tejido por muerte de sus células.

Pardeamiento. Es el oscurecimiento enzimático que se produce en la superficie del tejido de los tubérculos cuando estos son maltratados o cortados y expuestos al oxígeno del aire.

Patógenos. Agente biológico con la capacidad de producir algún tipo enfermedad en humanos o vegetales.

Ramadas. Cobertizos contruidos con ramas utilizados para almacenar la papa transitoriamente mientras se lleva al sitio de mercadeo.

Riche. Denominación de los productores de papa de la Región Cundiboyacence para referirse a los tubérculos muy pequeños e inferior a 2 cm de diámetro.

Semilla certificada. En cuanto a la papa diploide es una semilla de alta calidad genética y fitosanitaria, procedente de procesos formales de multiplicación inicial registrados ante el ICA.

Testigo. Variedad comercial Criolla Colombia (*Solanum phureja* Juz. et Buk.) como patrón de referencia para la evaluación de varios genotipos en la investigación del presente libro.



Texturómetro. Instrumento de laboratorio para medir y cuantificar dureza, firmeza, fragilidad, fracturabilidad, adhesividad, pegajosidad, rigidez, elasticidad, entre otros parámetros físicos de diferentes materiales entre ellos los alimentos.

Turgencia. Rigidez de las células vegetales debido a que están llenas de agua.

Verdeamiento. Color verde presentado en tubérculos expuestos a la luz que después de la cosecha produce la formación de clorofila, así como de solanina, en la capa inmediatamente siguiente a la piel.

Vida útil. Representa un periodo de tiempo durante el cual un alimento se conserva apto para el consumo y mantiene las características sensoriales, funcionales y nutricionales establecidas.



Apéndice G. Editores y Autores

Ana Magdalena Garnica Holguin

Correo: dalamagne@gmail.com

Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-5355-6788>

Ingeniera de Alimentos y Magíster en Ciencias Sociales, Cooperación y Desarrollo. Coordinadora técnica de proyectos y analista de alimentos, Universidad de La Salle, Bogotá. Ha trabajado en temas relacionados con inocuidad alimentaria y varios proyectos de investigación relacionados con el almidón, la papa andígena, la papa del Grupo Phureja y cebolla larga. Experiencia en análisis fisicoquímico, sensorial, procesamiento y almacenamiento de alimentos. Asesora para pequeñas y medianas empresas (Pymes) de alimentos en temas de gestión de la calidad y de la producción. Ganadora del premio ACTA – Alpina 2010 a la Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos y de la Beca Colciencias para jóvenes investigadores 2011. Ha publicado diferentes artículos y ha sido evaluadora de proyectos de grado en la modalidad de pregrado.

Andrés Felipe Uribe Gaviria

Correo: auribeg@agrosavia.co

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

Ingeniero Agrónomo. Ha participado en proyectos de investigación en las redes de Raíces y Tubérculos, y de Hortalizas. Ha contribuido en la obtención de variedades de papa diploide como Corpoica Sol Andina, Agrosavia Estrella, Corpoica Tiba; y de variedades de cebolla de rama o junca como Corpoica Aquitania 1, Corpoica Tota 1. Actualmente es Profesional de Apoyo a la Investigación de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Trabaja en el área de producción de semillas de papa por el sistema aeropónico y convencional y también apoya el proyecto de reconversión tecnológica en el Lago de Tota para especie de cebolla de rama.



Beatriz Elena Agudelo Chocontá

Correo: bagudelo@agrosavia.co

Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0003-0213-9017>

Economista y Magister en Economía. Desde 2008 ha trabajado en diversos contratos para la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) desempeñándose en el área administrativa de la Dirección de Planeación y Cooperación Institucional y en el área de Investigación en el Centro de Investigación Tibaitatá. La mayoría de los trabajos en los que ha participado han estado relacionados con estudios de evaluación de adopción e impacto de tecnologías entre estos se destacan, evaluación de impacto socioeconómico de las acciones 5 y 7 de la ola invernal (2013), reducción del riesgo y adaptación al cambio climático (2016), Acción Corporativa Plan Semilla dentro del Balance Social de AGROSAVIA (2020). Actualmente se desempeña como profesional de la Dirección de Planeación y Cooperación Institucional de AGROSAVIA y continúa trabajando en temas de evaluación de impacto desde el Departamento de Seguimiento y Evaluación.

Carlos Alberto Abaunza González

Correo: cabaunza@agrosavia.co

Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0003-4496-1455>

Agrólogo, Magíster en Agroecología y Desarrollo Rural Sostenible y Magíster en Gestión Ambiental. El desarrollo de sus investigaciones se ha enfocado en el desarrollo de estudios de información espacial de atributos de suelos para hacer más eficiente los procesos de análisis de los sistemas de producción agropecuaria, enlazando los elementos agroclimáticos para identificar escenarios acordes con la adaptación a la variabilidad climática, ordenamiento territorial y evaluación de tierras a nivel predial y regional. Ha aplicado el enfoque agroecológico como paradigma del análisis ambiental, considerando los espacios de producción y de conservación como coexistentes, con la finalidad de explorar escenarios posibles para trascender los planes de la formulación a su implementación en el territorio. Se desempeña como Investigador Máster Asociado en el Centro de Investigación de Nataima en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).



Carlos Alberto Herrera Heredia

Correo: cherrera@agrosavia.co

Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0001-6589-8999>

Zootecnista, Magister en Nutrición y Especialista en Planificación del Desarrollo. Experto en Planificación Estratégica, Gestión del Conocimiento, Extensión Rural, Planes de Negocios, Innovación Social, Complejos Participativos y en Buenas Prácticas Agrícolas. Ex-gerente del plan de papa de Corpoica y del Consejo Nacional de la papa. Compilador y autor de diferentes libros, manuales, modelos de aprendizaje participativo sobre papa. Actualmente se desempeña con Coordinador de Innovación Regional del C.I. Tibaitatá de AGROSAVIA y Docente de la Universidad Nacional de Colombia.

Carlos Arturo Arango Almaza

Correo: carlaranza@gmail.com

Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-8187-1507>

Ingeniero Agrónomo, Especialista en Administración Financiera y Magíster en Docencia. Su vida profesional ha estado vinculada a la evaluación técnica y financiera de proyectos en organizaciones como el Banco de la República, en la formulación de proyectos en empresas privadas del sector agropecuario y en diversas universidades, donde por más de veinte años fue profesor en las asignaturas del área financiera tanto en programas de pregrado y posgrado. Dentro de los proyectos de investigación se encuentra su participación en el proyecto de: "Generación de variedades mejoradas de papa criolla (*Solanum phureja*), con características morfo-agronómicas, de cosecha, acondicionamiento y transformación, ideales para la exportación en el Departamento de Cundinamarca" en el momento que se encontraba vinculado como docente investigador en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de La Salle.



Claudia Patricia Álvarez Ochoa

Correo: calvarez@unisalle.edu.co

Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-4175-8219>

Ingeniera de Alimentos, Magíster en Administración y Magíster en Docencia. Actualmente vinculada como profesora de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de La Salle en los programas de pregrado y posgrado en el campo de los agronegocios. Su experiencia profesional ha estado vinculada principalmente con instituciones educativas en los roles de profesora, investigadora y en la dirección de programas. Sus áreas de investigación corresponden a las de gestión, agronegocios y educación rural. Entre los últimos proyectos desarrollados se encuentran: Jóvenes y ciudadanía rural: tensiones entre humanismos y utopías (2020); Análisis multicriterio para la sostenibilidad de sistemas productivos agropecuarios en el Espacio Territorial de Capacitación y Reincorporación (ETCR) de Ponedores-Fonseca (Guajira); Prácticas de formación en investigación-acción para el fortalecimiento de la asociatividad y el liderazgo rural en profesores rurales del Municipio de Guatavita (2018).

Daniel Guillermo García González

Correo: danielggg@gmail.com

Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0003-3460-0023>

Biólogo Marino y Especialista en Evaluación de Impacto Ambiental y Social de Proyectos. Trabajó alrededor de 10 años en la Corporación para el Desarrollo Participativo y Sostenible de los Pequeños Productores Rurales – Corporación PBA como coordinador de la Zona Andina. Allí lideró programas y proyectos de innovación rural participativa en los Departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Antioquia, los cuales involucraban sistemas productivos de papa tetraploide y papa diploide. De igual forma participó y apoyó procesos de innovación en otros países andinos en el marco de un consorcio liderado por la Corporación PBA y coordinó el desarrollo, documentación e implementación de la metodología de Mejoramiento Tecnológico Participativo que hace parte de las cuatro metodologías integrales que la Corporación PBA ha logrado consolidar con base en 20 años de trabajo con comunidades rurales. Actualmente, se encuentra vinculado como Investigador Asociado Senior en Texas A&M AgriLife Research apoyando diversos procesos de investigación y desarrollo de capacidades.



Diego Fernando Sánchez Vivas

Correo: dfsanchez@agrosavia.co

Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0001-6313-0871>

Ingeniero Agrónomo de la Universidad Nacional de Colombia, Especialista en Geomática e investigador en AGROSAVIA. Pertenece a los grupos de investigación de COLCIENCIAS de: Ecología y Agricultura Inteligente, y Control Biológico. Ha generado soluciones tecnológicas aplicadas a la agricultura, basadas en modelamiento espacial y fotogrametría. Ha participado en proyectos sobre: gestión de agua al cambio climático para comunidades vulnerables del pueblo indígena Zenú; análisis de movimiento de adultos de polilla del tomate (*Tuta absoluta*) entre invernaderos para el diseño de un sistema que minimice la incidencia de la plaga; optimización del agua y uso eficiente del suelo para mejorar la producción agropecuaria en escenarios de vulnerabilidad agroclimática del Departamento del Cesar; distribución nacional de la chinche de encaje (*Leptopharsa heveae*) en cultivos de caucho; entre otros.

Eduardo María Espitia Malagón

Correo: eespitia@agrosavia.co

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

Ingeniero agrónomo, Magíster en Entomología y Manejo Integrado de Plagas (MIP). Investigador en el área de mip y producción con Buenas Prácticas Agrícolas. Ha liderado y ejecutado proyectos de investigación y transferencia de tecnología en los cultivos de papa, hortalizas y pastos de clima frío. Su carrera de investigación la ha desarrollado en AGROSAVIA, desde 1994 hasta la fecha, y en el Vegetable Entomology Laboratory de la Universidad Estatal de Michigan (USA) entre 2002 y 2004. Ha desarrollado docencia en pregrado, dirección de trabajos de grado, talleres con productores de papa y hortalizas en Colombia. Tiene publicaciones en revistas colombianas, conferencias, ponencias y artículos de libros sobre manejo integrado, seguimiento de poblaciones de plagas y control biológico.



Jader Rodríguez Cortina

Correo: jrodriguezc@agrosavia.co

Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-5346-092X>

Ingeniero Agroindustrial, Máster en Ciencia e Ingeniería de Alimentos, Máster en Gestión y Seguridad Alimentaria y PhD. en Ciencia Tecnología y Gestión Alimentaria. Experiencia en análisis, simulación y control de procesos agroalimentarios, procesos térmicos aplicados a conservación y transformación y, análisis funcional en matrices alimentarias sus cambios asociados con diferentes etapas de procesamiento industrial. Actualmente trabaja como Investigador PhD. en Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) en el C.I. de Tibaitatá y su trabajo se enfoca en el desarrollo de procesos para obtener productos de mayor valor agregado.

Javier Alexander Suárez Cano

Correo: alexsuarez1109@hotmail.com

Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-0106-6031>

Ingeniero de alimentos con experiencia en temas relacionados con inocuidad alimentaria y agroindustria. Ha implementado normas del estándar privado IFS (International Food Standard) para la aplicación en procesos de producción de galletería, chocolatería, confites y productos institucionales. Además, conoce las normas de producción orgánica en el sector de chocolatería orgánica para su comercialización en la Unión Europea, Estados Unidos y Japón. Así como la certificación Kosher en el sector de confites. Cuenta con experiencia en el área de investigación y desarrollo de nuevos productos y almacenamiento de *Solanum phureja* en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Actualmente se desempeña en el sector privado trabajando en Comestibles Italo S.A., ejerciendo el cargo de Coordinador de inocuidad como persona calificada y certificada en controles preventivos en alimentos humanos.



José Luis Zapata Pareja

Correo: jozapata51@gmail.com

Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0001-8391-7591>

Ingeniero Agrónomo y Magíster en Fitopatología. Hizo parte del equipo del Centro Internacional de la Papa que trabajó sobre la resistencia de genotipos avanzados de papa a la gota o Tizón Tardío. Continuó en el Centro de Investigación de la Selva de Corpoica en el Departamento de Antioquía como Investigador Master Principal, estudiando resistencias de enfermedades en papa, lulo, tomate de árbol y uchuva. Además, participó en grupos de estudio de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, en la dirección de trabajos de pregrado y en la formación de agricultores en temáticas de identificación y prevención de enfermedades presentes en plantas establecidas en campo de las especies mencionadas en las zonas productoras del país. Fruto de su experiencia investigativa cuenta con diversos reconocimientos a nivel nacional y con publicaciones nacionales e internacionales.

Juan Carlos Poveda Pisco

Correo: jupoveda@lasalle.edu.co

Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-7189-8765>

Licenciado en Ciencias Naturales y Educación Ambiental con formación en Química y Biología. Tecnólogo en Electricidad industrial. Asistente Técnico y Laboratorista en Bioquímica. Asistente Técnico y Laboratorista en Análisis de Alimentos en la Universidad de la Salle. Experiencia de más de 26 años en el análisis de alimentos, nutrición, química clínica, microbiología y control de calidad de laboratorios. Estudió la prevalencia de micobacterias en gallinas ponedoras, sus líneas de investigación se centran en la extracción de aceites esenciales, fermentaciones, harinas, almidones, validaciones y determinaciones analíticas. Ha participado en la evaluación de características químicas de papa diploide y cebolla de rama. Ha sido miembro de comisiones evaluadoras de trabajo de grado. Es asesor de proyectos de grado en la modalidad de pregrado en la Universidad de La Salle para ingeniería de alimentos, ingeniería ambiental, zootecnia y medicina veterinaria. Actualmente hace parte del equipo de investigación de medicina veterinaria para la preservación de tejidos.



Julían Fernando Mateus Rodríguez

Correo: jmateus@agrosavia.co

Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-5516-7604>

Ingeniero Agrícola y Magíster en Producción Agrícola con énfasis en Fisiología de Cultivos y candidato PhD en Crop Sciences de la Universidad de Reading en el Reino Unido. Trabajó durante 11 años en el Centro de Investigación de Tibaitata participando y coordinando diversos proyectos para la producción de semillas de cultivos de papa en la Zona Altoandina y de yuca, plátano, ñame en la Región del Caribe Colombiano, a través de alianzas público-privadas y de cooperación internacional. Entre los años 2012 y 2016 fue Gestor de Innovación de la Red de Cacao de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Desde el 2017 es Investigador Master del Centro de Investigación Palmira en el área de Ecofisiología de Cultivos.

Julio Gabriel Ortega

Correo: julio.gabriel@unesum.edu.ec

Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0001-9776-9235>

De nacionalidad boliviana, Ingeniero Agrónomo de la Facultad de Ciencias Agrícolas, Pecuaria, Veterinarias y Forestales de la Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia. Maestro en Ciencias (MSc) en Genética del Colegio de Posgraduados, Montecillo, México. Doctor (PhD) en Producción Agraria y Aplicaciones Biotecnológicas de la Universidad Pública de Navarra, España. Trabajo 30 años 5 meses en la Fundación PROINPA en Bolivia. Fue consultor en entidades como la FAO, IFAD, NUFFIC, UE, BMZ, Consorcio Andino, CIP, y otros. Líder de proyectos nacionales e internacionales. Editor Principal de la Revista Latinoamericana de la Papa de la ALAP, Editor de sección de la Revista UNESUM Ciencia en Ecuador, coeditor de la Revista de Agricultura en Bolivia y par evaluador de revistas científicas. Publicó más de 80 publicaciones científicas de artículos indexados y libros. Investigador Principal 1 en la SENESCYT, Ecuador. Docente investigador de la UNESUM desde el 2016.



Isabel Cusgüen Londoño

Correo: cusguen77@yahoo.es

Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-9290-9515>

Ingeniera Agrónoma y Asesora Técnica de Sabana de Occidente. Gestiona, diseña, evalúa y optimiza sistemas de producción agropecuarios en forma sustentable, para cultivos de papa, maíz, arveja y hortalizas. Productora y comercializadora de papa diploide, miembro de la asociación SAT El Rosal y de la empresa Criollas de los Andes SAS. Ha participado como asesora integral para los Municipios de El Rosal y Subachoque; facilitadora en las Escuelas de Campo de los Municipios de Subachoque, Une, Chipaque y Ubaque; y asistente técnico en el proyecto de Alianza Productiva de Papa Criolla de Cundinamarca. Ha sido extensionista y capacitadora de agricultores, formula planes de negocio y gestiona sistemas comerciales de bienes y servicios del sector agropecuario para rentabilizarlos económica y socialmente. También es asesora de proyectos comunitarios y sostenibles ambientalmente.

Lena Prieto Contreras

Correo: prietocontreras@gmail.com

Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-9696-8440>

Ingeniera Química, Magíster en Educación y Especialista en Entornos Virtuales de Aprendizaje. Estuvo vinculada como docente investigadora al Programa de Ingeniería de Alimentos de la Universidad de La Salle, Bogotá, desde donde participó en proyectos de investigación sobre temáticas biotecnológicas, alimentarias y agroindustriales. Investigó junto a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) sobre caracterización y procesamiento de genotipos de papa diploide. También contribuyó a la investigación sobre el rescate del consumo y aprovechamiento del cubio. Como legado de su labor docente de pregrado y posgrado de más de 20 años ha escrito textos universitarios, cursos virtuales y artículos científicos nacionales e internacionales. Ha participado en las pruebas de estado del Icfes para el Módulo de Diseño de Sistemas, Procesos y Productos Agroindustriales.



Lena Carolina Echeverry Prieto

Correo: lcecheverryp@udistrital.edu.co

Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-6940-4383>

Microbióloga Industrial y Magíster en Ciencias Biológicas. Desde el 2006 es docente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Encargada del Laboratorio de Microbiología y Bioprospección Medio Ambiental (MiBioMA) de la Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Con experiencia en investigación de proyectos en el área de microbiología ambiental, como: biodesulfuración de carbono con aislamientos de *Thiobacillus* spp.; bioprospección de consorcios fúngicos como antagonistas del fitopatógeno *Sclerotinia* sp.; evaluación aerobiológica de lluvia horizontal en el Salto de Tequendama; evaluación microbiológica del recurso hídrico subterráneo del Municipio de Tenjo; evaluación de lodos en sistemas aerobios para la remoción de metanol en aguas residuales industriales y empleo de extractos de *Eucalyptus pulverulenta* para controlar el fitopatógeno *Fusarium* sp. También tiene experiencia en control de calidad de productos biológicos, validación de desinfectantes, control microbiológico de fitopatógenos y capacitación en Buenas Prácticas de Manufactura.

Lilia Astrid Ortiz Ortiz

Correo: liliastrid2000@gmail.com

Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0003-0112-0787>

Ingeniera Forestal, Especialista en Sistemas de Información Geográfica. Participó desde el componente espacial en proyectos de zonificación y evaluación de tierras para la determinación de áreas potenciales para el cultivo de diferentes especies agrícolas, involucrando información de suelos y clima a nivel nacional y local. Su trabajo se llevó a cabo como profesional de apoyo en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).



Luis Alonso Lavado Villalobos

Correo: llavado@agrosavia.co

Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0001-5281-8304>

Técnico en Cultivos Agrícolas y Tecnólogo en Producción Agrícola. Trabajó en el sector de flores durante 25 años y en el Laboratorio de Investigación y Desarrollo Agrícola (IDEA) en la selección y caracterización de variedades para conseguir los mejores clones semicomerciales y comerciales. También se desempeñó en el área de Fitomejoramiento en la obtención de mejores variedades a través de cruzamientos e hibridaciones. Desde el año 2007 es Asistente de Investigación de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) y ha apoyado los proyectos de: multiplicación de semilla de papa bajo el sistema convencional; multiplicación de semilla bajo el sistema aeropónico; manejo de genotipos para pequeños y medianos productores de papa asociados; y conservación de materiales nativos. Ha participado en proyectos de Regalías de los Departamentos de Santander y Nariño; de Plan Semillas y de Plan de Vinculación; entre otros.

Luz Mireya Pinzón Perdomo

Correo: lpinzon@agrosavia.co

Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0003-3141-3687>

Economista y Magister en Mercadeo. Ha trabajado en proyectos de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) relacionados con diferentes investigaciones en sistemas de producción de frutales de clima frío moderado, caña, papa, arveja, tomate bajo condiciones protegidas, cebolla de rama, entre otros. Actualmente se desempeña como Líder de Seguimiento y Evaluación en el Centro de Investigación Obonuco del Departamento de Nariño (AGROSAVIA).



Luz Yamile Nova Rodríguez

Correo: yaminova08@gmail.com

Orcid ID: <http://orcid.org/0000-0002-1122-6940>

Trabajadora Social vinculada a la Corporación para el Desarrollo Participativo y Sostenible de los Pequeños Productores Rurales – Corporación PBA- por más de trece años como facilitadora de procesos de acompañamiento social y organizativo con organizaciones de pequeños productores de yuca, plátano, ñame, maíz y papa en los departamentos de la región Caribe, la Zona Andina y la Orinoquía. Participo y apoyó el diseño de las metodologías de Empoderamiento de los pequeños Productores (EPPR) y de Desarrollo Organizativo para la Innovación (DOI) que hacen parte de la estrategia de Innovación Rural Participativa IPR de la Corporación PBA. Coordinó varios proyectos en alianza con entidades nacionales y cooperación internacional en relación con el intercambio de experiencias metodológicas e investigación participativa con agricultores. Actualmente se desempeña como Líder de Gestión Social en la empresa Campo Vivo Negocio Social SAS que vincula en su negocio inclusivo a organizaciones de pequeños productores de papa de Boyacá y Cundinamarca como proveedores de materia prima para la industria.

María del Socorro Cerón Lasso

Correo: mceron@agrosavia.co

Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-9011-7848>

Ingeniera Agrónoma, Magister en Ciencias Agrarias con énfasis en Fitomejoramiento y candidata a PhD en Ciencias Agrarias. Con experiencia en la formulación y ejecución de proyectos en: desarrollo bajo el enfoque de investigación participativa; transferencia de tecnología para pequeños y medianos productores de la Región Andina Colombiana; valoración y uso de recursos genéticos vegetales; mejoramiento genético de papa y cebolla de rama tendiente a liberar variedades con potencial de rendimiento, atributos de procesamiento y consumo en fresco. Ha participado en la evaluación de genotipos para las Subregiones Colombianas del Altiplano Cundiboyacense y del Nudo de Los Pastos, que ha



conducido al registro de las variedades: tetraploides Agrosavia Mary y Milenia-1; diploides Corpoica Sol Andina, Agrosavia Estrella, Corpoica Tiba, Agrosavia Alhaja y Agrosavia Oyanza; y de cebolla junca (*Allium fistulosum* L.) Corpoica Aquitania-1 y Corpoica Tota-1. Actualmente es Investigador Master Senior en el Centro de Investigación Tibaitata de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Nancy del Carmen Barreto Triana

Correo: nbarreto@agrosavia.co

Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0001-7516-4761>

Ingeniera Agrónoma, Magíster en Fitoprotección Integrada y Doctora en Entomología. Con 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 y 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. Actualmente es Investigador PhD Asociado en el Centro de Investigación Tibaitatá y pertenece a la Red de Innovación de Raíces y Tubérculos.

Nubia Liliana Cely-Pardo

Correo: ncely@agrosavia.co

Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0001-9948-9798>

Bióloga y Magíster en Fitoprotección (línea de investigación en Entomología). 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. En la actualidad es Investigadora Máster y se encuentra adscrita a la Red de Innovación de Raíces y Tubérculos del Centro de Investigación de Tibaitatá de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Pedro David Porras Rodríguez

Correo: pdavidpr@gmail.com

Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-7716-5095>

Ingeniero Agrónomo y Especialista en Producción de Arroz. La mayor parte de su carrera la desarrolló en la Federación Colombiana de Productores de Papa (Fedepapa) entre 1996 y 2011. Entre 2014 y 2015, apoyó la elaboración de nueve modelos productivos de papa para la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Desde 2015 está vinculado a la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA), entidad que desarrolla entre otras actividades, zonificaciones de aptitud forestal, agrícola, pecuaria, acuícola y pesquera, en las que se destacan cultivos como papa, cebolla de bulbo, fresa, arroz seco mecanizado, pimentón, maíz tecnificado de clima cálido, papa Diacol Capiro industrial, algodón, caña panelera y café, entre otros.

Yajaira Romero Barrera

Correo: yromero@agrosavia.co

Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-6512-7307>

Ingeniera de Producción Biotecnológica y Magíster en Estadística Aplicada. Trabajó seis años en el Centro de Investigación Caribia de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), donde participó en proyectos de investigación en hortalizas, frutales y métodos de muestreo de poblaciones biológicas. Actualmente se encuentra vinculada a la Dirección de Investigación y Desarrollo desde el 2014 y es miembro del Equipo Extendido de Estadística nodo central. Continúa participando en proyectos pertenecientes a diferentes redes en los componentes de muestreo de poblaciones biológicas y estudios socioeconómicos, así como en la planificación, la ejecución y el análisis de experimentos. En este momento es profesional de apoyo adscrita a la Red de Innovación de Hortalizas y Aromáticas de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia).



Yaquelin Molina Cita

Correo: ymolina@agrosavia.co

Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0003-2783-493X>

Administradora de Empresas Agropecuarias y Magíster en Diseño y Gestión de Procesos. Ha trabajado durante 10 años en el Centro de Investigación Tibaitata (AGROSAVIA) en proyectos de investigación, apoyando el seguimiento y la evaluación de las actividades desarrolladas en campo para las especies de papa diploide y cebolla de rama. Adicionalmente, realiza la gestión administrativa propia de los proyectos, el desarrollo de informes y el seguimiento de actividades. Actualmente es Profesional Administrativo de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).



ISBN: 978-9942-33-626-2



compAs

Grupo de capacitación e investigación pedagógica



@grupocompas.ec
compasacademico@icloud.com