

# Quinua

*(Chenopodium quinoa Willd.)*

Mejoramiento, producción y  
poscosecha

# Quinua

(*Chenopodium quinoa* Willd.)

Mejoramiento, producción y  
poscosecha

|                                    |                                  |
|------------------------------------|----------------------------------|
| Caren Rodríguez-Medina             | Henry Hernández-Martínez         |
| Daniel Ortiz-González              | José Ives Pérez-Zúñiga           |
| Diana Lucía Correa-Moreno          | Sebastián Escobar-Parra          |
| Diana Milena Rodríguez-Mora        | Carolina Ángel-García            |
| Dubert Yamil Cañar-Serna           | Camila A. Hernández-Varela       |
| Jackeline Gaviria                  | Edier Santiago Imbachí-Benavides |
| Jader Rodríguez-Cortina            | Edinson Castillo-López           |
| Consuelo Montes-Rojas              | Elías Carranza-Hernández         |
| Takumasa Kondo                     | Fabián Andrés Velásquez-Ayala    |
| Arturo Carabalí-Muñoz              | Luz Natalia Martínez-Caballero   |
| Edwin Andrés Villagrán-Munar       | Isabel Cristina Ramírez-Paz      |
| John Javier Espitia-González       | Óscar Eduardo Paredes-Martínez   |
| Germán Andrés Aguilera-Arango      | Robert Rosero                    |
| Leidy Patricia Tibaduiza-Castañeda | Yaneth Patricia Ramos-Villafañe  |

Colección Alianzas AGROSAVIA  
2024



Corporación colombiana de investigación agropecuaria

Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.): mejoramiento, producción y poscosecha. / Caren Rodríguez-Medina [y otros veintisiete] - Mosquera (Colombia): AGROSAVIA, 2024. 350 páginas (Colección Alianzas AGROSAVIA)

Incluye gráficos y tablas.

ISBN: 978-958-740-781-5

ISBN e-Book: 978-958-740-786-0

1. *Chenopodium quinoa* 2. Mejoramiento genético 3. Producción 4. Tecnología poscosecha 5. Espaciamiento 6. Manejo del cultivo 7. Sostenibilidad 8. Cauca (Colombia).

**Palabras clave normalizadas según Tesauro Multilingüe de Agricultura - Agrovoc**

Catalogación en la publicación - Biblioteca Agropecuaria de Colombia

## Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA

**Sede Central, Kilómetro 14 vía Mosquera-Bogotá, Mosquera, Cundinamarca. Código postal 250047, Colombia.**

**Centro de Investigación Palmira, diagonal a la intersección de la carrera 36A con calle 23, Palmira, Valle del Cauca. Código postal 763533, Colombia.**

Esta publicación es el resultado del proyecto "Desarrollo de nuevas recomendaciones tecnológicas para contribuir con la competitividad y la sostenibilidad del sector quinuero del departamento del Cauca", con código BPIN: 201800010017, desarrollado por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) y financiado por el Sistema General de Regalías, Gobernación del Cauca.

**Colección:** Alianzas AGROSAVIA

**Tipología:** Obras de Reflexión y Análisis

**Primera edición:** 900 ejemplares

Impreso en Bogotá, Colombia,  
diciembre de 2024

### Autores

Caren Rodríguez-Medina  
Daniel Ortiz-González  
Diana Lucía Correa-Moreno  
Diana Milena Rodríguez-Mora  
Dubert Yamil Cañar-Serna  
Jackeline Gaviria  
Jader Rodríguez-Cortina  
Consuelo Montes-Rojas  
Takumasa Kondo  
Arturo Carabalí-Muñoz  
Edwin Andrés Villagrán-Munar  
John Javier Espitia-González  
Germán Andrés Aguilera-Arango  
Leidy Patricia Tibaduiza-Castañeda  
Henry Hernández-Martínez  
José Ives Pérez-Zúñiga  
Sebastián Escobar-Parra  
Carolina Ángel-García  
Camila A. Hernández-Varela  
Edier Santiago Imbachi-Benavides  
Edinson Castillo-López  
Elías Carranza-Hernández  
Fabián Andrés Velásquez-Ayala  
Luz Natalia Martínez-Caballero  
Isabel Cristina Ramírez-Paz  
Óscar Eduardo Paredes-Martínez  
Robert Rosero  
Yaneth Patricia Ramos-Villafañe

**Preparación editorial**

Editorial AGROSAVIA  
editorial@agrosavia.co

**Líder editorial:** Astrid Verónica Bermúdez Díaz

**Edición:** Verónica Barreto Riveros

**Corrección de estilo:** Nathalie de La Cuadra y  
Amalia Tapiero Barreto

**Diseño y diagramación:** Jaime Wilches Cañón

**Impresión:** DGP Editores

**Citación sugerida:** Rodríguez-Medina, C., Ortiz-González, D., Correa-Moreno, D. L., Rodríguez-Mora, D. M., Cañar-Serna, D. Y., Gaviria, J., Rodríguez-Cortina, J., Montes-Rojas, C., Kondo, T., Carabalí-Muñoz, A., Villagrán-Munar, E., Espitia-González, J. J., Aguilera-Arango, G. A., Tibaduiza-Castañeda, L. P., Hernández-Martínez, H., Pérez-Zúñiga, J. I., Escobar-Parra, S., Ángel-García, C., Hernández-Varela, C. A., Imbachi-Benavides, E. S., ... Ramos-Villafañe, Y. P. (2024). *Quinoa* (*Chenopodium quinoa* Willd.):

*mejoramiento, producción y poscosecha*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

**Cláusula de responsabilidad:** Cláusula de responsabilidad: AGROSAVIA no es responsable de las opiniones ni de la información recogidas en el presente texto. Los autores asumen de manera exclusiva y plena toda responsabilidad sobre su contenido, ya sea este propio o de terceros, declarando en este último supuesto que cuentan con la debida autorización de terceros para su publicación. Igualmente, expresan que no existe conflicto de interés alguno con relación a los resultados de la investigación propiedad de tales terceros. En consecuencia, los autores serán responsables civil, administrativa o penalmente, frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros, relativa a los derechos de autor u otros derechos que se vulneren como resultado de su contribución.



<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

Línea de atención al cliente: 018000121515  
atencionalcliente@agrosavia.co  
[www.agrosavia.co](http://www.agrosavia.co)



# Contenido

## Capítulo I

Genotipos promisorios de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el sur del departamento del Cauca: una alternativa sostenible para la producción agrícola de la región \_\_\_\_\_ 12

Resumen \_\_\_\_\_ 12

Introducción \_\_\_\_\_ 14

Materiales y métodos \_\_\_\_\_ 18

Área de estudio \_\_\_\_\_ 18

Material vegetal \_\_\_\_\_ 19

Variables evaluadas \_\_\_\_\_ 20

Análisis estadístico \_\_\_\_\_ 21

Resultados y discusión \_\_\_\_\_ 21

Días a madurez fisiológica \_\_\_\_ 24

Altura de la planta \_\_\_\_\_ 26

Peso promedio de granos por panoja \_\_\_\_\_ 27

Peso promedio de mil granos \_\_ 28

Rendimiento \_\_\_\_\_ 29

Relación entre las variables estudiadas \_\_\_\_\_ 32

Agrupamiento de genotipos según crecimiento y rendimiento \_\_\_\_ 36

Conclusiones \_\_\_\_\_ 41

Referencias \_\_\_\_\_ 42

## Capítulo II

Requerimiento nutricional del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) \_\_ 46

Resumen \_\_\_\_\_ 46

Introducción \_\_\_\_\_ 47

Materiales y métodos \_\_\_\_\_ 50

Localización \_\_\_\_\_ 50

Presentación \_\_\_\_\_ 7

Introducción \_\_\_\_\_ 8

Agradecimientos \_\_\_\_\_ 11

Material vegetal y manejo del experimento \_\_\_\_\_ 50

Diseño estadístico \_\_\_\_\_ 51

Variables evaluadas \_\_\_\_\_ 53

Análisis estadístico \_\_\_\_\_ 53

Resultados y discusión \_\_\_\_\_ 54

Requerimiento nutricional \_\_\_\_ 54

Curvas de absorción de nutrientes \_\_\_\_\_ 60

Análisis económico \_\_\_\_\_ 64

Conclusiones \_\_\_\_\_ 66

Referencias \_\_\_\_\_ 67

## Capítulo III

Densidades de siembra para el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) \_\_\_\_\_ 70

Resumen \_\_\_\_\_ 70

Introducción \_\_\_\_\_ 71

Materiales y métodos \_\_\_\_\_ 74

Diseño y ubicación de los experimentos \_\_\_\_\_ 74

Manejo agronómico \_\_\_\_\_ 75

Variables evaluadas \_\_\_\_\_ 76

Análisis estadístico \_\_\_\_\_ 77

Resultados y discusión \_\_\_\_\_ 77

Meteorología \_\_\_\_\_ 77

Área foliar \_\_\_\_\_ 81

Análisis de componentes principales para variables medidas en cosecha \_\_\_\_\_ 84

Crecimiento de las plantas \_\_ 85

Efectos de la densidad sobre la producción \_\_\_\_\_ 89

Conclusiones \_\_\_\_\_ 94

Referencias \_\_\_\_\_ 95

## Capítulo IV

Agricultura de conservación para la producción sostenible en cultivos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) \_\_ 99

Resumen \_\_\_\_\_ 99

Introducción \_\_\_\_\_ 100

Agricultura de conservación y mitigación de gases efecto invernadero \_\_\_\_\_ 102

Principios y prácticas de la agricultura de conservación \_\_\_\_\_ 106

Mínima o nula alteración mecánica del suelo \_\_\_\_\_ 106

Cobertura vegetal permanente en el suelo \_\_\_\_\_ 108

Diversificación de especies en el sistema de cultivo \_\_\_\_\_ 109

Aproximación a prácticas conservacionistas en el cultivo de quinua. Caso de estudio en el departamento del Cauca \_\_\_\_\_ 110

Implementación y evaluación de prácticas conservacionistas en el cultivo de quinua \_\_\_\_\_ 112

Seguimiento y monitoreo al desarrollo del cultivo de quinua \_ 118

Uso potencial de vicia (*Vicia atropurpurea*) y mostacilla (*Rapistrum rugosum*) como abono verde y cobertura vegetal en cultivos de quinua \_\_\_\_\_ 120

Crecimiento y acumulación de biomasa en vicia (*Vicia atropurpurea*) \_\_\_\_\_ 121

Análisis de descomposición de coberturas vegetales \_\_\_\_\_ 125

Referencias \_\_\_\_\_ 130

## Capítulo V

Entomofauna asociada al cultivo de quinua en el departamento del Cauca, Colombia \_\_\_\_\_ 134

Resumen \_\_\_\_\_ 134

Introducción \_\_\_\_\_ 136

Metodología \_\_\_\_\_ 139

Resultados \_\_\_\_\_ 140

Insectos fitófagos \_\_\_\_\_ 141

Moscas (orden Diptera) \_\_\_\_ 148

Chinches, áfidos, saltahojas y otros hemípteros (orden Hemiptera) \_\_\_\_\_ 150

Saltamontes, langostas y grillos (orden Orthoptera) \_\_\_\_\_ 160

Potenciales insectos plaga de importancia en el cultivo de la quinua en el departamento del Cauca \_\_\_\_\_ 161

Enemigos naturales (insectos benéficos) \_\_\_\_\_ 163

Depredadores \_\_\_\_\_ 164

Insectos visitantes encontrados en quinua \_\_\_\_\_ 176

Conclusiones \_\_\_\_\_ 185

Referencias \_\_\_\_\_ 188

## Capítulo VI

Enfermedades asociadas al cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el departamento del Cauca, Colombia \_\_\_\_\_ 195

Resumen \_\_\_\_\_ 195

Introducción \_\_\_\_\_ 196

Materiales y métodos \_\_\_\_\_ 198

Resultados y discusión \_\_\_\_\_ 201

Enfermedades radiculares \_\_\_\_ 204

Enfermedades foliares \_\_\_\_ 215

Enfermedades de la panoja \_\_\_\_ 236

Conclusiones \_\_\_\_\_ 245

Referencias \_\_\_\_\_ 246

## Capítulo VII

Optimizando el modelo productivo de la quinua en el departamento del Cauca, Colombia: una perspectiva sostenible a través de la trazabilidad \_\_\_\_\_ 252

Resumen \_\_\_\_\_ 252

Introducción \_\_\_\_\_ 254

Materiales y métodos \_\_\_\_\_ 260

Enfoque geográfico: nuestro campo de estudio \_\_\_\_\_ 260

Experiencia en el proceso: de la mano con los quinueros \_\_\_\_ 261

Resultados y discusión \_\_\_\_\_ 265

Conclusiones \_\_\_\_\_ 275

Referencias \_\_\_\_\_ 276

## Capítulo VIII

Optimización tecnológica para la poscosecha de quinua en el departamento del Cauca: propuestas para mejorar la eficiencia y calidad \_\_\_\_\_ 279

Resumen \_\_\_\_\_ 279

Introducción \_\_\_\_\_ 280

Materiales y métodos \_\_\_\_\_ 282

Vigilancia tecnológica \_\_\_\_\_ 282

Diagnóstico tecnológico del estado de las labores poscosecha en el departamento del Cauca \_\_\_\_\_ 283

Diseño y evaluación de alternativas tecnológicas para los procesos de poscosecha \_\_\_\_ 284

Resultados y discusión \_\_\_\_\_ 285

Vigilancia tecnológica \_\_\_\_\_ 285

Diagnóstico tecnológico \_\_\_\_\_ 289

Diseño y construcción de alternativas tecnológicas para los procesos de poscosecha \_\_ 297

Propuestas tecnológicas \_\_\_\_ 303

Conclusiones \_\_\_\_\_ 307

Referencias \_\_\_\_\_ 308

## Capítulo IX

Requerimiento hídrico del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) \_\_\_\_\_ 310

Resumen \_\_\_\_\_ 310

Introducción \_\_\_\_\_ 312

Materiales y métodos \_\_\_\_\_ 316

Área de estudio \_\_\_\_\_ 316

Material vegetal y manejo del experimento \_\_\_\_\_ 318

Diseño estadístico \_\_\_\_\_ 319

Resultados y discusión \_\_\_\_\_ 320

Fenología \_\_\_\_\_ 320

Variables de crecimiento \_\_\_\_ 323

Longitud de la raíz \_\_\_\_\_ 328

Rendimiento \_\_\_\_\_ 330

Conclusiones \_\_\_\_\_ 333

Referencias \_\_\_\_\_ 334

Autoría \_\_\_\_\_ 338

# Presentación

El cultivo de quinua ha tenido especial relevancia en el mundo gracias a su alto valor nutricional y fácil adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales. El departamento del Cauca (Colombia) ha reconocido el potencial de la quinua como cultivo estratégico para la seguridad y soberanía alimentaria de las comunidades, y como una alternativa económica de productores, agroindustrias e industrias de alimentos. Sin embargo, a pesar de las iniciativas de las entidades gubernamentales para generar y desarrollar programas de fomento y comercialización, el cultivo de quinua no cuenta con el respaldo de un modelo productivo que ofrezca recomendaciones tecnológicas respaldadas por investigaciones nacionales en temas básicos, como material genético con adaptación local y atributos agronómicos y económicos de interés, producción y calidad de grano con características agronómicas competitivas en el mercado nacional e internacional, y programas de fertilización, riego y esquemas fitosanitarios basados en la producción limpia, orgánica y sostenible.

Este libro contribuye a complementar, ampliar y llenar el vacío

de información respecto al cultivo de la quinua, al recopilar los resultados de cuatro años de investigación participativa que demuestran que el aprovechamiento integral y potencial de este cultivo puede alcanzarse con la integración del conocimiento tradicional de las comunidades y los desarrollos de investigación.

El contenido se encuentra estructurado en tres componentes: mejoramiento genético, manejo agronómico y poscosecha. El primero incluye un capítulo que presenta los avances en la evaluación de material genético promisorio de quinua; este componente responde a la política actual de rescate de cultivos ancestrales. El segundo está conformado por cinco capítulos que muestran los avances en requerimientos nutricionales, densidades de siembra, agricultura de conservación, entomofauna y enfermedades asociadas al cultivo. El tercero cuenta con tres capítulos acerca de la trazabilidad en el modelo productivo de quinua, la optimización tecnológica para la poscosecha y el requerimiento hídrico del cultivo. Esperamos que el libro sea de interés para investigadores en el sistema productivo de quinua, asistentes técnicos y productores.

# Introducción

Arturo Carabalí Muñoz

La quinua (*Chenopodium quinua* Willd.) (Amaranthaceae), planta nativa de Sudamérica, tiene su origen en los Andes de Bolivia, Chile y Perú, y se extiende a los países de la región Andina. Es catalogada como uno de los alimentos de mayor aporte nutricional; sus granos tienen un importante valor biológico, calidad nutricional y funcional, lo cual lo convierte en un cultivo promisorio para la seguridad alimentaria y nutrición del ser humano en el siglo XXI (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2013). El grano de quinua presenta un alto contenido de proteína con un balance único de aminoácidos esenciales para el ser humano, lo que representa una alternativa valiosa para comunidades con poco acceso a fuentes proteicas (Pando & Castellanos, 2016). Además, la ausencia de gluten en los granos de quinua es una ventaja competitiva en el mercado de los cereales (Chaparro et al., 2010). La quinua es una alternativa económica para aquellas personas que se dedican a su cultivo, ya que les

permite obtener ingresos monetarios directos por la venta del grano y del salvado, o indirectos por el uso de subproductos para la alimentación animal (Higuera et al., 2011). Asimismo, gracias a que es un cultivo de ciclo corto, se pueden conseguir dos cosechas en un año, con el desarrollo de variedades precoces.

La quinua, como sistema productivo, se puede implementar a pequeña escala por su baja inversión económica en la etapa de establecimiento, y asociar con otros cultivos de seguridad alimentaria (Higuera et al., 2011). Debido a su gran versatilidad agronómica y amplia adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales, y ante el reto de incrementar la producción de alimentos de calidad para satisfacer las necesidades nutricionales de la población mundial en el contexto del cambio y la variabilidad climática, esta especie se perfila como un cultivo clave para el fortalecimiento de la economía campesina y familiar (Ruiz et al., 2014). En Colombia, el departamento del Cauca es considerado uno

de los mayores productores de quinua (Lewis & Franco, 2015), donde la mayor parte del área está sembrada con mezclas de materiales locales no mejorados, los cuales presentan baja calidad de grano (heterogeneidad en color y tamaño) y susceptibilidad a insectos plagas y enfermedades. Esto ocasiona bajos rendimientos (~1,8 ton/ha), inferiores comparados con el potencial de las variedades mejoradas (4,5 t/ha) (Agro-net, 2014; Apaza et al., 2013; Delgado et al., 2009; Torres et al., 2000). A pesar de que los productores han contado con la presencia de entidades gubernamentales y el acompañamiento de asistentes técnicos, no tienen el respaldo de un modelo productivo que considere la quinua como un alimento funcional de un mercado especializado, en el cual el comprador no solo busca nutrición, sino también otros elementos como producción limpia y orgánica, responsabilidad social, entre otros.

Para productores, agroindustrias e industrias de alimentos del departamento del Cauca,

el cultivo de quinua se vislumbra como una actividad productiva importante que en su expansión y consolidación requiere apoyo en investigación para dinamizar la cadena de valor y posicionarla para garantizar su competitividad y sostenibilidad. De esta manera, se logra abastecer el mercado interno y externo, con el propósito de generar un modelo productivo de quinua para las zonas productoras de Colombia en el departamento del Cauca. Por tanto, la investigación en la genética y el fitomejoramiento, y las prácticas de manejo productivo y sostenible del cultivo y poscosecha son fundamentales para el cierre de brechas tecnológicas con respecto a los países productores de quinua a nivel mundial. En ese contexto, este libro aporta información que recopila resultados de cuatro años de investigación participativa en regiones productoras de quinua del departamento del Cauca, los cuales soportan la generación de conocimientos y recomendaciones tecnológicas.



# Referencias

- Apaza, V., Cáceres, G., Estrada, R., & Pinedo, R. (2013). *Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú*. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA); Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).
- Delgado, A. I., Palacios, J. H., & Betancourt, C. (2009). Evaluación de 16 genotipos de quinua dulce (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el municipio de Iles, Nariño (Colombia). *Agronomía Colombiana*, 27(2), 159-167.
- Torres M., J., Vargas C., H., Corredor S., G., & Reyes C., L. M. (2000). Caracterización morfoagronómica de diecinueve cultivares de Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en la Sabana de Bogotá. *Agronomía Colombiana*, 17, 60-68.

Foto: Daniel Ortiz-González

## Agradecimientos

Los autores agradecen al Sistema General de Regalías (SGR) de la Gobernación del Cauca, por la financiación del proyecto macro “Desarrollo de nuevas recomendaciones tecnológicas para contribuir a la competitividad y sostenibilidad del sector quinero del departamento del Cauca” (código BPIN: 201800010017); a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), que brindó el espacio para el desarrollo de este libro, a la Universidad del Cauca, y a las asociaciones de productores de quinua de los municipios de Bolívar, Asociación de Agricultores Campesinos de la Zanja Chitacorral” (Agrocazan); La Vega, Asociación Productora de Quinua Resguardo de Pancitará (Asproquinpa); Totoró, Asociación de Productores de Quinua (Asoquinua), y Silvia, Cooperativa Multiactiva Indígena de Las Delicias. Asimismo, al profesor Benjamín Sañudo, por aportar el material genético de quinua con el que se inició el programa de mejoramiento del proyecto.



## Capítulo I

# Genotipos promisorios de quinua en el sur del departamento del Cauca: una alternativa sostenible para la producción agrícola de la región

Caren Rodríguez-Medina  
Edier Santiago Imbachi-Benavides  
Camila A. Hernández-Varela

Yaneth Patricia Ramos-Villafañe  
Consuelo Montes-Rojas  
Germán Andrés Aguilera-Arango

## Resumen

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es uno de los cultivos más antiguos de América del Sur y es consumida a nivel mundial gracias a su valor nutricional y amplia adaptación a diferentes condiciones edafoclimáticas. Es un cultivo importante para la soberanía y seguridad alimentaria en varias regiones de Colombia, incluyendo zonas con presencia de cultivos de uso ilícito. En este estudio, fueron evaluados los genotipos de quinua dulce QC2, QC5, QC7, QC8, QC12 y QC14 en dos municipios del

sur del departamento del Cauca, Bolívar y La Vega, utilizando como testigos los cultivares comerciales Tunkahuan y Blanca de Jericó. Los materiales genéticos mostraron una gran variabilidad, principalmente en características como la altura, la cual osciló entre 76,6 cm y 171,1 cm, y la duración del ciclo del cultivo, que presentó valores entre 100 y 181,5 días desde la siembra hasta la madurez fisiológica. En las variables evaluadas se incluyeron componentes de rendimiento, como peso promedio de granos por



Foto: Edier Santiago Imbachí-Benavides

panoja y peso de mil granos, y parámetros de crecimiento, como altura y duración del ciclo fenológico. Se observó una correlación positiva y significativa entre rendimiento y peso promedio de granos por panoja, y entre altura de la planta y días desde la siembra hasta alcanzar la madurez fisiológica. Los resultados permitieron identificar materiales genéticos de porte bajo, ciclo corto y alto rendimiento en cada localidad. En Bolívar, sobresalieron los genotipos QC5 y QC7, mientras que en La Vega se encontraron los genotipos QC5, QC8 y QC12 como promisorios.

**Palabras clave:** *Chenopodium quinoa*, componentes de rendimiento, precocidad, porte bajo, selección, variabilidad.





## Introducción

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es un alimento de alto valor nutricional y calidad proteica (Rojas et al., 2016; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2011), y tiene una gran capacidad de adaptación a diferentes condiciones edafoclimáticas (Apaza et al., 2013; Delgado et al., 2009; Zurita-Silva et al., 2014). Este grano integral representa un cultivo clave para la soberanía y la seguridad alimentaria y nutricional, no solo de comunidades de la región de los Andes, sino también a nivel mundial (FAO, 2011; Nieto, 2013; Rojas et al., 2010); además, es estratégico para la sustitución de cultivos de uso ilícito.

Según Ruas et al. (1999), el centro de diversidad genética de la quinua es la región de la cuenca del lago Titicaca, entre Bolivia y Perú. A lo largo de la formación geológica de los Andes se reconocen cinco ecotipos que se han adaptado a condiciones particulares específicas: quinua de los valles interandinos en Colombia, Ecuador y Perú, quinua del altiplano en Bolivia y Perú, quinua de las yungas en Bolivia, quinua de los salares en Argentina, Bolivia, y Chile, y quinua de la costa o del nivel del mar en Chile (Risi & Galwey, 1984).



Foto: Diana Milena Rodríguez-Mora

Una característica interesante de la quinua es su alotetraploidía, aparentemente resultado del cruzamiento entre dos especies de *Chenopodium* diploides (Ward, 2000). Aunque el principal tipo de segregación cromosomal es diploide, también ocurre segregación tetrasómica, lo cual es un reto para programas de mejoramiento genético (Ward, 2000). Estos programas comenzaron en los países andinos en la década de los sesenta y setenta, época en la que se propusieron métodos de selección masal, selección individual, selección por pedigrí y retrocruzamiento. Posteriormente, se propusieron otros métodos como selección masal estratificada, selección combinada individual y masal, e inducción de mutaciones (Bonifacio, Gómez-Pando et al., 2014; Gómez-Pando & Eguiluz-de la Barra, 2013).

Los atributos agronómicos de interés que se han tenido en cuenta para el mejoramiento genético de la quinua son el rendimiento, el tamaño del grano y el contenido de saponina; más recientemente, se ha considerado la precocidad, la resistencia a limitantes fitosanitarias como mildiu y la tolerancia a factores de estrés abiótico. Algunos de estos factores son resultado de los efectos del cambio climático, los cuales han surgido como retos importantes para los programas de

mejoramiento genético de quinua (Bonifacio, 2019; Bonifacio, Vargas et al., 2014). En su estudio, Bonifacio (2019) resalta que las variedades de quinua con ciclos largos de crecimiento son más susceptibles a los efectos del cambio climático. Técnicas de selección participativa, en las cuales se incluye el criterio del productor, también han sido adoptadas (Rojas et al., 2010).

El mejoramiento genético de la quinua en Colombia es relativamente reciente y enfrenta retos como el cultivo de mezclas de materiales genéticos, varios de ellos sin identificar, presentes en predios de productores (Morillo-Coronado et al., 2022). Esta aparente desventaja ofrece oportunidades para programas de mejoramiento genético de quinua, en los cuales la selección de materiales genéticos puros, más uniformes, adaptados a las condiciones edafoclimáticas locales y con atributos agro-nómicos de interés e importancia económica se convierten en retos. Según Manjarrés-Hernández et al. (2021), los materiales genéticos más cultivados en el departamento de Boyacá, Colombia, son Blanca de Jericó y Tunkahuan. Blanca de Jericó es un cultivar seleccionado en Boyacá, de porte alto, ramificación abierta y panoja de color blanco (Sañudo et al., 2005). Tunkahuan es originario del Ecuador, es de color púrpura y la panoja es de tipo glomerulada (Nieto et al., 1992). Por su parte, en el departamento del Cauca se cultivan las variedades dulces Blanca de Jericó y Aurora; esta última fue seleccionada en la Universidad de Nariño (Alviar Ferro, 2023).

En un programa de mejoramiento genético, es importante contar con una amplia diversidad genética que incremente las opciones de obtener variedades mejoradas que respondan a limitantes del cultivo, lo cual implica la necesidad de rescatar y caracterizar los recursos genéticos disponibles (El-Harty et al., 2021). En la región Andina se tienen bancos de germoplasma de quinua en Chile, Colombia, Bolivia, Ecuador y Perú (FAO, 2011). Los seis bancos de germoplasma de quinua en Bolivia conservan el mayor número de accesiones, ya que reúnen más de 5.000 materiales (FAO, 2011).

En Colombia se tienen algunas colecciones de germoplasma de quinua, como la que se conserva en el departamento de Boyacá, en el Laboratorio de Biotecnología Vegetal de la Secretaría de



Desarrollo Agropecuario, de la Gobernación de Boyacá (Manjarrés-Hernández et al., 2021). Otra colección se encuentra en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), en el Centro de Investigación Tibaitatá (AGROSAVIA, 2023) y otra, en la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá (Torres et al., 2000). En un estudio de la diversidad genética de quinua de la colección de la Gobernación de Boyacá, en el que se usaron marcadores moleculares tipo microsatélites amplificados al azar (RAM, por sus siglas en inglés), se encontró que los materiales de esta colección eran muy homogéneos (Morillo-Coronado et al., 2017). Otro estudio más reciente de accesiones de esta colección, en el que se utilizaron marcadores moleculares basados en secuencias simples repetidas (SSR, por sus siglas en inglés), demostró una alta diversidad genética de quinua en Colombia, la cual podría usarse en programas de mejoramiento genético (Manjarrés-Hernández & Morillo-Coronado, 2022).

El objetivo del presente estudio fue identificar materiales genéticos de quinua con características agronómicas de interés e importancia económica, adaptados al sur del departamento del Cauca. Con este propósito, se evaluaron progenies de quinua provenientes del cruzamiento entre los cultivares comerciales Aurora y Tunkahuan, las cuales aportó el profesor Benjamín Sañudo, de la Universidad de Nariño, para esta investigación. Estas progenies fueron identificadas como promisorias en un estudio anterior que se realizó en Silvia y Totoró, dos municipios del oriente del departamento del Cauca (Pizo-Ossa et al., 2024).

Los materiales genéticos de quinua se evaluaron en dos municipios del sur del Cauca, Bolívar y La Vega, utilizando como testigos comerciales los cultivares Tunkahuan y Blanca de Jericó. Dentro de las variables evaluadas se incluyeron componentes de rendimiento, como peso promedio de granos por panoja y peso de mil granos, además de parámetros de crecimiento como altura y duración del ciclo fenológico.



# Materiales y métodos

## Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en la subregión sur del departamento del Cauca, en la vereda La Zanja del municipio de Bolívar y en la vereda Pancitará del municipio de La Vega (tabla 1.1).

**Tabla 1.1.** Características de dos localidades de la subregión sur del departamento del Cauca donde se evaluaron seis genotipos de quinua dulce y dos cultivares comerciales

| Características de cada localidad    | Vereda La Zanja, municipio de Bolívar | Vereda Pancitará, municipio de La Vega |
|--------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------|
| Altitud (m s. n. m)                  | 2.350                                 | 2.730                                  |
| Temperatura promedio (°C)            | 17,2                                  | 14,3                                   |
| Textura suelo                        | Franco-arcilloso                      | Franco-arenoso                         |
| pH                                   | 5,4                                   | 5,6                                    |
| Conductividad eléctrica (dS/m)       | 0,37                                  | 0,46                                   |
| Materia orgánica (g/100 g)           | 5,17                                  | 10,50                                  |
| Fósforo disponible (mg/kg)           | 34,16                                 | 54,17                                  |
| Potasio (K) disponible (cmol (+)/kg) | 1,03                                  | 0,71                                   |

Fuente: Elaboración propia

## Material vegetal

Los genotipos de quinua dulce fueron evaluados en los municipios de Bolívar y La Vega, en predios de productores, en 2023. Estos materiales genéticos provenían de una preselección realizada en el oriente caucano, en los municipios de Silvia y Totoró, en 2022 (Pizo-Ossa et al., 2024). Un grupo de seis materiales genéticos promisorios (QC2, QC5, QC7, QC8, QC12 y QC14) se evaluaron en las dos localidades del sur del departamento del Cauca, utilizando los cultivares Blanca de Jericó y Tunkahuan como testigos comerciales. La parcela experimental se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Cada unidad experimental estuvo conformada por ocho surcos de 5 m de largo separados a 0,7 m, para un área de 24,5m<sup>2</sup>. El área útil estuvo representada por los cuatro surcos centrales, descartando 0,5 m de borde en cada extremo; esto resultó en un área útil de 8,4 m<sup>2</sup>. La distancia entre unidades experimentales fue de 1 m.

Las parcelas experimentales contaron con riego y un plan de fertilización de acuerdo con el análisis químico del suelo. En Bolívar se fertilizó con 150 kg de urea/ha y 75 kg de DAP/ha. La fertilización fue dividida en dos aplicaciones: la primera se hizo una semana después de la siembra y la segunda, durante la floración. En La Vega, también se aplicó urea dividida en dos dosis. En las dos localidades se hizo una aplicación de magnesio (Mg).

Foto: Diana Milena Rodríguez-Mora

## Variables evaluadas

A continuación, se relacionan las variables evaluadas:

- Altura de la planta: fue tomada desde la base del tallo hasta el extremo terminal de la panoja del tallo principal, y fue evaluada en el momento de la cosecha. En cada unidad experimental se midió al azar la altura de 25 plantas de los surcos centrales, para un total de 100 plantas por material genético, considerando las cuatro repeticiones del experimento.
- Rendimiento: se evaluaron los siguientes componentes de rendimiento:
  - Peso promedio de granos por panoja: por cada material genético se tomaron al azar 25 panojas de cada unidad experimental, es decir, 100 panojas por genotipo. Cada panoja se desgranó a mano por separado y los granos de cada una se pesaron en una balanza digital.
  - Peso promedio de mil granos: se pesaron mil granos de una muestra tomada de toda la semilla producida en cada unidad experimental. Esta variable consiste en promediar cuatro muestras de mil granos, una por repetición, para cada genotipo.
  - Rendimiento en t/ha: se calculó a partir de la producción de los surcos centrales de cada unidad experimental, descartando los primeros 50 cm de cada surco para evitar efecto de borde. El rendimiento se calculó teniendo en cuenta el área de la unidad de muestreo y proyectando la producción a una hectárea.
- Días hasta alcanzar la madurez fisiológica: se midió el número de días transcurridos desde la siembra hasta que más del 50 % de las plantas tuvieran semillas que ofrecieran resistencia a la presión manual y la planta hubiera comenzado a secarse.

## Análisis estadístico

El efecto del genotipo y del ambiente sobre los parámetros de crecimiento de la planta y los componentes de rendimiento se evaluó mediante un análisis de varianza (Anova) para cada variable. Posteriormente, se realizaron pruebas de separación de medias usando la prueba HSD de Tukey para diferenciar grupos de genotipos. La estadística descriptiva de las variables incluidas en el estudio se representó mediante diagramas de barras utilizando el paquete gráfico ggplot2 del *software* R. La significancia estadística que se usó fue de  $p < 0,05$  y un intervalo de confianza del 95%. Con el objetivo de conocer la relación entre las variables, tanto de crecimiento como de rendimiento, estudiadas para todos los genotipos bajo condiciones del sur del Cauca, se utilizó la correlación de Spearman. Para la matriz de correlación se empleó el paquete gráfico Hmisc del *software* R. Se utilizó un análisis de componentes principales (ACP) para clasificar los genotipos según su nivel de similitud en las variables de respuesta. Los principales componentes fueron diseñados en un plano de dos dimensiones usando el paquete gráfico FactoMineR del *software* R. Los análisis estadísticos se hicieron con el paquete estadístico R 4.3.3.

## Resultados y discusión

El objetivo de este estudio fue identificar genotipos de quinua con características agronómicas de interés y de importancia económica adaptados al sur del departamento del Cauca. Seis materiales genéticos (QC8, QC2, QC5, QC7, QC14 y QC12) y dos testigos comerciales (Tunkahuan y Blanca de Jericó) fueron evaluados en los municipios del sur del Cauca, Bolívar y La Vega. Los resultados mostraron un efecto del genotipo y de la localidad o ambiente sobre las variables evaluadas (tabla 1.2.).



**Tabla 1.2.** Análisis de varianza para variables de crecimiento y componentes de rendimiento de seis materiales genéticos de quinua dulce y dos testigos comerciales en Bolívar y La Vega

| Madurez fisiológica |    |       |      |         |          |               |
|---------------------|----|-------|------|---------|----------|---------------|
|                     | GL | SC    | CM   | Valor F | Valor p  | Significancia |
| Genotipo            | 7  | 26095 | 3728 | 148,91  | <2e-16   | ***           |
| Municipio           | 1  | 3108  | 3108 | 124,16  | 2,17E-15 | ***           |
| Bloque              | 3  | 17    | 6    | 0,23    | 0,876    | ns            |
| Residuales          | 52 | 1302  | 25   |         |          |               |

| Altura de planta |    |       |      |         |          |               |
|------------------|----|-------|------|---------|----------|---------------|
|                  | GL | SC    | CM   | Valor F | Valor p  | Significancia |
| Genotipo         | 7  | 34828 | 4975 | 41,13   | <2E-16   | ***           |
| Municipio        | 1  | 1710  | 1710 | 14,14   | 0,000432 | ***           |
| Bloque           | 3  | 1251  | 417  | 3,45    | 0,023137 | *             |
| Residuales       | 52 | 6.290 | 121  |         |          |               |

| Peso promedio de granos por panoja |    |        |        |         |         |               |
|------------------------------------|----|--------|--------|---------|---------|---------------|
|                                    | GL | SC     | CM     | Valor F | Valor p | Significancia |
| Genotipo                           | 7  | 71,6   | 10,2   | 1,35    | 0,247   | ns            |
| Municipio                          | 1  | 1365,9 | 1365,9 | 180,18  | <2E-16  | ***           |
| Bloque                             | 3  | 6,9    | 2,3    | 0,303   | 0,823   | ns            |
| Residuales                         | 52 | 394,2  | 7,6    |         |         |               |

| Peso promedio de mil granos |    |      |      |         |          |               |
|-----------------------------|----|------|------|---------|----------|---------------|
|                             | GL | SC   | CM   | Valor F | Valor p  | Significancia |
| <b>Genotipo</b>             | 7  | 4,69 | 0,67 | 6,064   | 3,37E-05 | ***           |
| <b>Municipio</b>            | 1  | 2,91 | 2,91 | 26,314  | 4,37E-06 | ***           |
| <b>Bloque</b>               | 3  | 0,22 | 0,07 | 0,668   | 0,576    | ns            |
| <b>Residuales</b>           | 52 | 5,75 | 0,11 |         |          |               |

| Rendimiento       |    |          |          |         |          |               |
|-------------------|----|----------|----------|---------|----------|---------------|
|                   | GL | SC       | CM       | Valor F | Valor p  | Significancia |
| <b>Genotipo</b>   | 7  | 6647646  | 949664   | 1,16    | 0,342    | ns            |
| <b>Municipio</b>  | 1  | 15770737 | 15770737 | 19,259  | 5,60E-05 | ***           |
| <b>Bloque</b>     | 3  | 600828   | 200276   | 0,245   | 0,865    | ns            |
| <b>Residuales</b> | 52 | 42580601 | 818858   |         |          |               |

GL: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: cuadrados medios; no significativo (ns). Significancia estadística: \*\*\*:  $p < 0,001$ , \*\*:  $p < 0,01$ , \*:  $p < 0,05$ , ns:  $p > 0,05$ .

Fuente: Elaboración propia

## Días a madurez fisiológica

Los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,001$ ) en la duración del ciclo productivo, desde la siembra hasta alcanzar la madurez fisiológica de los genotipos evaluados en las dos localidades (tabla 1.2). Las diferencias observadas evidenciaron un efecto del genotipo y de la localidad o ambiente. En este estudio, el ciclo productivo osciló entre 100 y 181,5 días después de siembra (dds) hasta madurez fisiológica. En Bolívar, el cultivar comercial Blanca de Jericó fue el más tardío, pues requirió 170 dds para alcanzar el punto de madurez fisiológica (figura 1.1a); por su parte, QC12, QC14, QC5 y QC7 tardaron entre 100 y 105,2 dds (figura 1.1a), por lo cual se consideran materiales de ciclo corto (Jacobsen, 2003). Blanca de Jericó también necesitó un mayor número de días para alcanzar la madurez fisiológica en La Vega (181,5 dds), mientras que el resto de los materiales genéticos requirieron entre 120 y 136 dds (figura 1.1a).

Con los resultados se pudo observar un crecimiento más lento de los genotipos en La Vega. Los genotipos QC12, QC14 y QC7 estuvieron entre los más precoces en ambas localidades; sin embargo, estos materiales presentaron un crecimiento más lento en La Vega. Diferencias en el tiempo desde la siembra hasta la madurez fisiológica de genotipos de quinua han sido también observados en otros estudios (Tan & Temel, 2018). Esas diferencias pueden ser explicadas a partir de parámetros ambientales como temperatura, humedad relativa y precipitación, además de características del suelo y la altitud (Oustani et al., 2023; Shams, 2018). La Vega es un municipio con mayor altitud y temperatura más baja comparado con Bolívar, lo que podría explicar el crecimiento más lento del material genético en esa localidad. Otros factores que también influyen en el crecimiento son el



genotipo, la adaptabilidad y la plasticidad fenotípica (Manjarrés-Hernández et al., 2021).

El fotoperiodo es otro factor determinante en el crecimiento de la quinua y su efecto parece estar vinculado al origen del material genético y a la latitud (Casini & Proietti, 2002; Jacobsen, 2003). Algunos genotipos de Bolivia y Perú han sido seleccionados por ser menos sensibles al fotoperiodo y tener un ciclo vegetativo corto (Jacobsen, 2003). En esta línea de análisis, es importante resaltar que las regiones donde se realizó el estudio no experimentaron cambios de fotoperiodo en el tiempo de evaluación; sin embargo, los materiales provienen de parentales de diferente origen.

Una gran variación en la duración del ciclo productivo de genotipos de quinua ha sido reportada en diferentes estudios (Bhargava et al., 2007; Manjarrés-Hernández et al., 2021). Shams (2018) evaluó nueve genotipos de quinua, y clasificó de ciclo corto a aquellos con un tiempo desde la siembra hasta la madurez fisiológica de 115 a 120 días. Según Jacobsen (2003), una variedad de quinua ideal debe tener un ciclo productivo de menos de 150 dds, y además sugiere que los materiales precoces pueden evitar periodos de sequía y escarcha al final del ciclo productivo en la región de los Andes. En línea con Jacobsen (2003), Bonifacio (2019) resalta que las variedades de quinua con largos ciclos de crecimiento son más susceptibles a los efectos del cambio climático. Genotipos de quinua de ciclo corto son seleccionados en programas de mejoramiento genético debido a que se considera un atributo de importancia económica para los productores (Manjarrés-Hernández et al., 2021).

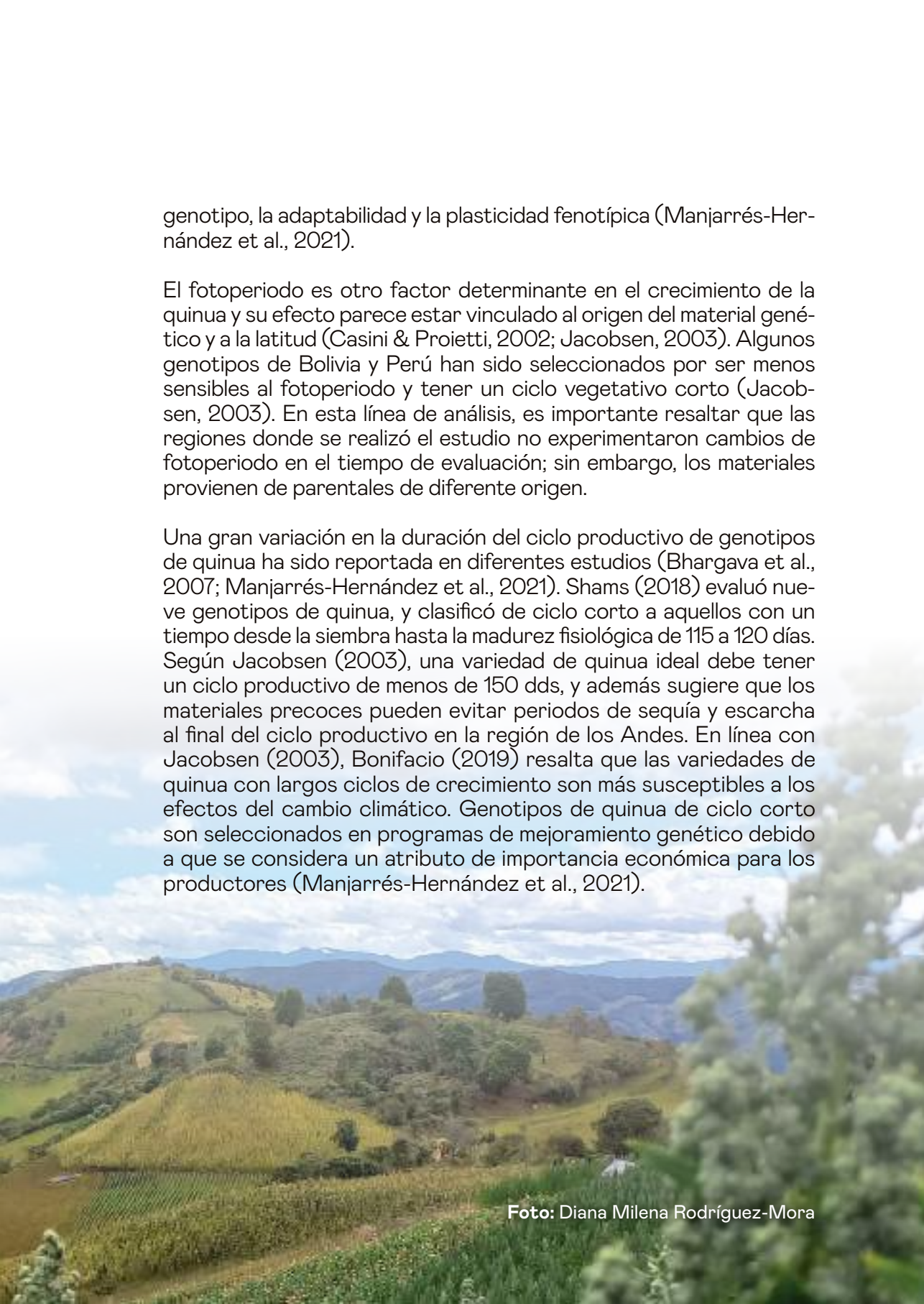


**Foto:** Diana Milena Rodríguez-Mora





## Altura de la planta

En cuanto a la altura de los materiales genéticos evaluados, se observaron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,001$ ). El efecto del genotipo y de la localidad o ambiente sobre esta variable fue significativo (tabla 1.2). La altura de los genotipos en evaluación, medida desde la base del tallo hasta el extremo terminal de la panoja del tallo principal, osciló entre 82,3 cm (QC14) y 171,1 cm (Blanca de Jericó) en la localidad de Bolívar, mientras que en La Vega oscilaron entre 76,6 cm (QC2) y 143,05 cm (Blanca de Jericó); esto sugiere un menor crecimiento de las plantas en La Vega (figura 1.1b).

Estos resultados se relacionan con el estudio de Maliro et al. (2017), quienes encontraron que el genotipo y el ambiente tienen un efecto sobre la altura de la planta de quinua. Maliro et al. (2017) reportaron alturas promedio de 47 cm para los materiales genéticos evaluados en Malawi, sureste de África, alturas muy inferiores a las que se observaron en esta investigación. Los autores concluyeron que la altura baja de los genotipos de quinua se debía a condiciones de temperatura baja. Las diferencias en la altura de la planta observadas en Bolívar y La Vega no fueron estadísticamente significativas para todos los genotipos. Se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en la altura del testigo comercial Blanca de Jericó con los otros genotipos y entre localidades (figura 1.1b).

También han sido reportadas en otros estudios algunas diferencias en la altura de genotipos de quinua (Oustani et al., 2023). Tan y Temel (2018) observaron una correlación positiva entre la altura de la planta y el tiempo para alcanzar la madurez fisiológica. En su estudio, la mayoría de las variedades de porte bajo fueron precoces, mientras





**Foto:** Diana Milena Rodríguez-Mora

que las variedades de ciclo productivo más largo mostraron una mayor altura. Los resultados del presente estudio concuerdan con lo observado por Tan y Temel (2018). Blanca de Jericó fue el cultivar que requirió un mayor número de días para alcanzar la madurez fisiológica y, además, presentó la mayor altura, comparada con los otros genotipos evaluados en Bolívar y La Vega.

Una asociación positiva significativa entre altura de la planta y días a madurez fisiológica ha sido también reportada en otros estudios (Bhargava et al., 2007; Casini & Proietti, 2002), en los cuales se resalta que plantas de menor altura fueron las más precoces.

En esta investigación también se observó que las plantas de porte bajo eran menos susceptibles al volcamiento debido a vientos fuertes, comparadas con plantas de porte alto como Blanca de Jericó.

## Peso promedio de granos por panoja

Los resultados mostraron un efecto estadísticamente significativo ( $p < 0,001$ ) del ambiente en el peso promedio de granos por panoja (tabla 1.2). Es importante resaltar que los genotipos cultivados en el municipio de Bolívar presentaron un mayor peso promedio de granos por panoja, comparado con los cultivados en La Vega. En Bolívar, el cultivar comercial Blanca de Jericó y QC7 presentaron los mayores promedios, 19,6 y 19,0 g, respectivamente, mientras que QC14 presentó el menor promedio para esta variable (15,4 g) (figura 1.1c). En La Vega, Blanca de Jericó registró un peso promedio de granos por panoja de 10,7 g, mientras que QC2 registró 6,2 g.

## Peso promedio de mil granos

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,001$ ) en el peso promedio de mil granos, con un efecto significativo tanto del genotipo, como del ambiente (tabla 1.2). El peso promedio de mil granos en Bolívar osciló entre 2,43 g para Blanca de Jericó y 3,68 g para QC8, mientras que en La Vega estuvo entre 2,92 g para Tunkahuan y 3,95 g para QC8; esto indica que en ambas localidades QC8 presentó el mayor valor para esta variable (figura 1.1d). Estos rangos son superiores a los observados en otros estudios (Manjarrés-Hernández et al., 2021). Por ejemplo, Oustani et al. (2023) reportaron un peso promedio de mil granos entre 1,61 y 2,68 g, mientras que Tan y Temel (2018) encontraron valores entre 1,98 y 2,87 g. Estas diferencias podrían explicarse por un efecto del genotipo, así como del ambiente. De hecho, Tan y Temel (2018) observaron un efecto significativo del genotipo, el ambiente y la interacción genotipo  $\times$  ambiente sobre esta variable. Otras investigaciones han reportado valores máximos de esta variable cercanos a los que se observaron en este estudio, como es el caso de los registrados por Bhargava et al. (2007) quienes obtuvieron valores para esta variable que oscilaron entre 0,78 y 4,09 g; este último es muy cercano al que se encontró para QC8 en La Vega.



Foto: Diana Milena Rodríguez-Mora

## Rendimiento

Aunque no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento entre genotipos en ninguna de las dos localidades, cabe resaltar que en Bolívar se obtuvieron rendimientos más altos comparados con los observados en La Vega. En Bolívar, QC8 presentó el menor rendimiento (4,19 t/ha), mientras que QC7 presentó el mayor rendimiento (5,58 t/ha), seguido de Tunkahuan (5,32 t/ha), Blanca de Jericó (5,20 t/ha) y QC5 (5,13 t/ha). Este último material (QC5) mostró el mejor rendimiento en La Vega (4,77 t/ha), seguido de Blanca de Jericó (4,47 t/ha) y QC8 (4,38 t/ha) (figura 1.1e). Los menores rendimientos en La Vega los tuvieron QC2 y Tunkahuan (3,38 t/ha cada genotipo). Mientras que Tunkahuan fue el segundo genotipo con mayor rendimiento en Bolívar, en La Vega se ubicó en el último puesto de la tabla de rendimiento. Las diferencias en productividad pueden estar marcadas por determinantes genéticos y su respuesta a condiciones de suelo y ambiente (Bhargava et al., 2007; El-Sadek, 2017; Oustani et al., 2023; Tan & Temel, 2018). Estos resultados sugieren un mayor rango de adaptación de QC5, mientras que genotipos como QC8 y Tunkahuan podrían tener una adaptación más específica a ciertas condiciones edafoclimáticas. Las diferencias en el comportamiento de los genotipos pueden deberse a una mejor adaptación a condiciones específicas de una región, o como resultado de efectos de factores abióticos durante el tiempo de cultivo, como periodos prolongados de sequía o precipitación (Curti et al. 2014; Pulvento et al., 2010).

Tan y Temel (2018) observaron un incremento de casi cuatro veces en el rendimiento del mismo genotipo en dos localidades diferentes, lo cual indica que la interacción genotipo × ambiente tuvo un efecto significativo sobre el rendimiento. Al respecto, es necesario realizar estudios de interacción genotipo × ambiente en varias localidades para confirmar el rango de adaptación de los materiales genéticos.



El menor rendimiento en La Vega también podría atribuirse a una temperatura más baja, como se sugirió para variables de crecimiento como días para alcanzar madurez fisiológica y altura de la planta. El efecto de bajas temperaturas sobre el crecimiento y la productividad de la quinua ha sido reportado en otros estudios (Maliro et al., 2017; Peterson & Murphy, 2015). Las bajas temperaturas durante floración también pueden reducir la productividad (El-Sadek, 2017).

Aunque el rendimiento obtenido en Bolívar y La Vega se considera alto para el promedio nacional (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR], 2018), altos rendimientos se han reportado también en otros estudios. Tan y Temel (2018) obtuvieron un rendimiento de hasta 4,0 t/ha, mientras que Bhargava et al. (2007) consiguieron rendimientos desde 0,32 t/ha hasta 9,83 t/ha. Por su parte, Manjarrés-Hernández et al. (2021) observaron un rendimiento entre 1,5 y 8 t/ha cuando evaluaron 30 genotipos de quinua en el departamento de Boyacá, Colombia. Según estos autores, bajo condiciones óptimas de suelo, humedad y temperatura el potencial de rendimiento de la quinua puede alcanzar 11 t/ha.

**Foto:** Edier Santiago Imbachi-Benavides



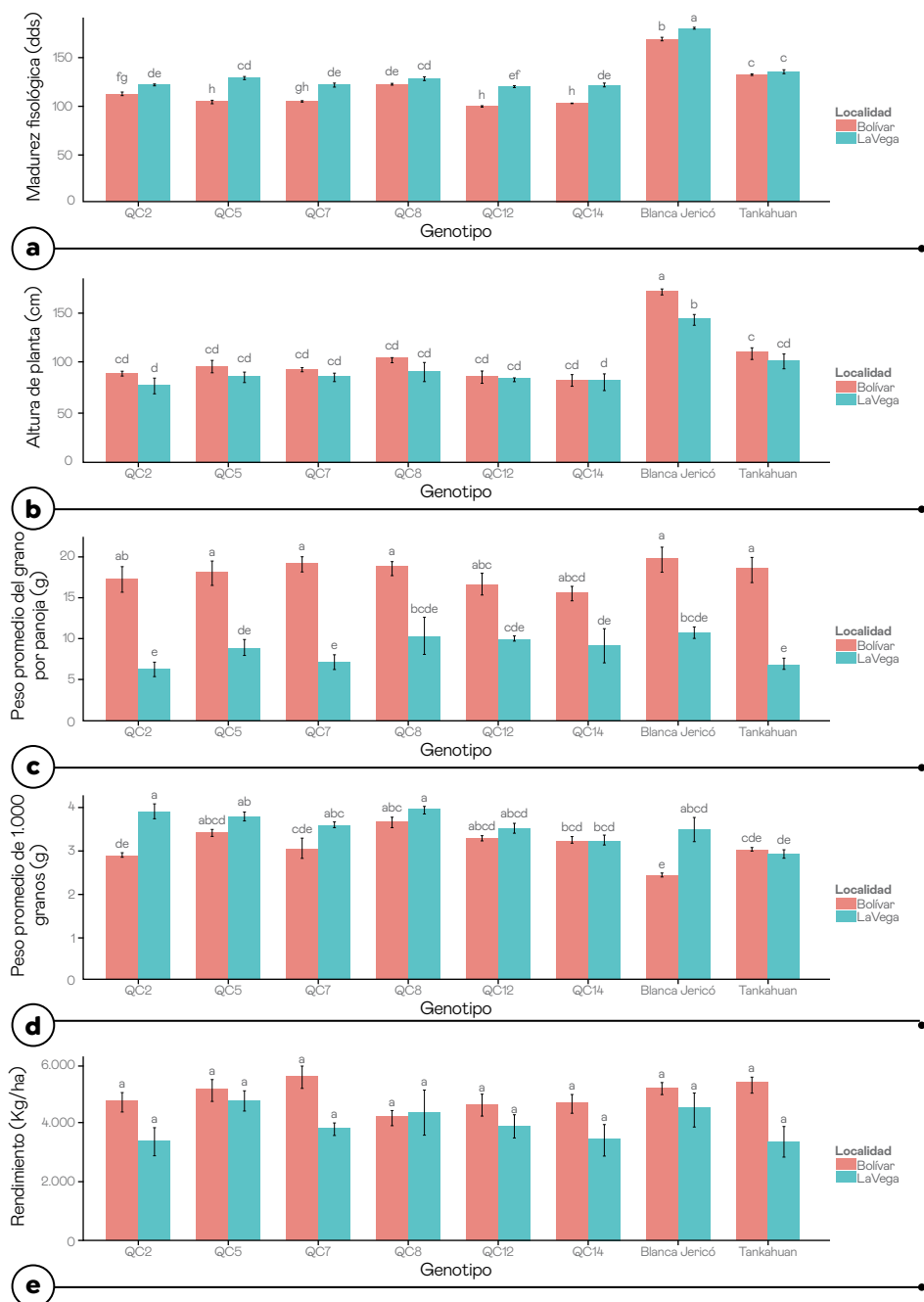


**Figura 1.1.** Parámetros de crecimiento y componentes de rendimiento de seis materiales genéticos experimentales de quinua dulce y dos cultivares comerciales en Bolívar y La Vega, sur del departamento del Cauca. Letras iguales indican que no hay diferencias significativas ( $p>0,05$ ) según prueba de Tukey.

Fuente: Elaboración propia



## Relación entre las variables estudiadas

Los resultados mostraron una correlación positiva significativa entre rendimiento y peso promedio de granos por panoja ( $r = 0,60$ ;  $p < 0,001$ ), y entre rendimiento y altura de la planta ( $r = 0,43$ ;  $p < 0,001$ ) (figura 1.2). La altura de la planta presentó también una correlación positiva significativa con días para alcanzar madurez fisiológica ( $r = 0,51$ ;  $p < 0,001$ ) y con peso promedio de granos por panoja ( $r = 0,46$ ;  $p < 0,001$ ) (figura 1.2). Cabe resaltar que se observó una correlación negativa significativa entre el peso promedio de mil granos y el peso promedio de granos por panoja ( $r = -0,36$ ;  $p < 0,05$ ) (figura 1.2).





**Figura 1.2.** Matriz de correlación entre rendimiento, altura, días para alcanzar madurez fisiológica, peso promedio de granos por panoja y peso de mil granos de seis materiales genéticos experimentales de quinua dulce y dos cultivares comerciales en el sur del departamento del Cauca. Las correlaciones positivas están representadas por tonalidades azules.

Fuente: Elaboración propia

En este estudio se observó que Blanca de Jericó fue el genotipo de mayor altura y tardó el mayor número de días para alcanzar la madurez fisiológica. Los otros genotipos presentaron menor altura y completaron su ciclo productivo en menos tiempo, lo que responde bien a la relación positiva encontrada entre estas dos variables. Una fuerte correlación entre la altura de la planta y los días para alcanzar la madurez fisiológica ha sido observada en otros estudios (Maliro et al. 2017; Oustani et al., 2023).

En cuanto a la relación de la altura de la planta con el peso promedio de granos por panoja, el testigo comercial Blanca de Jericó presentó los mayores valores para estas dos variables, tanto en Bolívar como en La Vega. Sin embargo, es importante resaltar que no se observaron diferencias estadísticamente significativas en el peso promedio de granos por panoja entre genotipos evaluados en una misma localidad. Las diferencias que se encontraron en esta variable se presentaron entre localidades, lo cual confirma un efecto del ambiente. Maliro et al. (2017) también observaron una fuerte correlación positiva entre rendimiento y altura de la planta.

En este estudio, no se observó una correlación positiva entre rendimiento y días para alcanzar la madurez fisiológica. Aunque se observaron diferencias en el rendimiento entre genotipos, estas no fueron significativas, mientras que las diferencias en la duración del ciclo productivo de los genotipos evaluados sí fueron evidentes. En la variable días para alcanzar la madurez fisiológica se encontró un efecto del genotipo y del ambiente o localidad. Estos resultados concuerdan con los observados por Bhargava et al. (2007), quienes tampoco encontraron una asociación positiva significativa entre días para alcanzar la madurez fisiológica y rendimiento. En contraste, Maliro et al. (2017) indicaron que las variedades que alcanzaban más rápido la madurez fisiológica generalmente eran las más productivas. Vale la pena destacar que, en este estudio, los genotipos más precoces se destacaron por un buen rendimiento.

Spehar y De Barros Santos (2005) encontraron resultados diferentes: los genotipos que tomaban más días para llegar a madurez eran más altos que los precoces y además presentaban mejor rendimiento. En el presente estudio, no se observaron diferencias significativas en rendimiento entre los genotipos más precoces y los

de ciclo productivo más largo. Spehar y De Barros Santos (2005) concluyeron que en quinua la ganancia genética puede lograrse a partir de selecciones por altura de la planta, la longitud y el diámetro de la inflorescencia y duración del ciclo productivo, atributos que encontraron con una correlación positiva con el rendimiento. En el sur del departamento del Cauca, se observó una correlación negativa entre rendimiento y peso promedio de mil granos; sin embargo, esta correlación no fue significativa. Estos resultados difieren de los que reportaron Bhargava et al. (2007) y Manjarrés-Hernández et al. (2021), quienes hallaron una correlación positiva significativa entre estas dos variables. Es importante decir que en el estudio de Manjarrés-Hernández et al. (2021) se evaluaron únicamente nueve plantas por genotipo. Curti et al. (2014) encontraron una asociación negativa entre rendimiento y peso de grano en varias localidades. Asimismo, observaron que el ambiente podía tener un efecto diferente sobre los genotipos de quinua; por ejemplo, los genotipos evaluados en montaña no mostraron una asociación entre rendimiento y días a floración, mientras que los mismos genotipos evaluados en el valle presentaron una asociación positiva entre rendimiento y días a floración.

Los genotipos de quinua pueden responder de forma diferente en función de las características edafoclimáticas de la localidad donde se establezcan (Curti et al., 2014; Tan & Temel, 2018). La selección por adaptación específica a una localidad es una de las estrategias del mejoramiento genético para aumentar la ganancia genética; sin embargo, no se debe descartar la identificación de genotipos con rango amplio de adaptación (Curti et al., 2014).

## Agrupamiento de genotipos según crecimiento y rendimiento

Con el objetivo de conocer la agrupación de los genotipos en función de las variables estudiadas, se realizó un análisis de componentes principales (ACP) a partir de las medias ajustadas de cada variable.

Según los resultados, en Bolívar, la dimensión 1 (CP1) y la dimensión 2 (CP2) explicaron en conjunto el 82,8 % de la variabilidad total de las variables de crecimiento y rendimiento. El CP1 explicó el 63,8 % y el CP2, el 19 % (figura 1.3a). La altura de la planta y los días para alcanzar la madurez fisiológica fueron las variables que más contribuyeron al CP1, mientras que el rendimiento explicó el CP2. Los materiales genéticos fueron distribuidos en cuatro clústeres: el número 1 reunió los genotipos QC2, QC12 y QC14, para los cuales ninguna de las variables superó la media general; el número 2 abarcó únicamente al QC8; en el número 3 fueron clasificados el QC5, QC7 y Tunkahuan, agrupados por rendimiento y peso promedio de granos por panoja, y el número 4 estuvo conformado exclusivamente por Blanca de Jericó, explicado por altura y días a madurez fisiológica, que superaron los valores de la media general (figura 1.3b).



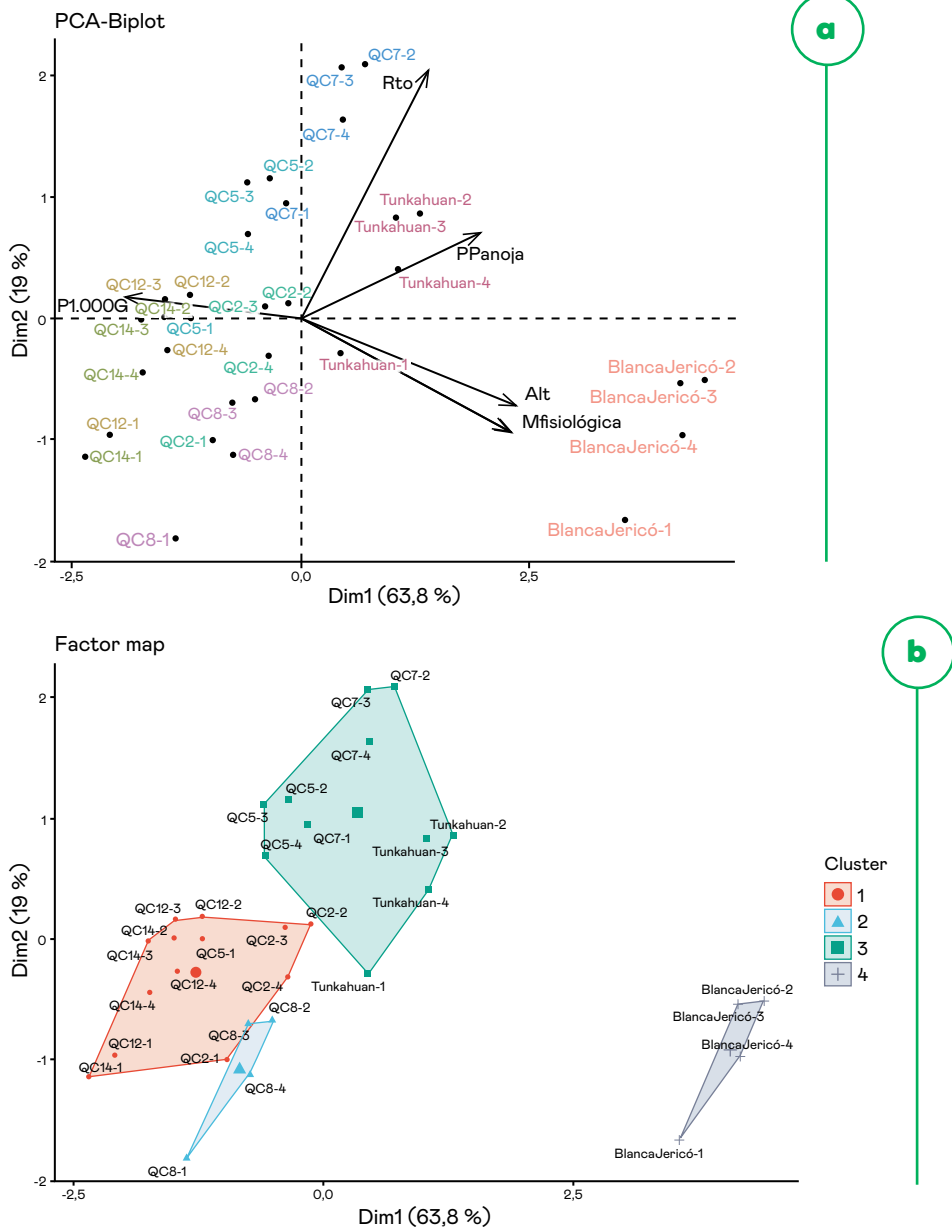


**Figura 1.3.** Análisis de componentes principales, Bolívar. a. Biplot de los dos primeros componentes principales para las variables altura de la planta, rendimiento, días a madurez fisiológica, peso promedio de mil granos y peso promedio de granos por panoja de seis materiales genéticos promisorios de quinua dulce y dos cultivos comerciales; b. Agrupamiento de genotipos por variables. Fuente: Elaboración propia

Los genotipos agrupados en el clúster número 3 (QC5 y QC7) representan material genético promisorio para continuar con el siguiente ciclo de selección o para usarse como parentales, considerando su rendimiento y peso promedio de granos por panoja; además, porque son genotipos de porte bajo, lo que facilita el manejo agronómico, y presentan una menor tendencia al volcamiento. También tienen un ciclo productivo corto, lo cual le brinda al productor la oportunidad de contar con un ciclo de siembra adicional en el año. Panojas individuales de cada surco, de cada unidad experimental de estos genotipos, fueron aisladas con bolsas de tul, con el objetivo de coleccionar semilla autofecundada para un siguiente ciclo de evaluación y selección, adoptando un tipo de estrategia de selección individual conocida como “selección panoja-surco” (Gandarillas, 1979).

En La Vega, la dimensión 1 (CP1) y la dimensión 2 (CP2) explicaron en conjunto el 82,6 % de la variabilidad total de las variables de crecimiento y rendimiento. El CP1 explicó el 53,4 % y el CP2, el 29,2 % (figura 1.4a). La altura de la planta, los días para alcanzar la madurez fisiológica y el peso promedio de granos por panoja fueron las variables que más contribuyeron al CP1, mientras que el rendimiento y el peso promedio de mil granos explicaron el CP2. En esta localidad, los materiales genéticos también fueron distribuidos en cuatro clústeres: el número 4 estuvo conformado exclusivamente por Blanca de Jericó y fue agrupado por altura, días a madurez fisiológica y peso promedio de granos por panoja, que superaron los valores de la media general; en el número 2 fueron clasificados QC14 y Tunkahuan, en los cuales ninguna de las variables superó la media general; el número 3 estuvo conformado por QC5 y QC8, agrupados por rendimiento, peso promedio de granos por panoja y peso de mil granos, y el número 4 abarcó QC7 y QC2, por peso promedio de mil granos, que superó la media general. Por otra parte, QC12 fue clasificado en tres clústeres, dos de las repeticiones fueron agrupadas en el clúster número 3, explicado por componentes de rendimiento (figura 1.4b).

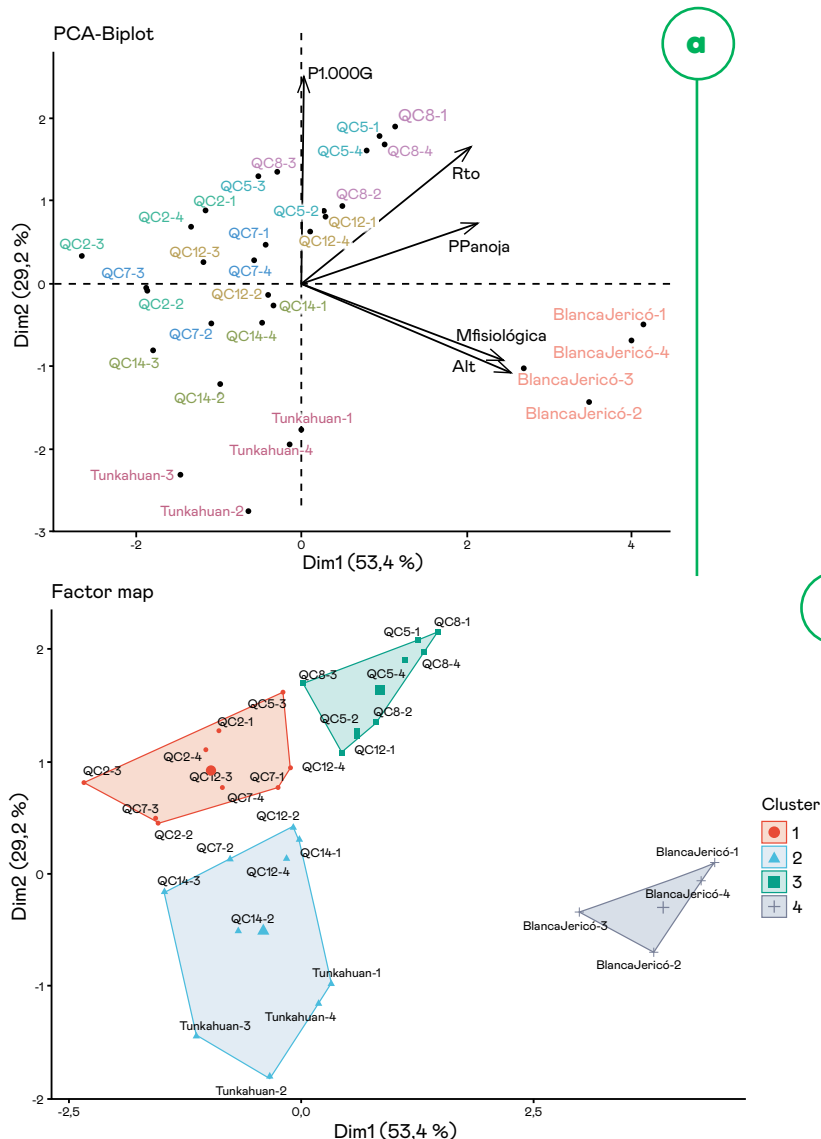


**Figura 1.4.** Análisis de componentes principales, La Vega. a. Biplot de los dos primeros componentes principales para las variables altura de la planta, rendimiento, días para alcanzar la madurez fisiológica, peso promedio de mil granos y peso promedio de granos por panoja de seis materiales genéticos promisorios de quinua dulce y dos cultivos comerciales; b. Agrupamiento de genotipos por variables.

Fuente: Elaboración propia

Es importante resaltar que, aunque Tunkahuan sobresalió en Bolívar, no tuvo un buen comportamiento en La Vega, lo cual confirma, una vez más, el efecto del ambiente sobre el comportamiento agronómico de los genotipos (El-Sadek, 2017).

Los genotipos agrupados en el clúster o grupo número 3 (QC5, QC8 y QC12) representan material genético promisorio para continuar con el siguiente ciclo de selección o para ser utilizados como parentales, considerando su rendimiento y peso promedio de granos por panoja; además, porque son genotipos de porte bajo y presentan un ciclo productivo corto. Panojas individuales de cada surco, de cada unidad experimental de estos genotipos, fueron aisladas con bolsas de tul, con el objetivo de coleccionar semilla autofecundada para un siguiente ciclo de evaluación y selección en La Vega, adoptando un tipo de estrategia de selección individual conocida como “selección panoja -surco” (Gandarillas, 1979).

Es importante mencionar que QC5 sobresalió en ambas localidades, lo cual sugiere un rango de adaptación más amplio y mejor plasticidad fenotípica, como se indicó anteriormente.

Todas las variables reciben pesos positivos en el CP1 en las dos localidades, excepto el peso promedio de mil granos en Bolívar. En el CP2, el rendimiento presentó el peso positivo más alto, mientras que la altura y los días para alcanzar la madurez fisiológica mostraron pesos negativos. Estas últimas variables son las que más diferencian a las variedades.

Según Jacobsen et al. (1996), aunque la interacción genotipo × ambiente tiene un fuerte efecto sobre el rendimiento, otros atributos de interés agronómico como altura y precocidad tienen un fuerte determinante genético. Esto explicaría que Blanca de Jericó haya sido clasificada en un grupo aparte por altura y días a madurez fisiológica en Bolívar y en La Vega.

Algunos de los atributos agronómicos más importantes de la quinua son el rendimiento, el bajo contenido de saponina, el porte bajo para facilitar el manejo agronómico, el ciclo productivo menor de 150 dds y la uniformidad en el desarrollo fenológico (Jacobsen, 2003). Teniendo en cuenta estos criterios, los genotipos QC5 y QC7 en Bolívar y QC5, QC8 y QC12 en la Vega representan material genético promisorio para obtener variedades de adaptación a cada región (figura 1.5). Las diferencias en los genotipos de quinua pueden aprovecharse en programas de mejoramiento genético (Al-Naggar et al., 2017).



**Figura 1.5.** Materiales genéticos de quinua dulce promisorios en el sur del departamento del Cauca. a. QC5; b. QC7.

Fotos: Edier Santiago Imbachi-Benavides

## Conclusiones

En el presente estudio se identificaron materiales genéticos precoces y productivos que respondieron bien a las condiciones edafoclimáticas de cada localidad. Se pudo demostrar que el cultivar testigo, Blanca de Jericó, es un buen material de siembra; sin embargo, la elección del material genético que se va a utilizar dependerá del objetivo que se tenga. El uso de materiales genéticos precoces permite el establecimiento de al menos dos ciclos de cultivo al año, una condición que no es factible con el cultivar comercial Blanca de Jericó. Además, el porte bajo de los materiales promisorios facilita las labores de manejo agronómico y reduce las pérdidas por volcamiento que se presentan en algunas regiones con Blanca de Jericó. No se observaron diferencias significativas en el rendimiento de los genotipos seleccionados; no obstante, sí se encontraron diferencias a nivel de altura de la planta y precocidad. De los materiales evaluados sobresalieron los genotipos QC5 y QC7 en Bolívar, y QC5, QC8 y QC12 en la Vega. Estos materiales son excelentes para ser utilizados como parentales en un programa de mejoramiento genético de quinua, o para continuar con ciclos de autofecundación, por lo menos hasta la F6, como lo han sugerido algunos estudios (Jacobsen et al., 1996).



# Referencias

- Al-Naggar, A. M. M., El-Salam, R. A., Badran, A. E. E., & El-Moghazi, M. M. (2017). Genotype and drought effects on morphological, physiological and yield traits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Asian Journal of Advances in Agricultural Research*, 3(1), 1-15. <https://doi.org/10.9734/AJAAR/2017/36655>
- Alviar Ferro, C. A. (2023) *Evaluación de productividad de la quinua *Chenopodium quinoa* Willd. en sistemas agrobiodiversos en tres municipios de Cundinamarca Colombia* [Tesis de doctorado, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/84797>
- Apaza, V., Cáceres, G., Estrada, R., & Pinedo, R. (2013). *Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú*. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA); Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).
- Bhargava, A., Shukla, S., & Ohri, D. (2007). Genetic variability and interrelationship among various morphological and quality traits in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Field Crops Research*, 101(1), 104-116. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.10.001>
- Bonifacio, A. (2019). Improvement of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and Qañawa (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) in the context of climate change in the high Andes. *International Journal of Agriculture and Natural Resources*, 46(2), 113-124. <https://dx.doi.org/10.7764/rcia.v46i2.2146>
- Bonifacio, A., Gómez-Pando, L., & Rojas, W. (2014). Mejoramiento genético de quinua y el desarrollo de variedades modernas. En Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], & Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agrícola para el Desarrollo (CIRAD). (Eds.), *Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013* (pp. 203-226).
- Bonifacio, A., Vargas, A., & Aroni, G. (2014). Generación de variedades en un contexto de mercado y cambio climático. *Revista de Agricultura*, 54, 29-35.
- Casini, P., & Proietti, C. (2002). Morphological characterization and production of quinoa genotypes (*Chenopodium quinoa* Willd.) in the Mediterranean environment. *Agricultura Mediterránea*, 132, 15-26.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA]. (2023). XXXIII *Asamblea general ordinaria (presencial) de miembros activos. Informe anual 2022*. [https://www.agrosavia.co/media/xo2lfscp/informe\\_asamblea\\_2022\\_f.pdf](https://www.agrosavia.co/media/xo2lfscp/informe_asamblea_2022_f.pdf)
- Curti, R. N., De la Vega, A. J., Andrade, A. J., Bramardi, S. J., & Bertero, H. D. (2014). Multi-environmental evaluation for grain yield and its physiological determinants of quinoa genotypes across Northwest Argentina. *Field Crops Research*, 166, 46-57. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.06.011>
- Delgado, A. I., Palacios, J. H., & Betancourt, C. (2009). Evaluación de 16 genotipos de quinua dulce (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el municipio de Iles, Nariño (Colombia). *Agronomía Colombiana*, 27(2), 159-167.
- El-Harty, E. H., Ghazy, A., Alateeq, T. K., Al-Faifi, S. A., Khan, M. A., Afzal, M., Alghamdi, S. S., & Migdadi, H. M. (2021). Morphological and molecular characterization of quinoa genotypes. *Agriculture*, 11(4), 286. <https://doi.org/10.3390/agriculture11040286>
- El-Sadek, A. (2017). Multi-environmental evaluation for grain yield and its components of quinoa genotypes across the north western coast of Egypt. *Egyptian Journal of Desert Research*, 67(1), 65-82. <https://doi.org/10.21608/ejdr.2017.5845>
- Gandarillas, H. (1979). Mejoramiento genético. En M. Tapia, H. Gandarillas, S. Alandía, A. Cardozo, Á. Mujica, R. Ortiz, V. Otazu, J. Rea, B. Salas, & E. Zanabria, *La quinua y la kañiwa. Cultivos andinos* (pp. 65-82). Centro Internacional de Investigación para el Desarrollo (CIID); Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA).

- Gómez-Pando, L. R., & Eguiluz-de la Barra, A. (2013). Developing genetic variability of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) with gamma radiation for use in breeding programs. *American Journal of Plant Sciences*, 4(2), 349-355. <https://doi.org/10.4236/ajps.2013.42046>
- Jacobsen, S. E. (2003). The worldwide potential for quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Reviews International*, 19(1-2), 167-177. <https://doi.org/10.1081/fri-120018883>
- Jacobsen, S. E., Hill, J., & Stølen, O. (1996). Stability of quantitative traits in quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Theoretical and Applied Genetics*, 93, 110-116.
- Maliro, M. F., Guwela, V. F., Nyaike, J., & Murphy, K. M. (2017). Preliminary studies of the performance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes under irrigated and rainfed conditions of central Malawi. *Frontiers in Plant Science*, 8, 227. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00227>
- Manjarrés-Hernández, E. H., & Morillo-Coronado, A. C. (2022). Genetic diversity of Colombian quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): implications for breeding programs. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 69(7), 2447-2458. <https://doi.org/10.1007/s10722-022-01383-w>
- Manjarrés-Hernández, E. H., Morillo-Coronado, A. C., Ojeda-Pérez, Z. Z., Cárdenas-Chaparro, A., & Arias-Moreno, D. M. (2021). Characterization of the yield components and selection of materials for breeding programs of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Euphytica*, 217(6), 101. <https://doi.org/10.1007/s10681-021-02837-5>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2018). *Anuario estadístico del sector agropecuario 2017*.
- Morillo-Coronado, A. C., Castro, M. A. R., & Morillo-Coronado, Y. (2017). Caracterización de la diversidad genética de una colección de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 15(2), (49-56). [https://doi.org/10.18684/BSAA\(15\)49-56](https://doi.org/10.18684/BSAA(15)49-56)
- Morillo-Coronado, A. C., Manjarrés-Hernández, E. H., Reyes-Ardila, W. L., & Morillo-Coronado, Y. (2022). Phenotypic intrapopulation variation in quinoa from the department of Boyacá, Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 25(1). <https://doi.org/10.31910/rudca.v25.n1.2022.1579>
- Nieto, C. (2013). *La significación de los cultivos andinos para la seguridad alimentaria de los pueblos andinos y del mundo: un análisis en el escenario socio-ambiental actual*. Memorias del IV Congreso Mundial de la Quinua. Quito, Ecuador.
- Nieto, C., Vimos, C., Monteros, C., Caicedo, C., & Rivera, M. (1992). *INIAP-Ingapirca e INIAP-Tunkahuan: dos variedades de quinua de bajo contenido de saponina* [Boletín divulgativo 228]. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP]. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/270>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2011). *La quinua: cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial*. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. <http://www.fao.org/docrep/017/aq287s/aq287s.pdf>
- Oustani, M., Mehda, S., Halilat, M. T., & Chenchouni, H. (2023). Yield, growth development and grain characteristics of seven Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes grown in open-field production systems under hot-arid climatic conditions. *Scientific Reports*, 13(1), 1991. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-29039-4>
- Peterson, A. J., & Murphy, K. M. (2015). Quinoa cultivation for temperate North America: Considerations and areas for investigation. En K. Murphy, & J. Matanguihan (Eds.), *Quinoa: Improvement and sustainable production* (173-192). Wiley Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781118628041.ch10>
- Pizo-Ossa, M. A., Montes-Rojas, C., Aguilera-Arango, G. A., Ramos-Villafañe, Y. P., López-Hoyos, J. L. & Morillo-Coronado, Y. (2024). Evaluation of the phenological cycle and morphological characterization of quinoa genotypes (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 27(2), 75. <https://doi.org/10.56369/tsaes.5397>

- Pulvento, C., Riccardi, M., Lavini, A., D'Andria, R., lafelice, G., & Marconi, E. (2010). Field trial evaluation of two *Chenopodium quinoa* genotypes grown under rain-fed conditions in a typical Mediterranean environment in south Italy. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 196(1), 407-411. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2010.00431.x>
- Risi, C. J., & Galwey, N. W. (1984). The *Chenopodium* grains of the Andes: Inca crops for modern agriculture. *Advances in Applied Biology*, 10, 145-216.
- Rojas, W., Soto, J. L., Pinto, M., Jäger, M., & Padulosi, S. (Eds.) (2010). *Granos andinos: avances, logros y experiencias desarrolladas en quinua, cañahua y amaranto en Bolivia*. Bioversity International.
- Rojas, W., Vargas Mena, A., & Pinto Porcel, M. (2016). La diversidad genética de la quinua: potenciales usos en el mejoramiento y agroindustria. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 3(2), 114-124.
- Ruas, P. M., Bonifacio, A., Ruas, C. F., Fairbanks, D. J., & Andersen, W. R. (1999). Genetic relationship among 19 accessions of six species of *Chenopodium* L., by Random Amplified Polymorphic DNA fragments (RAPD). *Euphytica*, 105, 25-32.
- Sañudo, B., Arteaga, G., Betancourth, C., Zambrano, J., & Burbano, J. (2005). *Perspectivas de la quinua dulce para la región andina de Nariño*. Universidad de Nariño.
- Shams, A. S. (2018). Preliminary evaluation of new quinoa genotypes under Sandy Soil Conditions in Egypt. *Agricultural Sciences*, 9(11), 1444-1456. <https://doi.org/10.4236/as.2018.911100>
- Spehar, C. R., & De Barros Santos, R. L. (2005). Agronomic performance of quinoa selected in the Brazilian Savannah. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40(6), 609-612. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2005000600012>
- Tan, M., & Temel, S. (2018). Performance of some quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes grown in different climate conditions. *Turkish Journal of Field Crops*, 23(2), 180-186. <https://doi.org/10.17557/tjfc.485617>
- Torres M., J., Vargas C., H., Corredor S., G., & Reyes C., L. M. (2000). Caracterización morfoagronómica de diecinueve cultivares de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) en la Sabana de Bogotá. *Agroonomía Colombiana*, 17, 60-68.
- Ward, S. M. (2000). Allotetraploid segregation for single-gene morphological characters in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) *Euphytica*, 116, 11-16.
- Zurita-Silva, A., Jacobsen, S. E., Razzaghi, F., Álvarez-Flores, R., Ruiz, K. B. C., Morales, A., & Silva, H. (2014). Respuestas a la sequía y adaptación de la quinua. En Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], & Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agrícola para el Desarrollo (CIRAD). (Eds.), *Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013* (pp. 185-202).





Foto: Diana Lucía Correa-Moreno

## Capítulo II

# Requerimiento nutricional del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.)

Daniel Ortiz-González

Óscar Eduardo Paredes-Martínez

José Ives Pérez-Zúñiga

Consuelo Montes-Rojas

## Resumen

Los suelos en los que se cultiva la quinua en el departamento del Cauca presentan baja fertilidad y los estudios sobre nutrición del cultivo en las condiciones edafoclimáticas propias de la región son escasos. Como respuesta al reto de fertilizar adecuadamente, se llevó a cabo la presente investigación, que tuvo como objetivo determinar el requerimiento nutricional NPK del cultivar Blanca de Jericó en los municipios de Bolívar, La Vega, Silvia y Totoró, en el Cauca. Para esto, se usó la metodología de superficies de respuesta (RSM) a través del diseño de Box-Behnken, en el que se definieron los valores mínimos y máximos para nitrógeno (0 y 300 kg/ha), fósforo (0 y 300 kg/ha) y potasio (0 y 175 kg/ha). El diseño arrojó 15 corridas y cada municipio se tomó como una repetición. El rendimiento presentó un comportamiento cuadrático, que permitió elaborar superficies de respuesta de la interacción entre los nutrientes. Con los modelos se determinó que 265, 252 y 105 kg/ha fueron las concentraciones de N,  $P_2O_5$  y  $K_2O$  con las que se obtuvo el máximo rendimiento de 3,92 t/ha. Además, se realizaron curvas de absorción de nutrientes que ayudaron a definir las etapas fenológicas clave, en las cuales las plantas demandan mayor cantidad de nutrientes. Con estos resultados y los análisis químicos de suelos, se elaboró una guía para la fertilización del cultivo, según los niveles críticos en el suelo, para hacer un uso racional de fertilizantes en la región Andina del Cauca.

**Palabras clave:** absorción, dosis, fenología, fertilización, nutrición.



# Introducción

En Colombia, el cultivo de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) ha ganado popularidad en los últimos años gracias a su relevancia en temas de seguridad y soberanía alimentaria, y a su alto valor nutricional y adaptabilidad a condiciones ambientales en el contexto del cambio climático (Yadav et al., 2023). Desde 2005, el departamento del Cauca ha promovido el fortalecimiento de la cadena productiva de la quinua a través de la tecnificación del cultivo, la articulación con la agroindustria y la promoción de consumo; de esta manera, logró tener en 2016 un área de 678 ha sembradas, de las cuales se beneficiaron 2.872 familias en 12 municipios (Guerreiro López, 2018; Montes-Rojas et al., 2018). Infortunadamente, en los últimos años, el rendimiento en el departamento disminuyó y en 2017 reportó un rendimiento promedio de 1,39 t/ha, inferior al de otros departamentos como Cundinamarca, que registró 5,72 t/ha y al de otros países que producen hasta 6 t/ha. Esto representa una brecha productiva importante, que pone en peligro la sostenibilidad de la cadena productiva debido a la baja competitividad a nivel nacional y global (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR], 2017).

Una de las causas de los bajos rendimientos en el departamento del Cauca es que la quinua se cultiva en suelos ácidos de baja fertilidad, y en la práctica se confía principalmente en la residualidad de los fertilizantes aplicados al cultivo anterior (Montes-Rojas et al., 2018). Los cultivos de quinua que no se fertilizan presentan rendimientos cercanos a 0,6 t/ha (Moradi et al., 2024); en contraste, si se aplican nutrientes el rendimiento puede rondar las 6 t/ha (Mateu Mateo, 2019). Esto demuestra el potencial de los fertilizantes para mejorar la productividad del cultivo de la quinua (Salim et al., 2020).

En investigaciones previas se ha reportado que el nitrógeno (N), el fósforo (P) y el potasio (K) son los nutrientes minerales que más influyen en la producción y en la calidad de la quinua (Paradkar et al., 2022). Hasta ahora, los estudios acerca de la respuesta de la quinua a la aplicación de fertilizantes se han hecho usando diferentes concentraciones de un nutriente, mientras se mantie-



nen constantes los demás (Bascuñán-Godoy et al., 2018, Sobn et al., 2021), o proporcionando diferentes dosis de fertilizantes compuestos NPK por medio de diseños estadísticos multifactoriales tradicionales (Naik et al., 2020). Dichos estudios se han centrado en obtener el mejor tratamiento, lo que impide estimar la dosis óptima para N, P y K, que interactúan simultáneamente para maximizar el rendimiento. La metodología de superficies de respuesta (RSM) es un diseño experimental alternativo capaz de optimizar al mismo tiempo múltiples factores en una amplia gama de niveles, utilizando menos tratamientos en comparación con los diseños multifactoriales, lo que ayuda a ahorrar espacio, tiempo y recursos (Moradi et al., 2024).

Otro elemento importante, además de la dosis de nutrientes, es el momento de aplicación, que depende de múltiples factores como el genotipo, el clima, el suelo, entre otros (Salim & Raza, 2020). Para el caso de la quinua, de acuerdo con la etapa fenológica, hay una demanda diferencial de nutrientes. Las curvas de absorción de nutrientes son una representación gráfica de la cantidad de nutrientes extraídos por las plantas durante su ciclo de vida. Conocer el comportamiento de estas curvas permite identificar las etapas fenológicas de mayor demanda y absorción nutrimental (Kaiwen et al., 2020). Esta información es relevante en los planes de fertilización, porque ayuda a definir el momento para realizar la



Foto: Daniel Ortiz-González

aplicación de fertilizantes y a decidir si estos deben fraccionarse para optimizar su uso.

La mayoría de los estudios de nutrición en el cultivo se han realizado en condiciones agroecológicas y edafoclimáticas que contrastan con las de Colombia. Esta situación ha hecho que la fertilización del cultivo se realice de forma empírica, lo cual genera una gran problemática, ya que la dosis y el momento de aplicación inadecuados pueden causar una deficiencia nutricional que reduce la calidad y producción de grano; asimismo, una aplicación excesiva ocasiona contaminación ambiental y reducción de la rentabilidad (Khosroyar et al., 2023).

Por lo anterior, es importante comprender las necesidades nutricionales de la quinua según sus etapas fenológicas para generar los fundamentos técnicos de manejo de fertilizantes bajo las condiciones del departamento del Cauca. El objetivo de este capítulo fue determinar el requerimiento nutricional del cultivo para maximizar el rendimiento a través del diseño de superficies de respuesta, y determinar las etapas fenológicas principales para la aplicación de nutrientes. Esta información es relevante para diseñar un plan de fertilización equilibrado y oportuno a partir de los contenidos nutricionales del suelo, como aporte a la sostenibilidad del cultivo en el departamento.

# Materiales y métodos

## Localización

La investigación se llevó a cabo entre febrero y agosto de 2023 en fincas de productores de los municipios de Silvia, Totoró, La Vega y Bolívar en el departamento del Cauca, Colombia, ubicadas en 2°37'47"N y 76°20'27"O, 2°33'53"N y 76°26'37"E, 1°58'34"N y 76°45'22"O y 1°46'29"N y 76°53'45"O, respectivamente. Estos lugares se encuentran en clima frío, a una altitud entre 2.306 y 2.706 m s. n. m. En el periodo experimental se registraron temperaturas promedio entre 13,6 y 15,3 °C, y precipitación acumulada entre 1017 y 1419 mm.

## Material vegetal y manejo del experimento

Se utilizó el cultivar Blanca de Jericó, porque es un material genético comercial común en Colombia y es el más cultivado en el departamento del Cauca, dada su adaptabilidad al clima frío, los suelos de ladera y sus características de productividad y aceptación en el mercado (Morillo-Coronado et al., 2022). La semilla se sembró a chorrillo a una profundidad de 2 cm y en el momento de la siembra se aplicó compost en dosis de 1,4 t/ha y 1 t/ha de cal dolomita. Las plantas se ralearon dejando distancias de siembra de 0,2 m entre plantas y 0,7 m entre surcos, para un total de 71.428 sitios de siembra. Se establecieron dos plantas por sitio para obtener una densidad de siembra de 142.857 plantas/ha. Las unidades experimentales (UE) correspondieron a rectángulos de terreno de 3 m de largo por 2,1 m de ancho para un área de 6,3m<sup>2</sup>. El manejo del cultivo se realizó de acuerdo con las prácticas agro-nómicas descritas en la guía de cultivo de la quinua (Gómez & Aguilar, 2016). Antes de establecer el experimento en cada localidad, se recolectó una muestra de suelo, la cual se envió al laboratorio de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) para hacer un análisis químico que determinó el contenido nutricional (tabla 2.1).



**Tabla 2.1.** Resultado de análisis químico de suelos de las localidades de Bolívar, La Vega, Silvia y Totoró

| Parámetros     | pH   | Aluminio intercambiable | Materia orgánica | Fósforo (P) (Bray II) | Potasio (K) | Calcio (Ca) | Magnesio (Mg) disponible | Azufre (S) |
|----------------|------|-------------------------|------------------|-----------------------|-------------|-------------|--------------------------|------------|
| Localidad      |      | cmol (+)/kg             | g/100 g          | mg/kg                 | cmol (+)/kg | cmol (+)/kg | cmol (+)/kg              | mg/kg      |
| <b>Bolívar</b> | 5,29 | SD                      | 4,19             | 51,6                  | 0,67        | 3,28        | 0,74                     | 8,14       |
| <b>La Vega</b> | 5,75 | SD                      | 6,12             | 36,3                  | 0,39        | 2,01        | 0,46                     | 12,33      |
| <b>Silvia</b>  | 6,04 | SD                      | 5,47             | 64,9                  | 1,09        | 12,21       | 2,73                     | 5,59       |
| <b>Totoró</b>  | 5,11 | 1,59                    | 8,31             | 5,45                  | 0,4         | 1,72        | 0,51                     | 7,94       |

SD: sin datos

Fuente: Elaboración propia

## Diseño estadístico

Se empleó la RSM, una metodología comúnmente usada en ingeniería para optimizar procesos en los que intervienen varios factores (Njiru et al., 2022). Esta herramienta es novedosa en la agricultura porque permite el modelado y la optimización del rendimiento de un cultivo al evaluar la combinación de diferentes dosis de fertilizante NPK. Específicamente, se aplicó el diseño de Box-Behnken, que es eficaz para ajustar un modelo polinomial de segundo orden. Después de definir los valores mínimos y máximos para cada factor N (0 y 300 kg/ha),  $P_2O_5$  (0 y 300 kg/ha) y  $K_2O$  (0 y 175 kg/ha), el diseño arrojó 15 corridas experimentales (tratamientos) con tres puntos centrales (tabla 2.2) y cada municipio se tomó como una repetición. Las fuentes de fertilizantes fueron urea (46-0-0), fosfato diamónico DAP (18-46-0) y cloruro de potasio KCl (60-0-0); estos se aplicaron en las etapas fenológicas de ocho hojas verdaderas y en el inicio de la formación del botón floral.



Tabla 2.2. Corridas arrojadas por el modelo

| N (kg/ha) | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha) | K <sub>2</sub> O (kg/ha) |
|-----------|---------------------------------------|--------------------------|
| 0         | 0                                     | 87,5                     |
| 300       | 0                                     | 87,5                     |
| 0         | 300                                   | 87,5                     |
| 300       | 300                                   | 87,5                     |
| 0         | 150                                   | 0                        |
| 300       | 150                                   | 0                        |
| 0         | 150                                   | 175                      |
| 300       | 150                                   | 175                      |
| 150       | 0                                     | 0                        |
| 150       | 300                                   | 0                        |
| 150       | 0                                     | 175                      |
| 150       | 300                                   | 175                      |
| 150       | 150                                   | 87,5                     |
| 150       | 150                                   | 87,5                     |
| 150       | 150                                   | 87,5                     |

Fuente: Elaboración propia

El modelo estadístico de segundo orden que se usó contiene términos que representan efectos principales, interacciones y efectos cuadráticos.

Rendimiento =  $\mu + n + n^2 + p + p^2 + k + k^2 + (n*p) + (n*k) + (p*k) + (n*p*k)$

Rendimiento = peso del grano (t/ha).

$\mu$  = peso medio del grano (t/ha).

$n$  = componente lineal de nitrógeno.

$n^2$  = componente de nitrógeno cuadrático.

$p$  = componente de fósforo lineal.

$p^2$  = componente de fósforo cuadrático.

$k$  = componente lineal de potasio.

$k^2$  = componente cuadrático de potasio.

$n*p$  = interacción de nitrógeno y fósforo.

$n*k$  = interacción de nitrógeno y potasio.

$p*k$  = interacción fósforo y potasio.

$n*p*k$  = interacción de nitrógeno, fósforo y potasio.



Foto: Óscar Eduardo Paredes-Martínez

## Variables evaluadas

El rendimiento se calculó multiplicando la producción por planta y la densidad de siembra. La producción de grano por planta se cuantificó al cosechar las panojas de 13 plantas representativas de los surcos centrales de cada UE, las cuales se secaron en un cobertizo plástico hasta que alcanzaron una humedad entre el 12 % y 14 %, y luego se trillaron con máquinas de los productores. Las curvas de absorción de nutrientes de las hojas se elaboraron con los resultados del análisis bromatológico de muestras compuestas de las diferentes UE en cada una de las etapas fenológicas del cultivo, correspondientes a 6 hojas verdaderas (6HV), botón floral (BF), floración (FL), grano lechoso (GL) y grano pastoso (GP) (Rojas-Montes et al., 2018).

## Análisis estadístico

Las superficies de respuesta se hicieron con el programa estadístico Statgraphics Centurion XVI (Royal Technologies S. A., Hudsonville, USA). El análisis de regresión lineal múltiple se obtuvo usando el método de mínimos cuadrados para predecir el modelo polinomial cuadrático para rendimiento.

## Resultados y discusión

### Requerimiento nutricional

En el modelo estimado de segundo orden se incluyeron los términos lineales, cuadráticos e interacciones significativas ( $p < 0,001$ ) (ecuación 2.1).

$$\text{Rendimiento} = -0,255577 + 0,00829038*N + 0,00613333*P + 0,00618352*K - 0,0000197179*N^2 - 0,0000318242*K^2 + 0,000011*N*P + 0,0000137143*N*K + 0,0000123*P*K, R^2=0,87$$

#### Ecuación 2.1

Los términos cuadráticos permitieron obtener curvatura en los gráficos de superficie de respuesta, los cuales estimaron el rendimiento en función de las dosis de N, P y K (figuras 2.1, 2.2 y 2.3). El coeficiente de correlación  $R^2=0,87$  indicó que el modelo explicó el 87 % de la variabilidad de los datos del experimento y demostró un alto grado de ajuste. Las superficies de respuesta evidenciaron la topografía o forma de la respuesta del rendimiento y ayudaron a localizar visualmente los puntos óptimos, de acuerdo con la calidez del color: cuanto más cálido es el color el rendimiento es mayor (figuras 2.1, 2.2 y 2.3). Los coeficientes positivos para los términos N, P y K permitieron ver que el rendimiento aumentó por la aplicación de estos nutrientes. Con el modelo se estimó un rendimiento máximo de 3,92 t/ha, con las dosis de 265, 252 y 105 kg/ha de N,  $P_2O_5$  y  $K_2O$ , respectivamente. Además, se estimó que cuando no se aplican nutrientes se obtiene un rendimiento de 0,23 t/ha. En general, la respuesta positiva que mostró el cultivo a la aplicación de NPK se debió, en gran medida, a que los suelos donde se establecieron los experimentos son de origen volcánico y tienen propiedades ándicas que se caracterizan por tener un pH ácido y baja disponibilidad de bases.





Foto: Takumasa Kondo

El método RSM ha servido, como en esta investigación, para optimizar el rendimiento con la aplicación de NPK en otros cultivos como el de zapallo (*Cucurbita moschata*), con el que también se generó un modelo de segundo orden (Njiru et al., 2022). Estos hallazgos también concuerdan con los hallados por Moradi et al. (2024), quienes encontraron que la aplicación de NPK se explicó por un efecto cuadrático significativo para el rendimiento de quinua en Irán, lo que les permitió predecir las concentraciones óptimas de 92,46 y 100 kg/ha, respectivamente, para obtener un rendimiento máximo de aproximadamente 2 t/ha. Sin embargo, este rendimiento es casi la mitad del que se obtuvo en la presente investigación, porque se usó una dosis comparativamente más baja, entre otras cosas.

El efecto de la interacción N y P sobre el rendimiento fue significativo ( $p < 0,05$ ). El P y N actúan de forma sinérgica (Clayton et al., 2024), ya que al aumentar la dosis de ambos elementos se potencializa el efecto sobre el rendimiento (figura 2.1); pero ante dosis bajas de N, el P contribuye más al rendimiento, y no al contrario. Estos resultados concuerdan con los hallados por Bevan et al. (2021), en los que se observaron que el rendimiento de *Cannabis sativa* respondió positivamente al aumento del suministro de N y P. Vale la pena resaltar que, en este estudio no se logró encontrar el rendimiento óptimo (óptimo biológico) o umbral a partir del cual el rendimiento comienza a reducirse. Este resultado se atribuye a que las dosis de fertilizantes usadas no fueron suficientes para generar efectos tóxicos o antagonismos entre nutrientes (Rietra et al., 2017). Estos resultados estarían indicando que el cultivar Blanca de Jericó puede mejorar la producción de grano con niveles más altos de fertilizantes bajo las condiciones estudiadas.

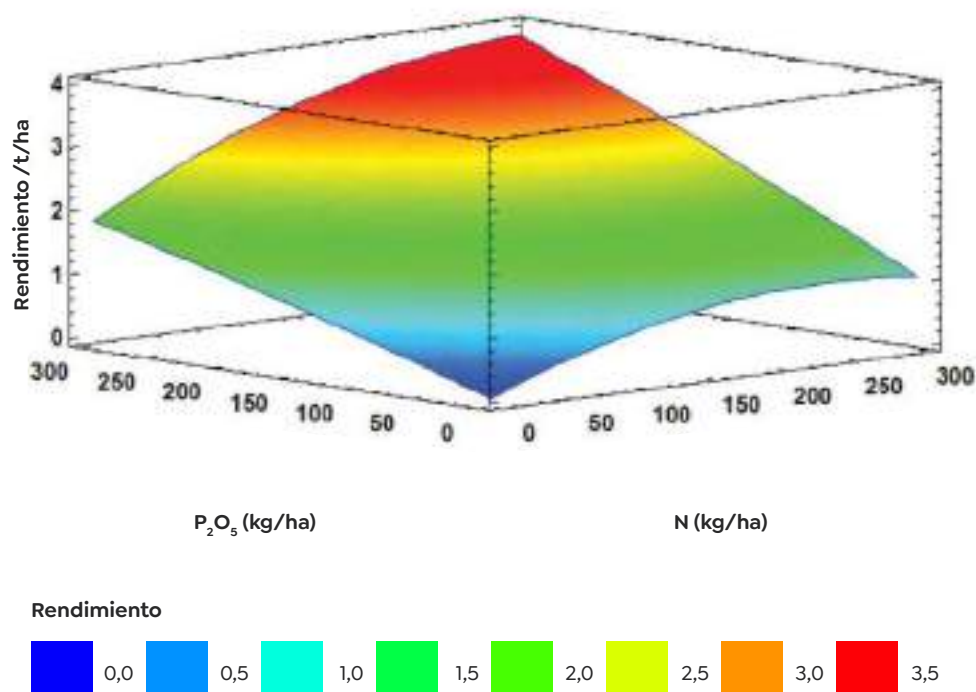


**Figura 2.1.** Superficie de respuesta de rendimiento del cultivo de quinoa cultivar Blanca de Jericó a la aplicación de  $P_2O_5$  y N.

Fuente: Elaboración propia

El efecto de la interacción K y N sobre el rendimiento fue significativo ( $p < 0,05$ ). Con dosis bajas de N, el K influye poco en el rendimiento del cultivo (figura 2.2), ya que se vuelve un factor limitante para el crecimiento del aparato fotosintético de la planta y, en consecuencia, reduce la cantidad de fotoasimilados necesarios para la formación de granos (Bascuñán-Godoy et al., 2018). En particular, el K es importante cuando el N está en una dosis superior a 158 kg/ha y, por lo general, el N influye más en el rendimiento, incluso en dosis bajas de K. Esto se debe a que el N, además de participar en la estructura de las biomoléculas, aumenta la tasa de fotosíntesis y mejora la producción de fotoasimilados y rendimiento de las plantas (Rehman et al., 2022).



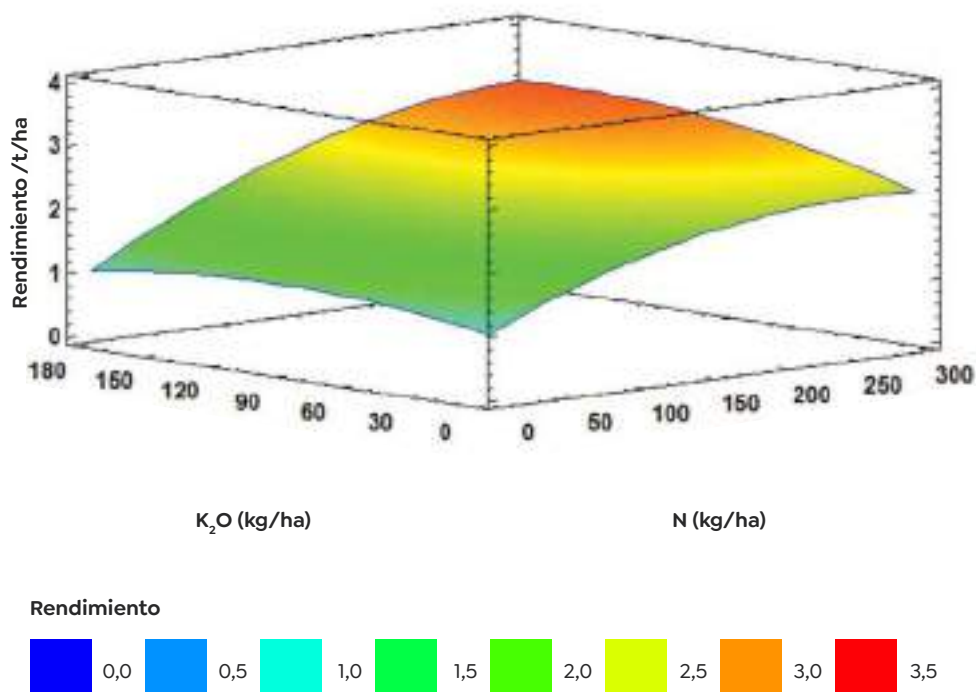


**Figura 2.2.** Superficie de respuesta de rendimiento del cultivo de quinoa cultivar Blanca de Jericó a la aplicación de  $K_2O$  y N.

Fuente: Elaboración propia

La interacción PK también tuvo una respuesta positiva y significativa en el rendimiento ( $p < 0,05$ ) (figura 2.3). El P tuvo un aporte más evidente en la respuesta del rendimiento que el K; de esta manera, el mayor rendimiento se obtuvo cuando el P se aplicó en dosis mayores de 210 kg/ha y a partir de una dosis de 26 kg/ha de K. Esto se debe, en gran medida, a que el P cumple funciones fisiológicas importantes para la transferencia de energía en el proceso de fotosíntesis, así como elemento estructural que hace parte de los fosfolípidos de la membrana celular, material genético y aminoácidos. Por su parte, el K es otro de los elementos que aporta al rendimiento a través de procesos como el transporte de asimilados a los órganos sumideros, incluidas las semillas (Wang et al., 2021).

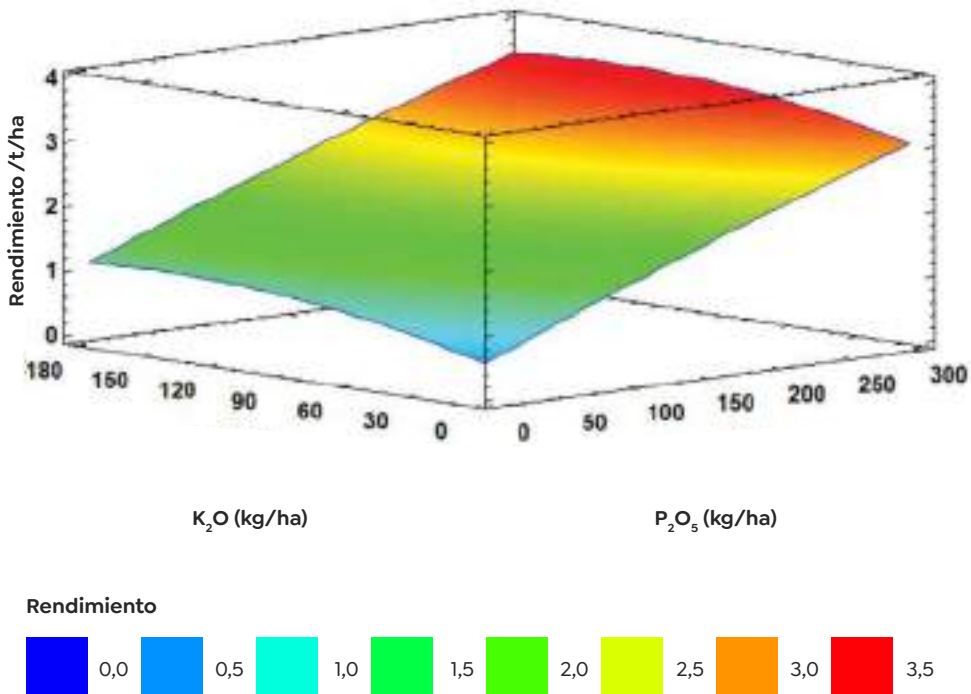


**Figura 2.3.** Superficie de respuesta de rendimiento del cultivo de quinua cultivar Blanca de Jericó a la aplicación de  $K_2O$  y  $P_2O_5$ .

Fuente: Elaboración propia

Al aplicar NPK aumenta el rendimiento, lo cual se atribuye a que los fertilizantes usados son de fácil disolución en suelos con baja disponibilidad de bases (Turcios et al., 2021). Lo anterior demuestra la importancia de la interacción de estos nutrientes sobre la producción de quinua en la región Andina caucana; sin embargo, los niveles óptimos hallados son diferentes a varios de los que presentan algunos estudios publicados (Moradi et al., 2024; Paradkar et al., 2022). Esto puede atribuirse a los genotipos y las variaciones en la disponibilidad de nutrientes del suelo, así como a las condiciones climáticas (Moradi et al., 2024).

Mediante un análisis de balance de nutrientes entre los nutrientes que aporta el suelo y la respuesta de la planta a la aplicación de diferentes dosis de fertilizantes se elaboró la tabla 2.3 que muestra la suficiencia nutricional del cultivo de la quinua. Esta es una herramienta útil para asistentes técnicos y extensionistas, pues permite calcular las dosis de fertilizantes para la obtención de un determinado rendimiento. En la tabla 2.3 están consignados los niveles críticos de materia orgánica, fósforo y potasio en suelo, en los cuales se recomienda la aplicación de N,  $P_2O_5$  y  $K_2O$  para obtener un rendimiento entre 1-2, 2-3 y 3-4 t/ha. Es importante mencionar que los valores publicados en este estudio son un referente para el departamento y la respuesta del cultivo puede presentar variaciones dependiendo del suelo, el clima y el manejo agronómico del cultivo.

**Tabla 2.3.** Guía para la fertilización del cultivo de la quinua cultivar Blanca de Jericó, según los niveles críticos en el suelo para la región Andina caucana

| Nutriente                                           | Rango de suficiencia | Categoría | Dosis para rendimiento esperado |          |          | Forma asimilable    |
|-----------------------------------------------------|----------------------|-----------|---------------------------------|----------|----------|---------------------|
|                                                     |                      |           | 1-2 t/ha                        | 2-3 t/ha | 3-4 t/ha |                     |
| <b>Materia orgánica (%)</b>                         | <5                   | Baja      | 120                             | 180      | 300      | N<br>(kg/ha)        |
|                                                     | 5 - 10               | Media     | 100                             | 150      | 240      |                     |
|                                                     | >10                  | Alta      | 80                              | 120      | 180      |                     |
| <b>Fósforo disponible (ppm o mg/kg)</b>             | <15                  | Baja      | 80                              | 160      | 200      | $P_2O_5$<br>(kg/ha) |
|                                                     | 15 - 30              | Media     | 70                              | 120      | 180      |                     |
|                                                     | >30                  | Alta      | 60                              | 80       | 160      |                     |
| <b>Potasio Intercambiable (meq/100 g o cmol/kg)</b> | <0,5                 | Baja      | 60                              | 90       | 120      | $K_2O$<br>(kg/ha)   |
|                                                     | 0,5 - 1,0            | Media     | 50                              | 75       | 105      |                     |
|                                                     | >1,0                 | Alta      | 40                              | 60       | 90       |                     |

Fuente: Elaboración propia



Con estos requerimientos nutricionales se obtiene un rendimiento entre 1 y 4 t/ha, bajo las condiciones edafoclimáticas de las zonas productoras, y con un manejo riguroso del cultivo en cuanto al control de plagas, enfermedades y manejo de arvenses. No obstante, es imprescindible que en el momento de usar esta información se haga un análisis que garantice el máximo beneficio económico, el cual depende de las variaciones de los precios de fertilizantes y del precio de la cosecha.

## Curvas de absorción de nutrientes

Para el caso del N, la curva de absorción mostró que la mayor concentración de este elemento en el tejido foliar se presentó desde la aparición de las primeras hojas verdaderas (6HV) hasta el inicio de la fase reproductiva, que se evidencia con la aparición del BF (figura 2.4). Lo anterior se debe a que este nutriente es fundamental para la formación de follaje y el crecimiento de órganos vegetativos de la planta (Al-asadi & Al-dogagy, 2021). Cuando apareció el BF, la concentración de N disminuyó hasta el GP, como consecuencia del proceso de traslocación de N hacia los órganos reproductivos, en los cuales se acumulan sustancias como proteínas, lípidos, carbohidratos y minerales en el grano. Por esta razón, una cantidad importante del N absorbido por la planta es trasladado y acumulado en los granos, y esto contribuye al aumento de la proteína (Villacrés et al., 2022). El N determina el potencial de rendimiento porque influye directamente en la capacidad fotosintética para la acumulación de fotosintatos en el grano y en el número de semillas por inflorescencia (Rehman et al., 2022).

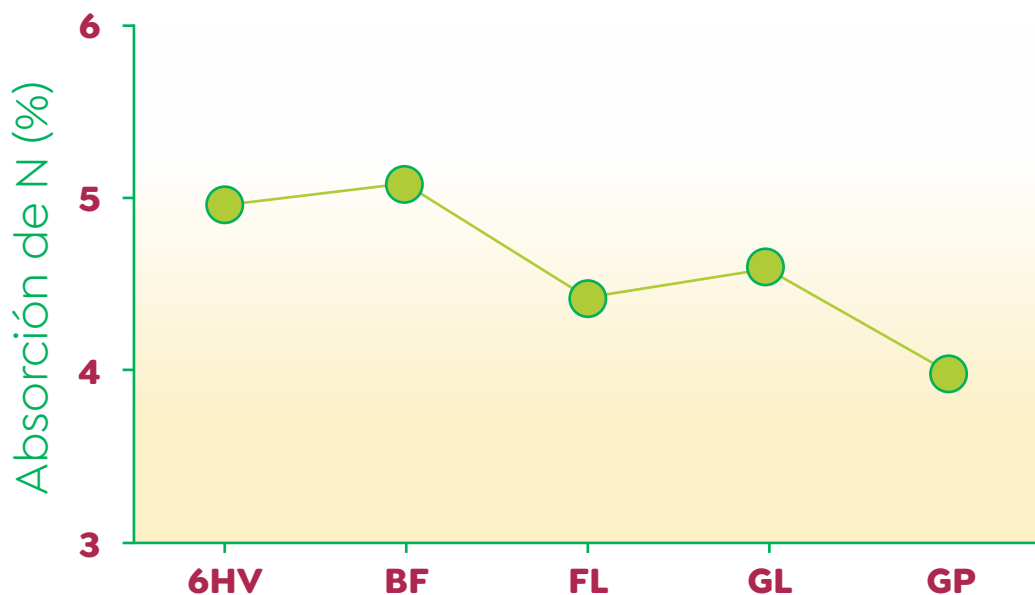


**Figura 2.4.** Curva de absorción de nitrógeno en hojas de plantas de quinua cultivar Blanca de Jericó, en cultivos con un rendimiento mayor de 3 t/ha.

Nota: 6HV: 6 hojas verdaderas; BF: botón floral; FL: floración; GL: grano lechoso; GP: grano pastoso.

Fuente: Elaboración propia

La curva de absorción de P muestra dos picos importantes de la concentración de este nutriente en el tejido foliar (figura 2.5). El primero está comprendido por las 6HV y el inicio de la fase reproductiva en el BF. La concentración alta durante estos estados fenológicos es fundamental para la formación de raíces y el crecimiento de otros órganos vegetativos de la planta (Deng et al., 2022). El contenido decrece durante la formación de la panoja debido a la translocación desde órgano reproductivo hasta el GL, en el cual comienza un nuevo incremento hasta llegar a la máxima concentración en la etapa de GP. Debido a que el P es absorbido por la planta en las primeras etapas fenológicas, este debe ser aplicado antes o durante la siembra (Rietra et al., 2017).

La respuesta de la quinua al P depende de su disponibilidad y de la cantidad aplicada al suelo. Las cantidades significativas de P nativo del suelo pueden estar disponibles si los niveles de materia orgánica y el grado de mineralización son favorables (Jorfi et al., 2022). El P mine-



ralizado de la materia orgánica es más benéfico que el P nativo del suelo, debido a que el P orgánico está disponible por más tiempo en la solución del suelo para que la planta lo absorba. Sin embargo, una fuente externa mineral de P también es importante porque se ha demostrado que influye en el rendimiento del cultivo, especialmente en suelos donde la concentración es baja o donde no está disponible para las plantas debido a su alta fijación en los coloides (Deng et al., 2022). Cuando esto ocurre, una de las estrategias más promisorias para mejorar la absorción de este elemento es el uso de micorrizas y microorganismos solubilizadores de P (Farina Irala et al., 2022). La deficiencia de este elemento en las plantas de quinua se manifiesta en la reducción de la altura, las hojas de color verde muy oscuro o con un tono rojizo en los ápices de las hojas jóvenes, el retraso en la floración y la maduración, las inflorescencias pequeñas y retorcidas, y los granos muy pequeños o poco desarrollados (Cole et al., 2020).

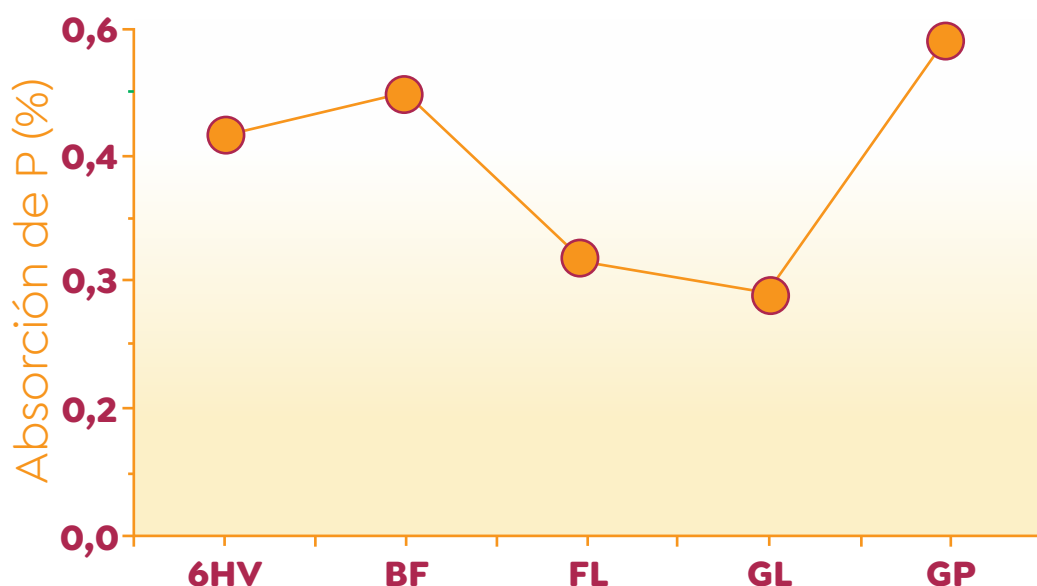


**Figura 2.5.** Curva de absorción de fósforo en hojas de plantas de quinua cultivar Blanca de Jericó, en cultivos con un rendimiento mayor de 3 t/ha.

Nota: 6HV: 6 hojas verdaderas; BF: botón floral; FL: floración; GL: grano lechoso; GP: grano pastoso.

Fuente: Elaboración propia

El K tuvo la máxima concentración en plántula durante la etapa de 6HV, en la cual este elemento está involucrado en la regulación osmótica y elongación de las células (figura 2.6). El contenido disminuye en las etapas posteriores de crecimiento y desarrollo hasta el GL, debido a que este elemento no hace parte estructural de los órganos de las plantas. Luego aumentó la concentración en épocas claves en la nutrición del cultivo, que corresponden a las etapas de maduración de grano, específicamente en el GP; en este, ayuda a la translocación de carbohidratos hacia los granos (Turcios et al., 2021). Se ha reportado que la quinua absorbe K en grandes cantidades y se concentra una buena parte en el tallo, que puede ser reciclado mediante la incorporación de su biomasa en el suelo (Van Minh et al., 2022). La deficiencia de K se manifiesta por un crecimiento pobre del sistema radicular, tallos débiles y hojas del estrato inferior de la planta con bordes y ápices de color amarillo (Cole et al., 2020). Debido a que la quinua responde bien a una alta aplicación de K, y según la curva de absorción, este se debe aplicar en el momento de la siembra.

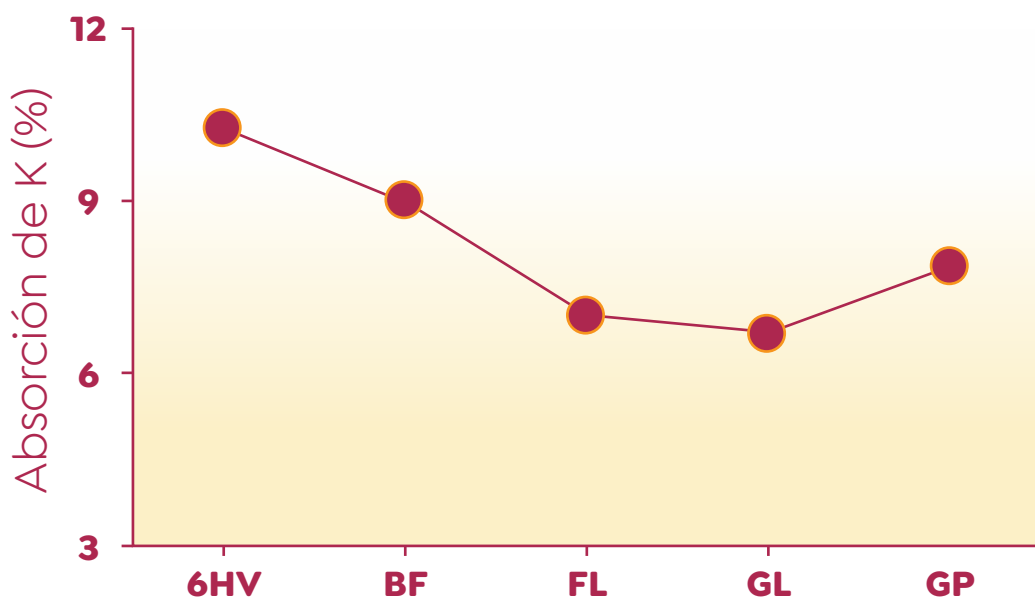


**Figura 2.6.** Curva de absorción de potasio en hojas de plantas de quinua cultivar Blanca de Jericó, en cultivos con un rendimiento mayor de 3 t/ha.

Nota: 6HV: 6 hojas verdaderas; BF: botón floral; FL: floración; GL: grano lechoso; GP: grano pastoso.

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con las curvas de absorción de NPK en hojas de quinua y según la velocidad de disolución de fertilizantes en el suelo, la fertilización debe ocurrir 20 días antes del pico de alto requerimiento por parte de la planta, para que pueda tomarlos y así satisfacer su demanda. Es decir, la fertilización se debe llevar a cabo en la siembra, ya que los mayores picos de absorción de nutrientes se dan cuando aparecen las primeras 8 hojas verdaderas. Se puede contemplar el fraccionamiento de fertilizantes dependiendo del tipo de suelo y clima. Si el suelo tiene una textura con alto contenido de arena y baja CIC, y si en la época del cultivo hay altas tasas de precipitación, es importante fraccionar en un 50 % la aplicación de los fertilizantes en la siembra, y el 50 % restante en la FL, con el fin de tener una alta eficiencia y optimización en el uso de fertilizantes. Esto, teniendo en cuenta que los suelos con estas características y dinámica de lluvias pueden lixiviar y generar pérdida de los nutrientes aplicados. Pero si estas condiciones no están presentes, se puede aplicar el 100 % de la dosis durante la siembra.

## Análisis económico

Con base en los requerimientos nutricionales determinados para la región andina caucana correspondientes a las dosis de NPK de 0-0-0, 120-80-60, 180-160-90 y 300-200-120 (tabla 2.3), con los que se obtienen los rendimientos de 500, 2.000, 3.000 y 4.000 kg/ha respectivamente, y teniendo en cuenta los precios de venta unitario (PVU) de \$1.000, \$3.000, \$5.000 y \$10.000/kg de grano en el mercado, se procedió a realizar un análisis de ingresos, costos y relación beneficio/costo (B/C) del sistema productivo. De acuerdo con la figura 2.7, la línea roja muestra una tendencia de incremento en los costos de producción de \$5.971.000, \$7.416.000, \$8.716.000 y \$10.491.000 a medida que se aumentó la dosis de fertilización 0-0-0, 120-80-60, 180-160-90 y 300-200-120 kg/ha de NPK, respectivamente. Estas dosis tuvieron una participación en los costos totales de producción del 0%, 19%, 31% y 41% respectivamente. Los valores por debajo de la línea roja representan pérdidas ya que los ingresos son inferiores a los costos de producción, donde se obtuvieron valores B/C desde 0,1 hasta 0,8. En el escenario donde no se aplicó ningún tipo de fertilizante (0-0-0), el cultivo no resulta rentable ni siquiera con

PVU de \$10.000/kg de grano (línea amarilla). Por el contrario, el productor obtiene ganancias cuando aplica alguna de las dosis de fertilizantes y el precio de la quinua se encuentra por encima de los \$5.000 pesos (líneas verde y amarilla), en donde se obtiene un B/C desde 1,3 a 3,8. Sin embargo, en la dosis más alta de fertilizante NPK (300-200-120 kg/ha) y cuando el precio de la quinua está cercano a los \$10.000/kg (línea amarilla) se obtiene el B/C más alto, con un valor de 3,8.

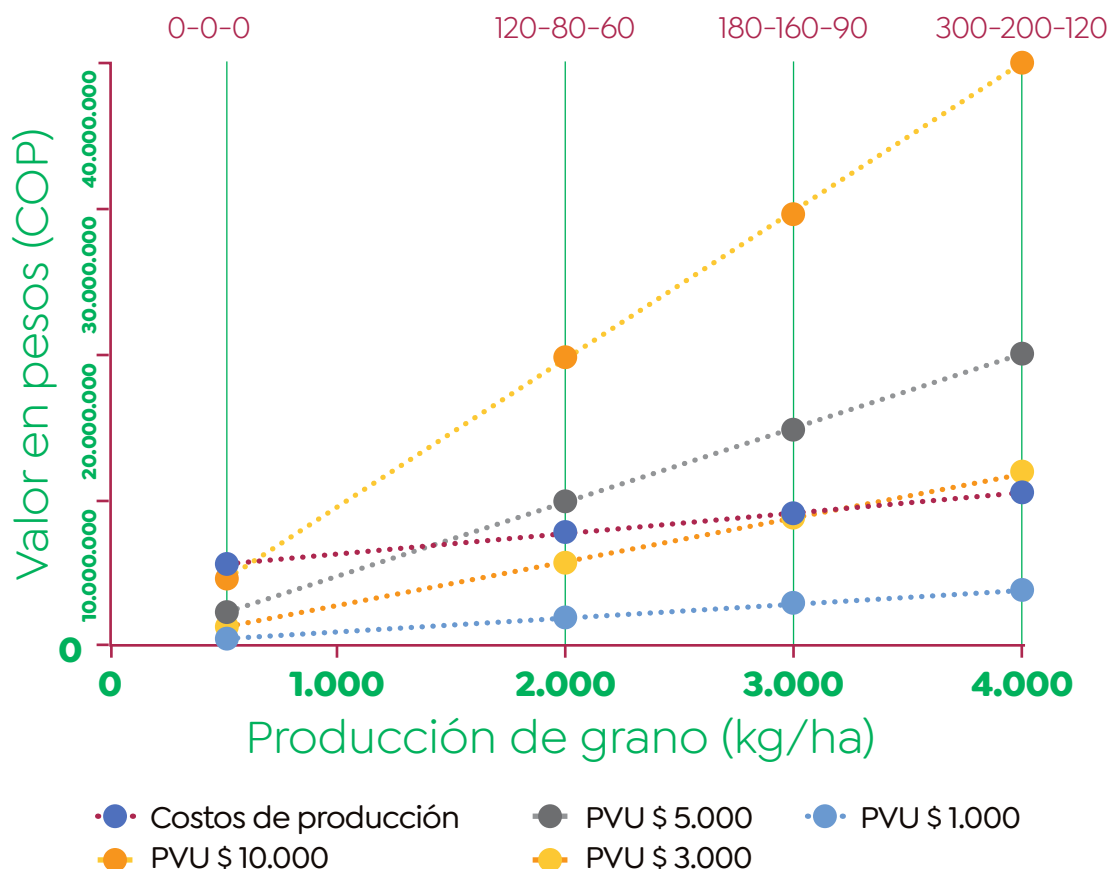


**Figura 2.7.** Ingresos económicos bajo diferentes precios de venta de un kilogramo de grano de quinua (\$1.000, \$3.000, \$5.000 y \$10.000) y costos de producción en función de diferentes dosis de fertilización (0-0-0, 120-80-60, 180-160-90 y 300-200-120 kg/ha de NPK). Precios 2024.

Fuente: Elaboración propia

## Conclusiones

La RSM permitió estimar que 265, 252, y 105 kg/ha de N,  $P_2O_5$  y  $K_2O$  respectivamente, fueron las dosis con las cuales se obtuvo un rendimiento máximo de 3,92 t/ha. Se demostró que el cultivar Blanca de Jericó puede mejorar la producción de grano con niveles más altos de fertilizantes en las condiciones experimentales estudiadas. Una de las ventajas de esta metodología es que permite usar un bajo número de tratamientos respecto a un experimento multifactorial  $3 \times 3 \times 3$ . Según las curvas de absorción de nutrientes, el cultivo se debe fertilizar en el momento de la siembra, teniendo en cuenta que el primer pico de absorción de NPK ocurre cuando la planta genera las 6HV. La interpretación de los resultados de las superficies de respuesta, del análisis químico de suelos y de las curvas de absorción de nutrientes, permitió establecer fundamentos técnicos claves para el diseño de un plan de fertilización balanceado para la zona Andina del departamento del Cauca. Según el análisis económico del cultivo se logró determinar que éste es rentable si se emplean las dosis de fertilizantes recomendados y cuando en el mercado exista un precio de venta superior a los \$5.000/kg de semilla.





# Referencias

- Al-asadi, W. A.\_I. J., & Al-dogagy, K. A. (2021). The effect of nitrogen fertilizer levels and planting dates on some growth traits and yield of the quinoa plant (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Al-Muthanna Journal for Agricultural Sciences*, 8(2), 191-203. <https://doi.org/10.52113/mjas04/8.2/27>
- Bascuñán-Godoy, L., Sanhueza, C., Pinto, K., Cifuentes, L., Reguera, M., Briones, V., Zurita-Silva, A., Álvarez, R., Morales, A., & Silva, H. (2018). Nitrogen physiology of contrasting genotypes of *Chenopodium quinoa* Willd. (Amaranthaceae). *Scientific Reports*, 8(1), 17524. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-34656-5>
- Bevan, L., Jones, M., & Zheng, Y. (2021). Optimization of N, P, K for soilless production of Cannabis sativa in the flowering stage using response surface analysis. Preprints. <https://doi.org/10.20944/preprints202108.0460.v1>
- Clayton, J., Lemanski, K., Solbach, M. D., Temperton, V. M., & Bonkowski, M. (2024). Two-way NxP fertilisation experiment on barley (*Hordeum vulgare*) reveals shift from additive to synergistic NP interactions at critical phosphorus fertilisation level. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1346729. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1346729>
- Cole, D. L., Woolley, R. K., Tyler, A., Buck, R. L., & Hopkins, B. G. (2020). Mineral nutrient deficiencies in quinoa grown in hydroponics with single nutrient salt/acid/chelate sources. *Journal of Plant Nutrition*, 43(11), 1661-1673. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1739304>
- Deng, Y., Zhao, L., Anwar, S., Zhang, L.-G., Shafiq, F., Guo, H.-X., Qin, L.-X., Wang, M.-X., & Wang, C.-Y. (2022). Phosphorus fertigation conferred lodging tolerance and improved grain quality in *Chenopodium quinoa* via enhanced root proliferation and stalk strength. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22(4), 5099-5110. <https://doi.org/10.1007/s42729-022-00986-7>
- Farina Irala, M. I., Fatecha Fois, D. A., & Enciso, C. R. (2022). Aplicación de microorganismos promotores de crecimiento vegetal en el cultivo de soja. *Revista de Investigación Científica y Tecnológica*, 6(1), 4. [https://doi.org/10.36003/Rev.investig.cient.tecnol.V6N1\(2022\)2](https://doi.org/10.36003/Rev.investig.cient.tecnol.V6N1(2022)2)
- Gómez, L., & Aguilar, E. (2016). *Guía de cultivo de la quinua*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura; Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Guerrero López, A. (2018). *Impacto del cultivo de la quinua (Chenopodium quinoa Willd.) como alternativa productiva y socioeconómica en la comunidad indígena Yanacóna de La Vega, Cauca, Colombia* [Tesis doctoral, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/63952>
- Jorfi, A., Alavifazel, M., Gilani, A., Ardakani, M. R., & Lak, S. (2022). Yield and morpho-physiological performance of quinoa (*Chenopodium quinoa*) genotypes as affected by phosphorus and zinc. *Journal of Plant Nutrition*, 45(16), 2432-2446. <https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2035756>
- Kaiwen, G., Zisong, X., Yuze, H., Qi, S., Yue, W., Yanhui, C., Jiechen, W., Wei, L., & Huihui, Z. (2020). Effects of salt concentration, pH, and their interaction on plant growth, nutrient uptake, and photochemistry of alfalfa (*Medicago sativa*) leaves. *Plant Signaling & Behavior*, 15(12), 1832373. <https://doi.org/10.1080/15592324.2020.1832373>
- Khosroyar, S., Gharat, F., & Salehi, M. (2023). Physiological and biochemical responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) varieties to salinity stress. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 42(11), 3824-3834. <https://doi.org/10.30492/ijcce.2023.1972658.5725>
- Mateu Mateo, W. (2019). Fuentes y dosis de abonos orgánicos en el rendimiento de *Chenopodium quinoa* Willd. Canaán 2750 msnm. Ayacucho, 2018. *Investigación*, 27(1), 61-66. <https://doi.org/10.51440/unsch.revistainvestigacion.2019.1.103>

- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2017). *Quinoa. Área sembrada y área cosechada del cultivo de quinoa 2007-2017*. [https://www.agronet.gov.co/Documents/32-QUINUA\\_2017.pdf](https://www.agronet.gov.co/Documents/32-QUINUA_2017.pdf)
- Montes-Rojas C., Burbano-Catuche, G. A., Muñoz-Certuche, E. F., & Calderón-Yonda, Y. (2018). Descripción del ciclo fenológico de cuatro ecotipos de (*Chenopodium quinoa* Willd.), en Puracé-Cauca, Colombia. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 16(2), 26-37. <https://doi.org/10.18684/bsaa.v16n2.1163>
- Moradi, S., Rokhzadi, A., Mohammadi, K., & Pasari, B. (2024). Reduced Nitrogen loss and sustained seed yield of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) by optimizing the use of NPK, cow manure, and vermicompost. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 24(1), 572-585.
- Morillo-Coronado, A. C., Majarrés-Hernández, E. H., Reyes-Ardila, W. L., & Morillo-Coronado, Y. (2022). Phenotypic intrapopulation variation in quinoa from the department of Boyacá, Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 25(1). <https://doi.org/10.31910/rudca.v25.n1.2022.1579>
- Naik, S., Paramesh, R., Siddaraju, R., & Shankar, P. R. (2020). Studies on growth parameters in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *International Journal of Chemical Studies*, 8(1), 393-397. <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i1f.8278>
- Njiru, R. W., Muraya, M. M., & Gathungu, G. K. (2022). Application of box-behnken design and response surface methodology for optimisation of butternut (*Cucurbita moschata*) fruit yield using fertilisers and pinching. *African Journal of Horticultural Science*, 19, 51-59.
- Paradkar, M., Singh, A. K., Dwivedi, B. S., Singhai, N., & Raj, Y. (2022). Response of NPK levels and biofertilizers on growth, yield and quality of quinoa (*Chenopodium quinoa*). *The Pharma Innovation Journal*, 11(11), 642-645.
- Rehman, H. U., Alharby, H. F., Al-Zahrani, H. S., Bamagoos, A. A., Alsulami, N. B., Alabdallah, N. M., Iqbal, T., & Wakeel, A. (2022). Enriching urea with nitrogen inhibitors improves growth, N uptake and seed yield in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) affecting photochemical efficiency and nitrate reductase activity. *Plants*, 11(3), 371. <https://doi.org/10.3390/plants11030371>
- Rietra, R. P., Heinen, M., Dimkpa, C. O., & Bindraban, P. S. (2017). Effects of nutrient antagonism and synergism on yield and fertilizer use efficiency. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48(16), 1895-1920. <https://doi.org/10.1080/00103624.2017.1407429>
- Salim, S. A., Hadeethi, I. K. H., & Al-Hadithi, R. A. G. M. (2020). Water stress on different growing stages for quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and its influence on water requirements and yield. *Iraqi Journal of Agriculture Sciences*, 51(3), 953-966. <https://doi.org/10.36103/ijas.v51i3.1051>
- Salim, N., & Raza, A. (2020). Nutrient use efficiency (NUE) for sustainable wheat production: a review. *Journal of Plant Nutrition*, 43(2), 297-315. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1676907>
- Turcios, A. E., Papenbrock, J., & Tränkner, M. (2021). Potassium, an important element to improve water use efficiency and growth parameters in quinoa (*Chenopodium quinoa*) under saline conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 207(4), 618-630. <https://doi.org/10.1111/jac.12477>
- Van Minh, N., Hoang, D. T., Anh, D. T. P., & Long, N. V. (2022). Effect of nitrogen and potassium on growth, yield, and seed quality of quinoa in Ferralsols and Acrisols under rainfed conditions. *Journal of Ecological Engineering*, 23(4). <https://doi.org/10.12911/22998993/146515>
- Villacrés, E., Quelal, M., Galarza, S., Iza, D., & Silva, E. (2022). Nutritional value and bioactive compounds of leaves and grains from quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Plants*, 11(2), 213. <https://doi.org/10.3390/plants11020213>
- Wang, Y., Chen, Y. F., & Wu, W. H. (2021). Potassium and phosphorus transport and signaling in plants. *Journal of Integrative Plant Biology*, 63(1), 34-52. <https://doi.org/10.1111/jipb.13053>
- Yadav, R., Gore, P. G., Gupta, V., & Siddique, K. H. (2023). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). A smart crop for food and nutritional security. En M. Farooq, & K. H. M. Siddique (Eds.), *Neglected and Underutilized Crops* (pp. 23-43). Academic Press.



Foto: Daniel Ortiz-González



## Capítulo III

# Densidades de siembra para el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.)

Daniel Ortiz-González  
Carolina Ángel-García  
Consuelo Montes-Rojas

## Resumen

A pesar del alto potencial productivo de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), aún se desconoce la densidad de siembra que maximice el rendimiento del cultivo en el departamento del Cauca. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la densidad poblacional sobre el crecimiento y la productividad del cultivar Blanca de Jericó en los municipios de Silvia, Totoró, Bolívar y La Vega, en el departamento del Cauca. Se empleó un diseño experimental de bloques completos al azar para evaluar tres densidades poblacionales correspondientes a D1: 142.857, D2: 285.714 y D3: 666.666 plantas/ha. Se registraron las condiciones ambientales, la altura de la planta, la biomasa, la producción por planta y el rendimiento. Las plantas redujeron significativamente la biomasa, el área foliar y la producción por planta a medida que se incrementó la densidad poblacional; sin embargo, la proporción de materia seca por órgano se mantuvo constante, con una distribución del 16% del peso seco en raíces, del 28% en tallos y del 56% en panojas. El rendimiento tuvo una correlación positiva con la densidad de siembra, y aumentó de 2,74 a 4,11 y 6,94 t/ha, en D1, D2 y D3, respectivamente. Aunque en la mayor densidad de siembra se obtuvo el menor porcentaje de grano grande, la producción fue mayor respecto a los demás tratamientos. La Vega, Silvia y Bolívar presentaron las condiciones edafoclimáticas más favorables para el cultivo de la quinua, al mostrar plantas más robustas y con mejor rendimiento.

**Palabras clave:** Amaranthaceae, crecimiento, espaciamiento, granulometría, rendimiento.



Foto: Daniel Ortiz-González

## Introducción

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es un cultivo andino que ha ganado popularidad en el mundo gracias a su alto valor nutricional y adaptabilidad a diversos climas; además, contribuye a la seguridad alimentaria a través de procesos productivos de bajo impacto ambiental, en comparación con otros alimentos proteicos (García-Parra et al., 2020; Ren et al., 2023). En Colombia, en 2018 el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural reportó 833 hectáreas sembradas en quinua en la región Andina, específicamente en los departamentos de Boyacá, Cauca, Cundinamarca y Nariño, con un rendimiento nacional promedio de 1,9 t/ha. Para el mismo año, en el Cauca se reportó un rendimiento promedio de 1,1 t/ha y Cundinamarca registró 7,1 t/ha, lo cual pone en evidencia la falta de estandarización de prácticas agronómicas para el cultivo de la quinua en el país.



La densidad de siembra es el número de plantas en un área de cultivo y es la que determina el potencial productivo respecto a la cantidad y calidad de las cosechas (Zhang et al., 2020). El rendimiento tiene un comportamiento parabólico en respuesta a las densidades de siembra; a medida que aumenta la densidad de plantas, el rendimiento incrementa hasta alcanzar el máximo potencial, a partir del cual comienza a declinar. Esto quiere decir que cuando se emplea una densidad de siembra baja hay un detrimento en el rendimiento y la rentabilidad por la ineficiencia en el uso del terrero, y cuando se emplean densidades de siembra altas, se puede afectar la producción por competencia cuando las plantas tratan de acceder a un mismo recurso que está limitado, como el espacio, la luz, el agua y los nutrientes (Villalobos et al., 2016). Dependiendo de la magnitud de competencia intraespecífica, también puede haber alteraciones en la manera como crecen las plantas; por ejemplo, en la distribución de biomasa, la altura de la planta, la ramificación, el área foliar, la forma de las hojas, la tasa de desarrollo, el patrón diario de toma de agua y nutrientes del suelo, la actividad fotosintética, entre otros (Bastos et al., 2020; Erazzú et al., 2016; González et al., 2018).

Se han realizado numerosas investigaciones para determinar los efectos de la densidad de siembra sobre el rendimiento del cultivo de quinua en diferentes regiones del mundo (Van Minh et al., 2020). En Dinamarca, Jacobsen et al. (1994) determinaron que la densidad óptima estuvo entre 2.200.000 y 3.270.000 plantas/ha, mientras que, en Argentina, Erazzú et al. (2016) encontraron que una densidad de siembra de 84.000 plantas/ha generó un rendimiento de grano 1,8 veces mayor que una densidad de siembra de 558.000 plantas/ha. Por lo tanto, para definir la densidad de siembra adecuada, se deben tener en cuenta factores como la variedad, el tipo de suelo y las condiciones ambientales (Bastos et al., 2020).

En el Cauca se ha usado tradicionalmente el cultivar Blanca de Jericó en sistemas de producción con baja tecnificación, debido al desconocimiento de diferentes aspectos sobre el manejo agronómico del cultivo, como la densidad de siembra, los cuales discrepan según las prácticas agrícolas locales y las condiciones ambientales de la zona (Montes et al., 2018). Las distancias de siembra varían desde 0,1 hasta 0,5 m entre plantas y 0,4 hasta 1 m entre surcos, lo cual genera grandes diferencias en el número

de plantas por unidad de área. Sin embargo, el aumento de la demanda global de quinua ha causado interés entre los agricultores en optimizar la densidad de siembra, como una estrategia para aumentar la productividad y la sostenibilidad del sistema de producción bajo las condiciones agroecológicas del departamento (Alandia et al., 2020; Montes-Rojas et al., 2018).

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la densidad de siembra sobre el crecimiento y la productividad del cultivo de quinua cv. Blanca de Jericó, bajo las condiciones edafoclimáticas del Cauca. Se espera que los resultados contribuyan al conocimiento de este cultivo y que impulsen el desarrollo de estrategias de producción más eficientes.



Foto: Carolina Ángel-García

# Materiales y métodos

## Diseño y ubicación de los experimentos

El experimento se estableció a partir de un diseño de bloques completos al azar con tres tratamientos correspondientes a D1: 142.857, D2: 285.714 y D3: 666.666 plantas/ha. Cada uno contó con seis repeticiones, para un total de 18 unidades experimentales (UE) (tabla 3.1). Cada UE tuvo dimensiones de 3 m de largo por 2,1 m de ancho, para un área de 6,3m<sup>2</sup>.

**Tabla 3.1.** Tratamientos de densidades de siembra

| Densidad | Distancia entre surcos (m) | Distancia entre plantas (m) | Densidad de siembra (plantas/ha)* |
|----------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| D1       | 0,7                        | 0,2                         | 142.857                           |
| D2       | 0,7                        | 0,1                         | 285.714                           |
| D3       | 0,6 en surco doble a 0,1   | 0,1                         | 666.666                           |

\*Arreglo espacial con dos plantas por sitio.  
Fuente: Elaboración propia

El experimento se realizó en fincas de productores de cuatro subregiones del Cauca: norte, centro, macizo y sur, en los municipios de Bolívar, La Vega, Silvia, y Totoró, con altitudes promedio de 2.673, 2.306, 2.334 y 2.700 m s. n. m., respectivamente (figura 3.1).

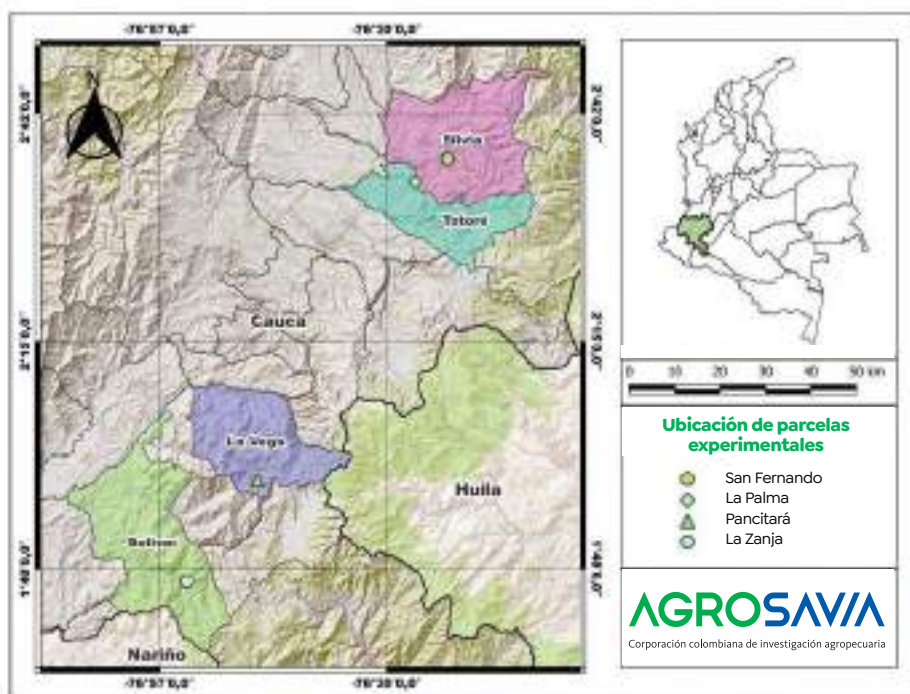


**Figura 3.1.** Ubicación de los experimentos en las subregiones norte, centro, macizo y sur del departamento del Cauca, en los municipios Bolívar, La Vega, Silvia y Totoró.

Fuente: Elaboración propia

## Manejo agronómico

Se utilizó el cultivar Blanca de Jericó porque es el material genético comercial más usado en el departamento del Cauca (García-Parra et al., 2020; Montes-Rojas et al., 2018). El ciclo productivo transcurrió entre febrero y agosto de 2023. Quince días antes de la siembra se preparó el lote empleando un motocultor y se incorporaron 1,5 t/ha de cal dolomita y 1,4 t/ha de compostaza (Perkins®). La siembra de la semilla se realizó a chorrillo y 30 días después de la siembra (dds) se llevó a cabo el raleo para ajustar la densidad de plantas. La fertilización se hizo a los 30 y 60 dds con una dosis de 300, 200 y 175 kg/ha de nitrógeno, fósforo y potasio, respectivamente, de acuerdo con estudios previos de fertilización. Después, se aporcó para evitar la pérdida de los fertilizantes y el volcamiento de las plantas.

## Variables evaluadas

Se registró la temperatura mínima, media y máxima, así como la precipitación, radiación, humedad relativa y evaporación mediante una estación meteorológica Vantage Pro2 (Davis Instruments, US). Los ciclos productivos transcurrieron entre febrero y septiembre de 2023.

Al comienzo de la etapa de floración se cuantificó el área foliar por planta (AF) y el área foliar por tercio (AFT) en tres plantas representativas de cada UE. Las muestras se tomaron en esta etapa fenológica porque representa el momento de máxima expansión del aparato fotosintético (García-Parra et al., 2019). Después de que las plantas alcanzaron el punto de madurez fisiológica, se cosecharon tres individuos por UE para evaluar la altura de la planta (ALTURA), la longitud de raíz (LRAIZ), el diámetro basal de tallo (DTALL), el peso fresco de raíz, los tallos y las panojas. Las muestras se secaron a 70 °C durante 24 horas o hasta alcanzar un peso constante, y de esta manera se obtuvo el peso seco de cada órgano de la planta.

Adicionalmente, se cosecharon 20 plantas de cada UE para la evaluación de rendimiento. Las muestras se deshidrataron en un secadero tipo invernadero en Silvia, se trillaron y se registró la producción por planta (PXNP). Después se tamizó el grano en un laboratorio y se registró el peso seco del grano retenido en la malla de 1,7mm (PSG17), 1,4mm (PSG1,4) y 1,0mm (PSG1,0). El rendimiento se calculó por medio de la ecuación 3.1 y el índice de cosecha (IC) con la ecuación 3.2.

$$\text{Rendimiento (t/ha)} = \frac{\text{Producción por planta (PXNP)} * \text{plantas por hectárea}}{1.000.000}$$

### Ecuación 3.1

$$\text{Índice de cosecha (IC)} = \frac{\text{Producción por planta (PXNP)}}{\text{Materia seca total por planta (PSTOT)}}$$

### Ecuación 3.2



## Análisis estadístico

Los análisis estadísticos se llevaron a cabo con el *software* R V 2022.07.0 (R, Core Team). Los datos meteorológicos fueron graficados en valores acumulados por periodos y series de tiempo. Las variables de crecimiento y productividad se sometieron a un análisis de componentes principales (PCA) para identificar aquellas con mayor aporte a la varianza del modelo. Posteriormente, se realizó un análisis de varianza (Anova) de dos vías, con los factores “densidad” y “localidad”. Para esto se empleó la ecuación 3.3.

*Modelo ANOVA = Variable dependiente ~ Densidad\*Localidad*

**Ecuación 3.3**

## Resultados y discusión

### Meteorología

El registro meteorológico permitió identificar diferencias climáticas en las zonas de estudio (figuras 3.2, 3.3 y 3.4). La temperatura, precipitación, evaporación y radiación solar mostraron comportamientos particulares en cada localidad; por ejemplo, durante el ciclo productivo que transcurrió entre febrero y agosto, Totoró presentó el mayor intervalo de temperatura mínima, media y máxima con valores de 6,6, 15,6 y 27,8 °C, respectivamente (figura 3.2). Los valores promedio de temperatura media para las localidades Silvia, La Vega y Bolívar fueron de 13,6, 14,1 y 15,3 °C, respectivamente. La menor temperatura promedio registrada se presentó en Silvia, con 5,8 °C. Se observó una tendencia en el aumento de temperatura entre mayo y junio en todas las localidades, y tres picos de aumento en Silvia, La Vega y Bolívar en febrero, mayo y septiembre.

Los valores promedio de temperatura tuvieron un aumento de hasta 1,6 unidades, superior al promedio histórico (Gobernación del Cauca, 2021). Esto concuerda con los reportes internacionales, en los cuales se afirma que el 2023 ha sido el año más caluroso, ya que hubo un incremento de 1,2 °C en la temperatura mundial respecto al año anterior (Viñas et al., 2024). Todas las localidades presentaron una temperatura promedio dentro del rango óptimo para el cultivo de quinua, que se encuentra entre 10 y 15 °C. Sin embargo, en Bolívar y Totoró fueron más frecuentes las oscilaciones entre días fríos y cálidos, con aumentos de temperatura superiores a 20 °C.

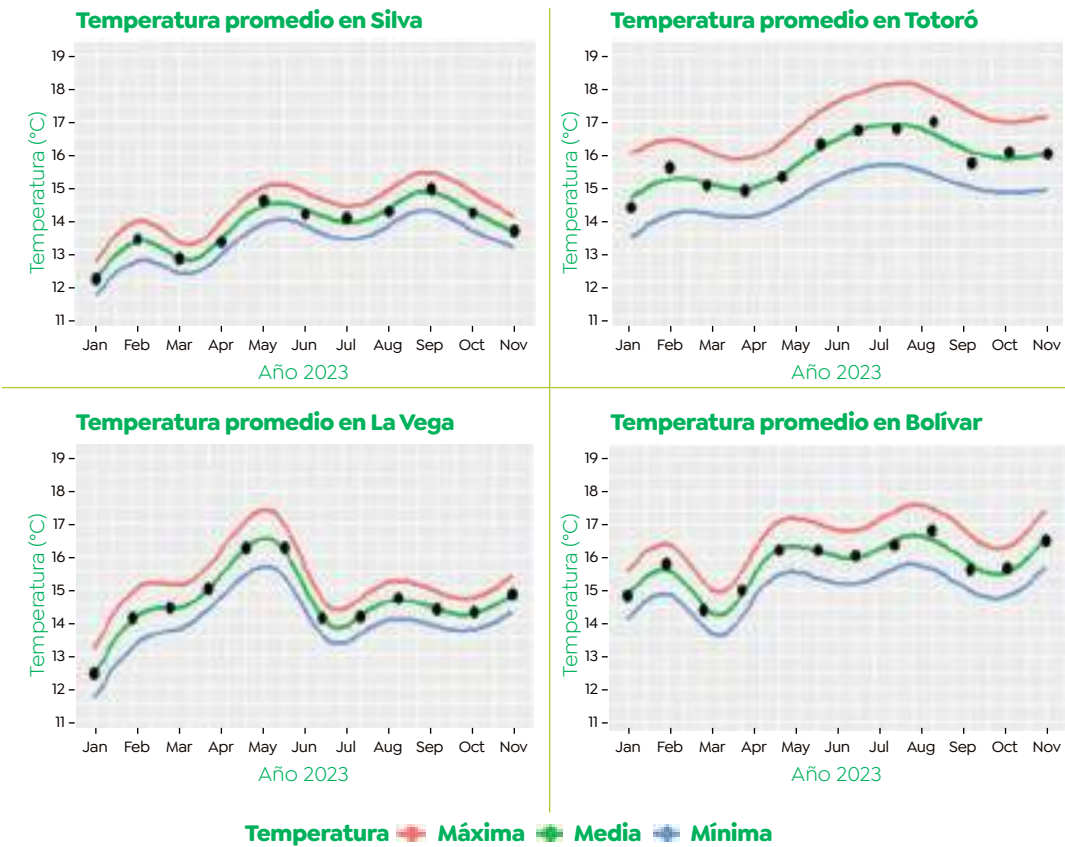


**Figura 3.2.** Registros de temperatura mínima, media y máxima en los municipios de Silvia, Totoró, La Vega y Bolívar, en Cauca, 2023.  
Fuente: Elaboración propia

Aunque las lluvias tuvieron un comportamiento típico bimodal en los trimestres marzo-mayo y octubre-diciembre (figura 3.4), las precipitaciones acumuladas fueron inferiores a los registros históricos (Minambiente, 2023). Los periodos de cultivo acumularon precipitaciones de 522, 681, 807 y 860 mm en Totoró, Silvia, Bolívar y La Vega, respectivamente; en el mismo orden, la evaporación fue de 428, 600, 465 y 555 mm por ciclo de cultivo (figura 3.3). Es importante destacar que todas las localidades, excepto Totoró, contaron con aspersores de agua en las parcelas experimentales; por ende, Totoró fue la localidad con menor suministro de agua. La menor precipitación en las cuatro localidades ocurrió entre junio y septiembre, cuando la evaporación superó la precipitación. Esto se debe a varios factores como el incremento de temperatura y radiación solar que, como se puede observar en las figuras 3.2 y 3.4, aumentaron significativamente en los periodos secos del año.

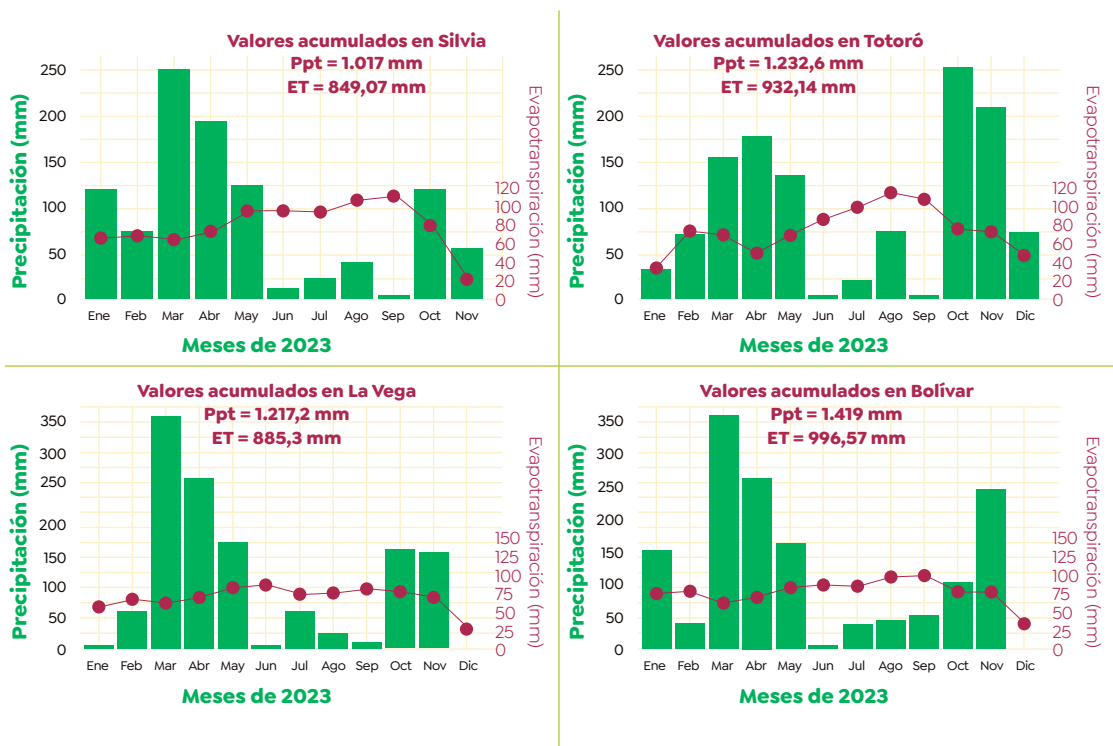


**Figura 3.3.** Precipitación y evaporación registradas en los municipios de Silvia, Totoró, La Vega y Bolívar, en Cauca, 2023.

Fuente: Elaboración propia

Respecto a la radiación solar y la energía acumulada, el valor diario para todas las localidades durante 2023 osciló entre 3 y 4,7 kW/m<sup>2</sup> (figura 3.4). El periodo con mayor radiación solar se dio entre junio y septiembre, meses que coinciden con la época seca que se caracteriza por la baja nubosidad en el departamento del Cauca. El valor acumulado de radiación por ciclo productivo en cada localidad fue de 50.812, 53.750, 65.847 y 69.998 Langley (Ly) en Totoró, Bolívar, La Vega y Silvia, respectivamente. Se puede evidenciar similitud entre las dos primeras y las dos últimas localidades que, a su vez, se encuentran en rangos altitudinales próximos.

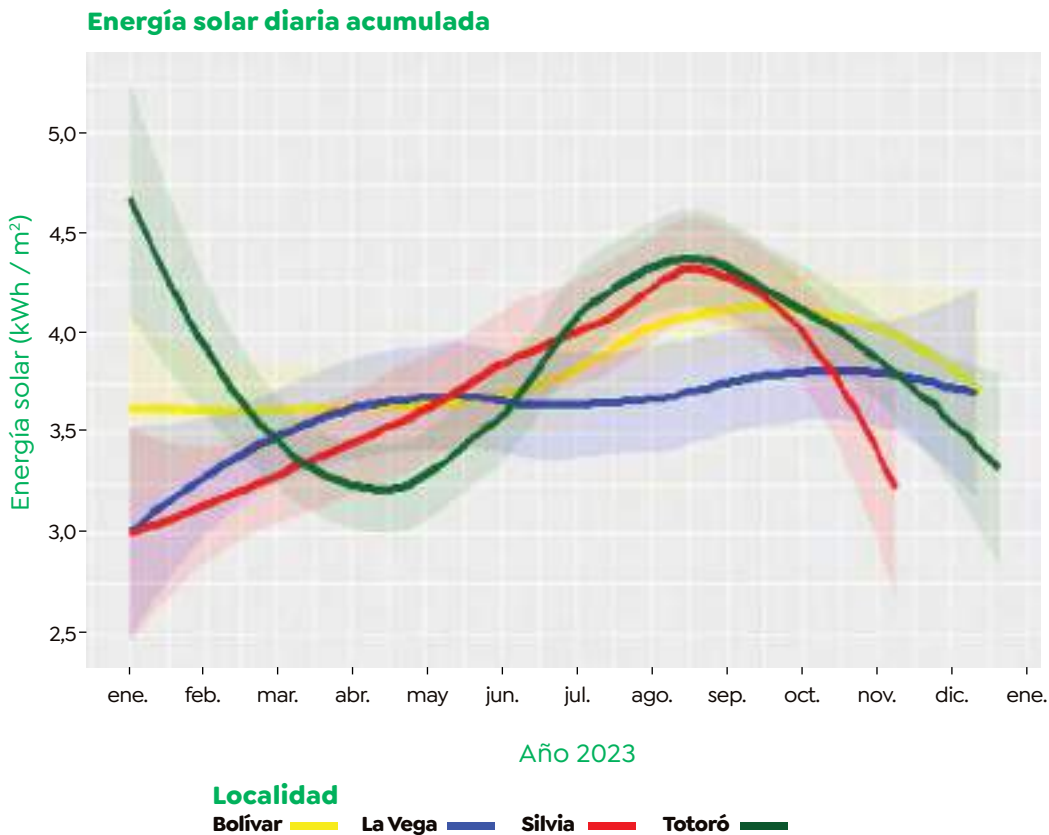


**Figura 3.4.** Energía solar diaria en series de tiempo registrados en los municipios de Silvia, Totoró, La Vega y Bolívar, en Cauca, 2023.  
Fuente: Elaboración propia



Foto: Carolina Ángel-García

## Área foliar

En general, el área foliar por planta y la densidad poblacional presentaron una relación inversa debido al aumento de la competencia, principalmente por espacio y luz. El AF disminuyó significativamente con el incremento de la densidad poblacional: pasó de 604 a 569 y 272 cm<sup>2</sup> por planta en las densidades D1, D2 y D3, respectivamente (figura 3.5). Estos resultados concuerdan con el reporte de Laouedj et al. (2023), en el cual se indicó que en bajas densidades de siembra hubo mayor área foliar por planta. Respecto al AFT, se observó que en D3 las plantas no presentaron hojas en el tercio inferior y la proporción de hojas en el tercio superior incrementó en función de la densidad poblacional. Esto es importante porque indica el volumen, la capacidad de ramificación y la disposición de las hojas de la planta en espacios que garantizan mayor exposición a la luz solar en condiciones de competencia intraespecífica alta (Laouedj et al., 2023).

El área foliar determina la producción por planta debido a la capacidad para realizar fotosíntesis, pero también está directamente relacionada con el contenido de nitrógeno foliar (González et al., 2018). Según la investigación de Erazzú et al. (2016), los cultivos con alta densidad de siembra (558.659 plantas/ha) producen plantas con menor espesor de la lámina foliar, menor concentración de nitrógeno y, en consecuencia, son menos productivas que las plantas cultivadas en bajas densidades de siembra (86.956 plantas/ha). Sin embargo, varias investigaciones afirman que la aplicación desmesurada de fertilizantes estimula el desarrollo de follaje en exceso, pero no mejora la productividad del grano (García-Parra et al., 2017; García-Parra et al., 2019).



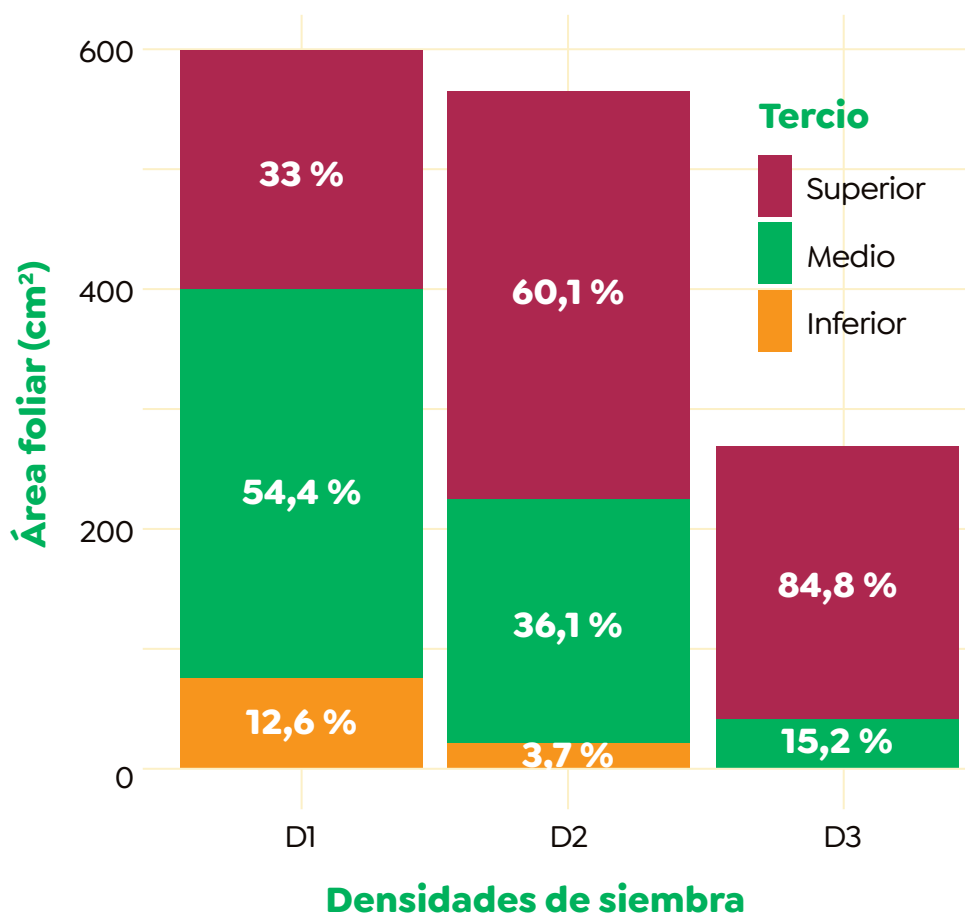


**Figura 3.5.** Área foliar y distribución por tercio de la planta de quinoa cultivada en D1: 142.857; D2: 285.714; D3: 666.666 plantas/ha.

Fuente: Elaboración propia

Por el contrario, el índice de área foliar (IAF), que se define como el cociente entre el área foliar y el área de terreno destinado a cada planta según la distancia de siembra, incrementó con la densidad poblacional y se obtuvo un máximo de IAF de 1,81 en 666.666 plantas/ha (figura 3.6). Estos datos concuerdan con otras investigaciones que reportan valores de IAF entre 0,42 y 3,74 en variedades como Blanca de Yanamuyu, Surumi, Forrajera, Real Blanca, Toledo Rojo, Pisankalla, Belén, Pandela, Jiwaki, Higanda, Chucapaca, Kirimi y Tunkahuan (Mamani Ochoa, 2006; Palma Ponce, 2007).

En la quinua, la cantidad y distribución del área foliar por unidad de área de suelo alcanza una relación máxima de 1:4, lo que significa que el desarrollo foliar máximo puede ser cuatro veces más el área del suelo (Mamani Ochoa, 2006; Palma Ponce, 2007). Esta respuesta depende del porte y la arquitectura de cada variedad. La intersección gráfica entre el área de suelo y el área foliar por planta se observó a una densidad poblacional de 187.000 plantas/ha (figura 3.6). Este umbral señala el punto en el cual el área foliar es proporcional al área de suelo disponible (relación 1:1), lo cual sugiere que un incremento en la población más allá de este valor marca el inicio de la competencia entre plantas. Mientras que una disminución en la densidad poblacional indica una subutilización del espacio y, por ende, un menor rendimiento del cultivo.

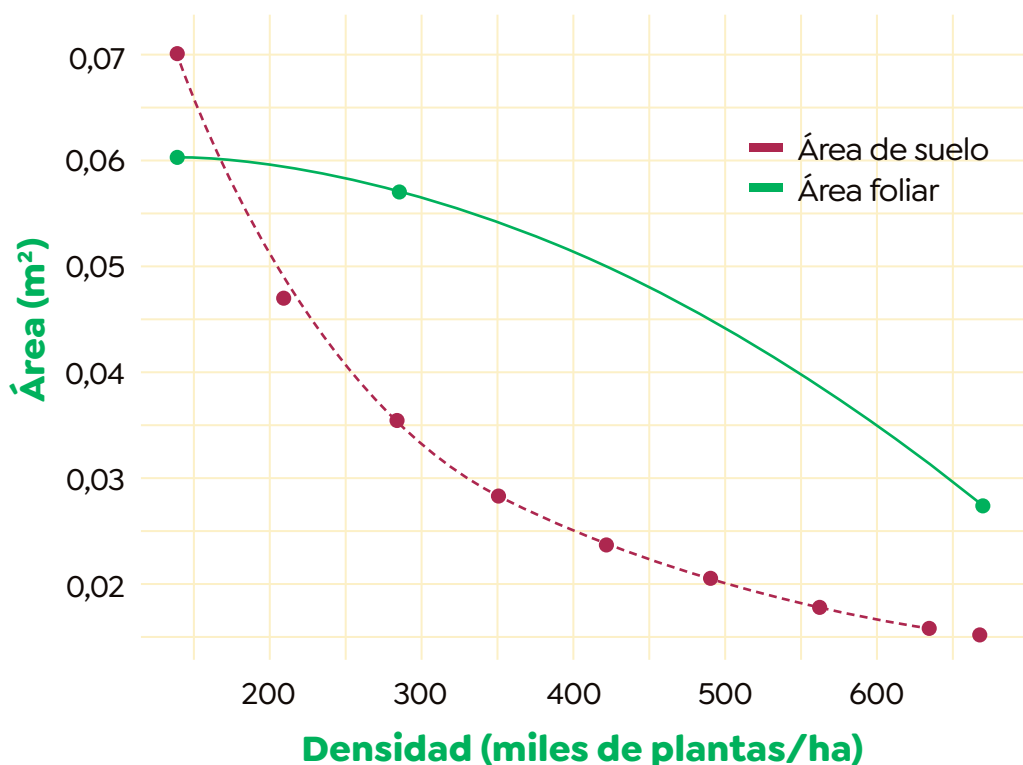


**Figura 3.6.** Área foliar y área de suelo por planta según la densidad de siembra.

Fuente: Elaboración propia

## Análisis de componentes principales para variables medidas en cosecha

Se analizaron 12 variables de crecimiento y productividad (figura 3.7). Los dos primeros componentes representan el 60,9% de la variación de los datos; sin embargo, la primera dimensión fue mayor, con el 44,4% de la varianza total. Las variables con mayor contribución al modelo fueron DTALL, PSTOT, PFTOT, PXNP y PSG14, debido a la calidez del color.

### PCA - Crecimiento y calidad de producción

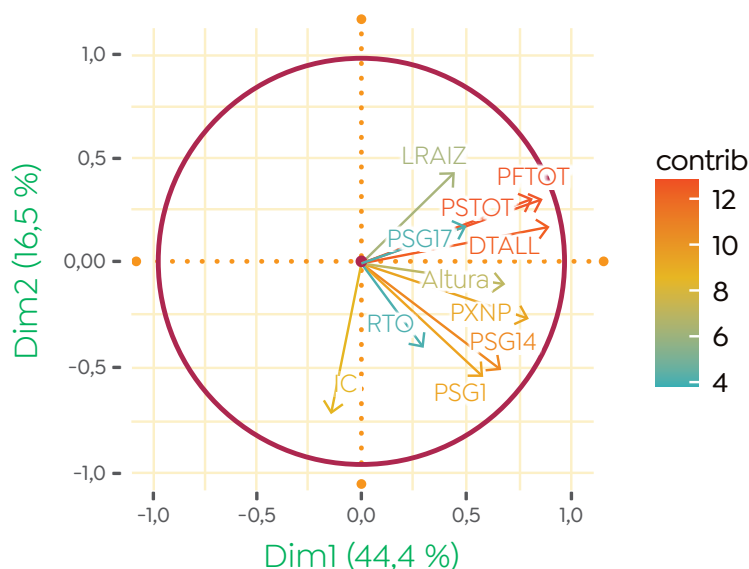


**Figura 3.7.** Análisis de componentes principales de las variables LRAIZ: longitud de raíz; PFTOT: peso fresco total por planta; PSTOT: peso seco total por planta; DTALL: diámetro basal del tallo; PSG17: peso seco del grano de calibre 1,7 mm; PSG14: peso seco del grano de calibre 1,4 mm; PSG1: peso seco del grano de calibre 1 mm; PXNP: producción por planta; RTO: rendimiento del cultivo; IC: índice de cosecha; Altura: altura de la planta.

Fuente: Elaboración propia



Foto: Carolina Ángel-García

## Crecimiento de las plantas

El crecimiento de las plantas disminuyó a medida que incrementó la densidad poblacional (figura 3.8). La materia seca pasó de 81,58 a 66,72 y 46,34 g/planta entre D1, D2 y D3, respectivamente. Sin embargo, los valores porcentuales de materia seca en panojas, tallos y raíces se mantuvieron constantes a diferentes densidades poblacionales en el momento de cosecha, con una distribución del 16% del peso seco en raíces, del 28% en tallos y del 56% en panojas.

Hubo una tendencia en la disminución de la altura de las plantas a medida que incrementó la densidad poblacional, aunque esto no representó diferencias significativas (tabla 3.2). Otras variables como diámetro del tallo, peso fresco, peso seco por órgano y producción de semilla presentaron disminuciones significativas de los valores promedio a mayor densidad poblacional.

Estos resultados concuerdan con los reportes de Erazzú et al. (2016) y Laouedj et al. (2023), quienes identificaron que el crecimiento en cuanto a la altura de la planta, el diámetro del tallo y la materia seca se redujo en altas densidades de siembra. Esta respuesta ha sido estudiada en muchos cultivos y se denomina “ley del rendimiento recíproco”, la cual explica la reducción del peso final de cada individuo a medida que aumenta la población y ocurre por la competencia de recursos al convertirse en un factor limitante para el crecimiento y desarrollo (Villalobos et al., 2016).

### Materia seca por órgano en plantas de quinoa

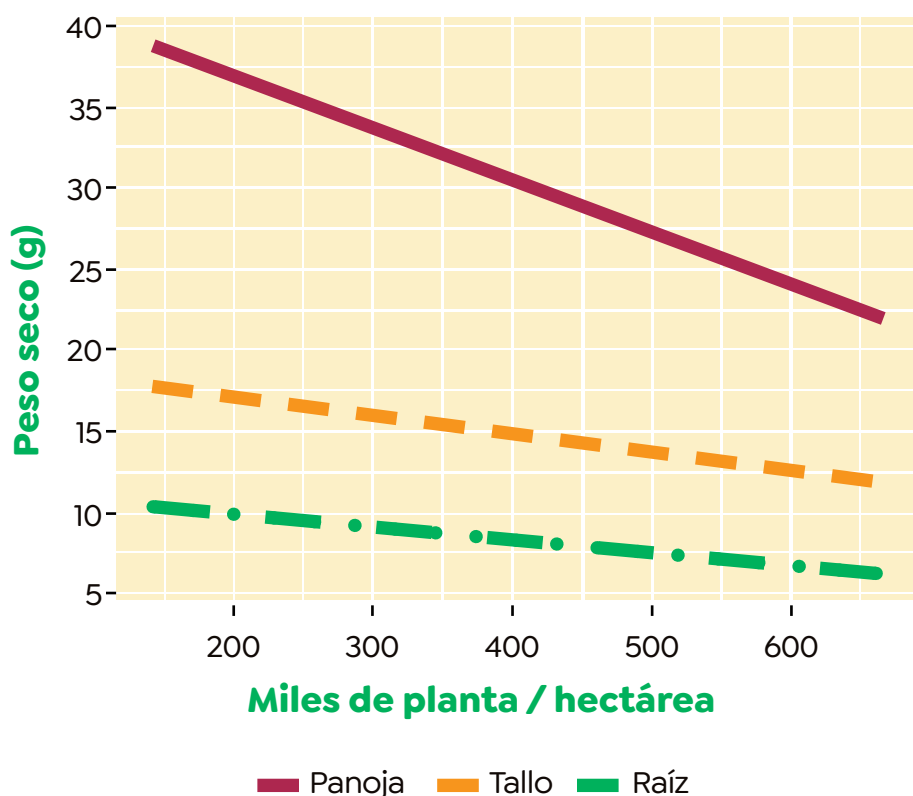


**Figura 3.8.** Materia seca de raíces, tallos y panojas de quinoa cv. Blanca de Jericó, en función a las densidades poblacionales.

Fuente: Elaboración propia





Foto: Daniel Ortiz-González

Los cultivos de quinua han mostrado una alta variabilidad morfológica dependiendo del lugar y del método de cultivo. Para el caso específico del cv. Blanca de Jericó, que ha sido clasificado de porte alto, en Colombia la altura promedio ha fluctuado entre 85 y 210 cm en los departamentos de Boyacá y Nariño (Delgado et al., 2009; Montes-Rojas et al., 2018; Morillo-Coronado et al., 2022). Con las condiciones de temperatura, radiación y precipitación del Cauca, las plantas presentaron una altura promedio de  $140 \pm 26$  cm.

El municipio de Bolívar presentó el mayor promedio de altura de las plantas (tabla 3.2). Sin embargo, el análisis de las demás variables de crecimiento, como peso fresco y materia seca, reveló que las plantas más robustas crecieron en las localidades de Silvia y La Vega (tabla 3.2), las cuales están situadas a más de 2.650 m s. n. m., con las temperaturas medias más bajas (entre 13 y 14 °C) (figura 3.2) y con mayor radiación solar acumulada (figura 3.4). A pesar de que la quinua se adapta a una gran variedad de condiciones ambientales, el clima frío favorece los procesos fisiológicos gracias al régimen de temperatura con el que se llevan a cabo las reacciones químicas para el almacenamiento de fotoasimilados (Bertero, 2003; García-Parra et al., 2020) y a que morfológica-

mente la temperatura puede alterar la elongación de las ramas, el área foliar, la altura de la planta y la duración de los ciclos productivos (García-Parra et al., 2017). En contraste, las fluctuaciones de días cálidos y días fríos pudieron afectar el crecimiento y desarrollo de las plantas en Totoró y Bolívar, debido a la inhibición de la fotosíntesis, a las variaciones en la conductancia estomática, la fluorescencia en la clorofila e incluso la desnaturalización de las membranas celulares (García-Parra et al., 2020). A su vez, las plantas de Totoró crecieron menos en relación con la acumulación de biomasa y materia seca por planta (tabla 3.2). Este resultado se obtuvo como respuesta a la baja disponibilidad hídrica en esta localidad y a las condiciones de menor radiación solar acumulada, las cuales inciden en el crecimiento y en la producción de cultivos (Hosseini Hosseini et al., 2023).

**Tabla 3.2.** Pruebas comparativas de promedio para las variables de crecimiento por densidad de siembra y localidad

| Factor*   | Niveles | Peso fresco de la planta (g) | Peso seco de la planta (g) | Altura de la planta (cm) | Longitud de la raíz (cm) | Diámetro del tallo (mm) |
|-----------|---------|------------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Densidad  | D1      | 142,27 <sup>a</sup>          | 81,59 <sup>a</sup>         | 143,64 <sup>ns</sup>     | 26,96 <sup>a</sup>       | 11,21 <sup>a</sup>      |
|           | D2      | 122,02 <sup>b</sup>          | 66,73 <sup>b</sup>         | 140,35 <sup>ns</sup>     | 26,94 <sup>a</sup>       | 10,71 <sup>a</sup>      |
|           | D3      | 75,26 <sup>c</sup>           | 46,34 <sup>c</sup>         | 135,66 <sup>ns</sup>     | 23,98 <sup>b</sup>       | 9,03 <sup>b</sup>       |
| Localidad | Bolívar | 111,39 <sup>a</sup>          | 62,16 <sup>b</sup>         | 157,77 <sup>a</sup>      | 24,08 <sup>bc</sup>      | 10,16 <sup>b</sup>      |
|           | La Vega | 131,24 <sup>a</sup>          | 76,83 <sup>a</sup>         | 133,38 <sup>c</sup>      | 29,67 <sup>a</sup>       | 10,65 <sup>b</sup>      |
|           | Silvia  | 124,37 <sup>a</sup>          | 76,25 <sup>a</sup>         | 147,70 <sup>b</sup>      | 26,29 <sup>b</sup>       | 11,79 <sup>a</sup>      |
|           | Totoró  | 80,14 <sup>b</sup>           | 38,61 <sup>c</sup>         | 116,77 <sup>d</sup>      | 23,64 <sup>c</sup>       | 7,93 <sup>c</sup>       |

Nota: Letras disímiles indican diferencias estadísticamente significativas según las pruebas de Duncan  $p<0,05$ . \* D1:142.857, D2:285.714 y D3:666.666 plantas/ha.  
Fuente: Elaboración propia

## Efectos de la densidad sobre la producción

La producción de semilla por planta puede oscilar entre 5 y 80,6 g, dependiendo del cultivar, las distancias de siembra y la fertilización del cultivo de quinua (Sellami et al., 2020). En esta investigación, la producción de semilla por planta tuvo un comportamiento similar al crecimiento vegetativo, en el cual la variable “respuesta” se redujo a medida que incrementó la densidad poblacional (figura 3.9). Se obtuvo una producción de 19, 14 y 11 g/planta en las densidades D1, D2 y D3, respectivamente (tabla 3.3). Por el contrario, la producción por área aumentó de 2,74 a 4,11 y 6,94 t/ha en D1, D2 y D3, respectivamente. Estos resultados fueron superiores a los rendimientos promedio nacionales que han fluctuado entre 0,6 y 2 t/ha (MADR, 2019) y concuerdan con los reportes de Sellami et al. (2020), los cuales registraron en su revisión sistemática un rendimiento que varía de 0 a 7,8 t/ha.

Es común que los productores asocien plantas vigorosas en bajas densidades de siembra con una buena producción. No obstante, este estudio demostró que, aunque en altas densidades de siembra se generan plantas menos robustas, se obtiene un rendimiento del cultivo significativamente mayor (figura 3.9, tabla 3.3) siempre y cuando se suplan los requerimientos nutricionales.



Foto: Daniel Ortiz-González

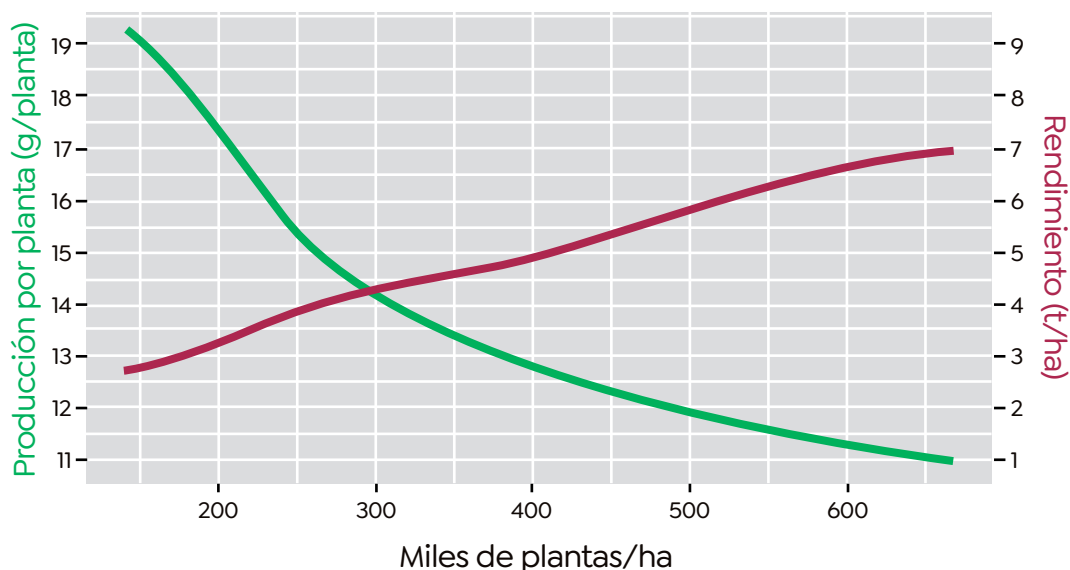


**Figura 3.9.** Producción por planta y área según la densidad poblacional de quinua cv. Blanca de Jericó.

Fuente: Elaboración propia

El arreglo espacial comúnmente empleado en los cultivos comerciales de los municipios donde se establecieron las parcelas experimentales es de 0,8 x 0,4 m de distancia entre surcos y entre plantas, con 3 plantas por sitio que equivalen a 93.750 plantas/ha y las cuales producen aproximadamente 1 t/ha. Esta investigación demostró que con una densidad de siembra de 142.857 plantas/ha y con fertilización 300, 200 y 175 de N, P y K se puede aumentar hasta 1,7 veces el rendimiento (tabla 3.3). Además, al incrementar la densidad de siembra a 666.666 plantas/ha con la misma dosis de fertilización, aumentó 6,9 veces el rendimiento del cultivo, lo cual demuestra un mejor aprovechamiento de los recursos como suelo, agua, luz y nutrientes. Estos resultados concuerdan con la investigación realizada por Rabbani et al. (2022), en la que se reporta un aumento del rendimiento hasta de 5,08 t/ha, con una densidad de siembra de 600.000 plantas/ha; pero difieren de los resultados conseguidos por Cruz et al. (2021), quienes obtuvieron un rendimiento de 5,28 t/ha al cultivar 65.500 plantas/ha. Estas diferencias se obtienen por el material genético usado, las condiciones climáticas y el manejo agronómico del cultivo, especialmente por la fertilización, ya que, a mayores densidades de siembra, mayor cantidad de nutrientes demanda el cultivo.

Totoró fue la localidad con menor rendimiento del cultivo (2,45 t/ha) y fue inferior en un 108 %, 139 % y 92 % en comparación con Silvia, La Vega y Bolívar, respectivamente. A pesar de que la quinua es una especie tolerante a condiciones extremas de sequía (Lin & Chao, 2021), en esta investigación, la baja disponibilidad del recurso hídrico en Totoró (522 mm de precipitación durante el ciclo productivo) y la sequía que se presentó en junio de 2023 expusieron a las plantas de Blanca de Jericó a un estrés hídrico durante la etapa de floración, lo cual redujo significativamente el rendimiento del cultivo. Se ha afirmado que la quinua es especialmente sensible a la carencia de agua en las etapas de prefloración, floración y grano lechoso (Garrido et al., 2013). Asimismo, la radiación solar de esta localidad fue un factor que limitó la producción, porque esta especie altamente demandante de este recurso para sus procesos fisiológicos que contribuyen a un mejor llenado del grano (Cruz et al., 2021; González et al., 2018).

El IC, que se define como la proporción de masa seca que se acumula en los órganos cosechables en relación con el peso seco de la planta, no mostró diferencias significativas entre localidades (tabla 3.3), pero sí entre las densidades de siembra, aunque no se identificó un patrón claro. La asignación de biomasa para la producción de granos osciló entre el 23 % y el 28 % y distribución de biomasa a los diferentes órganos como raíz, tallo, panojas y granos fueron constantes en las diferentes densidades de siembra (tablas 3.2 y 3.3). Por lo tanto, se asumió que esta respuesta estuvo más asociada a un carácter genético propio del cultivar Blanca de Jericó.

De acuerdo con los datos obtenidos, no se identificó la densidad de siembra óptima para alcanzar el máximo potencial del cultivo, porque no hubo disminución del rendimiento con el incremento poblacional (tabla 3.3). Son consistentes las investigaciones en el cultivo de la quinua que muestran que existe un incremento del rendimiento con mayores densidades de siembra siempre y cuando se suplan las necesidades nutricionales del cultivo. En contraste, existen estudios en los que se han demostrado que, si no hay fertilización o es deficiente, el incremento poblacional produce menos semilla, ya que se convierte en un factor limitante (Cruz et al., 2021; Eisa et al., 2018; Erazzú et al., 2016; García et al., 2020; Oustani et al., 2023; Wali et al., 2022).



**Tabla 3.3.** Pruebas comparativas de promedio para las variables de producción y calidad de cosecha por densidad de siembra y localidad

| Factor*   | Niveles | PXNP               | PSG1,0 (%)        | PSG1,4 (%)         | PSG1,7 (%)         | IC                 | RTO                |
|-----------|---------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Densidad  | D1      | 19,17 <sup>a</sup> | 6,48 <sup>b</sup> | 65,17 <sup>b</sup> | 28,35 <sup>a</sup> | 0,28 <sup>a</sup>  | 2,74 <sup>c</sup>  |
|           | D2      | 14,37 <sup>b</sup> | 6,73 <sup>b</sup> | 74,71 <sup>a</sup> | 18,56 <sup>b</sup> | 0,23 <sup>b</sup>  | 4,11 <sup>b</sup>  |
|           | D3      | 10,96 <sup>c</sup> | 8,23 <sup>a</sup> | 77,86 <sup>a</sup> | 13,91 <sup>c</sup> | 0,25 <sup>ab</sup> | 6,94 <sup>a</sup>  |
| Localidad | Bolívar | 15,14 <sup>b</sup> | 8,43 <sup>b</sup> | 87,09 <sup>a</sup> | 4,48 <sup>c</sup>  | 0,28 <sup>ns</sup> | 4,70 <sup>b</sup>  |
|           | La Vega | 18,94 <sup>a</sup> | 5,97 <sup>c</sup> | 55,33 <sup>c</sup> | 38,70 <sup>a</sup> | 0,24 <sup>ns</sup> | 5,87 <sup>a</sup>  |
|           | Silvia  | 17,58 <sup>a</sup> | 5,47 <sup>c</sup> | 65,07 <sup>b</sup> | 29,46 <sup>b</sup> | 0,26 <sup>ns</sup> | 5,10 <sup>ab</sup> |
|           | Totoró  | 6,28 <sup>c</sup>  | 9,56 <sup>a</sup> | 86,58 <sup>a</sup> | 3,86 <sup>c</sup>  | 0,22 <sup>ns</sup> | 2,45 <sup>c</sup>  |

Nota: Letras disímiles indican diferencias estadísticamente significativas según la prueba comparativa de promedios de Duncan,  $p<0,05$ . Valores promedio de PXNP: producción por planta; PSG1,0: peso seco del grano en malla de 1 mm; PSG1,4: peso seco del grano en malla de 1,4 mm; PSG1,7: peso seco del grano en malla de 1,7 mm; IC: índice de cosecha; RTO: rendimiento del cultivo para los efectos principales de densidad y localidad.

Fuente: Elaboración propia

Respecto a la distribución granulométrica de la cosecha, el mayor porcentaje de grano en los tres tratamientos se obtuvo en la malla de 1,4 mm de diámetro, seguida de 1,7 mm y de 1 mm, respectivamente (figura 3.10). La proporción de grano grande se redujo en la medida en que se aumentó la densidad de siembra. Se obtuvieron proporciones de 29 %, 19 % y 14 % en D1, D2 y D3, respectivamente. Aunque la proporción de grano con calibre superior a 1,7 mm fue menor en D3, la cantidad en toneladas fue un 25 % mayor, comparada con D1. Además, se identificó que Silvia y La Vega fueron las localidades con mejor calidad de grano en términos porcentuales para grano con calibre superior a 1,7 mm (tabla 3.3).

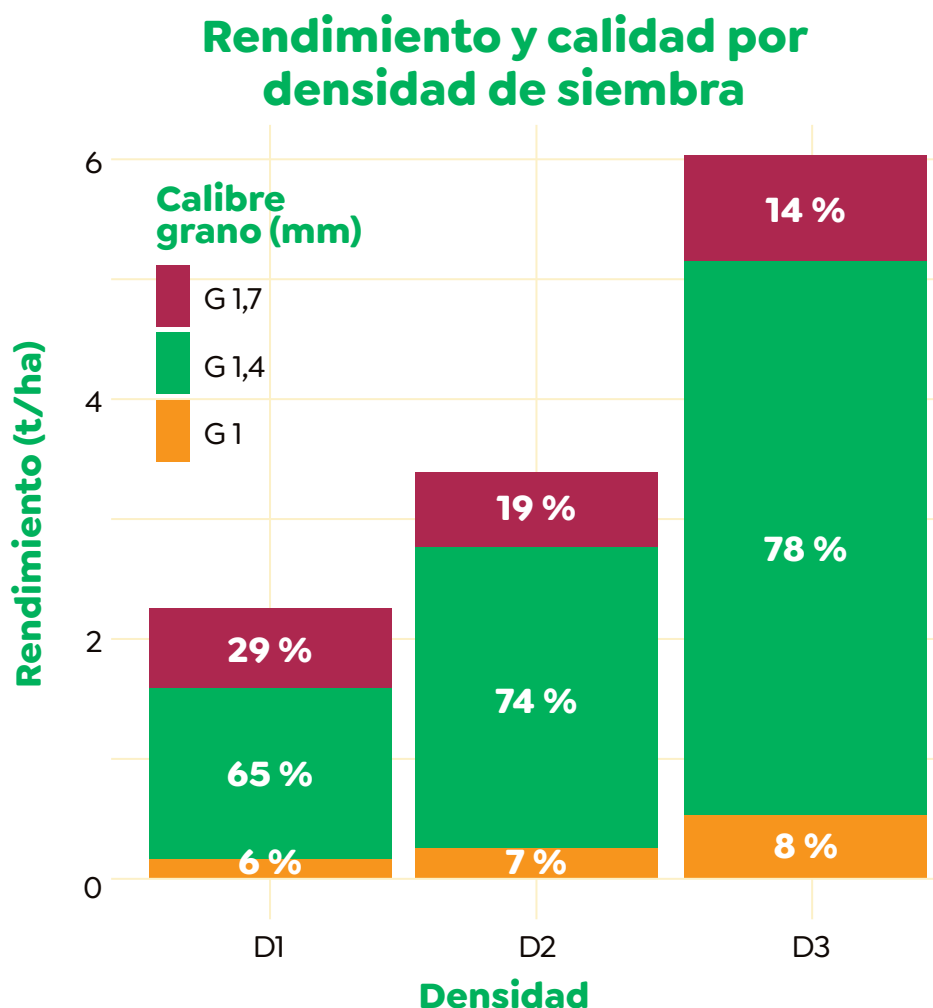


**Figura 3.10.** Rendimiento (t/ha) y porcentaje por tamaño de grano en D1: 142.857; D2: 285.714; D3: 666.666 plantas/ha.

Fuente: Elaboración propia

El cultivo de quinoa presentó plasticidad morfológica como respuesta a la competencia por espacio y recursos, al modificar su arquitectura, número de ramificaciones, cantidad de panojas y duración del ciclo productivo (García-Parra et al., 2020). Con densidades de siembra bajas, las plantas tienden a ramificarse, mientras que, con densidades altas, las plantas producen un tallo con una única panoja que madura de forma homogénea (Gómez & Aguilar, 2016; Spehar & Da Silva Rocha, 2009).

Para el caso de la quinua, el número de panojas es importante para la cosecha, porque en plantas con varias inflorescencias es posible encontrar glomérulos en diferentes etapas, como preanthesis, anthesis, llenado de fruto e incluso granos germinados por las altas precipitaciones (Montes-Rojas et al., 2018). Esto implica que el productor realice varios cortes de panojas para evitar la pérdida de grano, lo cual aumenta los costos de producción. La otra alternativa consiste en cosechar el cultivo completo cuando un porcentaje significativo de plantas haya alcanzado la madurez de cosecha; esto hace que una parte de las panojas contenga granos inmaduros, lo cual afecta la calidad por tamaño de grano. Además, el hábito de ramificación también representa un desafío, porque el exceso de follaje y tallos lignificados con inflorescencias puede comprometer la funcionalidad de los equipos agrícolas para la cosecha y trilla. Por esto, se prefieren fenotipos con tallos delgados y una única panoja (Gómez & Aguilar, 2016) y la manera de conseguirlo es mediante el aumento de las densidades poblacionales.

## Conclusiones

La densidad de siembra influye en la arquitectura, el rendimiento y el tamaño de grano en las plantas de quinua del cv. Blanca de Jericó. En bajas densidades poblacionales, las plantas son más robustas y contienen mayor biomasa, mientras que en densidades altas producen un único tallo principal y el área foliar se concentra en la parte superior. Con la misma dosis de fertilización, el cultivo con 147.587 plantas/ha pasó de producir 2,74 t/ha a 6,94 t/ha con 666.666 plantas/ha. En cuanto a la calidad del grano, a pesar de que en la mayor densidad de siembra el porcentaje de grano grande se redujo significativamente, la cantidad en toneladas por hectárea fue mayor. Se evidenció que la densidad de siembra es una herramienta técnica útil para incrementar el rendimiento y la calidad del grano del cv. Blanca de Jericó en la región Andina del Cauca, siempre y cuando se suministre el agua y los nutrientes que el cultivo requiere. De esta manera, la región representa un gran potencial para la producción de este grano en el país.

# Referencias

- Alandia, G., Rodríguez, J. P., Jacobsen, S. E., Bazile, D., & Condori, B. (2020). Global expansion of quinoa and challenges for the Andean region. *Global Food Security*, 26, 100429. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100429>
- Bertero, H. D. (2003). Response of developmental processes to temperature and photoperiod in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Reviews International*, 19(1-2), 87-97. <https://doi.org/10.1081/FRI-120018870>
- Bastos, L. M., Carciocchi, W., Lollato, R. P., Jaenisch, B. R., Rezende, C. R., Schwalbert, R., Vara Prasad, P. V., Zhang, G., Fritz, A. K., Foster, C., Wright, Y., Young, S., Bradley, P., & Ciampitti, I. A. (2020). Winter wheat yield response to plant density as a function of yield environment and tillering potential: a review and field studies. *Frontiers in Plant Science*, 11, 54. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00054>
- Cruz Díaz, I., Chaparro, H., Díaz, L., & Romero-Guerrero, G. A. (2021). Effect of sowing density on the agronomic performance of Quinoa Nariño cultivar and the transmissivity of photosynthetically active radiation in the high tropics of Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 74(2), 9491-9497. <https://repository.udca.edu.co/handle/11158/4060>
- Delgado, P. A., Palacios, C. J. & Betancourt, G.C. (2009). Evaluación de 16 genotipos de quinua dulce (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el municipio de Iles, Nariño (Colombia). *Agronomía Colombiana*, 27(2), 159-167.
- Eisa, S. S., Abd El Samad, E. H., Hussin, S. A., Ali, E. A., Ebrahim, M., González, J. A., Ordano, M. A., Erazzú, L. E., El Bordeny, N. E., & Abdel-Ati, A. A. (2018). Quinoa in Egypt - plant density effects on seed yield and nutritional quality in marginal regions. *Middle East Journal of Applied Sciences*, 8(2), 515-522
- Erazzú, L. E., González, J. A., Buedo, S. E., & Prado, F. E. (2016). Efectos de la densidad de siembra sobre *Chenopodium quinoa* (quinoa). Incidencia sobre variables morfológicas y rendimiento de grano en la variedad CICA cultivada en Amaicha del Valle (Tucumán, Argentina). *Lilloa*, 53(1), 12-22.
- García-Parra, P. M., García-Molano, J. F., Melo Ortiz, D. I., & Deaquiz Oyola, Y. A. (2017). Respuesta agronómica de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) variedad dulce de Soracá a la fertilización en Ventaquemada-Boyacá. *Cultura Científica*, 15, 66-77.
- García-Parra, M., García-Molano, J. & Deaquiz-Oyola, Y. (2019). Physiological performance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under agricultural climatic conditions in Boyacá, Colombia. *Agronomía Colombiana*, 37(2), 114-152. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v37n2.76219>
- García-Parra, P. M., Stechauner-Rohringer, R. R., Garcia-Molano, M. J., & Ortiz-González, G. D. (2020). Analysis of the growth and morpho-physiological performance of three cultivars of Colombian quinoa grown under a greenhouse. *Revista de Ciencias Agrovetenarias*, 19(1), 73-83. <https://doi.org/10.5965/22381171912020073>
- Garrido, M., Silva, P., Silva, H., Muñoz, R., Baginsky, C., & Acevedo, E. (2013). Evaluación del rendimiento de nuevos genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo diferentes disponibilidades hídricas en ambiente mediterráneo. *Idesia*, 31(2), 96-76. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292013000200010>
- Gobernación del Cauca. (2021). *Perfil departamento del Cauca*. <https://www.cauca.gov.co/Dependencias/OficinaAsesoradePlaneacion/InformacioneIndicadores/Perfil%20Departamento%20del%20Cauca.pdf>
- Gómez, L., & Aguilar, E. (2016). *Guía de cultivo de la quinua* (2.a ed.). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO); Universidad Nacional Agraria La Molina.

- González, J., Erazzú, L., Buedo, S., & Prado, F. (2018). Efecto de la densidad de siembra sobre la actividad fotosintética en *Chenopodium quinoa* var. CICA ("quinoa") en el noroeste argentino. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 53(1), 21-29. <https://doi.org/10.31055/1851.2372.v53.n1.19860>
- Hosseini Hosseini, S., Rahemi Karizaki, A., Nakhzari Moghadam, A., Biabani, A., & Taliei, F. (2023). Light interception and radiation use efficiency in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Crop Science*, 63(4), 2438-2449. <https://doi.org/10.1002/csc2.20963>
- Jacobsen, S. E., Jørgensen, I., & Stølen, O. (1994). Cultivation of quinoa (*Chenopodium quinoa*) under temperate climatic conditions in Denmark. *The Journal of Agricultural Science*, 122(1), 47-52. <https://doi.org/10.1017/S0021859600065783>
- Laouedj, H., Kherraz, K., Touati, S., Messoudi, M., Amara, D. G., & Kadour, A. (2023). Effect of planting density on *Chenopodium Quinoa* Willd growth and yield in desert areas. *NeuroQuantology*, 21(1), 1002-1011.
- Lin, P.-H., & Chao, Y.-Y. (2021). Different drought-tolerant mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and djulis (*Chenopodium formosanum* Koidz.) based on physiological analysis. *Plants*, 10(11), 2279. <https://doi.org/10.3390/plants10112279>
- Mamani Ochoa, Y. (2006). *Dinámica de crecimiento del cultivo de la quinua (Chenopodium quinoa Willd.) con relación a su expansión foliar* [Tesis doctoral, Universidad Mayor de San Andrés]. <https://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/10840>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2019). *Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA)*. <https://www.datos.gov.co/Agricultura-y-Desarrollo-Rural/Evaluaciones-Agropecuarias-Municipales-EVA/2pnw-mmge>
- Montes-Rojas, C., Burbano-Catuche, G. A., Muñoz-Certuche, E. F., & Calderón-Yonda, Y. (2018). Descripción del ciclo fenológico de cuatro ecotipos de (*Chenopodium quinoa* Willd.), en Puracé-Cauca, Colombia. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 16(2), 26-37. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(16\)26-37](https://doi.org/10.18684/BSAA(16)26-37)
- Morillo-Coronado, A. C., Manjarrés-Hernández, E. H., Reyes-Ardila, W. L., & Morillo-Coronado, Y. (2022). Phenotypic intrapopulation variation in quinoa from the department of Boyacá, Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 25(1). <http://doi.org/10.31910/rudca.v25.n1.2022.1579>
- Oustani, M., Mehda, S., Halilat, M. T., & Chenchouni, H. (2023). Yield, growth development and grain characteristics of seven Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes grown in open-field production systems under hot-arid climatic conditions. *Scientific Reports*, 13, 1991. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-29039-4>
- Palma Ponce, G. A. (2007). *Comparación agrofisiológica de diez variedades de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) y las consecuencias del raleo en los componentes del rendimiento y la calidad del grano, en el altiplano norte de Bolivia* [Tesis de pregrado, Universidad Mayor de San Andrés]. <http://hdl.handle.net/123456789/5108>
- Rabbani, B., Karimi, G., Khoramivafa, M., Saeidi, M., Boroomandan, P., Bagheri, M., & Zarei, L. (2022). Effect of sowing date and plant density on seed yield and yield attributes of quinoa (*Chenopodium quinoa*) genotypes. *Iran Agricultural Research*, 40(2), 121-133.
- Ren, G., Teng, C., Fan, X., Guo, S., Zhao, G., Zhang, L., Liang, Z., & Qin, P. (2023). Nutrient composition, functional activity and industrial applications of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Chemistry*, 410, 135290. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135290>
- Sellami, M. H., Pulvento, C., & Lavini, A. (2020). Agronomic Practices and Performances of Quinoa under Field Conditions: A Systematic Review. *Plants*, 10(1), 72. <https://doi.org/10.3390/plants10010072>
- Spehar, C., & Da Silva Rocha, J. E. (2009). Effect of sowing density on plant growth and development of quinoa, genotype 4.5 in the Brazilian savannah highlands. *Bioscience Journal*, 25(4), 53-58.



- Van Minh, N., Hoang, D. T., Van Loc, N., & Long, N. V. (2020). Effects of plant density on growth, yield and seed quality of quinoa genotypes under rain-fed conditions on red basalt soil regions. *Australian Journal of Crop Science*, 14(12), 1977-1982. <https://doi.org/10.21475/ajcs.20.14.12.2849>
- Villalobos, F. J., Sadras, V. O., & Fereres, E. (2016). Plant Density and Competition. En F. J. Villalobos, & E. Fereres (Eds.), *Principles of Agronomy for Sustainable Agriculture* (pp. 159-168). Springer.
- Viñas, M. J., & Jacobs, P. (2024). *NASA Analysis Confirms 2023 as Warmest Year on Record*. National Aeronautics and Space Administration (NASA). <https://www.nasa.gov/news-release/nasa-analysis-confirms-2023-as-warmest-year-on-record/>
- Wali, A. M., Kenawey, M. K., Ibrahim, O. M., & Abd El Lateef, E. M. (2022). Productivity of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under new reclaimed soil conditions at north-western coast of Egypt. *Bulletin of the National Research Centre*, 46, 38. <https://doi.org/10.1186/s42269-022-00724-0>
- Zhang, D., Sun, Z., Feng, L., Bai, W., Yang, N., Zhang, Z., Du, G., Feng, C., Cai, Q., Wang, Q., Zhang, Y., Wang, R., Arshad, A. Hao, X., Sun, M., Gao, Z., & Zhang, L. (2020). Maize plant density affects yield, growth and source-sink relationship of crops in maize/peanut intercropping. *Field Crops Research*, 257, 107926. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107926>





Foto: Diana Lucía Correa-Moreno

## Capítulo IV

# Agricultura de conservación para la producción sostenible en cultivos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.)

Diana Lucía Correa-Moreno

Elías Carranza-Hernández

Edinson Castillo-López

## Resumen

Este capítulo presenta resultados de investigación de evaluación llevada a cabo en el municipio de Silvia (Cauca) bajo el enfoque Agricultura de conservación (AC) para la reducción de emisiones de gases efecto invernadero (GEI) en el cultivo de quinua a través de la integración de sistemas de labranza de bajo impacto, uso de coberturas vegetales adaptadas a zonas productoras, y el uso eficiente y racional de fuentes fertilizantes para la nutrición del cultivo. Resultados preliminares han permitido el reconocimiento de especies vegetales como Vicia (*Vicia atropurpurea*) y Mostacilla (*Rapistrum rugosum*) con uso potencial como abono verde y cobertura vegetal en cultivos de quinua, y sus ventajas respecto al aporte de N y C al suelo dada su adaptación a la zona, tasa de desarrollo y acumulación de biomasa, y a su dinámica de descomposición bajo las condiciones evaluadas. Por lo tanto, como práctica fundamental en la AC, la utilización de estas especies como abonos verdes contribuye de manera positiva en la acumulación de carbono en el suelo, y el mejoramiento y conservación en el largo plazo de las condiciones de fertilidad del suelo, asociada con la actividad biológica y con propiedades físicas y químicas relacionadas con la aireación, retención de humedad y disponibilidad de nutrientes.

**Palabras clave:** cambio climático, carbono orgánico del suelo, coberturas vegetales, emisiones de GEI, gestión sostenible del suelo.



# Introducción

El creciente interés por la quinua, impulsado por el desarrollo de nuevos mercados, la investigación y la promoción de este cereal como producto de alta calidad nutricional, ha generado el aumento de áreas de producción en la región Andina, a costa de una alta presión sobre los recursos naturales. Esto ha llevado a la utilización de prácticas agrícolas intensivas y a una menor sostenibilidad del sistema de producción (Buckland, 2018; Jacobsen, 2011).

Como respuesta a las actividades antrópicas intensivas, a nivel mundial las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera han experimentado un crecimiento sin precedentes desde el periodo de la Revolución preindustrial, y esto ha contribuido al calentamiento global y al cambio climático (Masson-Delmotte et al., 2021). Se han propuesto varias vías para mitigar el cambio climático, como opciones económicamente eficaces para descarbonizar la atmósfera, entre ellas, las tecnologías para capturar, utilizar y almacenar carbono (C) (CCUS, por sus siglas en inglés), la bioenergía con tecnologías de captura y almacenamiento de C (BECCS, por sus siglas en inglés), y las soluciones basadas en la naturaleza, también



Foto: Diana Lucía Correa-Moreno

conocidas como la solución climática natural (Cerri et al., 2021; Giardin et al., 2021; Griscom et al., 2017; Hanssen et al., 2020; Seddon et al., 2021; Wei et al., 2021).

La agricultura de conservación (AC) es un concepto que apoya la gestión sostenible de la tierra, la protección del medio ambiente y la adaptación y mitigación del cambio climático, mediante la adopción de principios universales por parte de todos los paisajes agrícolas y los sistemas de cultivo (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2016).

Teniendo en cuenta las limitantes de producción en cultivos de quinua a nivel regional y la creciente necesidad de producir a partir de sistemas sostenibles, con bajas emisiones de GEI, y resilientes al cambio climático, es urgente comprender los posibles impactos del calentamiento global en los sistemas de cultivo tradicionales, desarrollar estrategias agrícolas que puedan ayudar a los agricultores a adaptarse a las condiciones cambiantes y garantizar la seguridad alimentaria de las comunidades rurales (Tito et al., 2018; Visscher et al., 2024).

A través del proyecto de investigación “Desarrollo de nuevas recomendaciones tecnológicas para contribuir con la competitividad y sostenibilidad del sector quinuero del departamento del Cauca”, ejecutado por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), con financiación del Sistema General de Regalías (SGR) y de la Gobernación del Cauca, se avanza en la generación de línea base para identificar prácticas de manejo del cultivo de quinua asociadas a la agricultura de conservación. En este capítulo se presenta conceptualización basada en la AC, la cual proporciona elementos para la aplicación de labores en el cultivo de quinua que ayudan a mejorar su productividad, conservar los recursos naturales y aumentar su competitividad en el mercado. Asimismo, se presenta un caso de estudio sobre aproximación de prácticas conservacionistas en el cultivo de quinua, en el cual se comparten avances de investigación que buscan establecer el efecto de prácticas de manejo, como el uso de abonos verdes, la labranza y la fertilización (N+) en el desarrollo del cultivo de quinua, y mitigar los GEI, como contribución al sector en el departamento del Cauca, Colombia.





Foto: Diana Lucía Correa-Moreno

## Agricultura de conservación y mitigación de gases efecto invernadero

La AC es un concepto que promueve la gestión sostenible de la tierra, la protección del medio ambiente y la adaptación y mitigación al cambio climático. Se ha definido como un enfoque ecosistémico para la agricultura y la aplicación de acciones regenerativas de la tierra, utilizando prácticas de base ecológica que se enfocan en tres principios relacionados, los cuales permiten su adaptación a diferentes condiciones y contextos locales de producción (Corsi & Muminjanov, 2019; FAO, 2016).

El sistema de AC establece una espiral de integración y mejora para apoyar la intensificación sostenible de la producción y la prestación de servicios ecosistémicos (Corsi & Muminjanov, 2019; Kassam, 2022). Gran parte de los beneficios de la AC están relacionados con sus efectos positivos sobre el ambiente y el suelo, en comparación con los sistemas convencionales de agricultura intensiva (Derpsch, 2024; Friedrich, 2020; Kassam, 2022; Reicosky, 2020).

El suelo es considerado el reservorio terrestre más grande de C, con un equivalente aproximado de tres veces más de las reservas de C en las coberturas vegetales y dos veces más de las reservas de C en la atmósfera (Lal et al., 2021; Smith et al., 2020). Se estima que las reservas mundiales de C orgánico en el suelo varían entre 1.500 y 2.400 Pg (~5500-8800 Pg de CO<sub>2</sub>) a una profundidad de 0 a 100 cm; por lo tanto, es posible tener un impacto sobre la cantidad de gases y, en especial, en el CO<sub>2</sub> generado hacia la atmósfera y en factores que direccionan el cambio climático, aun con cambios menores en las reservas de C (Cerri et al., 2021; Lal, 2018; Lal et al., 2021; Smith et al., 2020).

Algunos reportes históricos estiman que los suelos cultivados en el mundo han perdido 115-154 Pg de C, y lo han liberado a la atmósfera, por lo cual la restauración de las reservas de C del suelo tendría una importante contribución en la compensación de esas emisiones (Lal, 2018; Sanderman et al., 2017).



Foto: Diana Lucía Correa-Moreno



Ante el reto mundial de producir alimentos para una población que está en aumento y mantener la seguridad alimentaria bajo escenarios de cambio climático, urge el uso de sistemas de producción basados en la gestión del carbono en el suelo. Para lograr la captura de C en el suelo, las prácticas de manejo sostenible deben considerar dos aspectos primordiales: 1. proporcionar entradas abundantes y continuas de C al suelo para incrementar las reservas (incrementar los ingresos de C) y 2. reducir las emisiones de GEI provenientes del suelo (reducir las pérdidas de C) (Cerri et al., 2021).

Existen numerosas prácticas de manejo agropecuario que promueven el aumento de ingreso y la reducción de las pérdidas de C en el suelo. En este sentido, la AC contribuye a la función del suelo como sumidero de carbono, integrando acciones de restauración y mejoramiento de su calidad y salud. Estas acciones incluyen el aporte de materia orgánica, así como la activación de comunidades biológicas diversas que participan en procesos del suelo, los cuales influyen en la acumulación y captura de carbono, y en la regulación de GEI generados hacia la atmósfera.



Foto: Diana Lucía Correa-Moreno

Cerri et al. (2021) consideran que, aunque el suelo puede actuar como fuente de  $\text{CO}_2$  y de otros GEI, su manejo adecuado determina su papel como gran sumidero de  $\text{CO}_2$  atmosférico. Adoptar prácticas de uso y manejo responsable de la tierra, basadas en evidencia científica, puede prevenir las emisiones de C y extraer  $\text{CO}_2$  atmosférico, lo cual permite que el suelo sea una fuente neutra o negativa de emisiones a la atmósfera (Paustian et al., 2016; Smith, 2016). Por lo tanto, es importante entender el concepto de suelos saludables y recarbonizados, que ayudan a la seguridad alimentaria y climática, así como a la preservación de otros servicios ecosistémicos esenciales, como biodiversidad y calidad del agua (Cerri et al., 2021; Horton et al., 2021; Lal, 2004; Lal et al. 2021; Smith et al., 2021).

Aunque la AC ha sido ampliamente discutida y se ha promovido su aplicación en diversos sistemas de producción, su adopción por parte de productores y técnicos todavía es escasa. Esto se debe, principalmente, a que implica la implementación de un sistema de cultivo que muestra beneficios y consolidación en un periodo de 10 a 20 años, durante el cual se presentan al menos 4 fases: inicio (de 0 a 5 años), transición (de 5 a 10 años), consolidación (de 10 a 20 años) y mantenimiento (>20 años de labranza cero continua con cobertura de mantillo en cultivos diversificados) (Derpsch, 2007; Sá, 2014).

Se espera que los beneficios de estas prácticas se reflejen al final de la fase de transición, después de diez años, durante los cuales se producirán cambios importantes que aumenten el potencial agroecológico, los rendimientos y la productividad. En la siguiente fase de consolidación, muchas de las funciones del suelo y los servicios ecosistémicos comenzarán a darse de manera más eficaz, y se observará mayor eficiencia y resiliencia en el sistema de producción agrícola (Andersson & D'Souza, 2014; Thierfelder et al., 2018).



# Principios y prácticas de la agricultura de conservación

La AC es un sistema de producción sostenible, resultado de la interacción de tres principios ecológicos adaptados para reflejar las condiciones y las necesidades locales (FAO, 2016; FAO, 2023; Kassam, 2022), las cuales se muestran a continuación.

## Mínima o nula alteración mecánica del suelo

Este principio se refiere al empleo de prácticas de establecimiento o manejo del cultivo sin intervención o modificación de la condición natural del suelo, mediante el uso de herramientas o maquinaria de bajo impacto. Entre estas prácticas se encuentran: siembra directa, siembra sin labranza, siembra al voleo de semillas, deshierbe sin mecanización, aplicación directa de fertilizantes y operaciones de cosecha con poco tráfico agrícola (Corsi & Muminjanov, 2019).

La siembra directa es la práctica más representativa de la AC, y está relacionada con la agricultura sin labranza y labranza cero. Esta implica la mínima alteración del suelo desde la cosecha del cultivo anterior y el establecimiento de cultivos sin preparación mecánica del suelo. De esta forma, se busca la siembra de semillas dirigidas en el suelo por cada sitio o en chorrillo, depen-





Foto: Diana Lucía Correa-Moreno

diendo del tamaño y usando equipos o herramientas de mínima intervención para apertura de ranuras u hoyos en el suelo. Estos hoyos o ranuras se hacen para depositar las semillas y posteriormente cubrirlas con mantillo o residuos vegetales, sin dejar el suelo descubierto (Derpsch, 2024; FAO, 2016).

Con la implementación de este principio se busca reducir la erosión por uso intensivo de labranza y preservar la materia orgánica del suelo; de esta manera, se ayuda a la captura de carbono y a la reducción de emisiones del  $\text{CO}_2$  que llega a la atmósfera (FAO, 2016). La labranza genera una mayor pérdida de C del suelo a la atmósfera en forma de emisiones de  $\text{CO}_2$ , lo que contribuye al calentamiento global y al cambio climático (Derpsch, 2024; Reicosky & Kassam, 2021).



Foto: Diana Lucía Correa-Moreno

## Cobertura vegetal permanente en el suelo

Con este principio se busca proteger la superficie del suelo mediante prácticas que permitan conservar una cobertura vegetal o mantillo de manera permanente, en al menos el 30 % de la superficie del suelo en el cultivo (Corsi et al., 2019; FAO, 2016). Estas prácticas incluyen el aprovechamiento de residuos provenientes de cosechas anteriores, el control de malezas, o biomasa *ex situ*, y la siembra de cultivos de coberturas en periodos de barbecho, entre la cosecha y la siembra de cultivos comerciales o en épocas de descanso del lote.

Este principio ayuda a mantener una capa protectora de vegetación en la superficie del suelo que lo protege del impacto de los patrones climáticos extremos y a preservar la humedad del suelo; también evita la compactación del suelo y regula y suprime las malezas en el cultivo (FAO, 2016).

## Diversificación de especies en el sistema de cultivo

El objetivo principal de este principio es lograr un equilibrio biológico del cultivo a través de la incorporación en el sistema de producción de otras especies de plantas que permitan obtener beneficios ambientales, económicos y sociales. Para su materialización, se requiere planificar el sistema de producción para incorporar y sembrar nuevas especies que involucren al menos tres tipos de cultivos diferentes, utilizando arreglos espaciales de cultivos en asociaciones (cultivos mixtos), rotaciones o secuencias que comprenden cultivos anuales, transitorios y perennes, incluida una mezcla equilibrada de cultivos leguminosos y no leguminosos, y cultivos de cobertura. Asimismo, los cultivos pueden incluir plantas perennes de corta duración, árboles, arbustos y pastos (Corsi et al., 2019; Derpsch, 2024).

Con la planificación y el diseño de la rotación de cultivos, es posible mejorar las condiciones en el suelo, como acumulación de materia orgánica, buena estructura y mayor diversidad de flora y fauna del suelo, lo cual contribuye al ciclo de nutrientes y a la nutrición de las plantas (FAO, 2016). De igual forma, el uso de sistemas de cultivo diversificados aporta a una mayor variedad en la morfología y composición de las raíces, y estas mejoran la agregación y aireación del suelo y la actividad microbiológica; también beneficia la sanidad de los cultivos mediante la supresión de patógenos, plagas y malezas (Derpsch, 2024).

Teniendo en cuenta las alertas respecto al impacto negativo de la producción intensiva del cultivo de quinua sobre los suelos, los sistemas de producción locales y la agrobiodiversidad, varios autores recomiendan rescatar y emplear prácticas tradicionales para el manejo sostenible del suelo, las cuales, en su mayoría, es-

tán asociadas a principios de la AC (Bedoya-Perales et al., 2018). La rotación de cultivos representa uno de los aspectos fundamentales en la producción de quinua y la conservación del suelo. Esta práctica fue muy utilizada en el pasado; sin embargo, en la actualidad está siendo sustituida por un sistema de agricultura intensiva, con la cual el suelo tiene menos tiempo para recuperar su fertilidad (Bedoya-Perales et al., 2018; FAO y Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agrícola para el Desarrollo [CIRAD], 2015; Mujica et al., 2001).



## Aproximación a prácticas conservacionistas en el cultivo de quinua. Caso de estudio en el departamento del Cauca

En este apartado se presenta la experiencia respecto al empleo de prácticas conservacionistas en el cultivo de quinua. El objetivo es evaluar el efecto de las prácticas de manejo del cultivo, como el uso de abonos verdes, labranza y fertilización (N+), en las emisiones de GEI, bajo las condiciones ambientales y del sistema de producción del cultivo de quinua en el municipio de Silvia, en el departamento del Cauca, Colombia.



El área experimental está ubicada a una altura de 2.706,5 m s. n. m. Tiene clima frío húmedo, con temperatura y precipitación promedio anual de 14°C y 1.869 mm, respectivamente. Los suelos de la zona corresponden principalmente al orden andisol, agrupan las unidades taxonómicas *Typic Hapludands*, *Typic Fulvudands* y *Andic Dystrudepts*, y están ubicados sobre paisaje de montaña volcánica estructural formados a partir de cenizas volcánicas discontinuas que cubren diabasas y basaltos (IGAC, 2009).

A continuación, se detalla la implementación de tratamientos asociados a prácticas conservacionistas evaluadas, con el propósito de que se adapten a las condiciones locales de los sistemas de producción de quinua. De igual forma, se presentan los resultados preliminares del primer año de evaluación, correspondientes al uso potencial de abonos verdes y coberturas vegetales.



Foto: Diana Lucía Correa-Moreno



# Implementación y evaluación de prácticas conservacionistas en el cultivo de quinua

Para la implementación de tratamientos y prácticas conservacionistas, se tuvieron en cuenta tres momentos, de acuerdo con las labores del cultivo:

1. Preparación de suelos: implementación de tratamientos de labranza.
2. Siembra de coberturas vegetales: obtención de biomasa para usar residuos en superficie e incorporarlos al suelo.
3. Siembra y seguimiento del ciclo del cultivo de quinua: aplicación de fertilizantes en dos épocas del ciclo productivo del cultivo de quinua var. Blanca de Jericó.

## Prácticas de labranza

Los tratamientos de labranza evaluados están asociados a labores de preparación del suelo para comenzar el ciclo del cultivo; se ajustan según las características del sistema de producción y de los implementos en cultivos tradicionales y de uso intensivo referentes en la zona, como el cultivo de papa (figura 4.1, tabla 4.1).

## Uso de coberturas vegetales

Los tratamientos de coberturas vegetales consisten en la siembra y el uso de especies leguminosas o arvenses, o gramíneas de adaptación en la zona para la producción de biomasa y el empleo de abonos verdes o coberturas vegetales (figura 4.2, tabla 4.1). Las coberturas vegetales se utilizaron posteriormente para comenzar el cultivo de quinua como cobertura vegetal en el tratamiento de siembra directa, y se incorporaron al suelo en tratamientos de labranza mínima o convencional, como se indicó previamente (figura 4.2, tabla 4.1).

**Tabla 4.1.** Descripción de prácticas evaluadas en cultivo de quinua en Silvia, departamento del Cauca

| Labranza                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Coberturas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Fertilización nitrogenada                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>1.</b> Siembra directa (SD): la preparación consistió en realizar hoyos en el suelo para la siembra localizada de semillas (30 cm entre plantas x 80 cm entre surcos) en rotación coberturas vegetales / cultivo de quinua, mediante la utilización de herramienta manual tradicional “chuzo”, que facilita esta labor sobre los surcos previamente trazados para el cultivo. Este tratamiento fue complementado con la conservación de residuos en superficie, provenientes de coberturas vegetales evaluadas.</p> | <p><b>1.</b> Vicia (V) (<i>Vicia atropurpurea</i>): corresponde a leguminosa utilizada como forraje y abono verde en zonas frías con un rango de adaptación entre 2.200 y 3.200 m s. n. m. Esta especie fue sembrada en surcos siguiendo trazado para cultivo de quinua, considerando una densidad de siembra de 17 kg. ha<sup>-1</sup>. Bajo condiciones ambientales similares se reportan para esta especie un rendimiento promedio de hasta 10 t/ha de biomasa vegetal (Viteri et al., 2008).</p> | <p><b>1.</b> Fertilización nitrogenada con urea (N+): este tratamiento se basa en la aplicación de fertilizantes químicos para la nutrición del cultivo, y en la utilización de urea para el aporte de nitrógeno a la planta. Se realizó balance de nutrientes de acuerdo a resultados de análisis de suelos y requerimientos del cultivo de quinua reportados por la literatura, para establecer las dosis de aplicación durante el ciclo productivo. Esta práctica se realizó de manera fraccionada, realizándose dos aplicaciones a los 60 y 90 DDS. Se realizó aporte de nitrógeno de 156 kg de N por hectárea para el primer momento y 150 kg de N por hectárea para el segundo momento (Ulloa &amp; Valle, 2021; Basantes et al., 2015).</p> |
| <p><b>2.</b> Labranza mínima (LM_P1): para su aplicación, el suelo fue preparado con un (1) pase de arado a 20 cm de profundidad, utilizando un monocultor (Rotavator), herramienta agrícola pequeña que permite aflojar el suelo y la incorporación de residuos, mediante cuchillas o dientes; los surcos fueron elaborados utilizando un palín para trazar sitios de siembra de las semillas. A través de esta actividad fue incorporada la biomasa de coberturas vegetales obtenidas previamente.</p>                  | <p><b>2.</b> Mostacilla (M) (<i>Rapistrum rugosum</i>): Corresponde a arvense predominante que acompaña cultivos de quinua y otras especies en la zona de evaluación. Su capacidad de adaptación reflejado en un mayor crecimiento y rápida expansión en el área de cultivo permite la disponibilidad de biomasa para ser utilizada como cobertura vegetal en la evaluación.</p>                                                                                                                     | <p><b>2.</b> Fertilización sin nitrógeno (N-) + compostaza: en este tratamiento no se considera la aplicación de fuentes sintéticas de nitrógeno como la urea, y en su lugar se utiliza una fuente orgánica como el compost, con el fin de acondicionar el suelo en el sitio de siembra. Se aplicó compostaza en dosis de 20 g por sitio de 3 plantas aproximadamente, estimando en total para los dos momentos de fertilización de 1667 kg de compostaza por hectárea. La fertilización se complementó con aplicación química de demás elementos requeridos para el desarrollo del cultivo.</p>                                                                                                                                                   |
| <p><b>3.</b> Labranza convencional (LC_P2): para la labranza convencional, el suelo fue preparado utilizando dos (2) pases de arado con monocolor, tomando como referente la labor de preparación del suelo de cultivos en la zona como la papa; en la cual se realizan prácticas de mayor intensidad para manejo del suelo. Similar al tratamiento anterior, la biomasa obtenida con coberturas vegetales evaluadas fue incorporada al suelo mediante utilización de maquinaria.</p>                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

Fuente: Elaboración propia



**Figura 4.1.** Aplicación de tratamientos de labranza. a. Labranza convencional (LC2 pases de arado); b. Siembra directa (SD); c. Labranza mínima (LM); d. Un pase de arado.

Fotos: Elías Carranza-Hernández y Julio Albeiro Calambas

Con el fin de establecer el potencial de vicia y mostacilla como abonos verdes y aporte de biomasa orgánica al suelo, se realizó un seguimiento al desarrollo de plantas y a la acumulación de biomasa, mediante observación de estados fenológicos y estimación de materia seca (Enz & Dachler, 1998; Ovalle et al., 2005) (figura 4.2). Asimismo, se llevó a cabo la observación y caracterización morfológica de nódulos nitrificantes en la cobertura vicia, por medio de cuantificación y cualificación de estructuras en las plantas.

En una evaluación complementaria se analizó la tasa de descomposición de coberturas vegetales mediante el método de bolsas de descomposición enterradas en el suelo, para estimar el peso seco remanente de la muestra de tejido vegetal y determinar el contenido de carbono y nitrógeno en laboratorio durante 6-7 meses (Cobo, 1998).

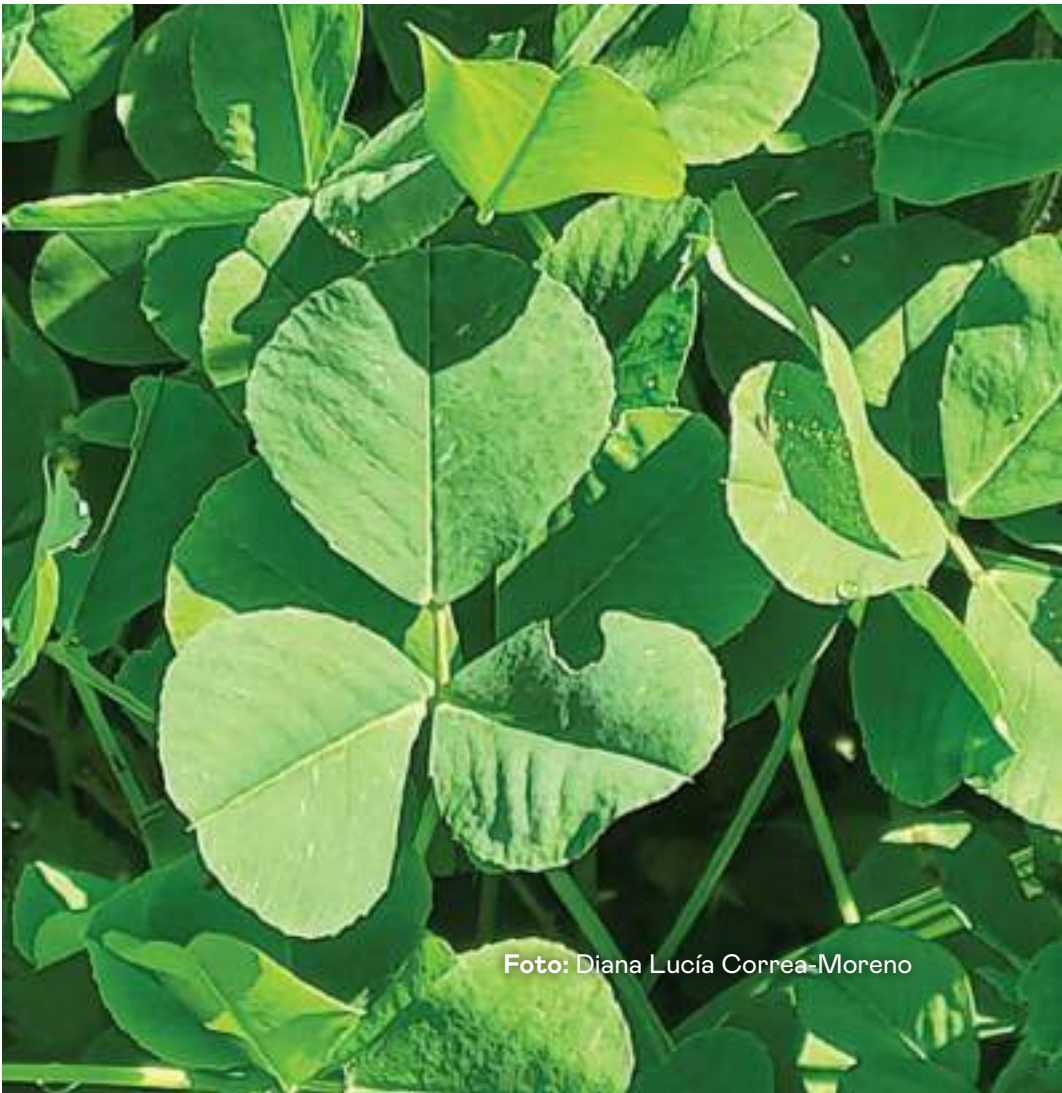


Foto: Diana Lucía Correa-Moreno





**Figura 4.2.** Uso de coberturas vegetales utilizadas para evaluar la acumulación de materia seca y de nitrógeno. a y b. Floración en vicia y mostacilla; c y d. Biomasa acumulada y aforo de plantas; e y f. Corte de residuos en superficie e incorporación al suelo; g y h. Bolsas de descomposición de residuos.

Fotos: Elías Carranza-Hernández, Julio Albeiro Calambas y Diana Lucía Correa-Moreno



## Fertilización nitrogenada

Los tratamientos de fertilización nitrogenada se establecieron a partir de la fuente utilizada para el suministro de nitrógeno a las plantas. Esto puede hacerse mediante fuentes sintéticas, como los fertilizantes químicos que actúan en menor tiempo, o fuentes orgánicas que actúan en un mayor tiempo, pero que ofrecen beneficios adicionales para la calidad y el funcionamiento del suelo (figura 4.3).



**Figura 4.3.** Aplicación directa de fertilización orgánica y química durante la siembra y el desarrollo del cultivo.

Fotos: Elías Carranza-Hernández

## Seguimiento y monitoreo al desarrollo del cultivo de quinua

Para el seguimiento al desarrollo de plantas de quinua en tratamientos evaluados, se tomó como referente la observación de estados fenológicos (Montes-Rojas et al., 2018) y las variables morfométricas, como altura y área foliar. Para esto se tuvo en cuenta el tiempo de aparición y el cambio de estadios (germinación y emergencia, hojas verdaderas, ramificación, botón floral, panojamiento, floración, grano en formación y madurez fisiológica) (figura 4.4).







**Figura 4.4.** Seguimiento a variables de desarrollo del cultivo de quinua. a y b. Seguimiento a estados fenológicos; c, d y e. Registro altura de plantas; f y g. Muestreo y estimación área foliar programa ImageJ.

Fotos: Elías Carranza-Hernández y Diana Lucía Correa-Moreno



## **Uso potencial de vicia (*Vicia atropurpurea*) y mostacilla (*Rapistrum rugosum*) como abono verde y cobertura vegetal en cultivos de quinua**

A continuación, se presentan los resultados preliminares de la investigación, los cuales se enfocan en estimar el uso potencial de vicia (*Vicia atropurpurea*) y mostacilla (*Rapistrum rugosum*), como abono verde y cobertura vegetal en cultivos de quinua.

Foto: Elías Carranza-Hernández

## Crecimiento y acumulación de biomasa en vicia (*Vicia atropurpurea*)

El seguimiento al desarrollo de vicia (*Vicia atropurpurea*) permite corroborar que, bajo las condiciones ambientales de Silvia, en Cauca, es posible su establecimiento, dado que presenta un comportamiento similar en otras zonas, en relación con variables de crecimiento y acumulación de biomasa.

En promedio, vicia presenta una germinación del 82,5 % a los diez días después de siembra (dds), y las primeras hojas verdaderas a los 16 dds. Comienza su periodo vegetativo hasta los 90 dds, cuando se registran algunos primordios florales, lo que da inicio a la fase reproductiva, que va desde los 90 hasta los 100 dds. Este estado se considera óptimo para usarla como abono verde o como alimento para animales (figura 4.5).

Las plantas de *V. atropurpurea* pueden alcanzar 45 cm de altura los 86 dds, con un incremento semanal de 6,7 cm; se observa una mayor tasa de crecimiento a partir de los 73 dds (tabla 4.2). Como una característica propia de las leguminosas, al observar la nodulación en raíces de *V. atropurpurea*, se evidenció que existe actividad de microorganismos que participan en la fijación de nitrógeno, lo cual evidencia un comportamiento variable respecto a cantidad y tamaño de nodulación.





**Figura 4.5.** Crecimiento y desarrollo de *V. atropurpurea*. a. Germinación de plántulas (10 dds); b. Crecimiento de la planta 60 dds; c y d. Estado fenológico floración 90 dds; e. Distribución de nódulos en raíces; f y g. Presencia de leg-hemoglobina (color rojizo) en el interior de los nódulos.

Fotos: Elías Carranza-Hernández y Diana Lucía Correa-Moreno

**Tabla 4.2.** Variables de seguimiento de crecimiento y desarrollo de *V. atropurpurea*

| Variables de seguimiento     | Días después de siembra (dds) |           |           |           |
|------------------------------|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|
|                              | 65                            | 73        | 79        | 86        |
| <b>Altura (cm)</b>           | 24                            | 31        | 38        | 45        |
| <b>Peso seco (g)</b>         | 1,1                           | 1,7       | 3,4       | 4,6       |
| <b>Materia seca (%)</b>      | 21,2                          | 21,2      | 19        | 18,6      |
| <b>Nodulación</b>            | <b>68</b>                     | <b>75</b> | <b>83</b> | <b>90</b> |
| <b>Número de estructuras</b> | 21,1                          | 34,9      | 31,2      | 28,0      |
| <b>Diámetro nódulos (mm)</b> | 5,3                           | 5,9       | 6,3       | 6,8       |

Fuente: Elaboración propia

La formación de nódulos nitrificantes se registra a los 45 dds, y se verifica su actividad al observar una coloración rojiza en el interior de la estructura, lo cual indica la presencia de leg-hemoglobina (figura 4.5). Esta sustancia se presenta como parte de procesos bioquímicos que se dan durante la fijación de nitrógeno, y es común en especies leguminosas y otras especies vegetales que tienen la capacidad de simbiosis con bacterias fijadoras de nitrógeno, que propician la formación de nódulos en la raíz de la planta (Cubillos-Hinojosa et al., 2023).

En promedio, se presentan entre 12 y 38 nódulos por planta, dependiendo de la fase de desarrollo; este número aumenta a los 75 dds y disminuye de forma gradual hasta los 90 dds (tabla 4.2). El tamaño de los nódulos fluctúa entre 2 y 12 mm, y a los 68 dds se encuentran en fase vegetativa, con un rango de 2 a 10 mm, y un ligero aumento hasta los 98 dds en fase reproductiva, alcanzando un promedio de 6,7 mm por nódulo (tabla 4.2).

Para la especie *V. atropurpurea*, se reporta una acumulación de materia seca en un rango de 18 % a 21 % hasta los 90 dds. Dada la morfología de las plantas de vicia con una condición estructural débil y poco lignificada en la conformación de sus tejidos, se favorece la descomposición de residuos y en consecuencia la liberación de nutrientes al suelo en menor tiempo. Lo anterior es importante tenerlo en cuenta en el momento de usar *V. atropurpurea* en sistemas de rotación de cultivos o en periodos de descanso de áreas cosechadas, como puede ser el caso de un sistema de producción de quinua en la región estudiada (tabla 4.2).

Vicia acumula 207,5 kg de materia seca por kilogramo de semilla utilizada, y fluctúa entre 1681,4 kg (siembra por sitio; 8 kg de semilla/ha) y 3527,5 kg (17 kg semilla/ha) (al voleo más otras especies), mientras que en siembra al voleo (50 kg semilla/ha) se estima un rendimiento de 10,3 t/ha de biomasa seca. Esto facilita el uso de la leguminosa para el sistema de producción de quinua como abono verde, gracias a que contribuye a la fijación de nitrógeno y aporta biomasa al suelo.

El periodo de mayor acumulación de biomasa se presenta cerca del momento de la formación de primordios florales (73-79 dds), lo cual duplica valores registrados en periodos previos. Huanca (2007) indica que para las leguminosas la fase de floración es la de mayor acumulación de biomasa, y coincide con el momento de máxima expresión del potencial de las especies para aportar materia orgánica y contribuir al mejoramiento de las propiedades del suelo que regulan su disponibilidad de nutrientes y, en consecuencia, su aporte a la nutrición de cultivos posteriores (Burbano Orjuela, 1989; Viteri et al., 2008).







Foto: Diana Lucía Correa-Moreno

## Análisis de descomposición de coberturas vegetales

Las coberturas de *V. atropurpurea* y *R. rugosum*, bajo condiciones del municipio de Silvia, registran una disminución de más del 50% de su peso durante el primer mes de descomposición. Este aspecto las convierte en una muy buena opción de abono verde en rotación con cultivos de quinua (figura 4.6).





**Figura 4.6.** Análisis de descomposición de residuos de las coberturas vegetales *V. atropurpurea* y *R. rugosum*. a y b. Peso seco (%) y contenido de C y N remanente (%); c y d. Contenido de N y C (g); e. Relación C/N.

Fuente: Elaboración propia



Foto: Diana Lucía Correa-Moreno

El peso remanente en el primer mes alcanza el 38 % para mostacilla y el 31 % para vicia, y disminuye progresivamente hasta el quinto mes, con valores ligeramente superiores en mostacilla (figura 4.6). Con esto se corrobora la relación entre la calidad de residuos orgánicos y su tasa de descomposición.

Ambas especies muestran un comportamiento similar en cuanto al contenido de carbono remanente, para lo cual se estiman valores por encima del 80 %, que fluctúan levemente durante todo el periodo de evaluación. Respecto al nitrógeno remanente, la mostacilla presenta valores por debajo del 40 %, y se observa una mayor capacidad de liberación de N durante el primer mes, a diferencia de vicia, que alcanza un contenido de nitrógeno remanente en este periodo del 70 % en promedio (figura 4.6).

En relación con la concentración de C y N a través del tiempo, el primer mes de descomposición se considera clave para estas especies en la liberación de N, a partir de la degradación de compuestos solubles, y en el desdoblamiento de moléculas de mayor complejidad que liberan carbono de sus estructuras. Esto se refleja en una importante disminución en el contenido de C y N respecto a la cantidad inicial.



Después del primer mes, para ambas especies, la relación C/N se hace cada vez más amplia, lo que evidencia un bajo contenido de N en los tejidos. Este es un factor limitante para la proliferación de microorganismos descomponedores y, en consecuencia, para el proceso de descomposición (Cobo, 1998). Los valores para la relación C/N fluctúan entre 11,3 y 30,3 para mostacilla, y entre 13 y 21 para vicia; esta última es la especie con los menores valores durante el periodo de evaluación (figura 4.6).

La baja relaciones de C/N se presentan en materiales procedentes de tejidos tiernos y blandos, mientras que los valores de C/N por encima de 30-35 se asocian a materiales ricos en celulosa y lignina, que son mucho más resistentes a la degradación. En este sentido, para lograr una adecuada tasa de descomposición y liberación de nitrógeno, es adecuado un rango de valores entre 25 y 30. Los valores por encima de 30, como el caso de la mostacilla a partir del tercer mes, evidencian que existe una menor tasa de descomposición y una menor liberación de N al suelo (Cobo, 1998).

De acuerdo con las características morfológicas y químicas de Vicia (*V. atropurpurea*) y Mostacilla (*R. rugosum*) es posible su uso como abono verde y cobertura vegetal en cultivos de quinua. La capacidad de vicia para acumular biomasa, con un rendimiento similar al que se reporta en otras zonas, y para fijar nitrógeno atmosférico (confirmado a través de la formación de nódulos activos en raíces) permite considerar esta especie como alternativa de abono verde en labores previas al establecimiento del cultivo.





Foto: Diana Lucía Correa-Moreno

Por su parte, la mostacilla, arvense con alta capacidad de adaptación y proliferación en zonas de cultivo, resulta muy útil en periodos de barbecho o descanso, durante los cuales gran parte de la biomasa puede usarse como cobertura muerta sobre la superficie del suelo o incorporarse al suelo como aporte de materia orgánica. De hecho, esta es una práctica que algunos agricultores pueden realizar para el establecimiento de cultivos de quinua en la zona, previendo algunos beneficios adicionales para el suelo mediante el aprovechamiento de residuos de este tipo de arvense.

Debido al comportamiento de vicia y mostacilla en la descomposición de residuos, se considera que estas especies permiten la liberación de gran parte de nitrógeno durante el primer mes de descomposición (>50% del contenido inicial), en respuesta a la actividad de microorganismos descomponedores y reacciones químicas de degradación de residuos orgánicos con mayor contenido de N y compuestos de mayor solubilidad que hacen parte de los tejidos vegetales. De esta manera, contribuyen a la acumulación de carbono en el suelo, gracias a la estabilidad de su contenido en residuos durante el tiempo de descomposición. Esto ayuda a mejorar o a mantener, a largo plazo, las condiciones de fertilidad del suelo, la actividad biológica y las propiedades físicas relacionadas con la aireación y retención de humedad en el suelo.



# Referencias

- Andersson J., & D'Souza, S. (2014). From adoption claims to understanding farmers and contexts: A literature review of Conservation Agriculture (CA) adoption among smallholder farmers in southern Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 187, 116-132. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2013.08.008>
- Basantes, E., Lazo, D., & Obando, D. (2015). Extracción del nitrógeno y calcio en dos variedades quinoa (*Chenopodium quinoa*), El Prado-Sangolquí. Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE, 10(1).
- Bedoya-Perales, N. S., Pumi, G., Talamina, E., & Padula, A. D. (2018). The quinoa boom in Peru: Will land competition threaten sustainability in one of the cradles of agriculture? *Land Use Policy*, 79, 475-480. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.08.039>
- Buckland, K., Reeve, J., Creech, E., & Durham, S. (2018). Managing soil fertility and health for quinoa production and weed control in organic systems. *Soil & Tillage Research*, 184, 52-61.
- Burbano Orjuela, H. (1989). *El suelo: una visión sobre sus componentes biorgánicos*. Serie investigaciones No 1. Universidad de Nariño.
- Cerri, C. E., Cherubin, M. R., Damian, J. M., Mello, F. F., & Lal, R. (2021). *Secuestro de carbono en el suelo mediante la adopción de prácticas de manejo sostenible: potencial y oportunidad para los países de las américas*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
- Cobo Borrero, J. G. 1998. Abonos verdes como fuente de nitrógeno en un agroecosistema tropical de ladera en Colombia. Tesis M. Sc. Turrialba. Costa Rica. 87 p.
- Corsi, S., & Muminjanov, H. (2019). *Conservation Agriculture. Training guide for extension agents and farmers in Eastern Europe and Central Asia*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).
- Cubillos-Hinojosa, J. G., Suárez-Fragoso, E. C., Aguirre-Pérez, L., Gómez-Ramírez, L. F., & Toño-Rivera, A. P. (2023). Selección de rizobios eficientes en líneas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) tolerantes a sequía. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 21(2), 32-49. <https://doi.org/10.18684/rbsaa.v21.n2.2023.2188>
- Derpsch, R., Kassam, A., Reicosky, D., Friedrich, T., Calegari, A., Basch, G., Gonzalez-Sanchez, E., & Rheinheimer dos Santos, D. (2024). Nature's laws of declining soil productivity and Conservation Agriculture. *Soil Security*, 14.
- Derpsch, R. (2007). Critical steps to no-till adoption. En T. Goddard, M. A. Zebisch, Y. Gan, W. Ellis, A. Watson, & S. Sombatpanit (Eds.), *No-till Farming Systems* (pp. 479-495).
- Enz, M., & Dachler, C. (1998). Compendio para la identificación de los estadios fenológicos de especies mono-y dicotiledóneas cultivadas Escala BBCH extendida. BBA. Alemania. BBA, BSA, IGZ, IVA, AgrEvo, BASF, & Bayer Novartis.
- Friedrich, T. (2020). The role of no or minimum mechanical soil disturbance in Conservation Agriculture systems. En Kassam, A. (Ed.), *Advances in Conservation Agriculture: Vol. 1. Systems and Science* (pp. 155-178). Burleigh Dodds Science Publishing.
- Girardin, C. A. J., Jenkins, S., Seddon, N., Allen, M., Lewis, S. L., Wheeler, C. E., Griscom, B. W., & Malhi, Y. (2021). Nature-based solutions can help cool the planet - if we act now. *Nature*, 593, 191-194. <https://doi.org/10.1038/d41586-021-01241-2>
- Griscom, B. W., Adams, J., Ellis, P. W., Houghton, R. A., Loxmax, G., Miteva, D. A., Schlesinger, W. H., Shoch, D., Siikamäki, J. V., Smith, P., Woodbury, P., Zganjar, C., Blackman, A., Campari, J., Conant, R. T., Delgado, C., Elias, P., Gopalakrishna, T., Hamsik, M. R. ... Fargione, J. (2017). Natural climate solutions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(44), 11645-11650. <https://doi.org/10.1073/pnas.1710465114>

- Hanssen, S. V., Daioglou, V., Steinmann, Z. J. N., Doelman, J. C., Van Vuuren, D. P., & Huijbregts, M. A. J. (2020). The climate change mitigation potential of bioenergy with carbon capture and storage. *Nature Climate Change*, 10, 1023-1029. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0885-y>
- Horton, P., Long, S. P., Smith, P., Banwart, S. A., & Beerling, D. J. (2021). Technologies to deliver food and climate security through agriculture. *Nature Plants*, 7, 250-255. <https://doi.org/10.1038/s41477-021-00877-2>
- Huanca Huanca, V. R. (2007). Incorporación de tres especies como abono verde y su efecto en el rendimiento de variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) [Tesis de pregrado]. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz (Bolivia).
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]. (2009). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras. Departamento del Cauca. Escala 1:100.000*.
- Jacobsen, S. E. (2011). The situation for quinoa and its production in Southern Bolivia: From economic Success to environmental disaster. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 197(5), 390-399. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2011.00475.x>
- Kassam, A. (Ed.). (2022). *Advances in Conservation Agriculture: Vol. 3. Adoption and Spread*. Burleigh Dodds Science Publishing.
- Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304(5677), 1623-1627. <https://doi.org/10.1126/science.1097396>
- Lal, R. (2018). Digging deeper: a holistic perspective of factors affecting soil organic carbon sequestration in agroecosystems. *Global Change Biology*, 24(8), 3285-3301. <https://doi.org/10.1111/gcb.14054>
- Lal, R., Monger, C., Nave, L., & Smith, P. (2021). The role of soil in regulation of climate. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 376(20210084). <https://doi.org/10.1098/rstb.2021.0084>
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M. I., Goldfarb, L., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J. B. R., Maycock, T. K., Waterfield, T., Yelekçi, O., & Zhou, B. (Eds.). (2021). *Climate Change 2021: the Physical Science Basis. Summary for Policymakers*. Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_SPM\\_final.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf)
- Montes-Rojas, C., Burbano-Catuche, G. A., Muñoz-Certuche, E. F., & Calderón-Yonda, Y. (2018). Descripción del ciclo fenológico de cuatro ecotipos de (*Chenopodium quinoa* Willd.), en Puracé-Cauca, Colombia. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 16(2), 26-37. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(16\)26-37](https://doi.org/10.18684/BSAA(16)26-37)
- Mujica, A., Jacobsen, S., & Marathe, J. P. (2001). *Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.): ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO); Universidad Nacional del Altiplano (UNA), Puno (Perú).
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2016). *Save and grow in practice: maize, rice, wheat. A guide to sustainable cereal production*. <http://www.fao.org/3/a-i4009e.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO]. 2023. *Agricultura de Conservación*. Roma. Hoja informativa. 2 p. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/332a1683-0e11-47ab-b008-b9a9cba9b615/content>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], & Cooperation in Agricultural Research for Development [CIRAD]. (2015). *State of the Art Report of Quinoa in the World in 2013*.
- Ovalle, C., Del Pozo, A., Avendaño, J., Fernández, F., & Arredondo, S. (2005). Adaptación, Crecimiento y Producción de Nuevas Leguminosas Forrajeras Anuales en la Zona Mediterránea de Chile: II. Comportamiento de las Especies en Suelos Graníticos del Secano Interior Subhúmedo. *Agricultura Técnica*, 65(3). <https://doi.org/10.4067/S0365-28072005000300004>

- Paustian, K., Lehmann, J., Ogle, S., Reay, D., Robertson, G. P., & Smith, P. (2016). Climate-smart soils. *Nature*, 532, 49-57. <https://doi.org/10.1038/nature17174>
- Reicosky, D. C. (2020). Conservation Agriculture Systems: soil health and landscape management. En Kassam, A. (Ed.), *Advances in Conservation Agriculture: Vol. 1. Systems and Science* (pp. 87-154). Burleigh Dodds Science Publishing.
- Reicosky, D. C., & Kassam, A. (2021). Conservation agriculture. Carbon and conservation centered foundation for sustainable production. En R. Lal (Ed.), *Soil Organic Matter and Feeding the Future. Environmental and Agronomic Impacts* (pp. 19-64). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003102762-2>
- Sá, J.C., Tivet, F., Lal, R., Briedis, C., Hartman, D.C., dos Santos, J.Z., dos Santos, J.B., 2014. Long-term tillage systems impacts on soil C dynamics, soil resilience and agronomic productivity of a Brazilian Oxisol. *Soil Tillage Research*, 136, 38-50. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2013.09.010>
- Sanderman, J., Hengl, C., & Fiske, G. J. (2017). Soil carbon debt of 12,000 years of human land use. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(36), 9575-9580. <https://doi.org/10.1073/pnas.1706103114>
- Seddon, N., Smith, A., Smith, P., Key, I., Chausson, A., Girardin, C., House, J., Srivastava, S., & Turner, B. (2021). Getting the message right on nature-based solutions to climate change. *Global Change Biology*, 27(8), 1518-1546. <https://doi.org/10.1111/gcb.15513>
- Smith, P., Keesstra, K. D., Silver, W. L., & Adhya, T. K. (2021). The role of soils in delivering Nature's Contributions to People. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 376(1834), 20200169. <https://doi.org/10.1098/rstb.2020.0169>
- Smith, P., Soussana, J. F., Anger, D., Schipper, L., Chenu, C., Rasse, D. P., Batjes, N. H., Van Egmond, F., McNeill, S., Kuhnert, M., Arias-Navarro, C., Olesen, J. E., Chirinda, N., Fornara, D., Wollenberg, E., Alvaro-Fuentes, J., Sanz-Cobena, A., & Klumpp, K. (2020). How to measure, report and verify soil carbon change to realize the potential of soil carbon sequestration for atmospheric greenhouse gas removal. *Global Change Biology*, 26(1), 219-241. <https://doi.org/10.1111/gcb.14815>
- Thierfelder, C., Baudron, F., Setimela, P., Nyagumbo, I., Mupangwa, W., Mhlanga, B., Lee, N., & Gérard, B. (2018). Complementary practices supporting conservation agriculture in southern Africa. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 38(2), 1-22. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0492-8>
- Tito, R., Vasconcelos, H. L., & Feeley, K. J. (2018). Global climate change increases risk of crop yield losses and food insecurity in the tropical Andes. *Global Change Biology*, 24(2), 592-602. <https://doi.org/10.1111/gcb.13959>
- Ulloa, M. C., & Valle, L. (2021). Índice de cosecha con macro-nutrientes en grano de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias*, 5(13), 15-29.
- Visser, A., Vanek, S., Huaraca, J., Mendoza, J., Canto R., Meza K., Olivera E., Scurrah, M., Wellstein, C., Bonari, G., Zerbe, S., & Fonte S. (2024). Traditional soil fertility management ameliorates climate change impacts on traditional Andean crops within smallholder farming systems. *Science of the Total Environment*, 912, 168725. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168725>
- Viteri, S. E., Martínez, J. W., & Bermúdez, Á. C. (2008). Selección de abonos verdes para los suelos de Turmequé (Boyacá). *Agronomía Colombiana*, 26(2), 332-339.
- Wei, Y.-M., Kang, J.-N., Liu, L.-C., Li, Q., Wang, P.-T., Hou, J.-J., Liang, M.-Q., Liao, H., Huang, S.-F., & Yu, B. (2021). A proposed global layout of carbon capture and storage in line with a 2°C climate target. *Nature Climate Change*, 11, 112-118. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-00960-0>



Chinches patones *Leptoglossus zonatus* (Coreidae).  
**Foto:** Takumasa Kondo



## Capítulo V

# Entomofauna asociada al cultivo de quinua en el departamento del Cauca, Colombia

Jackeline Gaviria  
Robert Rosero  
Takumasa Kondo

## Resumen

En este capítulo se estudian los insectos asociados al cultivo de quinua en el departamento del Cauca enfatizando en algunas familias reconocidas como plagas de importancia, por ejemplo: Agromyzidae, Chrysomelidae, Geometridae y Noctuidae, entre otras. Aunque se encontraron numerosos insectos en el cultivo, pocos de ellos se asociaron directa o indirectamente con daños significativos en las plantas. Se destaca que los crisomélidos del género *Diabrotica*, específicamente *Diabrotica undecimpunctata* y *Diabrotica balteata*, fueron los principales causantes de daño por herbivoría en todos los estadios fenológicos de las plantas de quinua. Otros artrópodos, como áfidos y grillos, causaron daños significativos en los primeros estadios de desarrollo de la planta. Además, se identificaron moscas minadoras del género *Liriomyza* como fitófagos importantes para el cultivo, con incidencias de hasta un 100 % en algunas parcelas.

Se identificaron también familias de insectos benéficos, como las avispas parasitoides (Braconidae e Ichneumonidae) y los moscos parasitoides (Tachinidae), al igual que depredadores como las mariquitas (Coccinellidae) y los moscos de las flores (Syrphidae). En el campo, se observó una amplia diversidad de arañas que depredan insectos plaga de diversas familias.



Mariposa saltarina (Hesperiidae).  
**Foto:** Takumasa Kondo



Foto: Takumasa Kondo

Es crucial señalar que la presencia y frecuencia de estos insectos varían según factores como la ubicación geográfica, las fases de desarrollo del cultivo, las condiciones ambientales y los métodos de manejo agronómico en la parcela. La recopilación de esta información ha permitido identificar algunas especies de insectos que afectan al cultivo de quinua en ciertas etapas fenológicas. Este análisis contribuye a la comprensión de la ecología de insectos en el cultivo de quinua y proporciona información valiosa para desarrollar estrategias de manejo integrado de plagas.

## Introducción

La comprensión de la diversidad y función de la entomofauna en el contexto del ecosistema agrícola es crucial, especialmente en cultivos de relevancia ancestral como el de la quinua. Este capítulo analiza minuciosamente la entomofauna asociada a este cultivo considerando aspectos clave como la diversidad de órdenes y familias, así como sus roles como fitófagos, controladores biológicos o visitantes. Para contextualizar adecuadamente esta investigación, es esencial también comprender la naturaleza y la amplitud de los artrópodos, que se dividen en dos grandes grupos: Chelicerata y Mandibulata (figura 5.1). Aunque el número exacto de especies de seres vivos sigue siendo incierto, se estima que existen aproximadamente 10,9 millones de especies (Mora et al., 2011; Stork, 2018; Zhang, 2013, 2020), de las cuales una gran parte son artrópodos (82 %) y, dentro de estos, los insectos representan el 69 % (Santos et al., 2021).

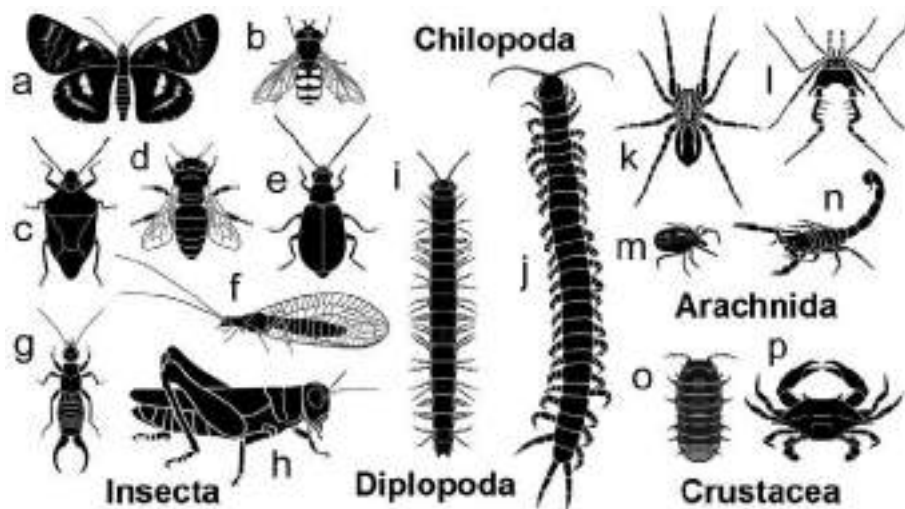


**Figura 5.1.** Ejemplos de artrópodos. Clase Insecta (insectos), algunos órdenes: a. Lepidoptera; b. Diptera; c. Hemiptera; d. Hymenoptera; e. Coleoptera; f. Neuroptera; g. Dermaptera; h. Orthoptera; i. Clase Diplopoda (los milpiés); j. Clase Chilopoda (los ciempiés). Clase Arachnida (arácnidos), algunos órdenes: k. Araneae; l. Opiliones; m. Ixodida; n. Scorpiones. Clase Malacostraca (crustáceos), algunos órdenes: o. Isopoda; p. Decapoda.

Ilustración: Takumasa Kondo

Los insectos son un grupo altamente diverso con aproximadamente 27 órdenes (Tihelka et al., 2021). Entre ellos, el orden Coleoptera (figura 5.1e) es el más rico en especies, con 38 %, seguido por Lepidoptera (16 %) (figura 5.1a), Hymenoptera (13 %) (figura 5.1d), Diptera (12 %) (figura 5.1b) y Hemiptera (11 %) (figura 5.1c) (Grimaldi & Engel, 2005). En el cultivo de quinua, se observa una amplia diversidad de insectos que se pueden clasificar como plagas (limitantes, ocasionales o secundarias), insectos benéficos (enemigos naturales de plagas y polinizadores) e insectos indiferentes al cultivo (visitantes). En Perú, se han reportado alrededor de 23 especies de insectos plaga que causan daños directos e indirectos en la quinua (Delgado et al., 2020). Entre estos, hay una creciente preocupación por la presencia de varias familias de polillas, dentro de las cuales destacan las familias Gelechiidae, Geometridae y Noctuidae, que han sido reportadas en zonas de producción en Argentina, Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador y Perú (Saravia & Bonifacio, 2014). En general, los insectos plaga de la quinua pueden ser masticadores de follaje, de raíz o de panoja, estos últimos, los que más afectan





Cucarrón de hojas *Diabrotica* sp. (Chrysomelidae).

Foto: Takumasa Kondo

el rendimiento del cultivo y generan grandes pérdidas. En Bolivia y Perú, entre los insectos benéficos para el cultivo de la quinua, destacan las avispas parasitoides y especies de coleópteros, dípteros y neurópteros depredadores que actúan como controladores biológicos (Delgado et al., 2020; Saravia & Bonifacio, 2014).

En este estudio se consideró únicamente la fauna de insectos (entomofauna); sin embargo, en los cultivos de quinua también se pueden encontrar otros artrópodos, como los arácnidos de la clase Arachnida, que incluyen arañas (figura 5.1k), arañas patonas (figura 5.1l), garrapatas (figura 5.1m) y alacranes (figura 5.1n), entre otros. Dentro de los arácnidos, las arañas son importantes depredadores. Además, se pueden encontrar miriápodos, que incluyen milpiés (figura 5.1i) y ciempiés (figura 5.1j).

Este estudio detallado de la fauna entomológica en los cultivos de quinua en el Cauca contribuirá significativamente a la comprensión de los desafíos y oportunidades relacionados con los insectos plaga ocasionales y los insectos benéficos. Asimismo, proporcionará una base fundamental para el diseño de estrategias de manejo integrado, con lo cual se promoverá la sostenibilidad del cultivo de quinua en una región crucial para la producción agrícola colombiana.

# Metodología

En parcelas experimentales y fincas comerciales seleccionadas en las cuatro localidades priorizadas por el proyecto (Bolívar, La Vega, Silvia y Totoró), se realizaron muestreos al azar de plantas de quinua. Como premisa para adelantar el muestreo, se estableció la no utilización de productos insecticidas para no perturbar ni afectar negativamente a la entomofauna presente en el cultivo. Se utilizaron métodos de muestreo en zig-zag (Radcliffe et al., 2008) y muestreo generalizado sistemático en parcelas de menor tamaño. El muestreo de artrópodos se llevó a cabo durante dos ciclos del cultivo y en las diferentes fases fenológicas, mediante métodos de observación y colecta directa. Los insectos se recolectaron utilizando redes entomológicas, aspiradores bucales y viales con alcohol al 70 %. Los insectos en estado inmaduro se recolectaron en tarrinas plásticas con hojas de quinua para criarlos hasta que alcanzaran el estado adulto y así facilitar su identificación.

Se estableció la incidencia y el nivel de infestación de insectos fitófagos en las parcelas de quinua evaluadas. Para evaluar la entomofauna presente en el cultivo, se examinaron todas las partes de la planta, como hojas, tallos, panojas y raíces, estas últimas, cuando la planta mostraba síntomas de clorosis, debilitamiento, achaparramiento o volcamiento. En todos los muestreos se inspeccionaron las hojas de las plantas y se registró la presencia de insectos en el haz o el envés.



Mosca carroñera (Sarcophagidae).  
Foto: Takumasa Kondo

Los insectos recolectados en los municipios del departamento del Cauca fueron trasladados al Centro de Investigación Palmira de AGROSAVIA. Una vez allí, los insectos se montaron para su identificación siguiendo las técnicas de montaje descritas por Luna (2005). Para la identificación de los especímenes, se utilizaron diferentes libros de taxonomía que permitieron hacer una primera clasificación a nivel de orden y familia. Los textos de Johnson y Triplehorn (2004) y Borror y White (1970) fueron fundamentales en esta primera etapa. Posteriormente, se comparó lo reportado con lo recolectado utilizando claves entomológicas para una hacer clasificación más detallada a nivel de género y especie. Los especímenes fueron recolectados bajo el marco de un permiso para la recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de investigación científica no comercial (resolución No. 1466, Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA). En las reservas indígenas se obtuvo permiso de líderes según acuerdo de cooperación.

## Resultados

Tras los muestreos realizados se reportaron diversos insectos asociados al cultivo de quinua, a los cuales se hace referencia en esta sección.



Escarabajo de alas reticuladas (Lycidae).  
Foto: Takumasa Kondo





Polilla géometra (Geometridae).  
**Foto:** Takumasa Kondo

## Insectos fitófagos

### Polillas (orden Lepidoptera)

Varias especies de lepidópteros son causantes de daños económicos significativos en el cultivo de la quinua. En Perú, las especies de la familia Noctuidae, cuyas larvas son extremadamente voraces, son quizás las plagas más importantes, pues ocasionan pérdidas de hasta el 30 % en el cultivo (Zurita-Silva & Quiroz, 2015) y afectan desde la fase de emergencia hasta la fase de panoja (Gómez & Aguilar, 2016). En los cultivos de quinua en Perú, además de *Copitarsia turbata*, se pueden encontrar *Agrotis* spp., *Copitarsia decolora* y *Spodoptera* spp. (Apaza & Delgado, 2005). En Argentina, se han reportado daños significativos causados por especies de varias familias de lepidópteros, como Crambidae, Erebidae, Gelechiidae y Pyralidae (Dughetti, 2015). Por otra parte, el gusano medidor *Perizoma sordescens* de la familia Geometridae también ha sido reportado previamente como plaga de quinua en Perú (Delgado et al., 2020). En los cultivos de quinua del departamento del Cauca, se observaron numerosos individuos de diferentes familias de orugas, incluyendo especies de las familias Geometridae (figura 5.2a y 5.2b) y Noctuidae (figura 5.2c y 5.2d) alimentándose del follaje de la quinua.





**Figura 5.2.** Orugas de la familia Geometridae y Noctuidae asociadas a la quinua. a. y b. Individuos de la familia Geometridae; c. y d. Individuos de la familia Noctuidae.

Fotos: Takumasa Kondo y Robert Rosero

Larva de *Copitarsia* sp. (Noctuidae).

Foto: Takumasa Kondo

### *Copitarsia* spp. (Lepidoptera: Noctuidae)

En Colombia, el género *Copitarsia* incluye especies polífagas de relevancia económica en diversos cultivos, como papa, coliflor, brócoli y rábano (Cardona et al., 2004). En el cultivo de la quinua, se identifican como plagas de importancia económica las especies *Copitarsia incommoda* y *Copitarsia corruda*, las cuales han sido registradas en Argentina, Bolivia, Chile y Perú (Barrionuevo et al., 2019). En el departamento del Cauca, se ha detectado la presencia de *Copitarsia* spp. en diferentes estados fenológicos de la quinua, incluyendo ramificación, formación de panoja, floración, grano lechoso y madurez de cosecha.

Los huevos de *C. incommoda* son de color crema y se oscurecen antes de eclosionar, con un periodo de incubación de aproximadamente 3 a 4 días. Las larvas, al nacer, son de color crema con cabeza oscura y, a medida que crecen, se tornan de un verde claro o amarillento con manchas blancas en el dorso, alcanzando de 30 a 40 mm de largo en el quinto y sexto estadio. El ciclo larval dura entre 45 y 51 días. La pupa se desarrolla bajo tierra, y es de un color marrón verdoso que se vuelve marrón oscuro a medida que madura; el periodo de pupación dura aproximadamente 25 días. En su etapa adulta, la hembra es más grande que el macho, con alas anteriores que miden entre 13 y 18 mm de largo. La vida adulta de *C. incommoda* tiene una duración aproximada de 28 días (Areces-Berazain, 2022; Flores-Pérez et al., 2004).

El daño causado por las larvas de *C. decolora* generalmente afecta los tejidos jóvenes de las plantas hospederas. Estas larvas son reconocibles por el rastro de excremento que dejan cerca de la epidermis raspada de la planta de la que se alimentan. Las larvas maduras generan perforaciones circulares en las hojas (Moreno & Serna, 2006).

## Cucarrones (orden Coleoptera)

Algunas especies del orden Coleoptera han sido reportadas como plagas en el cultivo de la quinua, ya que ocasionan perforaciones en las hojas y daños en las raíces, mientras que otras especies son benéficas. En Perú, las familias reportadas como plagas incluyen Chrysomelidae, Curculionidae, Meloidae, Scarabaeidae y Tenebrionidae (Zurita-Silva & Quiroz, 2015). Los escarabajos de la familia Chrysomelidae, comúnmente conocidos como “escarabajos de las hojas”, constituyen un grupo polífago abundante y diverso (Burgos-Solorio & Anaya-Rosales, 2004). Los crisomélidos han sido reportados como plagas masticadoras de follaje; entre ellos, se encuentra *Epitrix* sp., conocida como la pulguilla de la quinua (Cruces et al., 2016).



*Ancognatha* sp. (Scarabaeidae).  
Foto: Takumasa Kondo



En el departamento del Cauca se identificaron seis géneros de coleópteros fitófagos de tres familias distintas asociadas al cultivo de la quinua. Estos incluyen *Diabrotica* (Chrysomelidae) (figura 5.3a), *Brachypnoea* (Chrysomelidae) (figura 5.3b), *Oxyligyrus* (Scarabaeidae) (figura 5.3d), *Astylus* (Melyridae) (figura 5.3f) y *Ceraspis* (Scarabaeidae) (figura 5.3e). También se encontraron ocasionalmente algunas especies de picudos (Coleoptera: Curculionidae) (figura 5.3c) y otros insectos de diferentes familias.

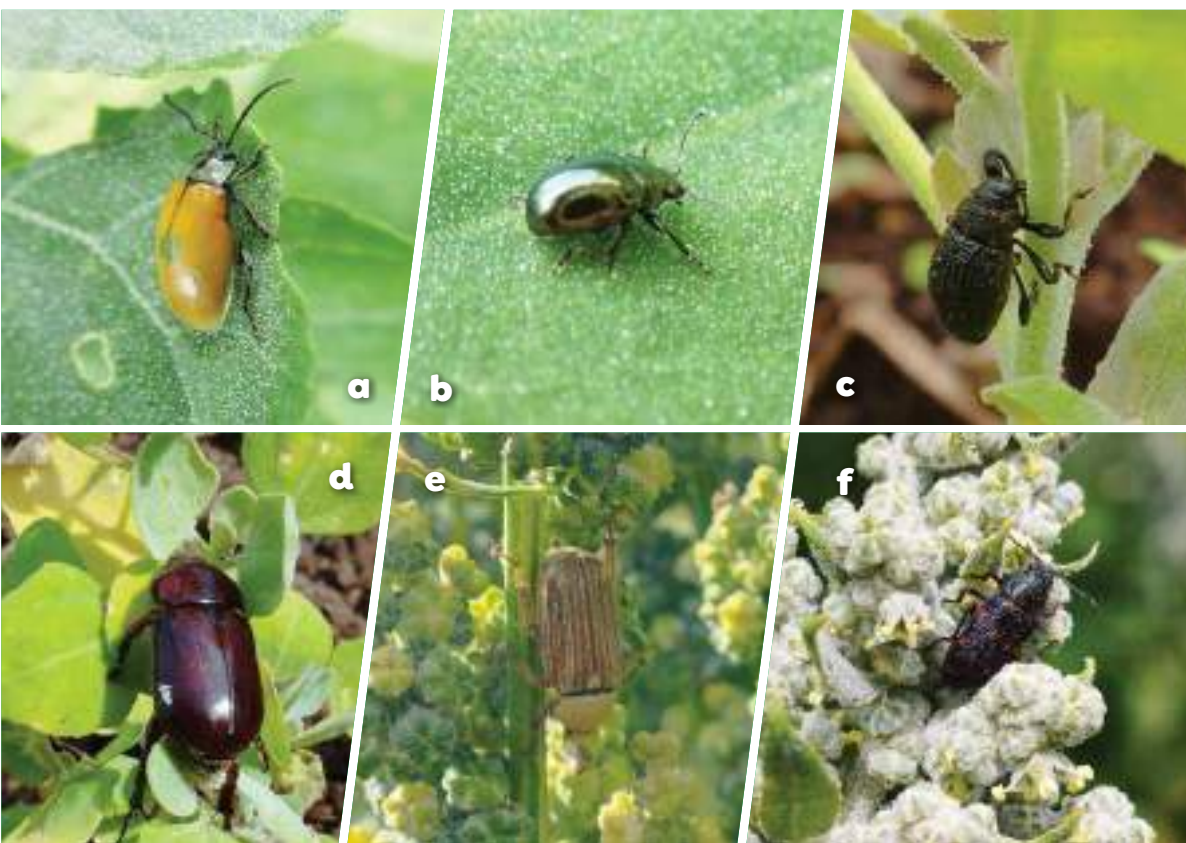


**Figura 5.3.** Diversidad de cucarrones de follaje presentes en el cultivo de quinua. a. *Diabrotica* sp. (Chrysomelidae); b. *Brachypnoea* sp. (Chrysomelidae); c. Individuo de la familia Curculionidae; d. *Oxyligyrus* sp. (Scarabaeidae); e. *Ceraspis* sp. (Scarabaeidae); f. *Astylus* sp. (Melyridae).

Fotos: Takumasa Kondo y Robert Rosero



## Cucarrón de hojas (*Diabrotica* spp.) (Coleoptera: Chrysomelidae)

El género *Diabrotica* está compuesto por alrededor de 400 especies, en su mayoría de origen neotropical, y se caracteriza por su polifagia tanto en la etapa larval como en la adulta. Tiene una amplia distribución en el continente americano e incluye plagas de importancia económica en cultivos como maíz y frijol (Cabrera et al., 2020). En el cultivo de la quinua, se han identificado a *Diabrotica undecimpunctata* Barber y *Diabrotica speciosa* Germar como plagas de relevancia económica, especialmente en Argentina, Bolivia, Chile y Perú (Huamán Gavidia, 2018). En el departamento del Cauca, se observaron varias especies del género *Diabrotica* alimentándose del follaje de la quinua en distintos estados fenológicos. Dentro de las especies de este género identificadas destacaron *D. undecimpunctata* (figura 5.4a) y *Diabrotica balteata* LeConte (figura 5.4b).

Los huevos de *D. balteata* son alargados y de color blanquecino (Krysan, 1986). Las larvas son blancuzcas al nacer y adquieren color pardo a medida que crecen hasta alcanzar un tamaño final de aproximadamente 5,7 mm de longitud. Su dieta se basa en raíces, que devoran vorazmente. Las pupas son de un color que cambia del blanco al amarillo a medida que se desarrollan; además, se encuentran envueltas en una capa de tierra cerca de las raíces de la planta hospedera. Recién emergidos, los adultos tienen una coloración amarillenta y, después de 2 a 3 horas, adquieren los patrones de color característicos de cada especie. Su longitud promedio varía entre 4,9 y 6,1 mm desde la cabeza hasta el extremo inferior de los élitros. El desarrollo completo, desde huevo hasta adulto, puede durar aproximadamente de 56 a 65 días (Barceló, 2007).

El género *Diabrotica* afecta a las plantas de quinua en todos sus estados fenológicos, desde las dos hojas verdaderas hasta la madurez fisiológica. Estos insectos, caracterizados como masticadores de hojas, generan agujeros redondeados con bordes irregulares, lo que provoca una disminución en la capacidad fotosintética de las plantas afectadas (Huamán Gavidia, 2018). Un estudio realizado en los valles del sur de Perú sugiere que la presencia de 10 a 15 adultos de *Diabrotica* sp. por planta puede

resultar en pérdidas de rendimiento superiores al 20 % (Rasmussen et al., 2003). Sin embargo, en algunos casos, el cultivo puede recuperarse significativamente de la defoliación causada por la infestación durante la cosecha (Sigsgaard et al., 2008).



**Figura 5.4.** Especies del género *Diabrotica* sobre plantas de quinua en diferentes localidades del departamento del Cauca. a. *Diabrotica undecimpunctata* Barber; b. *Diabrotica balteata* LeConte.

Fotos: Takumasa Kondo y Robert Rosero

## Moscas (orden Diptera)

El orden Diptera es cosmopolita y uno de los más diversos entre todos los insectos; además, tiene gran importancia económica debido a que muchas de sus especies pueden actuar como vectores de enfermedades humanas y plagas agrícolas. Sin embargo, también se han reportado numerosas familias de dípteros como depredadores y parasitoides (Johnson & Triplehorn, 2004). En el cultivo de quinoa en Perú, se ha registrado la presencia de dos especies de dípteros que actúan como fitófagos y potenciales plagas: *Liriomyza huidobrensis* Blanchard (Diptera: Agromyzidae) y *Prodiplosis longifila* Gagné (Diptera: Cecidomyiidae) (Soca-Flores et al., 2022).

### Moscas minadoras *Liriomyza* spp. (Diptera: Agromyzidae)

Las moscas minadoras del género *Liriomyza* son polífagas y tienen una amplia distribución geográfica, desde zonas templadas hasta tropicales, razón por la cual son conocidas como plagas en cultivos como papa y tomate (Araujo et al., 2013). Debido a su comportamiento ágil y su resistencia a condiciones climáticas adversas, las moscas minadoras representan una amenaza potencial para el cultivo de quinoa. Por ejemplo, *Liriomyza huidobrensis* ha sido reportada en Perú afectando al cultivo en los estados fenológicos de seis hojas verdaderas y panojamiento tardío (Soca-Flores et al., 2022). En el departamento del Cauca, se ha documentado la presencia de *L. huidobrensis* en diversas etapas del cultivo de quinoa, desde la aparición de hojas verdaderas hasta el grano pastoso, con mayor incidencia en las hojas inferiores. Aunque persistente, la presencia de estos insectos no genera un daño económico significativo para los productores locales, ya que la mayoría de las hojas afectadas suelen estar cercanas a la senescencia y las que son afectadas en crecimiento tienden a recuperarse del daño.

La hembra de *L. huidobrensis* pone sus huevos en el envés de las hojas, perforando la superficie y colocando un solo huevo por cada oviposición. El huevo es ovalado, sin ornamentación y pre-

senta coloraciones que van de opacas a blanquecinas. La larva es ápoda, cilíndrica y carece de ojos, pasando por tres instares larvales. Los dos primeros instares son responsables de crear las características minas dentro de las hojas, mientras que en el tercer instar, la larva entra en un periodo prepupal y sale de la hoja para formar un pupario cilíndrico que pasa de un color marrón claro a oscuro, donde se refugia la pupa. Los adultos son de color negro, con el escutelo y las patas de color amarillo (figura 5.5a y 5.5b). La hembra se distingue por tener un ovipositor prominente al final del abdomen y ser más grande que el macho. El ciclo de vida desde el huevo hasta la emergencia del adulto dura aproximadamente 40 días, y el adulto puede vivir entre 15 y 30 días, dependiendo de la alimentación (Travaglini, 1990). En su etapa larval, *L. huidobrensis* se alimenta del mesófilo de las hojas sin afectar la epidermis foliar y deja minas serpentinadas que son características del daño que produce (Soca-Flores et al., 2022).



Foto: Takumasa Kondo



a&gt;



&lt;b

**Figura 5.5.** *Liriomyza* spp. sobre plantas de quinua en diferentes localidades del departamento del Cauca. a. *Liriomyza* sp. posada sobre hoja de quinua; b. Pareja de *Liriomyza* sp. en cópula sobre hoja de quinua.

Fotos: Takumasa Kondo

## Chinches, áfidos, saltahojas y otros hemípteros (orden Hemiptera)

El orden Hemiptera es el más extenso y diverso de los insectos hemimetábolos (Moreira et al., 2018) y sus integrantes se caracterizan por el aparato bucal chupador (Johnson & Triplehorn, 2004). En el cultivo de quinua en Perú, se han reportado hemípteros fitófagos como los áfidos *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas, 1878) y *Myzus persicae* (Sulzer, 1776) (Hemiptera: Aphididae), así como los chinches *Nysius simulans* (Stål, 1860) (Hemiptera: Lygaeidae), *Liorhyssus hyalinus* (Fabricius, 1794) (Hemiptera: Rhopalidae) y *Dagbertus* sp. (Hemiptera: Miridae) (Soca-Flores et al., 2022). En el departamento del Cauca, se encontraron hemípteros como el chinche pata de hoja, *Sphictyrus bifibulus* (Brailovsky & Meléndez, 1989) (Coreidae) (figura 5.6a), el “torito”, *Heranice* sp. (Membracidae) (figura 5.6b), y otros ejemplares de las familias Cicadellidae, Cicadidae, Coreidae, Largidae, Membracidae, Miridae (figura 5.6c), Pentatomidae, Psyllidae, Pyrrhocoridae (figura 5.6d), Reduviidae y Scutelleridae.





Foto: Takumasa Kondo



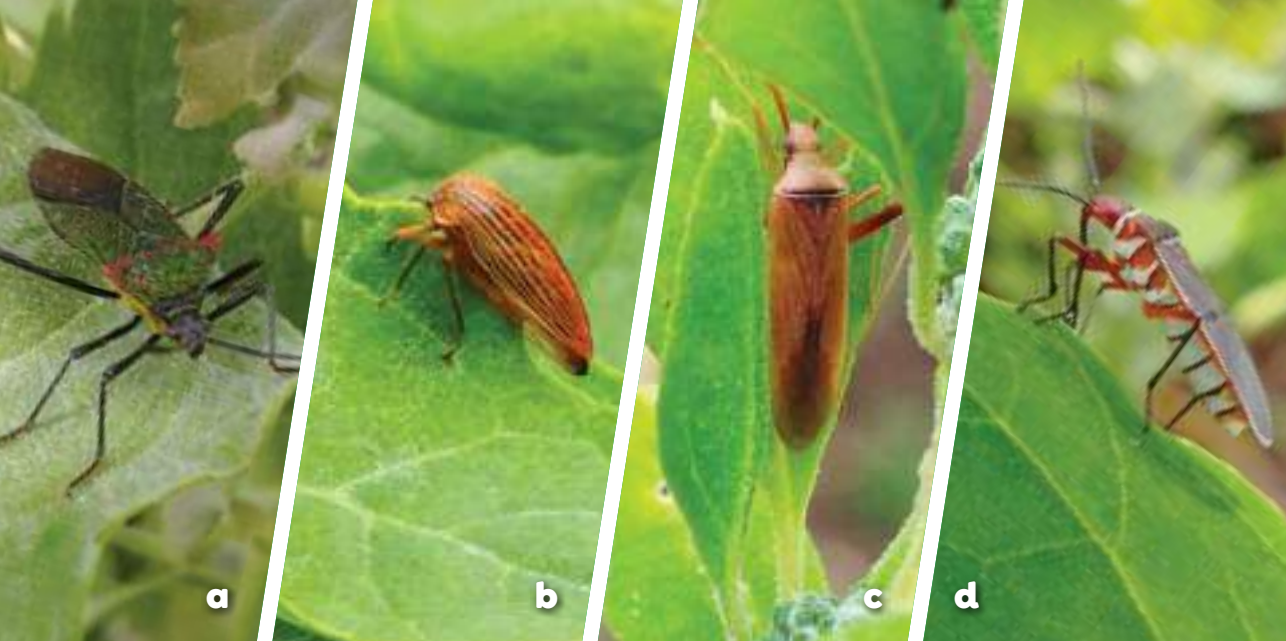


**Figura 5.6.** Diversidad de hemípteros asociados con el follaje de quinua. a. *Sphictyrtus bifibulus* (Coreidae); b. *Heranice* sp. (Membracidae); c. Individuo de la familia Miridae; d. Individuo de la familia Pyrrhocoridae.

Fotos: Robert Rosero

## Saltahojas (Hemiptera: Cicadellidae)

Las especies de saltahojas (figura 5.7), comúnmente llamadas cicadélidos o loritos verdes, son de gran importancia económica debido a que actúan como vectores de fitopatógenos y causan daños directos a las plantas al alimentarse de la savia de las células y tejidos. Los saltahojas del género *Empoasca* pueden causar daños en las plantas de quinua (Yábar et al., 2002). Además, tienen la capacidad de transmitir virus, bacterias y hongos de manera eficiente a las plantas debido a su comportamiento de alimentación de ingestión-egestión (Backus et al., 2005), aunque su papel como vectores de patógenos que afectan específicamente a la quinua no ha sido comprendido en su totalidad. Especies de este género han sido previamente asociadas al cultivo de quinua (Cruces et al., 2016; Zurita-Silva & Quiroz, 2015). El saltahoja *Stehlikiana crassa* (Walker) (figura 5.7a) es una especie polífaga que se encuentra con frecuencia en los cultivos de quinua y arvenses en la localidad de Silvia, Cauca; sin embargo, no se han identificado daños asociados al ataque de este insecto. También se registró la presencia de saltahojas del género *Paromenia* (figura 5.7b), así como otros saltahojas no identificados (figuras 5.7c y 5.7d).



Foto: Takumasa Kondo



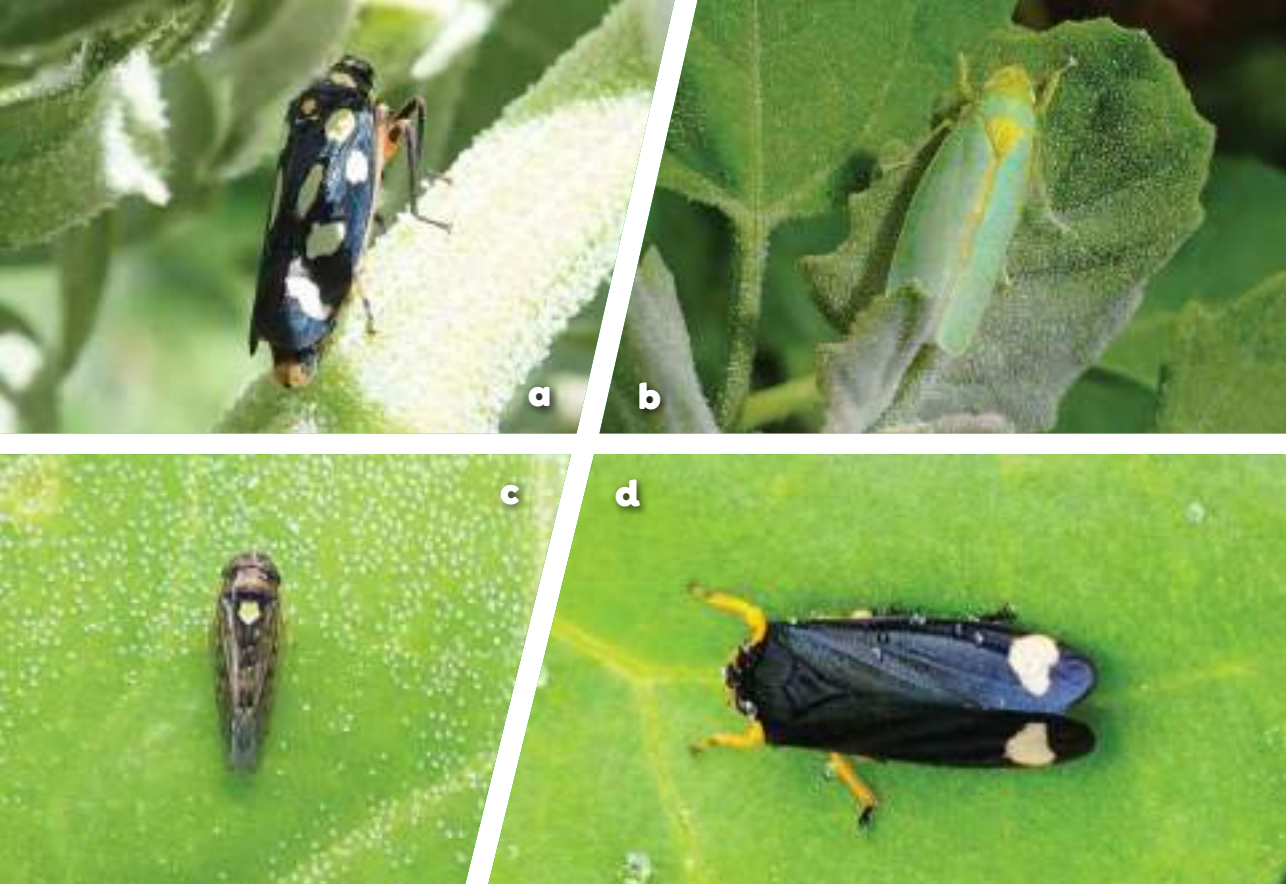


**Figura 5.7.** Diversidad de individuos de la familia Cicadellidae asociados al follaje de quinua. a. *Stehlikiana crassa* (Walker); b. *Paromenia* sp.; c. y d. Individuo de la familia Cicadellidae.

Fotos: Takumasa Kondo y Robert Rosero

## Áfidos (Hemiptera: Aphididae)

La diversidad global de áfidos incluye 4.401 especies descritas, las cuales ocupan un lugar destacado entre las principales plagas de muchos cultivos (Rosales-López et al., 2013). En los cultivos de quinua en Bolivia, se ha detectado la presencia de diversas especies de áfidos desde las etapas iniciales hasta la maduración del cultivo. Los daños que provocan suelen ser consecuencia directa de su alimentación, pues ocasionan clorosis, enrollamiento y caída prematura de las hojas (Delfino et al., 2007). En el departamento del Cauca, se identificaron tres especies que afectan el cultivo de la quinua en distintas etapas fenológicas y órganos: el áfido verde (figura 5.8a), el áfido negro (figura 5.8b) y el áfido enrollador (figura 5.8c).



**Figura 5.8.** Áfidos afectando plantas de quinua en distintas localidades del departamento del Cauca. a. Áfidos verdes; b. Áfidos negros.

Fotos: Takumasa Kondo

El áfido de la quinua, *Hayhurstia atriplicis* (Linnaeus, 1761), conocido como áfido enrollador, es un fitófago exclusivo de la familia Amaranthaceae. Ataca el haz de las hojas de la quinua y ocasiona un enrollamiento que deforma la estructura foliar en forma de agallas, donde se refugian y reproducen (Kondo et al., 2024; Pruna et al., 2023). Su presencia ha sido registrada en todas las etapas fenológicas de la quinua, desde la emergencia de la planta hasta la madurez fisiológica (Kondo et al., 2024; Pruna et al., 2023). Una alta infestación por *H. atriplicis* puede afectar todas las hojas de una planta. Si no se controla eficazmente, la presencia de este áfido puede persistir durante varios ciclos de cosecha de quinua (hasta 3 años), debido a su capacidad para migrar fácilmente entre cultivos (Starý & González, 1991).

Este áfido es de importancia económica, ya que reduce considerablemente la capacidad fotosintética de las plantas afectadas. Si no se maneja adecuadamente, puede distribuirse de manera generalizada en todo el cultivo hasta llegar a niveles de infestación de hasta el 60 %, tal como se evidenció en el presente estudio. Su daño se caracteriza por un patrón de agallamiento en las hojas del hospedero (Chakrabarti, 2007) (figura 5.9a). Estas agallas protegen a *H. atriplicis* de condiciones climáticas adversas (Pruna et al., 2023) y de las aplicaciones de insecticidas, como también se demostró en el presente estudio (figura 5.9b).



**Figura 5.9.** Áfido enrollador *Hayhurstia atriplicis* dentro de las hojas de quinua visiblemente afectadas. a. Áfidos dentro de una hoja enrollada (pseudoagalla) de quinua; b. Hojas de quinua visiblemente afectadas.

Fotos: Takumasa Kondo





Chinche hediondo (Pentatomidae).  
Foto: Takumasa Kondo

## Chinche hediondo (*Thyanta perditor* (Fabricius, 1794)) (Hemiptera: Pentatomidae)

*Thyanta perditor* (F.) es una de las especies de chinches hediondos más comunes y ha sido reportada como plaga potencial en cultivos de trigo y soya. Se ha demostrado que prefiere alimentarse de flores y semillas y no afecta los tejidos vegetativos de las plantas que coloniza (Tomacheski et al., 2019). Su área de distribución geográfica abarca el norte de Sudamérica, Centroamérica y el sur de Norteamérica (Laumann et al., 2011). Hasta ahora, no se había reportado en cultivos de quinua; sin embargo, fue encontrado durante este estudio en etapas reproductivas del cultivo de quinua.



*Thyanta perditor* oviposita en masas de 20 a 40 huevos, los cuales eclosionan después de 5 a 6 días. Las ninfas presentan diferentes coloraciones a medida que pasan por cinco estadios de desarrollo. El tiempo aproximado de desarrollo de las ninfas hasta convertirse en adultos es de 35 a 40 días. Los adultos presentan dos tipos de coloración, que ocasionalmente responden a un dimorfismo sexual: las hembras son más grandes y de color verde, mientras que los machos son más pequeños y de color marrón (Ferreira & de Silveira, 1991). Atacan exclusivamente los tejidos reproductivos de sus plantas hospederas y no se alimentan del follaje; se han reportado causando daños en panojas, inflorescencias y granos (Ferreira & de Silveira, 1991) (figuras 5.10a y 5.10b).



**Figura 5.10.** Chinche hediondo, *Thyanta perditor* (F.). a. Adulto posado en una bráctea de quinua; b. Adulto posado en una panoja de quinua.

Fotos: Takumasa Kondo y Robert Rosero



Saltamontes de antenas cortas (Acrididae).  
**Foto:** Takumasa Kondo

## Saltamontes, langostas y grillos (orden Orthoptera)

### Saltamontes de antenas cortas y chapulines verdes (familias Acrididae y Tettigoniidae)

La familia Acrididae es una de las más amplias y reconocidas entre los saltamontes, con especies presentes en casi todos los hábitats terrestres del mundo. Varias de sus especies son consideradas plagas agrícolas y pueden causar pérdidas económicas significativas a los agricultores. Los saltamontes de antenas cortas se caracterizan por tener alas cortas y una capacidad de dispersión limitada (Song et al., 2018). En Chile, se han registrado saltamontes de antenas cortas alimentándose de hojas de quinua (Chorbadjian et al., 2021).

Por otra parte, los chapulines de la familia Tettigoniidae son amplios y bien estudiados, con alrededor de 5.000 especies diferentes reportadas en todo el mundo. Son de importancia económica, ya que se comportan como plagas en distintos cultivos agrícolas; sin embargo, algunas especies son depredadoras que se alimentan de otros insectos (Mugleston et al., 2018). Se caracterizan por su predominante coloración verde, sus antenas finas y más largas que el cuerpo, un aparato bucal mandibular, y un ovipositor alargado en forma de espada o daga (Barman, 2003).

En el departamento del Cauca se ha registrado la presencia de saltamontes de antenas cortas (Orthoptera: Acrididae) (figura 5.11a) y chapulines verdes (Orthoptera: Tettigoniidae), afectando plantas de quinua en los estados fenológicos de aparición de hojas verdaderas, ramificación, formación de panoja, floración, grano lechoso y grano pastoso, tal como se demostró en el presente estudio (figura 5.11b). Además, se observó la presencia de saltamontes del género *Baeacris* (Orthoptera: Acrididae) como fitófagos de la quinua en los estados fenológicos de aparición de hojas verdaderas, ramificación, formación de panoja y floración, principalmente en las localidades de Silvia y Totoró. Estos saltamontes también se registraron en parcelas de quinua en los municipios de La Vega y Bolívar, aunque no generaron un daño económico significativo en los cultivos.



a&gt;



&lt;b



**Figura 5.11.** Insectos del orden Orthoptera. a. Saltamontes de antenas cortas (Orthoptera: Acrididae) en estado inmaduro; b. Chapulín verde (Orthoptera: Tettigoniidae) en estado adulto.

Fotos: Takumasa Kondo y Robert Rosero

## Potenciales insectos plaga de importancia en el cultivo de la quinua en el departamento del Cauca

No todos los insectos fitófagos son considerados plagas en la agricultura. La Convención Internacional de Protección Fitosanitaria (CIPF) (2022) define una plaga agrícola como “cualquier especie, raza o biotipo de planta o animal, o agente patógeno, dañino para las plantas o productos vegetales”. El cultivo de quinua enfrenta numerosos problemas de plagas causados por aves, enfermedades, insectos, malezas y roedores a lo largo de todas sus etapas de crecimiento y desarrollo, lo que provoca pérdidas directas e indirectas significativas en la producción. En la tabla 5.1 se presentan las principales plagas potenciales identificadas en el cultivo de quinua en el departamento del Cauca.



**Tabla 5.1.** Plagas potenciales del cultivo de quinua en el departamento del Cauca

| Insecto    | Orden       | Familia      | Especie                | Daño                                                                                                                                                                                       | Estado                                            | Incidencia |
|------------|-------------|--------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------|
| Polilla    | Lepidoptera | Noctuidae    | <i>Copitarsia</i> sp.  | En sus primeros instares, las larvas realizan raspaduras y dejan un rastro de excremento. Las larvas maduras realizan perforaciones circulares en las hojas.                               | Emergencia, seis hojas verdaderas, ramificación.  | Media/Alta |
| Polilla    | Lepidoptera | Noctuidae    | <i>Spodoptera</i> spp. | Las larvas jóvenes raspan la epidermis de las hojas. Las larvas maduras pueden causar daños de alimentación en las hojas, panoja y semillas.                                               | Ramificación, floración.                          | Media/Alta |
| Saltahojas | Hemiptera   | Cicadellidae | <i>Empoasca</i> spp.   | Son chupadores de hojas e inyectan toxinas que generan entorchamiento en las hojas.                                                                                                        | Emergencia, seis hojas verdaderas, ramificación.  | Media      |
| Minador    | Diptera     | Agromyzidae  | <i>Liriomyza</i> sp.   | La larva de este díptero se alimenta del mesófilo y reduce la capacidad fotosintética de la planta, lo cual ocasiona la caída de hojas y permite la entrada de patógenos por sus galerías. | Formación de panoja, ramificación y panojamiento. | Alta       |

|                                                                                                                           |                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vaquita                                                                                                                   | Otros áfidos                                                                          | Áfido enrollador                                                                                                                                                                                                                             |
| Coleoptera                                                                                                                | Hemiptera                                                                             | Hemiptera                                                                                                                                                                                                                                    |
| Chrysomelidae                                                                                                             | Aphididae                                                                             | Aphididae                                                                                                                                                                                                                                    |
| <i>Diabrotica</i> spp.                                                                                                    | NA                                                                                    | <i>Hayhurstia atriplicis</i>                                                                                                                                                                                                                 |
| Los adultos de estos escarabajos se alimentan de las hojas y panojas de la quinua.                                        | Las ninfas y adultos se alimentan succionando la savia de las plantas y las debilita. | Este áfido se alimenta succionando la savia de las plantas. Provoca debilitamiento de la parte foliar, pérdida vigor y reducción del desarrollo. Su saliva parece contener una toxina que induce el enrollamiento de las hojas y los brotes. |
| Emergencia, dos a cuatro pares de hojas verdaderas, ramificación, floración, panojamiento, grano lechoso y grano pastoso. | Formación de panoja, floración, grano lechoso, grano pastoso y madurez de cosecha.    | Floración, emergencia, dos pares de hojas verdaderas y ramificación.                                                                                                                                                                         |
| Media                                                                                                                     | Baja/ Media                                                                           | Media                                                                                                                                                                                                                                        |

Fuente: Elaboración propia

## Enemigos naturales (insectos benéficos)

El cultivo de la quinua se caracteriza por la presencia significativa de diversos enemigos naturales, lo cual lo convierte en un auténtico “refugio natural” para aquellos organismos que actúan como controladores de plagas. Este aspecto adquiere una relevancia considerable, ya que la quinua puede desempeñar un papel destacado como aliado en el control natural de plagas en otros cultivos. Esto se debe a que la quinua es una valiosa fuente de organismos benéficos, especialmente de depredadores (Dughetti, 2015).



Crisopa verde (Chrysopidae).  
Foto: Takumasa Kondo

## Depredadores

Crisopas (orden Neuroptera)

Crisopa verde (*Chrysoperla* spp.) (Neuroptera: Chrysopidae)

Las especies de crisopa verde (figura 5.12a y 5.12b), incluidas las del género *Chrysoperla*, son depredadores voraces tanto en su etapa larval como en su adultez. Se utilizan en múltiples programas de biocontrol debido a su amplio espectro de presas, que incluye diversas especies de áfidos, larvas jóvenes de lepidópteros, cicadélidos y huevos de insectos (Than et al., 1999). *Chrysoperla externa* (Hagen, 1861) oviposita huevos sostenidos individualmente por un pedicelo gelatinoso y transparente de aproximadamente 6 mm de longitud. Los huevos recién ovipositados son de color verde y, a medida que maduran, se tornan de color blanco crema. El periodo de incubación dura aproximadamente 6 días. La larva pasa por 3 estadios, es de color blanco crema con manchas oscuras laterales simétricas y su cuerpo es fusiforme, con ensanchamiento en el centro y estrechamiento hacia los extremos de la cabeza y el ano. La pupa es de color verde y se encuentra dentro de un capullo sedoso de color blanco, de forma esferoidal y textura apergaminada. El adulto es de color verde claro y presenta una línea amarilla que va desde la base de la cabeza hasta el ápice del abdomen. También tiene manchas rojizas en las secciones laterales del rostro (Núñez, 1988).



**Figura 5.12.** Crisopa verde. a. Postura de huevos de crisopa verde sobre inflorescencia de quinua; b. Adulto posado en una hoja de quinua.

Fotos: Takumasa Kondo

### Crisopa marrón (*Hemerobius* spp.) (Neuroptera: Hemerobiidae)

Comúnmente se conoce como crisopas marrones a los miembros de esta familia. Son insectos depredadores de pequeños insectos fitófagos de importancia económica, tanto en su fase larval como adulta. Especies del género *Hemerobius* (figura 5.13) se encuentran en casi todo el planeta, y en el Neotrópico se han reportado 30 especies diferentes (Reguilón, 2002). A continuación, se describe la biología de *Hemerobius edui* Monserrat reportada por Reguilón (2002). El huevo es de color blanco lechoso con corión de superficie brillante y, a medida que madura, se va oscureciendo hasta la eclosión. La larva presenta tres estadios larvales, es de color ámbar, tiene los ojos negros y finos pelos dispersos. El cuerpo es fusiforme. La pupa forma un capullo de color blanco, de textura sedosa y ligeramente translúcido, que deja ver la pupa en su interior. El adulto tiene la cabeza amarilla, el tórax de color pardo oscuro, las alas membranosas de color pardo pálido, muy anchas y redondeadas, y el abdomen segmentado.





**Figura 5.13.** Crisopa marrón (*Hemerobius* sp.) posada en una panoja de quinoa.

Foto: Takumasa Kondo

## Mariquitas (Coleoptera: Coccinellidae)

Coccinellidae es una familia muy diversa dentro del orden Coleoptera cuyos integrantes son conocidos vulgarmente como “chinitas” o “mariquitas” (González, 2016). Estos coleópteros son de gran interés para la agricultura, ya que tanto en su etapa adulta como larval son depredadores de insectos herbívoros, por lo que se utilizan para el control de importantes plagas agrícolas (Zúñiga-Reinoso, 2011).

### Mariquita zig-zag de seis puntos *Cheilomenes sexmaculata* Fabricius, 1781 (Coleoptera: Coccinellidae)

Conocida como mariquita zig-zag de seis puntos, *Cheilomenes sexmaculata* es un afidófago de gran importancia debido a su efectividad, a la variedad de pulgones que depreda y a su tolerancia a las altas temperaturas, lo que le permite sobrevivir incluso en ambientes de invernadero. Estas características la convierten en una especie con gran potencial para el control biológico de insectos.

tos plaga de cuerpo blando (Zhao et al., 2015). A continuación, se describen las características de *C. sexmaculata* reportadas por González (2016), Mishra et al. (2021), Rai et al. (2003) y Singh et al. (2008). Los huevos son de color amarillo intenso y, a medida que se incuban, se tornan de color gris claro antes de eclosionar. La larva se desarrolla pasando por cuatro estadios larvales durante un periodo de aproximadamente  $8,52 \pm 0,13$  días. El periodo pupal dura entre  $2,68 \pm 0,14$  días. El adulto tiene forma redonda, los élitros son de color negro con manchas generalmente rojas, aunque pueden variar y ser amarillas o anaranjadas, y presenta manchas amarillas en la cabeza (figuras 5.14a y 5.14b).



**Figura 5.14.** Mariquita zig-zag de seis puntos (*C. sexmaculata*). a. *C. sexmaculata* posada en una panoja de quinua; b. Pareja de *C. sexmaculata* en cópula sobre un tallo de quinua.

Fotos: Robert Rosero



### Mariquita asiática multicolor *Harmonia axyridis* (Pallas, 1773) (Coleoptera: Coccinellidae)

Conocida como mariquita multicolor asiática, *Harmonia axyridis* es uno de los insectos más utilizados en el control biológico de pulgones y otros insectos de cuerpo blando. Se trata de un insecto cosmopolita que puede llegar a afectar las poblaciones de coccinélidos nativos (Kondo & González, 2013; Saini, 2004). También es depredador de estados inmaduros de crisomélidos, curculiónidos y lepidópteros (Koch, 2003). A continuación, se describen las características y biología de *H. axyridis* reportadas por González (2016), Koch (2003), Kondo y González (2013), de Oliveira Ramos et al. (2014) y Saini (2004). El huevo tiene un periodo de incubación de aproximadamente  $4,2 \pm 0,2$  días hasta el nacimiento de la larva. La larva es de color negruzco con manchas anaranjadas en las zonas dorsolaterales y pasa por cuatro estadios larvales durante un periodo de  $12,07 \pm 0,2$  días. La pupa tiene una duración aproximada de 4,5 días hasta la emergencia del adulto, el cual presenta variación en el color de fondo de los élitros, desde anaranjado (figura 5.15a) hasta rojo (figura 5.15b). Las manchas en los élitros pueden ser puntos, difuminadas, o en algunos casos, estar ausentes. La cabeza es blanca con manchas negras que forman una “M” en la parte frontal. El adulto de la mariquita asiática multicolor puede vivir un periodo aproximado de 248,3 días. La duración del periodo entre el huevo y la emergencia del adulto es de aproximadamente 19,8 días.





**Figura 5.15.** Mariquita asiática multicolor *Harmonia axyridis* (Pallas) en panojas de quinua. a. Morfotipo anaranjado; b. Morfotipo rojo.

Fotos: Robert Rosero

## Escarabajo clic (Coleoptera: Elateridae)

La familia Elateridae cuenta con aproximadamente 10.000 especies descritas, de las cuales una cuarta parte se encuentra en el Neotrópico. Son conocidos como escarabajos clic, debido a que utilizan un mecanismo de salto que emite este sonido al hacer resorte entre la unión flexible del protórax y el mesotórax. Este movimiento les permite darse la vuelta y caer sobre sus patas (Aguirre Tapiero, 2009). Algunas especies de esta familia son depredadoras de pulgones y otros insectos de cuerpo suave; también pueden alimentarse de néctar, polen, frutas maduras o caídas, hongos y secreciones radiculares. Las larvas tienen un hábito subterráneo y son omnívoras; generalmente, se alimentan de larvas pequeñas y materia orgánica en descomposición (Zurita-Silva & Quiroz, 2015). Durante las visitas a campo se observaron varios individuos de elatéridos del género *Adrastus* (figura 5.16a), a cuyos integrantes se les conoce como cucarrón tronador. Este insecto es depredador y polínifago, y forma parte de los insectos benéficos de la entomofauna asociada al cultivo de quinua (figura 5.16b).



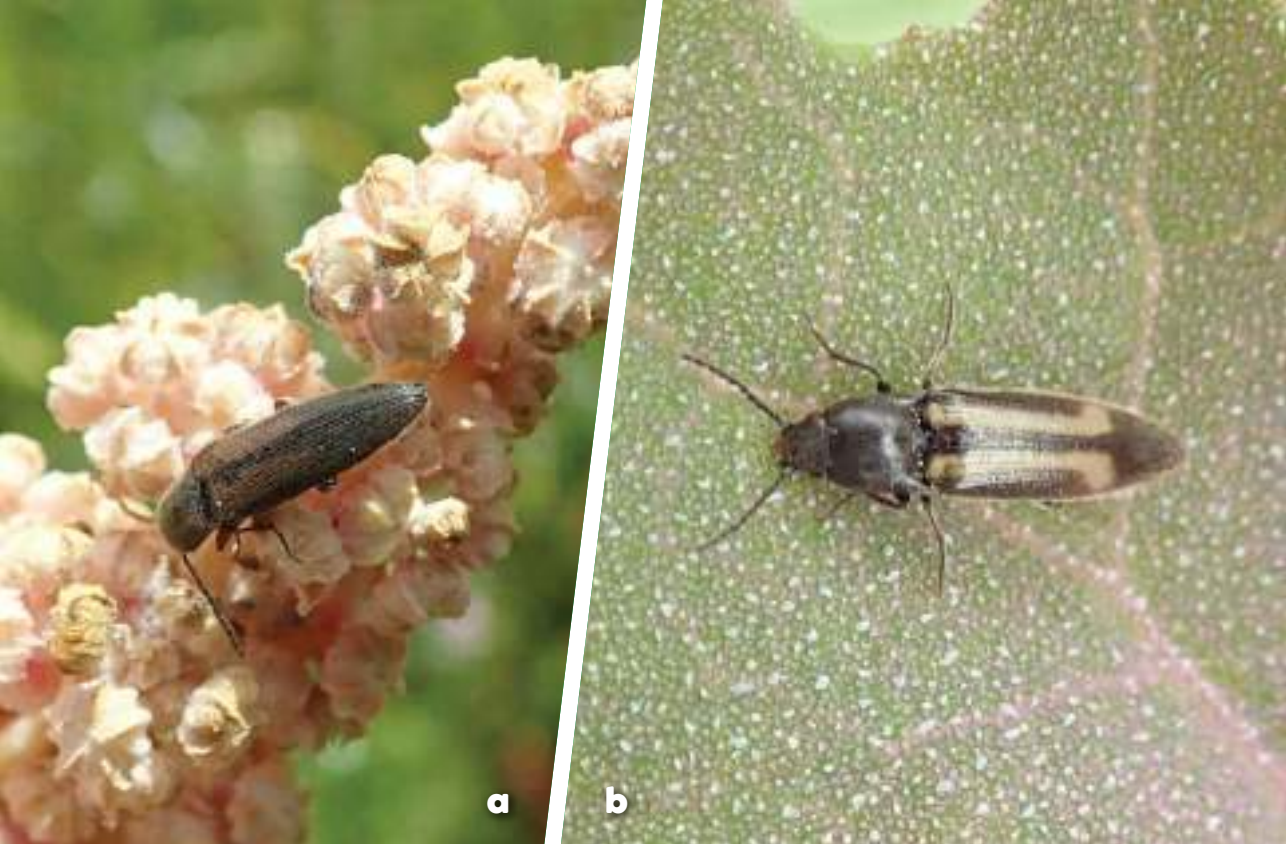


**Figura 5.16.** Escarabajos clic (Coleoptera: Elateridae). a. *Adras-tus* sp.; b. Escarabajo clic.

Fotos: Takumasa Kondo

## Avispas (orden Hymenoptera)

### Avispas parasitoides Braconidae e Ichneumonidae

Las familias Braconidae e Ichneumonidae, cuyos individuos son conocidos como avispas parasitoides, forman una superfamilia singular dentro del orden Hymenoptera. Braconidae es una familia muy extensa, compuesta por aproximadamente 15.000 especies. Pueden poner sus huevos dentro, sobre o cerca de insectos en estados inmaduros, los cuales serán parasitados posteriormente (Wharton, 1993). El tamaño de las avispas braconídas varía de 1 a 30 mm, aunque generalmente no superan los 10 mm (figura 5.17a). La hembra inyecta veneno en el huésped y luego deposita sus huevos; este mecanismo puede darse de dos maneras: como ectoparásito o endoparásito (Coronado & Zaldívar, 2014). En el presente estudio, se encontraron múltiples especies de esta familia parasitando larvas de lepidópteros fitófagos de la quinua.

Por su parte, la familia Ichneumonidae es una de las más extensas del orden Hymenoptera. Se comportan como parasitoides de larvas y pupas de otros insectos; en ocasiones pueden parasitar arañas y sus huevos. No se ha demostrado que ninguna especie de ichneumónido sea parásito de insectos adultos (Townes, 1958). Se reconocen 22 subfamilias dentro de Ichneumonidae (Gupta, 1991), con alrededor de 100.000 especies. Algunas son bastante grandes, y ciertas especies se caracterizan por tener un aparato ovipositor muy largo, que, en algunos casos, alcanza los 60 mm. Unas pocas especies tienen antenas vibrantes con bandas blancas y diseños llamativos brillantes; no obstante, la mayoría son pequeñas, oscuras y poco vistosas. Frecuentemente, las hembras parasitan larvas y pupas de mayor tamaño que ellas; prefieren lepidópteros, coleópteros, dípteros y otros himenópteros (American Entomological Institute, 2002). En el presente estudio, se encontraron múltiples especies de esta familia parasitando larvas de lepidópteros fitófagos de la quinua.

A continuación, se presenta información general sobre la morfología de los ichneumónidos, según lo reportado por el American Entomological Institute (2002). Una hembra puede tener desde diez hasta miles de huevos potenciales. La mayoría de los huevos de los ichneumónidos son alargados, opacos y carecen de corión. Algunos ectoparásitos presentan ganchos en los huevos para adherirse a la cutícula del huésped. Generalmente, las larvas pasan por cinco estadios larvales. Las larvas ectoparásitas se caracterizan por tener una cutícula muy esclerotizada, antenas largas y setas rígidas, mientras que las larvas endoparásitas tienen una cutícula débil, no esclerotizada, antenas vestigiales y carecen de espiráculos. Los adultos de los ichneumónidos suelen alimentarse de néctar y polen. Las hembras se caracterizan por su aparato ovipositor alargado.



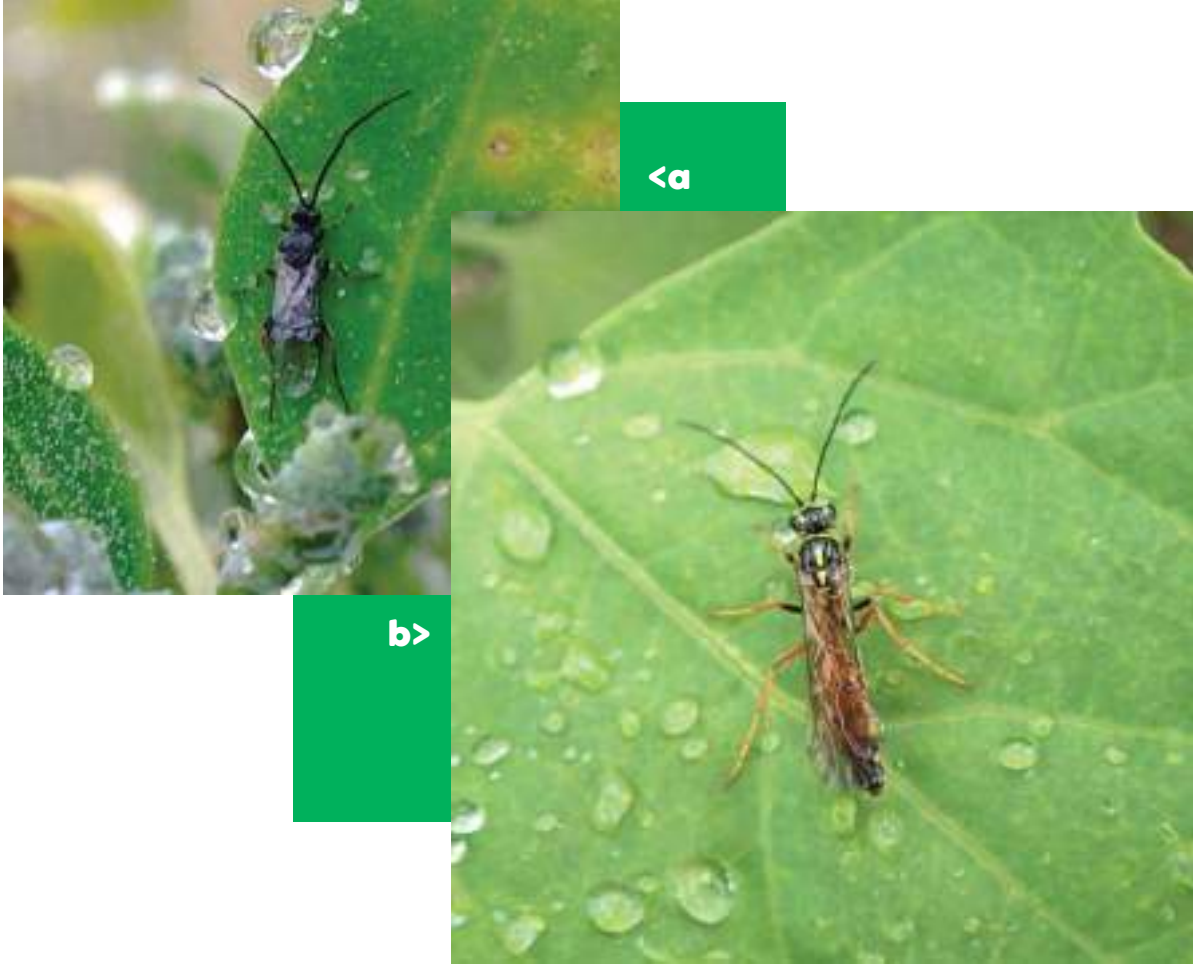


**Figura 5.17.** Avispas parasitoides en cultivo de quinoa. a. Individuo de la familia Ichneumonidae; b. Individuo de la familia Braconidae.

Fotos: Takumasa Kondo y Robert Rosero

## Moscas depredadoras (orden Diptera)

Mosca de las flores *Toxomerus* spp. y *Allograpta* spp.  
(Diptera: Syrphidae)

Son conocidos como moscas de las flores y desempeñan una función ecológica crucial en el biocontrol y la polinización. En su etapa larval, son depredadores voraces de todo tipo de áfidos. Como adultos, son considerados polinizadores eficientes, ya que necesitan alimentarse constantemente de polen para obtener la energía necesaria para volar y reproducirse (Coffey, 2023). Se estima que las larvas de *Allograpta obliqua* Say (1823) pueden controlar entre el 70 % y el 100 % de las poblaciones de áfidos, ya que pueden con-



Mosca ladrona (Asilidae).  
Foto: Takumasa Kondo

sumir entre 17 y 34 áfidos por día y llegar a un total de hasta 265 áfidos durante toda su etapa larval (López et al., 2012). *Toxomerus* es un género endémico del continente americano, con una distribución que se extiende desde Canadá hasta el sur de Chile, con aproximadamente 140 especies diferentes (Thompson & Thompson, 2006), mientras que *Allograpta* también se extiende por todo el continente americano (Arcaya et al., 2017). La taxonomía de *Toxomerus* se puede definir principalmente por el patrón de franjas abdominales, que varía entre especies e incluso puede aparecer oscurecido o difuminado (Mengual, 2011) (figura 5.18a). Por su parte, *Allograpta* presenta un abdomen negro con manchas amarillas y una línea negra que atraviesa el rostro en medio de los ojos (López et al., 2012) (figura 5.18b). En los cultivos de quinua en Perú se ha reportado la presencia de controladores naturales como *Allograpta exotica*, *Allograpta piurana* y *Toxomerus* sp. (Soca-Flores et al., 2022). También se encontraron pupas de Syrphidae en múltiples ocasiones sobre las plantas de quinua (figuras 5.18c y 5.18d).





Foto: Takumasa Kondo



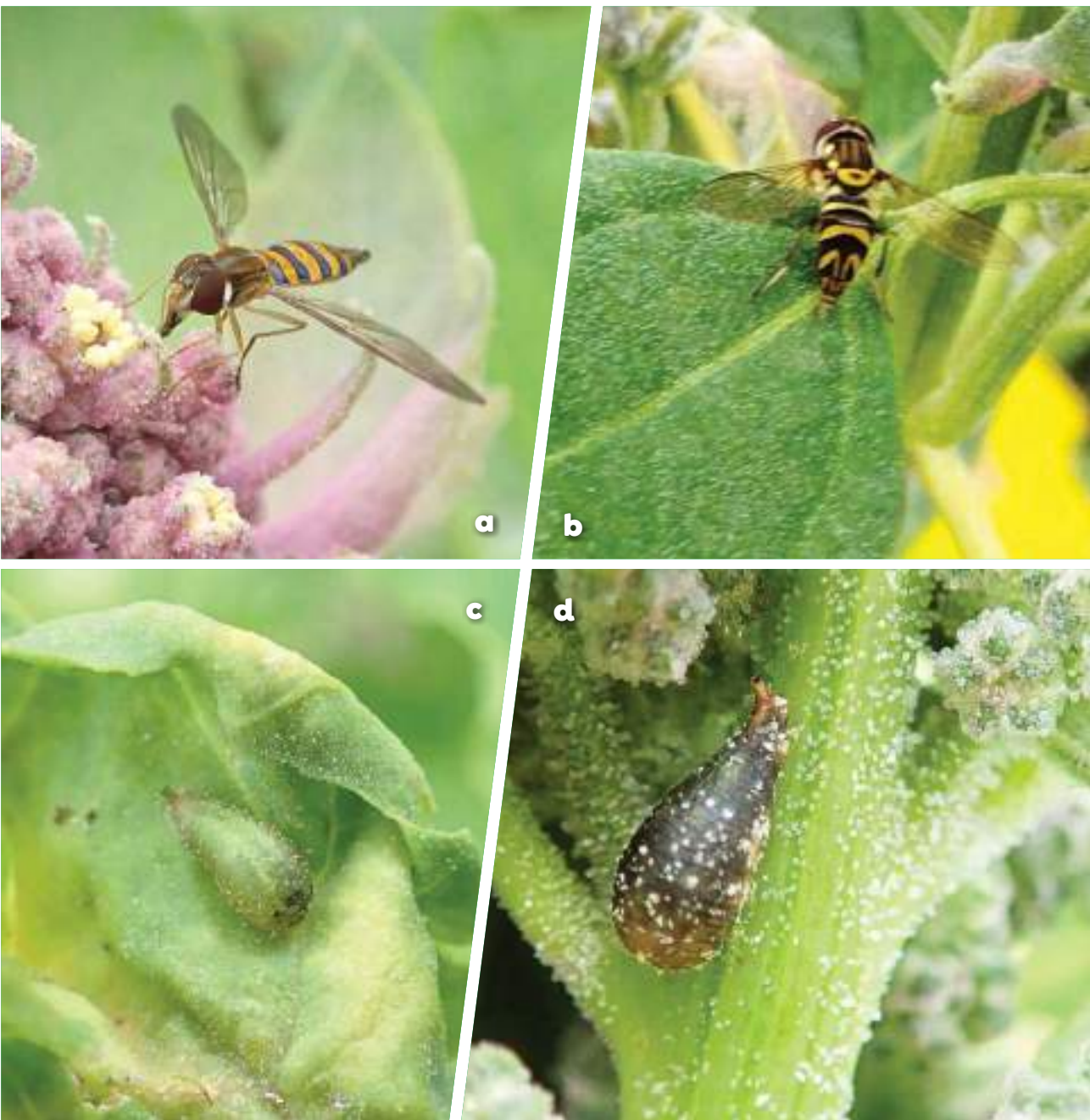


**Figura 5.18.** Mosca de las flores *Toxomerus* sp. y *Allograpta* sp.  
a. *Toxomerus* sp.; b. *Allograpta* sp.; c. Pupa de un sírfido; d. Pupa  
de un sírfido.

Fotos: Takumasa Kondo y Robert Rosero

# Insectos visitantes encontrados en quinua

## Lepidópteros visitantes

Familias: HesperIIDae, Nymphalidae, Papilionidae, Pieridae, Plutellidae, Yponomeutidae y Zygaenidae

Las mariposas y polillas de las familias HesperIIDae, Nymphalidae, Papilionidae, Pieridae, Plutellidae, Yponomeutidae y Zygaenidae representan taxones distintivos con características morfológicas, comportamentales y ecológicas particulares. Las mariposas saltarinas (HesperIIDae) se reconocen por su vuelo ágil, cuerpo robusto y antenas terminadas en forma de gancho (Montaña & Andrade, 2008). Estas mariposas diurnas exhiben colores oscuros, algunas con patrones de manchas metálicas, y desempeñan un papel ecológico significativo como indicadores de la conservación de ecosistemas (Carvajal, 2021).



Mariposa cometa (Papilionidae).  
Foto: Takumasa Kondo





Foto: Takumasa Kondo

Por otro lado, las denominadas mariposas patas de cepillo (Nymphalidae) se distinguen por la vellosidad notable en sus patas y su comportamiento diurno. Las orugas de esta familia frecuentemente presentan pelusa y proyecciones en la cabeza, mientras que las pupas exhiben manchas brillantes (Khyade et al., 2018). Las mariposas cometa (Papilionidae), de gran tamaño, se destacan por las extensiones en sus alas posteriores, conocidas como apéndices caudales, y sus antenas terminadas en clavos (Oñate-Ocaña et al., 2006).

Las mariposas de la familia Pieridae, comúnmente llamadas mariposas blancas, amarillas y azufre, juegan un papel crucial en la polinización de diversas plantas (Villalobos-Moreno et al., 2020).

*Leptophobia aripa* (Boisduval, 1859) es una plaga en cultivos de col, coliflor, brócoli y otras crucíferas (Brassicaceae), pero, aunque se observa sobrevolando los cultivos, esta especie no se alimenta de las plantas de quinua. Lo mismo ocurre con la polilla dorso de diamante, *Plutella xylostella* L., 1758 (Plutellidae), que se caracteriza por el diseño de triángulos en el dorso de sus alas anteriores. Esta especie es una plaga común y mundialmente importante para los cultivos de crucíferas (Gautam et al., 2018).



Las Yponomeutidae, conocidas como polillas armiño, son insectos de pequeño tamaño con alas alargadas, mayormente de colores blanco, gris o marrón. Algunos géneros, como *Yponomeuta*, tienen relevancia económica (Heppner, 2008), pero no se comportan como fitófagos en el cultivo de la quinua.

Finalmente, las polillas pimpinela (Zygaenidae) presentan colores que varían desde el gris críptico, café y negro, hasta colores conspicuos o aposemáticos con brillos metálicos en algunas especies de hábitos diurnos (Epstein et al., 1998). Estas polillas son de tamaño medio y no exhiben comportamiento fitófago en el cultivo de la quinua (Cano & Gurrea, 2003).

La diversidad morfológica y comportamental de estas familias contribuye a la riqueza biológica y a su función en diversos ecosistemas, lo que enfatiza la necesidad de su estudio integral para comprender su impacto en el equilibrio ecológico y la conservación de la biodiversidad (Cano & Gurrea, 2003). En cultivos de quinua bajo estudio en el departamento del Cauca se registró la presencia de lepidópteros visitantes de las familias Papilionidae (figura 5.19a), Nymphalidae (figura 5.19b), Pieridae (figura 5.19c), Plutellidae (figura 5.19d), Yponomeutidae (figura 5.19e) y Zygaenidae (figura 5.19f).

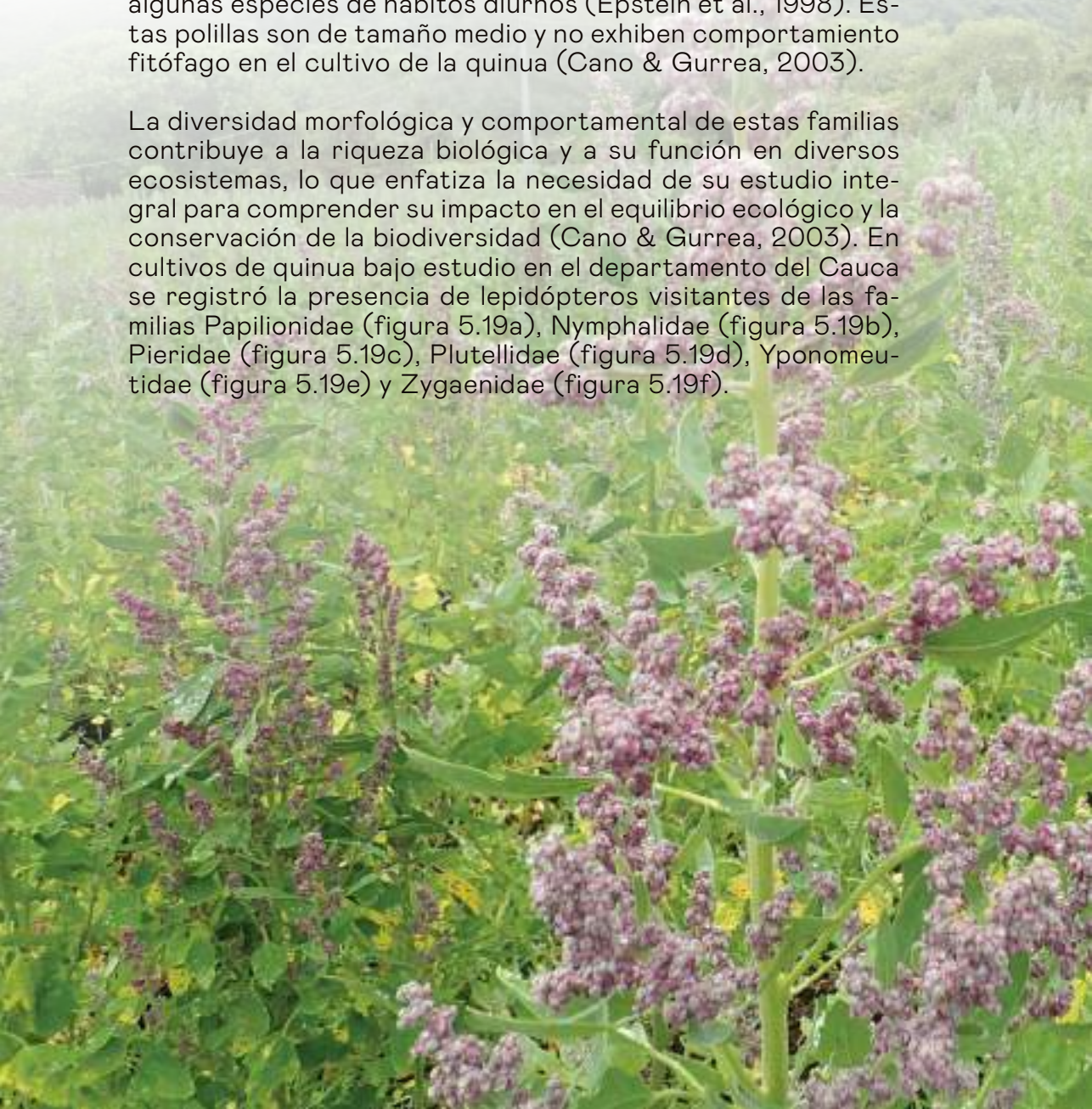






Foto: Takumasa Kondo



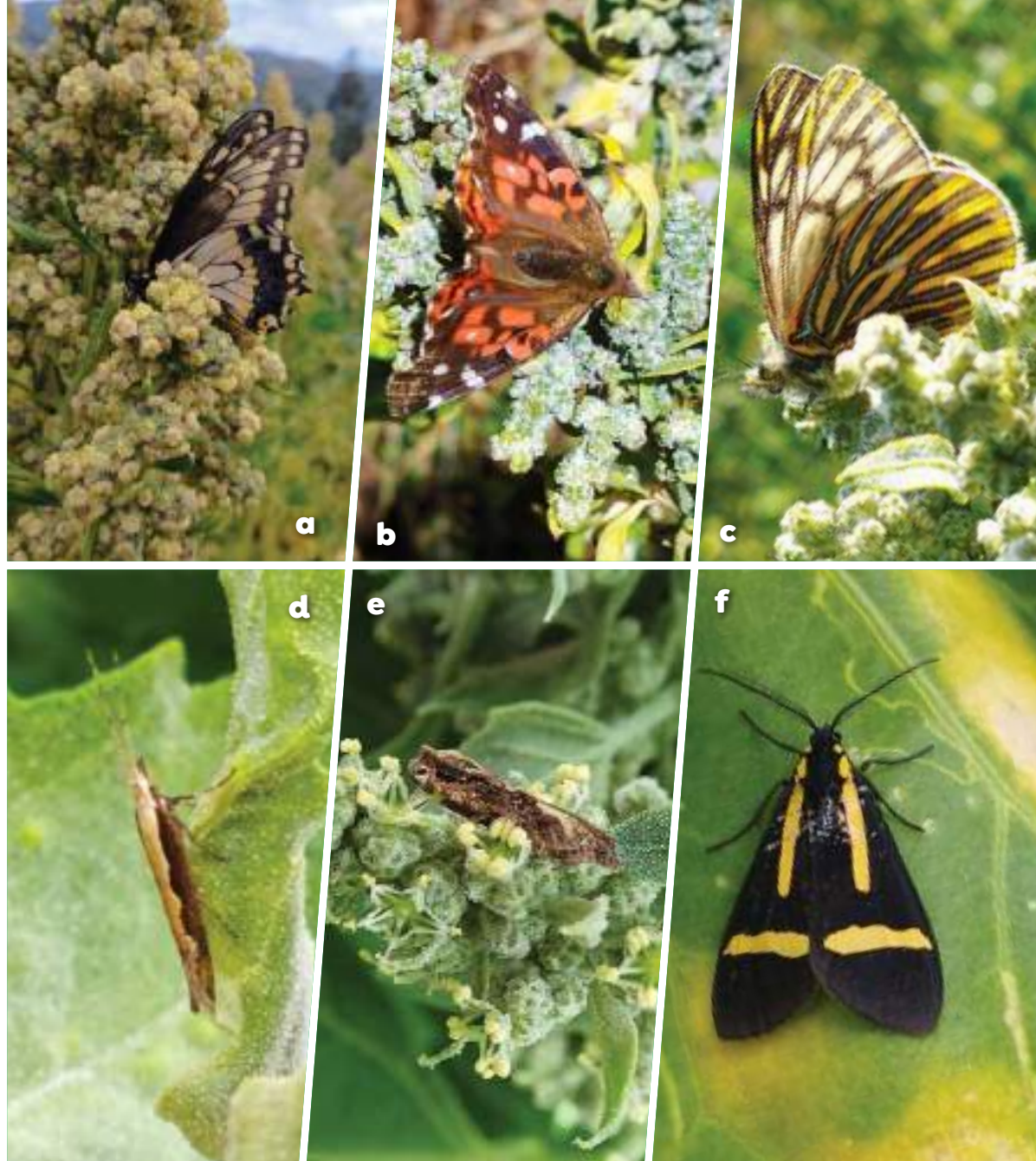


**Figura 5.19.** Lepidópteros visitantes sobre plantas de quinoa. a. Individuo de la familia Papilionidae; b. Individuo de la familia Nymphalidae; c. Individuo de la familia Pieridae; d. Individuo de la familia Plutellidae (*Plutella xylostella*); e. Individuo de la familia Yponomeutidae; f. Individuo de la familia Zygaenidae.

Fotos: Takumasa Kondo & Robert Rosero

## Dípteros visitantes

Familias: Bibionidae, Calliphoridae, Drosophilidae, Muscidae, Sciaridae, Sarcophagidae, Sepsidae y Tipulidae

Las especies de la familia Bibionidae (figura 5.20a), conocidas como moscas de marzo, suelen ser negras, con antenas cortas y patas alargadas. Se encuentran comúnmente sobre material vegetal en descomposición y en tierras húmedas, y rara vez actúan como fitófagas (Marchiori, 2024). Por otro lado, las moscas de la familia Calliphoridae (Figura 5.20d), denominadas moscardones, se destacan por su especialización en la descomposición de carne putrefacta, heces y basura orgánica. Presentan colores brillantes y metálicos, con tamaños robustos que varían entre 4 y 16 mm (Wolff Echeverri, 2010). Las moscas de la familia Drosophilidae, conocidas como moscas del vinagre, se alimentan de frutas en descomposición y rara vez se consideran plagas agrícolas (Brake & Bächli, 2013), sin mostrar comportamiento fitófago en el cultivo de la quinua. Las moscas de la familia Muscidae, que incluyen la mosca doméstica, tienen una amplia dieta larval y pueden comportarse como plagas primarias al alimentarse de raíces (Pont, 1989). Las especies de la familia Sciaridae (figura 5.20b), conocidas como moscas negras, tienen antenas largas y se alimentan principalmente de tejidos vegetales descompuestos por hongos, aunque algunas especies pueden ser plagas de plantas al atacar las raíces (Mohrig et al., 2012). Las moscas de las familias Sarcophagidae (figura 5.20e), Sepsidae (figura 5.20c) y Tipulidae (figura 5.20f), denominadas moscas carroñeras, moscas carroñeras negras y zancudos gigantes, respectivamente, se destacan por su especialización en la descomposición de carne putrefacta, excrementos y materia orgánica en descomposición (De Mello, 2016; Silva, 2016; Young, 2004). Ninguna de las familias mencionadas anteriormente se comporta como fitófaga en el cultivo de la quinua, tal como se demostró en el presente estudio.



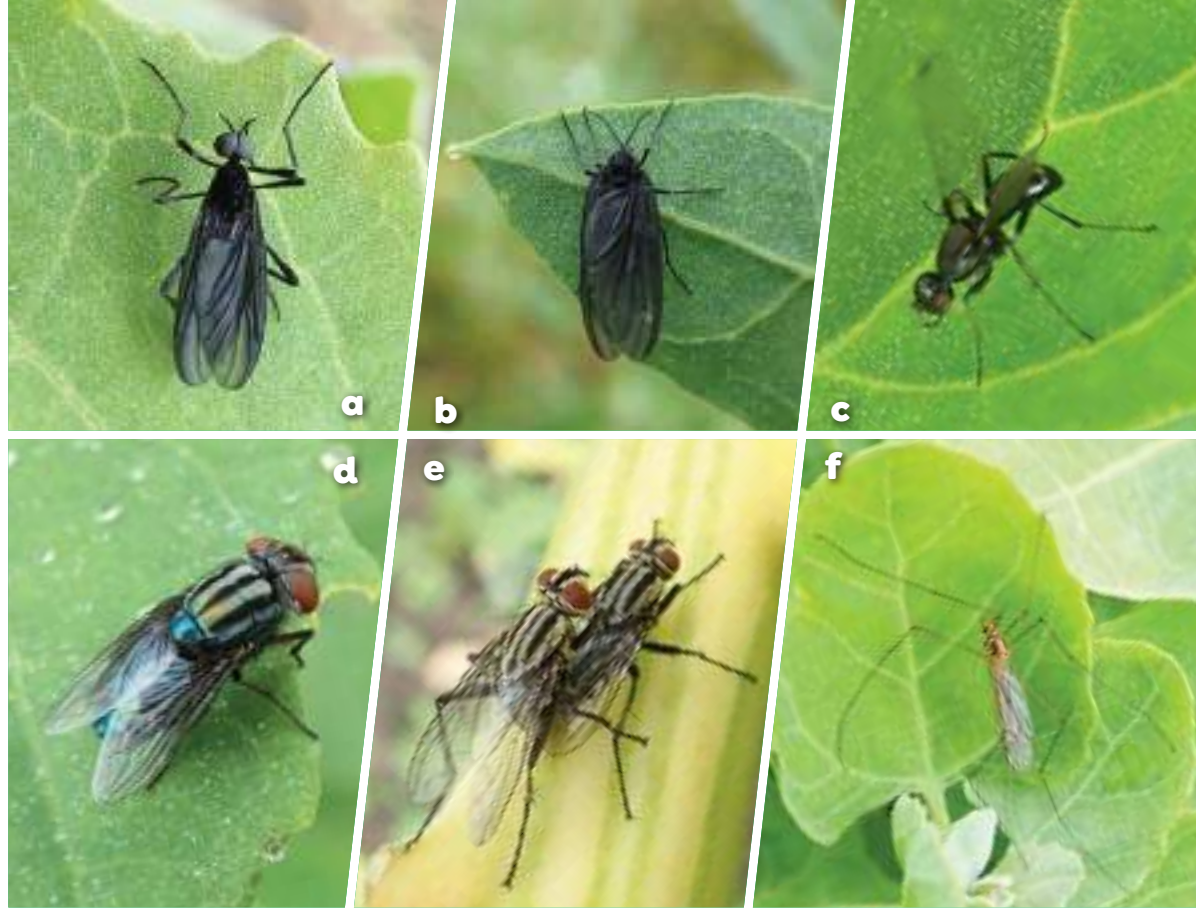


**Figura 5.20.** Dípteros visitantes sobre plantas de quinua. a. Individuo de la familia Bibionidae; b. Individuo de la familia Sciaridae; c. Individuo de la familia Sepsidae; d. Individuo de la familia Calliphoridae; e. Individuo de la familia Sarcophagidae; f. Individuo de la familia Tipulidae (*Tipula* sp.).

Fotos: Takumasa Kondo

## Babosas (Mollusca: Gastropoda)

Las babosas son moluscos del filo Mollusca, pertenecientes a la clase Gastropoda. Los moluscos son el grupo de invertebrados más numeroso después de los artrópodos, e incluyen animales como almejas (figura 5.21f), babosas (figura 5.21b), calamares (figura 5.21c), caracoles (figura 5.21a), ostras, pulpos (figura 5.21d), sepias, vieiras (figura 5.21e), entre otros (Cuezco et al., 2020). Los gasterópodos (Gastropoda) se caracterizan por tener una cabeza y un pie musculoso bien definidos, así como órganos asimétricos (Dennis et al., 2021).

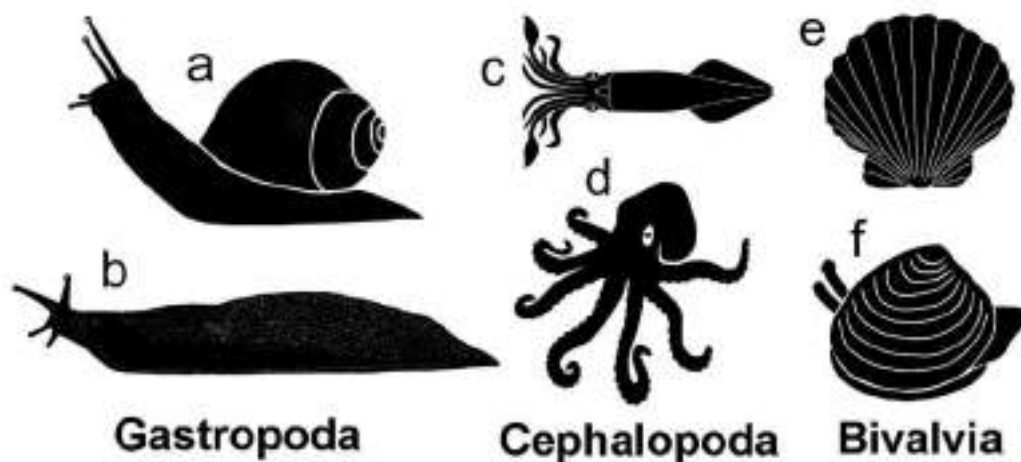


**Figura 5.21.** Algunas clases del filo Mollusca. a. Caracoles (clase Gastropoda); b. Babosas (clase Gastropoda); c. Calamar (clase Cephalopoda); d. Pulpo (clase Cephalopoda); e. Vieira (clase Bivalvia); f. Almeja (clase Bivalvia).

Ilustración: Takumasa Kondo

Las babosas son omnívoras y, cuando las condiciones son favorables, se alimentan de plantas, lo que a veces las convierte en plagas de jardines, viveros y cultivos (Capinera, 2021). En los cultivos de quinua del departamento del Cauca ya se ha reportado daño causado por estos gasterópodos. En el municipio de Totoró, existen registros previos de la babosa gris, *Milax gagates* (Draparnaud, 1801) (Carlosama Sandoval, 2012). Esta especie, perteneciente a la familia Milacidae, causa daños principalmente al alimentarse de plántulas pequeñas. En cultivos agrícolas como colza, girasol y soya, ataca durante la siembra y justo después de la germinación consumiendo el endosperma o el embrión de las semillas. Durante la emergencia, se alimenta del ápice vegetativo y de los cotiledones, con lo cual reduce el número de plantas iniciales. En este estudio se ha registrado la presencia de babosas en los cultivos de quinua en las localidades de Silvia (figura 22a), Totoró y Bolívar. En Silvia, su incidencia fue mayor en la fase inicial del cultivo.



&lt;a



b&gt;

**Figura 5.22.** Daños ocasionados por babosas en el cultivo de quinua. a. Babosas de la variedad Blanca de Jericó presentes en el cultivo de quinua; b. Daño causado por babosas en hojas de quinua.

Fotos: Takumasa Kondo

En ocasiones, las babosas causan daños de alimentación en las plántulas (figura 5.22b), lo que provoca deficiencias en su desarrollo e incluso puede llevar a la muerte de las plantas (Clemente et al., 2010). En los cultivos de quinua, durante las etapas comprendidas entre la emergencia y la floración, se ha reportado que la plaga más predominante es la babosa *M. gagates*, la cual se ha encontrado en el 70 % de las parcelas en Totoró (Carlosama Sandoval, 2012), donde fue la causante del desarrollo deficiente o la muerte total de las plantas y de ingentes pérdidas económicas de los cultivadores, especialmente en las áreas donde la siembra se realiza de forma directa. Para su control, se utiliza una preparación orgánica de ají picado y machacado, que se aplica para fumigar las plantas, junto con trampas hechas de estopas (costales de fique) ubicadas en el cultivo. Las babosas se refugian debajo de los costales, atraídas por la humedad, y allí se recolectan para ser eliminadas o utilizadas en la elaboración de compost para abono orgánico (Pacheco Sanguino, 2018).

## Conclusiones

Durante este estudio, se identificaron ochenta familias diferentes de insectos asociadas al cultivo de la quinua. Entre estas familias se identificaron cuarenta y cinco géneros y diez especies. De estas familias, veintidós fueron clasificadas como fitófagas, dieciséis como benéficas y cuarenta y dos como visitantes. La presencia de múltiples familias de insectos que cumplen funciones como depredadores (Asilidae, Chrysopidae, Coccinellidae, Elateridae, Hemerobiidae, Reduviidae, Scoliidae, Syrphidae en estado larval, Vespidae), parasitoides (Braconidae, Ichneumonidae, Tachinidae) y polinizadores (Apidae, algunas especies de Scarabaeidae, Syrphidae en estado adulto, Vespidae) indica una buena salud ecológica en estos nichos agrícolas.

En este estudio, los insectos fitófagos en los cultivos de quinua no alcanzaron niveles de plaga gracias a la acción de la entomofauna benéfica, que cumple un rol esencial en la regulación de sus poblaciones y ayuda a mantener el equilibrio ecológico en los cultivos. Los fitófagos de mayor relevancia fueron diversas especies de cucarrones de hojas (*Diabrotica* spp.), el áfido enrollador *Hayhurstia atriplicis*, algunas larvas de las familias Geometridae y Noctuidae, y los saltamontes de antenas cortas (Orthoptera: Acrididae). No obstante, estos insectos no causaron un efecto devastador sobre las parcelas de quinua, gracias a la regulación natural de sus poblaciones.

Es necesario implementar un manejo integrado de plagas mediante un monitoreo constante de las parcelas para así detectar y mitigar tempranamente cualquier ataque de fitófagos. En las etapas tempranas de la quinua, desde la emergencia hasta la ramificación, el ataque de saltamontes de antenas cortas y largas (Orthoptera: Acrididae y Tettigoniidae), así como de polillas de las familias Erebiidae, Geometridae, Noctuidae y otras, puede convertirse en un problema que provoque pérdidas significativas de follaje, trozamiento de tallos y muerte total de las plantas. Es vital ejercer un control efectivo sobre estas poblaciones en estas fases fenológicas. Una estrategia efectiva es utilizar semilleros protegidos con malla para evitar el ataque de fitófagos en las etapas más vulnerables de las plantas, seguido de trasplantes cuando las plantas estén cerca de



la fase de ramificación. Además, un monitoreo regular de larvas de lepidópteros, acompañado de la captura y eliminación manual de los individuos, será eficaz para frenar los ataques.

El uso de pesticidas puede evitarse si se realiza un monitoreo constante que permita prevenir picos poblacionales que alcancen niveles económicamente perjudiciales. Otro problema que los agricultores pueden enfrentar durante todo el ciclo productivo de la quinua, desde la emergencia hasta la madurez fisiológica, es la presencia del áfido enrollador *Hayhurstia atriplicis*. Este fitófago puede salirse de control si no se realizan monitoreos tempranos que incluyan la destrucción y eliminación de los tejidos afectados. Estos tejidos son fáciles de identificar, lo que facilita su remoción para evitar la propagación del áfido. No se recomienda el control químico para este insecto, ya que se protege dentro de las pseudoagallas que forma en las hojas, lo cual dificulta que los productos fumigados entren en contacto con él.

Además, se encontraron numerosos enemigos naturales de *H. atriplicis*, como larvas de moscas de las flores (Diptera: Syrphidae), cucarrones clic (Coleoptera: Elateridae), mariquitas (Coleoptera: Coccinellidae), tijeretas (Dermaptera: Forficulidae) y avispa parasitoides (Hymenoptera). Por lo tanto, es importante minimizar el uso de pesticidas para no afectar a la fauna benéfica. Si el manejo químico es necesario, debe aplicarse únicamente en focos de infestación para reducir al mínimo el impacto sobre los insectos beneficiosos.



De acuerdo con las observaciones de este estudio, la mayoría de las orugas encontradas en los cultivos estaban parasitadas. Sin embargo, dado que muchos parasitoides son koinobiontes, las larvas parasitadas pueden seguir desarrollándose hasta la emergencia del parasitoide adulto (Wharton, 1997), lo que significa que el agricultor podría estar aplicando productos para una plaga ya controlada.

Para implementar un manejo integrado de plagas en los cultivos de quinua, es fundamental tomar medidas preventivas, como la rotación de cultivos en caso de altas infestaciones, el diseño de un plan adecuado de fertilización y la eliminación de los residuos de cosecha, lo cual es especialmente importante para el control de babosas. En cuanto a la observación, los monitoreos visuales o con trampas deben basarse en un conocimiento preciso de los daños y de las formas adultas de los fitófagos para establecer umbrales de acción realistas que permitan una intervención temprana.

Cuando se deba intervenir, se recomienda priorizar el control cultural, como la eliminación manual de poblaciones basándose en la identificación visual de la plaga o de sus daños. El uso de control químico podría afectar negativamente el equilibrio de las poblaciones y ejercer una presión ambiental que eventualmente vuelva dependientes los cultivos de quinua de las aplicaciones de pesticidas.

# Referencias

- Aguirre Tapiero, M. D. P. (2009). Clave de identificación de géneros conocidos y esperados de *Ela-teridae* Leach (Coleoptera: Elateroidea) en Colombia. *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle*, 10(2), 25-35. <https://hdl.handle.net/10893/732>
- American Entomological Institute. (2002). *Genera Ichneumonorum Nearcticae. Family Ichneumonidae*. American Entomological Institute. <http://www.amentinst.org/GIN/>
- Apaza, V., & Delgado, P. (2005). *Manejo y mejoramiento genético de quinoa orgánica*. Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria (INIEA).
- Araujo, E. L., Nogueira, C. H. F., Menezes Netto, A. C., & Bezerra, C. E. S. (2013). Biological aspects of the leafminer *Liriomyza sativae* (Diptera: Agromyzidae) on melon (*Cucumis melo* L.). *Ciência Rural*, 43, 579-582. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782013000400003>
- Arcaya, E., Pérez-Bañón, C., Mengual, X., Zubcoff-Vallejo, J. J., & Rojo, S. (2017). Life table and predation rates of the syrphid fly *Allograpta exotica*, a control agent of the cowpea aphid *Aphis craccivora*. *Biological Control*, 115, 74-84. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.09.009>
- Areces-Berazain, F. (2022). *Copitarsia decolora* (Mexican cabbage heartworm). CABI Compendium. <https://cabidigitallibrary.org>
- Backus, E. A., Serrano, M. S., & Ranger, C. M. (2005). Mechanisms of hopperburn: an overview of insect taxonomy, behavior, and physiology. *Annual Review of Entomology*, 50, 125-151. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.49.061802.123310>
- Barceló, A. M. (2007). Aspectos bioetológicos de *Diabrotica balteata* LeConte (Coleoptera: Chrysomelidae) en el cultivo del frijol en la zona norte de la provincia de Las Tunas, Cuba. *Fitosanidad*, 11(4), 13-15. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=209116154002>
- Barman, R. S. (2003). Insecta: Orthoptera: Tettigoniidae. *Zoological Survey of India, Fauna of Sikkim, State Fauna Series*, 9(2), 193-201.
- Barrionuevo, M. J., Chalup, A. E., & Zamar, M. I. (2019). Lepidópteros asociados al cultivo de quinoa en zonas de altura de Jujuy, Argentina. *Agriscientia*, 36(1), 55-62. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/156403>
- Borror, D. J., & White, R. E. (1970). *A field guide to insects: America north of Mexico* (Vol. 19). Houghton Mifflin Harcourt.
- Brake, I., & Bächli, G. (2013). Drosophilidae (Diptera). En I. Brake, & G. Bächli (Eds.), *World catalogue of insects* (Vol. 9, pp. 15-301). Brill Publishers.
- Burgos-Solorio, A., & Anaya-Rosales, S. (2004). Los crisomelinos (Coleoptera: Chrysomelidae: Chrysomelinae) del estado de Morelos. *Acta Zoológica Mexicana*, 20(3), 39-66. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0065-17372004000300004](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0065-17372004000300004)
- Cabrera, G., Ávila, C. J., Cabrera, N., Nava, D. E., de Sene Pinto, A., & Weber, D. C. (2020). Biology and management of pest *Diabrotica* species in South America. *Insects*, 11(7), 1-18. <https://doi.org/10.3390/insects11070421>
- Cano, J. M., & Gurrea, P. (2003). La distribución de las zigenas (Lepidoptera, Zygaenidae) ibéricas: una consecuencia del efecto península. *Graellsia*, 59(2-3), 273-285. <https://doi.org/10.3989/graeellsia.2003.v59.i2-3.246>
- Capinera, J. L. (2021). *Terrestrial slugs of Florida (Gastropoda: Stylommatophora)*. Featured Creatures, EENY-494. Entomology and Nematology Department, University of Florida, Institute of Food and Agricultural Sciences. [https://entnemdept.ufl.edu/creatures/misc/gastro/slugs\\_of\\_florida.htm](https://entnemdept.ufl.edu/creatures/misc/gastro/slugs_of_florida.htm)

- Cardona, D. A., Londoño, M. E., & Jaramillo, J. E. (2004). Estudios biológicos de *Copitarsia* sp. (Lepidoptera: Noctuidae) bajo condiciones de Insectario. *Revista Colombiana de Entomología*, 30(2), 205-209. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-04882004000200013](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-04882004000200013)
- Carlosama Sandoval, M. (2012). *Asistencia técnica al cultivo de quinua (Chenopodium quinoa) en cinco veredas del municipio de Totoró en el marco del plan departamental Cauca sin hambre* [Tesis de pregrado, Universidad del Cauca] <http://repositorio.unicauca.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/794>
- Carvajal, V. (2021). *Las mariposas Hesperidae del Ecuador. Introducción y guía de identificación*. Escuela Politécnica Nacional. <https://biologia.epn.edu.ec/index.php/hesperidae-ecuador>
- Chakrabarti, S. (2007). Diversity and biosystematics of gall-inducing aphids (Hemiptera: Aphididae) and their galls in the Himalaya. *Oriental Insects*, 41(1), 35-54. <https://doi.org/10.1080/00305316.2007.10417498>
- Chorbadjian, R. A., Ahumada, M. I., Urrea, F., Elgueta, M., & Gilligan, T. M. (2021). Biogeographical patterns of herbivore arthropods associated with *Chenopodium quinoa* grown along the latitudinal gradient of Chile. *Plants*, 10(12), 2811. <https://doi.org/10.3390/plants10122811>
- Clemente, N. L., Faberi, A. J., Salvio, C., & López, A. N. (2010). Biology and individual growth of *Milax gagates* (Draparnaud, 1801) (Pulmonata: Stylommatophora). *Invertebrate Reproduction and Development*, 54(3), 163-168. <https://doi.org/10.1080/07924259.2010.9652328>
- Coffey, J. (2023). *Review of Toxomerus Macquart, 1855 in Texas (Diptera: Syrphidae)* [Tesis de maestría, Sam Houston State University]. <https://core.ac.uk/reader/567889900>
- Convención Internacional de Protección Fitosanitaria [CIPF]. (2022). *Glosario de términos fitosanitarios NIMF 5*. [https://assets.ippc.int/static/media/files/publication/es/2023/02/ISPM\\_05\\_2022\\_Es\\_Glossary\\_2023-02-03\\_PostCPM-16linkAmdtsLRGRev.pdf](https://assets.ippc.int/static/media/files/publication/es/2023/02/ISPM_05_2022_Es_Glossary_2023-02-03_PostCPM-16linkAmdtsLRGRev.pdf)
- Coronado, J. M., & Zaldívar, A. (2014). Biodiversidad de Braconidae (Hymenoptera: Ichneumonoidea) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 372-378. <https://doi.org/10.7550/rmb.32000>
- Cruces, L. M., Callohuari, Y., & Carrera, C. (2016). *Quinoa manejo integrado de plagas. Estrategias en el cultivo de la quinua para fortalecer el sistema agroalimentario en la zona andina*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). <https://www.fao.org/3/i6038s/i6038s.pdf>
- Cuezco, M. G., Gregoric, D. E. G., Pointier, J. P., Vázquez, A. A., Ituarte, C., Mansur, M. C. D., & Damborenea, C. (2020). Phylum Mollusca. En J. H. Thorp, & D. Christopher (Eds.), *Thorp and Covich's freshwater invertebrates* (pp. 262-265). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2010-0-65590-8>
- De Mello-Patiu, C. A. (2016). Family Sarcophagidae. *Zootaxa*, 4122(1), 884-903. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4122.1.75>
- de Oliveira Ramos, T., dos Santos-Cividanes, T. M., Cividanes, F. J., & da Conceição, L. (2014). *Harmonia axyridis* Pallas (Coleoptera: Coccinellidae): Biological aspects and thermal requirements. *Advances in Entomology*, 2(1), 42-46. <http://dx.doi.org/10.4236/ae.2014.21007>
- Delfino, M. A., Monelos, H. L., Peri, P. L., & Buffa, L. M. (2007). Áfidos (Hemiptera, Aphididae) de interés económico en la provincia de Santa Cruz. *Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA)*, 36(1), 147-154. <https://www.redalyc.org/pdf/864/86436109.pdf>
- Delgado, P., Goyzueta, W., Castro, J., Loza, A., & Chura, E. (2020). *Manual técnico: Plagas de la quinua, manejo integrado para agricultura sostenible y resiliente*. Instituto Nacional de Innovación Agraria.
- Dennis, M. M., Molnár, K., Kriska, G., & Löw, P. (2021). Mollusca. En E. E. LaDouceur (Ed.), *Invertebrate Histology* (pp. 87-132). <https://doi.org/doi:10.1002/9781119507697.ch4>



- Dughetti, A. C. (2015). *Plagas de la quinua y sus enemigos naturales en el Valle inferior del río Colorado, Buenos Aires, Argentina*. Ediciones INTA.
- Epstein, M. E., Geertsema, H., Naumann, C. M., & Tarmann, G. M. (1998). The Zygaenoidea. En N. P. Kristensen (Ed.), *Lepidoptera: Moths and Butterflies 1* (pp. 159-180). Walter de Gruyter.
- Ferreira, E., & de Silveira, P. M. (1991). Dano de *Thyanta perditor* (Hemiptera: Pentatomidae) em trigo (*Triticum aestivum* L.). *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil*, 20(1), 165-171. <https://doi.org/10.37486/0301-8059.v20i1.698>
- Flores-Pérez, L., Bautista-Martínez, N., Vera-Graziano, J., Valdez-Carrasco, J., & Angulo, A. O. (2004). Ciclo de vida y tasas de supervivencia y reproducción de *Copitarsia incommoda* Walker (Lepidoptera: Noctuidae) en tres cultivares de *Brassica oleracea* L. *Agrociencia*, 38(5), 517-523. <https://agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/344>
- Gautam, M. P., Singh, H., Kumar, S., Kumar, V., Singh, G., & Singh, S. N. (2018). Diamondback moth, *Plutella xylostella* (Linnaeus) (Insecta: Lepidoptera: Plutellidae) a major insect of cabbage in India: A review. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 6(4), 1394-13995. <https://www.entomoljournal.com/archives/2018/vol6issue4/PartX/6-3-320-842.pdf>
- Gómez, L., & Aguilar, E. (2016). *Guía de cultivo de la quinua*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/76594aca-c6a8-45e0-97db-39905cd72575/content>
- González, G. (2016). *Los Coccinellidae de Colombia*. World Wide Web.: <http://www.coccinellidae.cl/paginasWebCol/Paginas/InicioCol.php>
- Grimaldi, D., & Engel, M. S. (2005). *Evolution of the Insects*. Cambridge Evolution Series. Cambridge University Press.
- Gupta, V. K. (1991). The parasitic Hymenoptera and biological control of the African Ichneumonidae. *International Journal of Tropical Insect Science*, 12(1-2-3), 9-18. <https://doi.org/10.1017/S1742758400020476>
- Heppner, J. B. (2008). *Ermine Moths (Lepidoptera: Yponomeutidae)*. J. L. Capinera (Ed.), *Encyclopedia of Entomology* (pp. 1360-1361). Springer.
- Huamán Gavidia, J. E. (2018). Ocurrencia estacional de insectos plaga y sus enemigos naturales en tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en Lajas, Chota. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca, Facultad de Ciencias Agrarias, Cajamarca, Perú]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/2556/%E2%80%999COCURRENCIA%20ESTACIONAL%20DE%20INSECTOS%20PLAGA%20Y%20SUS%20ENEMIGOS%20NATURALES%20EN%20TRES%20VARIETADES%20DE%20QUINUA%20%28C.pdf?sequence=1>
- Johnson, N. F., & Triplehorn, C. A. (2004). *Introduction to the study of insects*. Thompson Brooks Cole.
- Khyade, B. V., Gaikwad, P. M., & Vare, P. R. (2018). Explanation of Nymphalidae butterflies. *International Academic Journal of Science and Engineering*, 5(4), 24-47.
- Koch, R. L. (2003). The multicolored Asian lady beetle, *Harmonia axyridis*: A review of its biology, uses in biological control, and non-target impacts. *Journal of Insect Science*, 3(1), 1-16. <https://doi.org/10.1093/jis/3.1.32>
- Kondo, T., & González, F. G. (2013). The multicolored Asian lady beetle, *Harmonia axyridis* (Pallas, 1773) (Coleoptera: Coccinellidae), a not so new invasive insect in Colombia and South America. *Insecta Mundi*, 0283, 1-7. <https://shorturl.at/qScXd>
- Kondo, T., Rosero, R., Gaviria, J. (2024). First record of the invasive chenopodium aphid, *Hayhurstia atriplicis* (Linnaeus, 1761) (Hemiptera: Aphididae), in Colombia. *Insecta Mundi*, 1048, 1-7. <https://journals.flvc.org/mundi/article/view/136534>

- Krysan, J. L. (1986). Introduction: biology, distribution, and identification of pest *Diabrotica*. En J. L. Krysan, & T. A. Miller (Eds.), *Methods for the study of pest Diabrotica* (pp. 1-23). Springer.
- Laumann, R. A., Moraes, M. C. B., Khirman, A., & Borges, M. (2011). Field capture of *Thyanta perditor* with pheromone-baited traps. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46, 113-119. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011000200001>
- López, R., Araya, J. E., & Sazo, L. (2012). Colectas de Syrphidae (Diptera) en alfalfa en Colina, Región Metropolitana, Chile, y clave de identificación de seis especies de *Allograpta*. *Boletín de Sanidad Vegetal, Plagas*, 38(1), 3-15. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4013011>
- Luna, J. M. (2005). Técnicas de colecta y preservación de insectos. *Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa*, 37, 385-408. <http://sea-entomologia.org/PDF/GeneralInsectorum/GE-0056.pdf>
- Marchiori, C. H. (2024). *Fungus Gnats*. Qeios. <https://www.qeios.com/read/D4LFW2>
- Mengual, X. (2011). Black-tie dress code: Two new species of the genus *Toxomerus* (Diptera, Syrphidae). *ZooKeys*, 140, 1-26. <https://doi.org/10.3897/zookeys.140.1930>
- Mishra, I., Roy, S., & Mishra, B. K. (2021). Comparative biology of three coccinellid predators on cowpea aphid *Exaptas*. *Indian Journal of Entomology*, 83(3), 1-5. <https://doi.org/10.55446/IJE.2021.35>
- Mohrig, W., Heller, K., Hippa, H., Vilkamaa, P., & Menzel, F. (2012). Revision of the black fungus gnats (Diptera: Sciaridae) of North America. *Studia Dipterologica*, 19(1-2), 141-286. <https://shorturl.at/RdqZi>
- Montaña, L. A. G., & Andrade, M. G. (2008). Diversidad y biogeografía preliminar de las mariposas saltarinas (Lepidoptera: Hesperíidae) de Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 32(124), 421-424. [https://doi.org/10.18257/raccefyn.32\(124\).2008.2310](https://doi.org/10.18257/raccefyn.32(124).2008.2310)
- Mora, C., Tittensor, D. P., Adl, S., Simpson, A. G. B., & Worm, B. (2011). How many species are there on earth and in the ocean? *PLoS Biology*, 9(8), e1001127. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001127>
- Moreira, F. F. F., Rodrigues, H. D. D., Sites, R. W., Cordeiro, I. D. R. S., & Magalhães, O. M. (2018). Order Hemiptera. En N. Hamada, J. H. Thorp, D. C. Rogers (Eds.), *Thorp and Covich's Freshwater invertebrates* (Vol. 3, pp. 175-216). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804223-6.00007-X>
- Moreno, O. L., & Serna, F. J. (2006). Biología de *Copitarsia decolora* (Lepidoptera: Noctuidae: Cuculliniinae), en flores cultivadas del híbrido comercial de *Alstroemeria* spp. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 59(1), 3257-3270. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/24300>
- Mugleston, J. D., Naegle, M., Song, H., & Whiting, M. F. (2018). A comprehensive phylogeny of Tettigoniidae (Orthoptera: Ensifera) reveals extensive ecomorph convergence and widespread taxonomic incongruence. *Insect Systematics and Diversity*, 2(4), 1-27. <https://doi.org/10.1093/isd/ixy010>
- Núñez, E. (1988). Ciclo biológico y crianza de *Chrysoperla externa* y *Ceraeochrysa cincta* (Neuroptera, Chrysopidae). *Revista Peruana de Entomología*, 31(1), 76-82. <https://sisbib.unmsm.edu.pe/BVRevistas/entomologia/v31/pdf/a16v31.pdf>
- Oñate-Ocaña, L., Trujano-Ortega, M., Llorente-Bousquets, J., Luis-Martínez, A., & Vargas-Fernández, I. (2006). Patrones de distribución de la familia Papilionidae (Lepidoptera). *Componentes Bióticos Principales de la Entomofauna Mexicana*, 2, 661-714. [https://www.researchgate.net/publication/291999857\\_Patrones\\_de\\_distribucion\\_de\\_la\\_familia\\_Papilionidae\\_Lepidoptera](https://www.researchgate.net/publication/291999857_Patrones_de_distribucion_de_la_familia_Papilionidae_Lepidoptera)
- Pacheco Sanguino, Á. P. (2018). *Comparación de métodos y tecnologías del proceso productivo de quinua del pueblo indígena Misak con otro cultivo de la región cundiboyacense haciendo énfasis en la minimización del consumo de agua para la conservación del servicio ecosistémico de aprovisionamiento*. [Tesis de pregrado, Universidad del Bosque]. <http://hdl.handle.net/20.500.12495/3243>

- Pont, A. C. (1989). 107. Family Muscidae. Catalog of the Diptera of the Australasian and Oceanian Regions. *Special Publications of the Bernice Pauahi Bishop Museum*, 86(1155), 675-699.
- Pruna, W., Peña-Martínez, R., Barragán, Á., Carpio, C., Muñoz, D., Arévalo, G. M., & Leguizamo, A. (2023). El primer registro de *Hayhurstia atriplicis* en *Chenopodium quinoa* para Ecuador y América del Sur. *Ecuador es Calidad*, 10(1), 1-8.
- Radcliffe, E. B., W. D. Hutchison, & R. E. Cancelado (2008). *Radcliffe's IPM World Textbook*. University of Minnesota. <http://ipmworld.umn.edu/>
- Rai, M. K., Ramamurthy, V. V., & Singh, P. K. (2003). Observation on the biology of the coccinellid predator, *Cheilomenes sexmaculata* (Fabricius) on *Aphis craccivora*. *Annals of Plant Protection Sciences*, 11(1), 7-10.
- Rasmussen, C., Lagnaoui, A., & Esbjerg, P. (2003). Advances in the knowledge of quinoa pests. *Food reviews international*, 19(1-2), 61-75. <https://doi.org/10.1081/FRI-120018868>
- Reguilón, C. (2002). Morfología de los estados inmaduros de *Hemerobius bolivari* (Neuroptera: Hemerobiidae). *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 61(1-2), 63-68. [https://la-ccwing.tamu.edu/neuropterida/neur\\_bibliography/edoc12/reguilon2002ref10919-360.pdf](https://la-ccwing.tamu.edu/neuropterida/neur_bibliography/edoc12/reguilon2002ref10919-360.pdf)
- Rosales-López, A., Flores-Dávila, M., Aguirre-Urbe, L. A., González Villegas, R., Villegas-Jiménez, N., & Vega-Ortiz, H. E. (2013). Diversidad de áfidos (Hemiptera: Aphididae) en el sureste de Coahuila. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(7), 987-997. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342013000700002&script=sci\\_abstract](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342013000700002&script=sci_abstract)
- Saini, E. D. (2004). Presencia de *Harmonia axyridis* (Pallas) (Coleoptera: Coccinellidae) en la provincia de Buenos Aires. Aspectos biológicos y morfológicos. *Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA)*, 33(1), 151-160. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86433110>
- Santos, J. C., de Almeida, W. R., & Fernandes, G. W. (2021). Arthropods: Why it is so crucial to know their biodiversity? En J. C. Santos & G. W. Fernandes (Eds.), *Measuring Arthropod Biodiversity: A Handbook of Sampling Methods* (pp. 3-11). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-53226-0>
- Saravia, R., & Bonifacio, A. (2014). Fases y etapas fenológicas del cultivo de la quinoa. En R. Saravia, G. Plata & A. Gandarillas (Eds.), *Plagas y enfermedades del cultivo de la Quinoa* (pp. 17-22). Fundación Proinpa.
- Sigsgaard, L., Jacobsen, S. E., & Christiansen, J. L. (2008). Quinoa, *Chenopodium quinoa*, provides a new host for native herbivores in northern Europe: Case studies of the moth, *Scrobipalpa atriplicella*, and the tortoise beetle, *Cassida nebulosa*. *Journal of Insect Science*, 8(1), 1-4. <https://doi.org/10.1673/031.008.5001>
- Silva, V. C. (2016). Family Sepsidae. *Zootaxa*, 4122(1), 648-652. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4122.1.54>
- Singh, Y. P., Meghwal, H. P., & Singh, S. P. (2008). Biology and feeding potential of *Cheilomenes sexmaculata* Fabricius (Coleoptera: Coccinellidae) on mustard aphid. *Annals of Arid Zone*, 47, 185-190. <https://shorturl.at/NVqB7>
- Soca-Flores, M. N., Vergara, C. E., Callohuari, Y. T., & Chávez, A. J. (2022). Insectos fitófagos asociados al cultivo de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) en invierno y sus controladores biológicos. *Manglar*, 19(2), 143-151. <http://doi.org/10.17268/manglar.2022.018>
- Song, H., Mariño-Pérez, R., Woller, D. A., & Cigliano, M. M. (2018). Evolution, diversification, and biogeography of grasshoppers (Orthoptera: Acrididae). *Insect Systematics and Diversity*, 2(4), 1-25. <https://doi.org/10.1093/isd/ixy008>
- Starý, P., & González, D. (1991). The *Chenopodium* aphid, *Hayhurstia atriplicis* (L.) (Horn., Aphididae), a parasitoid reservoir and a source of biocontrol agents in pest management. *Journal of Applied Entomology*, 111(1-5), 243-248. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1991.tb00319.x>
- Stork, N. E. (2018). How many species of insects and other terrestrial arthropods are there on Earth? *Annual Review of Entomology*, 63(1), 31-45. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-020117-043348>

- Than, V., Baskaran, R. M., & An, N. M. (1999). Biology and predatory potential of green lacewing (*Chrysoperla carnea*) (Neuroptera: Chrysopidae) on different insect hosts. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 69(7), 502-505. <https://shorturl.at/iKXjJ>
- Thompson, F. C., & Thompson, B. J. (2006). A new *Toxomerus* species from Chile (Diptera: Syrphidae). *Studia Dipterologica*, 13(2), 317-331. [https://repository.si.edu/bitstream/handle/10088/4385/Thompson\\_Thompson2007.pdf?isAllowed=y&sequence=1](https://repository.si.edu/bitstream/handle/10088/4385/Thompson_Thompson2007.pdf?isAllowed=y&sequence=1)
- Tihelka, E., Cai, C., Giacomelli, M., Lozano-Fernandez, J., Rota-Stabelli, O., Huang, D., & Pisani, D. (2021). The evolution of insect biodiversity. *Current Biology*, 31(19), R1299-R1311. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.08.057>
- Tomacheski, J. F., Panizzi, A. R., & Lucini, T. (2019). Nymphal and adult biology of the red-shouldered stink bug, *Thyanta perditor* (F.), on cultivated and on wild plants. *Arthropod-Plant Interactions*, 13, 91-98. <https://doi.org/10.1007/s11829-018-9627-8>
- Townes, H. (1958). Some biological characteristics of the Ichneumonidae (Hymenoptera) in relation to biological control. *Journal of Economic Entomology*, 51(5), 650-652. <https://doi.org/10.1093/jee/51.5.650>
- Travaglini, A. L. (1990). Biología de la mosca minadora *Liriomyza huidobrensis* Blanchard (Diptera, Agromyzidae). *Revista Latinoamericana de la Papa*, 3(1), 30-40. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5512069>
- Villalobos-Moreno, A., Salazar-Escobar, J. A., Agudelo-Martínez, J. C., & Díaz-Olarte, J. J. (2020). Mariposas de la familia Pieridae (Lepidoptera: Papilionoidea) de un bosque seco tropical en la cuenca del río Playonero, Santander, Colombia. *Revista Chilena de Entomología*, 46(2), 304. <http://dx.doi.org/10.35249/rche.46.2.21.2020>
- Wharton, R. A. (1993). Bionomics of the Braconidae. *Annual Review of Entomology*, 38(1), 121-143. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.38.010193.001005>
- Wharton, R. A. (1997). Introduction. En R. A. Wharton, P. Marsh, & M. J. Sharkey. (Eds.), *Manual of the New World genera of the family Braconidae* (pp. 1-18). International Society of Hymenopterists.
- Wolff Echeverri, M. I. (2010). Los Calliphoridae (Diptera). *Boletín del Museo Entomológico Francisco Luis Gallego. Universidad de Antioquia*, 2(2), 5-6. <https://ciencias.medellin.unal.edu.co/museos/entomologico/images/Boletin/2010-06/2.pdf>
- Yábar, E., Gianoli, E., & Echegaray, E. R. (2002). Insect pests and natural enemies in two varieties of quinoa (*Chenopodium quinoa*) at Cusco, Peru. *Journal of Applied Entomology*, 126(6), 275-280. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0418.2002.00664.x>
- Young, C. W. (2004). Insecta: Diptera, Tipulidae. En C. M. Yule, & H. S. Yong (Eds.), *Freshwater invertebrates of the Malaysian region* (pp. 774-784). Academy of Sciences.
- Zhang, Z. -Q. (2013). Animal biodiversity: an outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness (addenda 2013). *Zootaxa*, 3703, 1-82. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3703.1.1>
- Zhang, Z. -Q. (2020). Animal biodiversity: an outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness (Addenda 2013) (version 2013). En Y. Roskov, G. Ower, & T. Orrell et al. (Eds.), *Species 2000 & ITIS Catalogue of Life: 2020-02-24*. <http://www.catalogueoflife.org/col>
- Zhao, J., Li, S., Gao, X. W., Zhang, F., & Wang, S. (2015). Comparison of life tables of *Cheilomenes sexmaculata* (Coleoptera: Coccinellidae) under laboratory and greenhouse conditions. *Journal of Economic Entomology*, 108(4), 1700-1707. <https://doi.org/10.1093/jee/108.4.1700>
- Zúñiga-Reinoso, Á. (2011). Los coccinélidos (Coleoptera: Coccinellidae) de la región de Magallanes: nuevos registros y distribución regional. *Anales del Instituto de la Patagonia. Universidad de Magallanes*, 39(1), 59-71. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-686X2011000100005>
- Zurita-Silva, A., & Quiroz, C. (2015). Plagas y enfermedades del cultivo de la quinua. [Boletín INIA N° 362]. Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria (INIA).





Foto: Diana Milena Rodríguez-Mora

## Capítulo VI

# Enfermedades asociadas al cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), en el departamento del Cauca, Colombia

Diana Milena Rodríguez-Mora  
Luz Natalia Martínez-Caballero  
Isabel Cristina Ramírez-Paz

## Resumen

Las enfermedades asociadas al sistema productivo de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en Colombia han sido poco investigadas. En este capítulo, se describen las enfermedades más frecuentes en las distintas etapas fenológicas del cultivo en cuatro municipios productores del departamento del Cauca: Bolívar, La Vega, Silvia y Totoró. Se identificaron enfermedades en la raíz, las hojas y la panoja, entre las cuales se incluyen Damping-off (*Fusarium* spp.), mildiu de la quinua (*Peronospora* sp.), ojo de gallo (*Passalora* sp.) y panoja negra (*Cladosporium* sp.). Además, se observó un comportamiento diferencial en la incidencia y severidad de las enfermedades en los cuatro municipios evaluados.

**Palabras clave:** Damping-off, incidencia, mildiu de la quinua, ojo de gallo, panoja negra, severidad.





Foto: Isabel Cristina Ramírez-Paz

## Introducción

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es un cultivo ancestral que ha captado la atención mundial debido a su alto valor nutricional, su adaptabilidad a diversas condiciones climáticas y su importancia en la seguridad alimentaria (Bojanic, 2011). Sin embargo, como cualquier cultivo, la quinua también está expuesta a diversas enfermedades que pueden afectar su producción y calidad.

En la región andina, las enfermedades más limitantes de la quinua son causadas principalmente por hongos y oomicetos, y en menor medida por bacterias, virus y nematodos. La incidencia y severidad de estas enfermedades están condicionadas por la variedad, susceptibilidad en diferentes estados fenológicos y condiciones ambientales (Plata et al., 2014).

La enfermedad más perjudicial para la quinua es el mildiu veloso (*Peronospora variabilis*), que causa pérdidas en el rendimiento que fluctúan entre 33 % y 58 % (Danielsen et al., 1999). En condiciones de alta presión de inóculo, las pérdidas pueden llegar incluso a 100 % si las condiciones son muy propicias para su desarrollo (Danielsen & Munk, 2004). Otras enfermedades reportadas son podredumbre radicular (*Rhizoctonia* sp., *Sclerotium* sp., *Fusarium* spp. y *Pythium* sp.), mancha foliar (*Ascochyta hyalospora*), ojo de gallo (*Passalora dubia*), moho verde (*Cladosporium* sp.), mancha marrón (*Alternaria* spp.), mancha foliar bacteriana (*Pseudomonas syringae*), podredumbre marrón del tallo (*Phoma exigua* var. *Foveata*), tallo negro (*Ascochyta caulina*) y pudrición de panoja (*Trichothecium roseum*, *Alternaria alternata*, f. sp. *citri*, *Cladosporium cladosporioides*), entre otras (Fonseca-Guerra et al., 2021; Li et al., 2022; Plata & Gandarillas, 2014; Rojas et al., 2020; Yin et al., 2020; Yin et al., 2021).

En Colombia, la información sobre las enfermedades que afectan el cultivo de la quinua es limitada. Por tal razón, este capítulo tiene como objetivo presentar las enfermedades asociadas al cultivo de la quinua en las condiciones específicas del departamento del Cauca, una de las principales zonas productoras de este pseudocereal en el país. Se proporciona una descripción detallada de los síntomas, el agente causal, la distribución geográfica, la epidemiología y las prácticas de manejo de las enfermedades. La información, soportada con documentación técnico-científica, está basada en los resultados de investigación realizados por el Centro de Investigación Palmira de AGROSAVIA entre 2021 y 2024.



# Materiales y métodos

Se visitaron 28 parcelas comerciales de quinua, ubicadas en 18 fincas distribuidas en los municipios de Bolívar (10), La Vega (2), Silvia (5) y Totoró (1), en el departamento del Cauca, entre 2021 y 2023. Estas parcelas se seleccionaron de acuerdo con la disponibilidad de áreas cultivadas en cada municipio (tabla 6.1). En cada parcela, se realizó un recorrido en zig-zag y se seleccionaron al azar 10 plantas. Durante la evaluación, se registró información sobre la variedad de quinua sembrada, el tipo de establecimiento del cultivo, el estadio fenológico, la descripción de la sintomatología de las enfermedades y los datos de incidencia y severidad.



Foto: Isabel Cristina Ramírez-Paz

**Tabla 6.1.** Parcelas comerciales de quinua visitadas en municipios productores de quinua en el departamento del Cauca entre 2021 y 2023

| Municipio      | Vereda       | Variedad         | Tipo de cultivo | Coordenadas               | Altura (m s. n. m.) |
|----------------|--------------|------------------|-----------------|---------------------------|---------------------|
| <b>Bolívar</b> | La Zanja     | Blanca de Jericó | Monocultivo     | 1°46'31"N,<br>76°53'44"O  | 2.335               |
|                | La Zanja     | Blanca de Jericó | Monocultivo     | 1° 46'28"N,<br>76°53'45"O | 2.335               |
|                | El Tambo     | Blanca de Jericó | Monocultivo     | 1°43'37"N,<br>76°53'18"O  | 2.590               |
|                | Rodrigo      | Blanca de Jericó | Monocultivo     | 1°47'1,2"N,<br>76°53'52"O | 2.459               |
|                | Chitacorrall | Blanca de Jericó | Monocultivo     | 1°45'22"N,<br>76°53'16"O  | 2.171               |
|                | El Tambo     | Blanca de Jericó | Monocultivo     | 1°43'24"N,<br>76°53'39"O  | 2.745               |
|                | El Tambo     | Blanca de Jericó | Monocultivo     | 1°43'01"N,<br>76°53'42"O  | 2.774               |
|                | El Tambo     | Blanca de Jericó | Monocultivo     | 1°43'02"N,<br>76°53'44"O  | 2.756               |
|                | El Tambo     | Blanca de Jericó | Monocultivo     | 1°43'27"N,<br>76°53'41"O  | 2.751               |
|                | El Tambo     | Blanca de Jericó | Monocultivo     | 1°43'23"N,<br>76°53'22"O  | 2.585               |
| <b>La Vega</b> | La Pila      | Blanca de Jericó | Monocultivo     | 1°58'21"N,<br>76°45'16"O  | 2.728               |
|                | La Pila      | Tunkahuan        | Monocultivo     | 1°58'22"N,<br>76°45'18"O  | 2.727               |
|                | La Manzana   | Tunkahuan        | Monocultivo     | 1°57'51"N,<br>76°45'41"O  | 2.928               |
| <b>Totoró</b>  | La Palma     | Blanca de Jericó | Monocultivo     | 2°33'45"N,<br>76°26'15"O  | 2.234               |
|                | La Palma     | Blanca de Jericó | Monocultivo     | 2°33'45"N,<br>76°26'14"O  | 2.234               |

|        |              |                  |                                                 |                         |       |
|--------|--------------|------------------|-------------------------------------------------|-------------------------|-------|
| silvia | Las Delicias | Blanca de Jericó | Policultivo asociado con frijol                 | 2°37'45"N, 76°20'26"O   | 2.668 |
|        | Las Delicias | Tunkahuan        | Policultivo asociado con arveja                 | 2°37'47"N, 76°20'29"O   | 2.668 |
|        | Las Delicias | Blanca de Jericó | Policultivo asociado con arveja                 | 2°37'46"N, 76°20'30"O   | 2.668 |
|        | Las Delicias | Aurora           | Policultivo asociado con arveja                 | 2°37'49"N, 76°20'29"O   | 2.668 |
|        | Las Delicias | Blanca de Jericó | Policultivo asociado con uchuva y haba          | 2°37'45"N, 76°20'28"O   | 2.668 |
|        | Las Delicias | Blanca de Jericó | Policultivo asociado con cebolla                | 2°37'56"N, 76°20'27"O   | 2.234 |
|        | Las Delicias | Blanca de Jericó | Policultivo asociado con haba y tomate de árbol | 2°37'59"N, 76°20'33"O   | 2.234 |
|        | Las Delicias | Blanca de Jericó | Policultivo asociado con cebolla                | 2°37'55"N, 76°20'28"O   | 2.234 |
|        | Las Delicias | Blanca de Jericó | Monocultivo                                     | 2°37'55"N, 76°20'28"O   | 2.234 |
|        | Las Delicias | Blanca de Jericó | Monocultivo                                     | 2°38'03"N, 76°20'29"O   | 2.710 |
|        | Las Delicias | Blanca de Jericó | Monocultivo                                     | 2°32'44"N, 76°24'22"O   | 2.501 |
|        | Las Delicias | Blanca de Jericó | Monocultivo                                     | 2°32'44"N, 76°24'30"O   | 2.501 |
|        | Las Delicias | Blanca de Jericó | Monocultivo                                     | 2°37'51,4"N, 76°23'31"O | 2.752 |

Fuente: Elaboración propia

Para enfermedades de raíz y de panoja la incidencia se calculó con la fórmula  $((\text{Número de plantas enfermas} / \text{Total de plantas observadas}) \times 100)$ . Para las enfermedades foliares en cada planta se seleccionaron tres hojas al azar, una en cada tercio (inferior, medio y superior) siguiendo la metodología descrita por Colque-Little et al. (2021). La incidencia se calculó como el porcentaje de hojas enfermas, utilizando la siguiente fórmula:  $((\text{Número de hojas enfermas} / \text{Total de hojas observadas}) \times 100)$ . La severidad de las enfermedades foliares se cuantificó como el porcentaje de tejido enfermo, con escalas visuales reportada por Danielsen y Amenes, (2001) y Rojas et al. (2020).

El diagnóstico de las enfermedades se llevó a cabo en el laboratorio de Microbiología Agrícola del Centro de Investigación Palmira de AGROSAVIA. Las muestras vegetales se tomaron bajo el permiso marco de recolección ANLA/1466/2014 del 3 de diciembre de 2014, expedido por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, disponible en <https://doi.org/10.15472/9zefn2>. La identificación de los patógenos se hizo mediante la aplicación de claves taxonómicas (Barnett & Hunter, 1988; Dugan, 2006). La patogenicidad de los microorganismos aislados se confirmó con los postulados de Koch.

Se realizó el seguimiento de las enfermedades de quinua en una parcela comercial en cada uno de los municipios en estudio durante el ciclo fenológico del cultivo.

## Resultados y discusión

Los cultivos de quinua establecidos en los municipios de Bolívar, La Vega, Silvia y Totoró se situaron entre 2.171 y 2.928 m s. n. m. En Bolívar y Totoró, el 100 % de las parcelas de quinua estaban sembradas en monocultivo con la variedad Blanca de Jericó. En Silvia, se observó que el 84,6 % de las parcelas estaban cultivadas con Blanca de Jericó, el 7,7 % con Tunkahuan y el 7,7 % con Aurora. Además, estaban establecidos en sistemas de monocultivos (38,5 %) y policultivos (61,5 %) con plantas de cebolla, frijol, haba y uchuva. En La Vega, el 100 % de las parcelas se encontraban establecidas en monocultivo. El 33,3 % de estas parcelas se cultivaban con la variedad Blanca de Jericó, y el 66,7 % con Tunkahuan (tabla 6.1).





Foto: Diana Milena Rodríguez-Mora

Durante el monitoreo, se observaron enfermedades de raíz, foliares y de panoja, con variaciones en la incidencia y severidad en los cuatro municipios (tabla 6.2). En las enfermedades de raíz se registró Damping-off de forma ocasional en dos fincas, una en Totoró y una en Silvia, con una incidencia del 30,3 % en plántulas de semillero y del 5 % en plántulas establecidas en campo, respectivamente. Las enfermedades foliares más comunes en los cuatro municipios fueron ojo de gallo y mildiu vellosa. La incidencia de ojo de gallo osciló entre el 17,4 % y el 47,8 %, mientras que la incidencia por mildiu vellosa fluctuó entre el 11,2 % y el 47,9 %. En la panoja se registró la enfermedad denominada panoja negra con incidencias que variaron entre el 4,3 % y el 38 % en parcelas de los cuatro municipios. El municipio de Totoró presentó la mayor incidencia y Bolívar la menor (tabla 6.2).

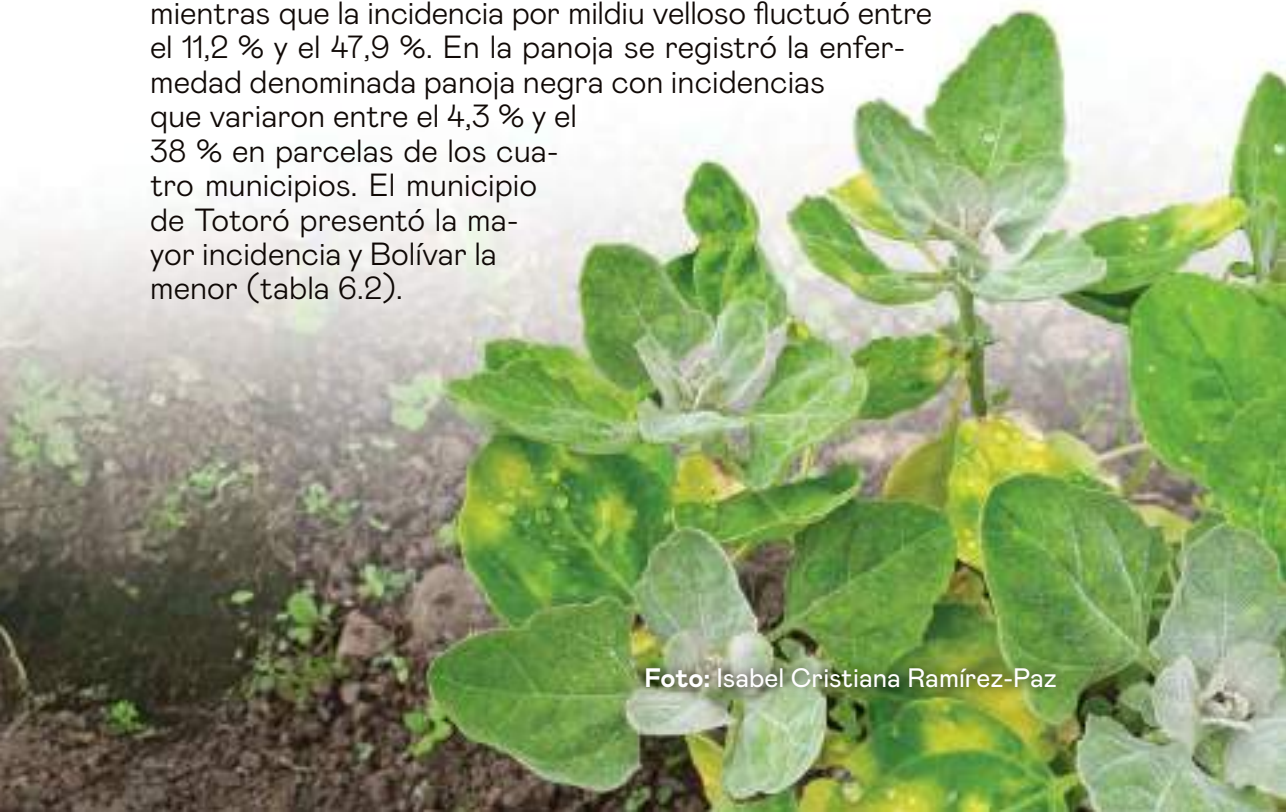


Foto: Isabel Cristiana Ramírez-Paz

**Tabla 6.2.** Incidencia y severidad de enfermedades de quinua observadas en municipios productores en el departamento del Cauca, durante el año 2021 y 2023

| Enfermedad            | Municipio      | Incidencia promedio (%) | Severidad promedio |
|-----------------------|----------------|-------------------------|--------------------|
| <b>Damping-off</b>    | <b>Totoró</b>  | 30,3                    | –                  |
|                       | <b>Silvia</b>  | 5,0                     | –                  |
| <b>Ojo de gallo</b>   | <b>Totoró</b>  | 48,5                    | 1,0*               |
|                       | <b>Silvia</b>  | 17,4                    | 0,3                |
|                       | <b>Bolívar</b> | 47,8                    | 1,1                |
|                       | <b>La Vega</b> | 42,1                    | 0,9                |
| <b>Mildiu vellosa</b> | <b>Totoró</b>  | 11,2                    | 4,1 %**            |
|                       | <b>Silvia</b>  | 47,9                    | 20,6 %             |
|                       | <b>Bolívar</b> | 18,2                    | 5,4 %              |
|                       | <b>La Vega</b> | 15,6                    | 3,9 %              |
| <b>Panoja negra</b>   | <b>Totoró</b>  | 38,0                    | –                  |
|                       | <b>Silvia</b>  | 22,3                    | –                  |
|                       | <b>Bolívar</b> | 4,3                     | –                  |
|                       | <b>La Vega</b> | 7,5                     | –                  |

\*Severidad determinada con la escala reportada por Rojas et al. (2020) ajustada a ojo de gallo.

\*\* Severidad determinada con la escala reportada por Danielsen y Ames (2000).

Fuente: Elaboración propia



Para el ojo de gallo y el mildiu veloso en la quinua, la severidad de estas enfermedades mostró un comportamiento diferencial entre las parcelas de cada municipio. En el caso del ojo de gallo, los valores promedio de severidad fluctuaron entre el 0,3 % y el 1,1 %, lo que corresponde a menos del 25 % y entre el 25 % y 50 % del área foliar afectada, respectivamente. Para el mildiu veloso, la severidad registrada osciló entre el 3,9 % y el 20,6 % del área foliar afectada. En los municipios de Bolívar y Totoró se observaron los valores más altos de incidencia y severidad de ojo de gallo, mientras que en Silvia se registraron los valores más altos de incidencia y severidad de mildiu veloso (tabla 6.2).

A continuación, se describen detalladamente las enfermedades radicales, foliares y de panoja de la quinua identificadas en los municipios de Bolívar, La Vega, Silvia y Totoró (Cauca).

## Enfermedades radicales

### Damping-off

Damping-off es una enfermedad secundaria que afecta el cultivo de quinua en etapas tempranas de desarrollo. Esta patología, causada por hongos del suelo, afecta el sistema radicular y la base de los tallos. Debilita las plántulas y, en muchos casos, ocasiona su muerte prematura (Barboza et al., 2000a; Horst, 2013). La quinua es vulnerable a Damping-off en condiciones de alta humedad y sustratos mal drenados (Barboza et al., 2000b).



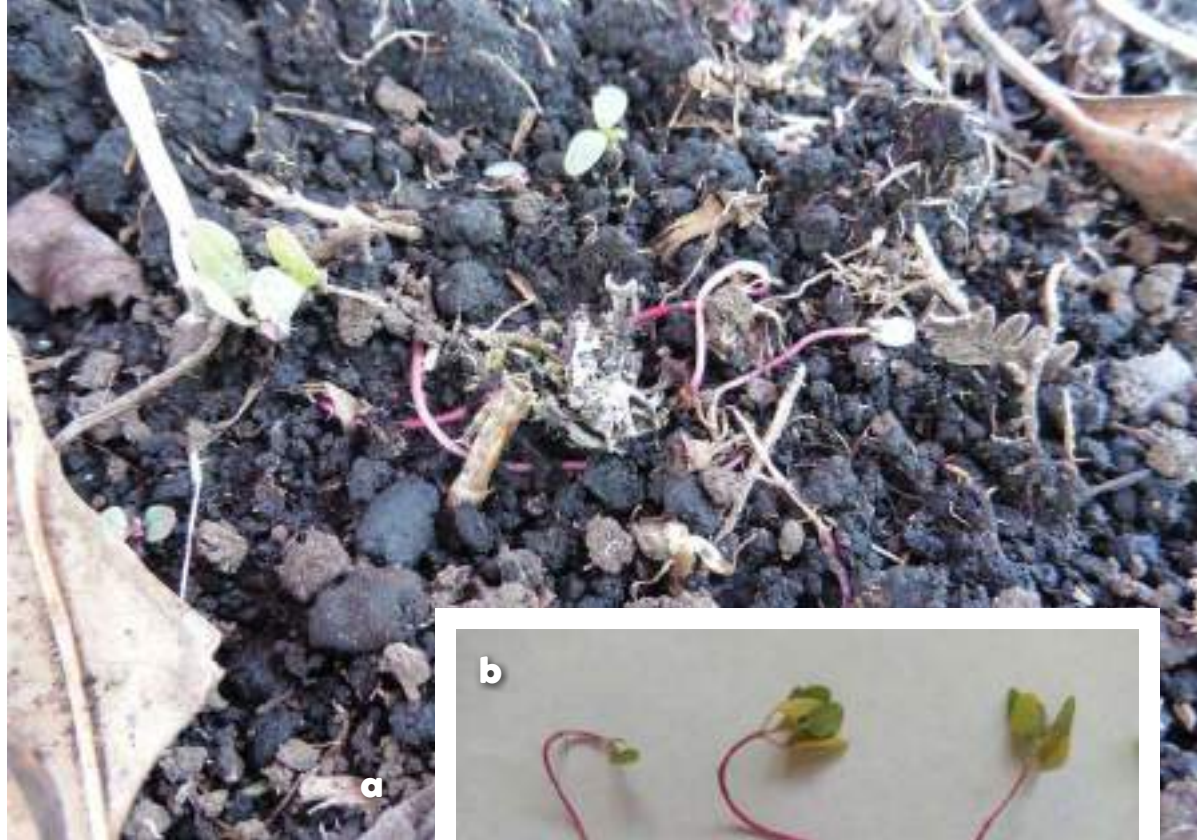


Foto: Takumasa Kondo

## Sintomatología

La enfermedad se manifiesta a través del marchitamiento repentino de las plántulas, clorosis, decoloración, estrangulamiento de la base de los tallos y formación de lesiones necróticas (Barboza et al., 2000a; Barrantes, 2016). Las plantas afectadas se marchitan y se secan por la obstrucción de los haces vasculares, que impide la circulación normal de los nutrientes (Barrantes, 2016). En el municipio de Silvia y Totoró se identificaron plántulas de quinoa, variedad Blanca de Jericó, con sintomatología asociada a damping off. Los daños se caracterizaron por presentar clorosis, estrangulamiento en la zona basal del tallo y necrosis de raíces, tanto en almácigos como en siembras directas en el campo (figura 6.1).





<c

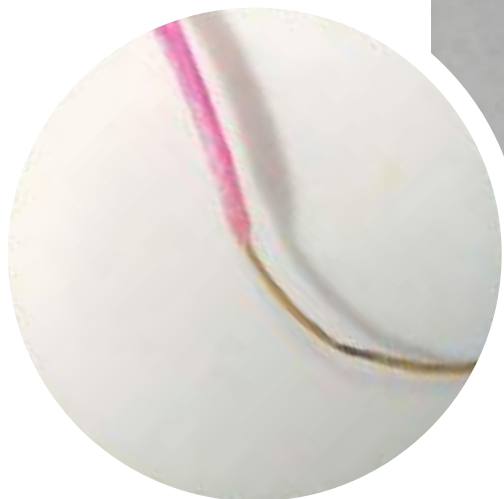


**Figura 6.1.** Sintomatología de Damping-off en quinua, variedad Blanca de Jericó, en Totoró (Cauca). a. Marchitamiento de plantas en posemergencia; b. y c. Estrangulamiento en la base del tallo y formación de lesiones necróticas.

Fotos: Luz Natalia Martínez-Caballero



Foto: Takumasa Kondo

## Agente causal

Damping-off es provocada por diversos agentes patógenos entre los cuales se encuentran especies de hongos de los géneros *Fusarium* (Hypocreales: Nectriaceae), *Rhizoctonia* (Ceratobasidiaceae: Ceratobasidiales), *Sclerotium* (Atheliales: Atheliaceae) y *Pythium* (Pythiales: Pythiaceae) (Barboza et al., 2000a; Dřimalková & Veverka, 2004; Fonseca-Guerra et al., 2022; Ikeda & Ichitani, 1985). En términos de fitopatogenicidad, todos pueden provocar daños en distintas partes de la planta, como raíces, tallos, hojas o semillas y son capaces de sobrevivir y propagarse en el suelo, donde infectan las plantas en las etapas tempranas de crecimiento (Agrios, 2005).

En plántulas de quinua con síntomas de Damping-off colectadas en el municipio de Totoró, se comprobó la presencia de *Fusarium* spp. En la figura 6.2 se muestra el crecimiento de la colonia de *Fusarium* sp. en el medio de cultivo Agar Papa Dextrosa (PDA), caracterizada por presentar micelio aéreo, algodonoso, de color blanco inicialmente, pero que con el tiempo adopta una coloración púrpura. Microscópicamente, se observó la formación de estructuras típicas del hongo, microconidias, macroconidias y clamidosporas. Las macroconidias se caracterizan por tener una forma de medialuna, ser hialinos y estar septados. La presencia de microconidias varía entre especies y, cuando están presentes, exhiben diversas formas, como fusiformes, ovales o clavadas. Las clamidosporas poseen una doble pared gruesa que puede ser lisa o rugosa, y se presentan de manera aislada, en parejas o en grupos (Leslie, 2008).



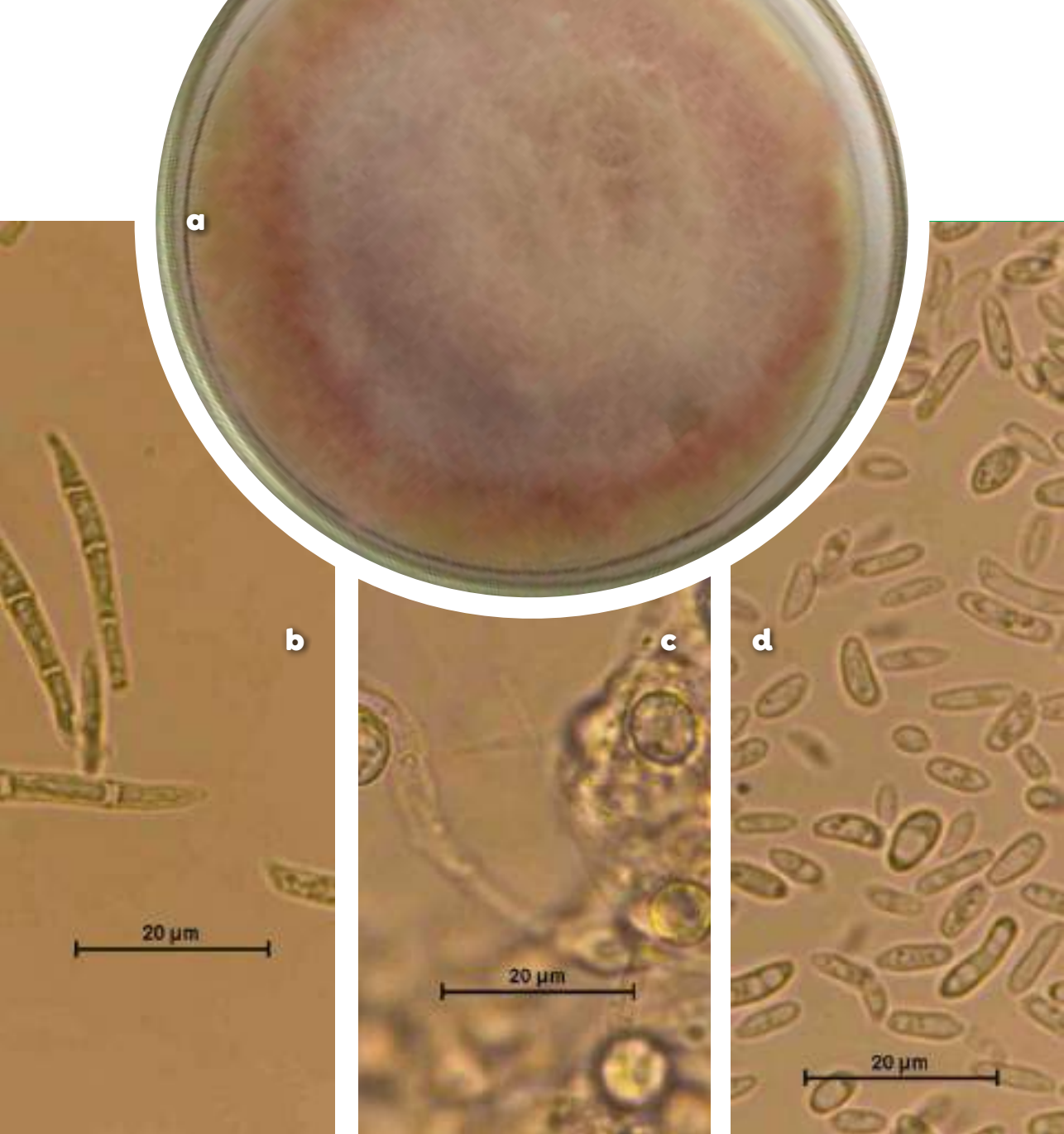


**Figura 6.2.** Morfología de *Fusarium* sp. aislado de plántulas con sintomatología de Damping-off en Totoró (Cauca). a. Colonia de *Fusarium* sp. en medio de cultivo PDA; b. Macroconidias; c. Clamidosporas; d. Microconidias.

Fotos: Isabel Cristina Ramírez-Paz y Luz Natalia Martínez-Caballero



Foto: Takumasa Kondo

## Distribución geográfica

Damping off ha sido documentada en diversas regiones productoras de quinua alrededor del mundo. En California, Beckman y Finch (1980) identificaron a *Sclerotium rolfsii* Sacc. como el agente causal de esta enfermedad. En Tokio, Ikeda y Ichitani (1985) atribuyeron casos de marchitez de plántulas de quinua a *Pythium zingiberum*. En Italia, problemas como el pardeamiento de semillas, dificultades en la germinación y la muerte de plantas emergentes fueron registrados, donde se asociaron especies del género *Fusarium* como agentes vinculados a la patología (Beccari et al., 2021). En Latinoamérica, la enfermedad se registró en Perú asociada con *Rhizoctonia solani* y *Fusarium* spp. (Barboza et al., 2000a). En Bolivia, la presencia de la enfermedad se atribuyó a *Fusarium* spp. y *Rhizoctonia* spp. (Plata & Gandarillas, 2014). En Colombia, se ha reportado la asociación de *Fusarium culmorum*, *Fusarium equiseti*, *Fusarium graminearum* y *Fusarium oxysporum* con el marchitamiento de plántulas de quinua en el departamento de Boyacá (Fonseca-Guerra et al., 2022). Los resultados de investigación obtenidos por AGROSAVIA confirmaron, mediante pruebas de patogenicidad, a *Fusarium* spp. como agente causal de Damping-off en el municipio de Totoró (figura 6.3).





<a

b>



**Figura 6.3.** Pruebas de patogenicidad *in vitro* de aislados de *Fusarium* spp. obtenidos de plantas de quinoa con síntomas de Damping-off en el municipio de Totoró (Cauca). a. Inoculación del patógeno sobre plántulas de quinoa Blanca de Jericó germinadas; b. Lesiones desarrolladas en el tejido a partir de la inoculación del patógeno.

Fotos: Isabel Cristina Ramírez-Paz y Luz Natalia Martínez-Caballero

## Epidemiología

La quinoa es susceptible a enfermarse con Damping-off durante la germinación, la emergencia y la aparición del primer par de hojas verdaderas (Dřímalková & Veverka, 2004; Saravia et al., 2014). Estos resultados coinciden con las observaciones realizadas en cultivos de quinoa en Silvia y Totoró, donde la enfermedad se detectó en el estadio fenológico de primer par de hojas verdaderas (figura 6.1).

El Damping-off es una enfermedad monocíclica causada por uno o más microorganismos, por lo que es necesario comprender el comportamiento de cada uno y cómo actúan para desencadenar los síntomas en la planta. *Fusarium* spp., por ejemplo, tiene la capacidad de sobrevivir en el suelo gracias a sus clamidosporas. Este hongo se propaga fácilmente a través del agua de riego, la escorrentía, implementos agrícolas infectados, calzado, entre otros. Su persistencia indefinida en el suelo hace que la rotación de cultivos sea ineficaz para prevenir su ataque (Vásquez-Ramírez & Castaño-Zapata, 2017). Este patógeno puede dañar las células de la planta mediante el uso individual o conjunto de varios mecanismos patogénicos, que incluyen la secreción de enzimas que degradan la pared celular, la liberación de sustancias tóxicas que alteran el metabolismo o la estructura normal del protoplasma en las plantas, la producción y liberación de hormonas o antihormonas que interfieren con el crecimiento y desarrollo, así como la alteración de los movimientos normales de agua, nutrientes y metabolitos (Llácer et al., 2000).



Foto: Takumasa Kondo



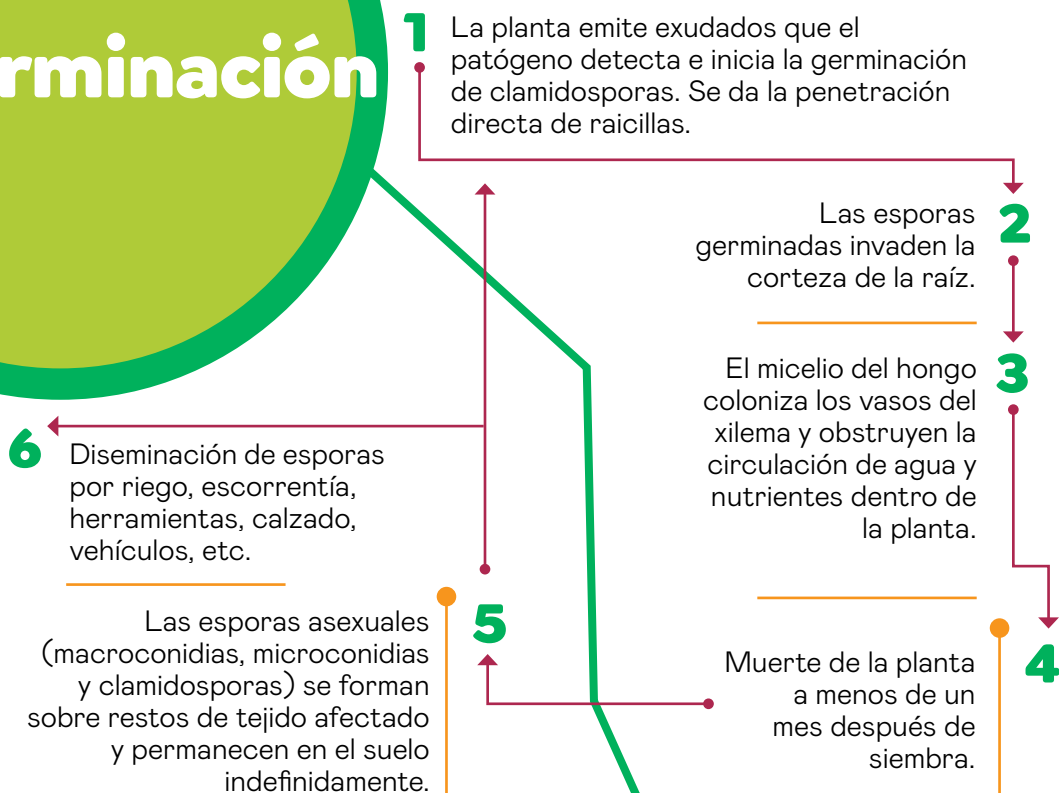
Foto: Diana Milena Rodríguez-Mora

### Ciclo de la enfermedad *Fusarium* spp.

En suelos infestados por el patógeno, los exudados emitidos por las raíces de la planta hospedera estimulan la germinación de las clamidosporas presentes en la rizosfera (Huisman, 1982). El hongo penetra en las raíces utilizando los tubos germinales de las esporas o el micelio y se propaga entre las células de la corteza de la raíz hasta alcanzar el xilema, donde infecta la planta (Vásquez-Ramírez & Castaño-Zapata, 2017).

Durante el proceso de colonización, el patógeno invade las células epidérmicas, el córtex, la endodermis y el periciclo y, finalmente, llega a las células del xilema (Ochoa, 1996). Dentro del xilema, el micelio se ramifica y produce microconidios que infectan el tallo y el ápice avanzando lateralmente por la planta al penetrar la pared de los vasos (Vásquez-Ramírez & Castaño-Zapata, 2017). Además, el hongo emite toxinas que pueden inhibir el crecimiento de la planta y provoca el colapso del tejido vascular, lo que limita el transporte de nutrientes y causa la muerte de la planta (Agrios, 2005). Los restos de plantas afectadas se convierten en una fuente de inóculo en el cultivo, ya que las estructuras de resistencia del patógeno permanecen latentes en el tejido y en el suelo hasta que se presenten nuevamente las condiciones ideales para su germinación (figura 6.4).

# Germinación



- Etapa del ciclo fenológico del cultivo
- Ciclo de la enfermedad

**Figura 6.4.** Ciclo de la enfermedad Damping-off en quinua causada por *Fusarium* spp.

Fuente: Elaboración propia

**Dos hojas verdaderas**



## Prácticas de manejo

Se recomienda implementar un enfoque preventivo que incluya las siguientes medidas:

- Utilizar semilla sana procedente de panojas libres de plagas y enfermedades.
- Diseñar un buen drenaje del suelo para evitar el exceso de humedad.
- Para almácigos o semilleros usar sustrato estéril. La solarización del suelo puede reducir los niveles de inóculo de los patógenos.
- Introducir microorganismos benéficos en el sustrato o suelo al momento de la siembra, como *Trichoderma* spp. y *Bacillus subtilis*, los cuales han sido reportados como agentes de control biológico de enfermedades en diversos cultivos, además de inducir el crecimiento de las plantas y activar mecanismos de resistencia que favorecen el establecimiento de las plántulas en campo (Larios-Larios et al., 2019; Solano et al., 2021).
- Incorporar materia orgánica y utilizar plantas como cubierta vegetal (Pfenning & Magalhães, 2000).
- Garantizar una buena nutrición de las plantas de acuerdo con el análisis de suelo.
- Evitar usar las herramientas que hayan estado en contacto con plantas enfermas. Desinfectar las herramientas con hipoclorito al 1 %.
- Realizar monitoreos frecuentes para la detección temprana de la enfermedad.
- Eliminar plántulas afectadas para evitar su propagación.



Foto: Diana Milena Rodríguez-Mora

## Enfermedades foliares

### Mildiu veloso

El mildiu veloso es la enfermedad más significativa del cultivo de quinua. Principalmente, afecta las hojas y disminuye su capacidad fotosintética, lo cual puede provocar la defoliación de la planta y afectar su crecimiento y rendimiento (Danielsen et al., 1999).

### Síntomas

El mildiu veloso se manifiesta inicialmente como pequeños puntos cloróticos en el haz (lado adaxial) de las hojas. A medida que estos puntos crecen, se convierten en manchas cloróticas de forma irregular. Con el progreso de la enfermedad, las manchas adquieren tonos amarillos o marrones dependiendo del cultivar o variedad de quinua; posteriormente, el tejido afectado se necrosa (Plata et al., 2014). Los síntomas varían según el genotipo de la planta, la etapa de crecimiento y las condiciones ambientales (Colque-Little et al., 2021; Danielsen et al., 2003).

En los municipios de Bolívar y Totoró, se identificaron síntomas de mildiu veloso en cultivos comerciales de quinua variedad Blanca de Jericó. En La Vega y Silvia, se observaron síntomas en las variedades Blanca de Jericó y Tunkahuan, mientras que en Silvia también se detectaron en la variedad Aurora. En todos los casos, los daños se caracterizaron por la aparición de manchas cloróticas irregulares en el haz de las hojas, acompañadas de un polvo grisáceo, similar al moho, en el envés (lado abaxial), lo que distingue esta enfermedad de otras infecciones fúngicas (figura 6.5).

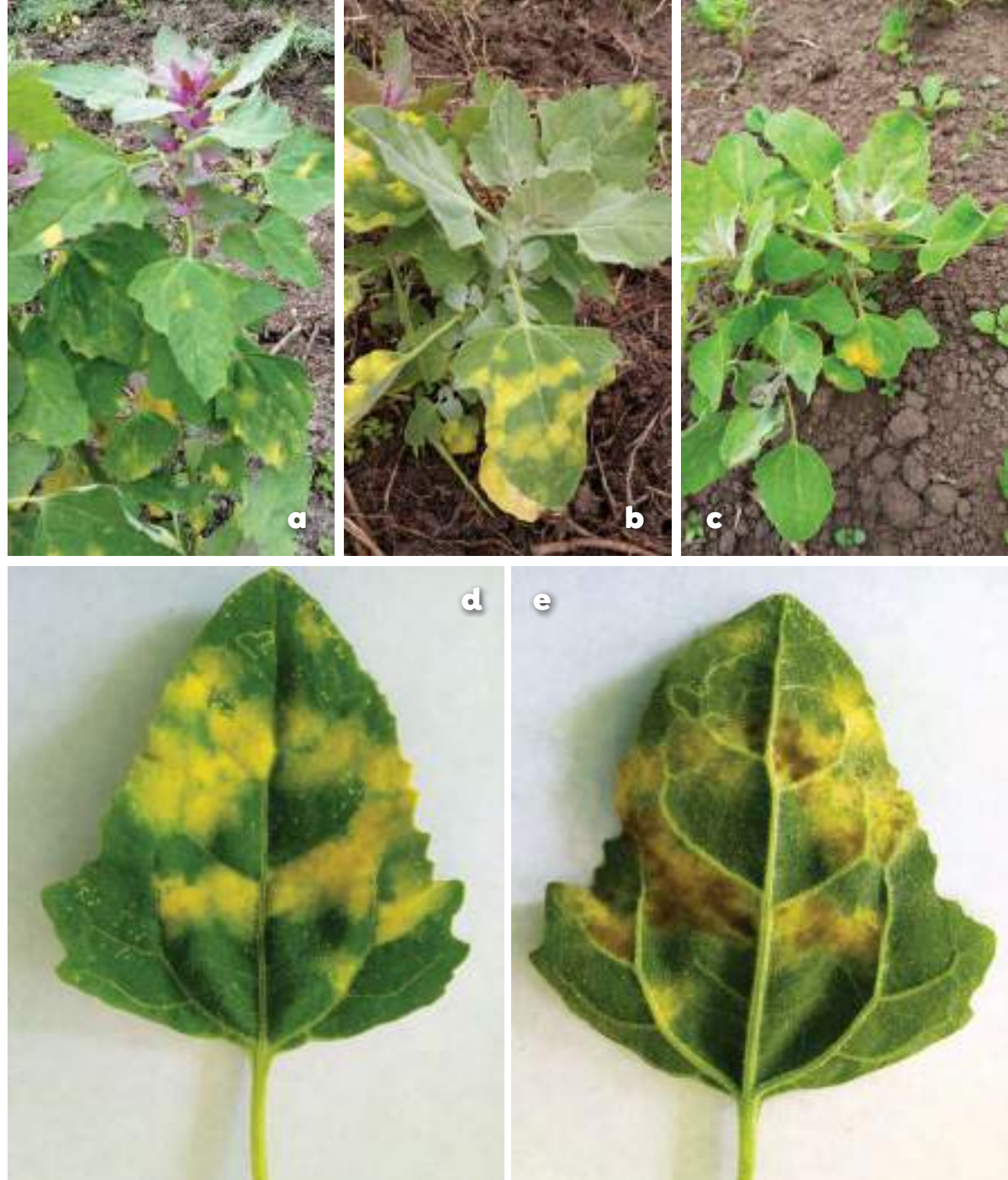


**Figura 6.5.** Síntomas de mildiu velloso en variedades de quinua. a. Tunkahuan; b. Blanca de Jericó; c. Aurora; d. Clorosis en el haz de la hoja; e. Polvo grisáceo en el envés de la hoja.

Fotos: Isabel Cristina Ramírez-Paz y Diana Milena Rodríguez-Mora

El polvo en el envés de la hoja corresponde al micelio y a las estructuras reproductivas esporuladas del agente causal del mildiu veloso. El grado de esporulación puede variar debido al nivel de susceptibilidad del cultivar de quinua y a la virulencia del patógeno (Colque-Little et al., 2021; Danielsen et al., 2003) (figura 6.6).



**Figura 6.6.** Hojas de quinua variedad Blanca de Jericó de diferente edad afectadas por mildiu veloso con diferentes grados de virulencia del patógeno en condiciones de infección natural.

Fotos: Diana Milena Rodríguez-Mora

El mildiu veloso afecta inicialmente el tercio bajo de la planta y se extiende a medida que progresa la enfermedad hacia el tercio medio y alto. Las hojas afectadas pueden deformarse y enrollarse, lo que impacta la apariencia general de la planta. A medida que la enfermedad avanza, puede ocasionar la defoliación de la planta (figura 6.7).





**Figura 6.7.** Apariencia general de la planta de quinua, variedad Blanca de Jericó, afectada por mildiu veloso en el municipio de Silvia, Cauca.

Fotos: Diana Milena Rodríguez-Mora

## Distribución geográfica

El mildiu veloso es una enfermedad endémica que se presenta de manera constante en las zonas donde se cultiva quinua (Danielsen et al., 2003). Ha sido reportada en países como Perú (Aragón & Gutiérrez, 1992), Ecuador (Jacobs, 1999), Bolivia (Swenson, 2006), Canadá (Tewari & Boyetchko, 1990), Estados Unidos (Testen et al., 2012), Corea (Choi et al., 2014), Egipto (Khalifa et al., 2018), Turquía (Gül, 2021), Polonia (Panka et al., 2004), India (Kumar et al., 2006) y Colombia (Alviar Ferro, 2023; Ramírez-Paz et al., 2023), entre otros.

## Agente causal

El agente causal del mildiu veloso es *Peronospora variabilis* Gäumann (1920), anteriormente conocida como *P. farinosa* (Choi et al., 2008). Este patógeno es un oomiceto perteneciente a la familia Peronosporaceae (orden Peronosporales). Se caracteriza por ser un parásito obligado (biotrófico), altamente especializado, que afecta específicamente a *C. quinoa* y *C. album* (Thines & Choi, 2016).

En hojas de quinua colectadas en los municipios de Bolívar y Totoró con síntomas de mildiu veloso, se identificaron estructuras características de *Peronospora* sp. Mediante improntas del tejido observadas al microscopio, se visualizaron esporangióforos con forma arborescente y esporangiosporas de forma ovalada (figura 6.8). Estas estructuras son consistentes con las reportadas por Danielsen y Ames (2000).

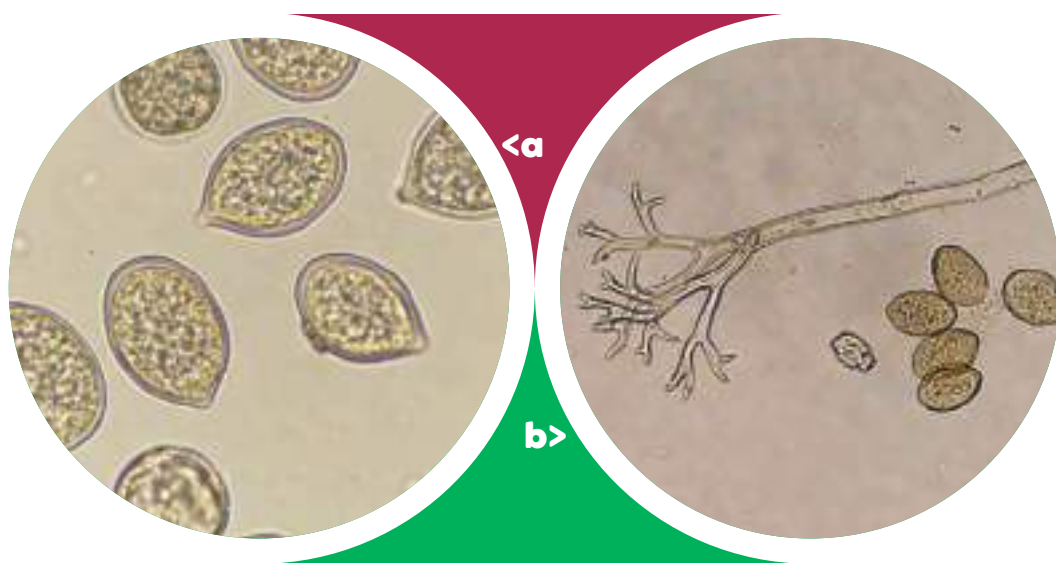


**Figura 6.8.** Estructuras reproductivas de *Peronospora* sp. en lesiones foliares de quinua. a. Esporangios (100x); b. Esporangióforos y esporangios (40x).

Fotos: Luz Natalia Martínez-Caballero

La patogenicidad de *Peronospora* sp. se confirmó en hojas desprendidas de quinua, variedad Blanca de Jericó, con el protocolo reportado por Danielsen y Ames (2000). Diez días después de la inoculación, las hojas mostraron síntomas de clorosis y signos del patógeno (figura 6.9).



**Figura 6.9.** Prueba de patogenicidad de *Peronospora* sp. en hojas de quinua, variedad Blanca de Jericó. a. Inoculación de *Peronospora* sp. sobre Agar Agua (AA) al 1 %; b. Manchas cloróticas irregulares en el haz de la hoja. c. Signos del patógeno en el envés de la hoja.

Fotos: Isabel Cristina Ramírez-Paz y Diana Milena Rodríguez-Mora

## Epidemiología

El mildiu vellosa de la quinua puede iniciarse desde la etapa de plántula debido al inóculo presente en el suelo o en semillas infectadas (El-Assiuty et al., 2019). Esta infección primaria actúa como foco en el campo y se extiende por medio de los esporangios, que se dispersan con el viento, y pueden ocasionar infecciones secundarias. Los esporangios se producen a lo largo del ciclo del cultivo, dependiendo de la humedad y la temperatura (Danielsen & Ames, 2000).

En visitas a parcelas comerciales de quinua en los municipios de La Vega, Silvia y Totoró, se evidenció la presencia de los primeros síntomas de la enfermedad desde el estadio de dos hojas verdaderas hasta su prolongación al estado de grano lechoso. En Bolívar, la enfermedad se registró a partir de la fase de ramificación (figura 6.10). Aunque la quinua puede ser afectada en cualquier etapa de su desarrollo, las infecciones tempranas causan mayor defoliación y pérdida de rendimiento (Danielsen & Ames, 2000; Ramírez-Paz & Rodríguez-Mora, 2023).



Foto: Diana Milena Rodríguez-Mora



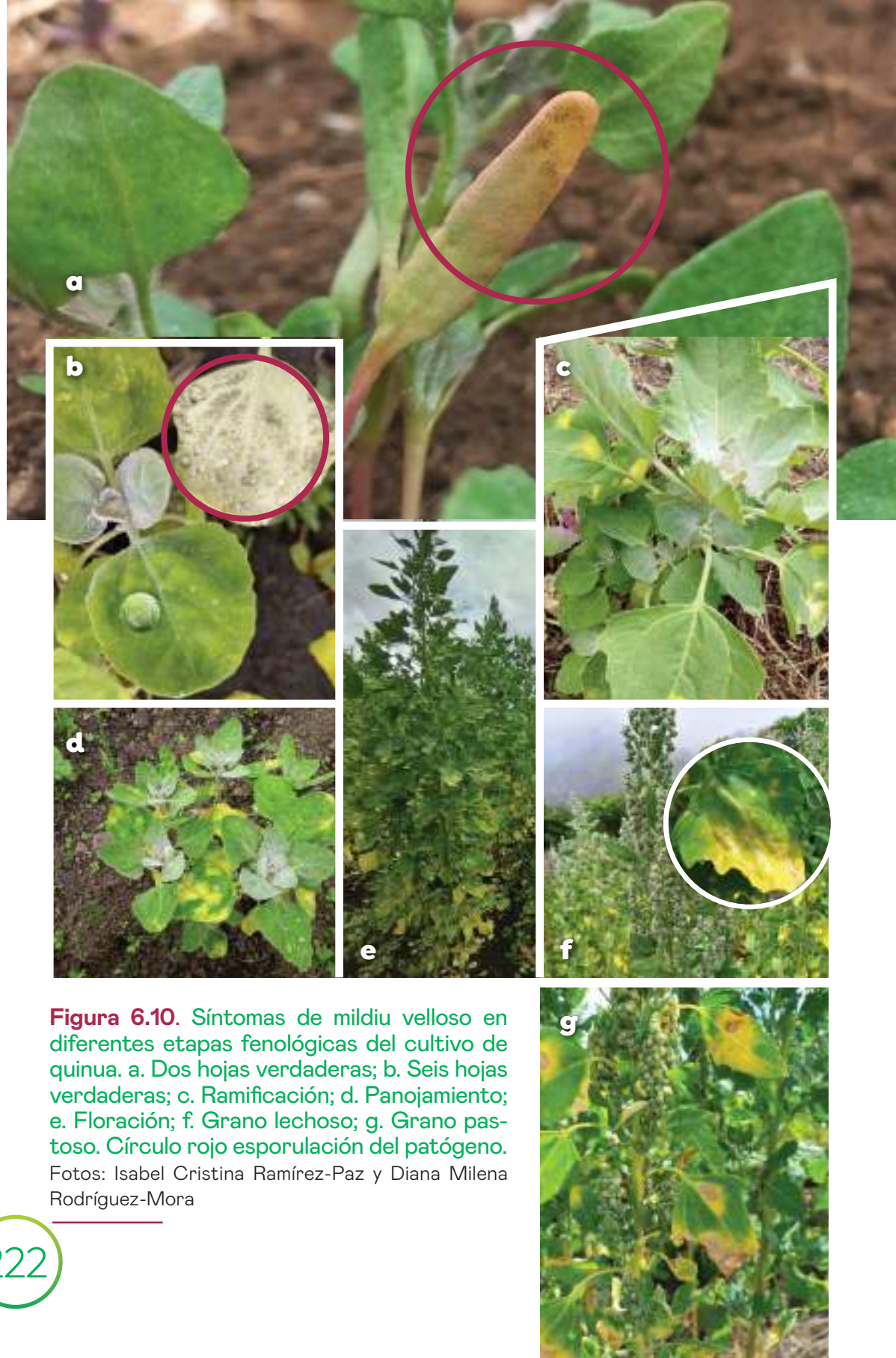


**Figura 6.10.** Síntomas de mildiu veloso en diferentes etapas fenológicas del cultivo de quinua. a. Dos hojas verdaderas; b. Seis hojas verdaderas; c. Ramificación; d. Panojamiento; e. Floración; f. Grano lechoso; g. Grano pastoso. Círculo rojo esporulación del patógeno.

Fotos: Isabel Cristina Ramírez-Paz y Diana Milena Rodríguez-Mora

El mildiu vellosa de la quinua se favorece por temperaturas frescas y alta humedad relativa, factores esenciales para el desarrollo del patógeno y la propagación de la enfermedad en el campo. La presencia constante de rocío matutino facilita la germinación de las esporas de *P. variabilis* en las hojas (Danielsen & Ames, 2000). Esta enfermedad puede causar pérdidas de hasta el 100 % cuando hay una alta presión de inóculo, temperaturas entre 15 y 25 °C, humedad relativa superior al 80 %, y precipitaciones superiores a 500 mm (Danielsen & Munk, 2004). Durante épocas secas, la enfermedad no se presenta o su impacto es mínimo (Danielsen et al., 2003).

## Ciclo de la enfermedad

El mildiu vellosa de la quinua es una enfermedad policíclica que comienza con la germinación de los esporangios en la planta bajo condiciones de alta humedad (Colque-Little et al., 2021). Las zoosporas móviles resultantes penetran en los tejidos vegetales a través de los estomas de las hojas, donde forman un micelio que se alimenta de los nutrientes de la planta. En las hojas infectadas se producen esporangios asexuales, los cuales liberan nuevas zoosporas capaces de infectar otras áreas o plantas cercanas (Danielsen & Ames, 2000).

El patógeno también puede producir esporangios sexuales que generan oosporas, estructuras de resistencia que permanecen latentes en el suelo, así como en semillas o restos de hojarasca. Estas oosporas pueden germinar cuando las condiciones son favorables, lo cual reinicia el ciclo de infección. Las zoosporas se dispersan a través del viento, el agua de lluvia o el contacto directo con plantas infectadas, lo que favorece la propagación de la enfermedad de manera continua si no se implementan medidas de control adecuadas (Danielsen & Ames, 2000) (figura 6.11).

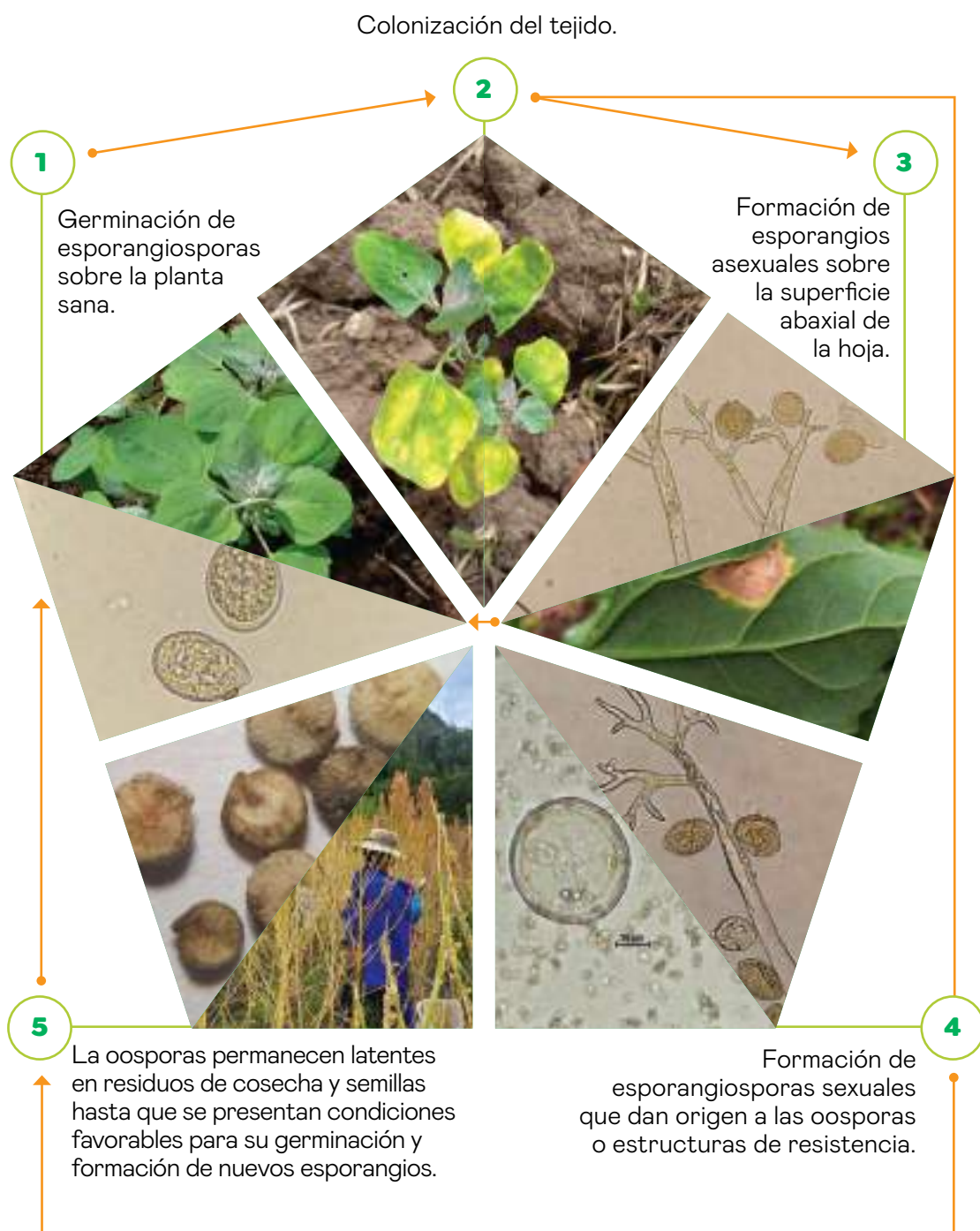


**Figura 6.11.** Ciclo de la enfermedad mildiu veloso en quinoa causada por *Peronospora* sp.

Fuente: Elaboración propia





Foto: Isabel Cristina Ramírez-Paz

## Prácticas de manejo preventivo y curativo

- Utilizar semilla sana procedente de panojas libres de plagas y enfermedades.
- Realizar una buena preparación del terreno.
- Garantizar una buena nutrición de las plantas de acuerdo con el análisis de suelo.
- Evitar altas densidades de siembra.
- Realizar control de arvenses.
- Realizar monitoreos frecuentes para la detección temprana de la enfermedad.
- Considerar el uso de inductores de resistencia como fosfito de potasio (Aguilar et al., 2020; Risco & Mattos, 2015).
- Aplicar fungicidas de contacto y sistémicos (Idrogo-Herrera, 2022; Risco & Mattos, 2015).
- Aplicación de biofungicidas (Leon-Ttacca et al., 2018, 2021).
- Realizar rotación de cultivos.
- Eliminar los residuos de cosecha.

## Ojo de gallo

La enfermedad foliar conocida como ojo de gallo se caracteriza por la formación de lesiones necróticas en las hojas, lo que disminuye la capacidad fotosintética de las plantas. Esto afecta directamente su crecimiento, desarrollo y rendimiento, especialmente en términos de producción de grano.



## Sintomatología

La sintomatología inicial se caracteriza por la presencia de pequeñas manchas circulares de color café en las hojas que, con el tiempo, tienden a expandirse y a formar áreas necróticas más grandes, de forma redondeada o ligeramente ovalada. A menudo, estas lesiones presentan un margen o halo amarillo alrededor de la zona necrótica, lo que contribuye a la apariencia distintiva de un ojo de gallo (de ahí el nombre). Generalmente, las lesiones están aisladas, aunque a veces se agrupan para formar una lesión más grande. Cuando la mancha necrótica envejece y se seca, la parte central de la lesión se desprende y deja un agujero de forma irregular (similar a perdigones) (Luján, 2022). Esta sintomatología coincide con la observada en cultivos de quinua evaluados en los municipios de Bolívar, La Vega, Silvia y Totoró (figura 6.12).

**Foto:** Diana Milena Rodríguez-Mora

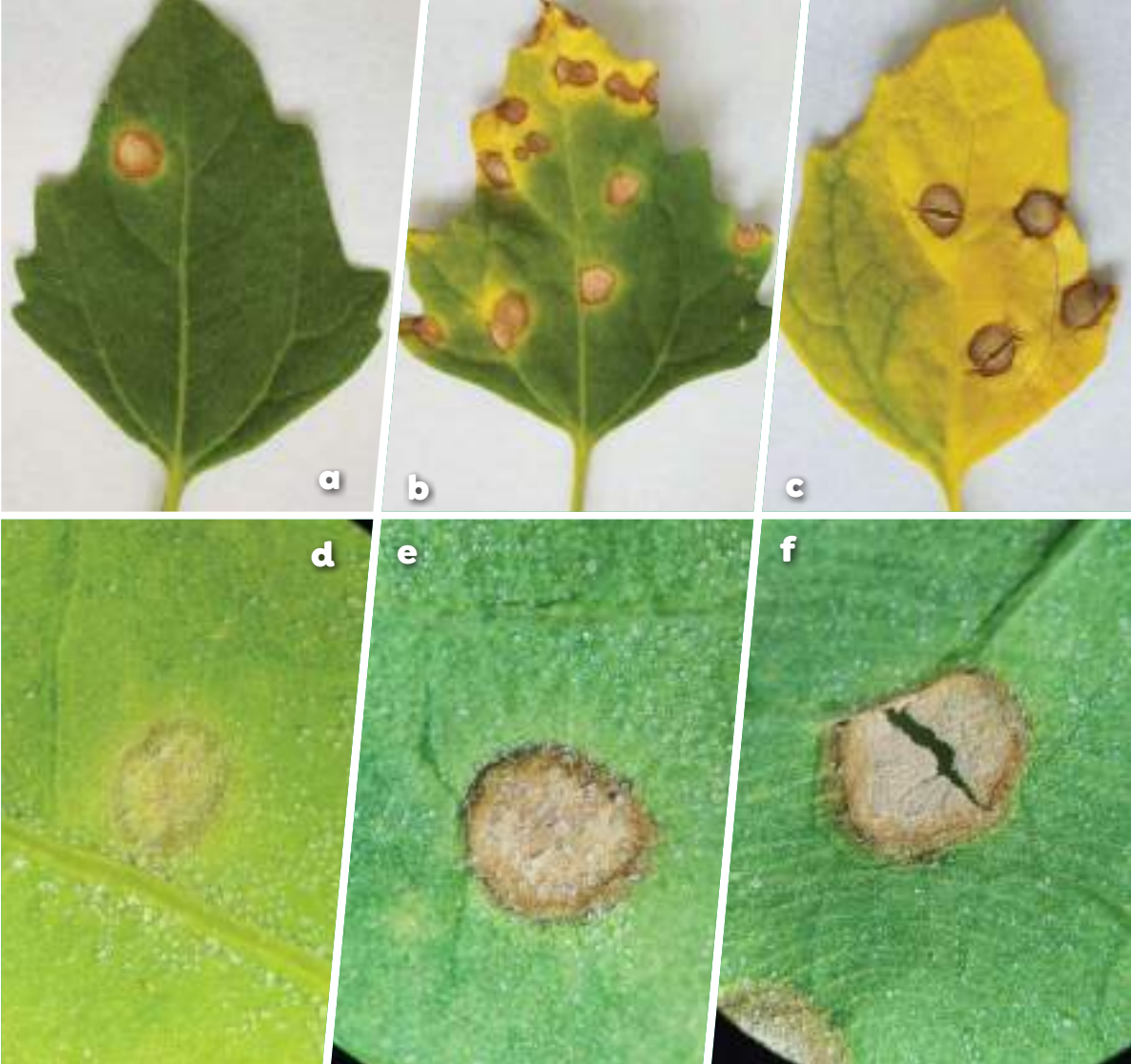


**Figura 6.12.** Sintomatología de ojo de gallo en cultivos de quinua en el departamento del Cauca. a. Desarrollo de las lesiones iniciales sobre el tejido foliar; b. Amarillamiento del tejido y unión de lesiones individuales; c. Amarillamiento total de la hoja; d. Lesión inicial color café claro con halo marrón; e. Lesiones necróticas más grandes, redondeadas o ligeramente ovales; f. Perdigones.

Fotos: Diana Milena Rodríguez-Mora y Luz Natalia Martínez-Caballero

Los síntomas iniciales se desarrollan en el tercio bajo de la planta y se extienden al tercio medio y alto (Barrantes, 2016). A medida que la infección avanza, las hojas afectadas pueden experimentar amarillamiento y caída prematura de las hojas (figura 6.13).





**Figura 6.13.** Apariencia general de una planta de quinua variedad Blanca de Jericó afectada por ojo de gallo, en el municipio de La Vega (Cauca).

Fotos: Diana Milena Rodríguez-Mora

### Agente causal

La enfermedad es atribuida al hongo *Passalora dubia* (Riess) U. Braun, perteneciente a la familia Mycosphaerellaceae (orden Capnodiales) (Testen et al., 2013).

En tejido foliar de quinua afectado por ojo de gallo, colectado en los municipios de Totoró y Bolívar, se aisló *Passalora* sp. Este hongo se caracterizó por presentar colonias epígenas, de aspecto cespitoso y color pardo oscuro (García et al., 1996). Se destacó la presencia de conidios solitarios, los cuales tienen un promedio de seis células, son cilíndricos a obclavados, rectos o muy ligeramente curvados, hialinos o subhialinos, redondeados en el ápice y subtruncados en la base (Swiderska-Burek, 2015; Testen et al., 2013).

El micelio, generalmente interno, presenta hifas septadas, ramificadas, ya sean hialinas o pigmentadas, y estromas de desarrollo ligero a moderado. Los conidióforos se presentan en fascículos y exhiben una coloración olivácea. Estos conidióforos presentan de 2 a 5 septos y cicatrices conidiales grandes y notorias (Kim & Shin, 1998) (figura 6.14).

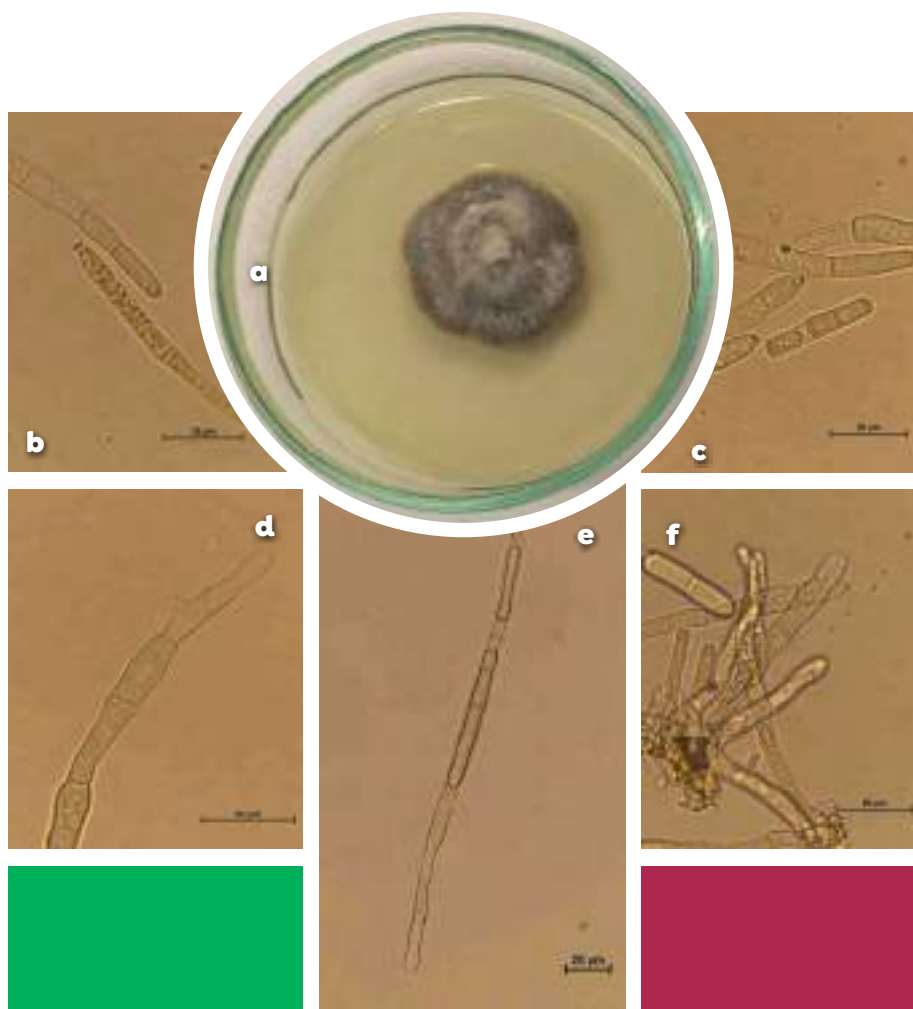


**Figura 6.14.** Morfología de *Passalora* sp. aislado de tejido foliar de quinua con sintomatología de ojo de gallo en Totoró, Cauca. a. Colonia en medio de cultivo PDA; b. y c. Conidios; d. Célula conidiógena; e. Conidióforo solitario; f. Conidióforos en fascículos.

Fotos: Isabel Cristina Ramírez-Paz y Luz Natalia Martínez-Caballero



En pruebas de patogenicidad realizadas bajo condiciones de laboratorio, se replicaron los síntomas de ojo de gallo en hojas desprendidas de quinua mediante la inoculación artificial de *Passalora* sp. a una concentración de  $5,64 \times 10^4$  esporas/ml. Los primeros síntomas de la enfermedad se observaron a los 5 días después de la inoculación (ddi) y se manifestaron como pequeñas manchas circulares de color marrón. A los 10 ddi las lesiones se tornaron de color negro. Con estos resultados, se confirma que el agente causal de la enfermedad ojo de gallo en plantas de quinua en el departamento del Cauca corresponde a *Passalora* sp. (figura 6.15).

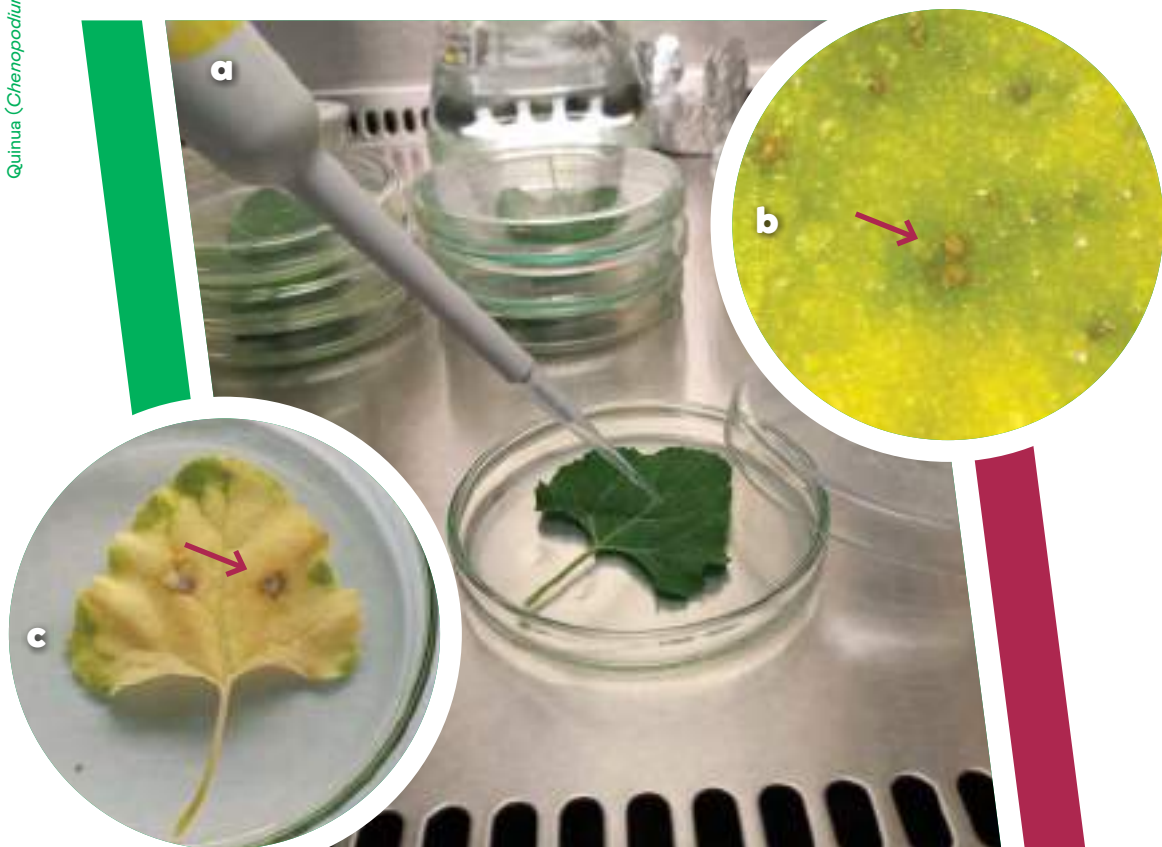


**Figura 6.15.** Prueba de patogenicidad de *Passalora* sp. en hojas de quinua variedad Blanca de Jericó. a. Inoculación de hojas desprendidas con *Passalora* sp.; b. Observación de los primeros síntomas de la enfermedad 5 ddi; c. Síntomas de la enfermedad 10 ddi.

Fotos: Isabel Cristina Ramírez-Paz

## Distribución geográfica

El ojo de gallo se ha reportado en varias regiones geográficas productoras de quinua como Bolivia, Ecuador y Norteamérica (Peralta et al., 2012; Plata & Gandarillas, 2014; Testen et al., 2013). La presencia de esta enfermedad en diferentes países sugiere una adaptabilidad del agente causal a condiciones ambientales variables y refleja su relevancia en distintos ecosistemas. De acuerdo con las observaciones realizadas en cultivos de quinua en el departamento del Cauca, se confirmó la presencia del ojo de gallo en Bolívar, La Vega, Silvia y Totoró (Ramírez-Paz et al., 2023).

## Epidemiología

En cultivos de quinua, el ojo de gallo puede iniciarse desde estadios tempranos de desarrollo debido a la presencia de inóculo en el suelo. Esta infección temprana sirve como foco para la propagación de la enfermedad en el campo, donde las esporas del hongo son diseminadas principalmente por acción del viento (Khan et al., 2008).

Según Cruces et al. (2016), la enfermedad se presenta con mayor frecuencia desde el inicio de la floración hasta la maduración de la panoja. No obstante, los resultados de investigación obtenidos por AGROSAVIA durante el seguimiento de la enfermedad en un ciclo fenológico del cultivo evidenciaron que el ojo de gallo puede manifestarse desde el estadio fenológico de dos hojas verdaderas hasta el estado de grano pastoso (figura 6.16).



**Foto:** Isabel Cristina Ramírez-Paz

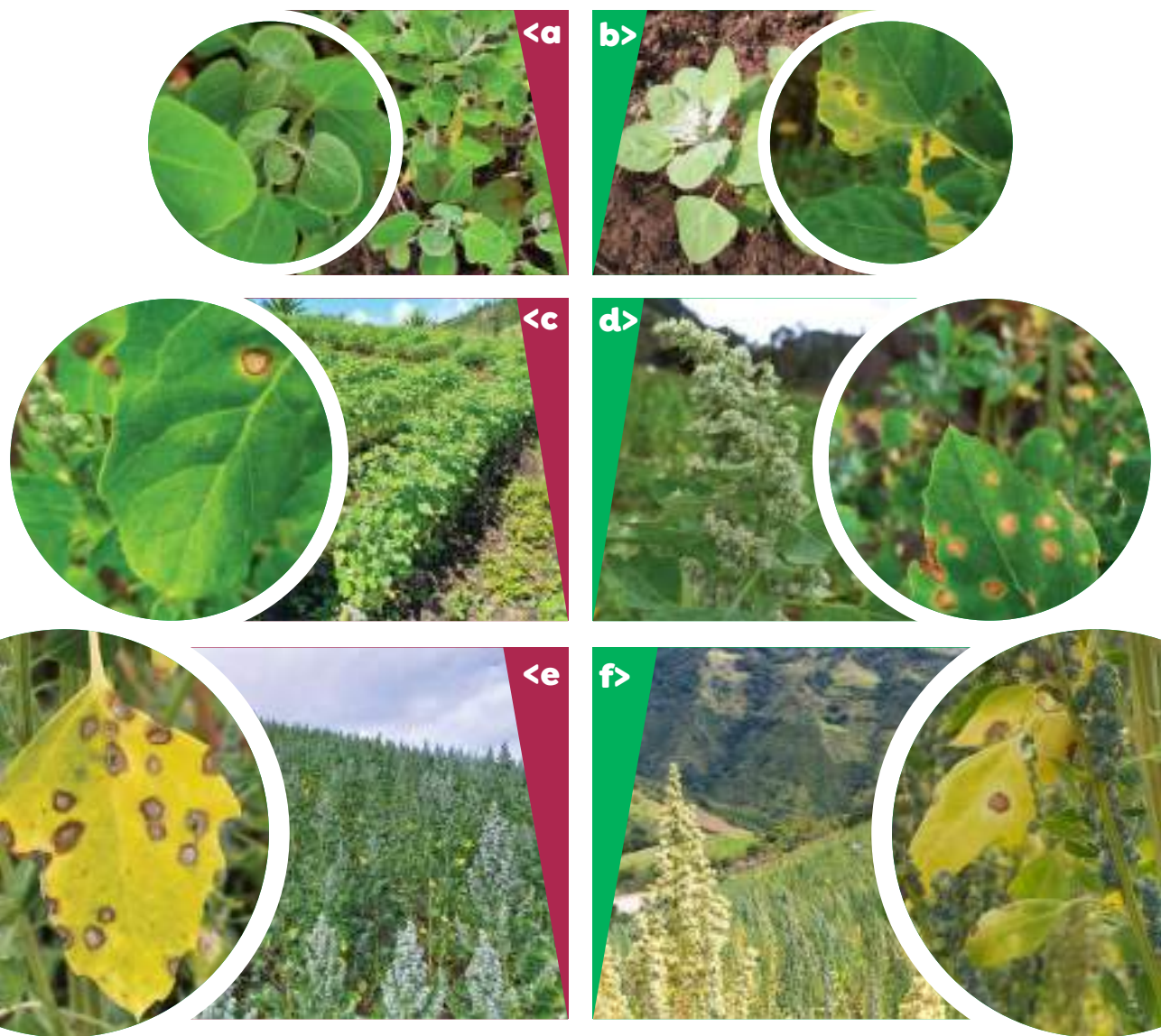


**Figura 6.16.** Síntomas de ojo de gallo en diferentes etapas fenológicas del cultivo de quinua. a. Seis hojas verdaderas; b. Ramificación; c. Panojamiento; d. Floración; e. Grano lechoso; f. Grano pastoso.

Fotos: Isabel Cristina Ramírez-Paz y Diana Milena Rodríguez-Mora





Foto: Diana Milena Rodríguez-Mora

La enfermedad ojo de gallo se ve favorecida por temperaturas entre 25 °C y 30 °C y una humedad relativa superior al 90 %. Además, se hace más evidente en periodos secos o de prolongada sequía (Cruces et al., 2016; Plata et al., 2014).

### Ciclo de la enfermedad

El proceso de infección inicia cuando los conidios son transportados por el viento o el agua a la superficie de las hojas y, bajo condiciones favorables, germinan y generan uno o varios tubos germinativos, los cuales penetran la superficie de la hoja del hospedante a través de los estomas (Plata et al., 2014). La colonización del tejido se produce con el desarrollo de hifas primarias y secundarias que invaden el mesófilo; las hifas liberan micotoxinas que destruyen las células circundantes y necrosan los tejidos (Velicheti & Sinclair, 1994). Posteriormente, se forman los conidióforos, en los cuales surge una nueva generación de conidios que se propagan principalmente por el viento para iniciar un nuevo ciclo biológico y, en consecuencia, el desarrollo de un nuevo ciclo de la enfermedad (figura 6.17).

El hongo sobrevive en residuos vegetales mediante la formación de esporas (conidias) y estomas, que constituyen la principal fuente de inóculo primario para nuevas infecciones (Plata et al., 2014). En condiciones húmedas, se forman nuevos conidióforos y conidias sobre el estroma, que se dispersan por el viento y las salpicaduras de la lluvia.



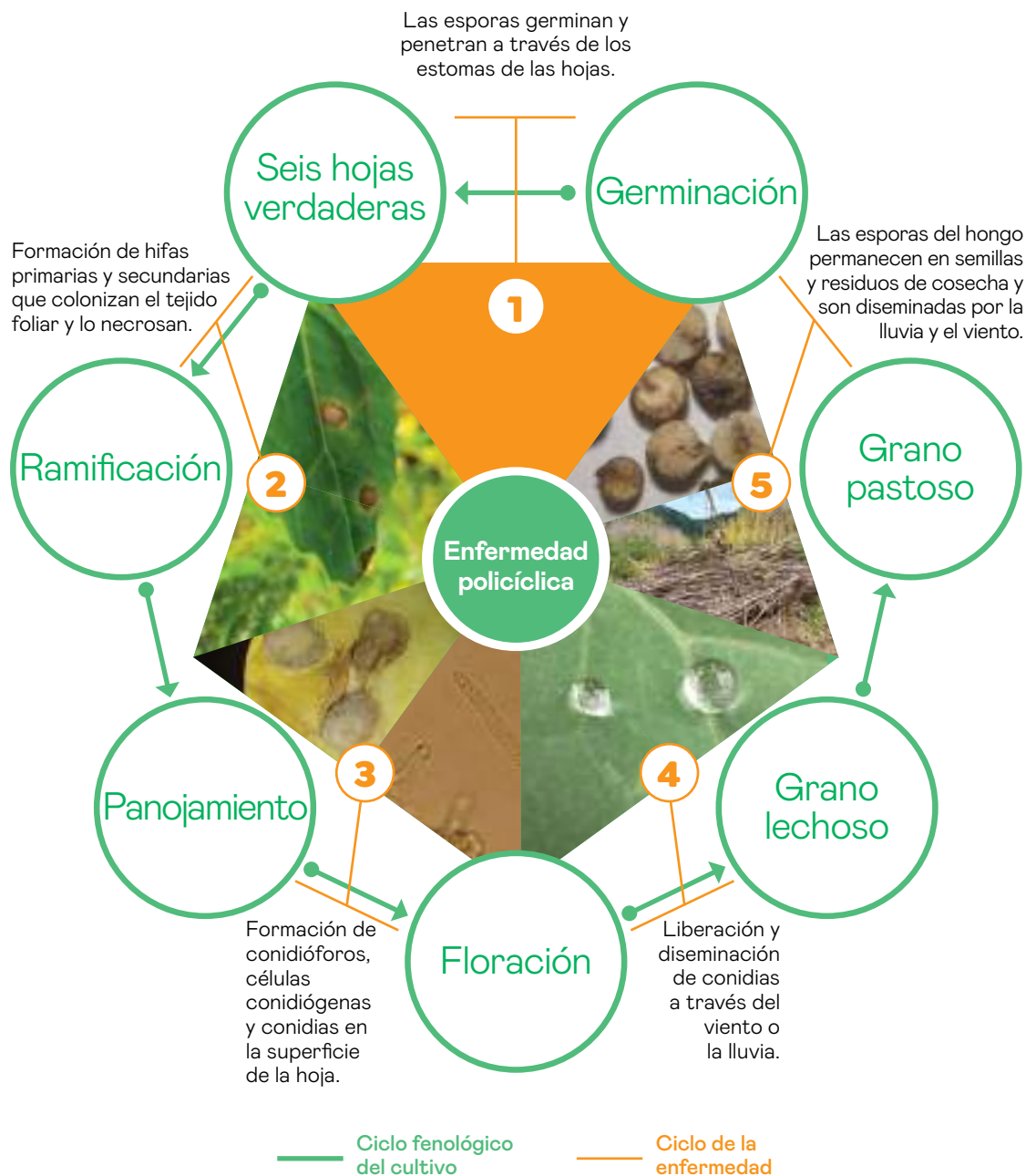


**Figura 6.17.** Ciclo de la enfermedad ojo de gallo en cultivos de quinoa causada por *Passalora* sp.

Fuente: Elaboración propia

## Prácticas de manejo preventivo y curativo

- Utilizar semilla sana procedente de panojas libres de plagas y enfermedades.
- Realizar una buena preparación del terreno.
- Garantizar una buena nutrición de las plantas de acuerdo con el análisis de suelo.
- Evitar altas densidades de siembra.
- Realizar control de arvenses.
- Realizar monitoreos frecuentes para la detección temprana de la enfermedad.
- Considerar el uso de inductores de resistencia como fosfito de potasio (Delgado-Sánchez et al., 2017; López et al., 2018).
- Aplicar fungicidas de contacto y sistémicos (Carmona et al., 2019; Chen et al., 2017).
- Aplicar de biofungicidas (Chen et al., 2015; Zang et al., 2021).
- Realizar rotación de cultivos.
- Eliminar los residuos de cosecha.



Foto: Diana Milena Rodríguez-Mora

# Enfermedades de la panoja

## Panoja negra

La panoja negra es una enfermedad que afecta el cultivo de quinua durante la fase reproductiva y genera un impacto directo sobre el rendimiento y calidad del grano.

### Sintomatología

En la quinua se ha reportado la enfermedad conocida como pudrición de la panoja. De acuerdo con Li et al. (2022), los síntomas de esta enfermedad se caracterizan por la formación de una capa irregular de moho verde oliva sobre las glumas de las semillas, que se intensifica gradualmente al cambiar de color de marrón a negro. Yin et al. (2021) encontraron en panículas sintomáticas una película de moho de color rosa pálido, blanco grisáceo o marrón oscuro en la superficie de los granos. Esta enfermedad provoca la decoloración y el vaciado del grano de quinua.

En los cuatro municipios del Cauca se observaron panojas con síntomas de ennegrecimiento del perigonio, acompañados de signos del patógeno y coloraciones marrones a negras en el grano (figura 6.18). A esta enfermedad se le atribuyó el nombre de panoja negra debido a sus síntomas característicos.

Foto: Diana Milena Rodríguez-Mora





**Figura 6.18.** Síntomas de la enfermedad panoja negra. a. Síntomas iniciales de la enfermedad; b. Síntomas avanzados de la enfermedad.

Fotos: Isabel Cristina Ramírez-Paz

### Agente causal

Como agentes causales de la pudrición de la panoja se han asociado hongos de diferentes géneros. Yin et al. (2021) reportaron a *Trichothecium roseum* (Hypocreales: *Incertae sedis*), *Alternaria alternata* (Pleosporales: Pleosporaceae) y *Fusarium citri* (Hypocreales: Nectriaceae) como agentes asociados a esta patología. Por otra parte, Li et al. (2022) identificaron a *Cladosporium cladosporioides* (Capnodiales: Davidiellaceae) como el patógeno causante de la enfermedad.



En plantas de quinua con síntomas de panoja negra colectadas en los municipios de Totoró y Bolívar (Cauca), se aislaron e identificaron hongos del género *Cladosporium*. Los hongos aislados se caracterizaron por presentar una colonia de color verde oliva con aspecto polvoriento y pliegues radiales (figura 6.19). Microscópicamente, presentaron hifas finas, septadas y ramificadas, de color hialino a marrón. Las hifas sostenían conidióforos y cadenas ramificadas de conidios unicelulares, elipsoides o cilíndricos, lo cual concuerda con las estructuras reproductivas y vegetativas del hongo reportadas por Bullerman (2003).

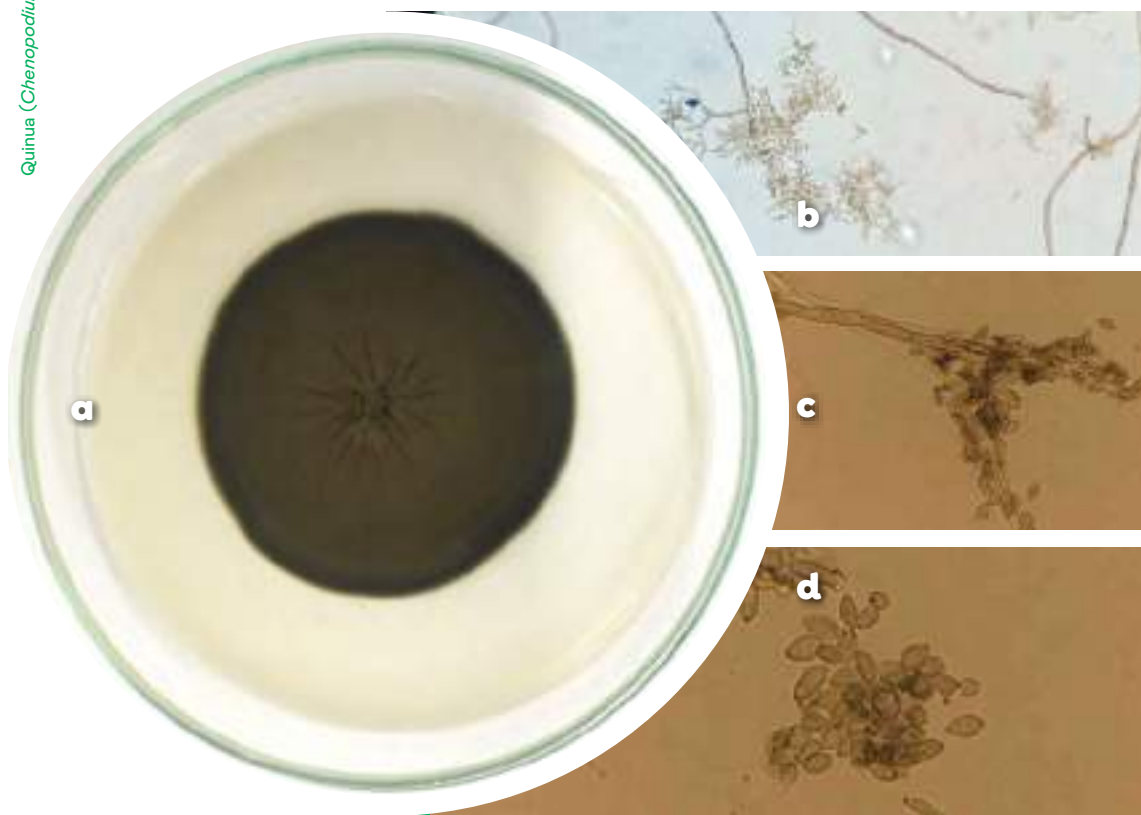


**Figura 6.19.** Morfología de *Cladosporium* sp., aislado de panojas de quinua con sintomatología de panoja negra en Totoró y Bolívar, Cauca. a. Colonia de *Cladosporium* sp. en medio de cultivo PDA; b. Micelio, conidióforo y conidios (10x); c. Conidióforos y conidios (40x); d. Conidios individuales y en cadena (40x).

Fotos: Isabel Cristina Ramírez-Paz y Luz Natalia Martínez-Caballero

En pruebas de patogenicidad realizadas bajo condiciones controladas de laboratorio, se replicaron los síntomas de esta enfermedad mediante la inoculación artificial de *Cladosporium* sp. en panojas de quinua a una concentración de  $1 \times 10^7$  conidios/ml (Li et al., 2022), lo que confirma a este hongo como el agente causal de la panoja negra en cultivos de quinua en el departamento del Cauca (figura 6.20).

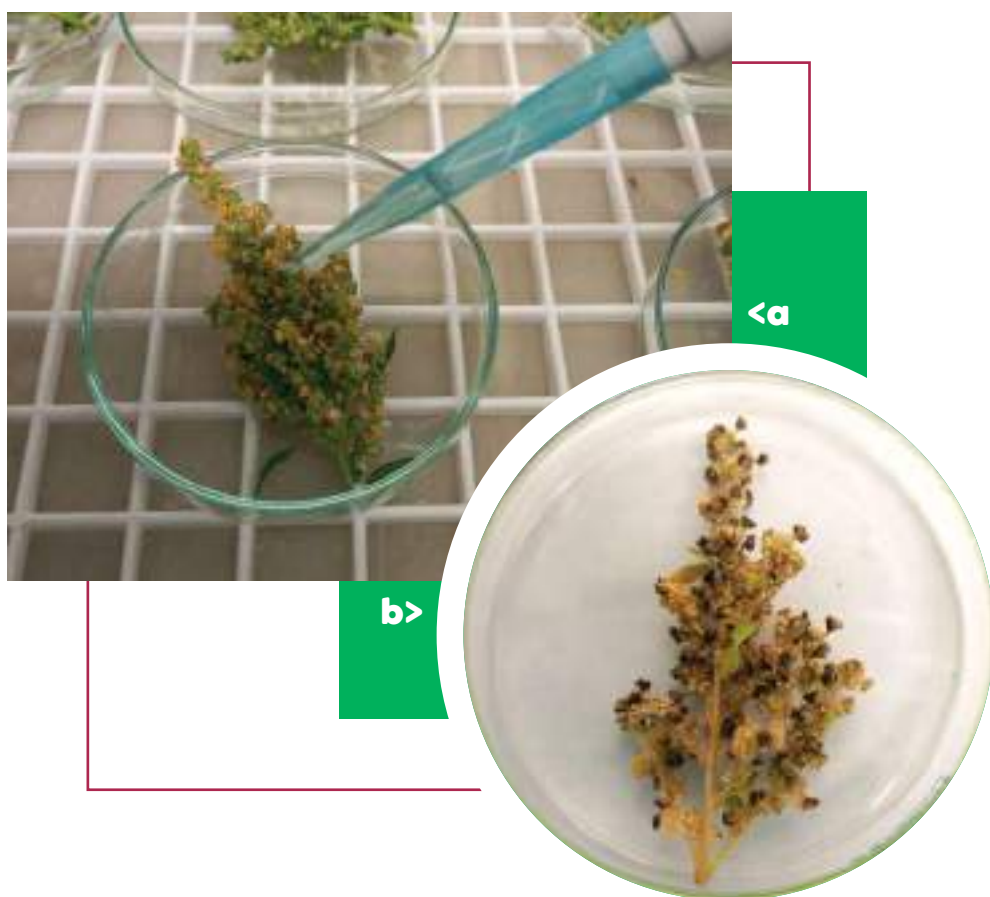


**Figura 6.20.** Prueba de patogenicidad de *Cladosporium* sp. en panojas de quinua variedad Blanca de Jericó. a. Inoculación de panojas; b. Panoja con granos negros ocho días después de la inoculación.

Fotos: Isabel Cristina Ramírez-Paz



Foto: Isabel Cristina Ramírez-Paz

## Distribución geográfica

Internacionalmente, hay pocos estudios relacionados con las enfermedades de la panoja de quinua. Se ha reportado la presencia de pudrición de la panoja en cultivos de quinua en la provincia de Shanxi, China (Li et al., 2022; Yin et al., 2021). En visitas a fincas comerciales de quinua en los cuatro municipios, se observó la presencia de panoja negra (Ramírez-Paz et al., 2023), la cual presenta síntomas diferenciables de los reportados para la pudrición de la panoja, a pesar de compartir a *Cladosporium* sp. como uno de los agentes causales comunes.

## Epidemiología

En los estudios realizados por Li et al. (2022) y Yin et al. (2021), se documentaron pérdidas en la producción de quinua causadas por la pudrición de la panoja que oscilan entre el 30% y el 40 % en China. Sin embargo, existe información limitada sobre la epidemiología de las enfermedades que afectan la panoja de quinua. En investigaciones realizadas por AGROSAVIA, durante el seguimiento de la enfermedad en un ciclo fenológico del cultivo, se comprobó su presencia en los municipios de Bolívar, Silvia y Totoró en la fase de madurez de cosecha (figura 6.21). Además, en las visitas realizadas a parcelas comerciales de quinua en los cuatro municipios, se identificó la enfermedad desde el estado fenológico de grano pastoso.

En los municipios de Silvia, Totoró y Bolívar, la incidencia de panoja negra fue del 80 %, 60 % y 20 %, respectivamente (figura 6.21). En estos tres municipios, se registraron lluvias durante la época de evaluación. En La Vega no se detectaron síntomas de la enfermedad debido a las condiciones de sequía predominantes, lo que sugiere que el desarrollo de la panoja negra fue favorecido por la presencia de lluvia (figura 6.21). Esta enfermedad se dispersa fácilmente y puede deteriorar la calidad de la cosecha en poco tiempo. Bajo condiciones de lluvia, la enfermedad avanza rápidamente y puede extenderse por toda la panoja (Plata et al., 2014).



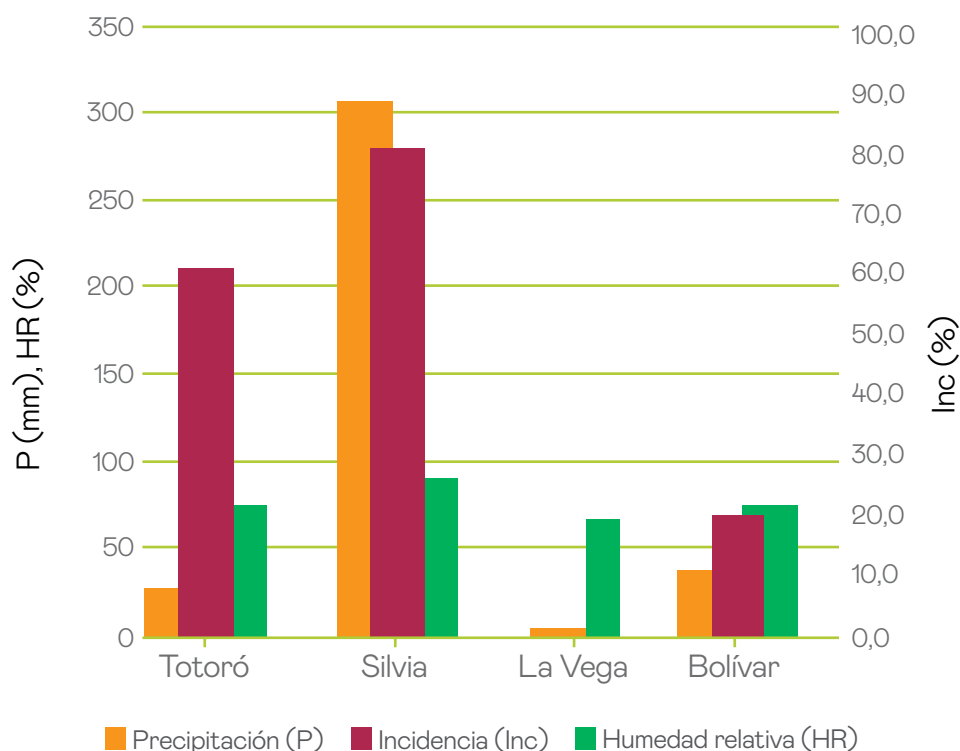


**Figura 6.21.** Incidencia de panoja negra de la quinua variedad Blanca de Jericó en madurez de cosecha, en municipios productores de quinua: Bolívar (junio 2023), Totoró (septiembre 2023), Silvia (octubre 2022) y La Vega (septiembre 2023).

Fuente: Elaboración propia

## Ciclo de la enfermedad

El proceso de infección inicia cuando los conidios de *Cladosporium* sp., transportados por el viento y la lluvia, migran desde las hojas o residuos vegetales hasta las panojas en estado fenológico de grano pastoso y madurez de cosecha (Plata et al., 2014). La germinación de los conidios requiere una humedad relativa superior al 80 % y precipitaciones continuas (Plata et al., 2014). La colonización inicial del tejido se manifiesta como pequeñas zonas de color oscuro, que, con el avance de la enfermedad, se extienden por toda la panoja. En el tejido colonizado por el hongo, se forman nuevos y abundantes conidios que se dispersan a nuevas panojas, con lo cual generan nuevos ciclos de infección (figura 6.22).

# Madurez de cosecha



**1** Residuos vegetales como fuente primaria de inóculo.

Condiciones climáticas favorables: altas precipitaciones.

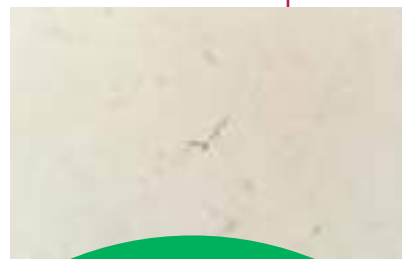
Dispersión de esporas por viento y lluvia.

**2**

**4** Formación de nuevas esporas sobre el tejido infectado.

Las esporas germinan sobre las panojas y colonizan el tejido.

**3**



— Ciclo fenológico del cultivo

— Ciclo de la enfermedad

**Figura 6.22.** Ciclo de la enfermedad panoja negra de la quinoa, causada por *Cladosporium* sp.

Fuente: Elaboración propia

# Grano pastoso

## Prácticas de manejo

Se recomienda implementar un enfoque preventivo que tenga en cuenta las siguientes medidas:

- Utilizar semilla sana procedente de panojas libres de plagas y enfermedades.
- Garantizar una buena nutrición de las plantas de acuerdo con el análisis de suelo.
- Realizar monitoreos frecuentes para detectar de manera temprana la enfermedad.
- Establecer los cultivos en épocas tradicionales de su región y procurar que las épocas de cosecha de la quinua coincidan con periodos secos.
- Realizar la cosecha en la época más adecuada para evitar la exposición de las panojas a periodos de lluvia. Esto ayudará a prevenir la humedad y la germinación de las semillas en la panoja.
- Durante la poscosecha, realizar el secado de las panojas bajo cubierta plástica en un espacio adecuado que permita la correcta circulación del aire y el incremento de la temperatura para facilitar la pérdida de humedad del grano.
- Eliminar los residuos de cosecha.



Foto: Diana Milena Rodríguez-Mora

# Conclusiones

La quinua es un cultivo valioso en el mundo y desempeña un papel vital en la seguridad alimentaria. Por ende, el reconocimiento de los síntomas asociados a las enfermedades, la identificación del agente causal, la comprensión de los factores predisponentes y la epidemiología de las enfermedades son fundamentales para implementar prácticas de manejo adecuadas que ayuden a mitigar los riesgos asociados y así asegurar la productividad y la viabilidad de este cultivo a largo plazo.

En los municipios de Silvia, Totoró, Bolívar y La Vega (Cauca) se encontraron enfermedades asociadas a la quinua en raíces, hojas y panoja. Mediante pruebas de patogenicidad se identificaron los agentes causales de las enfermedades Damping-off (*Fusarium* spp.), mildiu vellosa (*Peronospora* sp.), ojo de gallo (*Passalora* sp.) y panoja negra (*Cladosporium* sp.).

Las enfermedades mildiu vellosa, ojo de gallo y panoja negra pueden volverse relevantes y afectar el rendimiento y la calidad del grano si se presentan en los estadios de desarrollo susceptibles del cultivo, cada una bajo condiciones ambientales específicas. Mildiu vellosa y panoja negra pueden aparecer durante periodos de lluvia, mientras que ojo de gallo en periodos secos.



Foto: Diana Milena Rodríguez-Mora



# Referencias

- Agrios, G. (2005). *Plant Pathology*. Elsevier Academic Press.
- Aguilar, R., More-Yarleque, M. M., Rafael-Rutte, R., & Maldonado, E. (2020). Inductores de defensa en el control del mildiu (*Peronospora variabilis* Gaum.) en el cultivo de quinoa: Detección, epidemiología, síntomas, características y control. *Scientia Agropecuaria*, 11(4), 555-563. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.04.11>
- Alviar Ferro, C. (2023). *Evaluación de productividad de la quinoa* *Chenopodium quinoa* Willd. en sistemas agrobiodiversos en tres municipios de Cundinamarca Colombia [Tesis de doctorado, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá]. Repositorio UN: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/84797>
- Aragón, L., & Gutiérrez, W. (1992). Downy mildew on four *Chenopodium* species. *Fitopatología*, 27, 104-109.
- Barboza, J., Ames, T., & Jacobsen, S. E. (2000a). *Reducción de la germinación y muerte de plantas de Chenopodium quinoa causadas por Rhizoctonia y Fusarium*. Centro Internacional de la Papa (CIP) y Universidad Nacional Agraria (UNA).
- Barboza, G. E., Ariza Espinar, L., Van Baren, C. M., & Murray, A. P. (2000b). Efecto del exceso de humedad en la germinación y desarrollo de *Chenopodium quinoa* Willd. *Ecología Austral*, 10(2), 145-153.
- Barnett, H. L., & Hunter, B. B. (1988). *Illustrated Genera of Imperfect Fungi*. APS Press.
- Barrantes Del A., F. (2016). *Enfermedades de la quinoa* (*Chenopodium quinoa* Willd.) en Ayacucho. Programa de Investigación en Cultivos Andinos (PICA).
- Beccari, G., Quaglia, M., Tini, F., Pannacci, E., & Covarelli, L. (2021). Phytopathological threats associated with quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivation and seed production in an area of Central Italy. *Plants*, 10(9), 1933. <https://doi.org/10.3390/plants10091933>
- Beckman, P. M., & Finch, H. C. (1980). Seed rot and damping-off of *Chenopodium quinoa* caused by *Sclerotium rolfsii*. *Plant Disease*, 64, 497-498. [https://www.apsnet.org/publications/plantdisease/backissues/Documents/1980Articles/PlantDisease64n05\\_497.pdf](https://www.apsnet.org/publications/plantdisease/backissues/Documents/1980Articles/PlantDisease64n05_497.pdf)
- Bojanic, A. (2011). *La Quinoa: Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <https://www.fao.org/3/aq287s/aq287s.pdf>
- Bullerman, L. B. (2003). Fungi in Food – An Overview. En B. Caballero (Ed.), *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* (pp. 5511-5522). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B0-12-227055-X/01129-9>
- Carmona, M. A., Debiase, J. E., Sautter, C. K., & Guerreiro-Filho, O. (2019). Efficacy of systemic and contact fungicides for the control of *Passalora* leaf spot in wheat. *Crop Protection*, 118, 58-64.
- Chen, C., Wang, Y., Su, C., Zhao, X., Li, M., Meng, X., Jin, Y., Yang, S. H., Ma, Y., Wei, D., & Suh, J. W. (2015). Antifungal activity of *Streptomyces albidoflavus* L131 against the leaf mold pathogen *Passalora fulva* involves membrane leakage and oxidative damage. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*, 58, 111-119. <https://doi.org/10.1007/s13765-015-0012-3>

- Chen, Y., et al. (2017). Evaluation of systemic and contact fungicides for the control of Passalora leaf spot in oat fields. *Phytopathologia Mediterranea*, 56(3), 462-469.
- Choi, Y. J., Choi, I. Y., Kim, J. S., & Shin, H. D. (2014). First report of Quinoa Downy Mildew caused by *Peronospora variabilis* in Republic of Korea. *Plant Disease*, 98, 1003. <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-13-1209-PDN>
- Choi, Y. J., Denchev, C. M., & Shin, H. D. (2008). Morphological and molecular analyses support the existence of host-specific peronospora species infecting *Chenopodium*. *Mycopathologia*, 165, 155. <https://doi.org/10.1007/s11046-007-9087-7>
- Colque-Little C., Amby D.B., Andreassen C. (2021). A review of *Chenopodium quinoa* (Willd.) diseases—An updated perspective. *Plants*, 10, 1228. <https://doi.org/10.3390/plants10061228>
- Cruces, L. M., Callohuari, Y., Santivañez, T., & Delgado, P. (2016). *Guía de identificación y control de las principales plagas que afectan a la quinua en la zona andina*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Danielsen, S. & Munk, L. (2004). Evaluation of disease assessment methods in quinoa for their ability to predict yield loss caused by downy mildew. *Crop Protection*, 23, 219-228. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2003.08.010>
- Danielsen, S., & Ames, T. (2000). *El Mildiu (Peronospora farinosa) de la quinua (Chenopodium quinoa) en la zona andina*. Centro Internacional de la Papa (CIP). <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1962.9686>
- Danielsen, S., Bonifacio, A., & Ames, T. (2003). Diseases of quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Food Reviews International*, 19, 43-59. <https://doi.org/10.1081/FRI-120018867>
- Danielsen, S., Jacobsen, S. E., Echegaray, J., & Ames, T. (1999). Impact of downy mildew on the yield of quinoa. Centro Internacional de la Papa (CIP).
- Delgado-Sánchez, P., Ortega-Acosta, S., Fernández-Pavía, S., Díaz-Valenzuela, E., & Ochoa-Martínez, D. L. (2017). Potassium phosphite as a fungicide to control leaf spot (*Passalora fulva*) in tomato (*Solanum lycopersicum*). *Journal of Plant Pathology & Microbiology*, 8(9), 1-4.
- Dřímalková, M., & Veverka, K. (2004). Seedlings damping-off of *Chenopodium quinoa* Willd. *Plant Protection Science*, 40(1), 5. <https://doi.org/10.17221/3119-PPS>
- Dugan, F. M. (2006). *The Identification of Fungi: An Illustrated Introduction with Keys, Glossary and Guide to Literature*. American Phytopathological Society.
- El-Assiuty, E. M., Taha, E. M., Fahmy, Z. M., Fahmy, G. M. (2019). Histological and molecular detections of *Peronospora variabilis* Gäm oospores in seeds of quinoa (*Chenopodium quinoa* L.). *The Egyptian Journal of Experimental Biology (Botany)*, 15, 197-203. <https://doi.org/10.5455/egyeb.20190620115158>
- Fonseca-Guerra, I. R., Chiquillo-Pompeyo, J. C., Benavides Rozo, M. E., & Díaz Ovalle, J. F. (2022). *Fusarium* spp. associated with *Chenopodium quinoa* crops in Colombia. *Scientific Reports*, 12(1), 20841. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-24908-w>
- Fonseca-Guerra, I. R., Chiquillo-Pompeyo, J. C., Benavides Rozo, M. E. (2021). First report of bacterial leaf spot on *Chenopodium quinoa* caused by *Pseudomonas syringae* in Colombia. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 128, 871-874. <https://doi.org/10.1007/s41348-021-00435-0>
- García, C. E., Pons, N., & de Rojas, C. B. (1996). *Cercospora* y hongos similares sobre especies de *Ipomoea*. *Fitopatología Venezolana*, 9(2), 22-36.

- Gäumann, E. (1920). *Zur Kenntnis Der Chenopodiaceen Bewohnenden Peronospora-Arten*. JSTOR.
- Gül, E. (2021). First report of *Peronospora variabilis* on *Chenopodium quinoa* in Turkey. *Journal of Plant Pathology*, 103, 389-390. <https://doi.org/10.1007/s42161-020-00716-x>
- Horst, R. K. (2013). Damping-off. En R. K. Horst (Ed.), *Westcott's plant disease handbook* (p. 177). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-2141-8\\_25](https://doi.org/10.1007/978-94-007-2141-8_25)
- Huisman, O. C. (1982). Interrelations of root growth dynamics to epidemiology of root-invading fungi. *Annual Review of Phytopathology*, 20(1), 303-327. <https://doi.org/10.1146/annurev.py.20.090182.001511>
- Idrogo Herrera, R. (2022). *Evaluación de productos no convencionales para el control de mildiu (Peronospora variabilis Gäum.) en quinoa (Chenopodium quinoa Willd.)* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio UNC. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/4930>
- Ikeda, A., & Ichitani, T. (1985). Density of *Pythium zingiberum* oospores in relation to infection of *Chenopodium quinoa* seedlings. *Bulletin of the University of Osaka Prefecture*, 37, 13-18. <https://doi.org/10.24729/00009338>
- Jacobs, T. (1999). Postulation of virulence groups and resistance factors in the Quinoa/Downy Mildew pathosystem using material from Ecuador. *Plant Pathology*, 48, 425-430. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3059.1999.00352.x>
- Khalifa, W., & Thabet, M. (2018). Variation in downy mildew (*Peronospora variabilis* Gäum) resistance of some quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars under Egyptian conditions. *Middle East Journal of Agriculture*, 70, 671-682.
- Khan, M. W., del Río Mendoza, L., Nelson, R., & Khan, M. (2008). Survival, dispersal, and primary infection site for *Cercospora beticola* in sugar beet. *Plant Disease*, 92, 741-745. <https://doi.org/10.1094/PDIS-92-5-0741>
- Kim, J. D., & Shin, H. D. (1998). Taxonomic studies on *Cercospora* and allied genera in Korea (II). *The Korean Journal of Mycology*, 26(3), 342-353.
- Kumar, A., Bhargava, A., Shukla, S., Singh, H.B., & Ohri, D. (2006). Screening of exotic *Chenopodium quinoa* accessions for Downy Mildew resistance under Mid-Eastern conditions of India. *Crop Protection*, 25, 879-889. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2005.11.012>
- Larios-Larios, E. J., Valdovinos Nava, J. de J. W., Chan Cupul, W., García López, F. A., Manzo Sánchez, G., & Buenrostro Nava, M. T. (2019). Biocontrol de damping-off y promoción del crecimiento vegetativo en plantas de *Capsicum chinense* (Jacq) con *Trichoderma* spp. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(3), 471-483. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i3.332>
- Leon-Tacca, B., Ortiz-Calquina, N., Condori-Ticona, N., & Chura-Yupanqui, E. (2018). Cepas de *Trichoderma* con capacidad endofítica sobre el control del mildiu (*Peronospora variabilis* Gäum.) y mejora del rendimiento de quinoa. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 20(1), 19-30. <http://dx.doi.org/10.18271/ria.2018.327>
- Leon-Ttacca, B., Mendoza-Coari, P. P., & Palao-Iturregui, L. A. (2021). Microorganismos eficaces y *Trichoderma* sp. en el biocontrol de mildiu (*Peronospora variabilis*) en cultivo de quinoa. *Acta Agronómica*, 70(4), 380-385. <https://doi.org/10.15446/acag.v70n4.95351>
- Leslie, J. F., & Summerell, B. A. (2008). *The Fusarium laboratory manual*. John Wiley & Sons.
- Li, X., Yu, T., Jiang, X., Zhang, C., Zhao, X., & Wang, J. (2022). First report of Ear Rot of *Chenopodium quinoa* caused by *Cladosporium cladosporioides* in Shanxi, China. *Plant Disease*, 106(5), 1532. <https://doi.org/10.1094/PDIS-11-20-2530-PDN>

- Plata, G., & Gandarillas, A. (2014). The most important diseases affecting the quinoa crop in Bolivia. *Revista de Agricultura*, 54, 19-28.
- Plata, G., Bonifacio, A., Navia, O., & Gandarillas, A. (2014). Las enfermedades en el cultivo de la quinua. En R. Saravia, G. Plata, & A. Gandarillas (Eds.), *Plagas y enfermedades del cultivo de la quinua* (pp. 83-132). Fundación Proinpa.
- Ramírez-Paz, I., & Rodríguez-Mora, D. M. (2023). Incidencia y severidad de Mildiu vellosa de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en Silvia, Cauca, Colombia. *Temas Agrarios*, 28(1), 34.
- Ramírez-Paz, I., Natalia-Martínez, L., N. & Rodríguez-Mora, D. M. (2023). Enfermedades fungosas asociadas al cultivo de quinua. *Temas Agrarios*, 28(1), 35.
- Risco, A., & Mattos, L. (2015). Severidad de *Peronospora variabilis* Gäum. en *Chenopodium quinoa* Willd. 'Pasankalla' como respuesta a aplicaciones de fungicidas sintéticos y bioestimulantes. *Anales Científicos*, 76(2), 383-392. <https://doi.org/10.21704/ac.v76i2.805>
- Rojas, C., Rosales, M., Fuentes, F. (2020). *First report of Brown spot disease on Chenopodium quinoa Willd. Causad by Alternaria alternata in Chile* [Poster]. 2nd International Quinoa Research Symposium. <https://www.quinoasymposium.com/about>
- Solano-Báez, A. R., Leyva-Mir, S. G., Núñez-Pastrana, R., Quezada-Salinas, A., & Márquez-Licona, G. (2021). Biocontrol of damping-off of zucchini squash seedlings with *Bacillus subtilis* QST 713. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 39(2), 302-313. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2101-2>
- Swenson, E. M. (2006). *Genetic Diversity of Bolivian Peronospora Farinosa f. sp. Chenopodii (Downy Mildew) and Quinoa's Resistance Response* [Tesis de Maestría. Universidad Brigham Young].
- Swiderska-Burek, U. (2015). Cercosporoid fungi of Poland. *Monographiae Botanicae*, 105. <http://dx.doi.org/10.5586/mb.2015.001>
- Llácer, G., López, M., Traperó, A., & Bello, A. (2000). *Patología Vegetal*. Phytoma: Grupo Mundi Prens.
- López, M. R., D'Aquino, S., & Mentel, M. (2018). Evaluation of the effect of potassium phosphite on the control of passalora leaf spot in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 50(2), 89-96.
- Luján, Y. (2022). *Prospección de hongos fitopatógenos en el cultivo de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) de Acocro y Chiara-Ayacucho, 2018* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio UNSCH. <https://repositorio.unsch.edu.pe/items/ceca9977-eb40-40e9-8c01-5701c796b4dd>
- Ochoa, J. (1996). Control biológico del marchitamiento vascular del clavel ocasionado por *Fusarium oxysporum* f. sp. *dianthi*. mediante el uso de los microorganismos potencialmente antagonistas *Pseudomonas fluorescens*, *Streptomyces coelicolor* y *Trichoderma hamatum* [Tesis de grado, Universidad Javeriana].
- Panka, D., Lenc, L., Gesinski, K. (2004). Preliminary observations on quinoa (*Chenopodium quinoa*) health status in Poland. *Phytopathologia Polonica*, 31, 61-66.
- Peralta, E., Mazón, N., Murillo, A., Rivera, M., Rodríguez, D., Lomas, L., & Monar, C. (2012). *Manual agrícola de granos andinos chocho, quinua, amaranto y ataca. Cultivos, variedades y costos de producción*. Secretaría Nacional de Educación Superior Ciencia, Tecnología e Innovación.
- Pfenning, L. H., & Magalhães, L. (2000). Hongos del suelo saprófitos y patógenos de plantas. En F. M. Moreira (Ed.), *Manual de biología de suelos tropicales* (pp. 243-280). Instituto Nacional de Ecología.



- Testen, A. L., McKemy, J. M., & Backman, P. A. (2012). First report of Quinoa Downy Mildew caused by *Peronospora variabilis* in the United States. *Plant Disease*, 96, 146. <http://dx.doi.org/10.1094/PDIS-09-11-0728>
- Testen, A. L., McKemy, J. M., & Backman, P. A. (2013). First report of *Passalora* leafspot of quinoa caused by *Passalora dubia* in the United States. *Plant Disease*, 97(1), 139. <http://dx.doi.org/10.1094/PDIS-05-12-0472-PDN>
- Tewari, J. P., & Boyetchko, S. M. (1990). Occurrence of *Peronospora farinosa* f. sp. *chenopodii* on quinoa in Canada. *Canadian Plant Disease Survey*, 70, 127-128.
- Thines, M., & Choi, Y. J. (2016). Evolution, diversity, and taxonomy of the Peronosporaceae, with focus on the genus *Peronospora*. *Phytopathology*, 106, 6-18. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-05-15-0127-RVW>
- Vásquez-Ramírez, L. M., & Castaño-Zapata, J. (2017). Manejo integrado de la marchitez vascular del tomate [*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Sacc.) W. C. Snyder & H. N. Hansen]: una revisión. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 20(2), 363-374. <https://revistas.udca.edu.co/index.php/ruadc/article/view/394>
- Velicheti, D., & Sinclair, J. B. (1994). Production of cercosporin and colonization of soybean seed coats by *Cercospora kikuchii*. *Plant Disease*, 78, 342-346. [https://www.apsnet.org/publications/plantdisease/backissues/Documents/1994Abstracts/PD\\_78\\_342.htm](https://www.apsnet.org/publications/plantdisease/backissues/Documents/1994Abstracts/PD_78_342.htm)
- Yin, H., Zhou, J., Chen, Y., Ren, L., Qin, N., Xing, Y., & Zhao, X. (2021). Morphology, phylogeny, and pathogenicity of *Trichothecium*, *Alternaria*, and *Fusarium* species associated with Panicle Rot on *Chenopodium quinoa* Willd. in Shanxi Province, China. *Plant Pathology*, 71. <https://doi.org/10.1111/ppa.13462>
- Yin, H., Zhou, J., Lv, H., Qin, N., Chang, F. J., & Zhao, X. (2020). Identification, pathogenicity, and fungicide sensitivity of *Ascochyta Caulina* (Teleomorph: *Neocamarosporium Calvescens*) associated with Black Stem on quinoa in China. *Plant Disease*, 104, 2585-2597. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-19-2042-RE>
- Zang, C., An, F., Xie, J., Lin, Y., Yu, S., Pei, X., Liu, X., Yuqian Huang, Y., Liang, C. (2021). Isolation and characterization of *Bacillus amyloliquefaciens* TL6 as a biological control agent for peanut early leaf spot caused by *Passalora arachidicola*. *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-561390/v1>





Foto: Leidy Patricia Tibaduiza-Castañeda

## Capítulo VII

# Optimizando el modelo productivo de la quinua en el departamento del Cauca, Colombia: una perspectiva sostenible a través de la trazabilidad

Dubert Yamil Cañar-Serna  
Leidy Patricia Tibaduiza-Castañeda

## Resumen

En la actualidad, nos enfrentamos a una cadena de suministro cada vez más avanzada e interconectada, donde la trazabilidad se ha convertido en una herramienta crucial para optimizar las operaciones y la logística en los procesos de producción y acondicionamiento de diversos sistemas agrícolas. La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y sus derivados agroindustriales no son la excepción. En Colombia, se observa un creciente interés en esta especie vegetal impulsado por la demanda en aumento tanto del material de siembra como del grano para su transformación agroindustrial, con fines de exportación y consumo interno, especialmente en el departamento del Cauca.

A pesar de este interés, el sector quinuero presenta un bajo uso de herramientas de tecnologías de la información y comunicación (TIC), lo que dificulta la obtención detallada del flujo de información en la cadena de suministro. Esta limitación impide la creación de patrones de previsión de prácticas agronómicas y la anticipación de las necesidades de la quinua, lo cual frena el potencial de este cultivo en el país.



El objetivo de este proyecto es implementar un sistema de trazabilidad en cuatro municipios del departamento del Cauca a partir de los principios de la investigación participativa y el modelo en espiral, basados en TIC, para mejorar la competitividad y sostenibilidad del sistema de producción. Como resultado, se desarrolló una aplicación móvil *offline* denominada “Quinuapp.apk” que permite identificar, seguir y rastrear los inventarios en cada una de las etapas y actividades asociadas al proceso de producción y acondicionamiento de la quinua. El diseño de la herramienta se adaptó gradualmente a las particularidades de cada municipio donde se implementó.

**Palabras clave:** *Chenopodium quinoa*, cadena de abastecimiento, modelo en espiral, TIC, sostenibilidad.



Foto: Isabel Cristina Ramírez-Paz



# Introducción

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y sus derivados agroindustriales enfrentan una cadena de suministro cada vez más avanzada e interconectada, donde la trazabilidad se ha convertido en una práctica crucial para optimizar las operaciones unitarias y la logística en los procesos de producción y acondicionamiento que la acompañan (Cañar-Serna et al., 2024). En los últimos años, consumidores de todo el mundo demandan productos agrícolas de alta calidad con atributos basados en la trazabilidad (Karlsen et al., 2011). Entre las diversas definiciones de trazabilidad, una de las más completas es proporcionada por la Asociación Española de Codificación Comercial (AECOC, citada por Macsa (2021):

Conjunto de procedimientos preestablecidos y autosuficientes que permiten conocer el historial, la ubicación y la trayectoria de un producto o lote de productos a lo largo de la cadena de suministro en un momento dado, mediante el uso de herramientas específicas. (p. 280)

De este modo, el término fue introducido en la agroindustria a mediados de la década de 1980 a través de la norma International Organization for Standardization (ISO) 8402 de 1986 (Soedrijanto et al., 2019) con el fin de orientar el seguimiento de los productos agrícolas a lo largo del tiempo en lo que se denomina inventario, lo cual permite observar la planificación y el control realizados con el propósito de mejorar la eficiencia en la logística de los procesos y la capacidad de visualizar las entradas y salidas de los inventarios. Actualmente, la trazabilidad se aplica como un requisito en los productos de exportación hacia los mercados europeos (Codron et al., 2005), lo cual lo convierte en una necesidad y, a la vez, en un desafío para los sistemas productivos colombianos.



Según el Banco Mundial, en 2022 Colombia presentó un Índice de Desempeño Logístico (IDL) de 2,9, con lo cual ocupó la posición 64 entre 154 países. Este lugar se encuentra por debajo de naciones sudamericanas como Chile, Brasil, Argentina, Uruguay, Perú y Panamá. Aunque el índice refleja un avance con respecto a la posición 82 ocupada en 2007, el país sigue rezagado y se sitúa 26 lugares por debajo de Brasil, el líder en desempeño logístico en la región, con un índice de 3,2 (World Bank Open Data, 2022). La ubicación de Colombia en este ranking se explica principalmente por el hecho de que, de los seis componentes que conforman el indicador —como el proceso de despacho aduanero, la calidad de la infraestructura, la facilidad de embarques a precios competitivos, la calidad del servicio logístico, la trazabilidad y la frecuencia de cumplimiento de tiempos competitivos— el factor de trazabilidad no ha experimentado mejoras significativas ni ha mostrado indicadores favorables para el país, mucho menos en comparación con otras naciones. En 2007, Colombia tenía una calificación de 2,63 en el factor de trazabilidad, con lo cual se situaba en el puesto 71. Sin embargo, en 2022, aunque esta calificación ha aumentado a 2,9, el país se encuentra en el puesto 85 (World Bank Open Data, 2022). Esto indica que, en lo que respecta a la trazabilidad, Colombia no ha experimentado cambios significativos en los últimos quince años y, si esta tendencia persiste, seguirá impactando negativamente en el IDL, que es una referencia en todo el mundo (Rincón, 2016).

**Foto:** Diana Milena-Rodríguez-Mora





Por otro lado, en los últimos años las autoridades colombianas han emitido legislaciones con el objetivo de implementar sistemas de trazabilidad en diferentes sectores, especialmente en el agropecuario, con el fin de evitar afectaciones a la salud pública (Cañar-Serna et al., 2022a). Estas legislaciones deben ser asumidas e implementadas en diversos eslabones de las cadenas productivas, pero su acogida y avance han sido mínimos. La Resolución 329 de 2021 del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) establece la reglamentación del Sistema Nacional de Identificación, Información y Trazabilidad Vegetal, cuyo principal objetivo es crear un sistema de identificación, información y trazabilidad de especies vegetales en la cadena productiva primaria, a través de la creación de una base de datos nacional.



Foto: Isabel Cristina Ramírez-Paz

En el caso de la producción y acondicionamiento de semillas, la Resolución 3168 de 2015 del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) regula y controla la producción, importación y exportación de semillas derivadas del mejoramiento genético para su comercialización y siembra en el país. Además, establece el registro de las unidades de evaluación agronómica o de investigación en fitomejoramiento. Esta serie de normativas pone de manifiesto que el gobierno nacional reconoce la necesidad de implementar la trazabilidad en el país, para lo cual tanto las empresas como las organizaciones, la academia y otros actores deben buscar formas eficientes de cumplir con la normativa existente y convertir la trazabilidad en un factor competitivo para el país (Rincón, 2016).





En el contexto regional, la quinua, un cultivo de creciente interés tanto por la demanda de material de siembra como por su grano en el ámbito agroindustrial de exportación, enfrenta limitaciones debido al escaso uso de herramientas tecnológicas en la gestión de la cadena de suministro (Bazile et al., 2014). Esta carencia afecta directamente la capacidad de comprender detallada y precisamente el flujo de información en los procesos de producción y acondicionamiento de inventarios, lo cual dificulta la identificación de patrones y dinámicas que podrían mejorar la eficiencia y competitividad del sector (Cañar-Serna et al., 2022). En este contexto, el estudio plantea el desarrollo e implementación de la trazabilidad en la cadena de suministro de la quinua y sus derivados agroindustriales en el departamento del Cauca como una necesidad imperante.

A medida que la trazabilidad se consolida como una herramienta esencial y avanzada para optimizar actividades operativas y logísticas en diversas industrias, el sector agrícola en Colombia enfrenta desafíos significativos derivados de la falta de adopción



**Foto:** Isabel Cristina Ramírez-Paz



**Foto:** Diana Milena Rodríguez-Mora

de las TIC (Cañar-Serna et al., 2020). La propuesta de implementar una solución tecnológica que incorpore la trazabilidad se basa en la necesidad de superar estas limitaciones centrándose en la cadena de valor y sus productores. Esta iniciativa busca no solo cerrar la brecha tecnológica en el sector, sino también potenciar la toma de decisiones de los actores involucrados. La adopción de las TIC permitirá rastrear de manera eficiente los productos desde su origen hasta su distribución final, con lo cual se mejorará, además, la coordinación y sincronización de actividades a lo largo de toda la cadena de suministro (Chávez et al., 2022).

Con base en lo anterior, el objetivo de este capítulo es describir el desarrollo de una solución tecnológica basada en la experiencia con productores de quinua en cuatro municipios del departamento del Cauca e implementada en contextos reales de viveros, campos y áreas de acondicionamiento. Se usarán las TIC con el propósito de mejorar la toma de decisiones en la cadena de suministro de producción y acondicionamiento de la semilla y el grano de quinua.



Foto: Diana Milena Rodríguez-Mora

## **Materiales y métodos**

### **Enfoque geográfico: nuestro campo de estudio**

El estudio se llevó a cabo en el departamento del Cauca, Colombia, específicamente en cuatro municipios: Bolívar, La Vega, Silvia y Totoró. Este proceso se basó en un enfoque de co-desarrollo con asociaciones de productores previamente identificadas en la región. Se aplicó la metodología de investigación participativa y el modelo en espiral propuesto por Cañar-Serna et al. (2022a). Este enfoque permitió la construcción de una base de datos personalizada para cada municipio, lo cual fue fundamental para el desarrollo planificado (figura 7.1).



**Figura 7.1.** Ubicación espacial de los municipios en estudio.

Fuente: Elaboración propia

## Experiencia en el proceso: de la mano con los quinueros

Para el desarrollo de la solución tecnológica, se estableció una metodología que comprende una ruta de implementación dividida en cuatro fases: caracterización, implementación, consolidación y resultados, como se muestra en la figura 7.2.



# Ruta para la implementación del sistema de trazabilidad en el sistema productivo quinua



Figura 7.2. Ruta metodológica adaptada utilizada en el estudio.

Fuente: Elaboración propia

En la primera fase de caracterización, se realizaron encuentros con productores en los cuatro municipios para facilitar el reconocimiento entre los actores participantes. Durante estos encuentros, se llevaron a cabo actividades que brindaron un contexto a los participantes en términos de trazabilidad. Además, se realizaron sondeos para evaluar sus conocimientos previos y se identificaron patrones relevantes mediante el uso de tres herramientas de construcción colectiva: 1. Mapa parlante, 2. Calendario económico y cultural, y 3. Diagrama de flujo. Esto se hizo con el objetivo de comprender el conocimiento tácito de los productores sobre el sistema de producción y definir las características deseables de la solución tecnológica. Asimismo, se evaluaron variables asociadas al desarrollo de la herramienta, lo que permitió esbozar expectativas en relación con su diseño, funcionalidad, compatibilidad y gestión de datos (Cañar-Serna et al., 2022b).

La segunda fase de implementación se centró en el desarrollo de la primera versión de la aplicación móvil, denominada “Quinuapp.apk”, y en su lanzamiento controlado a un subgrupo de los participantes. La arquitectura del código fuente de este desarrollo móvil se basó en el modelo en espiral propuesto por Barry Boehm (1988) (figura 7.3) y se utilizaron los *software* Ionic versión 5.0 y Angular 8.0, con manejo de bases de datos SQLite y compatibilidad con versiones de Android desde la versión 5 en adelante. Esta metodología se enfocó en la creación del modelo de la aplicación y en su ajuste a la naturaleza interactiva del lanzamiento controlado siguiendo un proceso intuitivo y sistemático impulsado por las cuatro etapas del modelo espiral: 1. Determinar el objetivo, 2. Identificar y resolver riesgos, 3. Desarrollar y probar, y 4. Planificar la siguiente iteración con los participantes. De esta manera, se guió el diseño para generar un desarrollo adaptado a las necesidades de las asociaciones participantes.



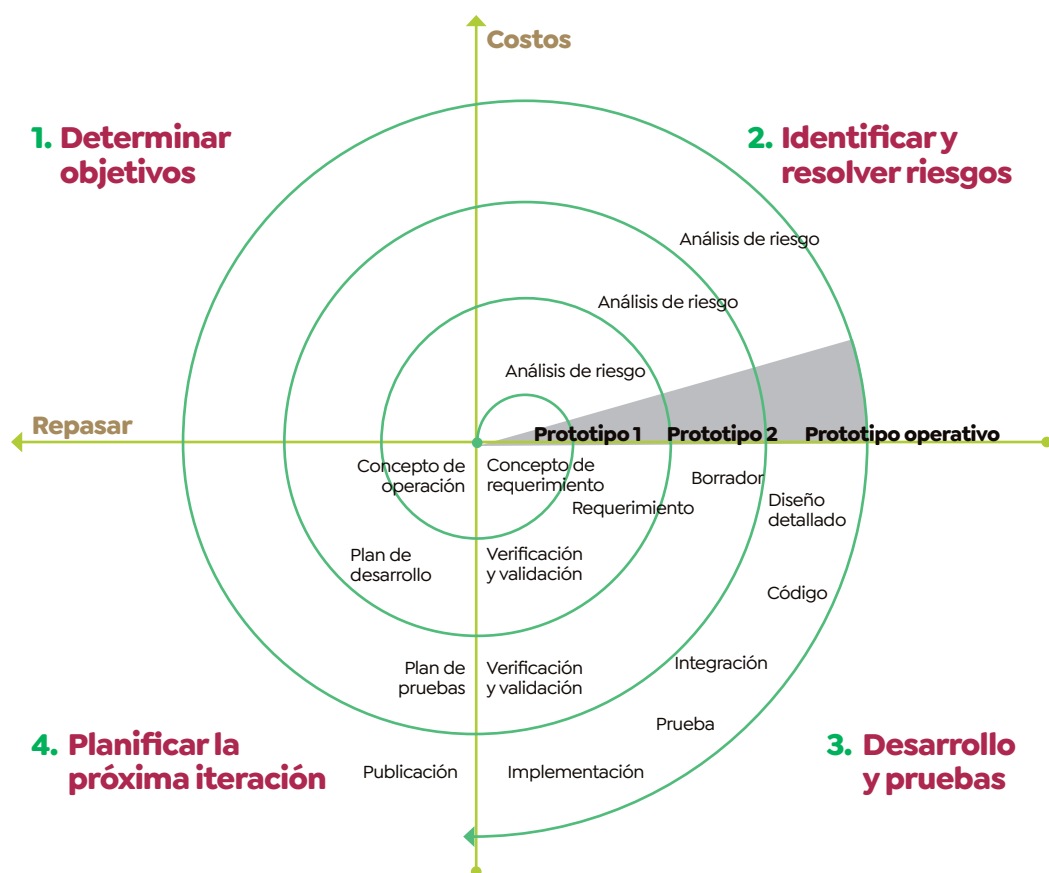


**Figura 7.3.** Modelo en espiral de Barry Boehm, adaptado a la solución “Quinuapp.apk”.

Fuente: Elaboración propia

En la tercera fase de consolidación, tras el reconocimiento de la herramienta y los ajustes realizados, se enfocó el espacio en retomar los aprendizajes sobre el concepto de trazabilidad. Además, se presentó una nueva versión de la herramienta que incluyó los ajustes identificados en la fase anterior. Con estos avances, se seleccionaron los participantes para la liberación controlada del desarrollo, lo que permitió establecer un piloto para la implementación facilitando prácticas en cultivo y programaciones de seguimiento con el acompañamiento de la comunidad. Como resultado de este encuentro, se creó un grupo en WhatsApp para mantener la comunicación con los participantes y hacer seguimiento a la implementación mediante un plan de formación que incluía el envío semanal de videos educativos, así como la dinamización de este espacio promoviendo el cultivo de la quinoa.

La cuarta fase se centró en la implementación y liberación controlada de la solución tecnológica, denominada “Quinuapp.apk”. Esta fase se basó en la generación de un modelo evolutivo del proceso de desarrollo del *software* y se acopló a la naturaleza interactiva de la creación de prototipos bajo un enfoque controlado y sistemático impulsado por la gestión de riesgos. De esta manera, se guio el diseño para desarrollar una solución a medida y su eventual liberación masiva.

## Resultados y discusión

La implementación de la metodología reveló que, aunque la experiencia de los productores en la adopción de la trazabilidad en sus sistemas de producción es limitada, no muestran resistencia al proceso. La primera fase de caracterización, basada en el “Mapa parlante”, permitió identificar los territorios donde se encuentran los productores, y a partir de los ejercicios cartográficos se pudieron delimitar las zonas aptas para el cultivo. Estos territorios se inscriben en un contexto “solo conservado por la sabiduría ancestral de los pueblos originarios en una tradición de subsistencia de la agricultura familiar” (Bazile, 2015), que abarca los cuatro municipios y evoca el “boom” de la quinua a finales del siglo pasado (Duque et al., 2016). A partir de ese momento se iniciaron proyectos y se promovió la producción, aunque sin mayor continuidad, lo que generó expectativas negativas entre algunos productores, quienes dudan del actual contexto de crecimiento de la producción y consumo de este alimento.

En el municipio de Silvia, donde se encuentra el Resguardo Indígena de Guambia, “la tierra y su pueblo son una unidad, son una sola cosa, y por ello la cuidan y la trabajan con dedicación y orgullo; de ella se obtiene el alimento y las plantas que los curan” (Argote Vega et al., 2010). Esta zona se ha convertido en una experiencia exitosa de transformación y comercialización de quinua, apoyada por la tienda indígena que comercializa el producto en diversas presentaciones y con diferentes grados de transformación. En este mismo ejercicio, es destacable el esfuerzo de la comunidad indígena Yanacona, ubicada en los municipios de Bolívar, La Vega y Totoró, Cauca (figura 7.4).





**Figura 7.4.** Mapa parlante desarrollados de manera participativa con los productores de quinua: a. Municipio de Totoró; b. Municipio de Silvia; c. Municipio de Bolívar; d. Municipio de La Vega.

Fotos: Leidy Patricia Tibaduiza-Castañeda

En la figura 7.5 se presentan las actividades productivas de cada uno de los municipios estudiados basadas en el “Calendario económico y cultural”. Se destacan los esfuerzos de los productores por continuar cultivando quinua, principalmente durante el primer semestre del año. En el segundo trimestre, algunos productores rotan con cultivos de papa, arveja y, en el municipio de Bolívar, también con maíz. Cabe destacar que estos cultivos se realizan a pequeña escala. Para la subsistencia, y principalmente durante el segundo semestre, siembran frijol, cebolla, amaranto, arveja, cilantro, papa, maíz, repollo, cebada y verduras, además de obtener proteína a través de la cría de aves, peces y ganado bovino.

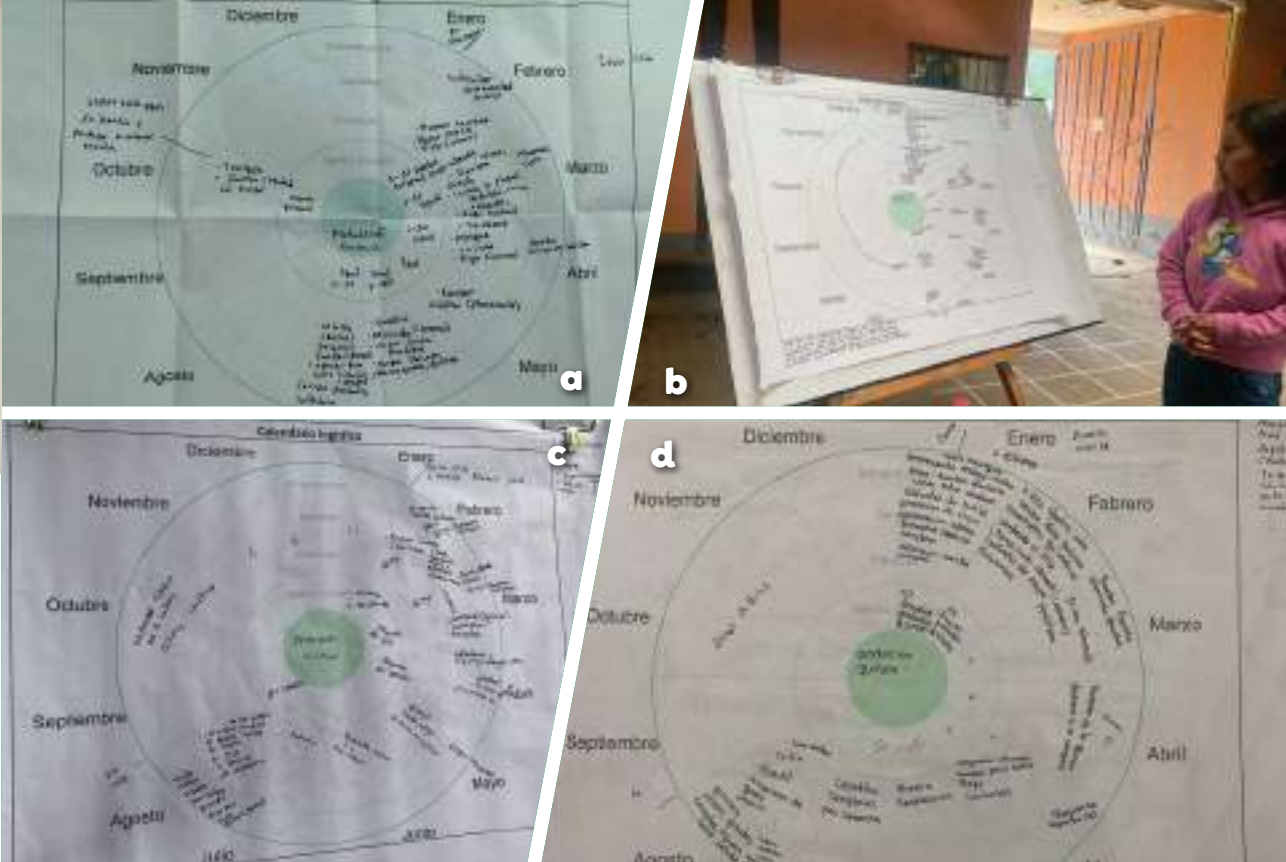


**Figura 7.5.** Calendario económico y cultural donde se hace el reconocimiento de las actividades productivas: a. Municipio de Totoró; b. Municipio de Silvia; c. Municipio de Bolívar; d. Municipio de La Vega.

Fotos: Leidy Patricia Tibaduiza-Castañeda

En cuanto al diagrama de flujo, desde una perspectiva técnica, el ciclo de vida de la quinua es un proceso meticulosamente planificado y gestionado por los agricultores, como se ilustra en la figura 7.6. El proceso comienza con la planificación de las actividades asociadas al cultivo, en las que se definen acciones relacionadas con la financiación, la logística, el manejo operativo y la comercialización. El ciclo inicia con la obtención de la semilla, que puede adquirirse en tiendas agrícolas o viveros comunitarios. Además, los agricultores recurren al intercambio de semillas con otros productores, lo que resulta útil para obtener variedades locales o adaptadas a las condiciones de la región. Algunos optan por producir sus propias semillas a partir de las plantas más saludables y productivas de cosechas anteriores. En cualquier caso, es fundamental garantizar la calidad del material de siembra para asegurar una buena germinación y un rendimiento óptimo, tal como señalan Patiño et al. (2022).



Foto: Alejandra Rivas-Cano

Posteriormente, se procede con la preparación del suelo y la siembra de las semillas utilizando métodos adaptados a las condiciones locales y a las necesidades de la planta. Una vez sembradas, las semillas germinan en pocos días y dan lugar a las plántulas que desarrollan sus primeras hojas verdaderas. Este es un momento crítico en el ciclo de cultivo, ya que las plántulas son vulnerables y requieren cuidados especiales para asegurar su crecimiento óptimo. A medida que las plantas crecen, entran en la etapa de ramificación, donde desarrollan estructuras laterales que aumentan su capacidad de captar luz solar y maximizan la producción de flores y, eventualmente, de granos.

Luego, sigue la fase de panojamiento, que marca el inicio de la formación de las panículas, donde se alojarán las flores y los granos en desarrollo. Durante esta etapa, es crucial mantener un suministro adecuado de agua y nutrientes para garantizar un buen desarrollo de los granos. La siguiente fase es la floración, un momento clave en el ciclo de vida de la quinua, ya que es cuando se producen las flores que darán lugar a los granos. La polinización, tanto por el viento como por insectos, juega un papel crucial en este proceso. A medida que avanza el ciclo de producción, los granos comienzan a desarrollarse y pasan por diversas etapas de crecimiento, desde el estado lechoso hasta el pastoso, antes de alcanzar la madurez fisiológica. Durante este tiempo, los agricultores monitorean de cerca el desarrollo de los granos y toman medidas para protegerlos de enfermedades, plagas y condiciones climáticas adversas. En el momento de la cosecha, cuando los granos han alcanzado su pleno desarrollo y están listos para ser recolectados, se utilizan herramientas y equipos adecuados para



garantizar una cosecha eficiente y de alta calidad. Posteriormente, se realiza el proceso de secado de las panojas para reducir la humedad y evitar la proliferación de hongos y bacterias. Esto se lleva a cabo extendiendo las panojas en capas delgadas sobre superficies limpias y secas, o utilizando secadoras mecánicas si están disponibles.

Una vez secas las panojas, se procede con el trillado manual o mecánico para la extracción de los granos, que luego se someten a una fase de limpieza para eliminar impurezas como restos de plantas, piedras y otros materiales extraños. Esto puede realizarse mediante tamizado o utilizando máquinas separadoras de aire que eliminan las partículas más ligeras. Después de la limpieza, los granos de quinua se almacenan en costales plásticos de 50 kg para protegerlos de la humedad, insectos y otros factores que puedan afectar su calidad, lo cual prolonga su vida útil. Una vez almacenados, los agricultores comercializan los granos a intermediarios, cooperativas agrícolas o empresas procesadoras de alimentos. Algunas organizaciones también optan por procesar los granos para producir derivados agroindustriales como harina, hojuelas o pasta de quinua.



**Foto:** Diana Milena Rodríguez-Mora



Cabe destacar que, en paralelo, los agricultores revisan y evalúan el rendimiento de la cosecha tomando nota de factores como el rendimiento por hectárea, la calidad de los granos y cualquier problema o desafío enfrentado durante el proceso de cultivo. Esta retroalimentación ayuda a informar las decisiones futuras sobre la planificación de cultivos, la selección de variedades y las prácticas agrícolas (figura 7.6).

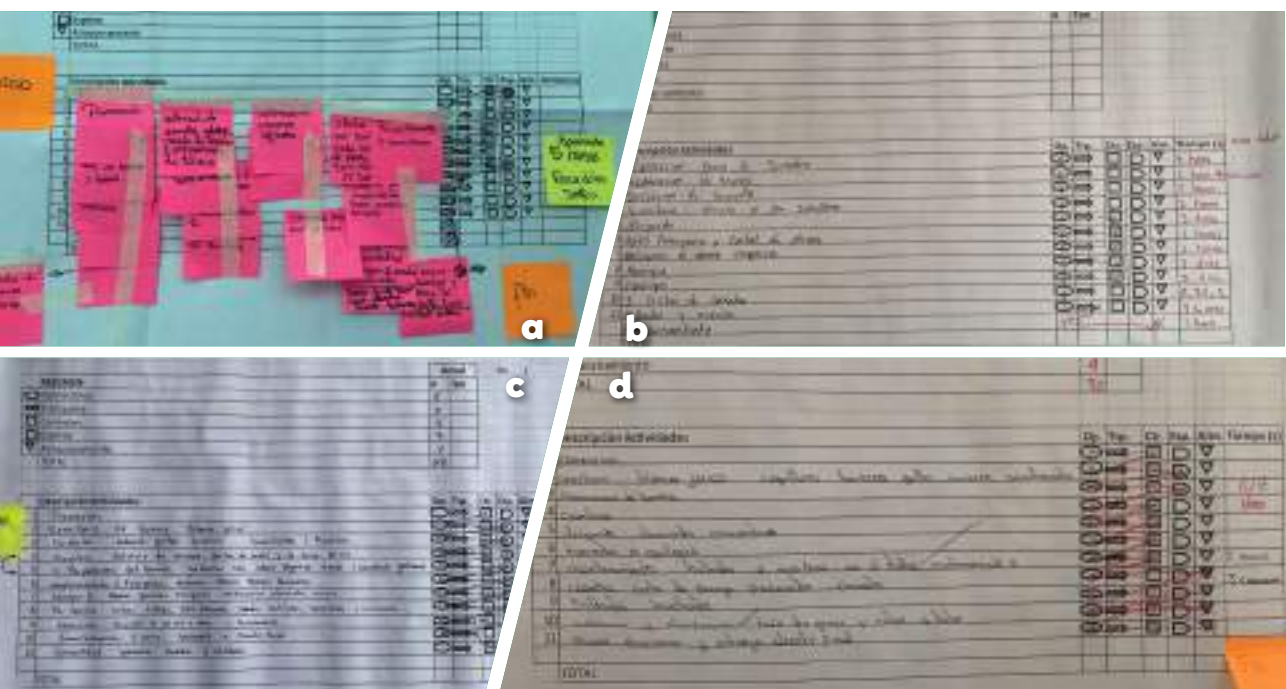


**Figura 7.6.** Diagrama de flujo para establecer el proceso de producción y sus actividades asociadas. a. Municipio de Totoró; b. Municipio de Silvia; c. Municipio de Bolívar; d. Municipio de La Vega.

Fotos: Leidy Patricia Tibaduiza-Castañeda

Una vez capturada la información utilizando las tres herramientas de construcción colectiva, se procedió a la segunda fase de implementación, durante la cual se realizó una encuesta a los participantes con el objetivo de identificar sus principales expectativas en relación con el desarrollo. Los asistentes de cada municipio llevaron a cabo evaluaciones tanto cuantitativas como cualitativas sobre diversos aspectos relacionados con el diseño, la funcionalidad, la compati-

lidad y la gestión de datos, como se detalla en la tabla 7.1. En este contexto, se destacó la importancia de contar con una herramienta que facilite el intercambio de información, sea eficiente y satisfactoria para el productor y sirva como una guía para mejorar los cultivos y mantener a los agricultores informados sobre los acontecimientos, además de proporcionar un respaldo técnico para la producción.

**Tabla 7.1.** Valoración preliminar de variables para la elaboración de la herramienta

| Importancia                 | Diseño | Funcionalidad | Compatibilidad | Gestión de datos |
|-----------------------------|--------|---------------|----------------|------------------|
| <b>Municipio de Totoró</b>  |        |               |                |                  |
| <b>Alto</b>                 | 12*    | 14            | 14             | 14               |
| <b>Medio</b>                | 1      | 0             | 0              | 0                |
| <b>Bajo</b>                 | 1      | 0             | 0              | 0                |
| <b>Municipio de Silvia</b>  |        |               |                |                  |
| <b>Alto</b>                 | 16     | 16            | 16             | 16               |
| <b>Medio</b>                | 0      | 0             | 0              | 0                |
| <b>Bajo</b>                 | 0      | 0             | 0              | 0                |
| <b>Municipio de Bolívar</b> |        |               |                |                  |
| <b>Alto</b>                 | 18     | 18            | 18             | 18               |
| <b>Medio</b>                | 0      | 0             | 0              | 0                |
| <b>Bajo</b>                 | 0      | 0             | 0              | 0                |
| <b>Municipio de La Vega</b> |        |               |                |                  |
| <b>Alto</b>                 | 9      | 11            | 11             | 11               |
| <b>Medio</b>                | 1      | 0             | 0              | 0                |
| <b>Bajo</b>                 | 1      | 0             | 0              | 0                |

\*Número de participantes encuestados.

Fuente: Elaboración propia

En la tercera fase, se llevó a cabo la implementación y liberación del desarrollo, centrada en la creación de la primera versión de la aplicación móvil denominada “Quinuapp.apk” utilizando el modelo en espiral. Este enfoque permitió una liberación controlada del prototipo a los participantes. El enfoque iterativo, centrado en la gestión de riesgos, estableció objetivos iniciales e identificó posibles riesgos asociados con la solución tecnológica. Posteriormente, se elaboró un diagrama de entidad-relación (ER) que estructuró el modelo de la base de datos de la aplicación móvil. A continuación, se generó el desarrollo del archivo APK (Android Application Package) y su complemento web, ambos basados en la plataforma Android (figura 7.7).



**Figura 7.7.** Mapa de proceso con la integración de la aplicación “Quinuapp” con el componente web.

Fuente: Elaboración propia

Una vez desarrollada la herramienta, se realizó una nueva evaluación centrada en el diseño, la funcionalidad, la compatibilidad y la gestión de datos. Los participantes destacaron que la era digital representa una innovación valiosa para fortalecer el control y la sistematización en el cultivo, y que el desarrollo de la herramienta se alinea con este objetivo. De esta manera, los productores percibieron que la aplicación facilita la recopilación de información en tiempo real, la cual puede ser compartida y verificada de manera eficiente (tabla 7.2).

**Tabla 7.2.** Valoración primera versión de la herramienta

| Importancia                 | Diseño | Funcionalidad | Compatibilidad | Gestión de datos |
|-----------------------------|--------|---------------|----------------|------------------|
| <b>Municipio de Totoró</b>  |        |               |                |                  |
| <b>Alto</b>                 | 14*    | 14            | 11             | 13               |
| <b>Medio</b>                | 0      | 0             | 2              | 0                |
| <b>Bajo</b>                 | 0      | 0             | 1              | 0                |
| <b>Municipio de Silvia</b>  |        |               |                |                  |
| <b>Alto</b>                 | 11     | 8             | 10             | 13               |
| <b>Medio</b>                | 3      | 6             | 4              | 1                |
| <b>Bajo</b>                 | 0      | 0             | 0              | 0                |
| <b>Municipio de Bolívar</b> |        |               |                |                  |
| <b>Alto</b>                 | 13     | 13            | 13             | 12               |
| <b>Medio</b>                | 0      | 0             | 0              | 1                |
| <b>Bajo</b>                 | 0      | 0             | 0              | 0                |
| <b>Municipio de La Vega</b> |        |               |                |                  |
| <b>Alto</b>                 | 11     | 12            | 12             | 13               |
| <b>Medio</b>                | 2      | 1             | 1              | 0                |
| <b>Bajo</b>                 | 0      | 0             | 0              | 0                |

\*Número de participantes encuestados.

Fuente: Elaboración propia



En la cuarta fase de consolidación, se llevó a cabo la validación del desarrollo de la solución tecnológica “Quinuapp.apk”, la cual fue parametrizada para su uso tanto en modo *offline* como *online*. A partir de esto, se organizó un encuentro con los productores donde se reforzaron los conceptos de trazabilidad y se realizó la liberación de la aplicación. Esto facilitó el uso y la adopción de la tecnología en términos prácticos en los cultivos establecidos en los cuatro municipios del estudio, como se observa en la figura 7.8.



**Figura 7.8.** Encuentro para la puesta en marcha de la didáctica del aprendizaje y de “Quinuapp.apk”. a. Municipio de Totoró; b. Municipio de Silvia; c. Municipio de Bolívar; d. Municipio de La Vega.

Fotos: Leidy Patricia Tibaduiza-Castañeda

## Conclusiones

La exitosa realización de este proyecto ha resultado en el desarrollo de una aplicación móvil denominada “Quinuapp.apk”, diseñada para su uso *offline* y *online*. Esta aplicación, creada a la medida del estudio, permite identificar, seguir y rastrear los inventarios en cada una de las etapas del proceso de producción y acondicionamiento de la quinua en los municipios participantes. Además, es importante destacar que la adopción gradual de la herramienta en cada municipio se basó en un proceso de co-desarrollo con los productores de quinua. Esto facilitó una adopción tecnológica centrada en la promesa de valor de mejorar la eficiencia y competitividad en la cadena de suministro de la quinua, estableció también las bases para un manejo más informado y sostenible del cultivo, y potenció su alcance tanto en los mercados nacionales como internacionales.

Por último, es fundamental resaltar la importancia de que la implementación contemple procesos continuos de fortalecimiento de la colaboración entre los diferentes actores involucrados, aprovechando las ventajas comparativas entre los distintos municipios. Esto implica capitalizar la experiencia de aquellos municipios con procesos más avanzados, con el objetivo de mejorar no solo la trazabilidad, sino también el crecimiento del sistema productivo en su conjunto.



Foto: Isabel Cristina Ramírez-Paz

# Referencias

- Argote Vega, F., Betancourt Mosquera, A., Villada Castillo, D. C., & Upegui Gómez, O. H. (2010). Conservación y transformación de granos ancestrales en el resguardo indígena de guambia Silvia-Cauca. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 8(2), 17-24. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/745>
- Bazile, D. (2015). *La dinámica de la expansión mundial de la quínoa*. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA).
- Bazile, D., & Santivañez, T. (2014). *Estado del arte de la quinua en el mundo*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Boehm, B. W. (1988). A spiral model of software development and enhancement. *Computer*, 21(5), 61-72. <https://doi.org/10.1109/2.59>
- Cañar-Serna, D. Y., Tibaduiza Castañeda, L. P., Sepúlveda Forero, J. L., Meneses Buitrago, D. H., Cadena Pastrana, A. M. (2022a). *Trazabilidad en el cacao de La Cordillera nariñense: una propuesta de formación para implementar a la medida*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7406160>
- Cañar-Serna, D. Y., Castañeda, Tibaduiza, L. P., Sarmiento, L. F., Medina, M. J., & López, L. A. (2022b). *Conceptos básicos de trazabilidad en la producción de semillas para pequeños y medianos agricultores*. Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7405149>
- Cañar-Serna, D. Y., Tibaduiza-Castañeda, L. P., Sepúlveda-Forero, J. L., & Angarita-Velásquez, M. A. (2024). Trazabilidad como soporte al modelo productivo de quinua mediante TICs en el departamento del Cauca, Colombia. *Idesia (Arica)*, 42(3), 74-86.
- Cañar Serna, D. Y., Tibaduiza Castañeda, L. P., Sarmiento Moreno, L. F., Medina Mérida, M. J., Sepúlveda Forero, J. L., & López Rebolledo, L. A. (2020). *Sistema de trazabilidad para productores de semilla: conceptos esenciales*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.brochure.7403497>
- Chávez, J., & Chocano Fernández, F. (2022). *La trazabilidad en las operaciones de comercio exterior utilizando herramientas TIC*. Comisión de Promoción del Perú para la Exportación y el Turismo (Promperú). <https://repositorio.promperu.gob.pe/items/93787531-fb36-4cc3-ac2a-22162146d316>
- Codron, J. M., Giraud-Héraud, E., & Soler, L. G. (2005). Minimum quality standards, premium private labels, and European meat and fresh produce retailing. *Food Policy*, 30(3), 270-283. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2005.05.004>
- Duque, Á. M., Espinel, J. A., & Herrán, M. C. (2016). *Análisis de los factores productivos que no han permitido el aprovechamiento de la quinua en Colombia (2007-2013)* [Tesis de grado, Universidad de la Salle]. Repositorio institucional. [https://ciencia.lasalle.edu.co/finanzas\\_comercio/6/](https://ciencia.lasalle.edu.co/finanzas_comercio/6/)
- 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 su 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".

- Karlsen, K. M., & Olsen, P. (2011). Validity of method for analysing critical traceability points. *Food Control*, 22(8), 1209-1215. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.01.020>
- Macsa id. (2021). *¿Qué es la trazabilidad?* <https://www.macsa.com/blog/aplicaciones/trazabilidad/que-es-la-trazabilidad/>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2021). *Resolución 329. "Por la cual se reglamenta el Sistema de Trazabilidad Vegetal y se dictan otras disposiciones"*. (<https://www.minagricultura.gov.co/Normatividad/Resoluciones/RESOLUCION%20000329%20%20DE%202021.pdf>)
- Patiño Gómez, I. C., & Chaverra Gaviria, C. (2022). Estudio de prefactibilidad para la producción y comercialización de cannabis medicinal en Colombia bajo la norma NTC 6511: 2021, por medio de la metodología Onudi.
- Rincón, D. L. (2016). *Conceptualización de la trazabilidad en la cadena de abastecimiento* [Tesis de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio institucional. <http://hdl.handle.net/11349/2811>
- Soedrijanto, A., Mas'ud, F., Mauladi, K. F., & Prihartini, E. S. (2019). Strategi implementasi sistem informasi ketertelusuran ISO 8402 pada rantai pemasaran ikan bandeng (*Chanos chanos*, Forskal). *Jurnal Agribisnis Perikanan*, 12(2), 266-271. <https://doi.org/10.29239/j.agrikan.12.2.266-271>
- World Bank Open Data. (2022). *Índice de Desempeño Logístico (IDL)*. <https://datos.bancomundial.org/indicador/LP.LPI.OVRL.XQ>







Foto: Isabel Cristina Ramírez-Paz

## Capítulo VIII

# Optimización tecnológica para la poscosecha de quinua en el departamento del Cauca: propuestas para mejorar la eficiencia y calidad

Jader Rodríguez-Cortina  
Edwin Andrés Villagrán-Munar  
John Javier Espitia-González  
Fabián Andrés Velásquez-Ayala  
Henry Hernández-Martínez  
Sebastián Escobar-Parra

## Resumen

La innovación en la ciencia de los alimentos depende de las necesidades alimentarias de los consumidores, tanto para garantizar la seguridad alimentaria como para satisfacer la demanda de alimentos de calidad. En el departamento del Cauca, el sistema productivo de quinua enfrenta desafíos tecnológicos significativos en las operaciones de poscosecha, razón por la cual se requiere un análisis detallado para satisfacer las necesidades productivas y cumplir con los estándares de calidad mediante el desarrollo y la implementación de tecnologías avanzadas. Este capítulo describe las actividades que permitieron identificar las brechas tecnológicas en las labores de poscosecha en el departamento del Cauca a través de la vigilancia y el diagnóstico tecnológico.

Con la información recopilada, se determinó el estado actual de la tecnología y se estableció un punto de referencia hacia el cual avanzar. Con base en la caracterización tecnológica de las operaciones de poscosecha en la quinua, se diseñaron las tecnologías que se de-

bían implementar (secado y trillado) de acuerdo con las características territoriales de producción. Además, se empleó la simulación computacional de dinámica de fluidos (CFD) para predecir el rendimiento térmico y aerodinámico del prototipo de secador diseñado. Con la información obtenida del diseño conceptual y las simulaciones, se procedió a diseñar el secador y el equipo de trillado, los cuales finalmente fueron construidos y validados en el territorio.

## Introducción

A medida que el sistema global de productos agrícolas se transforma mediante la diferenciación de productos, tanto productores como consumidores buscan garantizar que el valor y la singularidad de estos productos se mantengan a lo largo de toda la cadena de suministro (Smyth & Phillips, 2002). La quinua y sus derivados no son la excepción, por lo que es fundamental concentrarse en la búsqueda de ventajas competitivas a través del mejoramiento de los procesos de investigación y desarrollo tecnológico. En este sentido, el proceso de vigilancia tecnológica debe considerar los productos de conocimiento, ya que se convierten en recursos de gestión clave para apoyar la priorización de soluciones en los proyectos de I+D+i. Esto incluye la identificación de tecnologías con un estado de madurez avanzado, lo que permite su escalamiento y validación.

Por otro lado, es crucial comprender el estado tecnológico actual de las labores de poscosecha de la quinua, ya que este es el punto de partida para definir las propuestas tecnológicas que mejorarán la eficiencia del proceso, la calidad del producto, la competitividad en el mercado y la sostenibilidad de la cadena de suministro. Además, permite una adaptación continua a las tendencias y avances tecnológicos.

El diagnóstico tecnológico permite identificar los puntos críticos en las labores de poscosecha que, en conjunto con la vigilancia tecnológica, contribuirán a su optimización:

- Eficiencia operativa: la implementación de tecnologías adecuadas puede acelerar y optimizar las operaciones, lo cual contribuye a reducir costos y aumentar la productividad.



- Calidad del producto: el diagnóstico tecnológico puede identificar puntos críticos en los que se puede aplicar tecnología para prevenir pérdidas de calidad, como sistemas de secado más eficientes, clasificación automática, y control de temperatura y humedad durante el almacenamiento.
- Reducción de pérdidas: ayuda a minimizar las pérdidas durante la poscosecha mediante la identificación y el abordaje de problemas en cada etapa del proceso. La implementación de tecnologías de monitoreo, clasificación y almacenamiento adecuadas puede reducir significativamente las pérdidas de quinua debido a deterioro o contaminación.
- Innovación y adaptabilidad: fomenta la innovación y la adaptabilidad a medida que la tecnología evoluciona. Un diagnóstico tecnológico proporciona la base para la adopción continua de nuevas tecnologías que puedan surgir manteniendo la cadena de suministro de quinua actualizada y competitiva.
- Toma de decisiones informada: facilita la toma de decisiones informada al proporcionar datos y análisis sobre el estado actual de la cadena de suministro de quinua. Esto les permite a los actores involucrados tomar decisiones estratégicas basadas en información precisa y actualizada.



**Foto:** Takumasa Kondo





Foto: Isabel Cristina Ramírez-Paz

## **Materiales y métodos**

### **Vigilancia tecnológica**

La metodología utilizada para esta actividad se basó en los estudios de Flórez-Martínez (2013), cuya premisa principal fue la aplicación de un sistema de inteligencia tecnológica. Este sistema integra diversas herramientas de gestión, que, en conjunto, generan conocimiento integral y proporcionan los elementos necesarios para la elaboración más eficiente de estrategias, especialmente en el ámbito tecnológico.

Durante la ejecución de esta actividad, se recopiló y analizó información primaria y secundaria clave para comparar variables que definen el desempeño del sector quinero en el departamento del Cauca. Se identificaron las mejores prácticas de poscosecha en un país de referencia (Perú), las cuales contribuyeron a corregir defectos y reforzar fortalezas y aprendizajes según las necesidades y objetivos específicos en torno a la cadena de transformación de la quinoa después de la cosecha.

Asimismo, se llevó a cabo un análisis cuantitativo de una amplia colección de resultados de estudios individuales. Con el fin de integrar los hallazgos, se consideraron los resultados de la mayoría de las investigaciones en ciencia y tecnología, que se publicaron en diversos formatos (artículos de revistas, libros, memorias de congresos, patentes, etc.) y se convirtieron en uno de los principales indicadores de resultados. En este sentido, las bases de datos de artículos y patentes constituyen el principal insumo para la vigilancia tecnológica.



## Diagnóstico tecnológico del estado de las labores poscosecha en el departamento del Cauca

Se recopiló información técnica sobre las características actuales de la cadena de suministro del sistema productivo de quinua en cuatro municipios del departamento del Cauca (Silvia, Totoró, La Vega y Bolívar). Esta información incluyó detalles sobre la ubicación, la capacidad de producción y el estado de las instalaciones, entre otros aspectos relevantes. Como parte de la metodología, se llevaron a cabo las siguientes subactividades:

- Revisión de documentación primaria y secundaria relacionada con la etapa de poscosecha de la quinua (normativas, conceptos, visitas, elementos y procesos) con el fin de diseñar y estandarizar los procesos de acondicionamiento del material vegetal y del grano.
- Visitas a entidades privadas y gubernamentales para establecer contactos y realizar un diagnóstico inicial del proceso de producción de quinua en los municipios a definir.
- Trabajo con los productores para verificar las tecnologías empleadas utilizando herramientas participativas para recolectar información técnica y tecnológica.



## Diseño y evaluación de alternativas tecnológicas para los procesos de poscosecha

A partir de los resultados del diagnóstico tecnológico sobre el estado actual de las labores de poscosecha, se definieron las tecnologías que se debían implementar en esas operaciones para el manejo de los granos de quinua, adaptadas a las condiciones productivas del territorio. Inicialmente, se desarrolló la ingeniería conceptual de las tecnologías propuestas para las etapas de pre-secado, trillado, limpieza, secado y clasificación de los granos. Se realizaron cálculos preliminares de capacidad y dimensionamiento. Posteriormente, se avanzó en la ingeniería básica, que incluyó el diseño detallado mediante *software* de diseño asistido por computadora (CAD) utilizando Autodesk Inventor.

Los diseños para las etapas de pre-secado y secado se sometieron a simulaciones exhaustivas con el *software* comercial ANSYS ICEM CFD (v. 18.0, ANSYS Inc., Canonsburg, PA, Estados Unidos), lo que permitió anticipar y comprender el comportamiento de estos procesos. Esta metodología aseguró una evaluación precisa de cómo estas tecnologías se adaptarían específicamente a las características únicas de producción del departamento del Cauca. El análisis predictivo facilitado por la simulación CFD no solo proporcionó una valiosa perspectiva sobre la eficiencia térmica de los equipos de secado diseñados, sino que también sirvió como una herramienta clave para optimizar y perfeccionar los diseños, lo cual garantizó su idoneidad para las condiciones climáticas locales y las exigencias poscosecha de la quinua. Este enfoque integral de simulación y diseño permitió una alineación precisa de la tecnología propuesta con las necesidades específicas del contexto productivo del territorio donde se implementarán (Villagrán et al., 2021).







Foto: Isabel Cristina Ramírez-Paz

## Resultados y discusión

### Vigilancia tecnológica

La vigilancia tecnológica comenzó con el estudio de tendencias en investigación sobre la quinua mediante un escaneo tecnológico preliminar. Los escaneos tecnológicos, una adaptación de la vigilancia tecnológica, facilitan la identificación de tendencias específicas en un área de interés. En otras palabras, ayudan a reconocer los temas clave en los que actualmente se está desarrollando la investigación tecnológica. Se definieron palabras clave y denominaciones para todos los temas relacionados con las labores de poscosecha de la quinua. A partir de estas palabras y sus variantes complementarias, se diseñó una ecuación de búsqueda estructurada, la cual se implementó en los motores de indexación más importantes de la literatura científica: Scopus de Elsevier y Web of Science de Clarivate Analytics.



En la tabla 8.1 se presentan los resultados más relevantes de la investigación sobre quinoa desde el año 2009. Esta actividad permitió identificar los cinco principales líderes, instituciones, revistas y países que encabezan las investigaciones relacionadas con las labores de poscosecha y el valor agregado de la quinoa.

**Tabla 8.1.** Líderes, instituciones, revistas y países que encabezan las investigaciones relacionadas con las labores de poscosecha y el valor agregado de la quinoa, 2010-2022

| Estrategia de búsqueda (ecuación estructural)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Investigadores líderes                                                                                                                                                    | Instituciones líderes                                                | Países líderes                   | Revistas de mayor difusión                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------------------|
| TITLE-ABS-KEY<br>(("Chenopodium quinoa" OR "quinoa" OR "quinoa" OR "quingua" OR "triguillo" OR "trigo inca" OR "arrocillo" OR "arroz del peru" OR "Kinoa" OR "lagrima de sol") AND ("nutritional quality" OR "process* method*" OR "protein*" OR "functional*" OR "dry*" OR "phenol*" OR "bioactive compound*" OR "quercetin" OR "kaempferol" OR "flavon*" OR "antioxidant*" OR "saponin" OR "value added")) AND PUBYEAR > 2009 AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "re") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "cp")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA, "AGRI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA, "CENG") OR LIMIT-TO (SUBJAREA, "ENGI")) | Jacobsen S.E.;<br>Københavns<br>Universitet,<br>Department<br>of Plant and<br>Environmental<br>Sciences,<br>Copenhagen,<br>Denmark<br>[39-1.628]                          | Universidad<br>Nacional<br>Agraria de la<br>Molina, Perú<br>[50-893] | China<br>[282-3.694]             | <i>Food Chemistry</i><br>[82 -4.183]               |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Arendt, E.K.; APC<br>Microbiome<br>Ireland, Cork,<br>Ireland University<br>College Cork,<br>School of Food<br>and Nutritional<br>Sciences, Cork,<br>Ireland<br>[19-1.641] | Conicet,<br>Argentina<br>[46-673]                                    | Estados<br>Unidos<br>[145-2.861] | <i>Journal of Cereal<br/>Science</i><br>[42-1.451] |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Murphy, K.M.;<br>Washington State<br>University Pullman,<br>Sustainable Seed<br>Systems Lab,<br>Pullman, United<br>States<br>[17-379]                                     | University of<br>Copenhagen,<br>Denmark<br>[44-1.655]                | Italia<br>[127-4.366]            | <i>LWT</i><br>[35-389]                             |

|  |                                                                                                                            |                                                                         |                          |                                                                                     |
|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | Zannini, E.;<br>University<br>College Cork,<br>School of Food<br>and Nutritional<br>Sciences, Cork,<br>Ireland<br>[17-820] | Universidad<br>de Chile, Chile<br>[25-1.606]                            | España<br>[123-2.420]    | <i>Foods</i><br>[32-367]                                                            |
|  | Repo-Carrasco-<br>Valencia, R.;<br>Universidad<br>Nacional Agraria<br>La Molina, Lima,<br>Perú<br>[15-497]                 | Chinese<br>Academy of<br>Agricultural<br>Sciences,<br>China<br>[41-448] | Argentina<br>[121-2.219] | <i>Journal of<br/>Agronomy and<br/>Crop Science</i><br>[30-1.027]                   |
|  | Vega-Galvez,<br>A.; Universidad<br>de La Serena, La<br>Serena, Chile<br>[13-833]                                           | Universidad<br>Nacional de<br>Colombia,<br>Colombia<br>[9-55]           | Colombia<br>[58-358]     | <i>International<br/>Journal of Food<br/>Science and<br/>Technology</i><br>[27-386] |

Fuente: Elaboración propia con base en Flórez-Martínez et al. (2024)

Como parte del análisis tecnológico, identificamos investigaciones y tecnologías relacionadas con el proceso de secado que aprovechan la radiación solar. Estas tecnologías podrían ser implementadas bajo las condiciones ambientales del departamento del Cauca con el objetivo de potenciar y optimizar el proceso de secado. Entre las opciones destacadas, se encuentran:

- Pisos radiantes
- Secadores fotovoltaicos
- Colectores solares
- Muros de captación térmica pasiva

## Vigilancia tecnológica en el país de referencia

Se realizó una visita a las instalaciones del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Estación Experimental Andenes y el Instituto de Investigación y Producción Agropecuaria (IIPA) en Puno con el objetivo de observar los avances tecnológicos en poscosecha.

En cuanto al proceso de secado, se observó que las condiciones ambientales permiten que tanto el secado de la panoja como del grano se lleven a cabo mediante convección natural y radiación gracias a la alta radiación solar y la baja humedad en la zona (figura 8.1). Estas condiciones hacen innecesario el uso de equipos de secado, por lo que no se han desarrollado tecnologías destacables en este aspecto.



**Figura 8.1.** Secado de panoja de quinua en el campo.

Foto: Jader Rodríguez-Cortina

El nivel tecnológico del proceso de trillado es muy avanzado, lo que permite optimizarlo mediante el uso de un proceso de trillado en seco (figura 8.2). Una de las tecnologías observadas como referencia para las condiciones de proceso en el Cauca es una tri-

lladora portátil que opera con un motor de 16 HP, el cual permite su accionamiento. A continuación, se describen los componentes de la trilladora portátil.

- Dos sistemas de ventilación.
- Un sistema de peines de trillado.
- Un sistema de bandas para lograr una mejor separación del grano de cutícula que recubre el grano.
- Un sistema de banda para el reproceso del grano que no logra separarse en la primera pasada por los peines.



**Figura 8.2.** Equipo de trillado de quinua.

Fotos: Jader Rodríguez-Cortina

## Diagnóstico tecnológico

Para llevar a cabo esta actividad, se realizaron visitas a las cuatro zonas de estudio en el departamento del Cauca con el objetivo de evaluar el estado tecnológico actual en las operaciones de poscosecha. Inicialmente, se efectuó una inspección visual para conocer los equipos y tecnologías que utilizan los productores de quinua en cada una de las regiones que se estudiaron.



En cuanto al diagnóstico visual, se observó que los productores emplean secadores improvisados para el proceso de secado (figura 8.3). De acuerdo con las condiciones ambientales encontradas (alta humedad y baja temperatura), el proceso de pre-secado de panojas es considerado crítico, ya que dichas condiciones aumentan el riesgo de germinación de los granos. Además, se constató que las instalaciones utilizadas no permiten intensificar el proceso de secado, lo que prolonga el tiempo necesario para alcanzar el contenido de humedad adecuado para realizar el trillado.



**Figura 8.3.** Instalaciones de secado encontradas en zonas productoras de quinoa en el Cauca.

Fotos: Jader Rodríguez-Cortina

Se encontró que durante el proceso de trillado se utilizan trilladoras portátiles (figura 8.4), las cuales fueron evaluadas midiendo variables de proceso como la capacidad, el porcentaje de trillado y el porcentaje de limpieza (tabla 8.2).



**Figura 8.4.** Equipo de trillado encontrado en zonas productoras de quinua en el Cauca.

Foto: Jader Rodríguez-Cortina

**Tabla 8.2.** Variables medidas en proceso de trillado

| Variable medida                   | Valor |
|-----------------------------------|-------|
| <b>Capacidad (kg/h)</b>           | 50    |
| <b>Porcentaje de trillado (%)</b> | 60    |
| <b>Porcentaje de limpieza (%)</b> | 85    |

Fuente: Elaboración propia

Para hacer el levantamiento de información de la línea base, se entrevistaron 321 productores distribuidos de la siguiente manera:

- Bolívar: 163 productores
- Silvia: 112 productores
- La Vega: 40 productores
- Totoró: 6 productores



Foto: Isabel Cristina Ramírez-Paz

En las tablas 8.3, 8.4, 8.5 y 8.6 se describe información considerada relevante en las operaciones de poscosecha en cada zona de estudio.

**Tabla 8.3.** Variables de proceso encontradas en Silvia

| Variable de proceso                  |            | Número | Porcentaje |
|--------------------------------------|------------|--------|------------|
| Cosecha                              | Manual     | 112    | 100 %      |
|                                      | Mecanizada | NA     | 0 %        |
| Indicativo del momento de la cosecha | Humedad    | 23     | 21 %       |
|                                      | Lluvias    | 49     | 44 %       |
|                                      | Rotación   | 5      | 4 %        |
|                                      | Color      | 35     | 31 %       |
| Secado de la panoja                  | Natural    | 112    | 100 %      |
| Trillado                             | Mecanizado | 75     | 67 %       |
|                                      | Manual     | 37     | 33 %       |
| Estado del grano para el trillado    | Húmedo     | NA     | 0 %        |
|                                      | Seco       | 112    | 100 %      |
| Secado del grano                     | Natural    | 100    | 89 %       |

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 8.4.** Variables de proceso encontradas en Totoró

| Variable de proceso                         |                   | Número | Porcentaje |
|---------------------------------------------|-------------------|--------|------------|
| <b>Cosecha</b>                              | <b>Manual</b>     | 6      | 100 %      |
|                                             | <b>Mecanizada</b> | NA     | 0 %        |
| <b>Indicativo del momento de la cosecha</b> | <b>Humedad</b>    | 1      | 17 %       |
|                                             | <b>Lluvias</b>    | NA     | NA         |
|                                             | <b>Rotación</b>   | 1      | 17 %       |
|                                             | <b>Color</b>      | 4      | 66 %       |
| <b>Secado de la panoja</b>                  | <b>Natural</b>    | 6      | 100 %      |
| <b>Trillado</b>                             | <b>Mecanizado</b> | 5      | 83 %       |
|                                             | <b>Manual</b>     | 1      | 17 %       |
| <b>Estado del grano para el trillado</b>    | <b>Húmedo</b>     | NA     | 0 %        |
|                                             | <b>Seco</b>       | 6      | 100 %      |
| <b>Secado del grano</b>                     | <b>Natural</b>    |        | 100 %      |

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 8.5.** Variables de proceso encontradas en La Vega

| Variable de proceso                         |                   | Número | Porcentaje |
|---------------------------------------------|-------------------|--------|------------|
| <b>Cosecha</b>                              | <b>Manual</b>     | 40     | 100 %      |
|                                             | <b>Mecanizada</b> |        | 0 %        |
| <b>Indicativo del momento de la cosecha</b> | <b>Humedad</b>    | 22     | 55 %       |
|                                             | <b>Lluvias</b>    | 1      | 3 %        |
|                                             | <b>Rotación</b>   | 2      | 5 %        |
|                                             | <b>Color</b>      | 15     | 38 %       |
| <b>Secado de la panoja</b>                  | <b>Natural</b>    | 40     | 100 %      |
| <b>Trillado</b>                             | <b>Mecanizado</b> | 23     | 58 %       |
|                                             | <b>Manual</b>     | 17     | 43 %       |
| <b>Estado del grano para el trillado</b>    | <b>Húmedo</b>     |        | 0 %        |
|                                             | <b>Seco</b>       | 40     | 100 %      |
| <b>Secado del grano</b>                     | <b>Natural</b>    | 40     | 100 %      |

Fuente: Elaboración propia



Tabla 8.6. Variables de proceso encontradas en Bolívar

| Variable de proceso                  |            | Número | Porcentaje |
|--------------------------------------|------------|--------|------------|
| Cosecha                              | Manual     | 159    | 98 %       |
|                                      | Mecanizada | 4      | 2 %        |
| Indicativo del momento de la cosecha | Humedad    | 108    | 66 %       |
|                                      | Lluvias    | 17     | 10 %       |
|                                      | Rotación   | 7      | 4 %        |
|                                      | Color      | 31     | 19 %       |
| Secado de la panoja                  | Natural    | 163    | 100 %      |
| Trillado                             | Mecanizado | 35     | 21 %       |
|                                      | Manual     | 128    | 79 %       |
| Estado del grano para el trillado    | Húmedo     | 7      | 4 %        |
|                                      | Seco       | 156    | 96 %       |
| Secado del grano                     | Natural    | 163    | 100 %      |

Fuente: Elaboración propia

### Brechas tecnológicas

A partir del estudio de vigilancia y diagnóstico tecnológico, se pudo identificar la brecha tecnológica en las operaciones de poscosecha para el cultivo de quinoa en el departamento del Cauca (figura 8.5).



Foto: Isabel Cristina Ramírez-Paz

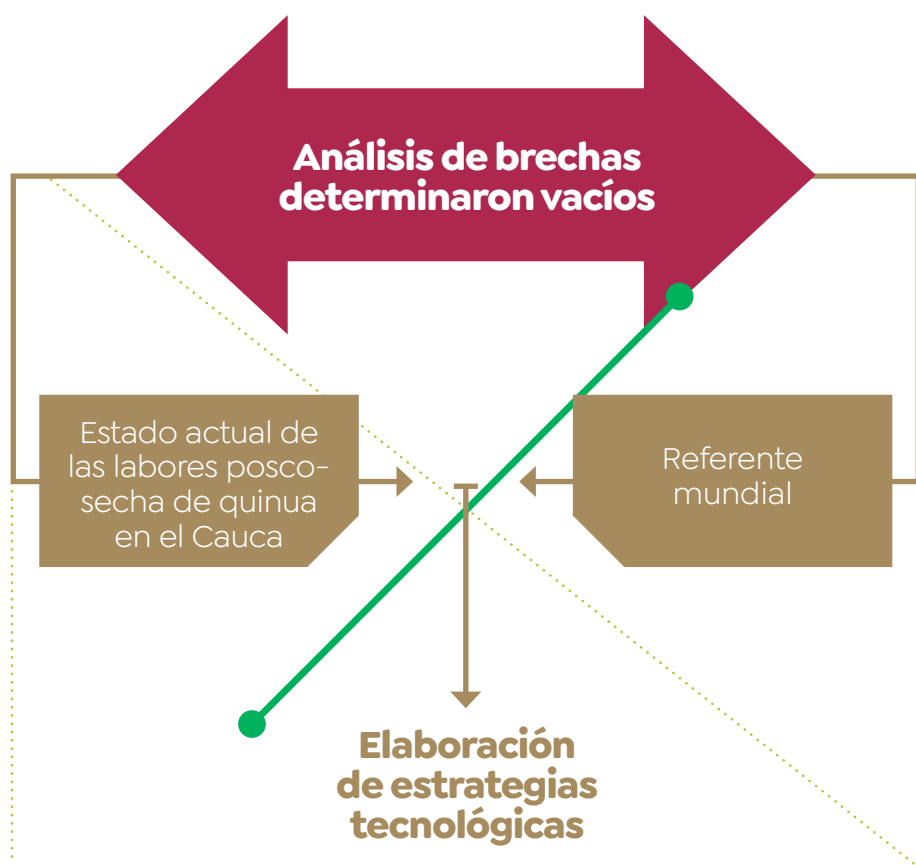


**Figura 8.5.** Esquema de análisis de brechas

Fuente: Elaboración propia

Con la información recopilada en la vigilancia tecnológica (análisis cienciométrico y vigilancia en el país de referencia), se definieron los valores de referencia (5 puntos) para cada tecnología considerada en el proceso de poscosecha (presecado de panoja, trillado, limpieza y clasificación de granos, y secado de grano). Asimismo, se asignó un valor a las tecnologías encontradas en el campo, para lo cual solo se identificó una trilladora. La brecha tecnológica se define como la distancia entre el valor de referencia y el valor encontrado; en el caso de las tecnologías de poscosecha, esta brecha es considerable en cada uno de los puntos evaluados (figura 8.6). Este análisis proporciona los insumos necesarios para diseñar una estrategia que permita desarrollar tecnologías capaces de cerrar estas brechas y hacer el cultivo de quinua más competitivo.

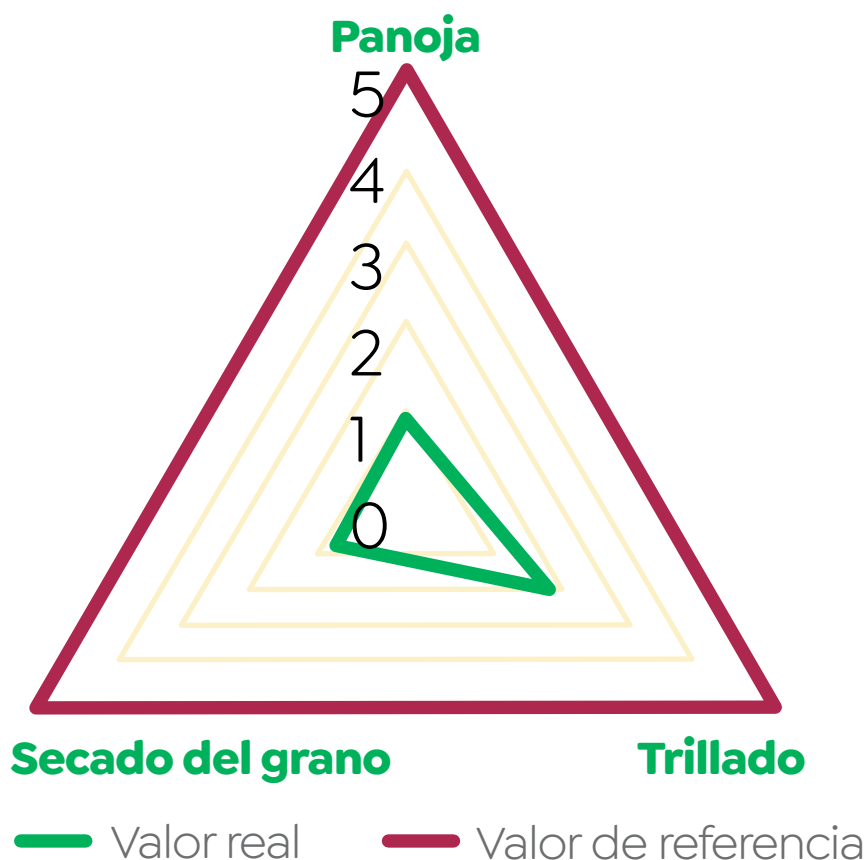


**Figura 8.6.** Brechas tecnológicas definidas.

Fuente: Elaboración propia

Para el presecado de la panoja y el secado del grano de quinoa, se propuso diseñar y construir un secador que aproveche la radiación solar para aumentar la temperatura del aire de secado y hacer circular aire sobre el producto. De esta manera, se puede intensificar el proceso, reduciendo los tiempos de secado y minimizando la germinación del grano.

En cuanto al proceso de trillado, se sugirió inicialmente definir el contenido de humedad óptimo para llevar a cabo este proceso, ya que influye directamente en su eficiencia. Posteriormente, se propuso diseñar y construir una trilladora móvil que permita realizar un doble trillado (aumentando la eficiencia del proceso), así como la limpieza y clasificación del grano.

## Diseño y construcción de alternativas tecnológicas para los procesos de poscosecha

### Diseño conceptual del secador

En el desarrollo del diseño detallado del secador se incorporaron diversas consideraciones fundamentales. Se tomaron en cuenta los datos de radiación solar promedio en el departamento del Cauca, como se muestra en la figura 8.7, para garantizar una adaptación óptima a las condiciones climáticas locales. Además, se consideraron los datos promedio de producción, detallados en la tabla 8.7, con el fin de dimensionar adecuadamente la capacidad del secador de acuerdo con las necesidades de los productores. También se integraron parámetros físicos específicos de las panojas y los granos de quinua, detallados en la tabla 8.8, para asegurar que el diseño del secador fuera eficiente y adecuado a las características particulares de esta cosecha en la región. Estas consideraciones integrales permitieron desarrollar un diseño que maximiza la eficiencia del secado y se ajusta de manera precisa a las condiciones y demandas específicas del entorno.

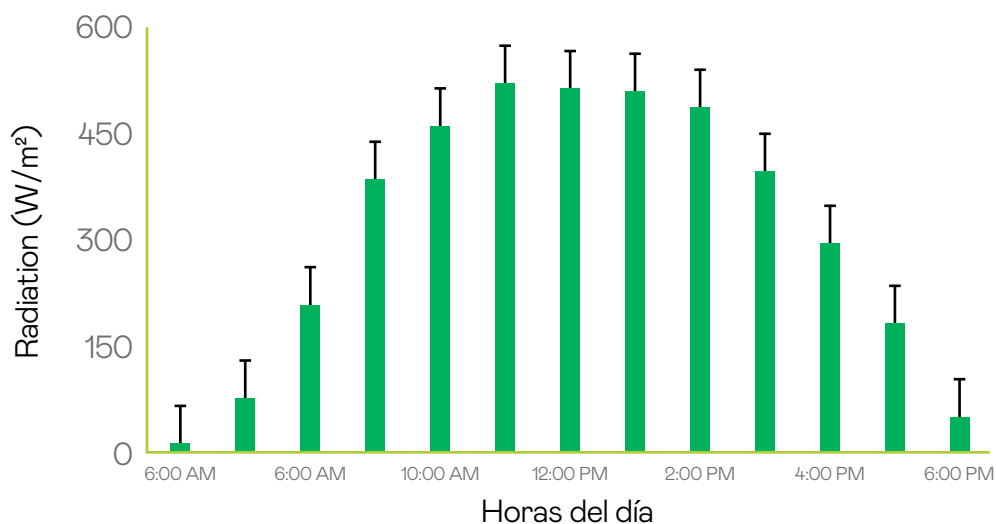


**Figura 8.7.** Radiación promedio en el departamento del Cauca.

Fuente: Elaboración propia





Foto: Diana Milena Rodríguez-Mora

**Tabla 8.7.** Parámetros de producción considerados para el dimensionamiento del secador

| Parámetros                                          | Valor |
|-----------------------------------------------------|-------|
| Hectáreas de quinua (ha)                            | 1     |
| Producción de grano seco por hectárea (kg/ha)       | 1.500 |
| Contenido de humedad del grano seco (w.b.) (%)      | 10    |
| Masa de panojas con grano (kg)                      | 3.214 |
| Contenido de humedad del grano en panoja (w.b.) (%) | 16    |

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 8.8.** Parámetros físicos de panojas y granos de quinua considerados para el dimensionamiento del secador

| Parámetros de la panoja                             |         |
|-----------------------------------------------------|---------|
| Diámetro (m)                                        | 0,060   |
| Longitud (m)                                        | 0,600   |
| Masa panoja (kg)                                    | 0,040   |
| Masa de grano por panoja (kg)                       | 0,020   |
| Contenido de humedad del grano en panoja (w.b.) (%) | 16      |
| Masa de panojas inicial (kg)                        | 3.214   |
| Área por panoja (m²)                                | 0,036   |
| Número de panojas                                   | 160.714 |
| Área total ocupada por panojas (m²)                 | 5.785   |

| Parámetros del grano                                   |       |
|--------------------------------------------------------|-------|
| <b>Diámetro (m)</b>                                    | 0,003 |
| <b>Densidad aparente (kg/m<sup>3</sup>)</b>            | 765   |
| <b>Contenido de humedad del grano (w.b.) (%)</b>       | 16    |
| <b>Masa inicial del grano (kg)</b>                     | 1.607 |
| <b>Contenido final de humedad del grano (w.b.) (%)</b> | 10    |
| <b>Volumen del grano (m<sup>3</sup>)</b>               | 2,1   |
| <b>Espesor del lecho (m)</b>                           | 0,010 |
| <b>Área del grano esparcido (m<sup>2</sup>)</b>        | 210   |
| <b>Longitud del invernadero (m)</b>                    | 26,2  |

Fuente: Elaboración propia

## Análisis y simulación del secador

La representación gráfica de la distribución espacial de los patrones de flujo de aire para la configuración de ventilación combinada se presenta en las figuras 8.8a y 8.8b. A nivel cualitativo, se observan flujos de aire continuos e intensos que cubren toda la sección transversal analizada. Este fenómeno debería tener un impacto positivo significativo en las tasas de renovación del aire en el secador, lo que repercutiría directamente en su rendimiento térmico general.

En cuanto a la distribución del comportamiento térmico, como se muestra en las figuras 8.8a y 8.8b, se aprecia que las regiones de mayor temperatura se localizan en la zona por donde el flujo de aire entra desde el exterior hacia el interior de la estructura. Este comportamiento se debe principalmente a que el aire que ingresa al invernadero es forzado a pasar por un ducto de calentamiento. A medida que el aire cruza la sección transversal, se calienta y aumenta su energía por transferencia de calor. Asimismo, se observa una distribución uniforme de la captación de energía térmica en la superficie de la cubierta del secador, la cual será aprovechada para incrementar la temperatura interna del secador.

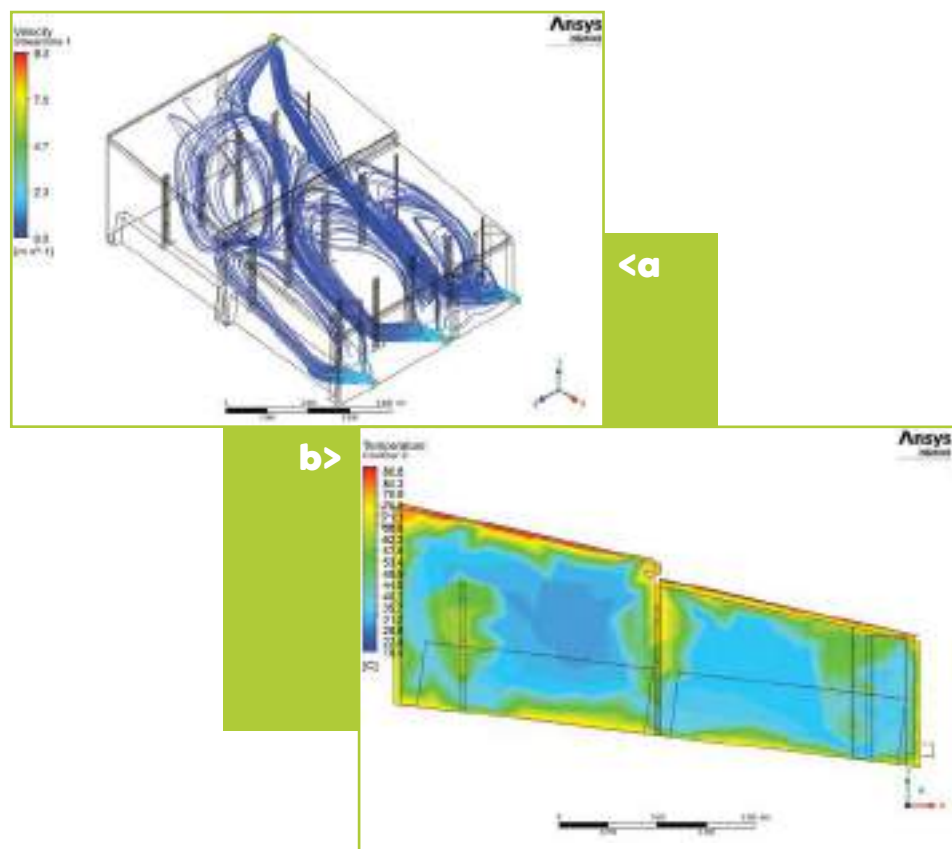


**Figura 8.8.** Diseño de detalle del secador. a. Perfil de movimiento del aire; b. Perfil de temperaturas.

Fuente: Elaboración propia

El diseño final se ilustra en la figura 8.9. Se trata de un secador solar tipo invernadero, multipropósito, diseñado para condiciones climáticas en las que predominan índices bajos de radiación solar y alta humedad relativa en el aire. Es un secador de convección libre, alimentado por energía solar, con un flujo de aire controlado a una velocidad y tasa de renovación específicas. Su diseño arquitectónico maximiza el efecto invernadero en el interior de la estructura y aprovecha al máximo la radiación solar capturando una mayor cantidad de radiación térmica, lo que facilita el aumento de la temperatura dentro de la cámara de secado durante el día.

El flujo de aire controlado es suministrado por ventiladores centrífugos alimentados por un sistema de captación de energía mediante paneles solares equipados con baterías para garantizar mayor autonomía energética. El aire generado es insuflado y dirigido a un área de captación de energía térmica a través de un muro colector pasivo, donde el aire de entrada se calienta y es forzado hacia las zonas donde están ubicadas las bandejas de secado. El aire caliente, con mayor temperatura y menor humedad, desplaza gradualmente el volumen de aire frío y húmedo presente en la cámara, lo cual hace más eficiente el proceso de secado.

Además, el flujo de aire de salida se maximiza mediante la creación de un delta de presión a través de un extractor de aire, lo cual asegura una renovación efectiva del aire. Este sistema de entrada y salida forzada de aire genera un grado de turbulencia dentro de la cámara de secado que favorece una distribución uniforme de la temperatura y homogeniza la velocidad de secado del producto.

Durante las condiciones nocturnas, la implementación de un sistema de almacenamiento pasivo de calor, como el muro térmico, contribuye al aumento de la inercia térmica del secador. Este mecanismo ayuda a contrarrestar la caída de temperatura y evita la rehumectación de los granos de quinua.



**Foto:** Diana Milena Rodríguez-Mora



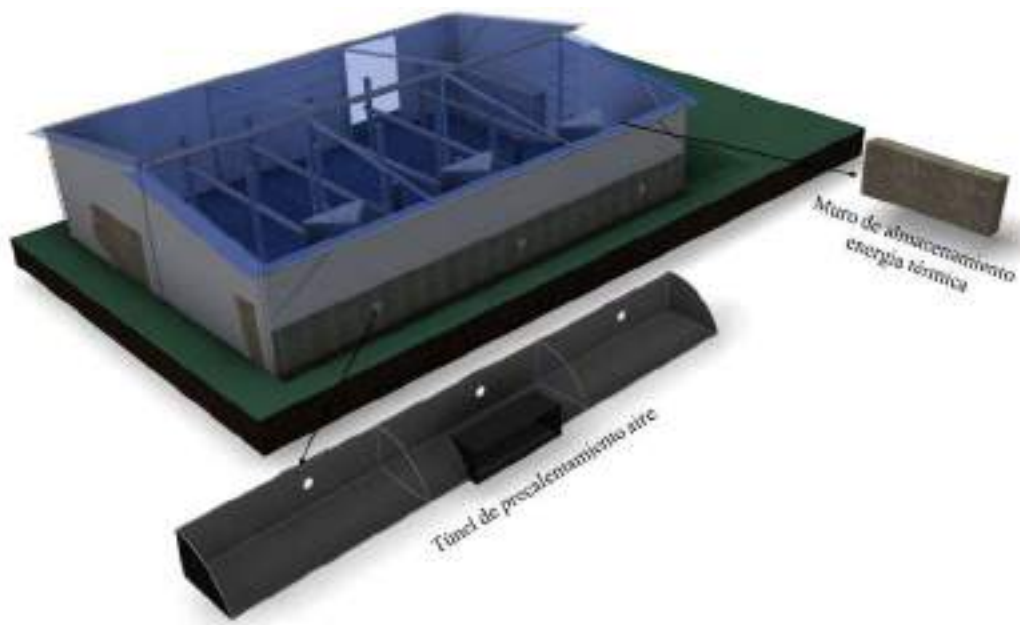


**Figura 8.9.** Diseño final del secador de panojas y granos de quinoa.

Fuente: Elaboración propia

## Diseño de la trilladora, limpieza y clasificación

Para del diseño conceptual de la trilladora se tuvieron en cuenta los parámetros físicos de la panoja y del grano de quinoa descritos en las tablas 8.6 y 8.7, respectivamente. Adicionalmente, se consideró que el sistema de trillado, limpieza y clasificación debería contar con los siguientes componentes y características:

- Dos peines de trillado para aumentar la eficiencia de trillado.
- Un sistema de ventilación para la limpieza.
- Un sistema de clasificación de granos.
- Todos los sistemas deben ser impulsados por el mismo motor (10 hp).
- El sistema debe ser portante.

El diseño final de la trilladora, así como del sistema de limpieza y clasificación de grano de quinoa, se describen en la figura 8.10.

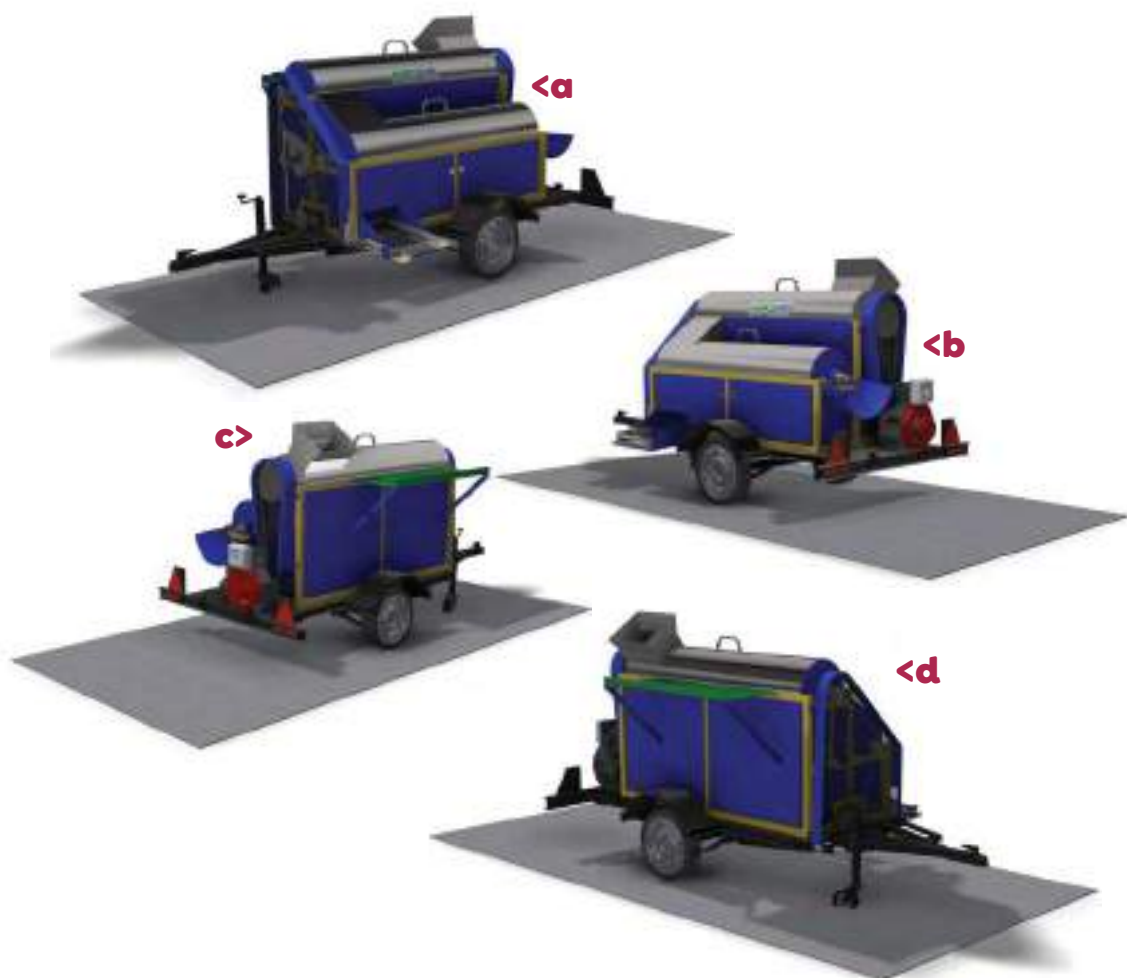


**Figura 8.10.** Diseño final de la trilladora de quinua. a. Vista frontal izquierda; b. Vista frontal derecha; c. Vista trasera izquierda; d. Vista trasera derecha.

Fuente: Elaboración propia

## Propuestas tecnológicas

### Secador de panoja y granos de quinua

El secador de panoja fue construido (figura 8.11) y sometido a evaluación con una capacidad de procesamiento de 1.500 kg de quinua.



**Figura 8.11.** Secador de quinua construido. a. Vista frontal; b. Cámara de secado; c. Sistema fotovoltaico para suplir requerimientos eléctricos del proceso.

Fotos: John Javier Espitia-González

Con las innovaciones realizadas, se logró secar las panojas de quinua en 48 horas reduciendo el contenido de humedad del 48 % al 8 % (base húmeda). Esta mejora representa una notable reducción en el tiempo de secado en comparación con los métodos tradicionales, que solían requerir 120 horas. Asimismo, en la figura 8.12 se muestra el aumento de la temperatura dentro de la cámara de secado, donde se observa una distribución homogénea de la temperatura en toda la cámara (figura 8.12a), y una diferencia entre la temperatura ambiente y la temperatura promedio interna en el secador, que oscila entre 5 y 25 °C dependiendo de la temperatura exterior (figura 8.12b).

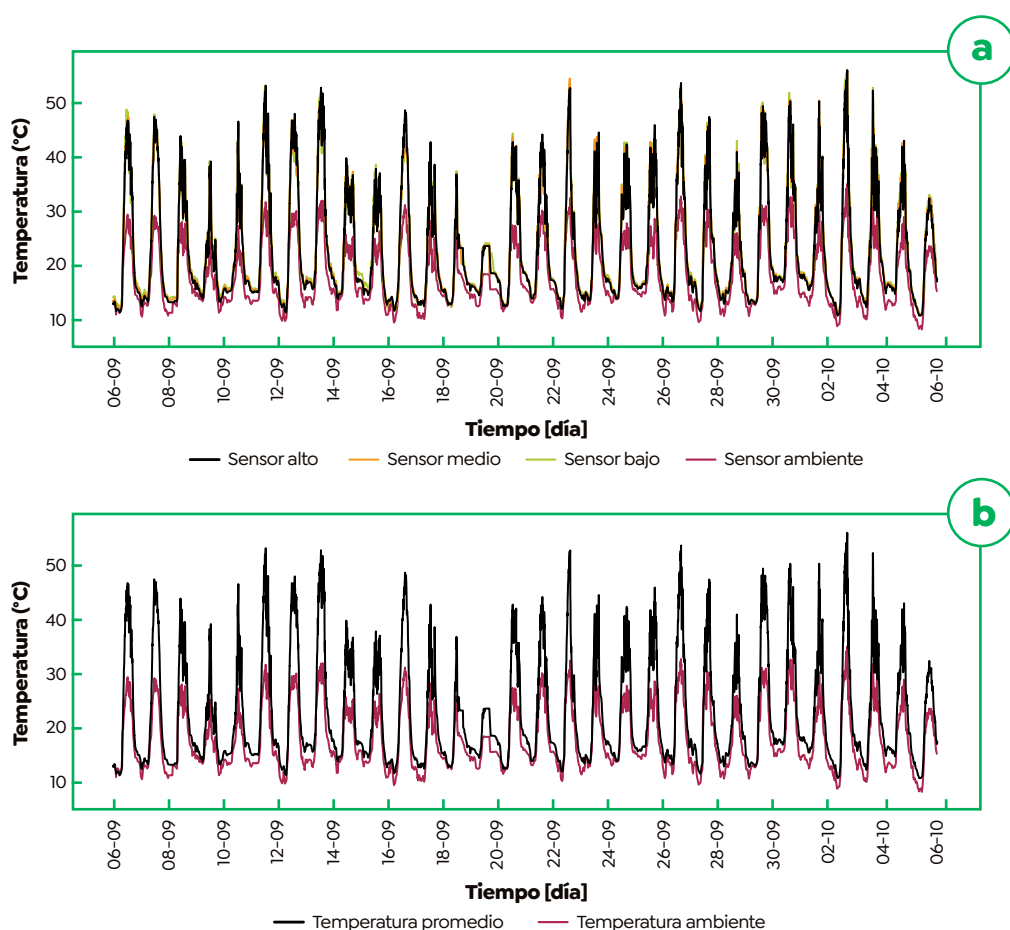


**Figura 8.12.** Perfil de temperaturas del secador de quinua.

Fuente: Elaboración propia



## Trilladora de quinua

El equipo de trillado de quinua fue construido (figura 8.13) y evaluado midiendo las variables de proceso descritas en la tabla 8.9.

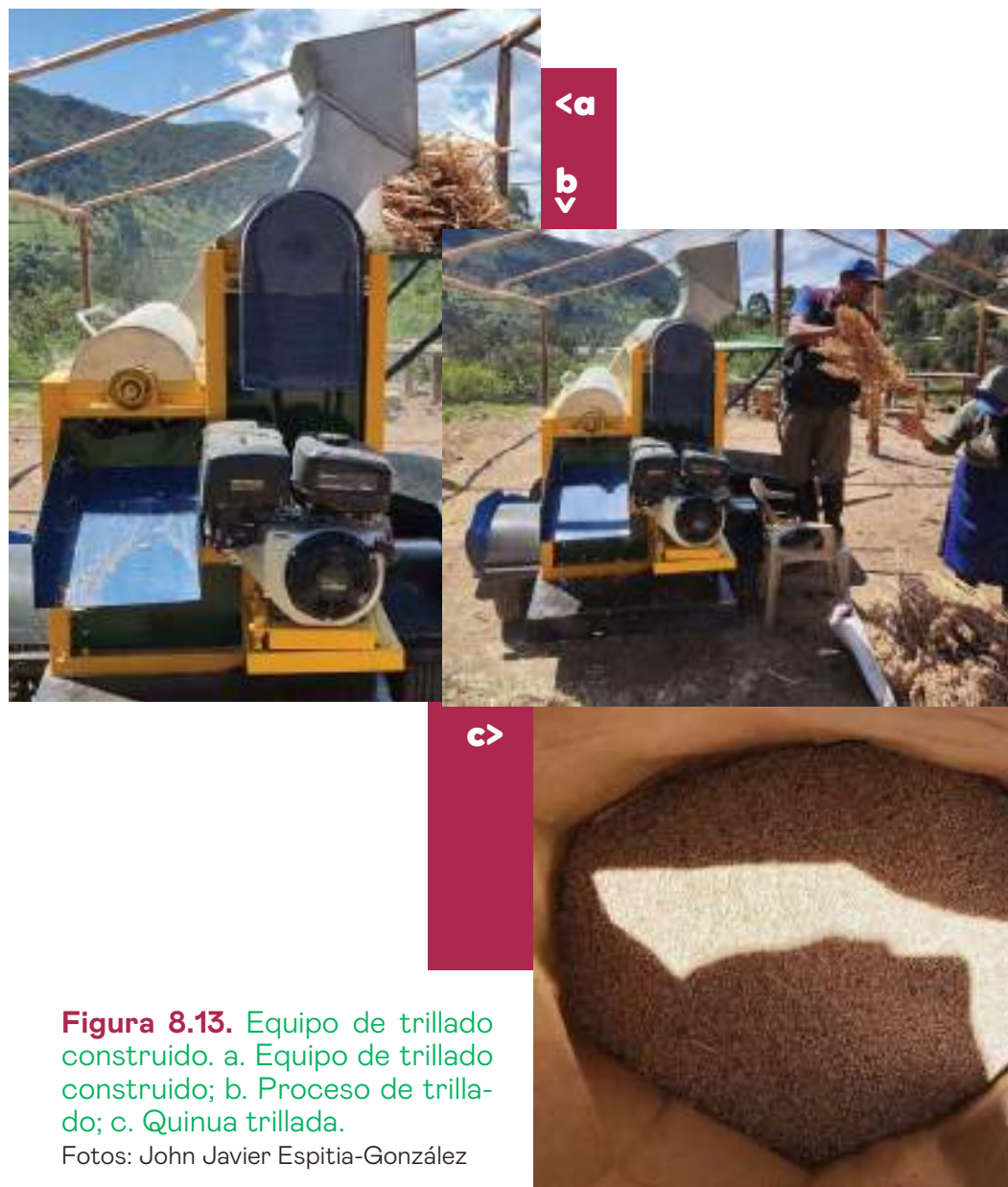


**Figura 8.13.** Equipo de trillado construido. a. Equipo de trillado construido; b. Proceso de trillado; c. Quinua trillada.

Fotos: John Javier Espitia-González

**Tabla 8.9.** Variables medidas en proceso de trillado

| Variable medida                   | Valor |
|-----------------------------------|-------|
| <b>Capacidad (kg/h)</b>           | 190   |
| <b>Porcentaje de trillado (%)</b> | 97    |
| <b>Porcentaje de limpieza (%)</b> | 88    |

Fuente: Elaboración propia

Con los resultados de evaluación se pudo aumentar el porcentaje de trillado y la productividad, lo cual va a incidir en la disminución de los costos de producción.

## Conclusiones

El sistema de secado implementado con las estrategias tecnológicas permitió intensificar el proceso de secado en zonas de baja radiación y alta humedad (>2.800 m s. n. m.), donde el secado de alimentos es una variable crítica que representa hasta el 40 % de las pérdidas poscosecha.

El sistema de ventilación del secador solar cumple una función crucial al evitar la condensación del vapor de agua en el interior del secador y su posterior caída sobre la superficie del grano. Esta medida contribuye a prevenir problemas de germinación y posibles contaminaciones por hongos.

La intensificación del proceso de secado permitió reducir el tiempo de secado del grano, lo que optimiza los procesos de cosecha y poscosecha. Al obtener un producto con un contenido de humedad inferior al 10 % (b.h.), se garantiza su almacenamiento y transporte sin problemas de germinación ni contaminación por mohos.

La trilladora, diseñada y construida, aumentó la eficiencia de trillado y limpieza, lo que tiene un efecto positivo en la productividad y rentabilidad de la operación.

# Referencias

- ANSYS, Inc. (2016). *ANSYS Fluent User's Guide, Release 17.2*. <https://shorturl.at/fbj15>
- Flórez-Martínez, D. H. (2013). Agenda prospectiva de investigación de la cadena productiva de la panela y su agroindustria. *Tecnura*, 17(36), 72-86.
- Flórez-Martínez, D. H., Rodríguez-Cortina, J., Chavez-Oliveros, L. F., Aguilera-Arango, G. A., & Morales-Castañeda, A. (2024). Current trends and prospects in quinoa research: An approach for strategic knowledge areas. *Food Science & Nutrition*, 12(3), 1479-1501.
- Smyth, S. J., & Phillips, P. W. (2002). Product differentiation alternatives: identity preservation, segregation, and traceability. *AgBioForum*, 5(2), 30-42. <https://agbioforum.org/product-differentiation-alternatives-identity-preservation-segregation-and-traceability/>
- Villagrán, E., Henao-Rojas, J. C., & Franco, G. (2021). Thermo-environmental performance of four different shapes of solar greenhouse dryer with free convection operating principle and No load on product. *Fluids*, 6(5), 183. <https://doi.org/10.3390/fluids6050183>







Foto: Isabel Cristina Ramírez-Paz



## Capítulo IX

# Requerimiento hídrico del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.)

José Ives Pérez-Zúñiga  
Daniel Ortiz-González  
Consuelo Montes-Rojas

## Resumen

En el departamento del Cauca, el cultivo de quinua depende principalmente de las lluvias naturales. Sin embargo, durante los periodos de crecimiento que coinciden con meses de baja precipitación, se implementa un riego por aspersión sin criterios técnicos adecuados. Esta práctica, que demanda grandes volúmenes de agua, a menudo extraída de fuentes naturales como quebradas o riachuelos, puede generar conflictos entre las comunidades por el acceso al agua, especialmente durante épocas de escasez hídrica. Ante la esperada disminución de lluvias entre un 10 % y un 40 % en aproximadamente el 32 % del territorio nacional para el periodo 2011-2040, se hace necesario tomar medidas preventivas para optimizar el uso del recurso hídrico y así mantener o incrementar el rendimiento de los cultivos. Con este objetivo, se llevó a cabo la presente investigación para determinar la cantidad adecuada de agua a aplicar al cultivo de quinua, teniendo en cuenta la capacidad de retención de humedad del suelo. El estudio se realizó con el cultivar Blanca de Jericó en los municipios de Silvia, Totoró, La Vega y Bolívar, en el departamento del Cauca. Se encontraron diferencias significativas en las características de las plantas entre localidades, pero no dentro de una misma

localidad. La altura de las plantas osciló entre 65 y 214 cm, el diámetro del tallo entre 6,4 mm y 19,9 mm, y la longitud de la raíz entre 4,5 cm y 42,3 cm. El ciclo del cultivo hasta alcanzar el estado fenológico de grano lechoso varió entre 128 y 144 días después de la siembra. Los mejores rendimientos se obtuvieron con la menor lámina de riego aplicada, con valores entre 0,6 t/ha y 4,2 t/ha.

**Palabras clave:** componentes de rendimiento, fenología, lámina de riego, precocidad, rendimiento.



Foto: Isabel Cristina Ramírez-Paz

# Introducción

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es un cultivo ancestral originario de la región andina de Sudamérica, con más de 7.000 años de historia documentada (FAO, 2011). Este grano fue fundamental en la dieta de las civilizaciones precolombinas, particularmente los incas, quienes lo valoraban tanto por su capacidad de adaptación a diversas condiciones agroclimáticas como por su alto valor nutricional (Cornejo, 2007). La quinua contiene proteínas de alta calidad, aminoácidos esenciales y una resistencia destacada a la sequía y a suelos marginales, lo que la posiciona como un recurso estratégico frente a los desafíos globales de seguridad alimentaria (Jacobsen et al., 2003; Tapia et al., 1979).

A nivel mundial, Bolivia y Perú son los mayores productores de quinua, que concentran el 90 % de la producción global, mientras que países como Estados Unidos y Ecuador contribuyen en menor medida (Organización Internacional del Trabajo [OIT], 2015). En Bolivia, por ejemplo, para el año 2022 se cultivaban aproximadamente 123,6 mil hectáreas, siendo la mayor área sembrada en el mundo, con rendimientos muy variables que alcanzan para 2025 un promedio de 362 kg/ha (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego del Perú, 2023). Este cultivo también ha sido adoptado en regiones de Europa, Asia y África, destacando por su capacidad de prosperar en climas extremos (Geerts et al., 2009; Gómez & Aguilar, 2016).

En Colombia, el cultivo de quinua ha sido promovido en departamentos como Nariño y Cauca (Martínez, 2019). En esta última región, el cultivo está ganando terreno como una alternativa para pequeños productores interesados en diversificar su producción y participar en mercados especializados (Andrade, 2020). Aunque las cifras exactas de área sembrada aún son limitadas, se reconoce su potencial para contribuir a la sostenibilidad agrícola y al desarrollo rural (Gómez & Aguilar, 2016). Desafortunadamente, los rendimientos por hectárea en el departamento no son los mejores, ya que para el año 2017 se reporta un promedio de 1,39 t/ha, comparado con los obtenidos, por ejemplo, en el departamento de Cundinamarca para el mismo año, que reporta 4,7 t/ha (Rojas, 2021).



Foto: Diana Milena Rodríguez-Mora

Una de las causas que conlleva bajos rendimientos y que la siembra se realice una vez al año es la disponibilidad de agua, ya que generalmente la quinua se cultiva bajo una condición de lluvia natural teniendo en cuenta su temporalidad (Mamani et al., 2017). Esta situación se agrava debido a que la intensidad y frecuencia de las precipitaciones han estado cambiando en Colombia y se espera una disminución de las lluvias de 10 % a 40 % en cerca del 32 % del territorio nacional, según estimaciones para el periodo 2011-2040 del Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (Idiger, 2024). El manejo hídrico es clave en el éxito del cultivo, especialmente en etapas críticas como la floración y el llenado de grano (Geerts et al., 2009; Khaled et al., 2021; Salim et al., 2020). Investigaciones han demostrado que, bajo condiciones de riego suplementario, los rendimientos pueden duplicarse y alcanzar hasta 1.746 kg/ha, en comparación con los obtenidos en secano (Castro, 2018). Esto subraya la importancia de optimizar los recursos hídricos para garantizar la sostenibilidad del cultivo en zonas vulnerables, como las regiones altoandinas colombianas (Ruiz et al., 2015). En Perú, investigadores que aplicaron riego por goteo en función de la evapotranspiración (ET<sub>o</sub>) y ajustaron los niveles hídricos según las etapas fenológicas del cultivo, ob-





Foto: Diana Milena Rodríguez-Mora

servaron que, a mayor lámina de agua aplicada, mayor era el rendimiento, que alcanzó hasta 4,53 t/ha (Mori, 2015). También se ha reportado que se pueden incrementar los rendimientos mejorando la aplicación de riego por aspersión (Paredes & Arragan, 2018) o combinando fertilización con al menos el 50 % del requerimiento hídrico del cultivo (Sanandaji et al., 2024). Asimismo, después de que la quinua sufre estrés hídrico, las plantas se pueden recuperar cuando se aplica riego (Manaa et al., 2021).

Ante la creciente variabilidad del clima y la importancia vital del agua, Colombia ha implementado medidas significativas. En 1997 se promulgó la Ley 373, la cual establece el Programa para el Uso Eficiente y Ahorro del Agua, que marcó un hito en la gestión sostenible de este recurso fundamental. En el año 2010, el entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial emitió la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. Posteriormente, mediante el numeral 2 del artículo 18 del Decreto 3570 de 2011, se estableció que la Dirección de Gestión Integral del Recurso Hídrico del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible es la entidad responsable de liderar las acciones para la gestión integral del recurso hídrico, con el objetivo de promover su conservación y uso sostenible.

En Colombia se utilizan 6 mil millones de metros cúbicos de agua al año para fines agrícolas (Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia [CTA], 2017). Además, se estima que más del 20 % del agua de los departamentos del país es destinado para uso agrícola, lo que lo posiciona como uno de los sectores con mayor necesidad de este recurso. Sin embargo, el 48 % de las aguas destinadas al riego de cultivos se desperdicia debido a factores como la ineficiencia en el uso del recurso hídrico y el deficiente mantenimiento de las infraestructuras de suministro, entre otros (Adama Colombia, 2023).

Para determinar cuándo y cuánto regar, se utilizan las curvas de retención de humedad, que permiten calcular ecuaciones de edafotransferencia específicas para cada tipo de suelo. Estas ecuaciones proporcionan valores de humedad a capacidad de campo y punto de marchitez permanente, datos clave para programar el riego (Izquierdo et al., 2011). Dichas curvas relacionan el contenido de humedad con su potencial mátrico y reflejan la capacidad del suelo para retener agua en función de la succión, la cual depende de propiedades físicas como la porosidad (Bejar et al., 2020). La gestión eficiente del agua de riego es esencial para maximizar el rendimiento potencial de la quinua, especialmente cuando el agua es un factor limitante. Para lograrlo, es fundamental responder a tres preguntas clave: ¿por qué?, ¿cuándo? y ¿cuánto regar? Esto permitirá optimizar el uso del agua, considerando las necesidades hídricas específicas del cultivo y los factores de suelo, planta y clima.



**Foto:** Diana Milena Rodríguez-Mora

# Materiales y métodos

## Área de estudio

La investigación se llevó a cabo en enero de 2024 en fincas de productores en los municipios de Silvia, Totoró, La Vega y Bolívar en el departamento del Cauca, Colombia (02°37'43,5"N, 76°20'30,21"O; 02°33'51,3"N, 76°26'37,00"; 01°58'20,6"N, 76°45'16,5"O; y 01°46'28,5"N, 76°53'37,5"O, respectivamente). Las características de los sitios estudiados y la evaluación de infiltración por el método de anillos infiltrómetros se muestran en la tabla 9.1.

**Tabla 9.1.** Características de las cuatro localidades del departamento del Cauca donde se evaluaron láminas de agua

| Características                     | Silvia | Totoró | Bolívar | La Vega |
|-------------------------------------|--------|--------|---------|---------|
| Altitud (m s. n. m)                 | 2.588  | 2.181  | 2.333   | 2.603   |
| Temperatura promedio (°C)           | 14,5   | 16,1   | 16,2    | 14,6    |
| Precipitación promedio mensual (mm) | 95,2   | 165,9  | 178,3   | 148,7   |
| Tasa infiltración (mm/hora)         | 94,1   | 20,1   | 0,8     | 7,9     |

Fuente: Elaboración propia

En cada localidad se tomaron muestras de suelo a dos profundidades (0-10 cm y 10-20 cm) para determinar sus propiedades físicas y la curva característica de humedad (tabla 9.2). Este último análisis se realizó en el laboratorio de AGROSAVIA, mediante el método de membranas de presión de Richards. Con los datos obtenidos se definieron tres tratamientos de lámina de agua, así: T1 = 0,3 bares, T2 = 1,0 bares y T3 = 3 bares, y los tiempos de riego de acuerdo con la metodología descrita por Izquierdo et al. (2011) (tabla 9.3).

El método de riego utilizado fue por goteo, por ser el más eficiente al utilizar cintas con goteros autocompensados. Adicionalmente, se determinaron propiedades químicas para el manejo de la nutrición del cultivo y análisis del agua utilizada para riego, lo cual dio como resultado leves limitaciones para riego.

**Tabla 9.2.** Características físicas del suelo y curvas de humedad determinadas en cuatro localidades del departamento del Cauca donde se evaluaron láminas de agua

| Características                   | Silvia |       | Totoró |       | Bolívar |       | La Vega |       |
|-----------------------------------|--------|-------|--------|-------|---------|-------|---------|-------|
|                                   | 10     | 20    | 10     | 20    | 10      | 20    | 10      | 20    |
| <b>Densidad aparente (g/cc)</b>   | 0,88   | 0,95  | 0,52   | 0,64  | 1,06    | 1,15  | 0,91    | 0,94  |
| <b>Conductividad hidráulica</b>   | 5,09   | 2,04  | 3,2    | 0,10  | 0,20    | 0,09  | 0,64    | 0,24  |
| <b>Porosidad total (%)</b>        | 61,01  | 57,18 | 74,19  | 69,71 | 53,88   | 50,85 | 61,03   | 59,49 |
| <b>Clase textural</b>             | F-Ar   | F-Ar  | F-A    | F-A   | F-Ar    | Ar    | F-A     | F-A   |
| <b>Saturación de aluminio (%)</b> | 0      | 0     | 32     | 39    | 0       | 0     | 0       | 0     |
| <b>pH</b>                         | 6,6    | 6,3   | 5,3    | 5,2   | 5,9     | 6,0   | 5,9     | 5,9   |
| <b>Materia orgánica (%)</b>       | 5,3    | 5,2   | 13,0   | 15,0  | 6,4     | 3,4   | 9,3     | 13,8  |
| <b>Punto 0,1 bares (%p/v)</b>     | 34,12  | 36,73 | 51,79  | 68,10 | 50,46   | 50,00 | 55,55   | 51,08 |
| <b>Punto 0,3 bares (%p/v)</b>     | 31,67  | 34,84 | 48,22  | 65,61 | 48,12   | 49,18 | 50,80   | 44,96 |
| <b>Punto 1 bares (%p/v)</b>       | 29,82  | 33,14 | 44,23  | 63,06 | 45,58   | 48,06 | 45,68   | 38,46 |
| <b>Punto 3 bares (%p/v)</b>       | 29,14  | 32,55 | 43,22  | 62,17 | 44,61   | 47,51 | 43,86   | 37,21 |
| <b>Punto 15 bares (%p/v)</b>      | 27,65  | 31,74 | 41,54  | 60,71 | 43,50   | 46,88 | 41,85   | 35,58 |

F-Ar = franco arcilloso, F-A = franco arenoso, Ar = arcilloso

Fuente: Elaboración propia



**Tabla 9.3.** Cálculo de lámina de agua (mm) determinada como tratamientos en cuatro localidades del departamento del Cauca

| Localidad | Tratamiento 1 | Tratamiento 2 | Tratamiento 3 |
|-----------|---------------|---------------|---------------|
| Silvia    | 7,1           | 3,5           | 2,2           |
| Totoró    | 6,6           | 2,9           | 1,8           |
| La Vega   | 17,0          | 6,2           | 3,4           |
| Bolívar   | 7,5           | 3,6           | 1,9           |

Fuente: Elaboración propia

## Material vegetal y manejo del experimento

Los ensayos se establecieron con la variedad Blanca de Jericó (BJ), por ser un material genético comercial común en Colombia y es el más cultivado en el departamento del Cauca por su adaptabilidad al clima frío, suelos de ladera y por sus características de productividad y aceptación en el mercado (Carlosama, 2012; Montes et al., 2018).

La siembra se realizó por trasplante a los 15 días después de realizado el semillero. Se ubicaron dos plantas por sitio a una distancia de siembra de 0,2 m entre plantas y 0,7 m entre surcos, para un total de 71.428 sitios de siembra y una densidad de 142.857 plantas/ha. Las unidades experimentales (UE) correspondieron a rectángulos de 3,5 m de largo por 3,0 m de ancho para un área de 10,5 m<sup>2</sup>. El manejo del cultivo se realizó de acuerdo con las prácticas agronómicas de cada localidad y recomendaciones técnicas en manejo fitosanitario por los profesionales de AGROSAVIA. La aplicación del riego fue automatizada, para lo cual se ubicaron en cada repetición sensores de humedad del suelo (Teros 10) y tensiómetros (Teros 21) conectados a un equipo central (TX1 DropControl), lo que a su vez permitía operar electroválvulas tipo Latch de forma remota vía red celular.



Foto: Diana Milena Rodríguez-Mora

## Diseño estadístico

La parcela experimental se estableció a partir de un diseño de parcelas divididas, las cuales correspondían a los tratamientos con tres repeticiones correspondiente al bloqueo por pendiente del terreno. Cada unidad experimental estuvo conformada por cinco surcos y en los tres surcos centrales se seleccionaron 9 plantas como unidad de muestreo, las cuales se marcaron para el registro quincenal de las variables de seguimiento.

## Variables evaluadas

A continuación, se relacionan las variables evaluadas:

- *Altura de la planta*: tomada cada 15 días desde la base del tallo hasta el extremo terminal de la panoja del tallo principal; el registro finalizó cuando se observó que no hubo mayor elongación.
- *Diámetro de tallo*: registrado a los 5 cm de la base del tallo, se registró cada 15 días hasta el momento que finalizó el registro de altura.
- *Longitud de la raíz*: luego de la cosecha, se extrajo la raíz para determinar su longitud.
- *Fenología*: cada 15 días se registró el estado fenológico en cada una de las plantas marcadas de acuerdo a la escala descrita por Montes et al. (2018), y luego este valor se promedió.
- *Rendimiento en kg/ha*: se calculó a partir de la producción de las 9 plantas seleccionadas en cada parcela, proyectando la producción a una hectárea.

# Resultados y discusión

## Fenología

Se observó que las diferentes láminas de riego aplicadas no influyeron en el desarrollo de las etapas fenológicas de panojamiento, floración, grano lechoso y grano pastoso en cada localidad (figura 9.1). Sin embargo, sí se encontraron diferencias significativas entre las localidades, lo que sugiere que factores ambientales, como el fotoperiodo o la duración del día, podrían ser determinantes en el desarrollo del cultivo, tal como lo mencionan García-Parra et al. (2020) y Pinto (2015). Las plantas establecidas en la localidad de Silvia fueron las primeras en iniciar el panojamiento, en promedio a los 80 días después de la siembra, mientras que las plantas de quinua que más tardaron en alcanzar esta etapa fueron las sembradas en La Vega, con un promedio de 91 días. En cuanto a la floración, esta se inició en promedio a los 92 días en Totoró, mientras que Silvia fue la localidad donde más tardó en aparecer, con un promedio de 115 días. Con respecto al estado de grano lechoso, este se presentó primero en la localidad de Bolívar, a los 116 días, y tardó más en la localidad de Silvia, con un promedio de 129 días. Por su parte, la primera localidad en alcanzar el estado de grano pastoso fue Totoró, con un promedio de 128 días, y la última fue nuevamente Silvia, con un promedio de 144 días. Si bien los resultados obtenidos para cada uno de los estados fenológicos se encuentran dentro de los rangos reportados para este cultivo por Gómez y Aguilar (2016), son inferiores a los reportados para el material de quinua Blanca de Jericó evaluado en el municipio de Puracé, departamento del Cauca, por Montes et al. (2018), donde el estado fenológico de grano pastoso se alcanzó a los 200 días. La variabilidad en el tiempo para alcanzar las diferentes etapas fenológicas entre localidades concuerda con lo reportado por Aroni et al. (2024). Estos autores señalan que las fases fenológicas de la quinua varían considerablemente en función de la variedad y, de manera significativa, según el lugar de cultivo.





Foto: Diana Milena Rodríguez-Mora



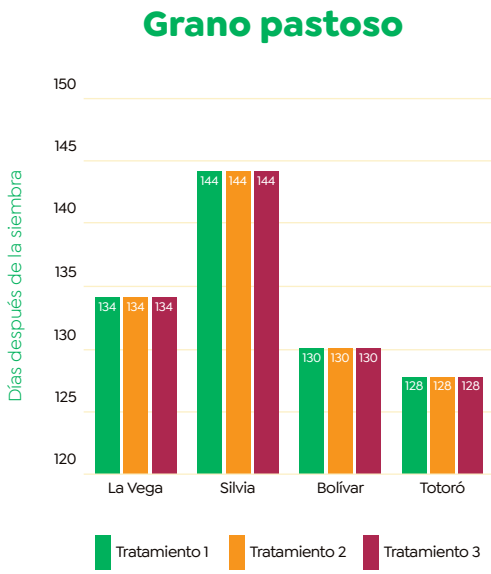
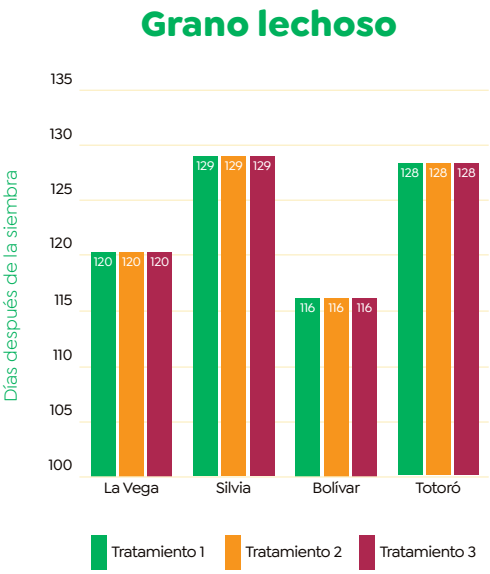
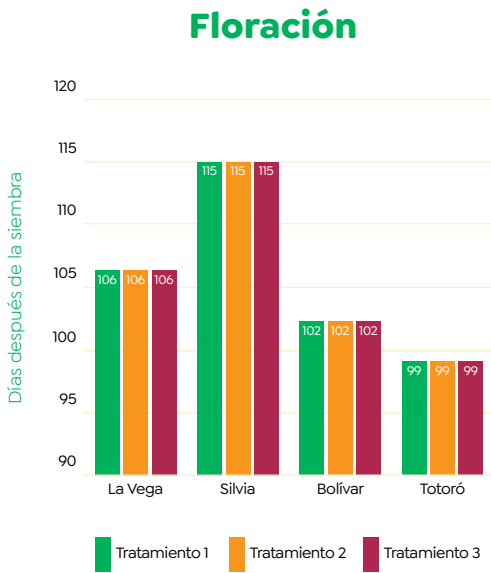
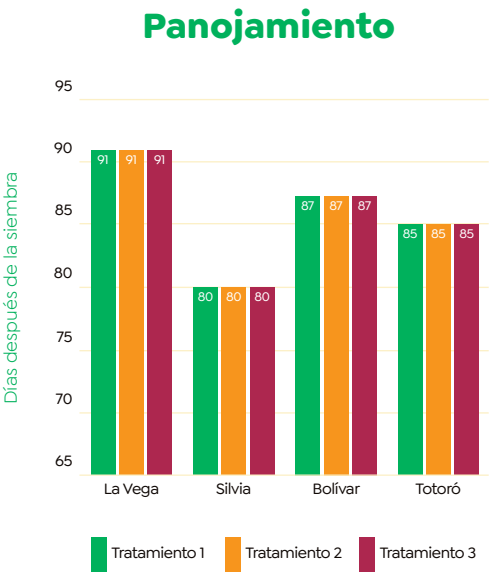


**Figura 9.1.** Estado fenológico determinado en evaluación de requerimiento hídrico de quinua en cuatro localidades del departamento del Cauca.  
Fuente: Elaboración propia



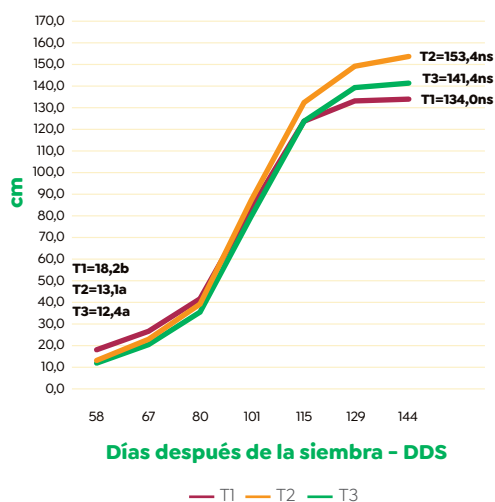
Foto: Diana Lucía Correa-Moreno

## Variables de crecimiento

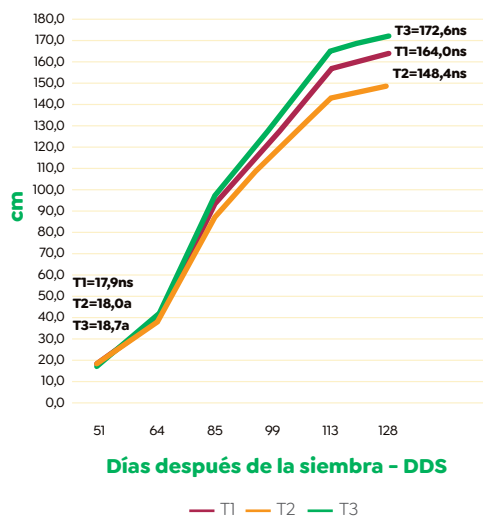
### Altura de planta

Respecto a la altura, los datos registrados permiten generar una curva típica sigmoidea de crecimiento donde se pueden diferenciar tres fases con diferentes velocidades de crecimiento: fase exponencial, fase lineal y fase de senescencia en las cuatro localidades (figura 9.2). El análisis del último ciclo de registros revela que no se observaron diferencias estadísticas significativas en la altura de las plantas de quinua entre los tratamientos de riego aplicados en cada localidad (tabla 9.4). Sin embargo, se encontró una variación considerable en la altura de las plantas entre las diferentes localidades: en Silvia osciló entre 84,0 cm y 194,0 cm; en Totoró estuvo entre 102,0 cm y 199,0 cm; en La Vega varió entre 65,0 cm y 178,5 cm, y en Bolívar los valores se encontraron entre 122,0 cm y 214,0 cm. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Maliro et al. (2017), quienes concluyen que la altura de la planta de quinua se ve afectada por factores ambientales.

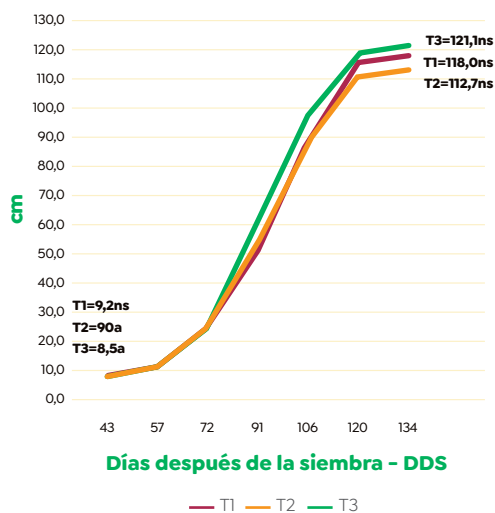
### Altura de planta - localidad Silvia



### Altura de planta - localidad Totoró



### Altura de planta - localidad La Vega



### Altura de planta - localidad Bolívar

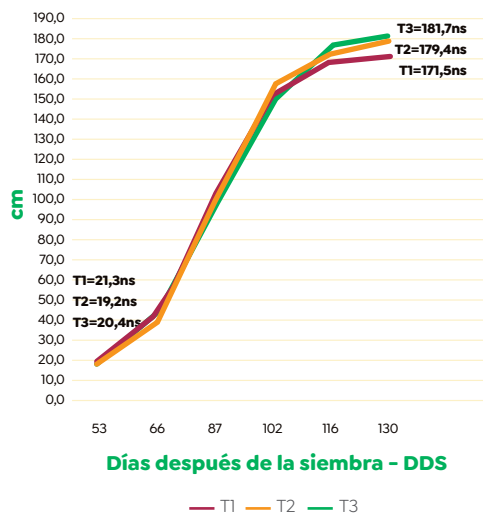


**Figura 9.2.** Registro de altura de la variedad Blanca de Jericó sometida a diferentes láminas de agua de riego en cuatro localidades del departamento del Cauca.

Fuente: Elaboración propia



**Tabla 9.4.** Análisis de varianza para la variable altura variedad Blanca de Jericó en cuatro localidades del departamento del Cauca

| Altura de la planta - Localidad Silvia |    |           |          |         |         |               |
|----------------------------------------|----|-----------|----------|---------|---------|---------------|
|                                        | GL | SC        | CM       | Valor F | Valor p | Significancia |
| Modelo                                 | 8  | 14.128,78 | 1.766,10 | 5,58    | <0,0001 | ***           |
| Lámina de riego                        | 2  | 5.184,30  | 2.592,15 | 1,84    | 0,2709  | ns            |
| Bloque                                 | 2  | 3.316,52  | 1.658,26 | 5,24    | 0,0075  | ***           |
| Lámina de riego*Bloque                 | 4  | 5.627,96  | 1.406,99 | 4,44    | 0,0029  | ***           |
| Error                                  | 72 | 22.799,94 | 316,67   |         |         |               |
| Total                                  | 80 | 36.928,73 |          |         |         |               |

| Altura de la planta - Localidad La Vega |    |           |          |         |         |               |
|-----------------------------------------|----|-----------|----------|---------|---------|---------------|
|                                         | GL | SC        | CM       | Valor F | Valor p | Significancia |
| Modelo                                  | 8  | 13.836,02 | 1.729,50 | 5,45    | <0,0001 | ***           |
| Lámina de riego                         | 2  | 970,88    | 485,44   | 0,94    | 0,4633  | ns            |
| Bloque                                  | 2  | 10.795,93 | 5.397,97 | 17,00   | <0,0001 | ***           |
| Lámina de riego*Bloque                  | 4  | 2.069,21  | 517,30   | 1,63    | 0,1764  | ns            |
| Error                                   | 72 | 22.868,64 | 317,62   |         |         |               |
| Total                                   | 80 | 36.704,65 |          |         |         |               |



| Altura de la planta - Localidad Bolívar |    |           |        |         |         |               |
|-----------------------------------------|----|-----------|--------|---------|---------|---------------|
|                                         | GL | SC        | CM     | Valor F | Valor p | Significancia |
| Modelo                                  | 8  | 6.057,83  | 757,23 | 2,36    | 0,0260  | ns            |
| Lámina de riego                         | 2  | 1.541,69  | 770,84 | 1,22    | 0,3867  | ns            |
| Bloque                                  | 2  | 1.980,69  | 990,34 | 3,08    | 0,0519  | ns            |
| Lámina de riego*Bloque                  | 4  | 2.535,46  | 633,87 | 1,97    | 0,1077  | ns            |
| Error                                   | 72 | 23.127,67 | 321,22 |         |         |               |
| Total                                   | 80 | 29.185,50 |        |         |         |               |

| Altura de la planta - Localidad Totoró |    |           |          |         |         |               |
|----------------------------------------|----|-----------|----------|---------|---------|---------------|
|                                        | GL | SC        | CM       | Valor F | Valor p | Significancia |
| Modelo                                 | 8  | 13.339,00 | 1.667,38 | 3,37    | 0,0025  | **            |
| Lámina de riego                        | 2  | 8.125,57  | 4.602,79 | 3,88    | 0,1155  | ns            |
| Bloque                                 | 2  | 1.029,24  | 514,62   | 1,04    | 0,3591  | ns            |
| Lámina de riego*Bloque                 | 4  | 4.184,19  | 1.46,05  | 2,11    | 0,0881  | ns            |
| Error                                  | 72 | 35.663,72 | 495,33   |         |         |               |
| Total                                  | 80 | 49.002,72 |          |         |         |               |

GL: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: cuadrados medios; no significativo (ns). Significancia estadística: \*\*\*:  $p<0,001$ , \*\*:  $p<0,01$ , \*:  $p<0,05$ , ns:  $p>0,05$   
Fuente: Elaboración propia

### Diámetro de tallo

El análisis del último ciclo de registros en cada localidad no reveló diferencias estadísticas significativas en el diámetro del tallo de las plantas de quinoa entre los tratamientos de riego aplicados (tabla 9.5). Sin embargo, se observó una variación considerable en el diámetro del tallo entre las localidades evaluadas: en Silvia osciló entre 6,5 mm y 15,1 mm; en Totoró varió entre 6,4 mm y 12,0 mm; en La

Vega fluctuó entre 7,6 mm y 19,1 mm, y en Bolívar osciló entre 9,4 mm y 19,9 mm. Estos resultados son consistentes con lo reportado por Paredes y Arragan (2018), quienes tampoco encontraron un efecto significativo de los tratamientos de riego por aspersión en el diámetro del tallo, con valores que oscilaron entre 15,6 mm y 19,4 mm en su estudio. Si bien este estudio no arrojó diferencias significativas en el diámetro del tallo entre tratamientos de riego, Mori (2015) sí encontró variaciones al modificar la cantidad de agua aplicada mediante riego por goteo, con diámetros entre 12,7 mm y 19,2 mm. Por otro lado, Mendoza (2008) y Condori (2008) sugieren que el engrosamiento del tallo está influenciado tanto por las características genéticas de la planta como por factores climáticos.

**Tabla 9.5.** Análisis de varianza para la variable diámetro en la variedad Blanca de Jericó en cuatro localidades del departamento del Cauca

| Diámetro de la planta - Localidad Silvia |    |        |      |         |         |               |
|------------------------------------------|----|--------|------|---------|---------|---------------|
|                                          | GL | SC     | CM   | Valor F | Valor p | Significancia |
| <b>Modelo</b>                            | 8  | 42,22  | 5,28 | 1,86    | 0,0792  |               |
| <b>Lámina de riego</b>                   | 2  | 1,76   | 0,88 | 0,10    | 0,9081  | ns            |
| <b>Bloque</b>                            | 2  | 4,72   | 2,36 | 0,83    | 0,4391  |               |
| <b>Lámina de riego*Bloque</b>            | 4  | 35,74  | 8,94 | 3,15    | 0,0190  |               |
| <b>Error</b>                             | 72 | 203,92 | 2,83 |         |         |               |
| <b>Total</b>                             | 80 | 246,15 |      |         |         |               |

| Diámetro de la planta - Localidad La Vega |    |        |       |         |         |               |
|-------------------------------------------|----|--------|-------|---------|---------|---------------|
|                                           | GL | SC     | CM    | Valor F | Valor p | Significancia |
| <b>Modelo</b>                             | 8  | 118,17 | 14,77 | 5,06    | 0,0001  |               |
| <b>Lámina de riego</b>                    | 2  | 7,74   | 3,87  | 0,81    | 0,5079  | ns            |
| <b>Bloque</b>                             | 2  | 91,22  | 45,61 | 15,63   | <0,0001 |               |
| <b>Lámina de riego*Bloque</b>             | 4  | 19,21  | 4,80  | 1,65    | 0,1723  |               |
| <b>Error</b>                              | 72 | 210,14 | 2,92  |         |         |               |
| <b>Total</b>                              | 80 | 328,31 |       |         |         |               |

| Diámetro de la planta - Localidad Bolívar |    |        |       |         |         |               |
|-------------------------------------------|----|--------|-------|---------|---------|---------------|
|                                           | GL | SC     | CM    | Valor F | Valor p | Significancia |
| Modelo                                    | 8  | 47,88  | 5,98  | 1,03    | 0,4231  |               |
| Lámina de riego                           | 2  | 38,78  | 19,39 | 15,66   | 0,1802  | ns            |
| Bloque                                    | 2  | 4,14   | 2,07  | 0,36    | 0,7017  |               |
| Lámina de riego*Bloque                    | 4  | 4,95   | 1,24  | 0,21    | 0,9305  |               |
| Error                                     | 72 | 419,09 | 5,82  |         |         |               |
| Total                                     | 80 | 466,96 |       |         |         |               |

| Diámetro de la planta - Localidad Totoró |    |        |      |         |         |               |
|------------------------------------------|----|--------|------|---------|---------|---------------|
|                                          | GL | SC     | CM   | Valor F | Valor p | Significancia |
| Modelo                                   | 8  | 25,61  | 3,20 | 2,07    | 0,0498  |               |
| Lámina de riego                          | 2  | 13,07  | 6,53 | 4,13    | 0,1066  | ns            |
| Bloque                                   | 2  | 6,20   | 3,10 | 2,01    | 0,1418  |               |
| Lámina de riego*Bloque                   | 4  | 6,34   | 1,58 | 1,03    | 0,4002  |               |
| Error                                    | 72 | 111,24 | 1,54 |         |         |               |
| Total                                    | 80 | 136,84 |      |         |         |               |

GL: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: cuadrados medios; no significativo (ns). Significancia estadística: \*\*\*:  $p < 0,001$ , \*\*:  $p < 0,01$ , \*:  $p < 0,05$ , ns:  $p > 0,05$

Fuente: Elaboración propia

## Longitud de la raíz

De acuerdo con Gómez y Aguilar (2016), la longitud de las raíces es variable y su crecimiento y desarrollo está determinado por el genotipo, tipo de suelos, nutrición y humedad, entre otros factores. En esta investigación no se encontraron diferencias estadísticas para la longitud de la raíz al aplicar diferentes tratamientos de láminas de agua como riego en las localidades de Silvia, Totoró y La Vega, con valores que oscilaron entre 4,5 y 42,3 cm. Sin embargo, para la localidad de Bolívar

se presentaron diferencias estadísticas  $p < 0,05$  (tabla 9.6), siendo el tratamiento con la mayor lámina de agua el que evidenció en promedio la mayor longitud (19,26 cm) y la menor longitud (11,42 cm) en el tratamiento con menor lámina de agua aplicada. Varios autores han reportado que la longitud de la raíz es una respuesta al estrés hídrico e incluso se puede utilizar para la selección de genotipos tolerantes a la sequía (Martirena-Ramírez et al., 2019; Polanía et al., 2009). Esta característica también puede verse afectada por el aumento en la disponibilidad de nitrógeno en el suelo (Kakabouki et al., 2019). Sin embargo, las longitudes de raíz encontradas en esta investigación fueron inferiores a las reportadas por Van et al. (2021), quienes registraron longitudes entre 40 cm y 140 cm. Por otro lado, Gómez y Aguilar (2016) registraron longitudes de la raíz aún mayores que oscilan entre 85 cm y 150 cm.

**Tabla 9.6.** Análisis de varianza para la variable largo de la raíz en la variedad Blanca de Jericó en cuatro localidades del departamento del Cauca

| Largo de la raíz - Localidad Silvia |    |        |      |         |         |               |
|-------------------------------------|----|--------|------|---------|---------|---------------|
|                                     | GL | SC     | CM   | Valor F | Valor p | Significancia |
| <b>Modelo</b>                       | 8  | 20,83  | 2,60 | 1,41    | 0,2057  |               |
| <b>Lámina de riego</b>              | 2  | 8,46   | 4,23 | 1,65    | 0,3003  | ns            |
| <b>Bloque</b>                       | 2  | 2,12   | 1,06 | 0,57    | 0,5656  |               |
| <b>Lámina de riego*Bloque</b>       | 4  | 10,26  | 2,56 | 1,39    | 0,2454  |               |
| <b>Error</b>                        | 72 | 132,64 | 1,84 |         |         |               |
| <b>Total</b>                        | 80 | 153,48 |      |         |         |               |

| Largo de la raíz - Localidad La Vega |    |        |       |         |         |               |
|--------------------------------------|----|--------|-------|---------|---------|---------------|
|                                      | GL | SC     | CM    | Valor F | Valor p | Significancia |
| <b>Modelo</b>                        | 8  | 178,10 | 22,26 | 2,14    | 0,0438  |               |
| <b>Lámina de riego</b>               | 2  | 55,17  | 27,59 | 4,64    | 0,0906  | ns            |
| <b>Bloque</b>                        | 2  | 91,63  | 45,81 | 4,40    | 0,0160  |               |
| <b>Lámina de riego*Bloque</b>        | 2  | 23,77  | 5,94  | 0,57    | 0,6846  |               |
| <b>Error</b>                         | 67 | 697,19 | 10,41 |         |         |               |
| <b>Total</b>                         | 75 | 875,29 |       |         |         |               |



| Largo de la raíz - Localidad Bolívar |    |          |        |         |         |               |
|--------------------------------------|----|----------|--------|---------|---------|---------------|
|                                      | GL | SC       | CM     | Valor F | Valor p | Significancia |
| Modelo                               | 8  | 960,47   | 120,06 | 8,59    | 8,59    |               |
| Lámina de riego                      | 2  | 817,18   | 408,59 | 10,70   | 10,70   |               |
| Bloque                               | 2  | 4,56     | 2,28   | 0,16    | 0,16    |               |
| Lámina de riego*Bloque               | 4  | 152,76   | 38,19  | 2,73    | 2,73    |               |
| Error                                | 70 | 978,81   | 13,98  |         |         |               |
| Total                                | 78 | 1.939,29 |        |         |         |               |

| Largo de la raíz - Localidad Totoró |    |          |       |         |         |               |
|-------------------------------------|----|----------|-------|---------|---------|---------------|
|                                     | GL | SC       | CM    | Valor F | Valor p | Significancia |
| Modelo                              | 8  | 48,65    | 6,08  | 0,15    | 0,9966  |               |
| Lámina de riego                     | 2  | 1,76     | 0,88  | 0,14    | 0,8723  | ns            |
| Bloque                              | 2  | 22,16    | 11,08 | 0,27    | 0,7676  |               |
| Lámina de riego*Bloque              | 4  | 24,97    | 6,24  | 0,15    | 0,9626  |               |
| Error                               | 71 | 2.962,46 | 41,72 |         |         |               |
| Total                               | 79 | 3.011,11 |       |         |         |               |

GL: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: cuadrados medios; no significativo (ns). Significancia estadística: \*\*\*:  $p<0,001$ , \*\*:  $p<0,01$ , \*:  $p<0,05$ , ns:  $p>0,05$   
Fuente: Elaboración propia

## Rendimiento

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento estimado en ninguna de las cuatro localidades para la variedad Blanca de Jericó por efecto de la aplicación de diferentes láminas de agua. Sin embargo, es de resaltar que en la localidad de La Vega se presentaron los rendimientos más altos (4,2 t/ha), seguido por Bolívar (3,8 t/ha), Silvia (2,0 t/ha) y Totoró (0,6 t/ha)

(figura 9.3). La productividad de la quinua está determinada por una compleja interacción entre factores genéticos y ambientales, incluyendo las condiciones del suelo, el clima y factores bióticos como la presencia de plagas o enfermedades. Esta interacción influye en la adaptación del material genético a su entorno (Bhargava et al., 2007; Curti et al., 2014; Tan & Temel, 2018). Las bajas temperaturas, especialmente durante la floración, pueden afectar negativamente el crecimiento y reducir la productividad de la quinua (El-Sadek, 2017; Maliro et al., 2017). De manera similar, el déficit hídrico también puede limitar el rendimiento de la quinua. Garrido et al. (2013) encontraron que el rendimiento de los genotipos de quinua puede reducirse a menos del 50 % cuando el riego se realiza con un 44 % y 80 % del agua calculada por evapotranspiración (ET<sub>o</sub>), lo que subraya la importancia de un riego adecuado para maximizar la productividad de este cultivo. En una investigación, Khaled et al. (2021) reportaron un rendimiento máximo de 0,6 t/ha al regar el cultivo de quinua al 100 % de la evapotranspiración (ET<sub>o</sub>). Sin embargo, es importante destacar que los rendimientos estimados en las localidades de Silvia, La Vega y Bolívar en el presente estudio superan el promedio nacional de 1,7 t/ha (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR], 2018). En contraste, el bajo rendimiento observado en la localidad de Totoró podría estar relacionado con la saturación de aluminio en el suelo, una característica que se presenta en esta localidad en un 32 % (tabla 9.2). Si bien García et al. (2015) mencionan que la quinua tolera suelos ácidos, no se especifica su tolerancia a altos niveles de aluminio. Este elemento es considerado uno de los principales factores que limitan la producción de cultivos en suelos ácidos, ya que aproximadamente el 50 % de la tierra arable potencial es ácida (Carreño & Chaparro-Giraldo, 2013).



**Foto:** Takumasa Kondo

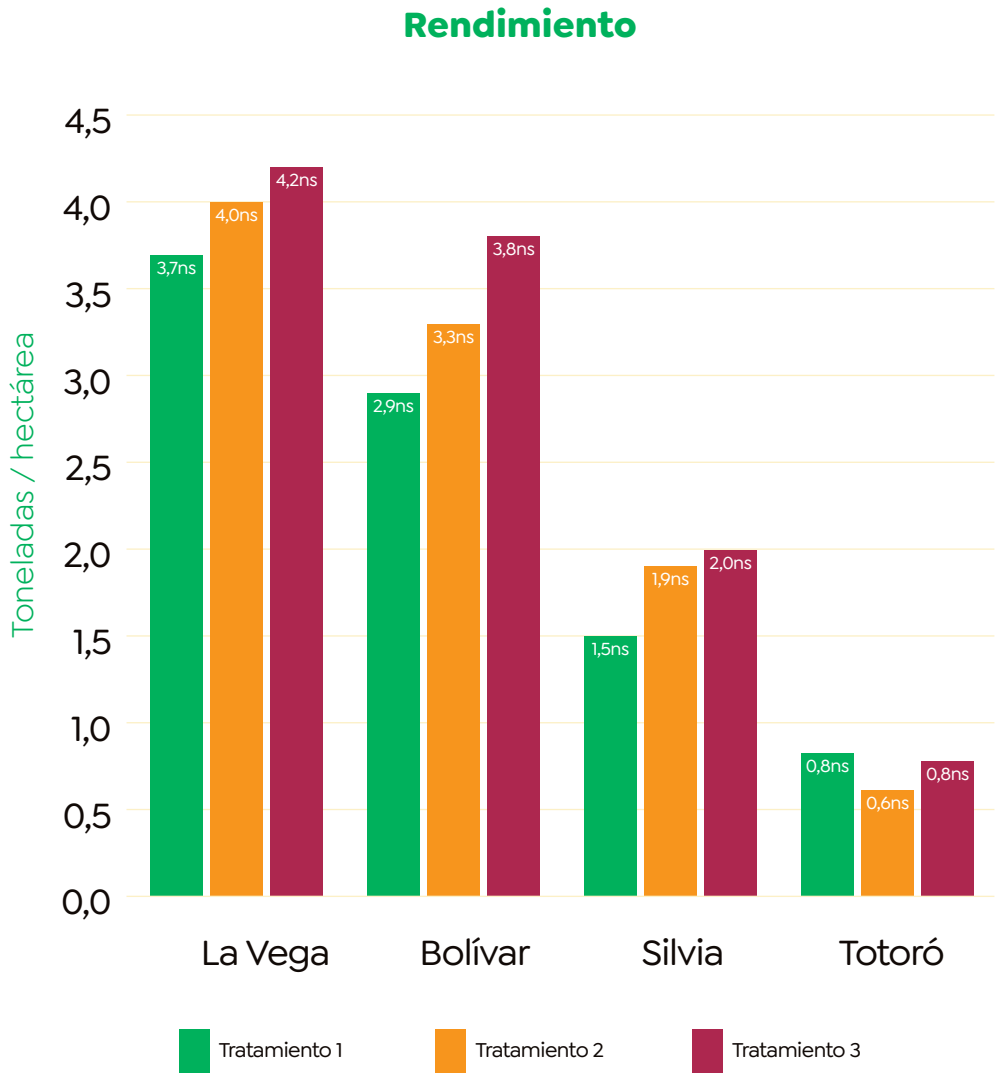


**Figura 9.3.** Estimación de rendimiento variedad Blanca de Jericó sometida a diferentes láminas de agua de riego en cuatro localidades del departamento del Cauca.

ns: no significativo, medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p>0,05$ )

Fuente: Elaboración propia

# Conclusiones

En las condiciones experimentales estudiadas, se observó que mantener el suelo con agua disponible hasta la etapa fenológica de grano pastoso resultó en una disminución del ciclo productivo, alcanzando esta etapa a los 148 días después de la siembra. En todas las localidades, el mejor rendimiento se obtuvo con la menor lámina de agua aplicada, aunque este rendimiento varió entre localidades, oscilando entre 0,6 t/ha y 4,2 t/ha.



Foto: Diana Milena Rodríguez-Mora



# Referencias

- Adama Colombia. (2023, 10 de diciembre). *Agua: un reto de gestión en la agricultura*. <https://www.adama.com/colombia/es/sostenibilidad/agua-un-reto-de-gestion-en-la-agricultura>
- Andrade, G. (2020). *Priorización de alternativas agropecuarias y diagnóstico del mercado para el departamento del Cauca*. Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). [https://upra.gov.co/Kit\\_Territorial/2-%20Informaci%C3%B3n%20por%20Departamentos/CAUCA/Alternativas%20Cauca.pdf](https://upra.gov.co/Kit_Territorial/2-%20Informaci%C3%B3n%20por%20Departamentos/CAUCA/Alternativas%20Cauca.pdf)
- Aroni, G., Blajos, J., Bonifacio, A., Rojas, W., Oros, R., Plata, G., & Quispe, R. (2024). Origen y características agronómicas de la quinoa. En G. Calvo (Ed.), *La agricultura boliviana del siglo XXI: la experiencia de la quinoa* (pp. 53-93). Universidad Privada Boliviana. <https://campusvirtual.upb.edu/la-agricultura-boliviana-del-siglo-xxi-libro-digital/>
- Bhargava, A., Shukla, S., & Ohri, D. (2007). Genetic variability and interrelationship among various morphological and quality traits in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Field Crops Research*, 101(1), 104-116. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.10.001>
- Carlosama, M. (2012). *Asistencia técnica al cultivo de quinoa (Chenopodium quinoa) en cinco veredas del municipio de Totoró en el marco del plan departamental «Cauca sin hambre»* [Tesis DE pregrado, Universidad del Cauca]. Repositorio Unicauca. <http://repositorio.unicauca.edu.co:8080/bitstream/handle/123456789/794/ASISTENCIA%20TECNICA%20AL%20CULTIVO%20DE%20QUINUA%20%28Chenopodium%20quinoa%29%20EN%20CINCO%20VEREDAS%20DEL%20MUNICIPIO%20DE%20TOTORO%20EN%20EL%20MARCO%20DEL%20PLAN%20DEPARTAMENTAL%20e2%80%9cCAUCA%20SIN%20HAMBRE%e2%80%9d.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Carreño, A., & Chaparro-Giraldo, A. (2013). Tolerancia al aluminio en especies vegetales: mecanismos y genes. *Universitas Scientiarum*, 18(3), 283-310. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.SC18-3.taev>
- Castro, A. J. H. (2018). *Determinación de la lámina de agua en el rendimiento del cultivo de quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) en el Porvenir, Trujillo, La Libertad* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/2844>
- Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia [CTA]. (2017). *Misión crecimiento verde. Informe de avance*. Departamento Nacional de Planeación (DNP). [https://www.dnp.gov.co/LaEntidad\\_/misiones/mision-crecimiento-verde/Documents/ejes-tematicos/Agua/20180422\\_DIAGNOSTICO\\_Vfinal.pdf](https://www.dnp.gov.co/LaEntidad_/misiones/mision-crecimiento-verde/Documents/ejes-tematicos/Agua/20180422_DIAGNOSTICO_Vfinal.pdf)
- Condori, O. (2008). *Evaluación participativa del riego deficitario y fertilización orgánica sobre el desarrollo y rendimiento de quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) en el Altiplano Sur* [Tesis de pregrado, Universidad Mayor de San Andrés]. <http://hdl.handle.net/123456789/4307>
- Cornejo, V., H. (2007). Alimentos incas para enfrentar el calentamiento global. *Revista Digital Universitaria*, 8(4), 2-8. [https://www.revista.unam.mx/vol.8/num4/art22/abril\\_art22.pdf](https://www.revista.unam.mx/vol.8/num4/art22/abril_art22.pdf)
- Curti, R. N., de la Vega, A. J., Andrade, A. J., Bramardi, S. J., & Bertero, H. D. (2014). Multi-environmental evaluation for grain yield and its physiological determinants of quinoa genotypes across Northwest Argentina. *Field Crops Research*, 166, 46-57. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.06.011>
- Decreto 3570 de 2011. "Por el cual se modifican los objetivos y la estructura del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y se integra el Sector Administrativo de Ambiente y Desarrollo Sostenible". Presidencia de la República de Colombia. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/09/decreto-3570-de-2011.pdf>
- El-Sadek, A., Balah, M., Romani, A., Ieri, F., Vignolini, P., Salem, E., Moselhy, N., & Virtuosi, I. (2017). Allelopathic potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes on the germination and initial development of some weeds and crops. *Egyptian Journal of Desert Research*, 67(1), 25-45. <https://dx.doi.org/10.21608/ejdr.2017.5843>

- García, M., Condori, B., & Del Castillo, C. (2015). Agroecological and agronomic cultural practices of quinoa in South America. En K. Murphy, & J. Matanguihan (Eds.), *Quinoa: improvement and sustainable production* (pp. 25-46). John Wiley & Sons.
- García-Parra, M. G., Zurita-Silva, A. Z., Stechauner-Rohringer, R., Roa-Acosta, D., & Jacobsen, S.-E. (2020). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and its relationship with agroclimatic characteristics: A Colombian perspective. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 2, 290-302. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392020000200290>
- Garrido, M., Silva, P., Silva, H., Muñoz, R., Baginsky, C., & Acevedo, E. (2013). Evaluación del rendimiento de nueve genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo diferentes disponibilidades hídricas en ambiente mediterráneo. *Idesia*, 31(2), 69-76. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292013000200010>
- Geerts, S., Raes, D., García, M., Miranda, R., Cusicanqui, J. A., Taboada, C., Mendoza, J., Huanca, R., Mamani, A., Condori, O., Mamani, J., Morales, B., Osco, V., & Steduto, P. (2009). Simulating yield response of quinoa to water availability with AquaCrop. *Agronomy Journal*, 101(3), 499-508. <https://doi.org/10.2134/agronj2008.0137s>
- Gómez, L., & Aguilar, C. (2016). *Guía de cultivo de la quinua*. FAO y Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://www.fao.org/3/i5374s/i5374s.pdf>
- Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático [Idiger]. (2024). *Caracterización general del escenario de cambio climático para Bogotá*. <https://www.idiger.gov.co/rcc>
- Izquierdo, J., Nayibe, L., & Oviedo, Y. A. (2011). Curvas características de humedad como herramienta de optimización y determinación del tiempo de riego. *Ingeniería y Región*, 8, 103-111. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5432205.pdf>
- Jacobsen, S. E., Mujica, A., & Jensen, C. R. (2003). The resistance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to adverse abiotic factors. *Food Reviews International*, 19(1-2), 99-109. <https://doi.org/10.1081/FRI-120018872>
- Kakabouki, I. P., Roussis, I., Hela, D., Papastylianou, P., Folina, A., & Bilalis, D. (2019). Root growth dynamics and productivity of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in response to fertilization and soil tillage. *Folia Horticulturae*, 31(2), 285-299. <https://sciencedirect.com/es/article/10.2478/forth-2019-0023>
- Khaled, S., Abdel-Nasser, G., Ahmed, A. H., Darwihs, K. M., & Ibrahim, O. M. (2021). Impact of irrigation deficit on yield, and water productivity of quinoa. *Journal of the Advances in Agricultural Researches*, 26(3), 120-128. <https://doi.org/10.21608/jalexu.2021.188848>
- Maliro, M., Guwela, V., Nyaike, J., Murphy, K. M. (2017). Preliminary studies of the performance of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes under irrigated and rainfed conditions of central Malawi. *Frontiers in Plant Science*, 8, 227. <https://doi.org/10.3389/fpls.00227>
- Mamani, E., Choque, E., Tangara, E., & Polar, V. (2017). Variedades de ciclo corto de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) como una medida de adaptación al retraso de lluvias en la siembra. *CienciAgro*, 7(1), 1-8. [http://revistasbolivianas.umsa.bo/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S2072-14042017000100001&lng=pt&nrm=iso](http://revistasbolivianas.umsa.bo/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2072-14042017000100001&lng=pt&nrm=iso)
- Manaa, A., Goussi, R., Derbali, W., Cantamessa, S., Essemine, J., & Barbato, R. (2021). Photosynthetic performance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) after exposure to a gradual drought stress followed by a recovery period. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) Bioenergetics*, 1862(5), 148383. <https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2021.148383>
- Martínez, T. L. (2019). *Mercado potencial para la quinua colombiana* [Tesis de pregrado, Universidad Agustiniiana]. Repositorio Universidad Agustiniiana. <https://repositorio.uniagustiniana.edu.co/bitstream/handle/123456789/1214/SantosMartinez-Tania-2019.pdf?sequence=1>

- Martirena-Ramírez, A., Veitía, N., Torres, D., Rivero, L., García, L., Collado, R., & Ramírez-López, M. (2019). Longitud de la raíz: indicador morfológico de la respuesta al estrés hídrico en *Phaseolus vulgaris* L. en casa de cultivo. *Biotechnología Vegetal*, 19(3), 225-233. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2074-86472019000300225&script=sci\\_abstract&lng=en](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2074-86472019000300225&script=sci_abstract&lng=en)
- Mendoza, J. (2008). *Estrategias de riego en tres épocas de siembra para el desarrollo de la quinua (Chenopodium quinoa Willd.) en el Altiplano Central* [Tesis de pregrado, Universidad Mayor de San Andrés]. Repositorio UMSA. <http://hdl.handle.net/123456789/4774>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2018, 24 de mayo). *En los últimos 4 años, la quinua ha tenido un crecimiento de más del 150 % en áreas de producción*. <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/En-los-%C3%BAltimos-4-a%C3%B1os,-la-quinua-ha-tenido-un-crecimiento-de-m%C3%A1s-del-150-en-%C3%A1reas-de-producci%C3%B3n.aspx>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego del Perú. (2023). *Observatorio Siembras y Perspectivas de la Producción: Campaña agrícola 2023/2024*. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5945877/4344772-observatorio-de-siembras-y-perspectivas-de-produccion-quinua%282%29.pdf?v=1709155759>
- Montes, C., Burbano, G. A., Muñoz, E. F., & Calderón, Y. (2018). Descripción del ciclo fenológico de cuatro ecotipos de (*Chenopodium quinoa* Willd.), en Puracé - Cauca, Colombia. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 16(2), 26-37. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(16\)26-37](https://doi.org/10.18684/BSAA(16)26-37)
- Mori, A. M. (2015). *Efecto de cinco láminas de riego en el cultivo de quinua (Chenopodium quinoa Willd.), mediante el riego por goteo* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/items/ba2941f9-e1e9-42f4-b613-83e8303f0a51>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2011). *La quinua: cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial*. <https://www.fao.org/4/aq287s/aq287s.pdf>
- Organización Internacional del Trabajo [OIT]. (2015). *Análisis de la cadena de valor en el sector de la quinua en Perú: aprovechando las ganancias de un mercado creciente a favor de los pobres*. [https://www.ilo.org/sites/default/files/2024-05/pru\\_wcms\\_423584.pdf](https://www.ilo.org/sites/default/files/2024-05/pru_wcms_423584.pdf)
- Paredes, D., & Arragan, F. B. (2018). Effect of overlap in sprinkler irrigation for quinoa production (*Chenopodium quinoa* Willd.) in the municipality of Patacamaya, Central Highlands. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 5(1), 16-26. [http://revistasbolivianas.umsa.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2409-16182018000100004&lng=en&nrm=iso](http://revistasbolivianas.umsa.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2409-16182018000100004&lng=en&nrm=iso)
- Pinto, M. (2015). Aspectos de la fisiología del cultivo de la quinua. *Boletín INIA*, 236, 33-46. <https://biblioteca.inia.cl/items/d9afcd2d-be2a-4583-82a9-7be8fd638078>
- Polanía, J. A., Rao, I. M., Beebe, S., & García, R. (2009). Desarrollo y distribución de raíces bajo estrés por sequía en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en un sistema de tubos con suelo. *Agro-nomía Colombiana*, 27(1), 25-32. <https://www.redalyc.org/pdf/1803/180314730004.pdf>
- Rojas, V. (2021). *Comportamiento de la quinua en los departamentos de Cauca, Nariño y Boyacá en el periodo 2015-2019* [Tesis de pregrado, Universidad Antonio Nariño]. Repositorio Universidad Antonio Nariño. <https://repositorio.uan.edu.co/server/api/core/bitstreams/8ce82883-8dd8-4d48-9e97-385f0b69bb1a/content>
- Ruiz, D. M., Martínez, J. P., & Figueroa, A. (2015). Agricultura sostenible en ecosistemas de alta montaña. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 13(1), 129-138. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1692-35612015000100015](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612015000100015)
- Salim, S. A., Hadeethi, I. K. H., & Al.hadithi, R. A. G. M. (2020). Water stress on different growing stages for quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and its influence on water requirements and yield. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*, 51(3), 953-966. <https://doi.org/10.36103/ijas.v51i3.1051>

- Sanandaji, D. S., Heidari, G., Fathi, P., Khodaverdiloo, H., & Sharifi, Z. (2024). Soil properties and quinoa yield as affected by irrigation and vermicompost application under a drip-tape irrigation system. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 1-13. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1277934>
- Tan, M., & Temel, S. (2018). Performance of some quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes grown in different climate conditions. *Turkish Journal of Field Crops*, 23(2), 180-186. <https://doi.org/10.17557/tjfc.485617>
- Tapia, M., Gandarillas, H., & Alandia, S. (1979). *La quinua y la kañiwa: cultivos andinos*. IICA. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/16254>
- Van, J., Lambrecht, M. A., Housmans, J. A. J., Rousseau, F., Schymkowitz, J., & Delcour, J. A. (2021). Impact of hydrothermal treatment on denaturation and aggregation of water-extractable quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) protein. *Food Hydrocolloids*, 115, 106611. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106611>



Chinche hediondo (Pentatomidae).  
Foto: Takumasa Kondo



# Autoría

## Caren Rodríguez-Medina

cdrodriguez@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4227-2026>

Ingeniera agrónoma de la Universidad Nacional de Colombia. Realizó sus estudios de posgrado en Mejoramiento Genético Vegetal en Australia en las universidades de Adelaida y de Australia Occidental. Cuenta con experiencia en mejoramiento genético por resistencia a enfermedades, evaluación de material genético por tolerancia a factores de estrés abiótico, estrategias de selección participativas y mecanismos de traslocación de macromoléculas en la planta. Tiene amplia experiencia en investigación y formulación de proyectos. En Francia, realizó un posdoctorado en el departamento de Virología del Instituto Nacional para la Investigación Agronómica (INRA) acerca de la interacción virus-planta. En la actualidad, lidera los Programas de Mejoramiento genético de cacao y de quinoa de AGROSAVIA, orientados al aprovechamiento sostenible de la biodiversidad, incremento de la producción, disminución de las pérdidas por limitantes fitosanitarias y tolerancia a factores de estrés abiótico como resultado de los efectos del cambio climático.

## Daniel Ortiz-González

dfortiz@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6743-9374>

Ingeniero Agrónomo (2007-2013) y magíster en Bosques y Conservación Ambiental con énfasis en Fisiología Vegetal (2013-2015) de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Desde 2016 se desempeña como investigador en la Red de Cultivos Transitorios y Agroindustriales de AGROSAVIA Sede Popayán, donde ha participado en proyectos de investigación y transferencia de tecnología con comunidades campesinas e indígenas del Cauca. Su investigación se centra en la ecofisiología de cultivos tropicales como quinoa, fique, tomate y frutales, evaluando el efecto del estrés abiótico, nutrición, polinización y podas en la productividad y sostenibilidad. Ha publicado y presentado sus hallazgos científicos en revistas indexadas y congresos especializados.

## **Diana Lucía Correa-Moreno**

[dlcorrea@agrosavia.co](mailto:dlcorrea@agrosavia.co)

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1655-6102>

Ingeniera agrónoma, magíster y doctora en Ciencias Agrarias, línea de investigación Manejo de Suelos y Aguas de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. Tiene experiencia en planificación y ejecución de proyectos de investigación y extensión en el área de degradación, desertificación, cambio climático, cuencas hidrográficas, manejo y conservación de suelos y aguas, evaluación de tierras e indicadores de calidad del suelo. Ha trabajado en la evaluación y monitoreo de indicadores de degradación de suelos y desertificación, generando modelos para valoración de riesgo de desertificación en condiciones tropicales, mediante la utilización de indicadores biofísicos y socioeconómicos. En la actualidad colabora en AGROSAVIA como investigadora principal y asociada en proyectos de manejo agronómico de cultivos (aguacate, cítricos, guayaba, mora, quinua), evaluación de especies nativas forestales y servicios ecosistémicos asociados, zonificación de cultivos y gestión del riesgo agroclimático.

## **Diana Milena Rodríguez-Mora**

[dmrodriguez@agrosavia.co](mailto:dmrodriguez@agrosavia.co)

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6545-3746>

Ingeniera agrónoma y magíster en Ciencias Agrarias, línea de investigación en Protección de Cultivos con énfasis en Fitopatología de la Universidad Nacional de Colombia. Trabaja en manejo integrado de enfermedades en los cultivos de aguacate, cacao, cítricos, plátano y quinua. Tiene experiencia en la implementación de metodologías de diagnóstico de virus, viroides, bacterias, hongos y oomicetos con métodos tradicionales, biológicos y moleculares. Aplicación de marcadores moleculares para determinar diversidad genética de plantas y fitopatógenos. Desde julio de 2016 está vinculada a AGROSAVIA, donde actualmente se desempeña como Investigadora Máster en el C. I. Palmira.

## Dubert Yamil Cañar-Serna

dcanar@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8357-1401>

Ingeniero agroindustrial y magíster en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. Tiene experiencia en la aplicación de conceptos técnicos y tecnológicos en la transformación industrial de materias primas y aprovechamiento de subproductos del sector agroindustrial; manejo y uso de herramientas para análisis moleculares, palinológicos y citogenéticos dirigidos a la investigación sostenible de los recursos genéticos; diseño y establecimiento de herramientas virtuales de divulgación agropecuaria destinadas a asistentes técnicos y productores con base en la sistematización de experiencias, e implementación de herramientas asociadas a la trazabilidad para la producción de material de propagación. Director de proyecto del Banco de Germoplasma Vegetal de la Nación Colombiana disponible en campo, en el contexto de mantenimiento, conservación y bioprospección del recurso biológico del país. Actualmente, es Investigador Máster Asociado en el C. I. Palmira de AGROSAVIA, adscrito a la Red de Cultivos Transitorios y Agroindustriales.

## Jackeline Gaviria

ygaviriav@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1993-8862>

Bióloga egresada de la Universidad del Valle y magíster en Ciencias Agrarias (Protección de Cultivos) de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. Experta en entomología, microbiología y protección de cultivos. Ha liderado proyectos innovadores en manejo integrado de plagas en cultivos estratégicos como palma y quinua. Desde 2017 se desempeña como Investigadora Máster en el C. I. Palmira de AGROSAVIA, aportando soluciones sostenibles al sector agrícola.

## Jader Rodríguez-Cortina

[jrodriguezc@agrosavia.co](mailto:jrodriguezc@agrosavia.co)

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5346-092X>

Ingeniero agroindustrial de la Universidad del Atlántico, magíster en Ciencia e Ingeniería de los Alimentos, magíster en Gestión y Seguridad Alimentaria y PhD en Ciencia, Tecnología y Gestión Alimentaria de la Universitat Politècnica de València. Tiene más de diez años de experiencia profesional en el desarrollo de soluciones para optimización energética y productiva de procesos agroalimentarios, incluyendo simulación y control de procesos, y estudiando cómo los procesos afectan la calidad de los productos. Además, ha liderado proyectos de investigación y desarrollo enfocados en la agroindustria y el fortalecimiento de procesos de innovación tecnológica en el sector agropecuario. Actualmente, es Investigador PhD Sénior en el C. I. Tibaitatá de AGROSAVIA.

## Consuelo Montes-Rojas

[cmonter@unicauca.edu.co](mailto:cmonter@unicauca.edu.co)

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8117-9465>

Ingeniera agrónoma y magíster en Ciencias con énfasis en Recursos Fitogenéticos Neotropicales de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. Posee amplia experiencia en investigación y participación en proyectos con énfasis en fisiología, mejoramiento de cultivos, producción tropical sostenible y sistemas integrados de producción agraria en una organización internacional y otra de educación superior, con experiencia en trabajos generales de investigación y selección de cultivares de plantas de diferentes especies, especialmente en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) y quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Evaluación de proyectos y programas académicos. Gestión integral de proyectos, análisis, resolución de problemas y toma de decisiones ágiles. Liderazgo efectivo, desarrollo de estrategias, motivación de equipos y logro de objetivos.



## Takumasa Kondo

tkondo@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3192-329X>

Ingeniero agrónomo y magíster en Ciencias de la Universidad de Agricultura de Tokio, doctorado en Auburn University y posdoctorado en la Universidad de California. Trabaja en el área de manejo integrado de plagas de frutales tropicales y es especialista en la taxonomía de los insectos escama. Editor de la *Revista Colombiana de Entomología* (2021-presente) y de la revista corporativa *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* (2016-2021); editor temático de las revistas científicas *Neotropical Entomology* (2007-presente), *Revista Brasileira de Entomologia* (2018-presente), *Journal of Insect Science* (2010-2019), *Zookeys* (2021-presente), *Phytoparasitica* (2022-presente) y miembro del comité editorial de las revistas *Entomologia Experimentalis et Applicata* (2020-presente), *Fronteras de la Ciencia* (2018-presente) e *International Journal of Insect Science* (2008-2019). Miembro de la Entomological Society of America, la Sociedad Colombiana de Entomología y de la International Organization for Biological Control (IOBC), Neotropical Regional Sección (NTRS). Ha escrito más de 200 artículos científicos en revistas indexadas, libros, capítulos de libro y otras publicaciones. Actualmente, es Investigador PhD Sénior en el C. I. Palmira de AGROSAVIA.

## Arturo Carabalí-Muñoz

acarabali@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-7623-3316>

Ingeniero agrónomo con una sólida formación en Ciencias Biológicas (MSc y PhD) y especialización en Entomología Económica, Etnobiología, Estadística Aplicada y Geomática. Experto en el diseño y ejecución de proyectos de investigación enfocados en el desarrollo de estrategias integrales para el manejo de plagas en frutales tropicales. Combina conocimientos en ecología, epidemiología y geoestadística para comprender las interacciones planta-insecto y desarrollar modelos de distribución de plagas. Cuenta con amplia experiencia en la identificación de resistencia de plantas a insectos y en la implementación de técnicas de control biológico.

## Edwin Andrés Villagrán-Munar

[evillagran@agrosavia.co](mailto:evillagran@agrosavia.co)

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1860-5932>

Ingeniero agrícola y magíster en Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional de Colombia. Tiene más de catorce años de experiencia profesional y se ha especializado en desarrollo y gestión de proyectos de agricultura protegida, abarcando sistemas de invernadero y tecnologías de producción agrícola y agroindustrial avanzada. Ha liderado la implementación de estrategias de innovación y transferencia tecnológica en ambientes controlados, contribuyendo significativamente al fortalecimiento de la investigación en esta área. Su producción científica incluye más de cincuenta publicaciones en revistas indexadas, centradas en temas como la optimización de microclimas, sistemas de riego automatizados y uso de herramientas emergentes en la agricultura. Actualmente, es Investigador Máster Sénior y Coordinador de Espacios Controlados en AGROSAVIA.

## John Javier Espitia-González

[jjespitia@agrosavia.co](mailto:jjespitia@agrosavia.co)

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2684-655X>

Ingeniero mecánico y magíster en Energías Renovables y Sostenibilidad Energética. Tiene experiencia en el diseño y tecnificación de plantas de producción, trabajando en el desarrollo de maquinaria agrícola, industrial y agroindustrial. Está vinculado a AGROSAVIA desde 2016, donde ha participado en proyectos enfocados en mejorar la eficiencia y sostenibilidad de los procesos productivos con la aplicación de tecnologías limpias para reducir el impacto ambiental en el sector agroindustrial. Actualmente, está adscrito a la Red de Cacao y participa en investigaciones de ingeniería de procesos.

## Germán Andrés Aguilera-Arango

[gaguilera@agrosavia.co](mailto:gaguilera@agrosavia.co)

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3942-4658>

Biólogo de la Universidad del Valle y magíster en Ciencias Biológicas - línea de investigación en Biotecnología Vegetal de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. Tiene experiencia en investigación en las áreas de biotecnología, recursos fitogenéticos, producción vegetal, fitopatología, transferencia de tecnología y extensionismo rural, principalmente en cultivos de clima cálido y frío moderado como batata (*Ipomoea batatas* L.), coco (*Cocos nucifera* L.), granada (*Punica granatum* L.), guayaba (*Psidium guajava* L.), lulo (*Solanum quitoense* Lam.), quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), yuca (*Manihot esculenta* Crantz), entre otros. Actualmente, trabaja en el área de los recursos genéticos vegetales, enfocando su interés de investigación en temas como manejo fitosanitario *in vitro*, conservación, mantenimiento y mejoramiento genético vegetal a partir de técnicas biotecnológicas, principalmente en el área de cultivo *in vitro* de tejidos vegetales.

## Leidy Patricia Tibaduiza-Castañeda

[ltibaduiza@agrosavia.co](mailto:ltibaduiza@agrosavia.co)

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9429-063X>

Candidata a doctora en Estudios Sociales, magíster en Antropología Social de la Universidad de los Andes, especialista en Desarrollo Rural de la Universidad Nacional de Colombia, licenciada en Psicología y Pedagogía de la Universidad Pedagógica Nacional y pasante de posgrado en el Centro Cultural Poveda de República Dominicana. Cuenta con experiencia en creación y fortalecimiento de redes rurales, diseño de cualificaciones para el sector agropecuario, procesos de sistematización de experiencias, docencia universitaria y en evaluación ambiental y cambio climático. Tiene habilidades para el trabajo interdisciplinar y el diseño, gestión, ejecución y evaluación de proyectos. Actualmente, es Investigadora Máster asociada en el C. I. Tibaitatá de AGROSAVIA, donde está adscrita a la Red de Innovación de Cultivos Transitorios y Agroindustriales.

## Henry Hernández-Martínez

[hahernandezm@udistrital.edu.co](mailto:hahernandezm@udistrital.edu.co)

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2323-0242>

Ingeniero en Automatización y Control y magíster en Ingeniería de Telecomunicaciones. Se desempeña como docente e investigador en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas en áreas como sistemas de múltiples robots, aplicación de tecnologías de la Industria 4.0 en procesos de manufactura flexible y desarrollo de aplicaciones informáticas que incorporen aprendizaje computacional.

## José Ives Pérez-Zúñiga

[jiperez@agrosavia.co](mailto:jiperez@agrosavia.co)

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2335-7796>

Ingeniero agrónomo con maestría en Agricultura Ecológica (CATIE). Experto en producción sostenible de cultivos tropicales, con énfasis en palma de aceite, cacao y sistemas agroforestales. Ha liderado proyectos de investigación en mejoramiento genético, conservación de biodiversidad y desarrollo de prácticas agrícolas sostenibles. Cuenta con amplia experiencia en docencia universitaria, asistencia técnica a productores y gestión de proyectos de investigación. Sus conocimientos en ecología, genética y manejo de agroecosistemas le permiten desarrollar soluciones innovadoras para los desafíos de la agricultura en zonas tropicales.

## Sebastián Escobar-Parra

[s.escobar@cgjar.org](mailto:s.escobar@cgjar.org)

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1341-837X>

PhD en Ingeniería Química. Líder de Laboratorio de Cacao y Chocolate de Cacao de Excelencia de la Alianza Bioersity International and CIAT. Lideró el programa nacional de investigación en poscosecha de cacao, con el fin de fortalecer la competitividad y sostenibilidad de la cadena de valor del cacao y chocolate colombiano, mediante el desarrollo y escalamiento de bioprocesos y bioproductos innovadores que preserven las características funcionales y nutricionales de la materia prima.



## Carolina Ángel-García

cangel@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2411-6193>

Ingeniera agrónoma con énfasis en Sanidad Vegetal, cuenta con habilidades para aislar, propagar e identificar molecularmente microorganismos antagonistas, entomopatógenos y fitopatógenos. Posee destrezas en el manejo integrado de enfermedades, análisis de datos por medio de la bioestadística, producción de cultivos perennes y transitorios, en trabajo con comunidades indígenas y campesinas.

## Camila A. Hernández-Varela

chernadezv@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2647-6213>

Ingeniera agrónoma de la Universidad Nacional de Colombia con experiencia en las áreas de fitopatología, fisiología de arroz (*Oryza sativa* L.) y mejoramiento genético de cacao (*Theobroma cacao* L.) y de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Además, cuenta con experiencia en el análisis estadístico de bases de datos e interpretación de resultados, evaluación de ensayos de progenies por tolerancia a déficit hídrico y componentes de rendimiento, estudios de la acumulación de cadmio en cacao y evaluación de genotipos por resistencia a *Phytophthora palmivora*. Actualmente, se desempeña como Profesional de Apoyo a la Investigación en el C. I. Palmira de AGROSAVIA.

## Edier Santiago Imbachi-Benavides

edierimbachi@unicauca.edu.co

Orcid: <https://orcid.org/0009-0007-1111-6454>

Ingeniero agropecuario egresado de la Universidad del Cauca. Tiene experiencia en proyectos de investigación en el área de mejoramiento de semillas, principalmente en el cultivo de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Amplio conocimiento en el manejo integrado de plagas y enfermedades de quinua. Trayectoria en proyectos de extensionismo rural, capaz de gestionar, planificar y coordinar estrategias de trabajo. Posee habilidades de transferencia de conocimientos a comunidades indígenas y campesinas, con capacidad para trabajar en equipo e individualmente.

## Edinson Castillo-López

[ecastillo@agrosavia.co](mailto:ecastillo@agrosavia.co)

Orcid: <https://orcid.org/0009-0008-9214-8120>

Ingeniero de Alimentos de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) y tecnólogo químico de la Universidad del Valle. Actualmente, se desempeña como Profesional de Apoyo a la Investigación en AGROSAVIA, en proyectos de investigación orientados al manejo agronómico de cultivos como guayaba, aguacate, forestales y cacao, con enfoque en la determinación de propiedades físicas y químicas de suelos y cuantificación de variables de calidad interna de fruta de interés agroalimentario.

## Elías Carranza-Hernández

[ecarranza@agrosavia.co](mailto:ecarranza@agrosavia.co)

Orcid: <https://orcid.org/0009-0004-2547-1308>

Ingeniero agrónomo de la Universidad del Tolima con especialización tecnológica en Fertirriego. Se ha desempeñado profesionalmente por más de seis años en la agricultura, en diferentes áreas asociadas a la agronomía, específicamente suelos, riego agrícola, fisiología vegetal, sanidad vegetal y poscosecha agrícola. Gran parte de esta dedicación profesional está orientada a la investigación, inicialmente en el cultivo de palma de aceite con Cenipalma y, actualmente, en los cultivos de quinua y aguacate con AGROSAVIA.

## Fabián Andrés Velásquez-Ayala

[favelasquez@agrosavia.co](mailto:favelasquez@agrosavia.co)

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1535-3549>

Ingeniero agroindustrial y magíster en Ingeniería Química. Tiene experiencia en proyectos de investigación en el campo de la ingeniería de procesos agroindustriales, con énfasis en materias primas de origen biológico. Sus actividades de investigación incluyen modelación, simulación numérica y validación de procesos de conversión termoquímica de biomasa, transferencia de calor en módulos de producción de azúcar no centrífugos, invernaderos cubiertos con plástico y secadores de alimentos tipo cubierta. Adicionalmente, ha participado en proyectos de diseño y evalua-

ción de equipos para módulos de producción de azúcar de caña no centrífugos y sistemas de calefacción pasiva para invernaderos. Competente en simulación numérica en el campo de la dinámica de fluidos computacional (CFD). Actualmente, es Profesional de Apoyo a la Investigación en el C. I. Tibaitatá de AGROSAVIA.

## **Luz Natalia Martínez-Caballero**

[lnmartinez@agrosavia.co](mailto:lnmartinez@agrosavia.co)

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0967-3642>

Ingeniera agrónoma de la Universidad del Tolima, con formación en gestión de proyectos en el sector agropecuario y diez años de experiencia en estudios fitopatológicos de cultivos de interés económico. Actualmente, es estudiante del programa de Maestría en Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia y se desempeña como Profesional de Apoyo a la Investigación en el C. I. Palmira de AGROSAVIA, donde se enfoca en el estudio etiológico y epidemiológico de enfermedades limitantes que afectan a especies frutales y transitorias.

## **Isabel Cristina Ramírez-Paz**

[icramirez@agrosavia.co](mailto:icramirez@agrosavia.co)

Orcid: <https://orcid.org/0009-0004-9867-0244>

Ingeniera agrónoma egresada de la Universidad Nacional de Colombia, con sólida experiencia en la producción y sanidad de cultivos estratégicos como caña de azúcar, café y quinoa. Su pasión por la fitopatología la ha llevado a desarrollar un profundo conocimiento en el diagnóstico y manejo integrado de enfermedades, tanto a nivel de campo como de laboratorio. Destaca su habilidad para la generación de conocimiento a través de la programación y ejecución de labores de campo, la toma de datos y la transferencia de tecnología. Cuenta con amplia experiencia en el establecimiento y manejo agronómico del cultivo del café, así como en el diagnóstico de enfermedades en diversos cultivos mediante técnicas moleculares, incluyendo la extracción de ácidos nucleicos y la realización de PCR.

## Óscar Eduardo Paredes-Martínez

[oparedes@agrosavia.co](mailto:oparedes@agrosavia.co)

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3097-9531>

Ingeniero Agrónomo con especialización en Gerencia de Proyectos y estudiante de Maestría en Ciencias Agrarias con énfasis en Producción de Cultivos. Experto en fisiología vegetal, nutrición de plantas y manejo integrado de cultivos. Ha participado en la formulación y ejecución de proyectos de investigación. Ha liderado proyectos en agricultura sostenible, seguridad alimentaria y transferencia de tecnología. Su experiencia incluye el diseño y evaluación de programas de fertilización y estimación de requerimientos nutricionales de plantas, evaluación de fibras naturales (fique y piña) y establecimiento de esquemas de producción de semilla de calidad en fique y quinua.

## Robert Rosero

[rarserom@unal.edu.co](mailto:rarserom@unal.edu.co)

Orcid: <https://orcid.org/0009-0000-1859-0342>

Ingeniero agrónomo con énfasis en Investigación Agrícola en las áreas de entomología, fisiología y fitopatología. Es coautor de dos libros académicos con la editorial AGROSAVIA y de dos artículos científicos publicados en revistas internacionales. Estuvo vinculado a AGROSAVIA entre 2019 y 2024, donde desarrolló actividades de monitoreo de plagas cuarentenarias y participó en la creación de un *software* de predicción de focos de aparición de plagas por medio de variables climáticas en el cultivo de aguacate. También realizó un estudio sobre la entomofauna asociada al cultivo de la quinua donde se identificaron insectos fitófagos, visitantes y benéficos, por medio de claves taxonómicas.

## Yaneth Patricia Ramos-Villafañe

[yramos@agrosavia.co](mailto:yramos@agrosavia.co)

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8430-4209>

Ingeniera agrónoma de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. Tiene experiencia en investigación en las áreas de control biológico, entomología y producción de organismo benéficos. En la actualidad se desempeña como Profesional de Apoyo a la Investigación en el C. I. Palmira de AGROSAVIA, responsable del manejo agronómico integrado de los cultivos de banano, quinua y piña, todos enfocados en diferentes líneas del mejoramiento genético.





Foto: Diana Milena-Rodríguez-Mora



# AGROSAVIA

Corporación colombiana de investigación agropecuaria

La quinua (*Chenopodium quinoa*) se considera uno de los alimentos con un importante valor biológico, calidad nutricional y funcional. En Colombia, sobresale su potencial como cultivo estratégico para la seguridad y la soberanía alimentaria de las comunidades, a la vez que representa una alternativa para incrementar la producción sostenible de alimentos de calidad, que contribuya a satisfacer las necesidades nutricionales de la población y al fortalecimiento de la economía. Existe un consenso generalizado entre productores y agroindustrias del departamento del Cauca acerca de que la quinua representa una actividad económica importante, y dada su expansión y consolidación, requiere de un modelo productivo para las zonas productoras del país. Este libro contribuirá a complementar, ampliar y llenar vacíos de información, al recopilar los resultados de cuatro años de investigación participativa que demuestran que el aprovechamiento integral y potencial del cultivo puede ser alcanzado con la sinergia del conocimiento tradicional de las comunidades y los desarrollos de investigación.

El contenido incluye tres componentes: mejoramiento genético, agronomía y poscosecha. El primero contiene un capítulo que presenta generalidades del programa de mejoramiento genético y desarrollo de líneas promisorias de quinua, en el segundo se presentan cinco capítulos que muestran avances en requerimientos nutricionales, densidades de siembra, agricultura de conservación, entomofauna y enfermedades asociadas al cultivo, y el tercero está conformado por dos capítulos sobre la trazabilidad en el modelo productivo de quinua y la optimización tecnológica para la poscosecha de quinua. Esperamos que este documento sea de interés para investigadores en el sistema productivo de quinua, asistentes técnicos y productores.

[www.agrosavia.co](http://www.agrosavia.co)



BIBLIOTECA AGROPECUARIA DE COLOMBIA

Correo: [bac@agrosavia.co](mailto:bac@agrosavia.co)

Teléfono: (+57 601) 4227300 ext. 1257 o 1274

Skype: [biblioteca.agropecuaria](https://www.skype.com/name/biblioteca.agropecuaria)

ISBN: 978-958-740-781-5



Distribución gratuita  
Prohibida su venta