

Gestión del riesgo **agroclimático** del cultivo de la papa *Solanum tuberosum* L.

Autores

Douglas A. Gómez-Latorre
Gustavo Alfonso Araujo-Carrillo
Andrea Onelia Rodríguez Roa
Jhon Mauricio Estupiñán-Casallas
Lilia Constanza Molano Bernal
Viviana Marcela Varón-Ramírez
Juan Carlos Martínez Medrano
Elías Alexander Silva-Arero
Ángela María Castaño-Marín



Gobernación de
Cundinamarca

Secretaría de
Agricultura y
Desarrollo Rural







Gestión del riesgo agroclimático del cultivo de la papa *Solanum tuberosum* L.

| Colección Alianzas AGROSAVIA |

Autores

Douglas A. Gómez-Latorre

Gustavo Alfonso Araujo-Carrillo

Andrea Onelia Rodríguez Roa

Jhon Mauricio Estupiñán-Casallas

Lilia Constanza Molano Bernal

Viviana Marcela Varón-Ramírez

Juan Carlos Martínez Medrano

Elías Alexander Silva-Arero

Ángela María Castaño-Marín



Gobernación de
Cundinamarca

Secretaría de
Agricultura y
Desarrollo Rural



AGROSAVIA
EDITORIAL

Gestión del riesgo agroclimático del cultivo de la papa *Solanum tuberosum* L. / Douglas
Andrés Gómez Latorre [y otros ocho] – Mosquera, (Colombia) : AGROSAVIA, 2024.

104 páginas (Colección Alianzas AGROSAVIA)
Incluye referencias bibliográficas, ilustraciones y gráficos.
ISBN e-Book: 978-958-740-741-9

1. *Solanum tuberosum* 2. Agro climatología 3. Gestión de riesgos 4. Conservación de aguas
5. Gestión del conocimiento 6. Nutrición de la planta 7. Mitigación del cambio climático.

Palabras clave normalizadas según Tesauro Multilingüe de Agricultura -Agrovoc
Catalogación en la publicación – Biblioteca Agropecuaria de Colombia

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA)

Centro de Investigación Tibaitatá. Kilómetro 14 vía Mosquera-Bogotá, Mosquera. Código postal 250047, Colombia.
Centro de Investigación La Selva, Kilómetro 7, vía Rionegro-Las Palmas, sector Llanogrande. Rionegro, Antioquia.
Código postal 054040, Colombia.

Esta publicación se deriva del proyecto “Modelo de simulación del cultivo de la papa, a partir de mediciones de la evapotranspiración real, el balance de carbono y de energía y la productividad, en relación con la oferta climática cambiante en el departamento de Cundinamarca”, código 66153, financiado por el Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sistema General de Regalías, administrado por el Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación Francisco José de Caldas, el Programa Colombia BIO, la Gobernación de Cundinamarca, el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), proyecto “Sistema de Información Agroclimática del cultivo de la papa SIAP F1”, código 1000911-TV19.

Colección: Alianzas AGROSAVIA
Tipología: Manual

Fecha de recepción: 9 de septiembre de 2022
Fecha de evaluación: 4 de noviembre de 2022
Fecha de aceptación: 16 de enero de 2023

Primera edición: julio de 2024

Preparación editorial
Editorial AGROSAVIA
editorial@agrosavia.co
Dirección editorial: Astrid Verónica Bermúdez Díaz
Edición: Liliana Gaona García
Corrección de estilo: Nathalie De la Cuadra N.
Diseño: Mónica Cabiativa Daza
Diagramación: María Paula Berón Ramírez

Citación sugerida: Gómez-Latorre, D. A., Araujo-Carrillo, G. A., Rodríguez Roa, A. O., Estupiñán-Casallas, J. M., Molano-Bernal, L. C., Varón-Ramírez, V. M., Martínez-Medrano, J. C., Silva-Arero, E. A., & Castaño-Marín, Á. M. (2024). Gestión del riesgo agroclimático del cultivo de la papa *Solanum tuberosum* L. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).
<https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7407419>

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

Línea de atención al cliente: 018000121515
atencionalcliente@agrosavia.co
<http://www.agrosavia.co>



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

Contenido

9 Los autores

15 Presentación

19 Introducción

Capítulo I

23 La lógica de la gestión del riesgo agroclimático en el contexto del cambio climático

25 ¿El cultivo de la papa tiene relación con el cambio climático?

27 ¿Por dónde empezar?

29 ¿Qué aspectos se deben considerar para adaptarse al cambio climático y mitigarlo desde la perspectiva de la producción agrícola?

Capítulo II

33 La información climática y de suelos

33 Gestión de la información climática

47 Gestión de la información de suelos

Capítulo III

57 La gestión del agua, el carbono y la nutrición en el cultivo de la papa

57 Fenología del cultivo de papa

59 Respuesta de la planta de papa al estrés hídrico

63 Gestión del agua

73 Gestión del carbono

78 Gestión de la nutrición

Capítulo IV

85 La gestión del conocimiento: estrategia para disminuir el riesgo agroclimático

86 Actores de la red técnica del cultivo de la papa R-12

92 Financiación

95 Agradecimientos

96 Referencias

Figuras

Figura 1	Escalas de intervención	26
Figura 2	Sipra	28
Figura 3	Esquema de los distintos ámbitos que conlleva la resiliencia territorial en el cambio climático desde el factor de la producción agrícola	28
Figura 4	Esquema de gestión del riesgo agroclimático	30
Figura 5	Cuadro del Sistema Experto MAPA para la gestión del riesgo agroclimático	31
Figura 6	Información meteorológica y climática en la agricultura	34
Figura 7	Red de estaciones agrometeorológicas en el núcleo productivo de papa en Sabana de Occidente	36
Figura 8	Fuentes de consulta de información climática a nivel nacional en diferentes escalas de tiempo	40
Figura 9	Módulos que componen el SE-MAPA	41
Figura 10	Ruta para la descarga de información de DHIME	42
Figura 11	Ruta para la descarga de información de FieldClimate®	45
Figura 12	Caracterización de las variables climáticas en el núcleo productivo de papa de Sabana de Occidente con información del periodo 1981-2010	46
Figura 13	Sistemas de información de suelos a diferentes escalas	48
Figura 14	Principales características físicas de los suelos	50
Figura 15	Toma de muestras para física de suelos	53
Figura 16	Descripción general del paisaje en Sabana de Occidente	54
Figura 17	Características del origen y las problemáticas de uso en los suelos de Sabana de Occidente	55
Figura 18	Descripción del ciclo fenológico del cultivo de la papa para la variedad Diacol Capiro	58
Figura 19	Efecto del estrés hídrico según la etapa fenológica del cultivo de papa	59
Figura 20	Respuesta en algunas variables de crecimiento fisiológicas, bioquímicas y moleculares de la planta de papa sometida a estrés hídrico	61
Figura 21	Reducción de índice de área foliar en Diacol Capiro (DC) y Perla Negra (PN), luego de ser sometidas a 10 y 15 días de estrés hídrico	62
Figura 22	Eficiencia en el riego	66
Figura 23	Ejemplo de una hoja técnica de aspersor	67

Figura 24	Esquema general de la ubicación y posición de los aspersores y cañones	68
Figura 25	Información necesaria para el cálculo del volumen requerido de agua por el cultivo de papa	72
Figura 26	Ejemplo práctico para el cálculo del riego requerido, según el criterio convencional	72
Figura 27	Cultivo de papa bajo riego ubicado en Subachoque, Cundinamarca, monitoreando la humedad del suelo	75
Figura 28	Lote de papa var. Diacol Capiro en condiciones de quema de la parte aérea del cultivo 15 días antes de la cosecha, Subachoque, Cundinamarca	77
Figura 29	Proporción de cada nutriente con respecto al total de nutrientes extraídos por los tubérculos para la variedad Perla Negra y Diacol Capiro	80
Figura 30	Estrategias de gestión de la nutrición en condiciones de déficit hídrico en el cultivo de papa	81
Figura 31	Red técnica del sistema productivo de papa R-12 en Sabana de Occidente	90
Figura 32	Estrategia de trabajo basada en “rutinas comunicativas”	92

Tablas

Tabla 1	Descripción de las variables meteorológicas	37
Tabla 2	Descripción de los eventos climáticos extremos más comunes	39
Tabla 3	Parámetros recomendados para la descarga desde el sistema DHIME	43
Tabla 4	Rangos de propiedades químicas en suelos óptimos para cultivo de papa	51
Tabla 5	Características de las muestras de suelo según la propiedad que se va a determinar	52
Tabla 6	Condiciones de los suelos de Sabana de Occidente de Cundinamarca y valores de referencia	55
Tabla 7	Principales diferencias entre los sistemas de riego a presión	64
Tabla 8	Balance de dióxido de carbono de tres sistemas de papa cv. Diacol Capiro en la región Sabana de Occidente de Cundinamarca	75
Tabla 9	Balance de CO ₂ de tres sistemas de papa, variedad Diacol Capiro, evaluados en Sabana de Occidente, bajo diferente condición hídrica, desde la quema hasta la cosecha	76
Tabla 10	Clasificación, forma de absorción, movilidad en suelo y planta de los nutrientes	79





Los autores

Douglas A. Gómez-Latorre

Investigador máster sénior • Centro de Investigación Tibaitatá - AGROSAVIA

Correo dagomez@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6067-7596>

Ingeniero catastral y geodesta de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y Máster en Ciencias - Meteorología de la Universidad Nacional de Colombia. Es investigador en el área de agroclimatología y enfoca su trabajo en el análisis del riesgo agroclimático y la climatología aplicada a la agricultura (procesamiento y análisis de información climática). En la actualidad cuenta con publicaciones en temáticas relacionadas con análisis del entorno biofísico.

Gustavo Alfonso Araujo-Carrillo

Investigador máster asociado • Centro de Investigación Tibaitatá - AGROSAVIA

Correo garaujo@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4314-615X>

Ingeniero forestal con posgrados en el área de ciencias de la geoinformación, enfocados en procesos de modelamiento y análisis espacial de variables biofísicas, sistemas de información geográfica y planificación de tierras para la gestión del territorio. Dentro de sus temas de interés y experiencia se destacan la zonificación de riesgos agroclimáticos, el ordenamiento territorial basado en cuencas hidrográficas, la gestión de recursos naturales (especialmente el forestal), la identificación de zonas biofísicas homogéneas, el análisis de productos de sensoramiento remoto para la planificación territorial y el uso de estadísticas espaciales.



Andrea Onelia Rodríguez Roa

Investigadora máster asociada • Centro de Investigación Tibaitatá - AGROSAVIA

Correo arodriguezr@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9279-3607>

Investigadora en climatología y agroclimatología con más de diez años de experiencia. Su principal interés es comprender las causas y los impactos de la variabilidad y el cambio climático. Ha trabajado en la evaluación de modelos climáticos globales, la generación de escenarios de cambio climático, la construcción de sistemas expertos y alertas tempranas, la modelación espacial de plagas y enfermedades, el análisis de riesgo agroclimático y las zonificaciones. También ha participado en proyectos de investigación en agricultura protegida. Cuenta con alta capacidad para manejar, procesar y analizar información climática y agroclimática, tanto puntual como espacial.

Jhon Mauricio Estupiñán-Casallas

Investigador máster • Centro de Investigación Tibaitatá - AGROSAVIA

Correo jmestupinan@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8782-7291>

Ingeniero agrícola y magíster en Ingeniería de Recursos Hidráulicos con experiencia en investigación aplicada a la planificación agrícola basada en análisis agroclimáticos con énfasis en el manejo del agua bajo el contexto de la variabilidad y el cambio climático. Tiene habilidades en el manejo de herramientas y en el desarrollo de metodologías enfocadas en la modelación espacial de variables agroclimáticas, modelación hidrológica, determinación de requerimientos hídricos para cultivos, modelación de la distribución potencial de especies y zonificación agrícola. Además, cuenta con experiencia profesional como docente universitario y en el diseño de sistemas de riego y drenaje en el sector privado.

Lilia Constanza Molano Bernal

Profesional de Planeación y Cooperación Institucional • Sede Central - AGROSAVIA
Correo lcmolano@agrosavia.co
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8016-6195>

Profesional de Planeación y Cooperación Institucional en AGROSAVIA, con maestría en Cultura Científica y de la Innovación de la Universidad Politécnica de Valencia. Doctoranda en Estudios Sociales de la Universidad Externado de Colombia. Tiene experiencia en la gestión del conocimiento, en la metodología de análisis de redes sociales y el uso de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en procesos de extensión agropecuaria. Asimismo, en gestión de redes sociales como Linkata, comunidad de asistentes técnicos y extensionistas de Colombia. Es miembro del grupo de investigación Cambios Sociotécnicos para el Desarrollo de la Innovación en el Sector Agropecuario.

Viviana Marcela Varón-Ramírez

Investigadora máster • Centro de Investigación Tibaitatá - AGROSAVIA
Correo vvaron@agrosavia.co
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4479-5795>

Investigadora máster de AGROSAVIA. Su trabajo de investigación se ha centrado en el análisis de propiedades físicas y químicas del suelo, la correlación de estas con los aspectos fisiográficos del entorno y los procesos de formación. A través de la interpretación de propiedades fisicoquímicas del suelo, su ejercicio de investigación también se ha centrado en la evaluación de procesos de degradación y su implicación en la disminución de los servicios ecosistémicos del suelo. Ha liderado proyectos enfocados en la calidad del suelo y el estudio de la erosión hídrica. En cuanto a calidad de suelo, sus investigaciones se han centrado en determinar y estudiar índices contruidos, mediante el análisis de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, los cuales se construyeron para definir zonas de manejo homogéneo a diferentes escalas. En cuanto al estudio de la erosión hídrica del suelo, los proyectos se han centrado en identificar el impacto de diferentes prácticas de labranza



del suelo sobre la cantidad de agua de escorrentía que se produce en diferentes eventos de precipitación. Su investigación ha estado acompañada de estrategias de automatización, análisis de grandes bases de datos y la construcción de modelos predictivos.

Juan Carlos Martínez Medrano

Investigador PhD • Sede Central - AGROSAVIA

Correo jcmartinezm@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0506-3660>

Ingeniero agrónomo de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, magíster en Estudios de Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS) y doctor en Geografía de la Universidad de Salamanca, España. Posee experiencia en políticas y estrategias de ciencia, tecnología e innovación (CTI) y un amplio conocimiento desde la perspectiva geográfica sobre aspectos relacionados con la adaptación de la agricultura al cambio climático en relación con la tecnología. Además, domina metodologías y herramientas para la transferencia de tecnología y los procesos de apropiación social de la técnica. Cuenta con experiencia en el tercer sector (ONG donantes y receptoras en el ámbito internacional) y en el sector público de Colombia.

Elías Alexander Silva-Arero

Ingeniero agrónomo UN

Correo: easilvaa@outlook.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7075-1318>

Ingeniero agrónomo y magíster en Ciencias Agrarias con énfasis en Fisiología de Cultivos de la Universidad Nacional de Colombia. Cuenta con trabajos de investigación y recomendaciones de manejo en suelos, nutrición de plantas, agroclimatología y fisiología vegetal en hortalizas, frutales, papa, yuca, cultivos semestrales y palma de aceite. En el sector privado se ha desempeñado como gerente técnico para Latinoamérica, desarrollando portafolios sostenibles de bioestimulantes, fertilizantes, correctores de suelos, bioinsumos y sustratos.



Ángela María Castaño-Marín

Investigadora PhD • Centro de Investigación La Selva - AGROSAVIA

Correo amcastano@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7190-9412>

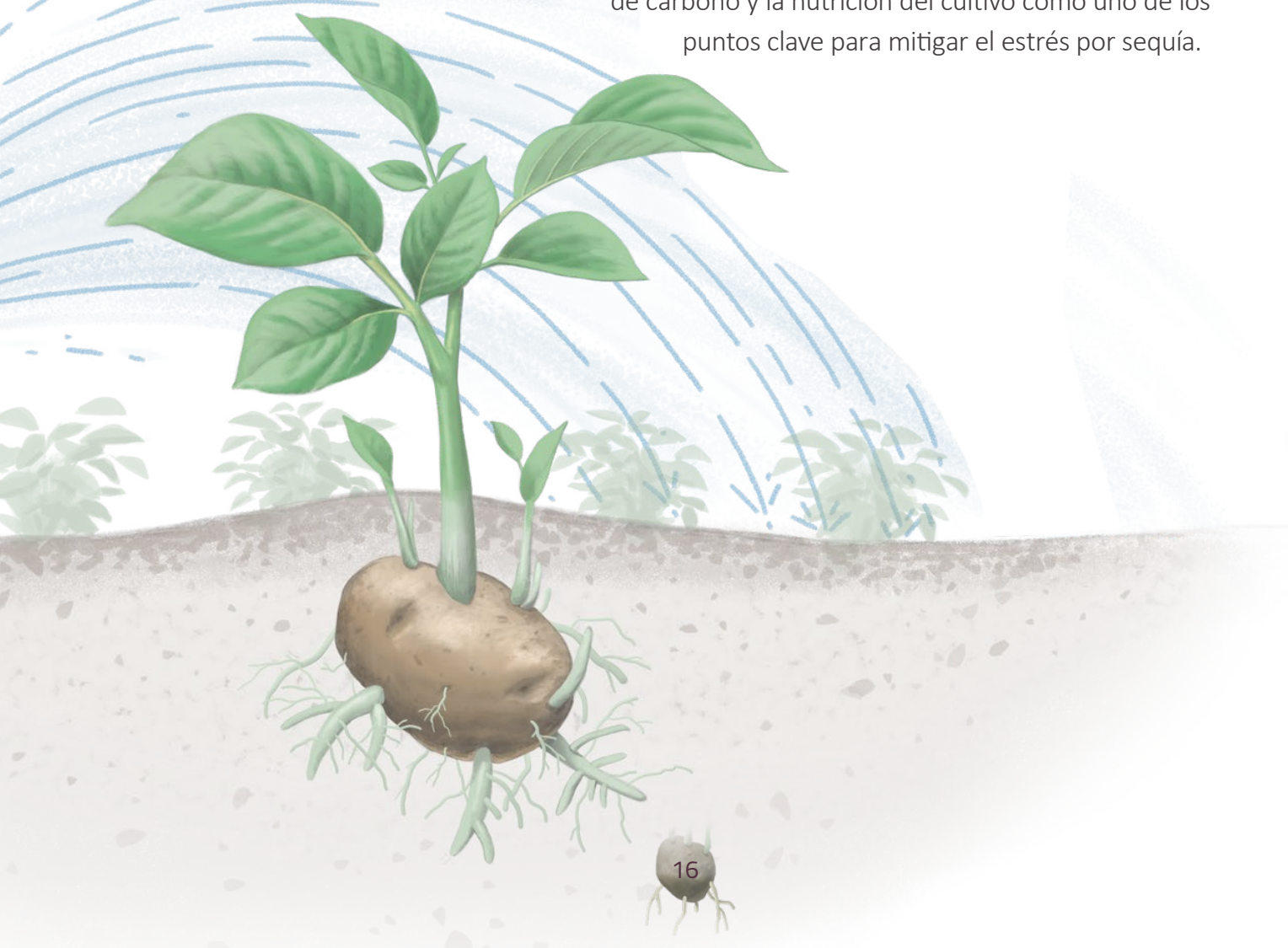
Ingeniera agrónoma y doctora en Ciencias con énfasis en Ecofisiología de Cultivos y Micrometeorología. Ha desarrollado su carrera enfocándose en la eficiencia productiva y el uso eficiente del agua, así como en la respuesta ecofisiológica al estrés abiótico en especies perennes y de ciclo corto. Su experiencia incluye dirección de tesis de pregrado, maestría y doctorado, estudios avanzados en el balance de carbono y la evapotranspiración de cultivos, y ha liderado proyectos de investigación que han resultado en el desarrollo de sistemas de información agroclimática y modelos de cultivos. Adicionalmente, se ha enfocado en la gestión del riesgo agroclimático, mediante la creación de herramientas en colaboración con agricultores. Con una sólida trayectoria en Cenicafé, actualmente ejerce como investigadora PhD en el Centro de Investigación La Selva de AGROSAVIA.

Presentación

Este manual facilita la conversación técnica entre todos los actores de la cadena de valor de la papa, en especial, entre investigadores, asistentes técnicos y productores. El desafío de la adaptación al cambio climático y la gestión de los riesgos agroclimáticos solo podrá ser asumido con éxito si somos capaces de generar un espacio sincero, abierto y de participación, donde los diferentes eslabones de la cadena de valor aporten a la generación de conocimiento útil, que lleve a tomar mejores decisiones que se vean reflejadas en buenas prácticas y, en general, en un paisaje agrícola más resiliente.

Este documento es uno de los productos del proyecto “Sistema de Información Agroclimática del cultivo de la papa SIAP F1”, cofinanciado por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) y el Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sistema General de Regalías, administrado por el Fondo Nacional de Financiación para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación Francisco José de Caldas, el Programa BIO, la Gobernación de Cundinamarca y el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. El proyecto contó con la participación de productores, academia y comercializadores, e incluyó información secundaria, datos experimentales y metodologías participativas. Sin embargo, es apenas un primer paso que ayuda a entender la lógica que orienta cualquier proceso de reducción del riesgo agroclimático.

El lector del manual encontrará aspectos del contexto relacionados con el cambio climático, así como información regional sobre las características del suelo y el clima, la gestión del agua, el balance de carbono y la nutrición del cultivo como uno de los puntos clave para mitigar el estrés por sequía.









Introducción

Este manual se ha estructurado de lo general a lo particular. En el primer capítulo, se presentan de manera sinóptica los efectos que el cambio climático tiene sobre la estabilidad de nuestras sociedades y la importancia de que no se marginen técnicos y productores de los espacios de participación en la ordenación del territorio. Además, insiste en que el diálogo técnico desde la perspectiva de la disminución del riesgo agroclimático también se hace a estas escalas.

En el segundo capítulo, se muestran las fuentes de información climática, meteorológica y de suelos que enriquecen ese diálogo técnico para tomar mejores decisiones de actuación ante diferentes escalas: regional, local, predial y de cultivo. Se hace hincapié en que las fuentes de información alimentan un sistema dinámico que debe ser apropiado por todos los interesados en una mejor gestión agroclimática.

En el tercer capítulo, se explica que la gestión del agua para el cultivo es uno de los aspectos que más margen de mejora tiene en la región; por tanto, una gestión del riesgo agroclimático debe incluir un eficiente uso del agua. También incluye la fenología del cultivo y su relación con el agua. El riego eficiente y las prácticas culturales asociadas a la gestión del ciclo del carbono, así como la gestión en la nutrición del cultivo son medidas que impactarán positivamente en la adaptación/mitigación del cultivo frente a condiciones climáticas adversas, como es el caso de la sequía.

El cuarto capítulo enfatiza en el relacionamiento entre actores de la cadena de valor para constituir redes de mejor calidad para la estructuración de un sistema de información agroclimática. En este capítulo, se muestra cómo la información que circula entre los diferentes actores de la cadena y el diálogo, y la concertación entre esos actores permiten que las decisiones generen un paisaje más resiliente al cambio climático y orientado hacia la estrategia de disminuir el riesgo agroclimático.









Capítulo I

La lógica de la gestión del riesgo agroclimático en el contexto del cambio climático

El sexto informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) presenta una revisión sobre la comprensión del estado actual del clima, cómo está cambiando y la influencia humana en este, además de simulaciones regionales y globales de posibles futuros climáticos y la limitación del cambio climático inducido por el hombre. En este informe, se ratifica que el aumento de la temperatura media global se explica, en parte, por la influencia humana, los cambios en concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI), el uso de aerosoles, el ozono, el cambio de uso de la tierra, los impulsores solares y volcánicos, y la variabilidad climática interna. La temperatura seguirá aumentando, aunque se detenga de manera repentina la emisión de CO₂, CH₄ y otros GEI (IPCC, 2022).

El desafío mundial es controlar al máximo la emisión de GEI, de manera que se consiga llegar al compromiso de aumento máximo de la temperatura media global de 1,5°C y, al mismo tiempo, adaptar los sistemas socioeconómicos a la nueva realidad climática con una perspectiva de justicia social.

Imaginar las consecuencias del cambio climático en las actividades del día a día no es fácil; lo que sí se evidencia es que los últimos tiempos han estado signados por una pandemia, épocas lluviosas más prolongadas de lo normal, olas de calor y eventos climáticos extremos que han dejado catástrofes humanitarias en diferentes partes del planeta, debido a la alteración drástica del clima, lo que causa desastres socioambientales de difícilísima gestión.

Conceptos como *mitigación y adaptación al cambio climático* se vuelven muy relevantes; sin embargo, no se ha sabido transmitir a la sociedad lo que estos conceptos significan en la práctica y es difícil que la ciudadanía comprenda lo que conlleva la mitigación de GEI hasta alcanzar valores de carbono neutral y la transición a un escenario de incertidumbre climática (De Bruin et al., 2021).

La mitigación frente al cambio climático hace referencia a la estrategia que tiene como objeto el desarrollo de acciones que ataquen las causas que lo producen; es decir, la emisión de GEI. La adaptación hace referencia a la estrategia complementaria a la mitigación, que tiene por objeto minimizar los impactos adversos del cambio climático. El IPCC define la adaptación como los ajustes en los sistemas humanos y naturales como respuesta a las variabilidades climáticas (proyectadas o reales) y sus impactos biofísicos y socioeconómicos, que puedan moderar el daño o aprovechar sus aspectos beneficiosos.

¿El cultivo de la papa tiene relación con el cambio climático?

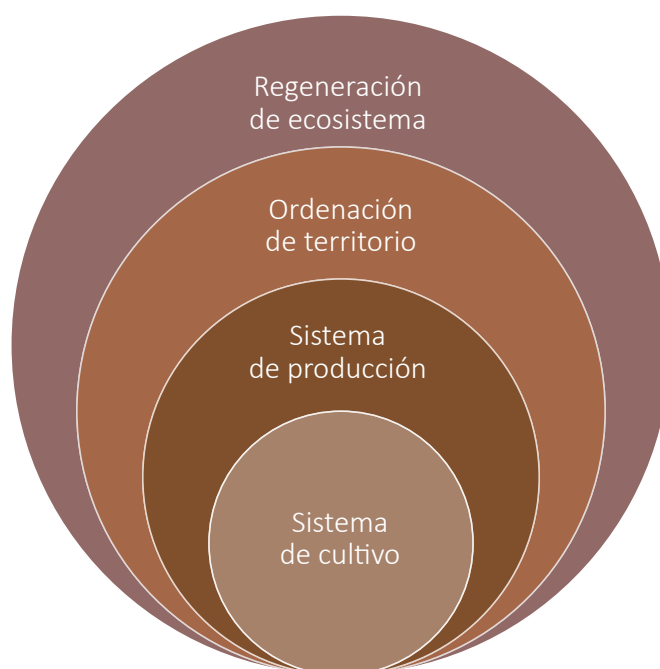
La agricultura tiene una relación directa con el cambio del clima debido a la emisión de GEI que conlleva la actividad; por lo tanto, el reto es enorme, ya que el inminente aumento de la temperatura a lo largo de los altiplanos andinos y el incremento de las condiciones de humedad generarán plagas y enfermedades que no han sido comunes, sobre todo en variedades nativas. Esto hace necesario el desarrollo de tecnologías, variedades, un manejo agronómico de acuerdo con las nuevas condiciones y la generación de alternativas para que los productores por sí mismos puedan tomar las mejores decisiones (Centro Internacional de la Papa [CIP], 2018).

En este sentido, el desafío que tiene Colombia es garantizar una producción sostenida de papa, sobre todo por ser la segunda fuente alimentaria después del arroz, con un consumo per cápita de 61 kg persona/año (Vélez Betancourt, 2021), y a su vez una mejor manera de producirla; esto es imprescindible para que también mitigue su impacto en el cambio climático. Así, encontrar una mejor manera de producir la papa es una condición necesaria para su adaptación a este escenario de incertidumbre. Está en juego la supervivencia de la actividad en las zonas donde tradicionalmente se cultiva y donde comunidades enteras dependen de esta cadena de valor.

En relación con la producción de papa, la mitigación y la adaptación pasan por mejorar muchos aspectos en el sistema de producción de la papa; por ello, hay que pasar de una visión de “paquete tecnológico” a una aproximación sistémica que tenga en cuenta diferentes niveles y escalas de actuación: región, cultivo, producción, ordenación del territorio y regeneración del ecosistema.

Para que estos conceptos estén integrados en una serie de acciones coherentes, se requiere un diálogo social y técnico efectivo entre los diferentes actores de la cadena, desde especialidades (expertos en cultivo, economistas, sociólogos, ecólogos, entre otros) hasta roles distintos (productores, asistentes técnicos, consumidores, intermediarios, etcétera).

La ordenación social y productiva del territorio debe armonizar la lógica económica y de producción con la integridad y conectividad ecosistémica (figura 1), y esa escala de análisis tiene que “dialogar” con otra escala más acotada y que tiene relación con todas las técnicas agronómicas de producción del cultivo de la papa. Es decir, no basta con tener ofertas tecnológicas que disminuyan riesgos climáticos en el cultivo si estas no se inscriben en un proceso real de ordenación social y productiva del territorio que responda también a la adaptación al cambio climático para disminuir el riesgo.



▲ **Figura 1.** Escalas de intervención.
Fuente: Elaboración propia

¿Por dónde empezar?

El primer paso es tener una mirada comprensiva del problema; una mirada amplia y geográfica de la producción, con la cual se conozcan las características de los suelos y el agua de la región. Asimismo, la ordenación geográfica (espacial) de la producción debe ser una prioridad. La ubicación de las zonas de cultivo y cómo estas se van desplazando en el tiempo deben considerar los posibles efectos en la expresión de la variabilidad climática en esas zonas para que la decisión sea climáticamente inteligente, y se involucre la gestión del agua y el suelo desde una perspectiva regenerativa.

Ante la amenaza de que los espacios agrícolas se sigan fragmentando y transformando como consecuencia de la expansión urbana e industrial, con la consiguiente pérdida de capacidad productiva, la manera como se toman las decisiones sobre el lugar donde se lleva a cabo la agricultura es cada vez más relevante. El hecho de participar decididamente en la gestión y gobernanza territorial para que esta integre diferentes visiones de actores del territorio y a su vez se incorporen estrategias y herramientas innovadoras que permitan mejorar la identidad agrícola hace parte de la inteligencia agroclimática. Hay que pasar a una visión territorial que, además de tener en cuenta la oferta ambiental de corto plazo, sea consciente de los impactos y la sostenibilidad de la producción para desarrollar esos territorios como espacios agrarios de calidad.

En Colombia, la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA) desarrolló el Sistema de Información para la Planificación Rural Agropecuaria (Sipra) (figura 2). Esta herramienta ayuda a orientar el diálogo y avanzar en un proceso de concertación social más amplio que determine la producción desde perspectivas que no incluyan solo las señales del mercado a corto plazo. En el Sipra, se puede consultar información estadística y geográfica sobre las zonas de aptitud para el cultivo.

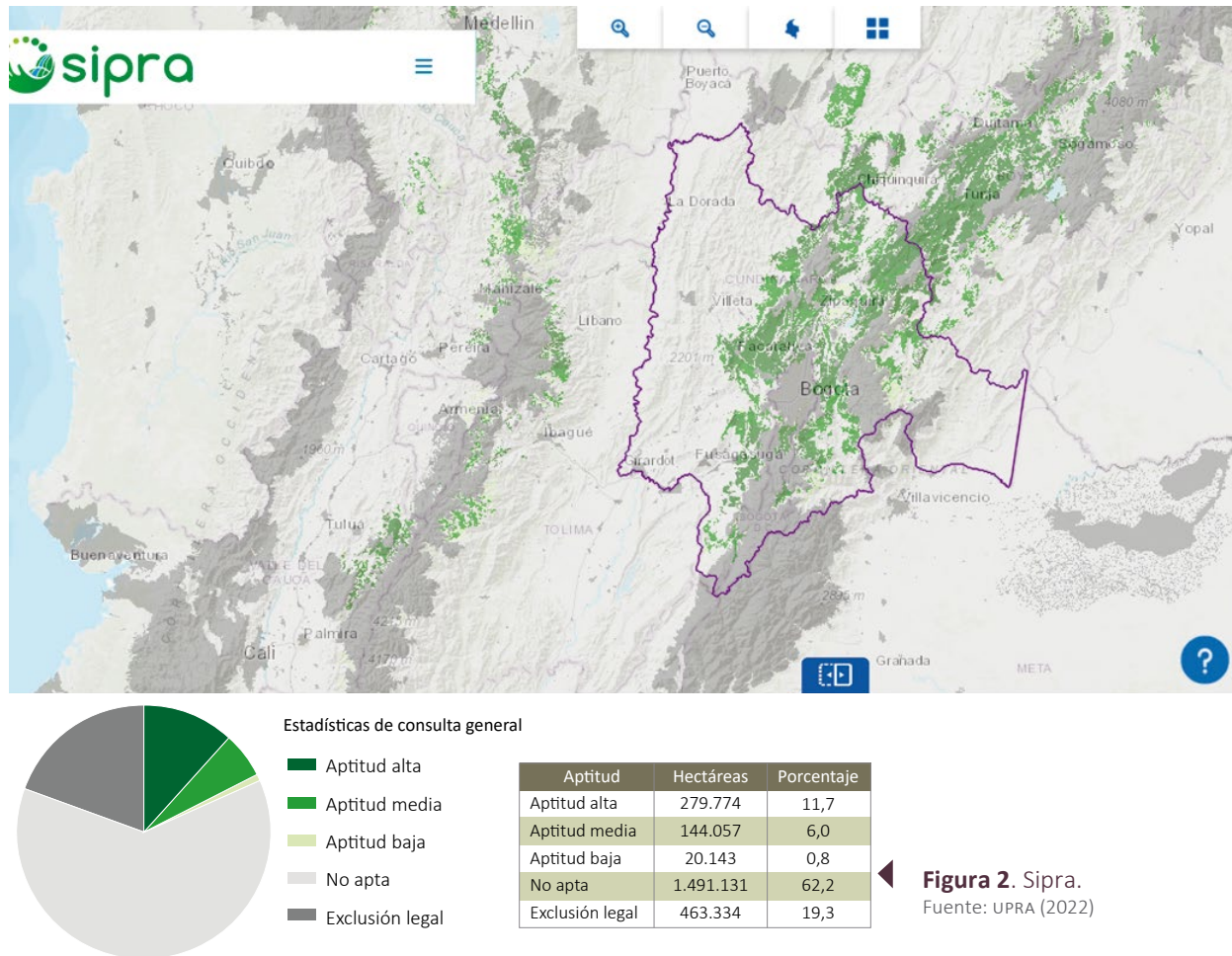


Figura 2. Sipra.
Fuente: UPRA (2022)

El objetivo de esta mirada es tener una visión integral del problema y su solución, la cual se resumen en la figura 3.

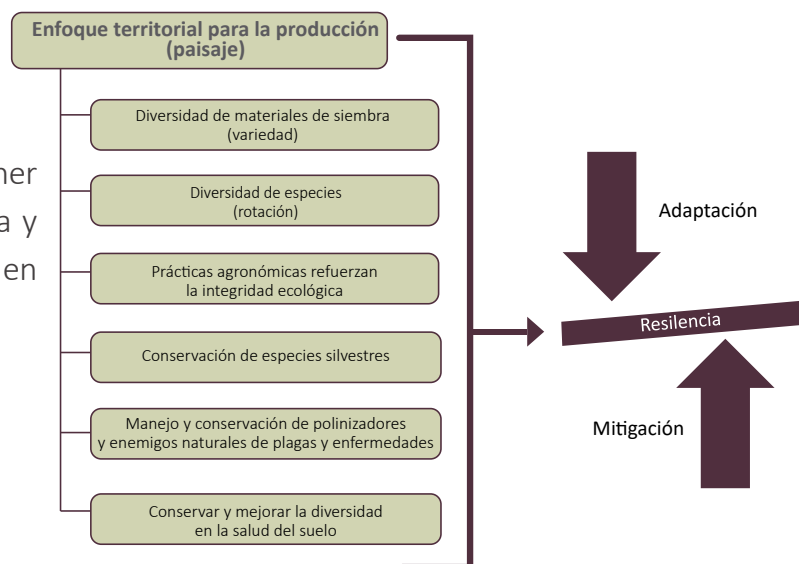


Figura 3. Esquema de los distintos ámbitos que conlleva la resiliencia territorial en el cambio climático desde el factor de la producción agrícola.
Fuente: Elaboración propia

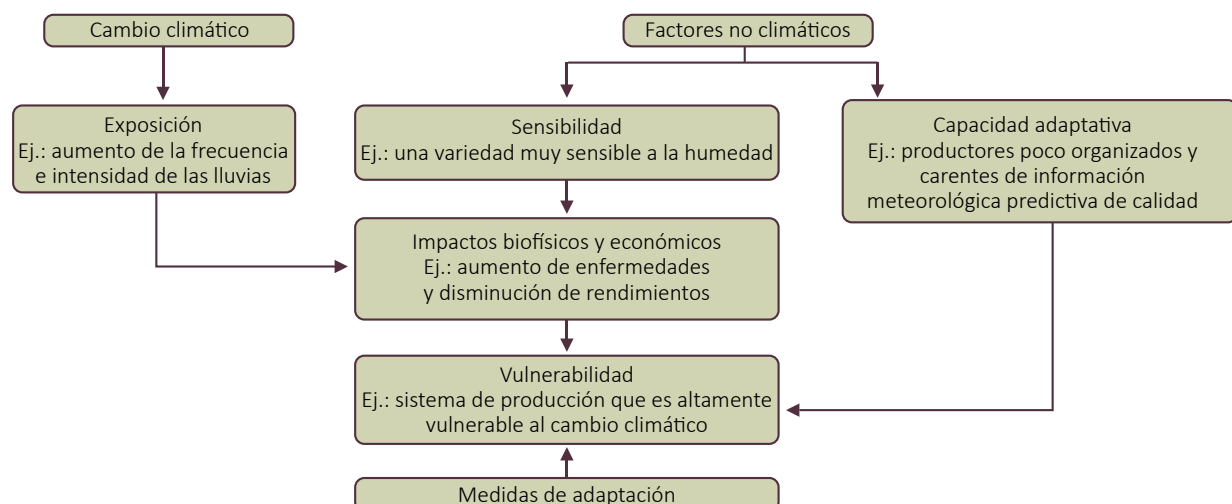
¿Qué aspectos se deben considerar para adaptarse al cambio climático y mitigarlo desde la perspectiva de la producción agrícola?

Después de tener una mirada compleja del problema, gracias a la cual se reconoce el territorio y sus características, la lógica de la intervención debe estar orientada hacia la gestión del riesgo agroclimático. El país se ha dotado de una política pública e institucional para la gestión del riesgo que lo define así:

El riesgo se entiende como los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos físicos peligrosos de origen natural, socio-natural tecnológico, biosanitario o humano no intencional, en un período de tiempo específico y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos; por consiguiente, el riesgo de desastres se deriva de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad. (Ley 1523 de 2012)

El riesgo agroclimático es la probabilidad de que la producción agrícola esperada sufra daños o pérdidas por la acción de un evento climático. Esta probabilidad es una función de la interacción entre las posibles amenazas propias del clima y la vulnerabilidad del sistema de producción.

La gestión del riesgo agroclimático se basa en identificar correctamente los posibles eventos climáticos que pueden afectar de manera negativa el cultivo para disminuir la vulnerabilidad del sistema de cultivo a estos. En la figura 4, se muestra un esquema como ejemplo ante un evento de exceso de lluvia, la vulnerabilidad del cultivo y los factores que intervienen.



▲ **Figura 4.** Esquema de gestión del riesgo agroclimático.
Fuente: Elaboración propia, a partir de Hollmann et al. (2013)

De esta manera, para disminuir la vulnerabilidad del sistema de cultivo, hay que tomar medidas de adaptación que se pueden agrupar de la siguiente manera:

- a. Gestión del agua: va desde el acceso al recurso por parte del sistema de cultivo hasta las tecnologías que permitan disponer de este recurso en tiempo y modo adecuados.
- b. Prácticas del cultivo: son todas las prácticas agronómicas enfocadas en mejorar la capacidad de respuesta del cultivo. Por supuesto, el manejo del suelo y la correcta nutrición del cultivo son fundamentales.
- c. Materiales de siembra: hace referencia a las características genéticas de los materiales que se siembran y que pueden aportarle características de resistencia o tolerancia a situaciones extremas como exceso o déficit de agua en el cultivo.

Se puede ver un ejemplo para el caso del cultivo de papa en el Sistema Experto MAPA (SE-MAPA). Al acceder al sistema (figura 5), se sigue una ruta de navegación, la cual se orienta hacia la lógica de la gestión del riesgo agroclimático. En esta, se debe conocer el clima de la región y la manera como se ha expresado la variabilidad climática para acceder a la información sobre el cultivo de la papa en el municipio de referencia del sistema y las posibles medidas adaptativas organizadas desde estos tres parámetros.



▲ **Figura 5.** Cuadro del Sistema Experto MAPA para la gestión del riesgo agroclimático.
Fuente: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica, 2018)





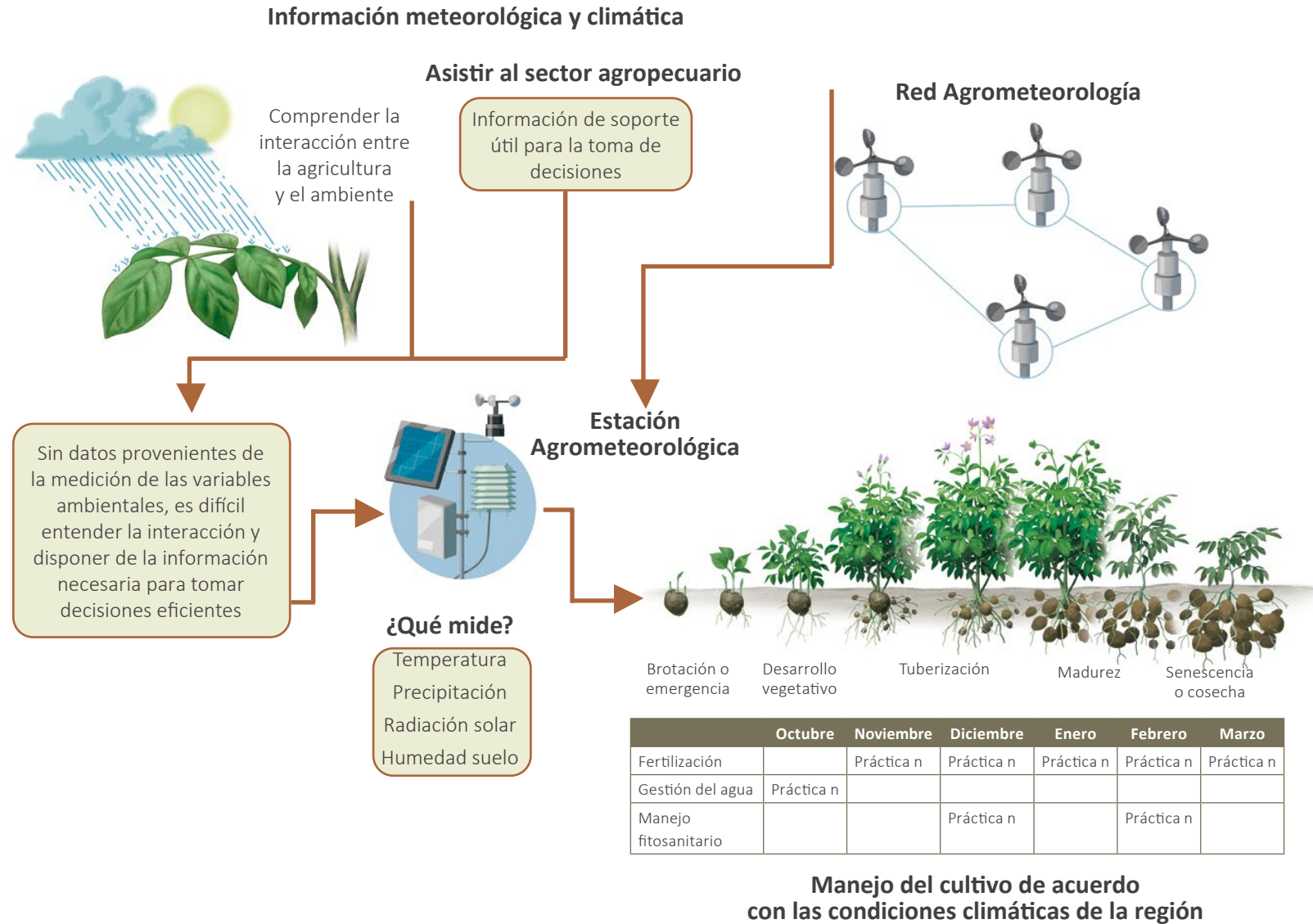
Capítulo II

La información climática y de suelos

El conocimiento de las condiciones meteorológicas, climáticas y de suelo es un soporte importante para la toma de decisiones en el territorio. Asimismo, relacionar la información climática y del cultivo orienta a los productores o actores locales en cuanto a la definición de estrategias para optimizar la producción y evitar pérdidas por condiciones adversas.

Gestión de la información climática

La gestión de la información climática se inicia con la medición de las variables ambientales a través de estaciones meteorológicas provenientes de una red (en este caso agrometeorológica), las cuales aportan información útil para la toma de decisiones encaminadas a la comprensión en la interacción entre la agricultura y el ambiente. Por ello, el manejo del cultivo se basa en las condiciones climáticas de la región de acuerdo con unas prácticas culturales (*prácticas n*) denominadas como *prácticas climáticamente inteligentes*, divididas en tres categorías: fertilización, gestión del agua y recursos genéticos (figura 6).



▲ **Figura 6.** Información meteorológica y climática en la agricultura.
Fuente: Elaboración propia

La información registrada por una estación o una red de estaciones es útil para las decisiones de cultivo diarias, pero su valor se incrementa con el registro continuo de más de 20 años de información, lo que permite conocer el comportamiento histórico en una determinada escala temporal de las variables climáticas. De la misma forma, los registros históricos permiten hacer un análisis del riesgo a escala local, teniendo en cuenta como primer escenario lo ocurrido en el pasado y lo que ocurre en el presente. De esta manera, se puedan generar predicciones, con algún rango de incertidumbre, uno o más escenarios futuros, para el corto (días, semanas), mediano (más de tres semanas y hasta dos o seis meses) y largo plazo (semestre, año).

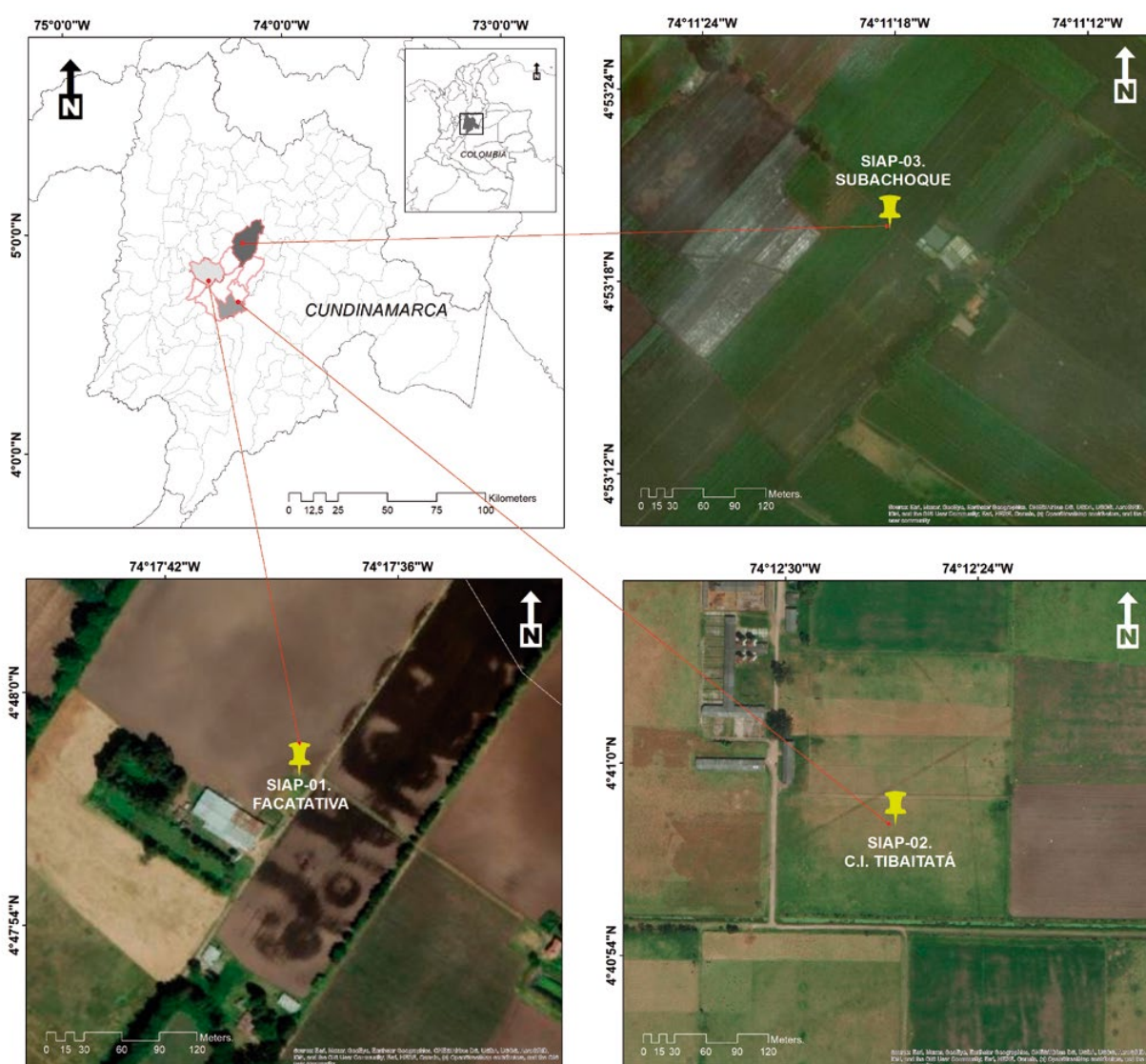
Red de estaciones meteorológicas automáticas de categoría agrometeorológica en Sabana de Occidente

La red hidrometeorológica del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam) está compuesta por 2.854 estaciones activas, de las cuales el 89% corresponde a estaciones de tipo convencional y el restante 11%, a estaciones automáticas. Entre tanto, 1.878 estaciones son meteorológicas y 666 son hidrológicas; dentro de las meteorológicas, el Ideam cuenta con 1.277 estaciones de tipo pluviométrico, que son aquellas que registran la variable precipitación y 601 climatológicas, las cuales miden, además de precipitación, variables como temperatura, humedad, brillo y radiación solar a las 7, 13 y 19 horas; esto con el fin de hacer seguimiento y estudio del clima. Dentro de la clasificación de estaciones climatológicas se encuentran las agrometeorológicas, que contemplan el mismo plan de observaciones de una estación climatológica, con mediciones adicionales de temperatura a varias profundidades y en la capa cercana al suelo (0, 10 y 20 cm sobre el suelo) (Ideam, 2022).

En este sentido, Sabana de Occidente cuenta con 68 estaciones que miden la variable precipitación, 11 para temperatura máxima media, 10 para temperatura media, 35 para temperatura mínima media, 11 para humedad relativa y 12 para brillo solar. Esta información está disponible a nivel climatológico, mas no en tiempo real, lo que hace difícil su uso a nivel de alertas tempranas.



Por lo anterior, como complemento a la red hidrometeorológica del Ideam, y también con el objetivo de contar con información en tiempo real, desde diciembre de 2020 en Sabana de Occidente se cuenta con tres estaciones meteorológicas automáticas (EMA) de categoría agrometeorológica (figura 7) para el monitoreo de la precipitación, temperatura, humedad relativa, radiación solar, velocidad del viento a 2 metros, evapotranspiración del cultivo de referencias y humedad del suelo, localizadas en los municipios de Facatativá, Subachoque y en el Centro de Investigación Tibaitatá (Mosquera), epicentros productivos del cultivo de papa.

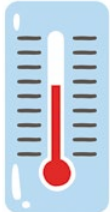
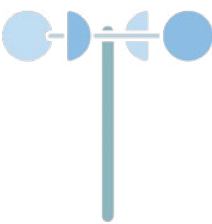


▲ **Figura 7.** Red de estaciones agrometeorológicas en el núcleo productivo de papa en Sabana de Occidente.
Fuente: Elaboración propia

¿Cuáles son y cómo se miden las variables meteorológicas en una estación?

En la tabla 1, se hace una breve definición de las variables meteorológicas medidas por una estación y el instrumento utilizado para tal fin.

Tabla 1. Descripción de las variables meteorológicas

Variable	Definición	Instrumento	
Temperatura	El calentamiento de la superficie, por efecto de la radiación solar, hace que esa energía sea percibida como forma de calor. La temperatura mide este calor —y varía con el relieve—, la distancia a grandes masas de agua, el viento y la cobertura del suelo; la temperatura se mide en grados Celsius (°C). Las zonas donde se establecen los cultivos de papa se encuentran entre 12 y 14 °C.	Termómetro	
Precipitación	Es la caída de agua líquida o sólida a la superficie, proveniente de la atmósfera. La lluvia se le denomina a la fracción de agua líquida, mientras el granizo es la fracción de agua sólida y el rocío y la neblina son la fracción de agua gaseosa. La cantidad de lluvia es medida en milímetros (mm), lo que equivale a un litro depositado en una superficie de un metro cuadrado.	Pluviómetro	
Humedad relativa	Es la relación que existe entre la cantidad de vapor de agua (agua en estado gaseoso) y la que podría contener en gran medida de acuerdo con la temperatura, ya que si esta se incrementa podría albergar mayor cantidad de agua. Como es una relación, el valor se expresa en porcentaje.	Psicrómetro	
Radiación solar	Flujo de energía proveniente del sol, que influye en casi todos los procesos físicos y biológicos terrestres. Para las plantas, es el motor principal de la fotosíntesis.	Actinógrafo o piranómetro	
Viento	Se considera solo como el movimiento del aire sobre la superficie; se mide su velocidad y dirección. Su velocidad es menor si está más cerca de la superficie, ya que intervienen factores como las características de la vegetación circundante.	Anemómetro	
Evapotranspiración	Es el agua que se consume, por acción de la transpiración de la planta y la evaporación directamente del suelo; estas dos sumadas definen lo que se conoce como evapotranspiración.	Lisímetro	

Fuente: elaboración propia



Eventos climáticos extremos

Según el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), la magnitud de los eventos climáticos extremos dependerá de numerosos factores, como el evento mismo, la región, la localización latitudinal, entre otros. Por ello, aunque los cambios en algunas zonas no son perceptibles, al final del siglo XXI los umbrales, por ejemplo, de la temperatura, serán mayores o no conocidos hasta ahora (IPCC, 2022). En este sentido, Ruiz (2010) estima que la temperatura media variará “1,4°C para 2011-2040, 2,4°C para 2041-2070 y 3,2°C para 2071-2100”, mientras “los volúmenes de precipitación decrecerían entre un 15% y 36% para amplias zonas de las regiones Caribe y Andina y existirían incrementos de precipitación hacia el centro y norte de la región Pacífica”.

Este panorama amplía uno de los problemas que tiene mayor relevancia y el cual está asociado a los efectos del cambio climático, y que la agrometeorología se encarga de abordar. De forma tangible, esos daños son todos los que se presentan en las plantas y en las pérdidas de los cultivos por el impacto de condiciones meteorológicas adversas derivadas de los eventos climáticos extremos. En la tabla 2, se explica de manera precisa en qué consiste cada uno de los eventos climáticos extremos, cómo afecta al cultivo de la papa y cómo puede manejarse.

Tabla 2. Descripción de los eventos climáticos extremos más comunes

Evento	Definición	Afectación	Práctica de manejo
Heladas	Una helada es un fenómeno de tipo meteorológico, con la temperatura descendiendo hasta un punto y hay una congelación, pese a que no se formen cristales de hielo. En términos agrícolas, el descenso de la temperatura produce la destrucción de los tejidos en algunos órganos de las plantas hasta causar su muerte.	Se generan daños en las hojas y en la formación de tubérculos, debido al rompimiento y a la muerte celular de los tejidos foliares, lo que afecta de forma directa el rendimiento del cultivo.	Reducir el laboreo del cultivo. Realizar aplicación de riego. Mantener una adecuada fertilización en el lote. Mantener la cobertura del suelo. En casos excepcionales, utilizar mantas térmicas.
Granizadas	Es uno de los tipos de precipitación (junto con la lluvia y la neblina), caracterizada por pequeños fragmentos de hielo de entre 5 y 50 mm de diámetro. En Colombia, son frecuentes sobre altitudes superiores a los 2.000 m s. n. m., y provocan daños irreversibles en cultivos, sobre todo en estados fenológicos como el vegetativo y la floración.	Dependiendo de la intensidad, perjudican el tejido foliar y lo dejan expuesto a enfermedades y lesiones que facilitan la entrada de patógenos.	Mantener una adecuada fertilización del cultivo. Mantener la planta en un correcto estado hídrico. Aplicar productos sobre el follaje de la planta como antifúngicos o aminoácidos.
Excesos de lluvia	Los excesos de lluvia son eventos que producen aguaceros de gran intensidad durante periodos prolongados, y los cuales generan anegamientos en campos de cultivos, ya que sobrepasan la capacidad de campo del suelo, lo que provoca estrés en las plantas y problemas fitosanitarios.	Un mal drenaje puede encharcar los suelos en época de intensas lluvias, lo que aumenta significativamente la humedad relativa a nivel de la planta y favorece la aparición de enfermedades como la gota. En suelos húmedos de cultivos de papa, son usuales enfermedades como la mortaja blanca, la roya y la pata negra.	Realizar preparación de terreno a través de una adecuada labranza. Construcción de drenajes superficiales sobre el perímetro y el interior del terreno.
Sequías	Se considera como sequía la ausencia prolongada de lluvias, durante un periodo que afecta el normal desarrollo de procesos biofísicos y socioeconómicos. En términos agrícolas, las plantas no obtienen la suficiente cantidad de agua desde las zonas de las raíces para compensar las pérdidas por evapotranspiración, lo que produce estrés. Este umbral está determinado por la fisiología de la planta.	En los periodos de emergencia y tuberización (formación del tubérculo), la ausencia de agua puede generar estrés en la planta, lo que ocasiona pobre desarrollo foliar y afecta el proceso de fotosíntesis. También pueden aparecer plagas como la polilla guatemalteca, la pulguilla, el tostón, los trozadores, los tiroteadores y la mosca blanca (vector del PVV).	Disposición de aguas en calidad y cantidad. Definir un sistema de riego adecuado. Determinar con exactitud frecuencias y momentos de aplicación de riego. Establecer un calendario para la fertilización del cultivo.

Fuente: Elaboración propia, a partir de Santos Díaz et al. (2022)

Fuentes de información climática

La necesidad de información para la toma de decisiones por parte de los agricultores plantea un reto enorme sobre cómo entender cuáles son las necesidades pertinentes, en términos de los productos. En este sentido, la reducción del riesgo se establece como un beneficio que debe pasar por la disponibilidad de información. En la figura 8, se observan las fuentes de consulta disponibles para todas las escalas de tiempo, ya que es necesario conocer el comportamiento a nivel climático en tiempo real, el pronóstico del estado del tiempo para las siguientes horas o días, así como las perspectivas en los próximos meses. También es necesario conocer el contexto histórico, pues con ello se tiene una base para entender el comportamiento actual.



▲ **Figura 8.** Fuentes de consulta de información climática a nivel nacional en diferentes escalas de tiempo.
Fuente: Elaboración propia

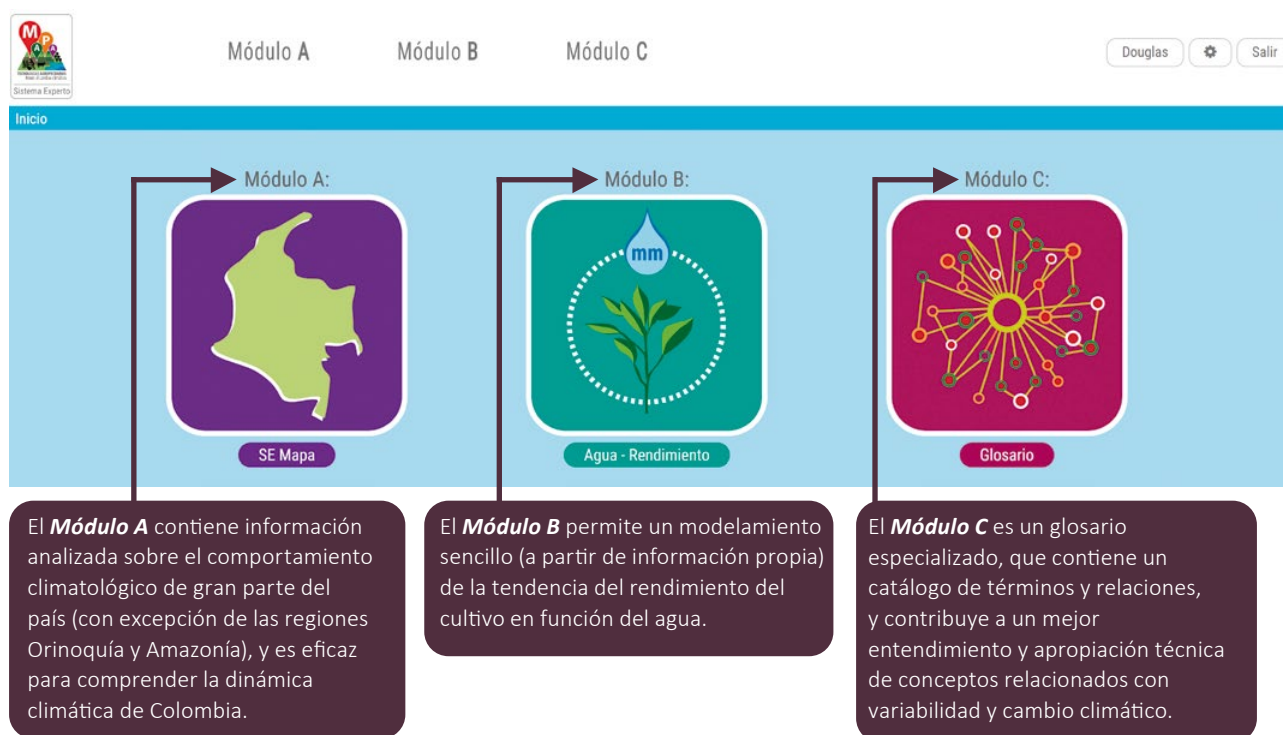
Sistema Experto MAPA (SE-MAPA)

¿Qué es el sistema de apoyo para la toma de decisión agroclimáticamente inteligente SE-MAPA?

SE-MAPA es una herramienta tecnológica construida con un enfoque de agricultura climáticamente inteligente, cuyo objetivo es contribuir, con conocimiento experto, al aumento de la capacidad local para la toma de decisiones en pro de una adaptación de los cultivos al cambio climático y la variabilidad climática en el país.

¿Cómo utilizar el SE-MAPA?

SE-MAPA está disponible en la URL <https://semapa.agrosavia.co/>, e incluye el módulo A o “SE-MAPA Estudiemos el Territorio”, módulo B o “Cálculo de Agua - Rendimiento” y el módulo C o “Glosario Especializado” (figura 9).



▲ **Figura 9.** Módulos que componen el SE-MAPA.
Fuente: Elaboración propia

Para entender la lógica y el funcionamiento del SE-MAPA, se pueden consultar los siguientes documentos: *El Sistema Experto mapa: una herramienta para mejorar la cultura agroclimática* (Rodríguez Roa et al., 2020) y el capítulo “Use el sistema experto MAPA en la planificación de actividades productivas” (Gómez-Latorre et al., 2022).

.....
Recuerde: el SE-MAPA es clave para procesos pedagógicos que impliquen capacitaciones a profesionales, asistentes técnicos, extensionistas, entre otros perfiles, y para quienes deseen complementar sus conocimientos acerca del comportamiento climatológico del país en general.

Datos hidrometeorológicos

¿Qué es DHIME?

Es el sistema de información para la gestión de datos de hidrología y meteorología que el Ideam pone a disposición de los usuarios a nivel nacional.

¿Cómo descargar la información de DHIME?

En la figura 10, se explica el procedimiento de descarga de información.

- A. Se debe ir a la siguiente URL: <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>, en la cual aparecerá un cuadro de aceptación de términos (figura A), que antes deberá revisarse sobre los aspectos más importantes del uso de la información. A continuación, se recomienda revisar el *Manual de Usuario para la Consulta y Descarga de Información* (disponible en <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/manual.pdf>), que contiene un paso a paso para descargar la información del sistema.

"Aceptación de términos previo a realizar la descarga de la información del BANCO DE DATOS del IDEAM"

En cumplimiento de lo previsto en el artículo 23 de la Constitución Política, artículos 13, 14 y sucesivos de la Ley 1437 del 2011 sustituidos por la Ley 1755 del 2015, literal k, artículo 6 de la ley 1712 del 2014, Resolución interna 2628 del 18 de noviembre del 2016 y demás normas concordantes y complementarias; nos permitimos comunicarle que los datos almacenados por IDEAM en el DHIME, constituyen información de tres clases por nivel de aprobación así: Preliminar, en revisión y definitivo. La información validada (definitiva) al encontrarse certificada, ha surtido el proceso de validación técnica necesaria que garantiza la calidad del dato y determina la oficialidad de la información.

Los Datos que se encuentren en nivel de aprobación "Definitivo", podrán utilizarse para la toma de decisiones, como quiera que han agotado el proceso de validación que garantiza la calidad del dato. El IDEAM en el marco de sus funciones y concretamente conforme a lo establecido en el artículo 1.2.1.1 del decreto 1076 del 2015 tiene a su cargo la toma, recolección, proceso y análisis del dato ambiental, como también la generación de información científica y tecnológica;

☒ Acepto los términos y las condiciones anteriores

[DESCARGAR MANUAL DE USUARIO](#)

Aceptar

- B. Antes de hacer la búsqueda de la información, es clave que se tengan definidas las variables climáticas que se requieren. Por ello, como trabajo previo, es necesario revisar el glosario de variables (disponible en la pestaña "Recursos"), ya que con ello se tiene certeza de la búsqueda (figura B).

Serie de Tiempo y Frecuencia

☒ Estándar ☐ Especial (decadal/multianual)

Parámetro: **BRILLO SOLAR**

Variable:

☒ Lista Completa ☐ Listado abreviado

	Descripción
☐	Brillo solar de 500 a 1800
☐	Brillo solar medio mensual
☐	null
☐	null

Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos

Consultar Descargar Información Especial Recursos

Listado Abreviado

Selección	Nombre archivo
☐	Seleccionar todo
☐	CARACAS NACIONAL DE ESTACIONES CLIMATICAS
☐	CARACAS NACIONAL DE ESTACIONES CLIMATICAS
☐	CARACAS NACIONAL DE ESTACIONES CLIMATICAS
☒	CARACAS NACIONAL DE ESTACIONES CLIMATICAS

Descargar Selección

Si no ha encontrado la información requerida por favor dirigirse al siguiente enlace: [DSG](#)

- C. El sistema DHIME divide la búsqueda de información entre parámetro y variable. Primero se elige el parámetro, que son: brillo solar, precipitación, humedad relativa y temperatura.

▲ **Figura 10.** Ruta para la descarga de información de DHIME.
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3, se sintetizan las variables climáticas disponibles para su descarga en la aplicación DHIME.

Tabla 3. Parámetros recomendados para la descarga desde el sistema DHIME

Parámetro	Etiqueta	Unidad	Periodo	Variable
Brillo solar	BSHG_TT_D	h	Diario	Brillo solar total diario
Precipitación	PTPG_TT_D	mm		Precipitación total diaria
Humedad relativa	HRHG_MEDIA_D	%		Humedad relativa media diaria
	HR_CAL_MEDIA_D			Humedad relativa calculada media diaria
Temperatura	TSSM_MEDIA_D	°C		Temperatura seca media diaria
	TSSM_MN_D			Temperatura seca mínima diaria
	TSSM_MX_D			Temperatura seca máxima diaria
	TSTG_MX_D			Temperatura seca máxima diaria
	TSTG_MN_D			Temperatura seca mínima diaria
Velocidad viento	VVAG_MEDIA_D	m.s ⁻¹		Velocidad del viento media diaria
Brillo solar	BSHG_TT_M	h	Mensual	Brillo solar total mensual
Precipitación	PTPG_TT_M	mm		Precipitación total mensual
	PTPM_TT_M			Precipitación total mensual
Humedad relativa	HRHG_MEDIA_M	%		Húmeda relativa media mensual
Temperatura	TSSM_MEDIA_M	°C		Temperatura seca media mensual
	TSSM_MN_M			Temperatura seca mínima mensual
	TSSM_MX_M			Temperatura seca máxima mensual
	TSTG_MEDIA_M			Temperatura seca media mensual
	TSTG_MX_M			Temperatura seca máxima mensual
	TSTG_MN_M			Temperatura seca mínima mensual
	TMN_MEDIA_M			Temperatura mínima media mensual
	TMN_MX_M			Temperatura mínima máxima mensual
	TMN_MN_M			Temperatura mínima absoluta mensual
Velocidad viento	VVAG_MEDIA_M	m.s ⁻¹		Velocidad del viento media mensual

Fuente: Elaboración propia

Recuerde: la plataforma DHIME acopia la información hidrometeorológica del país; esto quiere decir que la información se encuentra en diferentes procesos de revisión y, en general, no está actualizada, dado que el proceso de la toma del registro por parte del observador meteorológico hasta la publicación por parte del Grupo de Gestión de Datos de la Subdirección de Meteorología del Ideam puede demorar un año.

Plataforma FieldClimate®

¿Qué es la plataforma FieldClimate®?

La plataforma FieldClimate® es la solución informática en web de la cual dispone el fabricante de estaciones meteorológicas iMetos (Pessl Instruments) para que los usuarios visualicen, consulten y descarguen la información registrada por la red de estaciones dispuesta en el marco del proyecto Sistema de Información Agroclimática de Papa (SIAP).

¿Cómo manipulo la información de FieldClimate®, perteneciente a la red de estaciones meteorológicas automáticas de AGROSAVIA para Sabana de Occidente?

La manipulación de FieldClimate® incluye muchas de las características que tienen las aplicaciones de consulta de datos meteorológicos; es decir, una interfaz de consulta de información intuitiva y de fácil visualización, que permite recorrer todas las estaciones de la red, así como las variables climáticas que se están registrando en cada una de ellas (figura 11).

- Ingrese a la página <https://ng.fieldclimate.com/> e ingrese las siguientes credenciales:
 Usuario: CONSULTA_SIAP
 Contraseña: siap1234
- Al ingresar encontrará el nombre de cada una de las estaciones para consultar, más un visor geográfico con la localización.
 SIAP01. Finca Casateja (Facatativá)
 SIAP02. C.I. Tibaitatá (Mosquera)
 SIAP03. Finca Santa Isabel (Subachoque)



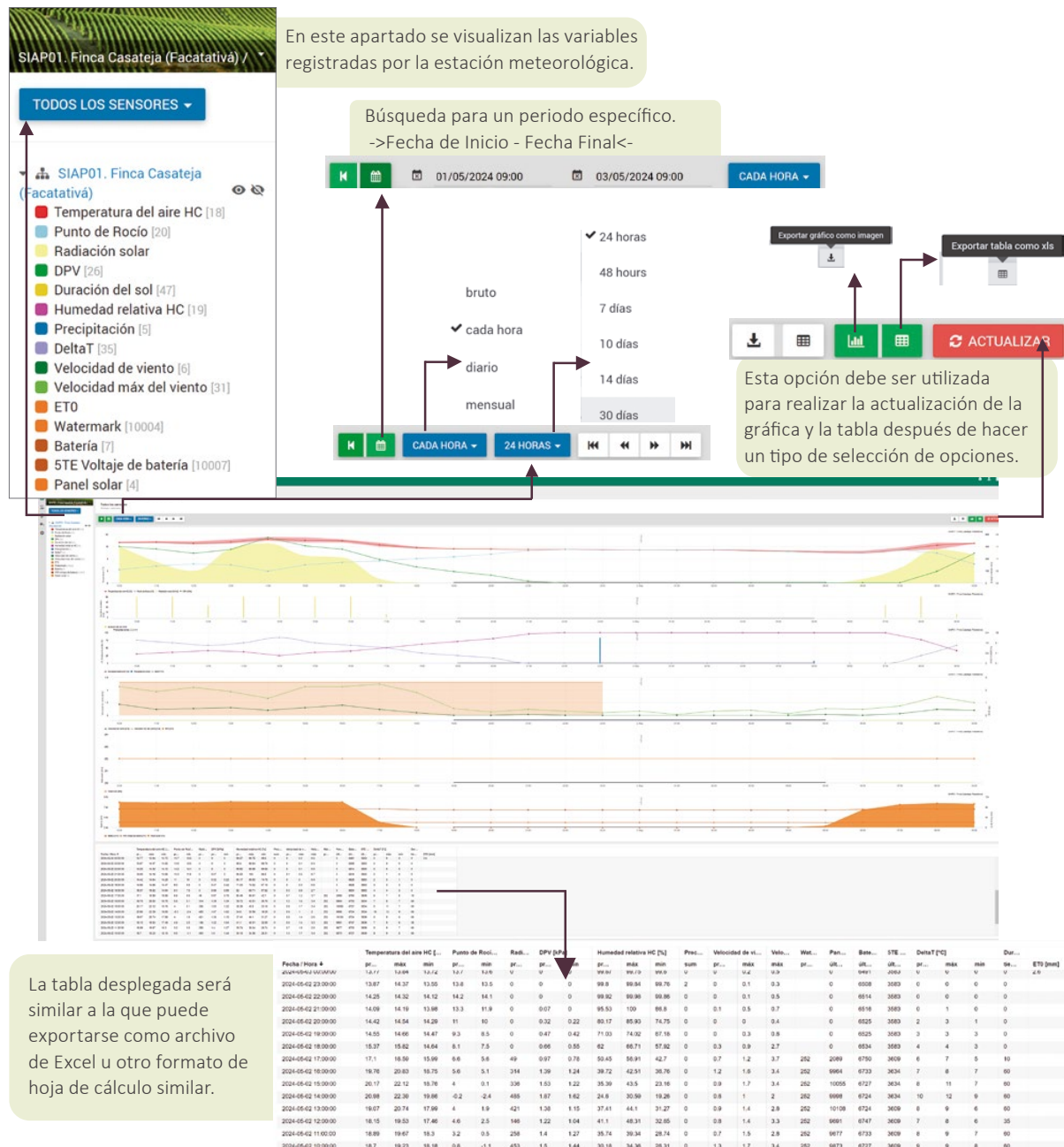
FieldClimate by Pessl Instruments

PANEL DE CONTROL PRINCIPAL

LLUVIA, 24 HORAS

IDENTIFICACIÓN...	NOMBRE DE ESTACIÓN...	TIPO DE DISPOSITIVO	ÚLTIMA COMUNICACIÓN...	BATERÍA	RAIN, 24 HOURS [mm]	RAIN 24H / 7D [mm]
002056BF	SIAP01. Finca Casateja (F)	iMetos 3.3	2023-06-23 18:01:16	6736	1.6	1.6 mm / 2.2 mm
00206878	SIAP02. C.I. Tibaitatá (Tem)	iMetos 3.3	2021-09-09 12:08:51			
0020687D	SIAP03. Finca Vda Santa Is	iMetos 3.3	2023-06-23 18:01:05	6553	0	0 mm / 0.4 mm

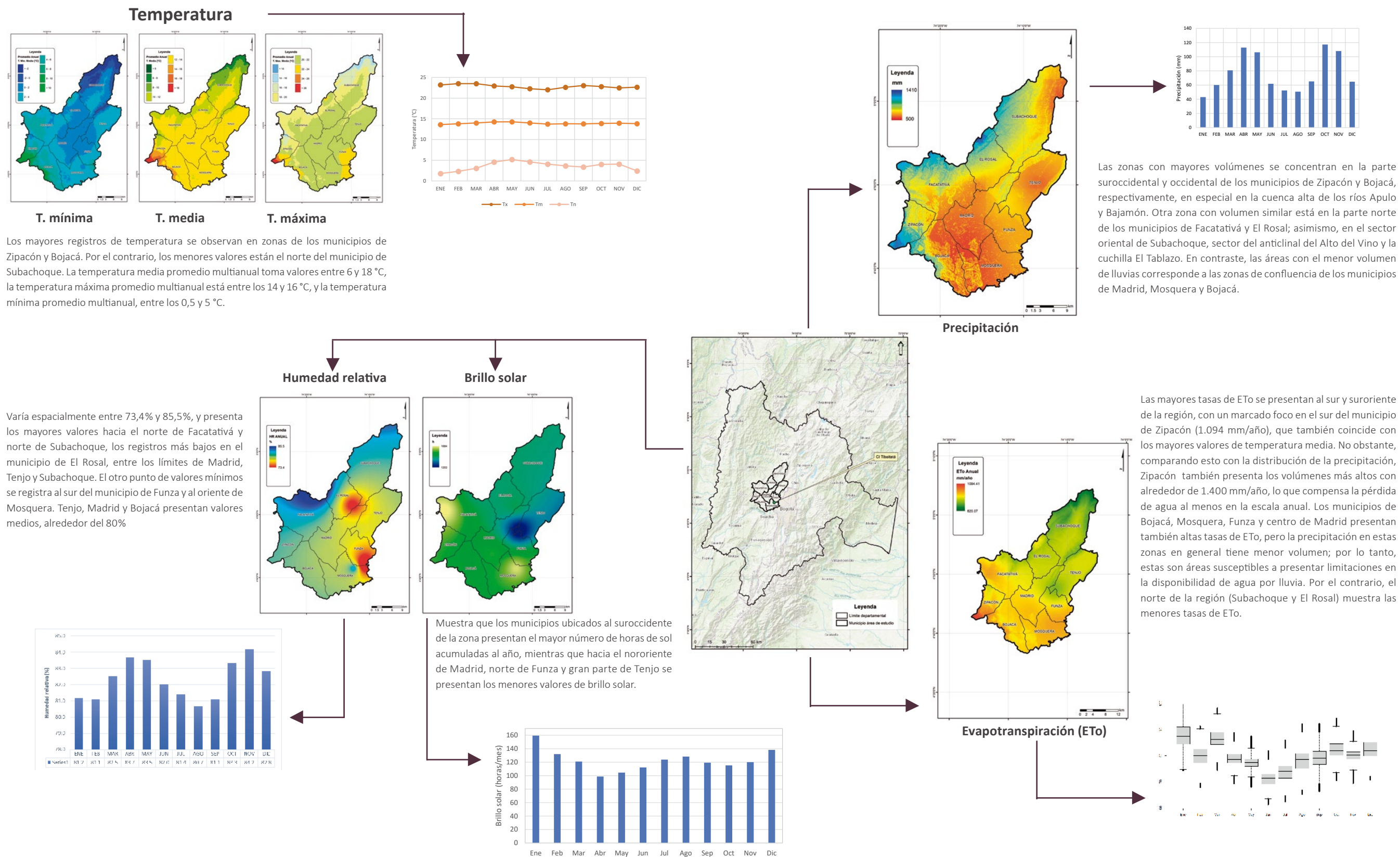
- Puede hacer clic encima de la columna IDENTIFICACIÓN de la estación, en la cual accederá directamente al panel de información de los registros históricos de las variables monitoreadas. Tenga en cuenta que desde la plataforma se pueden construir gráficas, de acuerdo con la escala de tiempo deseada y con las variables escogidas.



▲ **Figura 11.** Ruta para la descarga de información de FieldClimate®.
Fuente: Elaboración propia

Caracterización climática para Sabana de Occidente

Una caracterización climática permite analizar detalladamente los patrones climáticos de una región específica; esto incluye estudiar variables como temperatura, precipitación, humedad relativa, brillo solar o evapotranspiración. En la figura 12, se presenta un esquema que resume la caracterización para Sabana de Occidente.



▲ **Figura 12.** Caracterización de las variables climáticas en el núcleo productivo de papa de Sabana de Occidente con información del periodo 1981-2010.
Fuente: Elaboración propia

Gestión de la información de suelos

La manera más sencilla de conocer nuestros suelos es a partir de muestras analizadas en laboratorio; sus resultados pueden darnos ideas de sus potencialidades y prácticas de manejo. No obstante, también es necesario conocer el origen y el uso, dado que determinan las características de los suelos y aquellas limitantes que presentan para el desarrollo vegetativo de los cultivos. Las propiedades físicas, químicas, biológicas y mineralógicas del suelo determinan su capacidad para ser soporte y brindar agua y nutrientes a los cultivos. Entender las propiedades de los suelos permite su adecuado manejo en actividades como la fertilización, el riego, el drenaje y la preparación, así como aquellas actividades de conservación y mejoramiento de la condición del suelo. Aunque lo ideal es siempre tener información del área de interés a partir de muestras analizadas en laboratorios certificados, existen alternativas para conocer características de los suelos teniendo en cuenta algunas herramientas.

Acceso a información disponible de suelos

Una de las formas de acceder a las características de los suelos es a través de los sistemas de información geográfica que existen a nivel mundial, nacional y regional, los cuales contienen mapas que están alojados en la web de forma gratuita y son herramientas para la toma de decisiones. La principal desventaja es que los sistemas no ofrecen información a nivel detallado, es decir, a nivel de unidad productiva, lote o finca, razón por la cual a esa escala espacial solo pueden brindar generalidades. Tener diagnósticos más específicos y precisos de la unidad productiva implica tomar muestras de suelo para que puedan ser analizadas en laboratorio; no obstante, poder acceder a la información brindada por los sistemas de información permite identificar las características de los suelos que van más allá de mi finca, de tal forma que es posible conocer cómo se distribuyen en mi vereda, municipio o provincia.

¿Cómo accedemos a información de suelos en nuestra área de interés?

Actualmente, a través de sistemas mundiales de información de suelos como SoilGrids (Poggio et al., 2021), nacionales como el portal de datos abiertos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2000) o regionales como el portal de datos abiertos de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR, 2022) o Iraka (Araujo Carrillo et al., 2020) (figura 13). Con solo tener la coordenada geográfica de un punto de interés de un predio es posible acceder a información de características químicas y físicas de los suelos, las cuales deben ser interpretadas siempre con las limitaciones de escala y procesamiento de datos que reporta cada sistema.

¿Cómo accedemos a información de suelos en nuestra área de interés?

A través de sistemas mundiales	Ventajas	Desventajas
https://soilgrids.org	- Mapas a diferentes profundidades (0-5, 5-15, 15-30, 30-60 y 60-100 cm) - Propiedades físicas y químicas - Mapas de incertidumbre	- Resolución espacial de 250 m - Mapas desarrollados con modelos globales con pocos datos locales - Solo 4 propiedades químicas y 5 físicas
A través de sistemas nacionales		
https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-agrologia http://biblioteca.igac.gov.co/janium-bin/janium_login_opac.pl?find&ficha_no=15076	- Escalas generales (1:100.000), semidetalladas (1:25.000) y detalladas (1:10.000) - Propiedades físicas, químicas, mineralógicas y micromorfológicas	- Acceso solo a mapas vectoriales planos - Productos generados con métodos convencionales (prioridad taxonomía)
A través de sistemas regionales		
https://datosgeograficos.car.gov.co/search?categories=suelos	- Escalas semidetalladas (1:25.000) - Propiedades físicas, químicas, mineralógicas y micromorfológicas	- Acceso solo a mapas vectoriales planos - Productos generados con métodos convencionales (prioridad taxonomía) - Solo en cuencas hidrográficas de importancia ambiental
 IRAKA https://iraka.agrosavia.co	- Mapas generados con modelos que incorporan datos locales - Propiedades físicas y químicas - Mapas de incertidumbre	- Resolución espacial de 125 m - Una sola profundidad (0-20 cm)

▲ **Figura 13.** Sistemas de información de suelos a diferentes escalas.
Fuente: Elaboración propia.

.....
¿Y qué tal si compartimos nuestros datos de suelo?

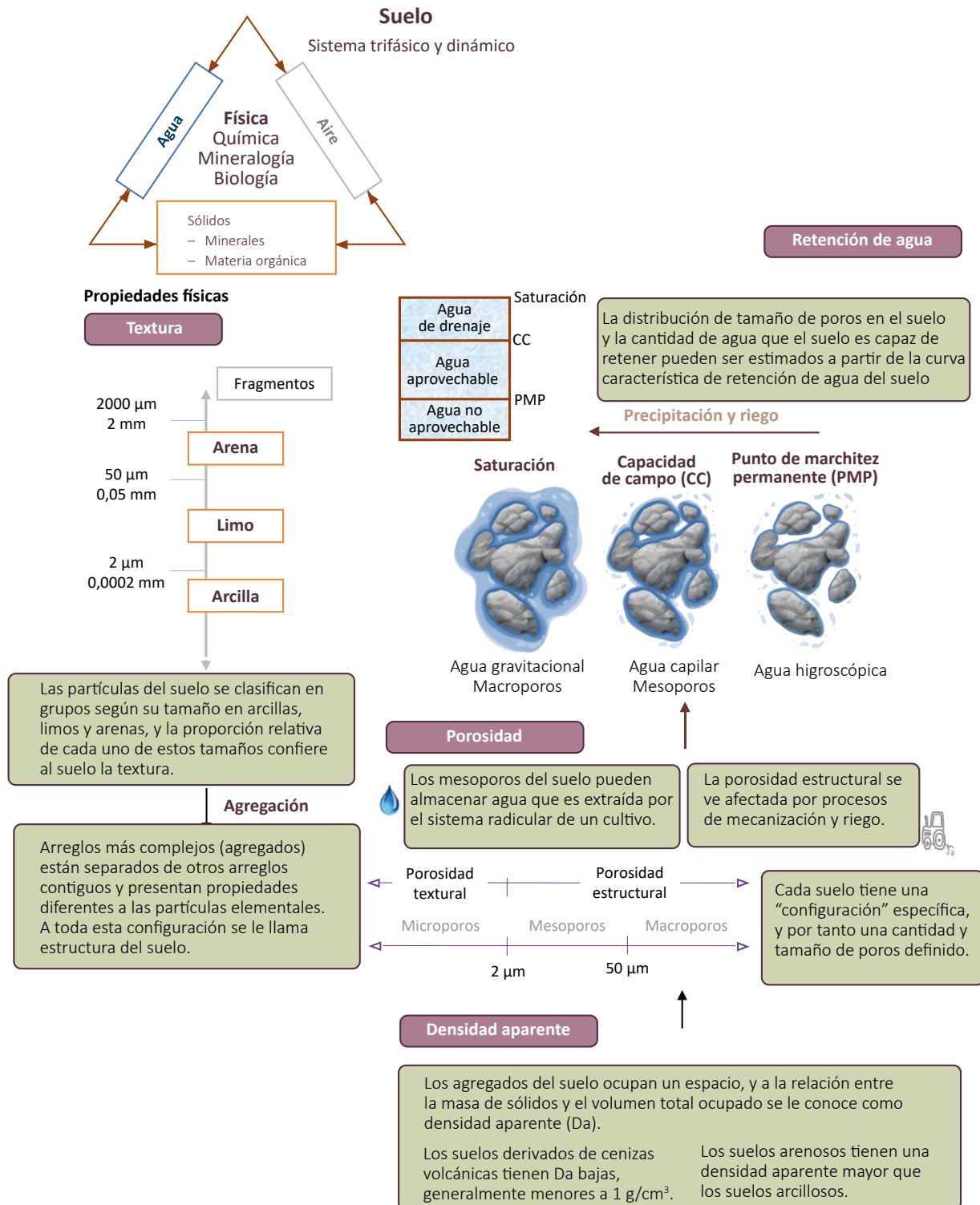
Después de conocer la importancia de tomar datos específicos de suelos en nuestra unidad productiva, el otro paso que podemos dar para entender lo que sucede más allá de nuestro lote o finca es compartir e integrar los resultados de nuestros análisis de suelo que como productores, asistentes o actores dentro del sistema de cultivo tomamos en diferentes momentos. En sociedades cada vez más vinculadas a las tecnologías de la información, y por consiguiente hiperconectadas, los ambientes colaborativos y de intercambio de información son mucho más frecuentes y generan grandes facilidades.

.....

Compartir nuestros datos es posible a través de estas tecnologías. Existen muchas alternativas que van desde aplicaciones creadas de manera personal, hasta sistemas de información que facilitan la operación de compartir datos bajo ciertos requisitos y condiciones. En este último caso, el sistema Iraka (ver: <https://iraka.agrosavia.co/>) puede ser una alternativa. La mayor ventaja de compartir nuestros datos de forma armonizada es que en un futuro (más cercano si se emprende la tarea desde ahora) se podrán generar mapas, reportes e información de suelos con un mayor grado de detalle y certidumbre, lo que permitirá acercarnos a un modelo de toma de decisiones cada vez más específico y preciso.

Las propiedades químicas y físicas de los suelos para el cultivo

Existen muchas propiedades que pueden ser analizadas en los suelos; sin embargo, las más comunes suelen ser las químicas y físicas. Las propiedades químicas del suelo permiten conocer la disponibilidad de nutrientes que va a tener la planta para su crecimiento, así como posibles limitaciones por salinidad o acidez. Las propiedades físicas, que suelen analizarse menos y son más difíciles de modificar, permiten identificar las capacidades de almacenamiento de agua, la capacidad de penetración de las raíces o el grado de compactación. En la figura 14, se describen algunas de las propiedades físicas más importantes.



▲ **Figura 14.** Principales características físicas de los suelos.

Fuente: Elaboración propia

Los rangos críticos de las propiedades químicas que debe tener el suelo para que el cultivo de papa tenga un desarrollo óptimo se presentan en la tabla 4.

Tabla 4. Rangos de propiedades químicas en suelos óptimos para cultivo de papa

Categoría	Propiedad	Unidad	Rango
Acidez	pH	-	5,5-6,5
Compuestos orgánicos	Materia orgánica (MO)	%	5-10
Elementos mayores	P	mg kg ⁻¹	40-60
	K	cmol+ kg ⁻¹	0,4-0,8
	Ca	cmol+ kg ⁻¹	4-8
Elementos menores	B	cmol+ kg ⁻¹	0,3-0,6
	Cu	cmol+ kg ⁻¹	2-4
	Zn	cmol+ kg ⁻¹	3-5
	Mn	cmol+ kg ⁻¹	5-10
	Fe	cmol+ kg ⁻¹	25-50
Elementos secundarios	Mg	cmol+ kg ⁻¹	1,5-3,0
	S	mg kg ⁻¹	10-25
Saturaciones	Al	%	< 20
	Ca	%	50-60
	Mg	%	15-20
	K	%	4-6

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

Fuente: Elaboración propia, a partir de Castro y Gómez (2010)

Para el caso de las propiedades físicas, las condiciones óptimas incluyen texturas francas a franco arcillosas, profundidades superiores a 30-40 cm, porosidad del 50% con una distribución equilibrada de macroporos, mesoporos y microporos, densidad aparente de 1,2 g cm⁻³ y una capacidad de agua disponible no menor que el 30% (Ñústez-López et al., 2020; Cámara de Comercio de Bogotá [CCB], 2015; Intagri, 2017; Peña Baracaldo & Zenner de Polanía, 2015).

Toma de muestras de suelo

Como se ha mencionado antes, la información más confiable sobre las propiedades de los suelos se obtiene a partir de una muestra analizada en laboratorio. Sin embargo, para tomar muestras de suelo es necesario tener presente el tipo de propiedades que se quieren analizar, dado que la forma de obtenerlas en campo cambia. En la tabla 5, se pueden observar las características de las muestras de suelo según la propiedad por analizar y en la figura 15 se da una descripción de la toma de muestras de propiedades físicas.

.....
 Recuerde: AGROSAVIA brinda servicios de análisis químico y físico del suelo, y de calidad de agua (química) para riego, a partir de muestras analizadas en laboratorio. Este servicio puede solicitarse a través de un centro de soluciones Servientrega-Efecty y el resultado se obtiene 15 días hábiles después de enviarse. Para más información consulte: <https://www.agrosavia.co/productos-y-servicios/oferta-tecnol%C3%B3gica/servicios-de-laboratorio>

Tabla 5. Características de las muestras de suelo según la propiedad que se va a determinar

Propiedad	Tipo de muestra		Paquete laboratorio AGROSAVIA
	Disturbada	No disturbada	
Textura	*		Suelos-física-textura por bouyucos (LQA).
Densidad aparente		*Anillo o agregado	Suelos-física-densidad aparente (LQA).
Densidad real	*		Suelos-física-densidad real (LQA).
Curva de retención de agua		*Anillo	Suelos-física-curva de retención de humedad (5 puntos) (LQA).
Estabilidad de agregados		*Agregado	Suelos-física-estabilidad de agregados/estructural (LQA).
Análisis químico	*		Suelos-química-fertilidad completo (LQA).

Fuente: Elaboración propia



▲ **Figura 15.** Toma de muestras para física de suelos.
Fuente: Elaboración propia

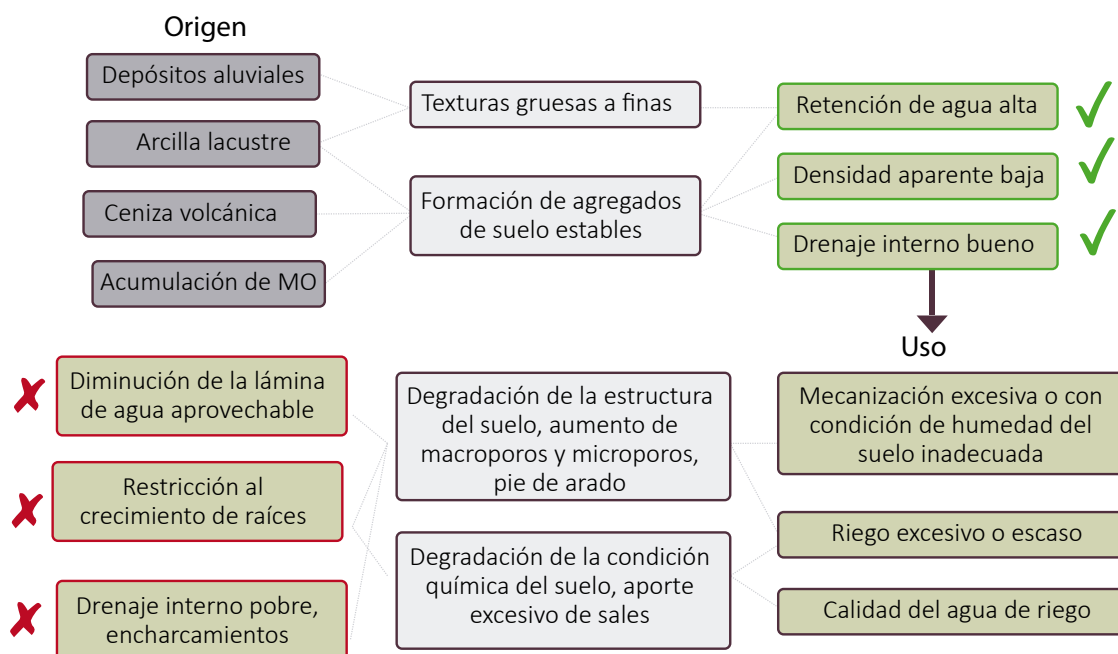
Los suelos en la provincia Sabana de Occidente de Cundinamarca

El origen de los suelos de Sabana de Occidente de Cundinamarca tiene características específicas asociadas a la presencia de ceniza volcánica y depósitos lacustres y aluviales (IGAC, 2000). Desde su fisiografía (figura 16), Sabana de Occidente incluye paisajes de montaña y planicie, y relieves de origen estructural (plegados y fallados) sobre rocas sedimentarias como barras (con estratos en posición vertical), espinazos (rocas clásticas) y crestones (dominantes sobre rocas clásticas de diferente granulometría desmanteladas por la erosión geológica), y relieves de origen fluvial como los vallecitos (unidades estrechas y alargadas asociadas a corrientes menores), terrazas (depósitos aluviales espesos en varios niveles con procesos de entalle, erosión y acumulación) y planos de inundación (terrenos bajos y planos formados por desbordamientos e inundaciones periódicas) (IGAC, 2015).



▲ Figura 16. Descripción general del paisaje en Sabana de Occidente.
Fuente: Elaboración propia

Estas condiciones geopedológicas y fisiográficas confieren a esta provincia unas características específicas en sus suelos, las cuales se muestran en la figura 17.



▲ **Figura 17.** Características del origen y las problemáticas de uso en los suelos de Sabana de Occidente.
Fuente: Elaboración propia

Algunos valores de referencia de propiedades físicas para Sabana de Occidente, como el agua aprovechable o la densidad aparente, pueden observarse en la tabla 6.

Tabla 6. Condiciones de los suelos de Sabana de Occidente de Cundinamarca y valores de referencia

Propiedad de suelo	Condición Sabana de Occidente	Valor referencia
Agua aprovechable (%)	0 - 9	< 5 Muy baja 5 – 15 Baja 15 – 25 Media 25 – 35 Alta > 35 Muy alta
Densidad aparente (g cm ⁻³)	< 1,6	< 1,0 Muy baja 1,0-1,2 Baja 1,2-1,5 Media 1,5-1,7 Alta > 1,7 Muy alta

Fuente: IGAC (2000)



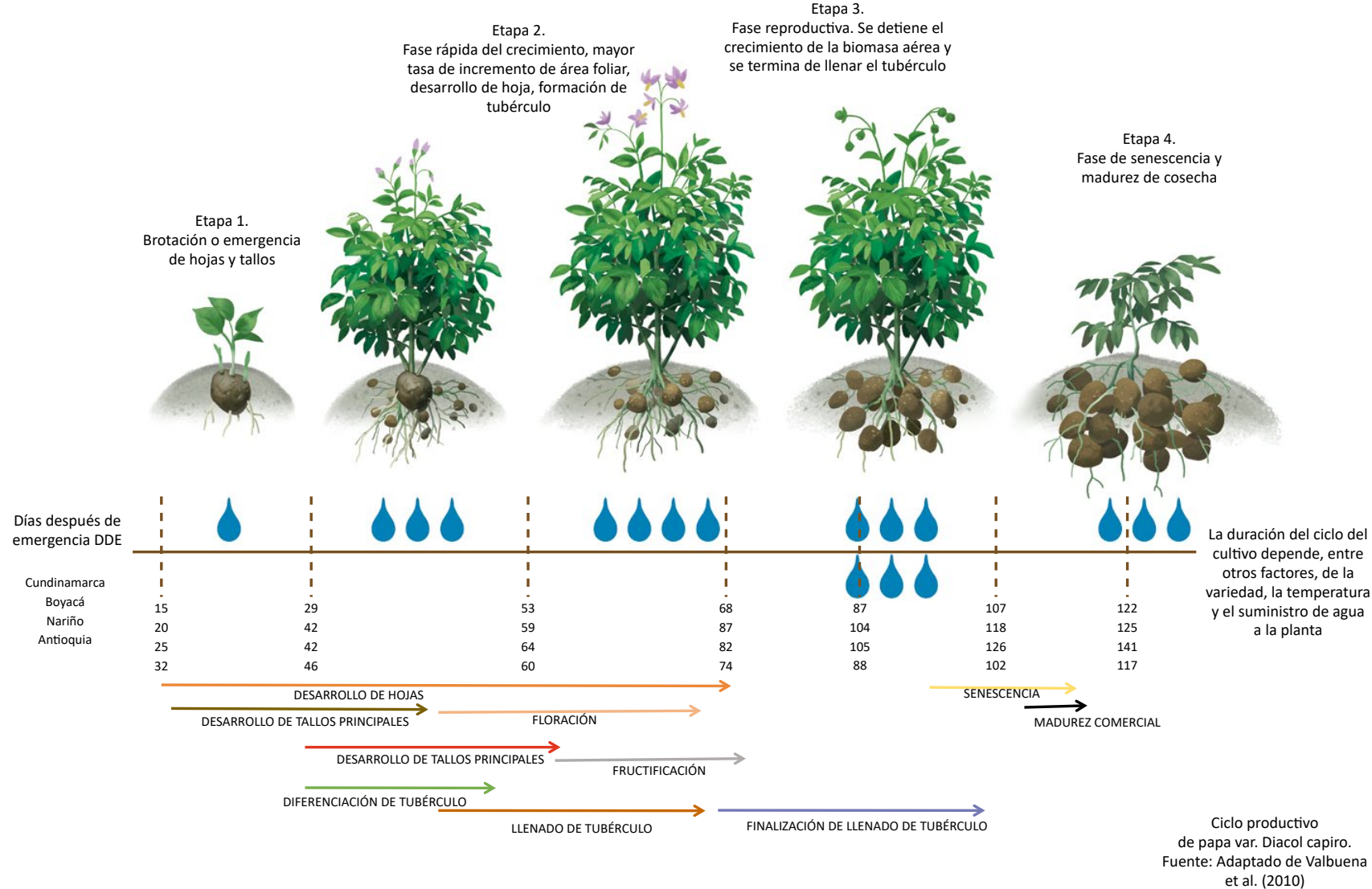


Capítulo III

La gestión del agua, el carbono y la nutrición en el cultivo de la papa

Fenología del cultivo de papa

Asumiendo que los aspectos agronómicos del cultivo como la fertilización, el control de plagas y enfermedades, el manejo de arvenses, los aporques, entre otros, se manejan correctamente, la clave para garantizar el máximo rendimiento productivo en un sitio (o rendimiento potencial) es conocer cada una de las fases fenológicas del cultivo, la cantidad de agua requerida de acuerdo con la variedad, las características de clima y suelo (figura 18).



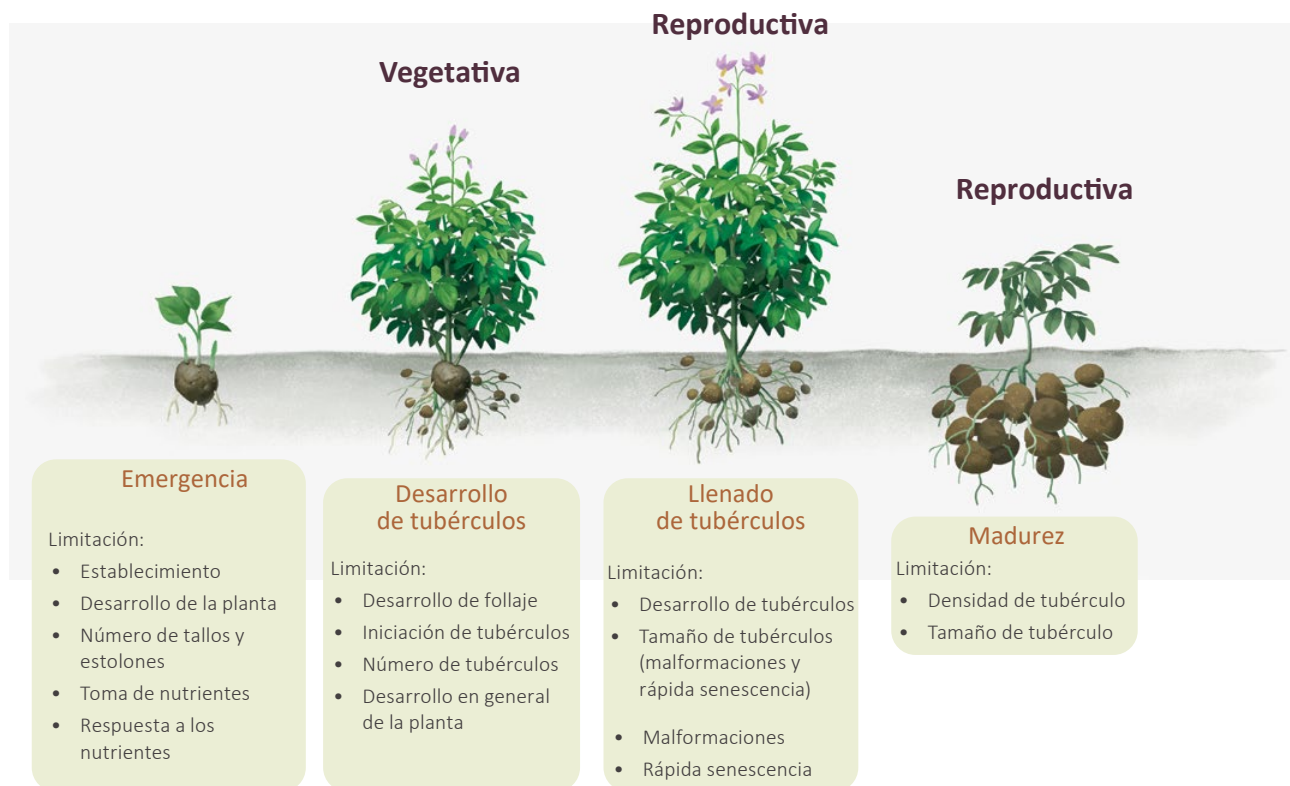
▲ **Figura 18.** Descripción del ciclo fenológico del cultivo de la papa para la variedad Diacol Capiro.
Fuente: Elaboración propia

Respuesta de la planta de papa al estrés hídrico

La respuesta de la planta al estrés hídrico depende de varios factores, como la etapa fenológica, el genotipo, el nivel de estrés (intensidad-severidad) y la tasa de progresión. Esta respuesta se puede evidenciar a diferentes niveles: morfológico y de crecimiento, fisiológico, bioquímico y molecular (Pinheiro & Chaves, 2011).

Respuesta según la fenología

En etapa vegetativa, uno de los principales efectos del déficit hídrico en la planta de papa son las limitaciones en el desarrollo del área foliar, las raíces y los tubérculos; mientras que en etapas reproductivas las principales limitaciones se presentan en el llenado y la calidad de tubérculos (figura 19).



▲ **Figura 19.** Efecto del estrés hídrico según la etapa fenológica del cultivo de papa.
Fuente: Elaboración propia, a partir de Obidiegwu et al. (2015)

Respuesta según el nivel de estrés

Durante estrés hídrico leve, las limitaciones de la planta son principalmente estomáticas, por lo que la fijación de carbono y el transporte de carbohidratos a órganos de reserva como los tubérculos se ven restringidos (Liu et al., 2010). Conforme el estrés se hace más severo, las respuestas no estomáticas, como alteraciones del metabolismo fisiológico y bioquímico, se van haciendo más predominantes (Xu et al., 2010).

Los procesos no estomáticos involucran la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) que producen daños oxidativos en diferentes biomoléculas. Por ejemplo, las ROS afectan la integridad de las membranas de los cloroplastos donde se encuentra ensamblado el aparato fotosintético responsable de la generación de energía para la producción de fotoasimilados. Con el fin de reducir los daños, la planta incrementa la concentración de antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos, así como la concentración de osmolitos compatibles (figura 20) (Anithakumari, 2011; Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA], 2022; Obidiegwu et al., 2015).



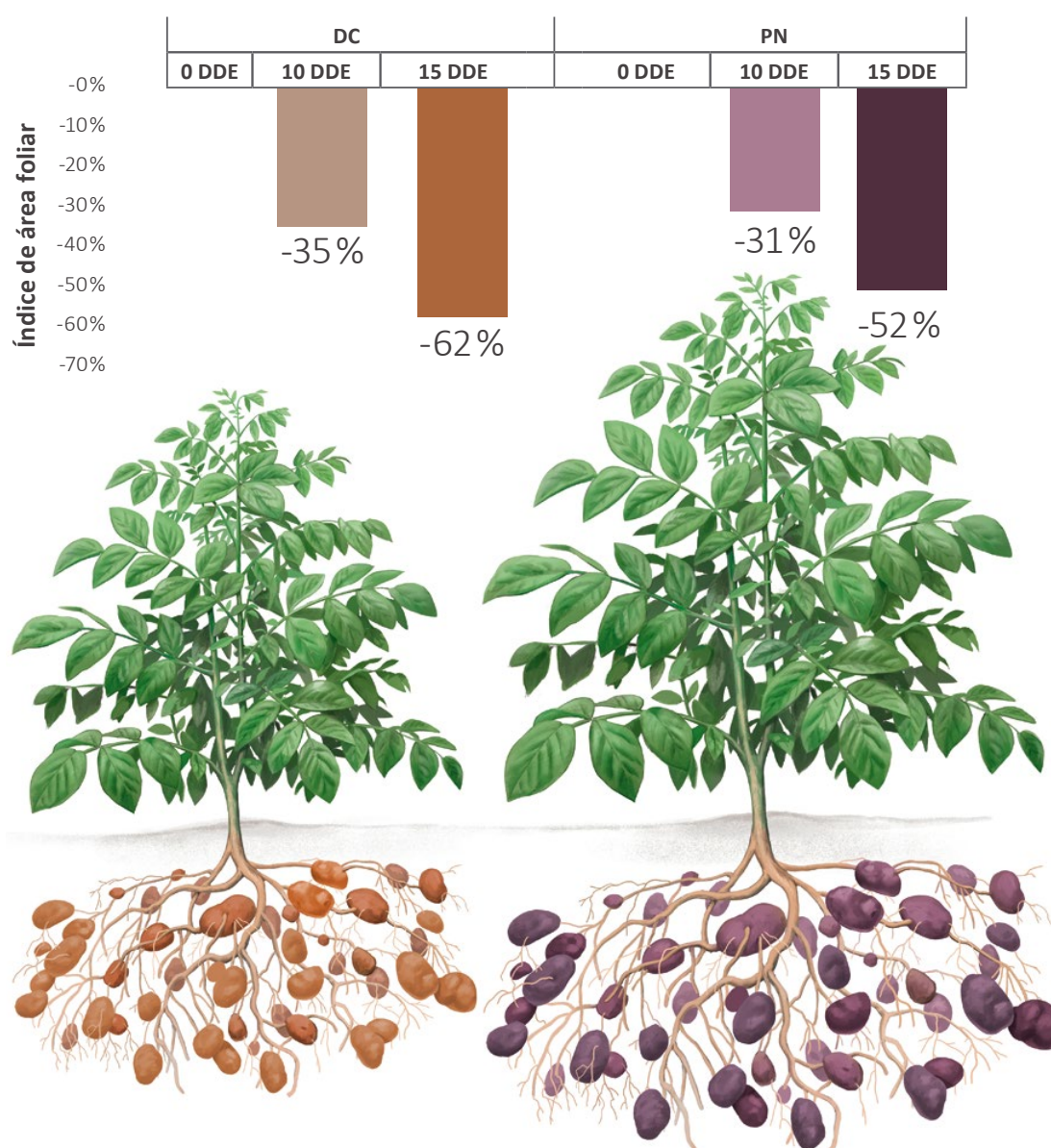


▲ **Figura 20.** Respuesta en algunas variables de crecimiento fisiológicas, bioquímicas y moleculares de la planta de papa sometida a estrés hídrico.

Fuente: Elaboración propia, a partir de AGROSAVIA (2022), Anithakumari (2011), Obidiegwu et al. (2015)

Respuesta según el genotipo

Las variedades de papa pueden tener diferencias en su respuesta a un mismo nivel del estrés; por ejemplo, investigaciones adelantadas por AGROSAVIA evidencian que después de 15 días de estrés hídrico (15 DDE) la variedad Perla Negra, en comparación con Diacol Capiro, mantuvo una producción constante de fotoasimilados y fue menos afectada en variables fisiológicas, como el índice de área foliar (figura 21). Por lo tanto, podría considerarse un genotipo tolerante a la sequía (Romero et al., 2017).



▲ **Figura 21.** Reducción de índice de área foliar en Diacol Capiro (DC) y Perla Negra (PN), luego de ser sometidas a 10 y 15 días de estrés hídrico.

Fuente: Elaboración propia, a partir de Romero et al. (2017)

Gestión del agua

La papa es el producto agrícola que ocupa el tercer lugar de importancia a nivel mundial, después del trigo y el arroz, en términos de consumo humano, y es cultivado en más de 150 países con 19 millones de hectáreas, y es consumido por 1.400 millones de personas (Centro Internacional de la Papa [CIP], 2017). De acuerdo con el CIP, este cultivo produce más alimento por unidad de agua que cualquier otro y es siete veces más eficiente en el uso de agua que los cereales. Sin embargo, es un cultivo muy susceptible a la sequía, debido principalmente a su sistema de raíces poco profundo. Por lo tanto, bajo restricciones de agua en cualquiera de sus etapas, puede verse afectada la calidad y cantidad de tubérculo cosechado. Por ello, la gestión del agua cobra relevancia en el éxito del cultivo.

El agua a nivel predial puede destinarse a diferentes propósitos que, en conjunto con prácticas agronómicas adecuadas, son claves para su sostenimiento y para asegurar un buen rendimiento del cultivo. Algunos de esos propósitos son: lixiviación para el control de la salinidad, garantizar la germinación, controlar la formación de costras en el suelo, mitigación de heladas, entre otros. Sin embargo, el propósito principal de la gestión del recurso hídrico en un cultivo es reponer el agua que se ha agotado debido a los efectos de la transpiración de la planta y la evaporación del suelo, lo que en términos técnicos se denomina suplir las necesidades de agua del cultivo; esto evita un estrés hídrico indeseado que lleva a pérdidas del rendimiento potencial (Jensen & Allen, 2016). Para ello, se requiere una adecuada oferta de lluvias o, en su defecto, una infraestructura especializada de riego que, a su vez, demanda inversión, manejo de tecnología y costos de mantenimiento. El solo hecho de contar con esa infraestructura no garantiza el éxito en términos de beneficio-costos del sistema productivo, de manera que es necesario integrar diferentes conocimientos de la agronomía, el suelo, la planta y la atmósfera.

En la siguiente sección, se da información básica para tener en cuenta en el momento de gestionar el recurso hídrico en el cultivo de papa, y se hace énfasis en la irrigación a presión (aspersión, microaspersión y goteo); además, se brindan elementos clave para guiar al productor en cuanto a cómo, cuándo y cuánta agua aplicar.

El riego en el cultivo de la papa

El método de riego (cómo aplicar)

El riego es uno de los factores más importantes y el cual contribuye al éxito y a la calidad del rendimiento de la papa, así como a la resistencia de la planta a las enfermedades. Pero existen diferentes métodos de riego que deben ser evaluados previo a su adquisición y operación, ya que los costos en montaje, manipulación, mantenimiento y mano de obra pueden variar significativamente, dependiendo del método y su adaptación al sistema productivo de la papa.

En la tabla 7, se mencionan las principales diferencias entre los métodos de riego que más se usan en Sabana de Occidente de Cundinamarca, tomando como referencia algunos indicadores que son importantes para tener en cuenta en el momento de elección u operación de un sistema de riego.

Tabla 7. Principales diferencias entre los sistemas de riego a presión

Indicador	Aspersión fija	Aspersión móvil	Microaspersión	Goteo
Eficiencia de riego.	80-85 %	80-85 %	85-90 %	90-95 %
Inversión inicial.	Alta	Mediana	Alta	Alta
Nivel técnico necesario para su adecuada operación.	Mediano	Elevado	Mediano	Elevado
Mano de obra necesaria para su operación.	Baja	Mediano	Baja	Baja
Necesidades de energía para su operación.	Alta	Alta	Mediana	Baja
Calidad de agua.	Baja	Baja	Mediana	Alta
Facilidad de incorporar labores de nutrición en el riego.	Baja	Baja	Mediana	Alta
Compatibilidad con las labores culturales.	Media	Alta	Media	Baja

Fuente: Elaboración propia, a partir de Carrazón Allocén (2018)

Diseño del sistema

Los sistemas de riego tienen diferentes componentes: sistema de presión (motobomba), sistema de filtrado, sistema de conducción y emisores. Para potenciar el correcto funcionamiento, todos sus componentes deben trabajar de manera integral y ser compatibles al uso, a las dimensiones del lote y al cultivo.

.....
Es recomendable que: una parte de la inversión inicial (entre el 10% y el 15%) se destine al estudio y diseño del sistema orientado por personal especializado antes de la adquisición y puesta en marcha de cualquier método.

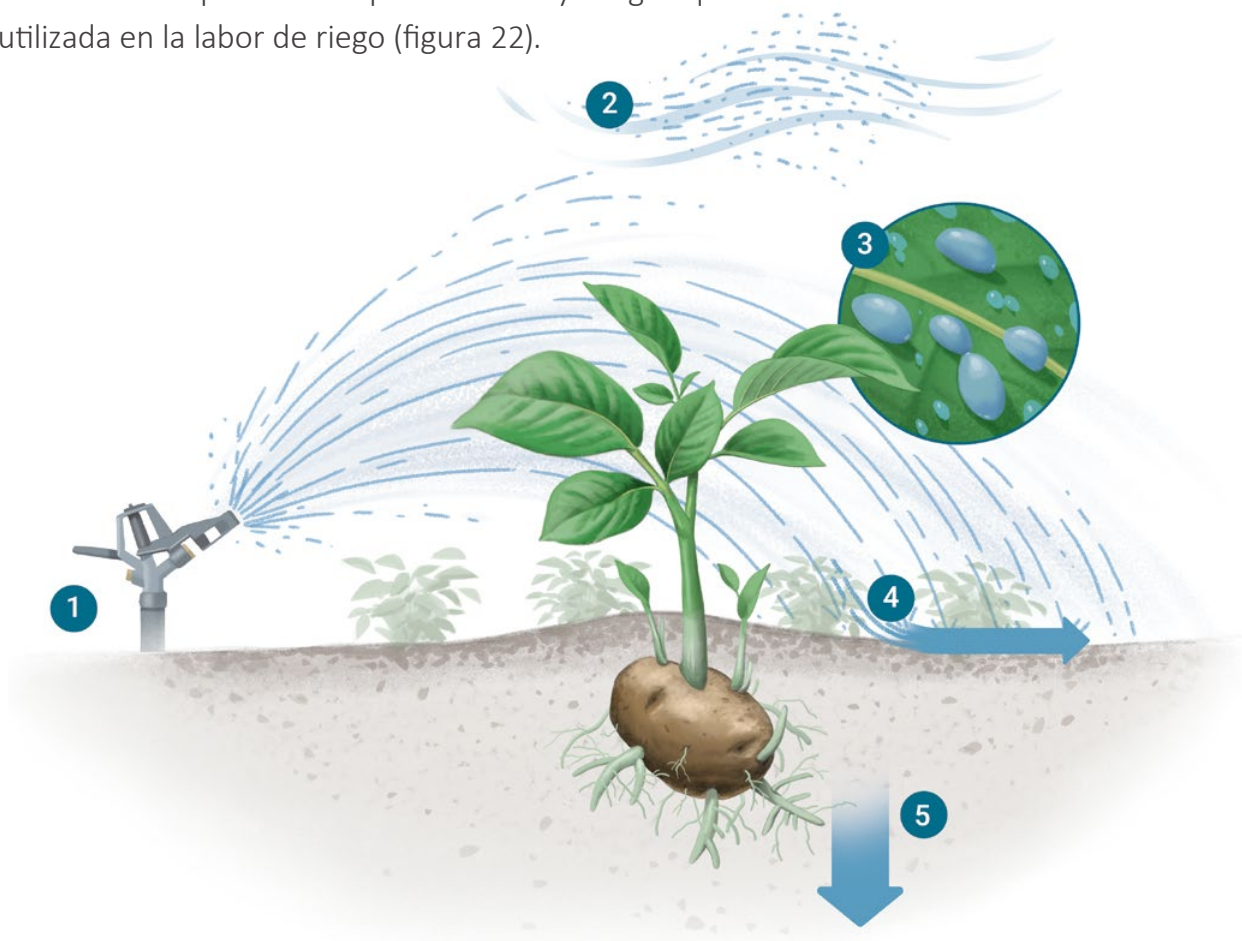
Es importante recordar que: los sistemas de riego requieren un alto nivel de adaptación y ajuste a las condiciones propias del sitio y a la disposición del cultivo
.....

Cuando no se tiene en cuenta un buen diseño de los sistemas se pueden presentar las siguientes situaciones:

-  Costos de adquisición y operación muy altos, producto del sobredimensionamiento; por ejemplo, disposición de tuberías de espesor muy grueso diseñadas para soportar presiones muy altas y que nunca se van a presentar en el sistema, diámetros de tuberías grandes y motobombas de potencia superior a la requerida.
-  Costos de mantenimiento altos: un mal diseño hidráulico puede ocasionar ruptura de tuberías, taponamiento de los emisores y daños en los equipos de bombeo.
-  Bajas eficiencias de riego: la selección y disposición inadecuadas de los emisores, como la separación de los aspersores de manera no uniforme y con solapamiento muy bajo o alto, el uso de boquillas inadecuadas y presiones de operación muy altos por el uso incorrecto de la motobomba.
-  Desuniformidad en el desarrollo de las plantas: una baja uniformidad se refleja en el cultivo; en los sitios donde el sistema suministra más agua, las plantas tienen mayor desarrollo. Por el contrario, para lugares del lote que reciben menores cantidades de agua, se presentan plantas de bajo porte y que además pueden adelantar su cosecha por efectos acumulativos de estrés hídrico. Asimismo, si el sistema cuenta con fertirriego este problema se potencializa, además de la baja eficiencia en las labores y los costos de nutrición.

Eficiencia de riego

La eficiencia de riego es la relación entre el agua que realmente es aprovechada por el cultivo y el agua que es utilizada en la labor de riego (figura 22).



En un sistema por aspersión, se estima que la eficiencia puede variar entre un 80% y un 85%; es decir, por cada 1 m³ de agua que ingresa al sistema, entre 0,8 y 0,85 m³ los aprovecha realmente la planta. La gran diferencia se encuentra en la aplicación: los sistemas de riego por aspersión disponen el agua en forma de lluvia artificial (1), lo que implica que una fracción del agua sea desviada por vientos fuertes (2), se quede en la superficie de las hojas (3), o se pierda por escorrentía y percolación profunda (4 y 5) (ver figura 22).

◀ **Figura 22.** Eficiencia en el riego.
Fuente: Elaboración propia

A continuación, se mencionan algunos puntos importantes para mejorar o mantener una buena eficiencia en el riego por aspersión.

- 🌱 Cerciórese de que el fabricante o el comercializador de los aspersores le suministre la hoja técnica con la siguiente información: diámetro o radio de humedecimiento, caudal y presión de operación (figura 23).

Tabla de rendimiento, boquilla única, largo SD (negro), tasas de precipitación (mm/h) y uniformidad (CU) para diversos espaciamientos

Color de boquilla (mm)	P (bar)	Q (m³/h)	D (m)	Espaciamiento (m)				
				10x10	10x12	12x12	12x14	14x14
3.0 Rojo	2.5	0.570	21.0	5.7	4.8	4.0	3.4	2.9
	3.0	0.630	22.0	6.3	5.3	4.4	3.8	3.2
	3.5	0.680	23.0	6.8	5.7	4.7	4.1	3.5
	4.0	0.720	23.0	7.2	6.0	5.0	4.3	3.7
3.2 Verde	2.5	0.640	21.2	6.4	5.3	4.4	3.8	3.3
	3.0	0.700	22.2	7.0	5.8	4.9	4.2	3.6
	3.5	0.760	23.0	7.6	6.3	5.3	4.5	3.9
	4.0	0.810	23.0	8.1	6.8	5.6	4.8	4.1
3.5 Azul	2.5	0.740	23.0	7.4	6.2	5.1	4.4	3.8
	3.0	0.810	23.0	8.1	6.8	5.6	4.8	4.1
	3.5	0.870	24.0	8.7	7.3	6.0	5.2	4.4
	4.0	0.930	25.0	9.3	7.8	6.5	5.5	4.7
4.0 Negro	2.5	0.950	23.2	9.5	7.9	6.6	5.7	4.8
	3.0	1.030	24.2	10.3	8.6	7.2	6.1	5.3
	3.5	1.110	25.0	11.1	9.3	7.7	6.6	5.7
	4.0	1.180	26.0	11.8	9.8	8.2	7.0	6.0

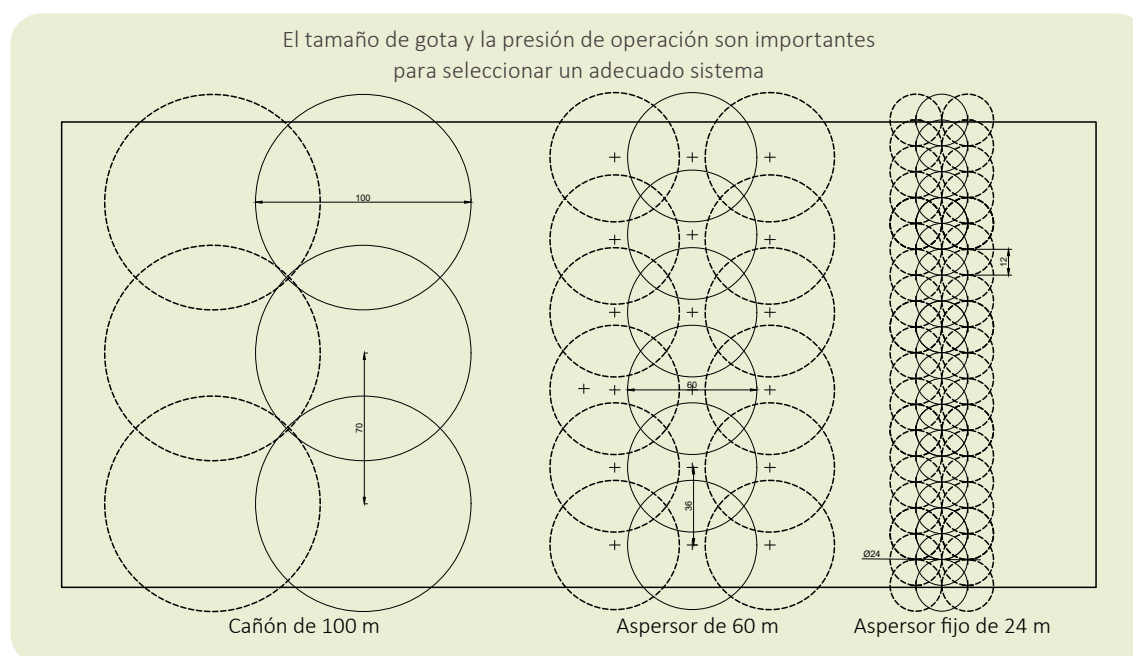
▲ **Figura 23.** Ejemplo de una hoja técnica de aspersor.
Fuente: Adaptado de Rivulis (s. f.)

- 🌳 Garantice un buen traslape. Por ejemplo, en la figura 23 se aprecia que con el aspersor de boquilla única de color negro, cuando opera a 3 bar de presión, el caudal es de 1,03 m³/h⁻¹ y genera un diámetro de humedecimiento de 24,2 m. Por lo tanto, los espaciamientos recomendados varían cercanos al radio o a mitad del diámetro: 10 X 10 m, 10 X 12 m, 12 X 12 m, 12 X 14 m y 14 X 14 m. Cualquiera de estos espaciamientos ofrece buena uniformidad y eficiencia, pero por regla general se recomienda que el espaciamiento se adopte al valor medio del diámetro (el radio), es decir, 12 x 12 m.
- 🌳 Utilice una sola referencia o modelo de aspersor en el sistema, evite mezclas de modelos, boquillas y marcas, ya que las especificaciones técnicas varían entre ellas, aunque físicamente los aspersores sean muy similares.

Inversión inicial

Los sistemas de riego por goteo y microaspersión son los que necesitan mayor inversión inicial, debido a la cantidad de emisores requeridos (cintas o líneas de goteo), que a su vez llevan a un alto costo de instalación. También estos métodos piden obligatoriamente un buen sistema de filtrado para evitar el taponamiento de los emisores y así maximizar la vida útil del sistema y la uniformidad. El goteo tiene la posibilidad de integrar un sistema de fertirriego e inclusive la automatización. Si se consideran estos adicionales, sus costos iniciales se incrementan aún más.

La aspersión fija también demanda una inversión inicial alta, principalmente por la cantidad de aspersores. A diferencia de los anteriores, la aspersión móvil requiere menos componentes (cantidad de aspersores y tuberías de conducción), los cuales se rotan por el lote cada vez que se realiza la labor y por ende su inversión inicial puede ser menor. Pero la rotación implica el movimiento constante de tuberías, motobombas y aspersores, y esto debe ser compensado con materiales resistentes y ligeros, como las tuberías de aluminio, lo que incrementa costos. Del mismo modo, los aspersores recomendados en este tipo de sistemas son de bronce, aluminio o combinaciones, en contraste con los de plástico usados en aspersión fija; en consecuencia, la inversión inicial es moderada.



▲ **Figura 24.** Esquema general de la ubicación y posición de los aspersores y cañones.
Fuente: Elaboración propia

-  El riego por cañones necesita una baja inversión en relación con el área irrigada (figura 24, izquierda); sin embargo, opera con altas presiones y el tamaño de sus gotas puede causar daños mecánicos a las hojas del cultivo. Se recomiendan separaciones no mayores que 0,7 veces el diámetro de operación.
-  Los aspersores fijos o móviles mejoran la uniformidad del riego. Los aspersores fijos con diámetros más pequeños (figura 24, derecha) requieren inversiones más altas; no obstante, la presión y el caudal de trabajo es menor, lo que permite mayor uniformidad y bajo riesgo de daño mecánico al cultivo.

Nivel técnico necesario para su adecuada operación

El riego por goteo es el sistema más eficiente y con menores requerimientos de potencia de las motobombas; también ofrece una gran ventaja: el fertirriego. Esto permite un alto nivel técnico para su adecuada operación, la mezcla de fertilizantes, la dosificación, el mantenimiento y la limpieza de los filtros demanda experiencia y entrenamiento.

La aspersión móvil exige un adecuado mantenimiento de los equipos, especialmente de la motobomba. El operario debe conocer e interpretar la curva de operación de la bomba, y mantener y ajustar las revoluciones según el terreno o lote donde se realiza la labor; asimismo, acoplar y desacoplar las tuberías con los accesorios y las herramientas apropiadas, monitorear la humedad del suelo, los tiempos de riego y las separaciones acordes con las especificaciones del aspersor.

Mano de obra necesaria para su operación

Los sistemas de riego por aspersión móvil son los que mayor mano de obra requieren, más específicamente en la rotación de los equipos y turnos de riego. El riego por goteo y la microaspersión solo demanda una alta mano de obra en su instalación. Después de comenzar la operación, el personal que se necesita es para labores de inspección, limpieza de filtros y apertura, y cierre de válvulas (en el caso de no contar con un sistema automatizado).

Necesidades de energía para su operación

Las necesidades de energía de los sistemas de riego a presión varían según las condiciones del terreno. La topografía y ubicación de la fuente de agua pueden permitir el riego por gravedad, y así evitar el uso continuo de motobombas. Sin embargo, para la zona de Sabana de Occidente el paisaje no es propicio para dicha condición. El uso de motobombas y las necesidades energéticas son mayores para el sistema de riego por aspersión, ya sean fijos o móviles, puesto que los caudales y presiones de operación de los emisores son mayores comparados con los sistemas de riego por goteo o microaspersión. Por ejemplo, los goteros usualmente requieren entre 0,6 y 1,0 bar como mínima presión para funcionar adecuadamente; por el contrario, aspersores como los que se indican en la figura 23 piden entre 2,5 y 4,0 bar de presión. Los cañones pueden exigir entre 4,0 y 7,6 bar, dependiendo del caudal y diámetro de humedecimiento requerido.

.....
Recuerde: un (1,0) bar de presión equivale a 10,2 metros de columna de agua (m. c. a); es decir, es equivalente a la presión que ejerce un tanque con agua a 10,2 metros de elevación.
.....

Calidad de agua

El sistema de riego por goteo y microaspersión requiere una alta calidad del agua (en términos de remoción de sólidos en suspensión) debido a su alta susceptibilidad al taponamiento. Por lo anterior, se recomienda que siempre estos sistemas estén acompañados de un sistema de filtrado combinando arena y filtros de discos o malla como mínimo.

.....
Todos los sistemas de riego por goteo y microaspersión deben contar siempre con un sistema de filtración de arena y discos, independientemente de la calidad del agua que se disponga en la captación.
.....

¿Cada cuánto aplicar?

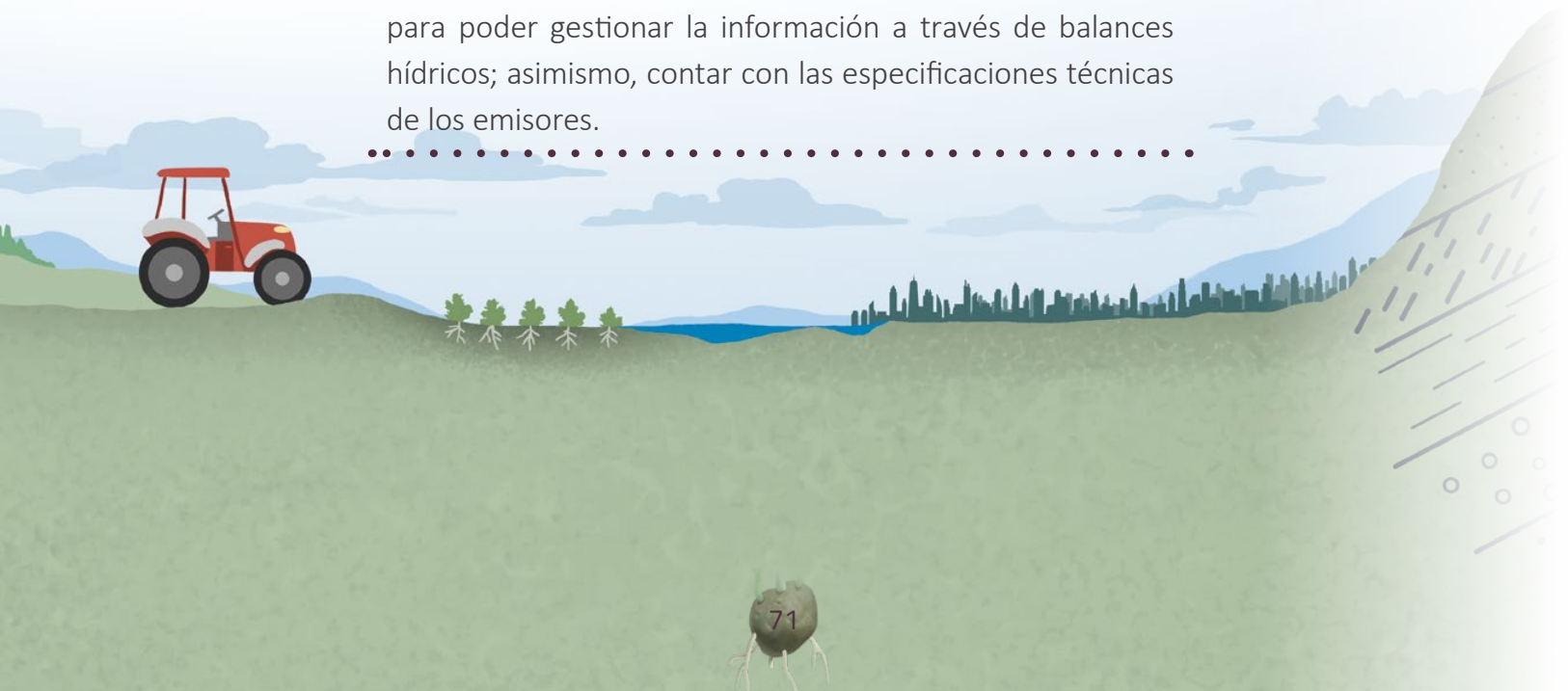
Dependiendo del sistema de riego disponible, se usan básicamente dos regímenes de humedad de suelo que se emplean para la gestión del riego a presión (Pizarro, 1996).

Alta frecuencia: consiste en aplicaciones de agua permanente (diario) y dosis pequeñas, manteniendo la humedad del suelo cerca de la capacidad de campo. Es la técnica que usualmente manejan los sistemas de riego por goteo y microaspersión.

Riego convencional o baja frecuencia: se aplican mayores láminas de riego y con menor frecuencia. En este caso, la humedad del suelo se permite agotar desde capacidad de campo hasta un umbral permisible (agotamiento permisible), evitando que el cultivo presente síntomas de estrés hídrico. Cuando, por efecto de la evapotranspiración del cultivo, la humedad del suelo se acerque al umbral, se aplica la dosis de riego. Los riegos se emplean separados por varios días. El sistema que se recomienda para el riego de baja frecuencia es el de aspersión y sus variaciones.

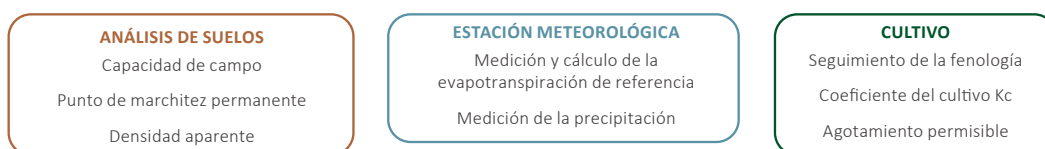
-
Cualquiera de las técnicas anteriormente descritas requiere un monitoreo y registro constante de la evapotranspiración de referencia, precipitación, tensión y humedad del suelo para poder gestionar la información a través de balances hídricos; asimismo, contar con las especificaciones técnicas de los emisores.

.....



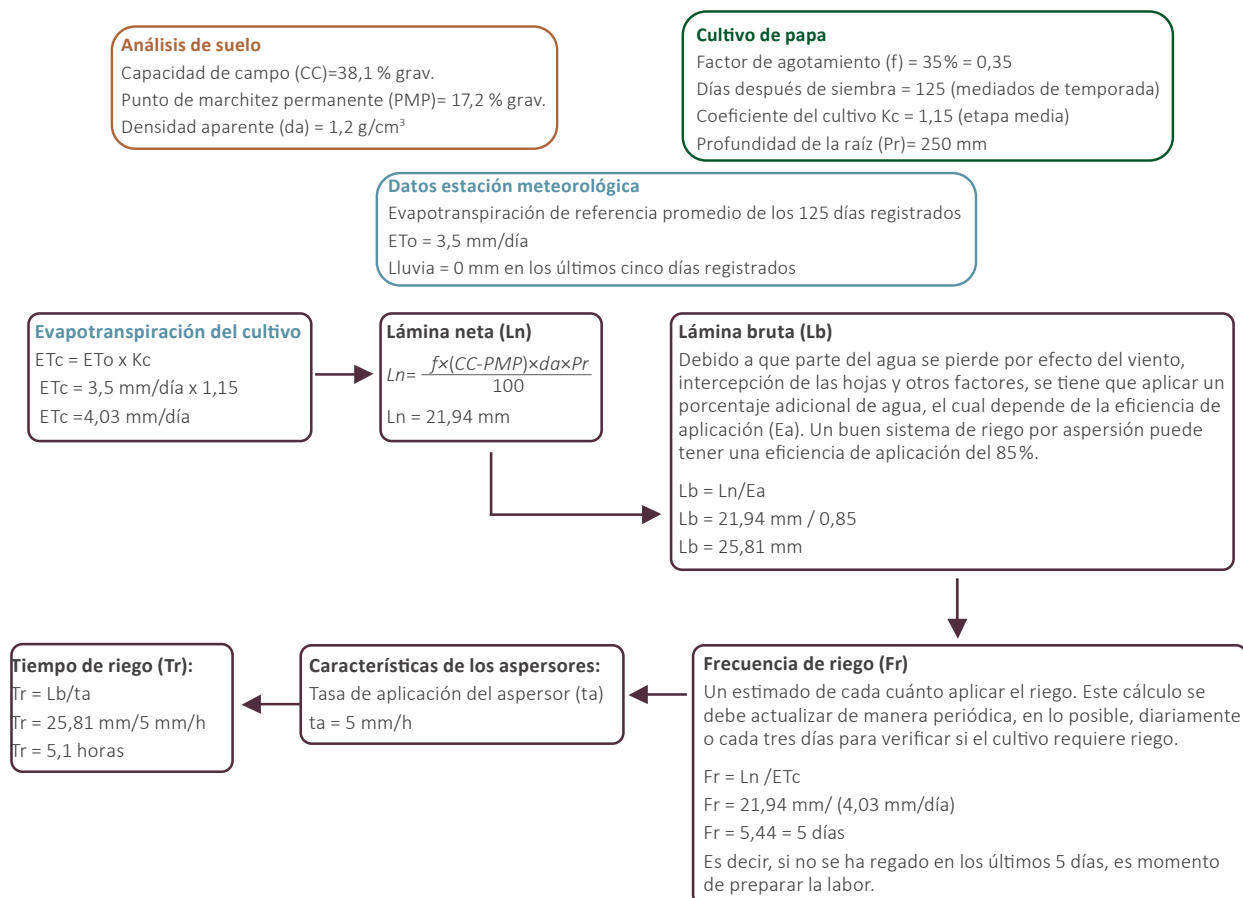
¿Cuánta agua aplicar?

Para establecer el volumen de agua que necesita el cultivo de papa, se debe cuantificar la cantidad que ha sido agotada por efectos de la transpiración de la planta y la evaporación del suelo (suplir las necesidades de agua del cultivo); por ello, es necesario contar con la información descrita en la figura 25.



▲ **Figura 25.** Información necesaria para el cálculo del volumen requerido de agua por el cultivo de papa.
Fuente: Elaboración propia

Esta información permite la gestión del riego, dependiendo de la técnica y del sistema empleado. En la figura 26, se presenta un ejemplo práctico usando el criterio de riego convencional.



▲ **Figura 26.** Ejemplo práctico para el cálculo del riego requerido, según el criterio convencional.
Fuente: Elaboración propia

Gestión del carbono

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), para 2050, la agricultura necesitará producir al menos el 50% más de alimentos que en 2012, de acuerdo con las proyecciones de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), que indican que la población mundial para ese entonces alcanzaría los 9,73 billones (FAO, 2017). La oferta cambiante del clima hace cada vez más difícil cumplir con estas metas, debido a que los rendimientos de cosecha en algunas regiones pueden declinar considerablemente por causa de efectos adversos en la producción. En este sentido, la papa se considera uno de los principales cultivos alimentarios y nutritivos que pueden mejorar la seguridad alimentaria en muchos países en desarrollo económico; de ahí que el gran reto que enfrentan los productores en la actualidad y en diferentes regiones sea producir más tubérculo en la misma cantidad de área disponible; es decir, incrementar la productividad del cultivo a pesar de los variables y muchas veces impredecibles impactos negativos del clima. En cuanto al costo ambiental para la producción y la productividad, este podría ser muy alto, si se considera que la agricultura contribuye a las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI) (Smith et al., 2019).

De acuerdo con lo anterior, surge la siguiente pregunta: ¿cómo el cultivo de la papa puede ser productivo y a la vez aportar a las reducciones de CO₂ atmosférico?

La agricultura también representa un sumidero de carbono, ya que las especies vegetales capturan el CO₂ atmosférico a través de su proceso de fotosíntesis y lo transforman en biomasa. En el caso del cultivo de la papa, una gran cantidad de la biomasa al final del ciclo está representada en el tubérculo y la otra, en la que se incorpora en el suelo una vez se ha cosechado. Teniendo en cuenta esto, una estrategia clave en términos de mitigación de CO₂, es aumentar la capacidad de absorción por el cultivo.

Las buenas prácticas agrícolas están relacionadas directamente con la estrategia de gestión del carbono. Cuando el cultivo crece en condiciones óptimas de manejo del suelo, nutrición, plagas, enfermedades, arvenses y suministro hídrico,



se incrementa su capacidad de desarrollar más área foliar para fijar CO_2 y llevarlo a las demás estructuras y órganos de la planta. Por el contrario, cuando no es bien manejado, puede causar pérdidas económicas y, al final del ciclo, convertirse en un emisor de CO_2 hacia la atmósfera.

Para comprender mejor el impacto que tiene el manejo del cultivo de la papa en el balance de carbono (absorciones y emisiones de CO_2), en AGROSAVIA, a través del proyecto de investigación “Sistema de Información Agroclimático para el cultivo de la papa”, se evaluaron tres ciclos productivos de papa de la variedad Diacol Capiro, cada uno ubicado en fincas de productor tradicional de papa, en los municipios de Subachoque (figura 27), Facatativá y Tenjo. Los cultivos se manejaron bajo prácticas culturales comunes en la región, y solo varió la condición de suministro de agua de la siguiente manera:

-  Con base en el monitoreo de la humedad del suelo, en el cual se suministró riego al cultivo garantizando como mínimo el 50% del agua fácilmente aprovechable, y de esta manera se aseguraron condiciones de humedad necesarias para un óptimo desarrollo del cultivo.

Aplicaciones de riego fijas o calendarizadas (sin monitoreo de la humedad del suelo), lo cual se tradujo en un desarrollo del cultivo por debajo del óptimo.

-  Cultivo bajo secano (coincidiendo la mayor parte del ciclo de cultivo con tiempo seco), situación que generó estrés hídrico del cultivo. Los flujos de energía, la evapotranspiración y el balance de carbono se monitorearon a través de una torre micrometeorológica tipo “Eddy Covariance” (Martínez-Maldonado et al., 2021). Se encontró que los valores del balance de CO_2 en los ciclos productivos, de acuerdo con el manejo del agua, son diferentes. En la tabla 8, se presenta el balance de carbono desde la siembra hasta la cosecha para cada condición hídrica.

Tabla 8. Balance de dióxido de carbono de tres sistemas de papa cv. Diacol Capiro en la región Sabana de Occidente de Cundinamarca

Condiciones hídricas del cultivo	Balance neto de CO ₂ por ciclo de producción de papa, desde siembra hasta cosecha
Riego con base en monitoreo de la humedad del suelo	-9.73 Ton CO ₂ /ha (absorciones por el cultivo)
Riego sin monitoreo de la humedad del suelo (aplicaciones calendarizadas)	-1.67 Ton CO ₂ /ha (absorciones por el cultivo)
En seco (coincidiendo con tiempo seco)	+7.07 Ton CO ₂ /ha (emisiones desde el cultivo)
*El signo positivo o negativo que antecede el valor del balance significa la dirección del flujo de carbono desde o hacia la atmósfera. El signo negativo significa fijaciones de carbono por el cultivo desde la atmósfera y signo positivo, emisiones hacia la atmósfera.	

Nota: El balance de dióxido de carbono de los tres sistemas se realizó bajo diferente condición hídrica, y se evaluó hasta un día antes de la labor tradicional de “quema” o muerte de parte aérea del sistema productivo.

Fuente: Elaboración propia, a partir de resultados del proyecto SGR Cod. 66153¹



▲ **Figura 27.** Cultivo de papa bajo riego ubicado en Subachoque, Cundinamarca, monitoreando la humedad del suelo.
Nota: A la derecha de la figura se puede ver la estación micrometeorológica tipo “Eddy Covariance”.
Fuente: Elaboración propia

- 1 Datos provenientes del proyecto “Modelo de simulación del cultivo de la papa a partir de mediciones de la evapotranspiración real, el balance de carbono y de energía, y la productividad, en relación con la oferta climática cambiante en el departamento de Cundinamarca”, financiado por el Fondo de Ciencia, Tecnología e innovación del Sistema General de Regalías, administrados por el Fondo Nacional para el financiamiento de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación Francisco José de Caldas, del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, programa Colombia BIO y Gobernación de Cundinamarca 2018-2021.

Efecto de la labor de “quema” en el balance de carbono en los sistemas productivos de papa

Se cuantificó el efecto en las emisiones de dióxido de carbono atmosférico de una práctica cultural de la papa muy común en la región, denominada “quema”, la cual se realiza con el objetivo de acelerar la madurez comercial del cultivo. La quema consiste en la aplicación de herbicida posemergente de contacto no selectivo en la fase de senescencia de las plantas. El herbicida produce la muerte inmediata del follaje, con lo cual los tubérculos en el suelo fijarán su epidermis en un lapso de entre dos y tres semanas después de su aplicación (Allen et al., 2006; Porras Rodríguez & Herrera Heredia, 2015); esto hace que se quede en la superficie del suelo una gran cantidad de biomasa que luego entrará en proceso de descomposición, y si esta no se incorpora al suelo, genera emisiones de CO₂ hacia la atmósfera (figura 28).

La tabla 9 presenta el valor del flujo neto de CO₂ desde la quema hasta la cosecha de cada uno de los cultivos evaluados. Allí se puede observar que la quema aportó entre 1,06 y 1,87 toneladas de dióxido de carbono hacia la atmósfera en los tres cultivos, aun con manejo óptimo. El mayor contribuyente fue el sistema de papa bajo óptimas condiciones hídricas, lo cual estuvo acorde con lo esperado, ya que al final del ciclo productivo quedó una mayor cantidad de biomasa de las plantas que estaban más vigorosas, comparadas con las de los otros manejos del agua; esta biomasa se sometió a procesos de descomposición al igual que la de los demás cultivos. Se resalta que las emisiones en el caso del manejo óptimo del cultivo fueron mitigadas, porque después de la cosecha se incorporó al suelo la biomasa restante.

Tabla 9. Balance de CO₂ de tres sistemas de papa, variedad Diacol Capiro, evaluados en Sabana de Occidente, bajo diferente condición hídrica, desde la quema hasta la cosecha

Condiciones hídricas del cultivo	Balance de CO ₂ por ciclo de producción de papa, desde la quema hasta un día antes de la cosecha
Con base en monitoreo de la humedad del suelo	+1.87 Ton CO ₂ /ha (emisiones)
Sin monitoreo de la humedad del suelo (calendarizadas)	+1.06 Ton CO ₂ /ha (emisiones)
En seco (coincidiendo con tiempo seco)	+1.46 Ton CO ₂ /ha (emisiones)
*El signo positivo o negativo que antecede el valor del balance significa la dirección del flujo de carbono desde o hacia la atmósfera. El signo negativo significa fijaciones de carbono por el cultivo desde la atmósfera, y el signo positivo significa emisiones hacia la atmósfera.	

Fuente: Elaboración propia, a partir de resultados del proyecto SGR Cod. 66153



Podemos decir que la quema en el cultivo de la papa es una importante fuente de emisiones de CO₂; sin embargo, su efecto se puede mitigar incorporando el material vegetal aéreo en el suelo como parte de las buenas prácticas agrícolas.



Foto: Ángela María Castaño Marín

▲ **Figura 28.** Lote de papa var. Diacol Capiro en condiciones de quema de la parte aérea del cultivo 15 días antes de la cosecha, Subachoque, Cundinamarca.

El uso eficiente del agua en el cultivo repercute en mayor productividad y más capacidad para capturar carbono de la atmósfera.

Los resultados que se han presentado en este capítulo ayudan a comprender la importancia de generar planes de política sectorial para la implementación de infraestructura de riego para pequeños productores; además, ayuda a la construcción de indicadores que midan niveles de captura de carbono por cultivos, como parte de las recomendaciones del empalme gubernamental del sector agro 2022².

2 Documento de síntesis de recomendaciones del Gobierno de empalme del sector agro “Hacia un nuevo campo colombiano”, transición presidencial 2022.

Gestión de la nutrición

La baja disponibilidad de agua en el suelo reduce la tasa de transpiración en la planta y con ello limita la fijación de carbono y el transporte de nutrientes a través de los haces vasculares, desde la raíz hasta los tallos y las hojas; esto genera deficiencias y desbalances (Bista et al., 2018; Da Silva et al., 2011; Abass Ahanger et al., 2016). Se plantea que el contenido de nutrientes en los tubérculos luego de un periodo de estrés hídrico varía de la siguiente manera: la concentración de fósforo (P) y azufre (S) aumenta, mientras que la concentración de nitrógeno (N), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) disminuye (Da Silva et al., 2011). Sin embargo, la respuesta nutricional al estrés depende del genotipo, la concentración de nutrientes en el suelo y la duración del estrés (He & Dijkstra, 2014; Lefèvre et al., 2012).

Para hacer una gestión adecuada de la nutrición, se debe tener en cuenta la dinámica de los nutrientes en suelo y planta, las demandas nutricionales de cada variedad y los beneficios de diferentes tecnologías y tipos de fertilización; esto permitirá hacer un uso efectivo de los nutrientes.

Movilidad de nutrientes en suelo y planta

En el suelo, existen tres vías en las que los nutrientes hacen contacto con la raíz: 1) crecimiento de las raíces hasta llegar directamente a donde se encuentran los nutrientes; 2) difusión, que consiste en el movimiento de los nutrientes de un gradiente de mayor concentración a uno de menor, y 3) flujo de masas, en el cual los nutrientes se mueven disueltos en el agua del suelo, como consecuencia del flujo que causa la transpiración de la planta (Jones & Olson-Rutz, 2016). Esta última vía representa la mayor proporción de movilidad en suelo para gran parte de los nutrientes.

Tras una limitación del transporte de nutrientes por el déficit de agua en el suelo u otro factor, las plantas pueden presentar síntomas de deficiencias que van a estar relacionadas con la movilidad de los nutrientes en el floema (Jones & Olson-Rutz, 2016). De esta forma, en las hojas jóvenes se presentarán deficiencias de elementos poco móviles y en hojas viejas, elementos móviles (tabla 10).



Tabla 10. Clasificación, forma de absorción, movilidad en suelo y planta de los nutrientes

Nutriente	Clasificación	Forma de absorción	Movilidad en planta	Movilidad en el suelo
Carbón	Macronutriente	$\text{CO}_2, \text{H}_2\text{CO}_3$		
Hidrógeno	Macronutriente	$\text{H}^+, \text{OH}^-, \text{H}_2\text{O}$		
Oxígeno	Macronutriente	O_2		
Nitrógeno	Macronutriente	$\text{NO}_3^-, \text{NH}_4^+$	Móvil	Móvil como NO_3^- , inmóvil como NH_4^+
Fósforo	Macronutriente	$\text{HPO}_4^{2-}, \text{H}_2\text{PO}_4^-$	Algo móvil	Inmóvil
Potasio	Macronutriente	K^+	Muy móvil	Algo móvil
Calcio	Macronutriente	Ca^{2+}	Inmóvil	Algo móvil
Magnesio	Macronutriente	Mg^{2+}	Algo móvil	Inmóvil
Azufre	Macronutriente	SO_4^{2-}	Móvil	Móvil
Boro	Micronutriente	$\text{H}_3\text{BO}_3, \text{BO}_3^-$	Inmóvil	Muy móvil
Cobre	Micronutriente	Cu^{2+}	Inmóvil	Inmóvil
Hierro	Micronutriente	$\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}$	Inmóvil	Inmóvil
Manganeso	Micronutriente	Mn^{2+}	Inmóvil	Móvil
Zinc	Micronutriente	Zn^{2+}	Inmóvil	Inmóvil
Molibdeno	Micronutriente	MoO_4^{2-}	Inmóvil	Algo móvil
Cloro	Micronutriente	Cl^-	Móvil	Móvil
Cobalto	Micronutriente	Co^{2+}	Inmóvil	Algo móvil
Níquel	Micronutriente	Ni^{2+}	Móvil	Algo móvil

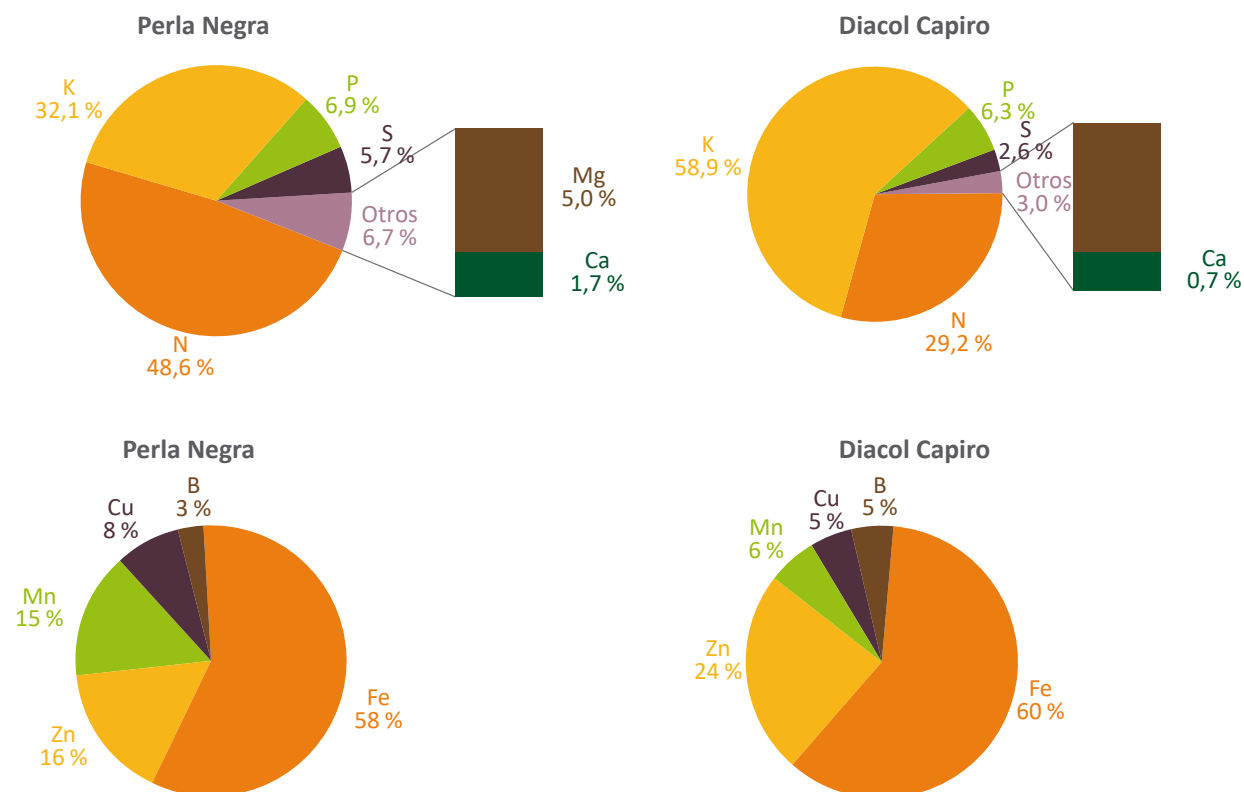
Nota: Los colores grises resaltan los nutrientes de más baja movilidad.

Fuente: Elaboración propia, a partir de Cornell University (2022)

Requerimientos nutricionales de la papa

Algunos estudios que se hicieron en Diacol Capiro mostraron reducción en los contenidos de calcio, azufre y manganeso en condiciones de estrés hídrico, relacionado con el déficit hídrico; además, evidenciaron la necesidad de hacer un manejo de estos nutrientes en condiciones de estrés (AGROSAVIA, 2022). En la figura 29, se muestra la proporción de cada nutriente con respecto al total de nutrientes extraídos por los tubérculos para la variedad Perla Negra y Diacol Capiro; asimismo, se observa que la variedad Perla Negra demanda menos potasio y zinc que la Diacol Capiro, pero más nitrógeno, calcio, magnesio, azufre y manganeso (Silva, 2022). Esto evidencia que la variedad Perla Negra requiere, en condiciones de déficit hídrico, un mayor refuerzo de las estrategias de manejo enfocadas en suplir las demandas de nutrientes como calcio o manganeso, dada su baja movilidad en suelo.





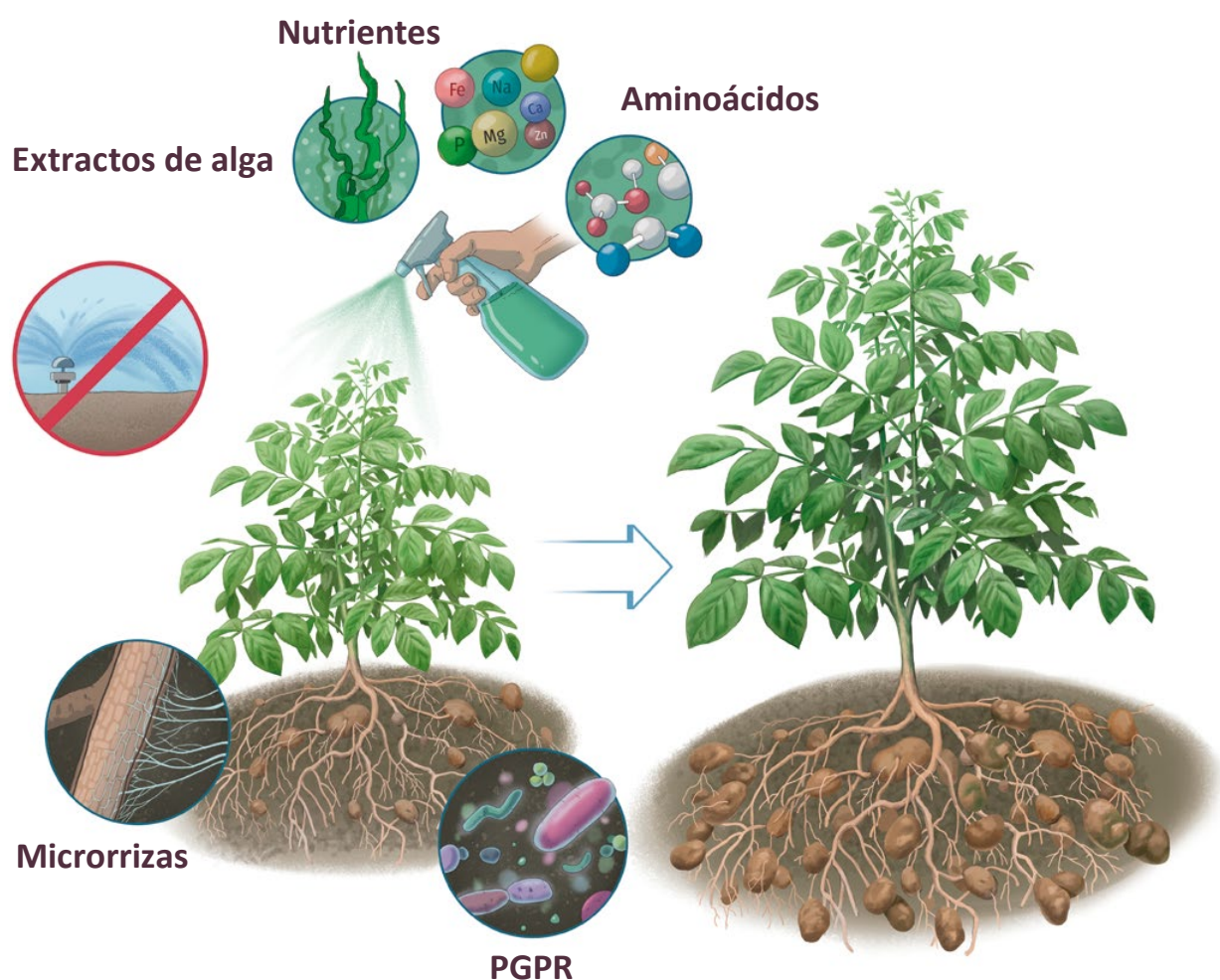
▲ **Figura 29.** Proporción de cada nutriente con respecto al total de nutrientes extraídos por los tubérculos para la variedad Perla Negra y Diacol Capiro.
Fuente: Elaboración propia, a partir de Silva (2022)

Tecnologías de nutrición y métodos de fertilización

En los últimos años, el uso de bioestimulantes en la agricultura ha aumentado considerablemente por sus beneficios: mejor absorción de nutrientes, eficiencia en el uso del agua, mayor rendimiento y calidad, mejora de las propiedades fisicoquímicas del suelo e incremento de la tolerancia de la planta a condiciones de estrés (figura 30). El creciente interés de la industria ha llevado a un auge en la cantidad de productos en el mercado, y muchos de estos se derivan de una amplia gama de fuentes, como microorganismos, extractos de plantas, aminoácidos hidrolizados y extractos de algas (Fleming et al., 2019), los cuales pueden ser aplicados vía foliar o edáfica.

Las interacciones planta-microorganismo brindan alternativas sostenibles a través de aplicaciones biotecnológicas, para que toleren condiciones ambientales adversas, como es el déficit hídrico. La comunidad microbiana que se encuentra muy cerca de las raíces

de las plantas es de naturaleza diversa y puede desempeñar un papel importante en la mitigación del estrés abiótico. Los microorganismos asociados a las plantas, como los endófitos, los hongos micorrízicos arbusculares y las rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas (PGPR), están bien documentados por su papel en la promoción de la productividad de los cultivos y la tolerancia al estrés (figura 30). El consorcio microbiano presente en el microbioma de la raíz promueve el crecimiento de las plantas mediante la regulación de la síntesis de fitohormonas, los osmolitos, los ácidos orgánicos, la absorción mejorada de nutrientes, el sistema antioxidante mejorado y la regulación positiva de los genes tolerantes al estrés (Inbaraj, 2021). En la actualidad, en el mercado de biofertilizantes se dispone de diferentes microorganismos que mejoran la tolerancia de la planta al estrés por diferentes vías metabólicas.



▲ **Figura 30.** Estrategias de gestión de la nutrición en condiciones de déficit hídrico en el cultivo de papa.
Fuente: Elaboración propia

La fertilización foliar es un complemento a la fertilización edáfica. Durante las últimas dos décadas se ha evidenciado que afecta el rendimiento de los cultivos y que es una buena estrategia en condiciones climáticas adversas como déficit hídrico. En un metaanálisis que evaluó el potencial de la fertilización foliar para mejorar el rendimiento y la calidad de los cultivos bajo estrés ambiental, se encontró que los fertilizantes aplicados al follaje de las plantas mostraron mayor rendimiento y mejor calidad en condiciones ambientales desfavorables. Con la fertilización foliar se puede suministrar a la planta nutrientes, bioestimulantes y pesticidas (figura 30) con un enfoque económico, ambiental y ecológicamente viable en comparación con aplicaciones edáficas (Ishfaq et al., 2022). Para mejorar la efectividad de las aplicaciones foliares se puede requerir el uso de coadyuvantes como reguladores de pH y dureza, tensoactivos, encapsulantes, entre otros.







Capítulo IV

La gestión del conocimiento: estrategia para disminuir el riesgo agroclimático

La información, el conocimiento, la tierra y el capital financiero son recursos generadores de valor (Ramírez González, 2011). Por tanto, la gestión del conocimiento contribuye a las actividades primarias y de producción agrícola y al desarrollo socioeconómico mundial de todos los sectores económicos (Costa et al., 2019).

En la gestión del conocimiento, uno de los aspectos prioritarios es analizar los factores institucionales que facilitan la conformación de redes sociales para la innovación y estimulan el aprendizaje colectivo en el medio rural (Barboza Arias & Sáenz Segura, 2020).

Las redes son estructuras sociales que están conformadas por actores y sus acciones, las cuales son interdependientes, y por vínculos entre actores que se establecen a partir de un flujo de recursos: información, productos, entre otros. Estas redes se generan en un espacio geográfico concreto, lo que les confiere unas características específicas que influyen en los tipos de relaciones que se dan entre los actores (Wasserman & Faust, 2013).

La cultura productiva de la papa R-12 (también conocida como Diacol Capiro) en la provincia de Sabana de Occidente está conformada por las relaciones entre productores, extensionistas, asistentes técnicos, transformadores, comercializadores, consumidores y tomadores de decisión. Para la gestión integral del riesgo agroclimático, es imprescindible enriquecer esa cultura con una visión compartida de adaptación y mitigación del cambio climático, que debe empezar por hacer un adecuado uso de las prácticas agronómicas que confieran resiliencia a la variabilidad climática.

Actores de la red técnica del cultivo de la papa R-12

Con el objetivo de hacer una gestión integral para la reducción del riesgo agroclimático en el cultivo de la papa R-12, se llevó a cabo la identificación de los actores para establecer certezas sobre el funcionamiento de la cadena. Por ello, en esta sección se presentan las características de la red identificada, y se resaltan actores, funcionamiento y gestión de la cadena.

¿Qué es la red técnica?

Los asistentes técnicos, los extensionistas y los productores son actores fundamentales en la red técnica de la papa, al igual que la información que en ella circula. Estos dos componentes de la red son necesarios para la gestión del riesgo agroclimático. Imaginemos que tenemos los actores conectados, pero no dialogan sobre las variables climáticas y cómo estas inciden en el cultivo de la papa; o imaginemos que existen varias personas que conocen la información climática, pero no la comparten. En ambos casos, si se llega a presentar un evento climático adverso que afecte al cultivo, no estarían preparados para responder oportuna y adecuadamente a la situación.



Las redes técnicas bien estructuradas, donde circula y se discute sobre información climática y su relación con el cultivo, no solo estarán preparadas para responder en el momento que se presente una eventualidad, sino que además la podrán prever; de esta manera, se hará una adecuada gestión del riesgo agroclimático, y así se logra contar con un cultivo resiliente a los fenómenos de variabilidad y cambio climático.

¿Cómo gestionar una red técnica?

Para conocer cómo está configurada la red a la que se pertenece, es primordial tener claro la temática de interés sobre la cual se quiere indagar; es decir, si es sobre una técnica, tecnología o práctica. Teniendo claro lo anterior, se elabora una encuesta que facilita ordenar la información relacionada con el tipo de análisis que se pretende hacer. De esta manera, se genera la imagen de la red y se pueden calcular algunos indicadores que permiten conocer el patrón de relación que sigue esta información en el grupo. De la calidad de la información recopilada y su organización depende que se pueda realizar un buen análisis de la red y evidenciar los resultados que se obtengan de su gestión (Molano-Bernal et al., 2021).

Red técnica de papa R-12 gestionada en este proyecto

El análisis de la estructura social conformada alrededor de temas técnicos (prácticas agronómicas) en la producción de la papa R-12 en la provincia Sabana de Occidente en Cundinamarca permitió reconocer cómo se comparten los conocimientos, los tipos de vínculos y el tipo de red que exista.

Los actores que conforman la red técnica son los siguientes:

a. Asistentes técnicos (AT)

Estos asistentes técnicos y extensionistas pertenecen en su gran mayoría a casas comerciales y empresas agroindustriales y, en menor medida, al gremio de la Federación Colombiana de Productores de Papa (Fedepapa) y a entidades prestadoras del servicio de extensión agropecuaria, como las secretarías de agricultura municipales; estas últimas, brindan apoyo a pequeños productores, no solo de la variedad R12, sino también de otro tipo de cultivos.

La finalidad de las casas comerciales es promocionar sus productos y así dar solución a las problemáticas que presenta el productor. Teniendo en cuenta la frecuencia con la que les visitan y el lazo que se genera, en ocasiones la asesoría técnica va un poco más allá de la intención comercial.

Algunas de las empresas comerciales identificadas en la zona se presentan a continuación:

-  Bayer CropScience.
-  Daymsa-Agriandes.
-  Colinagro.
-  Microfertisa.
-  United Phosphorus (UPL).
-  Dupont.
-  Syngenta.
-  Plantar de Colombia.
-  Sánchez y Calderón.
-  Agroservitec.

La prestación del servicio de asistencia técnica desde la industria consiste en asesorar a los productores aliados con el fin de garantizar la producción, siendo este el eslabón primario de su cadena de producción.

Las industrias identificadas en la zona son las siguientes:

-  Congelagro: tienen cultivos propios y trabajan con aliados; son principalmente productores y compradores de papa calibre cero, con las cuales realizan un procesamiento para un mercado de papa precocida.

-  Yupi y Pepsico: no tienen siembras propias, se limitan a un trabajo con aliados con los cuales tienen acuerdos de venta preestablecidos. El calibre de la papa no necesariamente debe ser cero, dado que el alcance de su producción está relacionado con papas de paquete y productos relacionados.
-  SuperRicas: tiene un fin similar a Yupi y Pepsico, pero hasta el momento se desconoce si tiene cultivos propios o lo hace a través de aliados.

Fedepapa es el gremio que brinda asesoría a los productores afiliados y, de acuerdo con lo analizado, tiene presencia en la zona, pero esta no es determinante en la producción ni en los procesos de asistencia o extensión agrícola. En cuanto al servicio prestado por las secretarías de agricultura y la Unidad Municipal de Asistencia Técnica Agropecuaria (Umata), este se enfoca en los pequeños y medianos productores, los cuales se determinan de acuerdo con las unidades agrícolas familiares (UAF) (5 ha). Teniendo en cuenta que la producción de papa R-12 está en gran parte destinada a la agroindustria, son pocos los pequeños y medianos productores que son atendidos por estas entidades para este caso específico de cultivo.

b. Productor

Los productores de papa R12 deben contar al menos con 5 ha para que sea una inversión rentable; este tipo de agricultores, en su gran mayoría, tiene contratos con comercializadores más grandes o con industrias de transformación. Quienes cuentan con esta modalidad de acuerdo tienen derecho a servicio de AT. Hay productores que venden su producto en centros de acopio distritales o municipales, como el caso de Corabastos en Bogotá, la plaza minorista en Medellín, entre otros, y reciben la asistencia técnica de casas comerciales, principalmente.

Los actores que conforman la red (figura 31) interactúan unos con otros, indistintamente de su rol, cargo y entidad a la que pertenecen. Se reconocen, conocen y, en algunos casos, se ayudan en ciertas actividades; es decir, cuentan con estos tres niveles de relacionamiento, así como un interés genuino por comprender y gestionar la información climática, lo que significa que el funcionamiento de un sistema de información para la gestión del riesgo agroclimático es viable.

Los vínculos o las relaciones en las redes se dan en función de una motivación personal que encuentra respuesta y se vuelve colectiva, y de un recurso de intercambio que, para el caso del sistema de gestión del riesgo agroclimático y según lo definieron los miembros de la red, tiene que ver con: 1) información sobre variables climáticas; 2) normativa vigente relacionada directa o indirectamente con el cultivo de papa R-12, interpretación, y 3) gestión de datos e información climática. Asimismo, resaltaron la importancia de la discusión y retroalimentación por parte de todos los actores de la red, que resulten en propuestas de adaptación y en prácticas de manejo acordes a las necesidades que el cultivo presente en el contexto de los escenarios climáticos que existen.

Fortalecer estos vínculos para conformar una comunidad de práctica alrededor de la gestión del riesgo agroclimático puede ser una acción estratégica para la cadena de valor. Esa comunidad será una de las piedras angulares de un sistema de información agroclimática.

¿Cómo coordinar la red técnica de la papa R-12 para gestionar el riesgo agroclimático?

El análisis de redes sociales permite conocer las particularidades de las redes y brinda un insumo para gestionar conocimiento de manera diferenciada sobre el riesgo agroclimático, según el territorio y los actores involucrados en los sistemas de producción agropecuarios (Molano-Bernal et al., 2021).

Para el caso de esta red, se tiene claro el objetivo y las temáticas necesarias para abordar la gestión del riesgo agroclimático. De manera que se puede emplear una estrategia de trabajo fundamentada en “rutinas comunicativas” que, partiendo del objetivo principal, establecen objetivos para la red en función de cada temática, definen los medios de interacción de la red (virtuales y presenciales), los tiempos

de trabajo por temática y los actores de la red que van a generar los contenidos, y facilitan las discusiones en torno a cada tema, a las conclusiones del trabajo de gestión y a la definición de acciones en su quehacer, con las cuales se implemente lo discutido y se inicie la construcción de una cultura agroclimática (figura 32).



▲ **Figura 32.** Estrategia de trabajo basada en “rutinas comunicativas”.
Fuente: Elaboración propia

Financiación

Algunos de los resultados que se presentan en esta guía provienen del proyecto “Modelo de simulación del cultivo de la papa, a partir de mediciones de la evapotranspiración real, el balance de carbono y de energía y la productividad, en relación con la oferta climática cambiante en el departamento de Cundinamarca”, Cód. 66153, financiado por el Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sistema General de Regalías, administrado por el Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación Francisco José de Caldas, el Programa Colombia BIO, el Gobierno de Cundinamarca y el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) proyecto Cód. 1000911 - TV19.







Agradecimientos

A los productores Alejandro Forero y Santiago Forero, por su gran interés en la ciencia, su disposición y apoyo en la instalación de equipos y evaluaciones en sus cultivos, así como el suministro de información valiosa del manejo agronómico de estos. A Wilson Forero, por su disposición e interés en la investigación y por permitirnos instalar una de las estaciones de monitoreo meteorológico en su finca. A Clara Piñeros de McCain y a su equipo de trabajo, a Camilo Nivia y el equipo de Pepsico, por toda la colaboración y disposición para la consecución de fincas de productores, y por sus aportes en discusiones técnicas realizadas en diferentes oportunidades. A los extensionistas Isabel Cusgüen y Daniel Riatiga, quienes con su colaboración facilitaron la identificación de la red técnica de papa R-12. A los miembros de la red por su participación en las diferentes dinámicas realizadas en el marco de este ejercicio. Por último, resaltamos el trabajo juicioso y proactivo de Arley Valencia, José Alfredo Molina, Fabio Ernesto Martínez, Jhon Alexander Martínez, Dubán Ocampo, Zahara Lucía Lasso, Camilo Arturo Martínez y Pablo Édgar Jiménez en la instalación de la torre de monitoreo Eddy Covariance y otros equipos.

Referencias

- Abass Ahanger, M., Morad-Talab, N., Abd-Allah, E. F., Ahmad, P., & Hajiboland, R. (2016). Plant growth under drought stress: Significance of mineral nutrients. En P. Ahmad (Ed.), *Water Stress and Crop Plants: A Sustainable Approach* (pp. 649-668). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119054450.ch37>
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de agua de los cultivos*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). <https://hdl.handle.net/10568/87957>
- Anithakumari, A. M. (2011). *Genetic Dissection of Drought Tolerance in Potato* [Tesis de doctorado, Wageningen University]. <https://edepot.wur.nl/165211>
- Araujo Carrillo, G. A., Martínez Maldonado, F. E., Varón Ramírez, V. M., Gómez Latorre, D. A., Estupiñán Casallas, J. M., Silva Arero, E. A., Jaramillo Barrios, C. I., Molina Varón, J. A., Vergara Rivas, D., & González Jaimes, E. (2020). *Sistema de información de suelos para el altiplano cundiboyacense (Iraka)*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).
- Barboza Arias, L. M., & Sáenz Segura, F. (2020). La gestión del conocimiento para la innovación y el desarrollo rural: experiencias desde Costa Rica. *Yulök*, 4(1), 21-34. <https://doi.org/10.47633/yulk.v4i1.199>
- Bista, D. R., Heckathorn, S. A., Jayawardena, D. M., Mishra, S., & Boldt, J. K. (2018). Effects of Drought on Nutrient Uptake and the Levels of Nutrient-Uptake Proteins in Roots of Drought-Sensitive and -Tolerant Grasses. *Plants*, 7(2). <https://doi.org/10.3390/PLANTS7020028>
- Cámara de Comercio de Bogotá [CCB]. (2015). *Manual papa*. <https://bibliotecadigital.ccb.org.co/server/api/core/bitstreams/3c1bc2b9-6d4e-4506-9e43-fab172a62457/content>
- Carrazón Alocén, J. (2018). *Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).
- Castro, H., & Gómez, M. (2010). Fertilidad de suelos y fertilizantes. En H. Burbano, & F. Silva (Eds.), *Ciencia del suelo, principios básicos* (pp. 77-137). Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca [CAR]. (2022). *Datos abiertos*. <https://datosgeograficos.car.gov.co/search?categories=suelos>
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica]. (2018). *Sistema de información para la toma de decisiones agroclimáticamente inteligente MAPA (SE-MAPA)*. <http://www.corpoica.org.co:8086/NetCorpoicaMVC/SEMapa>

- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA]. (2022). *Biochemical, physiological and molecular characterization of potato plants subjected to water stress* [sin publicar].
- Centro Internacional de la Papa [CIP]. (2017). *Hechos y cifras sobre la papa*. <https://cgspace.cgiar.org/server/api/core/bitstreams/d26a5687-adb3-4a0e-bd2a-d4dcb19cc917/content?>
- Centro Internacional de la Papa [CIP]. (2018). *El CIP está ayudando a los sistemas de papa alto andinos a adaptarse al cambio climático*. <https://cipotato.org/es/comunicados-de-prensa/el-cip-esta-ayudando-a-los-sistemas-de-papa-alto-andinos-a-adaptarse-al-cambio-climatico/>
- Cornell University. (2022) *Nutrient Management. Competency Area 1: Basic Concepts of Plant Nutrition*. https://nrcca.cals.cornell.edu/soilFertilityCA/CA1/CA1_print.html
- Costa, L. T., Munz Fernandes, A., Lima Ferreira, A. P., Saraiva, C. E., & Chinchón Pérez, M. A. (2019). Gestión del conocimiento en el sector agrícola: un análisis bibliométrico. *Estudo & Debate*, 26(1983-036X), 56-68. <https://doi.org/10.22410/issn.1983-036X.v26i3a2019.2085>
- Da Silva, E. C., Nogueira, R. J., Da Silva, M. A., & De Albuquerque, M. B. (2011). Drought Stress and Plant Nutrition. *Plant Stress*, 5(1), 32-41. [http://globalsciencebooks.info/Online/GSBOonline/images/2011/PS_5SI1/PS_5\(SI1\)32-41o.pdf](http://globalsciencebooks.info/Online/GSBOonline/images/2011/PS_5SI1/PS_5(SI1)32-41o.pdf)
- De Bruin, W., Rabinovich, L., Weber, K., Babboni, M., Dean, M., & Ignon, L. (2021). Public understanding of climate change terminology. *Climatic Change*, 167(27), 1-21. <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03183-0>
- Fleming, T. R., Fleming, C. C., Levy, C. C. B., Repiso, C., Hennequart, F., Nolasco, J. B., & Liu, F. (2019). Biostimulants enhance growth and drought tolerance in *Arabidopsis thaliana* and exhibit chemical priming action. *Annals of Applied Biology*, 174(2), 153-165. <https://doi.org/10.1111/AAB.12482>
- Gómez-Latorre, D. A., Rodríguez Roa, A. O. Galvis Rojas, M. del M., & Estupiñán Casallas, J. M. (2022). Use el sistema experto MAPA en la planificación de actividades productivas. En K. Rodríguez-Robayo, F. Martínez Camelo, & C. Herrera (Eds.), *Aportes al proceso de reconversión productiva considerando criterios de variabilidad y cambio climático en la cuenca del lago de Tota* (pp. 48-63). Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (Codesan); Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.nbook.7405217>

- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC]. (2022). Summary for Policymakers. En P. R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, & J. Malley (Eds.), *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 3-48). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157926.001>
- He, M., & Dijkstra, F. A. (2014). Drought effect on plant nitrogen and phosphorus: a meta-analysis. *New Phytologist*, 204(4), 924-931. <https://doi.org/10.1111/NPH.12952>
- Hollmann, J., Albrieu, J., Barth, I., Torres, G., & Mazzola, C. (Eds.). (2013). *Cambió el clima: herramienta para abordar la adaptación al cambio climático desde la extensión*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). <http://repositorio.iica.int/handle/11324/2554>
- Inbaraj, M. P. (2021). Plant-Microbe Interactions in Alleviating Abiotic Stress—A Mini Review. *Frontiers in Agronomy*, 3, 28. <https://doi.org/10.3389/fagro.2021.667903>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam]. (2022). *M-GDI-H-G001. Guía diseño de la red hidrometeorológica nacional V2*.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]. (2000). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Cundinamarca*.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]. (2015). *Suelos y tierras de Colombia*.
- Intagri. (2017). *Requerimientos de clima y suelo para el cultivo de la papa*. <https://www.intagri.com/articulos/hortalizas/requerimientos-de-clima-y-suelo-para-el-cultivo-de-la-papa>
- Ishfaq, M., Kiran, A., Ur Rehman, H., Farooq, M., Ijaz, N. H., Nadeem, F., Azeem, I., Li, X., & Wakeel, A. (2022). Foliar nutrition: Potential and challenges under multifaceted agriculture. *Environmental and Experimental Botany*, 200, 104909. <https://doi.org/10.1016/J.ENVEXPBOT.2022.104909>
- Jensen, M. E., & Allen, R. G. (Eds.). (2016). *Evaporation, evapotranspiration, and irrigation water requirements*. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice. <https://doi.org/10.1061/9780784414057>
- Jones, C., & Olson-Rutz, K. (2016). Plant nutrition and soil fertility. En *Plant Nutrition and Soil Fertility* (pp. 1-12). MSU Extension. <https://store.msuextension.org/publications/AgandNaturalResources/4449-2.pdf>
- Lefèvre, I., Ziebel, J., Guignard, C., Hausman, J. F., Gutiérrez Rosales, R. O., Bonierbale, M., Hoffmann, L., Schafleitner, R., & Evers, D. (2012). Drought Impacts Mineral Contents in Andean Potato Cultivars. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 198(3), 196-206. <https://doi.org/10.1111/J.1439-037X.2011.00499.X>

- Ley 1523 de 2012. “Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones”. Congreso de la República de Colombia. *Diario Oficial*, n.º 48.411. http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1523_2012.html
- Liu, Ch.-Ch., Liu, Y.-G., Guo, K., Zheng, Y.-R., Li, G.-Q., Yu, L.-F., & Yang, R. (2010). Influence of drought intensity on the response of six woody karst species subjected to successive cycles of drought and rewatering. *Physiologia Plantarum*, 139(1), 39-54. <https://doi.org/10.1111/J.1399-3054.2009.01341.X>
- Martínez-Maldonado, F. E., Castaño-Marin, A. M., Góez-Vinasco, G. A., & Marin, F. R. (2021). Gross Primary Production of Rainfed and Irrigated Potato (*Solanum tuberosum* L.) in the Colombian Andean Region Using Eddy Covariance Technique. *Water*, 13(3223). <https://doi.org/10.3390/w13223223>
- Molano-Bernal, L. C., Sánchez-Gómez, J., Martínez-Medrano, J. C., & Vázquez-Alfaro, M. (2021). Redes de confianza y riesgo agroclimático en la asistencia técnica agropecuaria, Colombia. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(4), 565-577. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i4.2741>
- Ñústez-López, C. E., Delgado-Niño, M. C., Alba-Chacón, A. F., Duque-Puentes, L. D., Mosquera-Vásquez, T. Rodríguez-Molano, L. E., García-Domínguez, C., Cotes-Prado, A.M., Beltrán-Acosta, C. R., Espitia-Malagón, E., Barreto-Triana, N., Cely-Pardo, L., Wilches-Ortiz, W., & Ospina-Parra, C. E. (2020). *Papa de año (Solanum tuberosum Grupo Andigenum). Manual de recomendaciones técnicas para su cultivo en el departamento de Cundinamarca*. Universidad Nacional de Colombia.
- Obidiegwu, J. E., Bryan, G. J., Jones, H. G., & Prashar, A. (2015). Coping with drought: Stress and adaptive responses in potato and perspectives for improvement. *Frontiers in Plant Science*, 6, 1-23. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00542>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO]. (2017). *The future of food and agriculture Trends and challenges*.
- Peña Baracaldo, F. J., & Zenner de Polanía, I. (2015). Irrigation response of potato (*Solanum tuberosum* L.) var. R12 Diacol Capiro a la aplicación de riego. *Revista U.D.C.A.*, 18(2), 385-392. <https://doi.org/10.31910/rudca.v18.n2.2015.164>
- Pinheiro, C., & Chaves, M. M. (2011). Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data? *Journal of Experimental Botany*, 62(3), 869-882. <https://doi.org/10.1093/JXB/ERQ340>
- Pizarro, F. (1996). *Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF) goteo, microaspersión, exudación*. Ediciones Mundi-Prensa.

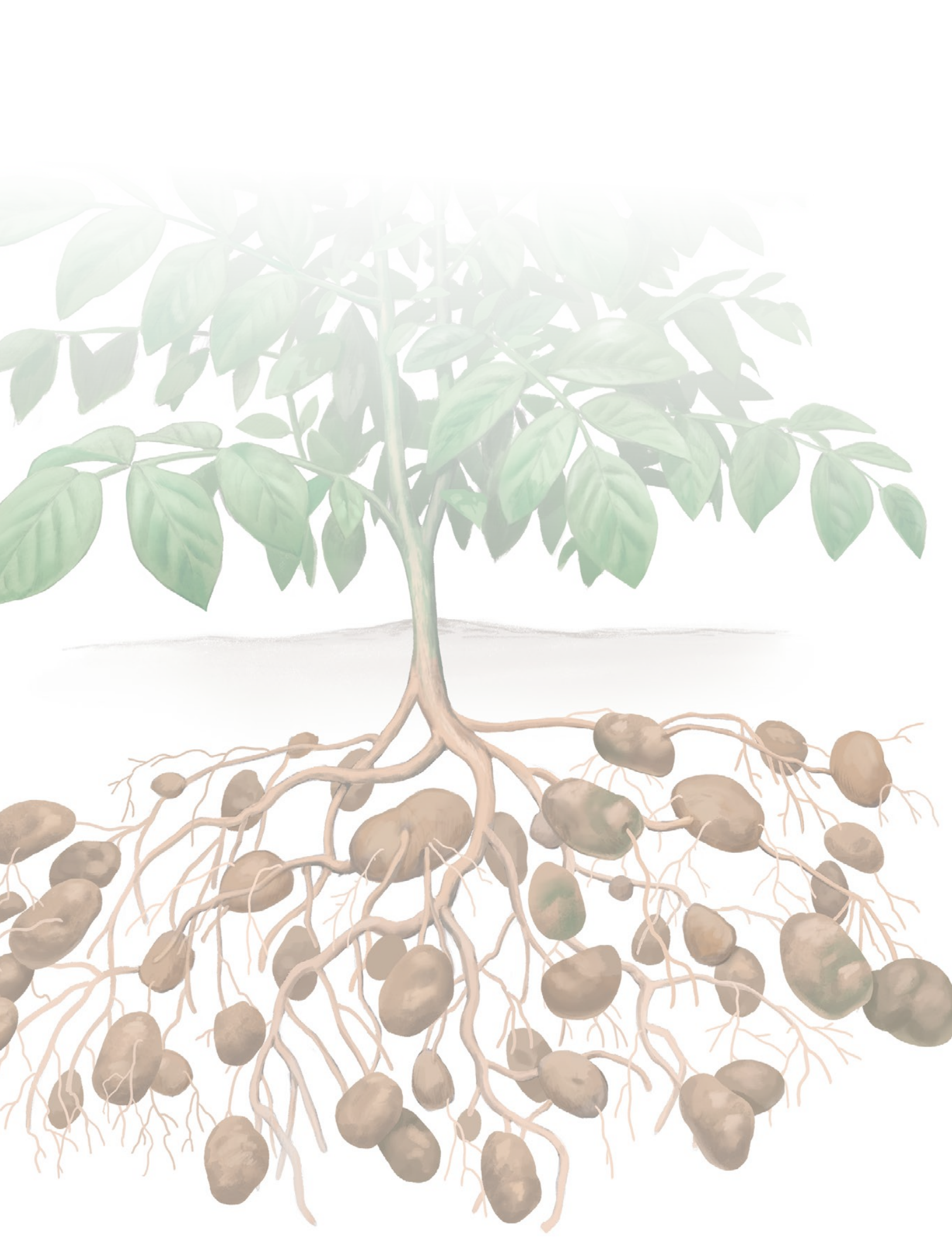
- Poggio, L., De Sousa, L. M., Batjes, N. H., Heuvelink, G. B. M., Kempen, B., Ribeiro, E., & Rossiter, D. (2021). SoilGrids 2.0: Producing soil information for the globe with quantified spatial uncertainty, *SOIL*, 7(1), 217-240. <https://doi.org/10.5194/soil-7-217-2021>
- Porras Rodríguez, P., & Herrera Heredia, C. (2015). *Modelo productivo de la papa variedad Diacol Capiro para el departamento de Antioquia*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/978-958-740-210-0>
- Quiggin, D., DeMeyer, K., Hubble-Rose, L., & Froggatt, A. (2021). *Climate Change Risk Assessment 2021*. <https://www.chathamhouse.org/2021/09/climate-change-risk-assessment-2021?>
- Ramírez González, M. (2011). La gestión del conocimiento y su relación con la gestión de la calidad, en instituciones del sector agropecuario dedicadas a la ciencia y la tecnología. *Signos*, 3(1), 15-37. <https://doi.org/10.15332/s2145-1389.2011.0001.01>
- Rivulis. (s. f.). *Aspersores Rivulis*. <https://naandanjain.com/products/5022-sd-sprinkler/?lang=es>
- Rodríguez Roa, A. O., Gómez-Latorre, D. A., Martínez Medrano, J. C., & Arce Barboza, B. A. (2020). *El sistema experto mapa: una herramienta para mejorar la cultura agroclimática*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.analisis.7403466>
- Romero, A. P., Alarcón, A., Valbuena, R. I., & Galeano, C. H. (2017). Physiological assessment of water stress in potato using spectral information. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1608. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01608>
- Ruiz, J. F. (2010). *Cambio climático en temperatura, precipitación y humedad relativa para Colombia usando modelos meteorológicos de alta resolución (panorama 2011-2100)*. IDEAM-METEO/005-2010 [Nota técnica]. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).
- Santos Díaz, A., Gómez Arias, L., Pedraza Rute, R., Gómez Latorre, D. A., Bohórquez Caballero, G. L., Ureña Sosa, D. F., Gómez Rodríguez, K., Villagrán, E. A., Numa Vergel, S., & Gómez Vargas, Y. (2022). *Aspectos generales del cultivo de papa en Cundinamarca*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.nbook.7405408>
- Silva, E. A. (2022). *Estrategias de manejo de la fertilización en papa* [Informe interno]. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

- Smith, P., Soussana, J.-F., Angers, 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., Álvaro-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>
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA]. (2022). *Sistema de información para la planificación rural agropecuaria, SIPRA*. <https://sipra.upra.gov.co/>
- Valbuena, R., Bolaños, A., Zapata, J., Almanza, P., & Porras, P. (2010). *Escalas fenológicas de las variedades de papa Parda Pastusa, Diacol Capiro y Criolla "Yema de Huevo" en las zonas productoras de Cundinamarca, Boyacá, Nariño y Antioquia*. Corpoica.
- Vélez Betancourt, A. F. (2021) *Cadenas sostenibles ante un clima cambiante. La papa en Colombia*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). <https://hdl.handle.net/10568/114743>
- Wasserman, S., & Faust, K. (2013). *Análisis de redes sociales. Métodos y aplicaciones*. Centro de Investigaciones Sociológicas (CIS).
- Xu, Z., Zhou, G., & Shimizu, H. (2010). Plant responses to drought and rewatering. *Plant Signaling & Behavior*, 5(6), 649. <https://doi.org/10.4161/PSB.5.6.11398>



Terminó de diseñarse
en julio de 2024, Bogotá, D. C., Colombia





En los últimos años, es evidente que los patrones climáticos predominantes se han alterado y han generado mayor incertidumbre en actividades económicas, como lo es la agricultura misma. En tal sentido, eventos climáticos extremos derivados de fluctuaciones climáticas son más comunes, frecuentes y, sobre todo, más severos que en ocasiones anteriores. Una de las soluciones es generar un fortalecimiento de la población objetivo, a través de metodologías y herramientas que coadyuven en una mejor gestión del riesgo agroclimático. Este manual obedece a un proceso de investigación que busca facilitar la conversación técnica entre todos los actores de la cadena de valor de la papa, en especial entre investigadores, asistentes técnicos y productores, por lo que podrá encontrar aspectos del contexto relacionados con el cambio climático, así como información regional sobre las características del suelo y el clima, la gestión del agua, el balance de carbono y la nutrición del cultivo, como uno de los puntos clave para mitigar el estrés por sequía.

AGROSAVIA

Corporación colombiana de investigación agropecuaria

Línea de atención al cliente: 018000121515

atencionalcliente@agrosavia.co

www.agrosavia.co

Distribución gratuita

Prohibida su venta



BAC

BIBLIOTECA AGROPECUARIA DE COLOMBIA

correo: bac@agrosavia.co

teléfono: (57 1) 422 73 00 ext. 1257 o 1274