Colección Análisis y Reflexiones en torno al Sector Agropecuario

El Sistema Experto MAPA. Una herramienta para mejorar la cultura agroclimática

Andrea Onelia Rodríguez Roa
Douglas Andrés Gómez-Latorre
Juan Carlos Martínez Medrano
Blanca Arce Barboza

AGROSAVIA
EDITORIAL

Colección Análisis y Reflexiones en torno al Sector Agropecuario

El Sistema Experto MAPA. Una herramienta para mejorar la cultura agroclimática

Andrea Onelia Rodríguez Roa
Douglas Andrés Gómez-Latorre
Juan Carlos Martínez Medrano
Blanca Arce Barboza

AGROSAVIA
EDITORIAL

Mosquera, Colombia, 2020

El Sistema Experto MAPA: una herramienta para mejorar la cultura agroclimática / Andrea Rodríguez Roa [y otros tres] -- Mosquera, (Colombia) : AGROSAVIA, 2020.

108 páginas (Colección Análisis y Reflexiones en torno al Sector Agropecuario)
Incluye ilustraciones, tablas, fotos
ISBN obra impresa: 978-958-740-347-3
ISBN e-book: 978-958-740-346-6

1. Adaptación al cambio climático 2. Sistemas de apoyo a las decisiones 3. Gestión de riesgos 4. Desarrollo sostenible 5. Zonas rurales 6. Planes de acción I. Rodríguez Roa, Andrea II. Gómez Latorre, Douglas Andrés III. Martínez Medrano, Juan Carlos IV. Arce Barboza, Blanca

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

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA
Centro de Investigación Tibaitatá.
Kilómetro 14 vía Mosquera-Bogotá, Mosquera.
Código postal 250047, Colombia.

Esta publicación es resultado del proyecto de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), en a actualidad AGROSAVIA, *Modelos de adaptación y prevención agroclimática MAPA*, financiado por el Fondo Adaptación mediante convenio 002 de 2013.

Colección Análisis y Reflexiones en torno al Sector Agropecuario

Fecha de recepción: 1 de abril de 2019
Fecha de evaluación: 5 de abril de 2019
Fecha de aceptación: 28 de septiembre de 2019

Primera edición: 100 ejemplares
Impreso en Bogotá, Colombia, mayo de 2020
Printed in Bogota, Colombia
Preparación editorial
Editorial AGROSAVIA
editorial@agrosavia.co
Editora: Liliana Gaona García
Corrección de estilo: Andrés Castillo Brieva
Diagramación: María Paula Berón Ramírez

Citación sugerida: Rodríguez Roa, A. O., Gómez-Latorre, D. A., Martínez Medrano, J. C., & Arce Barboza, B. (2020). *El Sistema Experto MAPA. Una herramienta para mejorar la cultura agroclimática*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Cláusula de responsabilidad: AGROSAVIA no es responsable de las opiniones e información recogidas en el presente texto. Los autores asumen de manera exclusiva y plena toda responsabilidad sobre su contenido, ya sea este propio o de terceros, 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.

DOI: https://doi.org/10.21930/agrosavia.analisis.7403466
Línea de atención al cliente: 018000121515
atencionalcliente@agrosavia.co
http://www.agrosavia.co

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

Contenido

Presentación 11

Introducción 15

Antecedentes corporativos asociados al cambio climático y a las herramientas de toma de decisiones 17

¿En qué consistió MAPA? 20

¿Qué es el SE-MAPA? 23

Capítulo I

Proceso de desarrollo e implementación del SE-MAPA 25

Diseño del sistema 25

Escala departamental 26

Escala municipal 27

Escala local 27

Equipo técnico involucrado 27

Actividades para el diseño 28

Escalonamiento 31

Formulación del sistema 33

Módulo A. Conocimiento del territorio 34

Módulo B. Agua-rendimiento 45

Módulo C. Glosario 49

Desarrollo, construcción visual y navegabilidad del sistema 51

Desarrollo 51

Construcción visual y navegabilidad 53

Verificación y validación del sistema 59
Resultados por escala regional departamental 63
Resultados por escala regional municipal 64
Resultados por escala local 64
Difusión del sistema 65
Acuerdos resultantes de los talleres de difusión 67

Capítulo II

Gestión del SE-MAPA 69
Participación 69
Apropiación del sistema por parte de los ATA 78
Escalabilidad 80
Sostenibilidad 81

Capítulo III

Lecciones aprendidas 87
Sobre el aspecto técnico del sistema 87
Sobre el uso del sistema 89
Los autores 95
Referencias 99

Lista de figuras

Figura 1	Asistente técnico ilustrando los efectos de las condiciones climáticas en la planta de tomate	30
Figura 2	Diagrama general de las escalas del SE-MAPA	32
Figura 3	Módulos que conforman el SE-MAPA bajo el enfoque de gestión del conocimiento	34
Figura 4	Esquema metodológico del SE-MAPA	35
Figura 5	Esquema metodológico de las opciones tecnológicas (OT) del SE-MAPA	40
Figura 6	Esquema metodológico del componente de clima de la escala local del SE-MAPA	42
Figura 7	Modelo conceptual para el proceso de predicción climática del SE-MAPA	43
Figura 8	Esquema metodológico del componente agroclimático de escala local en el SE-MAPA	44
Figura 9	Proceso metodológico realizado dentro del módulo agua-rendimiento del SE-MAPA	48
Figura 10	Proceso de desarrollo y construcción del SE-MAPA	52
Figura 11	Ejemplos de íconos para navegar en el sistema MAPA	55
Figura 12	Pantalla del sistema MAPA con la barra de navegación en Colombia/Atlántico/Municipio/Cultivo	56
Figura 13	Pantallas de salida de información del Sistema de Alerta Agroclimática Temprana (SAAT)	57
Figura 14	Ruta de navegación y conformación del SE-MAPA	58
Figura 15	Etapas de verificación y validación del proceso de construcción del SE-MAPA	59
Figura 16	Talleres de validación del SE con asistentes técnicos agropecuarios seleccionados de las redes constituidas en la estrategia de transferencia de tecnología del proyecto	61

Figura 17 Proceso de instalación del SE-MAPA en el ambiente de producción para su difusión en la plataforma web 63

Figura 18 Talleres de difusión del SE-MAPA en los departamentos 66

Figura 19 Talleres de difusión del sistema MAPA en los departamentos 66

Figura 20 Difusión y uso del SE-MAPA con las redes de ATA departamentales, en los momentos formativos del componente de transferencia 76

Lista de tablas

Tabla 1	Alcance territorial del proyecto MAPA	20
Tabla 2	Tipo de información del SE-MAPA en la escala departamental	37
Tabla 3	Tipo de información del SE-MAPA en la escala municipal	38
Tabla 4	Ejemplo de definiciones de términos técnicos	50
Tabla 5	Profesionales y áreas temáticas necesarias para implementar el SE-MAPA	71

Presentación

El objetivo de este libro es conservar y dar a conocer la memoria del proceso metodológico que se empleó para el desarrollo y la implementación del Sistema Experto (SE) denominado "Modelos de Prevención y Adaptación Agroclimática" (MAPA)[1], en el marco del proyecto "Reducción del riesgo y adaptación al cambio climático" (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica], & Fondo de Adaptación, 2013). Conocer en detalle sus alcances, sus logros, su potencial de uso y las lecciones aprendidas durante su proceso de elaboración, servirá de base a los equipos de trabajo de otras organizaciones públicas o privadas, nacionales o extranjeras, que necesiten implementar un sistema similar y efecturar el escalonamiento que demanda la masificación de su uso.

El proyecto MAPA buscaba fortalecer la capacidad local de la asistencia técnica agropecuaria en las zonas afectadas por la "ola invernal",[2] con información agroclimática y opciones tecnológicas (OT) que disminuyeran el riesgo asociado a estos factores climáticos extremos. Uno de los productos de MAPA fue el Sistema de apoyo a la toma de decisión agroclimáticamente inteligente (SE-MAPA).

El SE-MAPA se construyó como una herramienta de apoyo a la toma de decisiones. Su objetivo es que los asistentes técnicos agropecuarios (ATA) puedan asesorar a los productores en la reducción de la vulnerabilidad de sus cultivos.

[1] El sistema se puede consultar en en el link http://www.corpoica.org.co:8086/NetCorpoicaMVC/SEMapa/

[2] Se denominó "ola invernal" a la situación de desastre nacional que se generó como consecuencia del fenómeno de La Niña, ocurrido entre 2010 y 2011. Como resultado de este evento, se registraron lluvias más intensas y abundantes en los meses de julio a noviembre, en las regiones Caribe, Andina y Pacífica, las cuales ocasionaron graves inundaciones, derrumbes, daños de vías y en los servicios públicos, y pérdidas de zonas agrícolas, viviendas y centros educativos (Ministerio de Justicia, 2010).

Está concebido como un mecanismo de gestión del conocimiento que contribuye al desarrollo de la cultura agroclimática en el país, condición que es imprescindible y pertinente para avanzar en las acciones de adaptación al cambio climático.

El libro está organizado en tres capítulos. El primero describe el proceso de desarrollo e implementación del SE-MAPA. Muestra qué se hizo y cómo. Describe las etapas del desarrollo, las cuales estuvieron asociadas a las diferentes escalas espaciales de análisis y mantuvieron siempre el enfoque de agricultura climáticamente inteligente (ACI).[3] La exposición empieza con la fase de conocimiento biofísico y climático del territorio en las escalas regional y departamental. Sigue con la etapa de identificación de las zonas de aptitud agroclimática y las zonas de menor riesgo agroclimático para un cultivo. Concluye con la fase de análisis local de las condiciones probables de disponibilidad hídrica por medio de la estructuración de sistemas de alerta agroclimática temprana.

El segundo capítulo aborda la gestión del SE-MAPA. Expone el proceso de desarrollo, en el cual se determinaron indicadores específicos como participación, apropiación por parte de la comunidad de asistentes técnicos (mediante el registro de uso del sistema), escalabilidad y sostenibilidad. Todo este proceso se llevó a cabo en el marco de la construcción de un modelo de gestión de riesgo agroclimático.

Por último, el tercer capítulo expone las lecciones aprendidas en el desarrollo del SE-MAPA. Describe las limitantes encontradas, las decisiones que mejor funcionaron y los procesos y técnicas que más eficacia (capacidad del sistema para analizar los efectos agroclimáticos) y eficiencia (conseguir que el sistema ayude a mejorar la cultura agroclimática) aportaron a los aspectos técnicos del desarrollo y el uso del sistema.

[3] "La Agricultura Climáticamente Inteligente (ACI) pretende mejorar la capacidad de los sistemas agrícolas para prestar apoyo a la seguridad alimentaria, e incorporar la necesidad de adaptación y las posibilidades de mitigación en las estrategias de desarrollo agrícola sostenible". (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2019).

El proceso de crecimiento y validación ha permitido que el SE-MAPA evolucione como una plataforma de aprendizaje con enfoque de ACI que busca fortalecer a los asistentes técnicos brindándoles acceso a los resultados más importantes del proyecto MAPA. Tales resultados incluyen información de escala departamental sobre caracterización y análisis de la variabilidad climática (principalmente precipitación y temperatura); información de escala municipal de zonas de aptitud agroclimática para cultivos priorizados por el Fondo de Adaptación y las gobernaciones, e información de escala local sobre las (OT) seleccionadas que se pueden implementar en los cultivos con el fin de mejorar la capacidad de adaptación a condiciones restrictivas por exceso o déficit de humedad en el suelo.

Introducción

Los impactos de las condiciones climáticas en la agricultura familiar o empresarial son relevantes. Los cambios en las tendencias de las variables climáticas generan alteraciones en los rendimientos de los cultivos, provocan mayor incidencia de plagas y enfermedades y causan inconvenientes en la planificación del manejo de los ciclos de los cultivos (Nelson et al., 2009).

El cambio climático impacta todos los sectores de la economía (Banco Interamericano de Desarrollo [BID], Comisión Económica para América Latina y el Caribe [Cepal], & Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2014). Eventos climáticos extremos cada vez más frecuentes e intensos plantean un desafío de adaptación al sector agropecuario (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam], Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS], DNP, & Cancillería, 2017). En este contexto, la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica hasta 2017, y AGROSAVIA en la actualidad) ha venido desarrollando proyectos que buscan mejorar la comprensión del riesgo agroclimático para ofrecer al sector herramientas de gestión y opciones tecnológicas (Corpoica, 2017).

La Corporación es una entidad del orden nacional enfocada en la investigación, el desarrollo y la innovación del sector agropecuario. Antes del proyecto MAPA, había adelantado algunas acciones orientadas al estudio de los riesgos y oportunidades agroclimáticas asociados a la variabilidad y el cambio climático de los territorios. Estas iniciativas fueron procesos de investigación que, si bien no llegaron a operar en campo, sí promovieron desarrollos metodológicos. Dieron lugar a una serie de metodologías

de análisis del riesgo agroclimático para los sistemas de producción agropecuarios y a OT que permitieron implementar de forma exitosa los sistemas productivos.

Desde 2005, la Corporación ha incursionado en el desarrollo de distintas herramientas informáticas. Fruto de este trabajo son los sistemas expertos para papa (SEPA) y algodón (SEA), el Sistemas de Apoyo a la Toma de Decisiones (SATD), el Sitema de Alertas Tempranas Agroclimáticas (SAAT) y la última versión del SE-MAPA (que data de 2017). Estas herramientas se basan en experiencias de países con similar desarrollo socioeconómico, como Chile (Red Agroclimática Nacional [Agromet], s.f.) y Argentina (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria [INTA], 2019), o con similares condiciones climáticas, como Brasil (Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria [Embrapa], & Centro de Investigación Meteorológica y Climática Aplicada a la Agricultura [Cepagri], 2019).

Esta experiencia ha permitido avanzar en la comprensión de los procedimientos, en la gestión de la información que los acompaña y en su promoción y difusión entre los actores locales, regionales y nacionales del sector agropecuario.

Una tarea misional de AGROSAVIA es dar soporte al Subsistema de Extensión Agropecuaria (SEA), en el marco del Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria (SNIA). Por tanto, es necesario promover espacios de formación, capacitación y actualización tecnológica para la extensión agropecuaria, así como diseñar e implementar herramientas que permiten la toma de decisiones informadas a los extensionistas agropecuarios.

En tal sentido, se hizo una lectura detallada de la contribución real que podía hacer el proyecto MAPA a la generación de capacidades locales y regionales para la gestión del riesgo agroclimático. Resultado de esta lectura fue el producto SE-MAPA, una herramienta que ayuda a mejorar la cultura agroclimática (función pedagógica) y que brinda información técnica sobre la susceptibilidad del territorio y la vulnerabilidad de los sistemas de cultivo en diferentes regiones de Colombia.

Antecedentes corporativos asociados al cambio climático y a las herramientas de toma de decisiones

En sus años de vida corporativa, AGROSAVIA ha experimentado varios procesos de reestructuración que se reflejan en la evolución del modelo de investigación y en su estructura operativa. Cuando la Corporación nació en los años noventa, se conformó el Programa Nacional de Agroecosistemas bajo la Subdirección de Sistemas de Producción, la cual estaba constituida por un grupo interdisciplinario de profesionales con sede en el Centro de Investigación Tibaitatá, y por coordinaciones regionales en los otros centros. Se adoptó el enfoque de sistemas como marco teórico transversal y se integraron herramientas de modelamiento espacial y el uso de la estadística para facilitar el análisis de procesos complejos (integración de componentes biofísicos y socioeconómicos por escalas de trabajo). El programa se enfocó en caracterizar, tipificar y modelar espacialmente sistemas productivos y evaluar la aptitud de uso del suelo, con el objeto de focalizar y priorizar la investigación agropecuaria y apoyar la toma de decisiones corporativas y gremiales.

Con la creación de la Subdirección de Innovación y Desarrollo Territorial, el Programa Nacional de Agroecosistemas se transformó en 2006 en la Coordinación de Innovación y Desarrollo Territorial, la cual tuvo un fuerte énfasis territorial y socioeconómico. Se fortaleció el núcleo central (profesionales, *software*, *hardware*) para dar respuesta a demandas sectoriales como las del Instituto Colombiano de Desarrollo Rural (Incoder) y las del sector gremial, pero se debilitaron los grupos regionales y el desarrollo de proyectos de investigación interna.

La Coordinación desapareció en 2009 cuando se redujo a la Unidad de Geomática, la cual pasó a ser manejada por el grupo de Agronegocios. La Unidad se enfocó en la prestación de servicios internos y externos, y tuvo poca o ninguna participación de investigadores. Terminó por debilitarse y prácticamente se desvinculó de la investigación.

En 2010, la Corporación reorientó su modelo hacia la gestión del conocimiento en redes. Para adoptar los lineamientos sectoriales de investigación por cadenas productivas y responder a los impactos de la ola invernal, conformó la red de conocimiento de cambio climático, cuyo objetivo era mitigar los

impactos de dicho cambio y fortalecer su manejo institucional. La red se eliminó pocos meses después, debido a lineamientos institucionales. El manejo de las áreas temáticas asociadas al cambio climático se efectuó entonces por medio de las actividades llevadas a cabo en las redes de innovación por cultivo. La consecuencia de lo anterior fue que la agenda quinquenal 2013-2017 no incluyó ninguna actividad destinada a profundizar en el tema del cambio climático.

Se destacan, sin embargo, algunas acciones realizadas previamente, orientadas al estudio de los efectos de la variabilidad y el cambio climático en el sector agropecuario. Estas investigaciones generaron una serie de metodologías de análisis del riesgo agroclimático para los sistemas de producción agropecuarios y varias OT de respuesta.

Con el apoyo del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), la Corporación ejecutó en el periodo 2008-2011 seis proyectos de investigación dirigidos a cuantificar las tendencias de largo plazo de parámetros del clima y su efecto potencial sobre la dinámica e incidencia de las plagas en el cultivo del café, los pastos de clima frío y la salud de vacas lecheras. Las investigaciones mostraron, entre otras cosas, que las alteraciones de las temperaturas en el altiplano cundiboyacense traían consigo la aparición de plagas de importancia económica en los sistemas lecheros de zonas altas que previamente estaban libres de este problema, así como una mayor incidencia de enfermedades bacterianas en el ganado lechero de zonas bajas susceptibles a inundaciones por eventos extremos de precipitación (Pulido-Herrera, Romero, Arcila, Benavides, & Ruiz , 2011; Pulido-Herrera, Rudas-Ll., Betancourt, Grant, & Vilchez, 2015; Rojas, Arce, Peña, Boshell, & Ayarza, 2010).

Por otra parte, la Corporación desarrolló durante el mismo periodo un modelo de alerta temprana destinado a manejar el problema del chinche de los pastos, *Collaria scenica*, en el altiplano cundiboyacense. El modelo involucró la combinación de variables climáticas y biológicas de crecimiento del insecto, y su objetivo fue generar un sistema de apoyo a la toma de decisiones que facilitara la selección de opciones de manejo en función de las variables (Corpoica, 2012b; Garza Puentes, & Barreto Triana, 2016; Rodríguez Roa, 2011). Este sistema logró un desarrollo conceptual, pero no fue implementado como herramienta web.

En el periodo 2010-2012, con financiamiento del MADR, el Departamento de Transferencia de Tecnología de la Corporación elaboró el diseño metodológico de los planes de asistencia técnica. Fue así como definió una plataforma tecnológica para apoyar la gestión del conocimiento mediante la producción y el uso de estadísticas e indicadores. Su objetivo fue orientar y evaluar la política sectorial, nacional, regional e internacional; dinamizar la acción de diversos actores del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología Agroindustrial (SNCTA), y agilizar el flujo de conocimiento e información entre los responsables de la investigación y del desarrollo agropecuario en Colombia. La plataforma se denominó SIEMBRA[4], y estuvo conformada por seis módulos, incluido uno sobre sistemas de apoyo para la toma de decisiones. Estos sistemas se desarrollaron siguiendo el concepto y los lineamientos metodológicos de lo que se conoce como "gestión del conocimiento" (Matos, Chalmeta, & Coltel, 2006). Los siguientes fueron los principales sistemas de apoyo a la toma de decisiones incluidos en SIEMBRA y desarrollados por la Corporación:

- Sistema de Alertas Agroclimáticas Tempranas (SAAT). Apoyaba la toma de decisiones para la selección de alternativas de manejo de pasto kikuyo y ganado. Tenía como objetivo reducir el impacto de las condiciones y los fenómenos climáticos adversos producidos por la variabilidad climática en la producción de leche en la sabana de Bogotá. Fue un sistema piloto que brindó apoyo local a una asociación de pequeños productores en el municipio de Facatativa (Cundinamarca).
- Sistema de Toma de Decisión para la Selección de Especies Forrajeras (STDF). El sistema se encuentra en operaciones[5] y tiene como objetivo apoyar la selección de especies de pastos y forrajes según las condiciones edafoclimáticas de diferentes regiones del país (Arce Barboza, Peña Quiñones, & Cárdenas Rocha, 2013).

Sin embargo, no fue sino hasta el periodo 2013-2016, cuando se desarrolló y ejecutó el proyecto MAPA, que se generó una verdadera estrategia de trabajo de adaptación al cambio climático por medio de la gestión del riesgo. Esta estrategia incluyó tres componentes:

- Riesgo agroclimático. Componente enfocado en la caracterización de patrones agroclimáticos, el análisis de riesgos y oportunidades agroclimáticas y la identificación de zonas de bajo riesgo agroclimático.

[4] La plataforma se puede consultar en http://www.siembra.co/

[5] Puede accederse al sistema en el portal *Ganadería sostenible* (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA], 2019).

- Ofertas tecnológicas. Orientado a identificar y evaluar OT de manejo que permitieran reducir la vulnerabilidad de los sistemas productivos frente a las amenazas climáticas.
- Transferencia de tecnología. Encaminado a fortalecer las capacidades de los ATA por medio de una estrategia de gestión del conocimiento en red, que permitiera mejorar la capacidad local de adaptar los sistemas productivos a la variabilidad y el cambio climático.

¿En qué consistió MAPA?

El proyecto tenía como objetivo contribuir a la reactivación económica de las zonas afectadas por la "ola invernal". En el contexto de emergencia social y económica generado por este fenómeno climático extremo, MAPA se propuso empoderar a los servicios locales de transferencia de tecnología y a las comunidades rurales afectadas con información agroclimática y tecnologías de manejo destinadas a mejorar la productividad de los sistemas de producción y su capacidad de responder a eventos climáticos extremos (Corpoica, 2013).

Los departamentos fueron seleccionados por el Fondo de Adaptación (financiador del proyecto). Además, el Fondo se basó en una matriz de priorización generada por el proyecto para concertar los municipios y cultivos en los que se concentraría el trabajo (tabla 1).

Tabla 1. Alcance territorial del proyecto MAPA

Departamento	Municipio	Cultivos
Atlántico	Candelaria/Manatí	Ganadería (pasto pará y estrella)
	Suan/Santa Lucía	Ají topito
	Repelón/Campo de La Cruz	Tomate
Bolívar	Hatillo de Loba/Mompox	Ganadería (pasto pará y estrella)
	El Peñón	Piña Gold
	Clemencia/Santa Catalina	Mango hilaza
Boyacá	Sora	Ovino, caprino
	Tibasosa	Ganadería doble propósito
	Paipa	Coliflor

(Continúa)

(Continuación tabla 1)

Departamento	Municipio	Cultivos
Nariño	Buesaco/San Pedro de Cartago	Pasto kikuyo para ganadería de leche
	Yacuanquer/La Cruz	Papa (Diacol Capiro)
	La Unión/San Lorenzo	Limón Tahití
Norte de Santander	Teorama	Lulo
	Ocaña/La Playa	Cebolla roja ocañera
	Silos	Papa (pastusa suprema)
Antioquia	San Vicente	Fresa
	Sopetrán/Dabeiba	Maracuyá
	San Juan de Urabá/Jardín	Plátano
Chocó	Riosucio/Carmen del Darién	Cacao
	Acandí/Unguía	Plátano
	Tadó	Chontaduro
Tolima	Fresno	Aguacate
	Ataco	Cacao
	Natagaima	Plátano
Córdoba	San Pelayo	Berenjena
	Ayapel	Ñame
	Lorica	Plátano
Cundinamarca	Útica	Caña panelera
	Anapoima	Mango Tommy
	Ubaté	Ganadería de leche
Magdalena	Zona Bananera	Plátano hartón
	Sabanas de San Ángel	Yuca
	Fundación	Maíz
Santander	Landázuri	Aguacate
	San Vicente de Chucurí	Cacao
	Piedecuesta	Mora
Valle del Cauca	Andalucía	Limón pajarito
	Ginebra	Mora
	Roldanillo	Melón
Cauca	Mercaderes	Cacao
	El Tambo	Aguacate
	Patía	Ganadería de leche

(Continúa)

(Continuación tabla 1)

Departamento	Municipio	Cultivos
Huila	La Plata	Ganadería doble propósito
	Argentina	Granadilla
	Algeciras	Lulo
Sucre	La Unión	Ganadería bovina doble propósito
	Majagual	Arroz secano mecanizado
	Tolú Viejo	Ñame espino tipo exportación
Cesar	Valledupar	Ganadería doble propósito
	Chimichagua	Naranja
	Curumaní	Plátano
La Guajira	Uribia	Ovino, caprino
	Dibulla	Plátano
	Fonseca	Melón

Fuente: Elaboración propia

Para alcanzar el objetivo general de MAPA, se estructuraron siete productos, definidos de la siguiente manera según la formulación original consignada en Corpoica (2013, p. 5):

- Producto 1. "Zonas susceptibles a efectos de los eventos climáticos extremos identificados a escala regional".
- Producto 2. "Identificación de indicadores de vulnerabilidad de los sistemas producción por escenarios de variabilidad climática".
- Producto 3. "Sistemas de apoyo a la toma de decisión: Sistemas de Alerta agroclimática temprana (SAAT)".
- Producto 4. "Prestadores de servicios de asistencia técnica y de transferencia de tecnología con capacidad de evaluar riesgos agroclimáticos a nivel local y usar sistemas de alerta agroclimática temprana".
- Producto 5. "Opciones tecnológicas disponibles para los sistemas productivos priorizados por región con potencial para enfrentar el riesgo a eventos climáticos extremos y generar reactivación económica".
- Producto 6. "Plan de manejo integrado de las cadenas productivas priorizadas en los proyectos de reactivación económica".

- Producto 7. “Prestadores de servicios de extensión y asistencia técnica capacitados para transferir tecnologías y recomendaciones de manejo de los sistemas de producción seleccionados para los proyectos productivos de reactivación económica”.

Dentro del producto 3, inicialmente se concibió la construcción de un SAAT que sirviera como herramienta tecnológica para reducir la vulnerabilidad de los sistemas de producción en los municipios priorizados por el proyecto. Sin embargo, la cantidad de información generada por los demás productos desbordó el enfoque inicial. Por tanto, el SAAT se concibió como un SE instalado en una plataforma de aprendizaje con enfoque de ACI.

¿Qué es el SE-MAPA?

El SE-MAPA es una herramienta tecnológica que aporta conocimiento experto para aumentar la capacidad local de toma de decisiones. El sistema se construyó como una plataforma modular con información para la gestión del riesgo agroclimático y está conformado por los siguientes tres módulos:

- Módulo A, denominado “SE-MAPA estudiemos el territorio”. Tiene como objetivo fortalecer la capacidad técnica de los ATA por medio de la sistematización de los resultados más relevantes de MAPA.
- Módulo B, denominado “Agua-Rendimiento”. Permite, de manera pedagógica, estimar las tendencias de productividad-rendimiento. Para ello, se basa en información sobre propiedades físicas de los suelos y en datos sobre años de clima contrastante (periodos El Niño, La Niña y de neutralidad), generados por algunas estaciones meteorológicas del territorio nacional.
- Módulo C, denominado “Glosario”. Catálogo de términos y relaciones utilizados o desarrollados bajo el enfoque metodológico de MAPA.

Capítulo I

Proceso de desarrollo e implementación del SE-MAPA

Este proceso empezó por formular el propósito y los objetivos del sistema. Identificó el problema y estableció los componentes y las medidas de efectividad para la evaluación del modelo. Incluyó también un análisis del sistema con el fin de entender sus partes, sus relaciones y los factores relevantes que afectaban el problema objeto de estudio.

Originalmente, para la elaboración del proyecto MAPA, se consideró necesario desarrollar sistemas de alerta agroclimática temprana según la experiencia corporativa obtenida previamente a partir del SAAT Sabana de Bogotá-Facatativá. Sin embargo, el diseño de un sistema similar en el marco de un proyecto como MAPA, que abarcaba un gran número de cultivos y áreas diferentes, requería de una conceptualización inicial diferente. Cuando inició MAPA, se tuvo evidencia de la poca cultura agroclimática de los ATA y de la ingente cantidad de información. Por tanto, se decidió ampliar la concepción del sistema de alerta temprana original. Se pensó en un SE que permitiera avanzar en una pedagogía de la agricultura agroclimática e incluyera sistemas de alerta temprana contrastantes en función del cultivo y la región.

Diseño del sistema

La idea central de la etapa de diseño fue plantear un sistema que se adecuara a la realidad y las necesidades de quienes lo iban a utilizar. El primer paso consistió, por tanto, en identificar los posibles usuarios. Dentro del enfoque de MAPA, los ATA son los mediadores entre la situación particular de los productores y el conocimiento generado por el proyecto sobre la gestión

del riesgo agroclimático. En consecuencia, se estableció que los principales usuarios del SE-MAPA serían los ATA. El segundo paso consistió en precisar una lógica de gestión del riesgo agroclimático coherente con la práctica de los ATA en campo.

A medida que el proyecto se iba ejecutando y los diferentes productos se convertían en entregables concretos, se fue estructurando una lógica de escalas que permitió aterrizar la información más general en conocimientos específicos. Estos conocimientos relacionaban características climáticas y opciones tecnológicas con el fin de hacer una mejor gestión del riesgo agroclimático. El sistema se organizó teniendo en cuenta las siguientes escalas:

Escala departamental

Se apoya en el conocimiento general que se tiene del entorno climático y biofísico de los departamentos. Incluye una caracterización climática y un análisis de variabilidad y susceptibilidad a eventos climáticos extremos.

Presenta la distribución espacial anual promedio de variables climáticas como precipitación, temperatura (mínima, media y máxima), humedad relativa, brillo solar y evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o), con el objeto de hacer un mejor uso de los recursos.

También muestra información sobre la variabilidad climática a escala intranual. Esta información puede compararse con el conocimiento tácito que tiene la mayoría de los productores sobre las temporadas secas y lluviosas de sus respectivas regiones. Adicionalmente, presenta información sobre la variabilidad interanual relacionada con los fenómenos del Niño y La Niña, eventos estos percibidos por los productores como extraordinarios y generalmente catastróficos, y de los cuales no tienen una noción clara.

Finalmente, muestra en la misma escala la susceptibilidad territorial frente a excesos y déficits de agua en el suelo. Esta información discrimina las regiones según la mayor frecuencia de una u otra condición.

Escala municipal

En esta escala se asocia un cultivo específico al área de un municipio y se evalúa la aptitud agroclimática de este último. La idea es establecer zonas de menor riesgo agroclimático para el establecimiento del cultivo.

Las zonas de aptitud agroclimática se consolidan luego de analizar mes a mes el ciclo del cultivo. El análisis tiene en cuenta eventos de déficit o exceso de agua en el suelo, condiciones de humedad y variables del suelo que pueden limitar el crecimiento y desarrollo de las especies. A partir de esta información, el análisis establece las áreas de alto y bajo riesgo agroclimático en cada municipio.

Escala local

Hace referencia a tres sistemas de alerta agroclimática temprana desarrollados como pilotos en zonas y cultivos con condiciones diferenciadas. Las zonas corresponden a los municipios de Repelón (Atlántico) para el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*), Yacuanquer (Nariño) para el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) y Paipa (Boyacá) para el cultivo de coliflor (*Brassica oleracea*).

A partir de una predicción climática estacional, se obtienen probabilidades de comportamiento de las precipitaciones (normal, por encima del promedio, por debajo del promedio). Esta información se traduce en un rango de precipitación que alimenta un balance hídrico. Dicho balance determina las condiciones probables de humedad en el suelo, y con base en él se le comunica al usuario si el suelo tendrá suficiente humedad para el cultivo y se le ofrecen opciones técnicas para el manejo de la condición.

Equipo técnico involucrado

La conformación del equipo técnico es un factor relevante para el desarrollo de un sistema de estas características. Se sugiere incluir perfiles que integren conocimientos en disciplinas como meteorología, hidrología, edafología, fisiología de cultivos, sistemas de información geográfica, desarrollo web, sociología, modelación de sistemas de producción, entre otros. Si el sistema tiene un amplio alcance territorial, es importante consolidar equipos regionales, enfocados en el trabajo con la población objetivo, como

asistentes técnicos, tomadores de decisión del orden local y líderes sociales reconocidos por su conocimiento de la zona.

De igual manera, se deben establecer alianzas con instituciones y organismos que generan información fundamental para el desarrollo de los productos de este tipo de sistemas. En concreto, las alianzas deben llevarse a cabo con entidades que presten servicios meteorológicos e hidrológicos nacionales, grupos de investigación de la academia, centros de innovación y sectores gremiales, entre otros. En el caso del SE-MAPA, el proyecto formó alianzas con el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam) y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Actividades para el diseño

Las siguientes fueron las actividades desarrolladas durante la etapa de diseño:

- Elaboración del diseño preliminar. Se basó en la experiencia recogida en los proyectos SAAT de enfoque local de la sabana de Bogotá. El esquema general de los primeros diseños incluyó los componentes clima, análisis agroclimático y medidas de adaptación. Este último componente posteriormente se denominó "opciones tecnológicas (OT)", el cual se basó en conceptos más coherentes con el proyecto MAPA.
- Elaboración de matrices de requerimiento del SAAT de escala local. Consistió en determinar las variables y los rangos de los tres componentes definidos para una escala local: (a) matriz de indicadores de clima, (b) matriz de indicadores agroclimáticos y (c) matriz de los efectos de las condiciones climáticas (seco, muy seco, húmedo, muy húmedo) en los cultivos priorizados. Esta última matriz contempló los diferentes estados fenológicos y las acciones de respuesta.
- Talleres participativos. Sus objetivos fueron (a) capturar y describir indicadores de clima, OT y efectos de las condiciones climáticas en los cultivos priorizados con base en información proporcionada por los participantes, y (b) verificar y ajustar el diseño preliminar.

Para el desarrollo de los talleres, en los centros de investigación (CI) de la Corporación se identificaron un profesional en transferencia y un facilitador. Este último servía de enlace entre el personal de la Corporación en la región, los CI y los líderes de producto (investigadores expertos en los cultivos

priorizados). Tanto el profesional en transferencia como el facilitador se encargaron de identificar a los productores, los asistentes técnicos y los investigadores con experiencia en los cultivos priorizados que participarían en los talleres.

Los talleres denominados "de captura de indicadores locales" requirieron una guía metodológica con los pasos a seguir y los resultados esperados. En esta guía también se definió con claridad el rol que debían desempeñar en la discusión los productores, los asistentes técnicos y los investigadores especialistas del cultivo.

A continuación, para efectos prácticos, se describe el taller participativo:

- Parte 1. Presentación de participantes. Se presentaban los asistentes técnicos y los productores, así como el equipo técnico de trabajo y el equipo de apoyo del centro de investigación.
- Parte 2. Descripción del producto. Se formulaban el objetivo, la justificación, la metodología y el caso de uso, todo esto con el fin de entender el alcance y la finalidad del sistema. Así mismo, se explicaba el objetivo del taller y la manera como se desarrollaría la jornada.
- Parte 3. Contextualización del tema del clima. Abordaba contenidos generales como la diferencia entre tiempo y clima, la variabilidad y el cambio climático, la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT) como principal causante del régimen anual de lluvias en el país, el fenómeno de Oscilación del Sur-El Niño (ENSO) y las alteraciones probables que estos fenómenos producen en las precipitaciones.
- Parte 4. Trabajo en grupo. En esta fase se planteaban los siguientes aspectos:
  - Descripción de las condiciones climáticas: se caracterizaba el clima de la región considerada bajo las categorías seco, muy seco, húmedo, muy húmedo. Esta definición de las condiciones de la zona se efectuaba según los indicadores climáticos-ambientales considerados por los participantes. Además, se describían los efectos de estas condiciones en los sistemas de cultivos priorizados. Para esto último, se empezaba por establecer las fechas típicas de siembra y la duración de los diferentes estados fenológicos de los cultivos bajo condiciones climáticas normales.
  - Selección de las opciones tecnológicas en función de las condiciones climáticas identificadas (opciones de manejo): se determinaban las OT que mitigaban los efectos negativos del clima sobre el cultivo.

– Matriz de requerimientos propuesta para el SAAT de escala local: se recopilaba información sobre los efectos de las condiciones climáticas en los sistemas de cultivo priorizados y sobre las medidas de adaptación que respondían a estos efectos. Por ejemplo, los asistentes al taller del municipio de Suan (Atlántico) caracterizaron un escenario muy seco con al menos 90 días sin lluvia, presencia esporádica de vientos fuertes y cielo despejado. Definieron los estados fenológicos del ají topito (*Capsicum annuum*) según estas condiciones climáticas y las posibles OT para manejar la situación.

Para el trabajo en grupo, se implementaba la matriz de requerimientos. La matriz se apoyaba con algunas actividades de ilustración que llevaban a cabo los asistentes técnicos y los productores. Con estas actividades, se entendía y se reconocía el estado de la planta bajo las diferentes condiciones climáticas (figura 1).

Fotos: Equipo de desarrollo del SE-MAPA

Figura 1. Asistente técnico ilustrando los efectos de las condiciones climáticas en la planta de tomate. a. De acuerdo con la condición climática, se le pide al asistente técnico que dibuje una planta de tomate; b. Dibujo de las partes de una planta de tomate hecho por uno de los asistentes al taller.

Escalonamiento

Se refiere a la reflexión que se hizo después del trabajo de conceptualización y diseño del SAAT de escala local. Fue un trabajo que permitió trascender la formulación original del proyecto MAPA. Se basó en el proceso de verificación del proyecto, cuyo objetivo era articular la información generada y lograr un producto final útil para los ATA de todo el país. La verificación mostró que la proyección del enfoque local del SAAT no permitía cubrir la construcción de los 54 cultivos con sus respectivas alertas agroclimáticas, incluidas las descripciones climáticas de los 18 departamentos y de los municipios priorizados. Como consecuencia de lo anterior, se replanteó el diseño metodológico de escala local definido inicialmente a fin de mejorar el impacto del sistema en la toma de decisiones agroclimáticas, y se propuso un escalonamiento que tuviera en cuenta toda la información regional generada, con el fin de lograr un mayor conocimiento territorial y agroclimático.

El escalonamiento permitió transformar el SAAT inicial en un SE que orienta el conocimiento del territorio. En el nivel departamental, el SE ofrece un entendimiento general del entorno climático y biofísico. En el nivel municipal, presenta las zonas de menor riesgo para la implementación de un cultivo. En este último nivel, caracteriza los excesos o déficits de humedad en el suelo y ofrece las OT que se pueden implementar en un sistema de cultivo según las condiciones presentes.

La escala local del sistema proporciona a los ATA de las zonas piloto productos que permiten planificar las opciones tecnológicas y tomar decisiones frente al comportamiento probable de la disponibilidad hídrica en la zona, todo ello gracias a una predicción climática estacional. El alcance del sistema en esta escala está determinado por el radio de influencia de una estación meteorológica, por las características físicas del suelo y por el sistema de cultivo priorizado.

El flujo del SE-MAPA tiene como punto de partida la información de escala regional sobre los departamentos y los municipios con cultivos priorizados. Su punto de llegada es una zona específica del municipio (escala local), cuya información está vinculada el sistema de alerta agroclimática (figura 2).

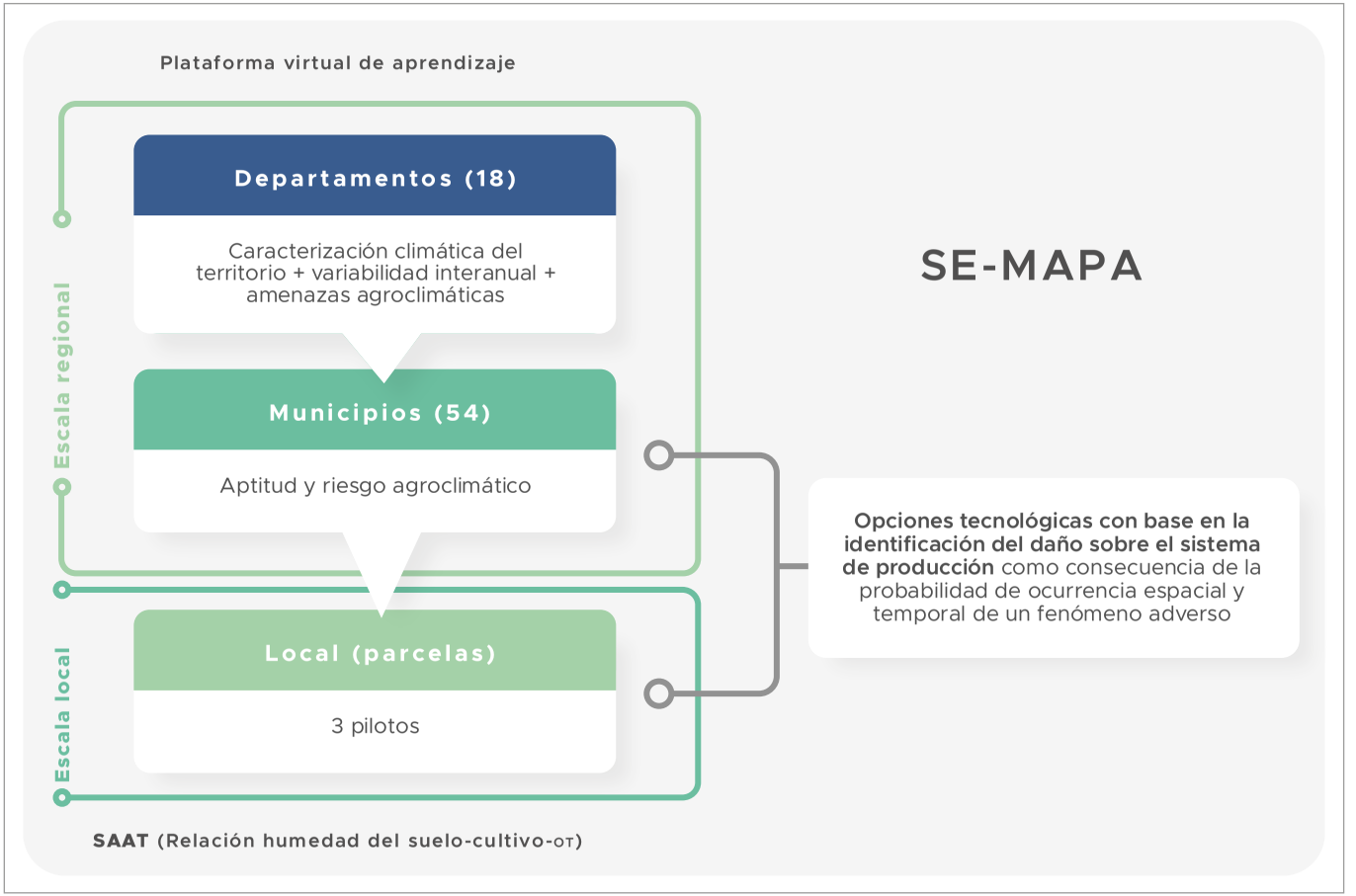


Figura 2. Diagrama general de las escalas del SE-MAPA.
Fuente: Elaboración propia

Formulación del sistema

La formulación se basó en la premisa de que la agricultura, como cualquier otra actividad socioeconómica, se desarrolla en entornos cada vez más complejos, que demandan de los diferentes actores (asistentes técnicos, productores, personas vinculadas al sector) el uso de herramientas tecnológicas destinadas a organizar, almacenar, consultar y comunicar (entre otras acciones) información sobre plantas, suelos, climas y sobre las interacciones de estos elementos. Es por eso que el SE-MAPA, como plataforma tecnológica de aprendizaje, se estructuró para que integrara la información de los resultados más relevantes del proyecto MAPA; los muestra de forma lógica y orienta al proceso de conocimiento del territorio con un enfoque de agricultura climáticamente inteligente.

El sistema, en la escala regional, se presenta como una plataforma virtual que permite ejecutar diversas aplicaciones dentro de un mismo entorno y al que se puede acceder por medio de Internet. El usuario, mientras navega, puede consultar, por ejemplo, el modo como los patrones de precipitación se alteran bajo fenómenos como El Niño y La Niña y obtener información sobre la dinámica de las zonas de bajo riesgo agroclimático según escenarios de exceso o déficit de agua en el suelo.

A su vez, en la escala local, funciona como un sistema de alerta agroclimática temprana, que combina herramientas e integra procesos. Estos sistemas por lo general se componen de cuatro elementos: (a) conocimiento del riesgo, (b) monitoreo técnico y servicio de alerta, (c) difusión de alertas significativas a la población en riesgo y (d) concientización pública y preparación para actuar. Además, los sistemas deben contar con una sólida base científica para la predicción y la previsión, y una capacidad de trabajo confiable (Pérez, 2013).

Las siguientes fueron las actividades que se llevaron a cabo durante la fase de formulación:

- Diseño y elaboración de la base de datos principal del sistema. Una vez priorizada la información del sistema, la información se estructuraba y se organizaba para consolidar una base de datos.
- Revisión de modelos matemáticos y desarrollo de algoritmos que se debían vincular al sistema.

- Diseño gráfico. Se realizó con miras a la usabilidad y optimización de la experiencia del usuario, y se aseguró una navegación intuitiva y entrega de resultados amigables y claros. El trabajo del diseñador gráfico debe ir de la mano con el del desarrollador del sistema y debe ser objeto de revisiones permanentes por parte del equipo.
- Desarrollo de talleres participativos para la verificación del diseño. Durante el desarrollo del sistema, se llevaron a cabo varios talleres para validar la funcionalidad y calidad de la información ofrecida.

Como resultado de esta fase de formulación, y después de que el diseño se redefinió con base en los resultados obtenidos en los talleres de validación con usuarios, el SE-MAPA se reorganizó en tres módulos, bajo el enfoque de gestión del conocimiento. El primer módulo es el de conocimiento del territorio y se desarrolla en tres escalas (departamental, municipal y local). El segundo módulo, de escala local, es el de agua-rendimiento y permite establecer tendencias de productividad utilizando datos climáticos y de suelos. El tercer módulo corresponde al glosario y amplía los conceptos presentados en el sistema y sus relaciones de jerarquía, para que el usuario tenga claridad sobre la información consignada en la plataforma (figura 3).

Figura 3. Módulos que conforman el SE-MAPA bajo el enfoque de gestión del conocimiento. Fuente: Elaboración propia

Módulo A. Conocimiento del territorio

El esquema general de la figura 4 muestra los pasos de integración y presentación de la información de este módulo. A partir del MAPA del país, se ingresó la información de los departamentos, incluida la caracterización y análisis de la variabilidad climática. Luego se incorporó la información de los municipios, con zonas de aptitud agroclimática para los cultivos priorizados. Con todo lo anterior, el sistema puede presentar las condiciones probables de exceso o déficit de humedad (componente climático), en un

punto definido del municipio (zona local) y para un sistema de cultivo determinado. Aquí también se calcula el requerimiento hídrico del cultivo y se presenta un calendario de riego (componente agroclimático). Por último, se vinculan los efectos y las OT en función de las condiciones probables de humedad del suelo (componente de oferta). En el apartado siguiente se describen las diferentes escalas del sistema.

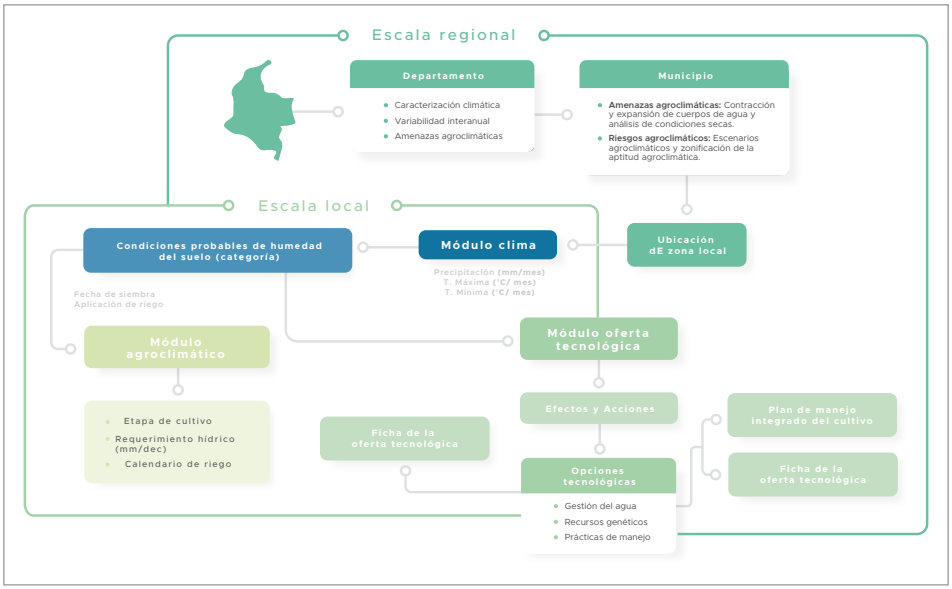


Figura 4. Esquema metodológico del SE-MAPA.
Fuente: Elaboración propia

Escala regional

Se delimitó de acuerdo con la división político-administrativa del país. Se tomó esta decisión debido a que la formulación del proyecto se hizo por departamentos y municipios afectados por la "ola invernal" y no por regiones geográficas homogéneas o cuencas hidrográficas.

Departamentos

Para definir la unidad espacial de análisis de escala regional se consideraron diferentes formas de zonificación desarrolladas por instituciones de alcance nacional. Era necesario establecer unidades espaciales de análisis que facilitaran la evaluación de riesgos agroclimáticos en diferentes escalas

espaciales, dado que dichos riesgos pueden ser dinamizados por las características biofísicas locales y por las características del entorno. De las opciones de zonificación ambiental disponibles en el país —subregiones naturales (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], 1997); zonas agroecológicas (IGAC & Corpoica, 2002); biomas (IGAC, 2008), y subzonas o cuencas hidrográficas (Ideam, 2013)—, se seleccionaron las subzonas hidrográficas como unidades de análisis para los departamentos. Esta zonificación fue desarrollada por el Ideam entre 2009 y 2010 y se consideró la más indicada para el proyecto MAPA puesto que se basa en las zonas de influencia de las cuencas, lo cual se ajusta al objetivo de analizar los riesgos agroclimáticos según los excesos y las deficiencias hídricas. Tiene la ventaja adicional de que ofrece otras variables de análisis dada la relación que se presenta a nivel territorial entre el clima, la hidrología y el paisaje.

La información cartográfica integrada en el nivel departamental incluye parte de los resultados generados en el análisis de variabilidad climática del proyecto MAPA. La información se integró según un orden lógico. Primero, se incluyó la caracterización climática; luego, la variabilidad climática interanual relacionada con el ENSO y, por último, las amenazas agroclimáticas. La tabla 2 muestra la forma como se estructuró la información cartográfica integrada en el SE-MAPA.

Con base en la información del Ideam, se logró consolidar una base de datos mensuales con controles de calidad y complementación de datos faltantes, que fue utilizada para caracterizar y estudiar la variabilidad climática de los departamentos priorizados.

Dentro de las dificultades identificadas en el nivel departamental, se destacan las limitaciones de acceso a las bases de datos. Este problema se debió a que el intercambio de información entre las entidades no se produjo en los tiempos estimados. Otro factor que dificultó el proceso fue la falta de disponibilidad de información climática sobre algunos departamentos, consecuencia de la baja cobertura de estaciones meteorológicas.

Tabla 2. Tipo de información del SE-MAPA en la escala departamental

Tipo	Características
Caracterización climática	Provino del análisis climático llevado a cabo por el proyecto MAPA. Este análisis se basó en 1.603 series climáticas provenientes de la red de estaciones hidrometeorológicas del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). Las series correspondían al periodo 1980-2011 e incluían las siguientes variables: precipitación, temperatura (máxima media, media y mínima media), humedad relativa y brillo solar. Así mismo, se calculó la variable evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o), con el objetivo de tenerla en cuenta en el momento de determinar las amenazas agroclimáticas.
Variabilidad climática interanual	Se estimó la alteración de la precipitación y la temperatura por medio de un cálculo de anomalía para los periodos bajo influencia de los fenómenos de El Niño y La Niña.
Amenazas agroclimáticas	Se calculó la frecuencia de excesos y déficits hídricos mediante el Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI, por sus siglas en inglés). También se determinó la susceptibilidad a inundaciones y encharcamientos con base en las características biofísicas determinadas por el paisaje y las inundaciones de los años 2010 y 2011.

Fuente: Elaboración propia

Municipios

La información cartográfica integrada en el SE-MAPA de nivel municipal comprende parte de los resultados generados por los indicadores locales de vulnerabilidad de los sistemas productivos. Dicha información también se integró de acuerdo con un orden lógico. Se describieron algunas manifestaciones en el territorio de los excesos y ausencias de lluvias (inundaciones y sequías), denominadas "amenazas agroclimáticas". También se describieron los impactos que los déficits o excesos de agua en el suelo tienen sobre los sistemas de cultivo priorizados y a esta información se le denominó "riesgo agroclimático". La tabla 3 muestra la estructura de la información cartográfica integrada en el sistema experto.

Tabla 3. Tipo de información del SE-MAPA en la escala municipal

Tipo	Subtipo	Características
Amenazas agroclimáticas	Análisis de contracción de cuerpos de agua	Se determina el comportamiento de los cuerpos de agua en los eventos de El Niño y La Niña y se compara con la línea base del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) a escala 1:25.000. El análisis se realiza interpretando imágenes satelitales con resolución espacial de 5 a 10 m.
	Análisis de expansión de cuerpos de agua	
	Análisis de condiciones secas por medio del cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés)	La capa indica la pérdida o estabilidad del NDVI. Este índice es un parámetro que se calcula a partir de la reflectancia de algunas coberturas en ciertos rangos del espectro electromagnético (rojo e infrarrojo), bajo periodos prolongados de ausencia de lluvias (ya sea por El Niño o bien por otras alteraciones océano-atmosféricas), reflejando el estado de la vegetación en su capacidad fotosintética. Una condición severa corresponde a un porcentaje de pérdida del NDVI mayor al 25%, lo que en las plantas significa una alta disminución de su capacidad fotosintética y una repercusión en su desarrollo. Por el contrario, un porcentaje menor al 5% es considerado estable.
Riesgos agroclimáticos	Aptitud agroclimática (exceso, normal y déficit)	El análisis consiste en determinar los nichos productivos óptimos para cada escenario (exceso, normal y déficit) por cultivo priorizado, integrando análisis de aptitud de uso del suelo con análisis de disponibilidad hídrica a partir del cálculo del Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI, por sus siglas en inglés)
	Escenarios agroclimáticos (exceso, normal y déficit)	Las capas que describen los escenarios agroclimáticos son generadas a partir del nicho productivo óptimo identificado en el análisis de aptitud agroclimática. Este análisis es realizado para el ciclo productivo predominante en la zona si es un cultivo transitorio. En el caso de cultivos permanentes, se presentan ventanas de mayores y menores lluvias.

Fuente: Elaboración propia

El logro más destacado de la escala municipal fueron los mapas de pérdida o estabilidad (anomalía) del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés), que contrastan la información obtenida durante el fenómeno del Niño con la de una condición normal. Se generaron escenarios de información mensual de las limitantes del suelo con grados de amenaza en términos de probabilidad (baja, media o alta); se detectaron áreas con características agroclimáticas apropiadas para la producción agropecuaria en un escenario de baja exposición espacial y temporal a condiciones restrictivas de humedad, y se seleccionaron opciones tecnológicas para cada sistema productivo según las probables condiciones de humedad en el suelo (exceso, normal y déficit).

Las OT seleccionadas por el producto 4 del proyecto MAPA sirvieron de base para elaborar las fichas de información sobre prácticas de manejo, gestión de agua y materiales de siembra. Estas fichas ofrecen al productor una alternativa de respuesta ante una situación de exceso o déficit de humedad.

La elaboración de las fichas de las OT contó con la participación de ATA representativos del municipio. Con esto se buscó garantizar que la información fuera pertinente con la realidad técnica y socioeconómica de las zonas de producción. Las fichas cuentan con hipervínculos que permiten ampliar algunos aspectos de la información consignada y con la información de contacto de un ATA de la zona, al cual se puede acudir en caso de que se necesite apoyo técnico para la implementación de las OT.

Las OT se consideraron para dos escalas espaciales del SE-MAPA (figura 5). En la escala municipal, se vincularon a los sistemas de cultivo según tres escenarios: ligeramente restrictivos (humedad del suelo próxima a la capacidad de campo, baja probabilidad, <20%, excesos o deficiencias de agua que pueden limitar los procesos de rotación de las pasturas); restrictivos por déficit de humedad, y restrictivos por exceso de humedad. Estos dos últimos escenarios indican valores extremos de humedad. Tienen un impacto significativo sobre el rendimiento ya que ocasionan daños parciales o permanentes al cultivo por estrés hídrico severo.

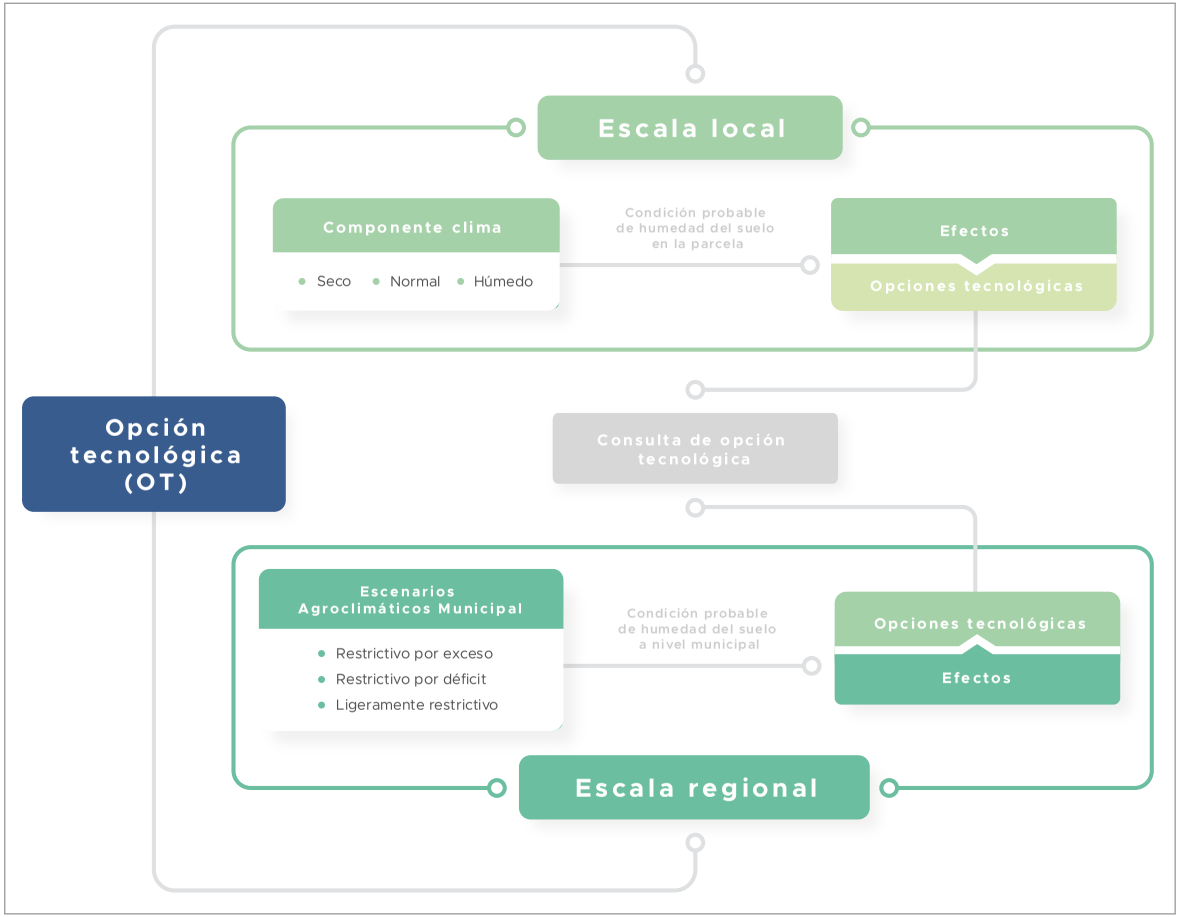


Figura 5. Esquema metodológico de las opciones tecnológicas (OT) del SE-MAPA.
Fuente: Elaboración propia

Además, con los resultados del producto 6, denominado "parcelas de integración", que se muestra en el SE-MAPA, se obtuvieron planes de manejo agroclimático integrado por cultivo-municipio.

Esta metodología no integra aspectos de infraestructura para el manejo hídrico ni características hidráulicas de los ríos. Dada la información disponible, el objetivo no era hacer una modelación hidrometeorológica, sino una descripción general que permitiera al usuario conocer un histórico de las dinámicas más generales de inundación o sequía en su territorio.

Las zonas de aptitud agroclimática permiten identificar los puntos de menor riesgo agroclimático para un cultivo y por tanto constituyen un insumo de planificación regional. Esta zonificación de escala municipal se revisó y se verificó de manera participativa, mediante una cartografía social que incluyó a los ATA y a los productores. Dentro de este proceso, se verificaron las áreas y se estableció la correcta ubicación de las zonas con mayor aptitud.

Escala local

Como se observa en el esquema metodológico de la figura 5, en la escala local se consideraron tres componentes: (a) componente de clima, que vincula la predicción climática y el cálculo de las condiciones de humedad del suelo; (b) análisis agroclimático, que determina los requerimientos hídricos de los cultivos priorizados y estima la productividad y el rendimiento, y (c) OT, que orientan las estrategias para hacer frente a condiciones restrictivas de humedad en el suelo.

Componente de clima

La figura 6 muestra el esquema metodológico del componente de clima en la escala local. Este componente permite determinar la disponibilidad de agua dada una predicción climática estacional. El sistema recibe las variables precipitación (mm), temperatura máxima (ºC) y temperatura mínima (ºC), y calcula las condiciones probables de humedad mediante el índice estandarizado de precipitación (SPI, por sus siglas en inglés) y el Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI). Esto se traduce en una categorización de condiciones (seca, húmeda o normal), cada una de las cuales tiene unos efectos y unas OT determinadas. Como el SPI tiene la precipitación como único parámetro, su cálculo se realiza con los datos de todas las estaciones meteorológicas del municipio. El PDSI, por el contrario, se calcula con los datos de la estación situada en la zona local.

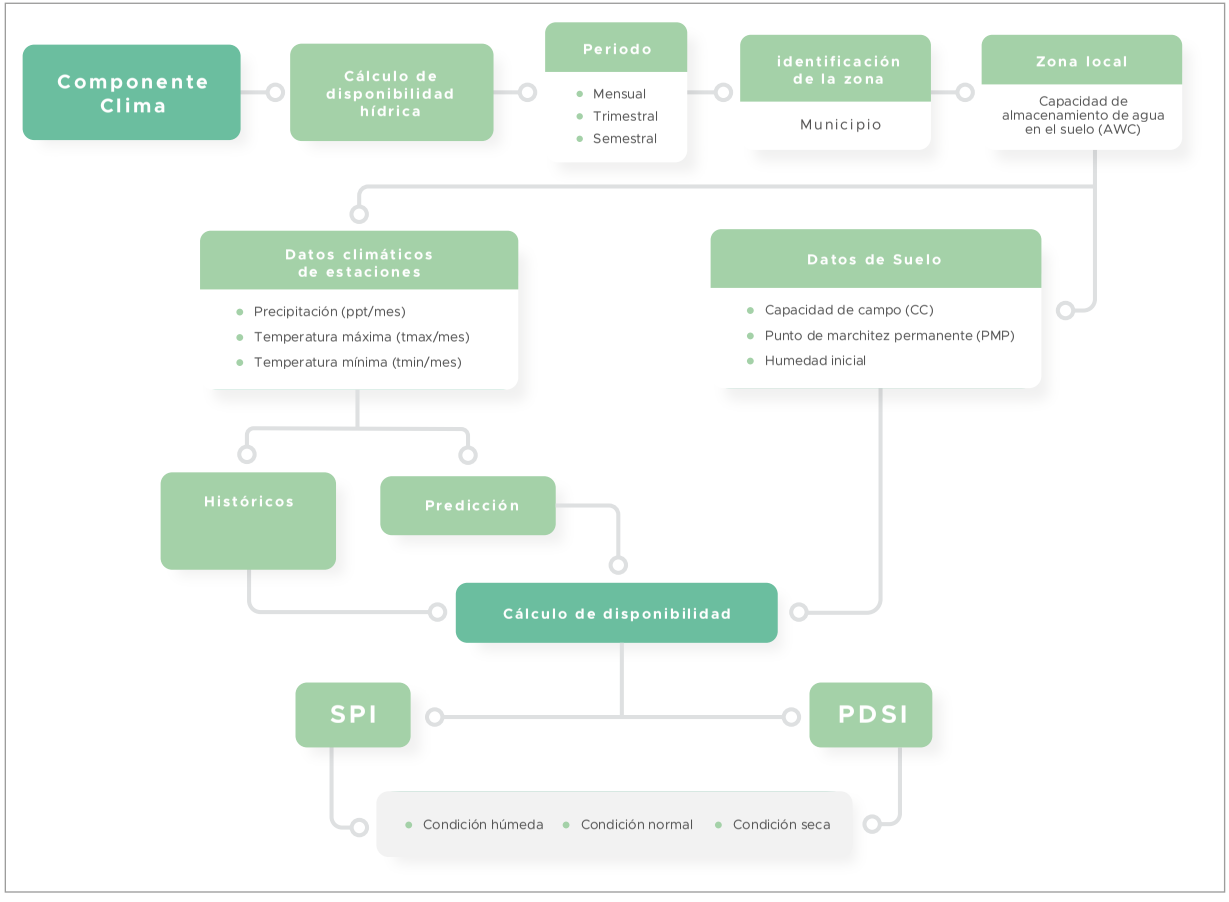


Figura 6. Esquema metodológico del componente de clima de la escala local del SE-MAPA.
Fuente: Elaboración propia

La metodología planteada en el proceso de predicción climática se sintetiza en el esquema de la figura 7. En general, el proceso comienza determinando el área de predicción, es decir, eligiendo la zona donde se requiere realizar la predicción (municipio, cuenca, departamento). Posteriormente, se define la variable que se va a predecir (precipitación o temperatura) y se escogen las observaciones que corresponden a la zona. Aunque no es necesario que la predicción se actualice con datos de fechas recientes, sí es recomendable que incluya series climatológicas ininterrumpidas de al menos 30 años, ya que entre más extensa en el tiempo sea la información, el ajuste del modelo será mejor.

El sistema se integra de acuerdo con los resultados de la predicción. Los valores estimados de precipitación se utilizan para calcular los índices de disponibilidad hídrica, y estos índices, a su vez, permiten determinar la condición de humedad probable (figura 7).

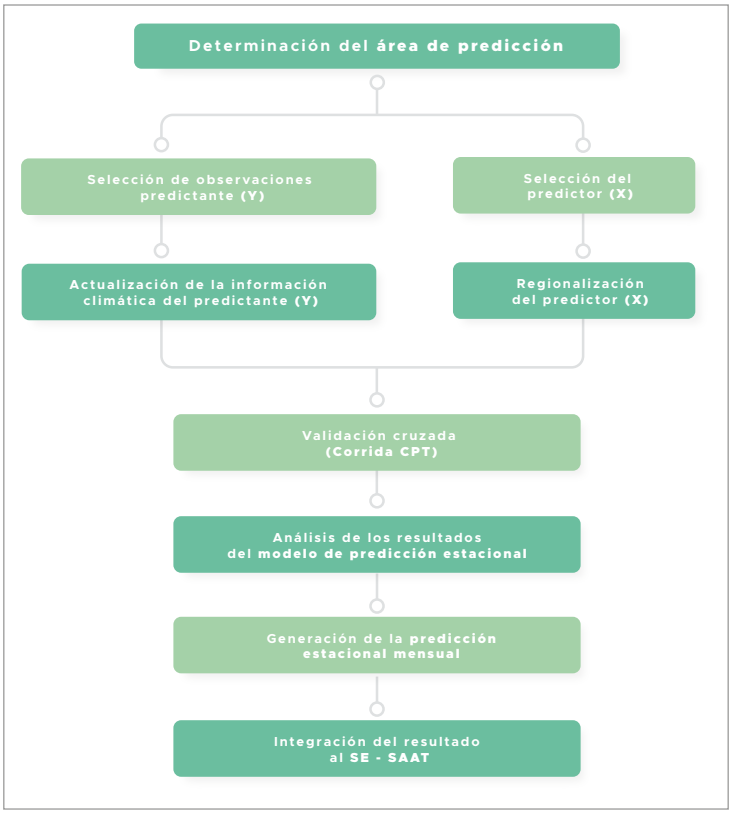


Figura 7. Modelo conceptual para el proceso de predicción climática del SE-MAPA.
Fuente: Elaboración propia

Componente de análisis agroclimático

Los objetivos de este componente están relacionados con el ajuste del modelo de riego y drenaje formulado en la guía n.° 56 de la Organización de las Naciones Unidad para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (Allen, Pereira, & Raes, 2006) a las condiciones locales de los sistemas de cultivo priorizados. El componente agroclimático, descrito en la figura 8, requiere inicialmente información del sistema de cultivo. Conocer las diferentes etapas fenológicas permite delimitar las características que se aplicarán al modelo de balance hídrico, una vez se hayan seleccionado la fecha de siembra y las condiciones iniciales de humedad.

De igual manera, se requiere que la base de datos suministre información real sobre lluvias en meses previos, sobre predicción climática de precipitación, y sobre suelos y otras variables climatológicas como evapotranspiración y temperaturas. Como resultado del ingreso de las tres fuentes principales de información (cultivo, clima, suelo), se obtiene como salida la alerta de requerimiento hídrico y el calendario de riego estipulado, todo ello según el balance de agua de la zona radicular propuesto por Allen et al. (2006).

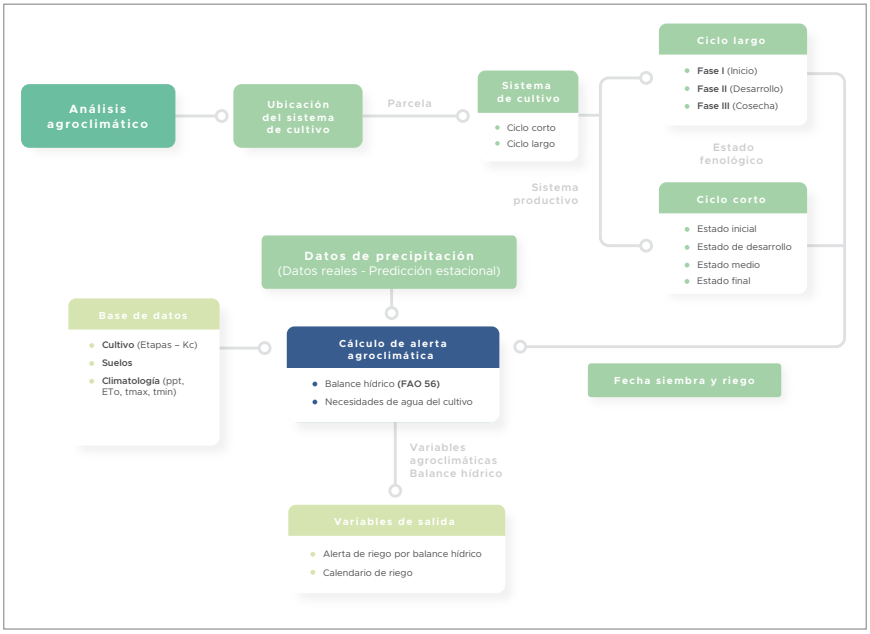


Figura 8. Esquema metodológico del componente agroclimático de escala local en el SE-MAPA. Fuente: Elaboración propia

Componente de opciones tecnológicas (OT)

La escala local corresponde al lugar donde se instalaron las parcelas de integración del proyecto de los tres SAAT piloto. En esta escala, las OT se vinculan a la condición probable de humedad del mes siguiente (predicción climática estacional), la cual está determinada por las características edafoclimáticas de la zona donde se localizan los SAAT piloto (figura 5).

Módulo B. Agua-rendimiento

Este módulo estima el rendimiento del cultivo en función de los requerimientos hídricos. Describe de forma didáctica la relación entre la productividad hídrica y la generación de biomasa, para establecer tendencias de productividad según las condiciones de estrés hídrico y de manejo agronómico. El módulo se basa en el esquema metodológico para el desarrollo de la modelación planteado en las guías FAO n.° 33 (Doorenbos, & Kassam, 1979), n.° 56 (Allen et al., 2006) y n.° 66 (Steduto, Hsiao, Fereres, & Raes, 2012). Este modelo propone una función lineal sencilla de cinco variables para describir la relación entre el uso de agua del cultivo y la productividad (ecuación 1).

$$\left(1-\frac{Y_r}{Y_m}\right)=K_y\left(1-\frac{ET_{c\,aj}}{ET_c}\right) \qquad \text{(Ecuación 1)}$$

Donde Y_r expresa el rendimiento real cosechado [kg.ha^{-1}], Y_m es el rendimiento máximo cosechado [kg.ha^{-1}] y K_y es el factor del efecto sobre el rendimiento [adimensional]. Este último es deducido a partir de numerosas evaluaciones que en su momento fueron reportadas por investigaciones en muchas partes del mundo (Steduto et al., 2012). Por su parte, $ET_{c\,aj}$ corresponde a la evapotranspiración real y ET_c a la evapotranspiración en condiciones estándar, como se explicará más adelante.

La función permite obtener acercamientos y tendencias sobre la productividad del cultivo, principalmente en condiciones de déficit hídrico y en casos en los que variables como el manejo agronómico, de plagas y de suelos están controladas.

Base metodológica del módulo B

Según Allen et al. (2016), la *evapotranspiración* (ET) es la combinación de dos procesos de pérdida de agua. Uno de ellos es la *evaporación*, que se produce en la superficie del suelo, y el otro es la *transpiración* del cultivo.

Dado que el medio influye en el crecimiento, factores como el clima, el manejo y la variedad del cultivo afectan el proceso de ET. Por esta razón, la ET se divide en tres conceptos diferentes según el escenario: *evapotranspiración del cultivo de referencia* (ET_o), *evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar* (ET_c) y *evapotranspiración del cultivo en condiciones no estándar o real* ($ET_{c\ aj}$ o ET_r).

La ET_o se refiere a la tasa de evapotranspiración desde una superficie de referencia, la cual corresponde a un cultivo hipotético de pasto con unas características específicas. Para calcular el valor de la ET_o, se aconseja el uso de la ecuación FAO-Penman Monteith, contenida en la guía FAO n.° 56 (Allen et al., 2006).

Por otro lado, el concepto de ET_c se refiere a la evapotranspiración en condiciones óptimas de manejo, con un adecuado aporte de agua y un clima ideal. La ET_c se calcula multiplicando el *coeficiente del cultivo* (K_c) por la ET_o (ecuación 2). El K_c, también denominado *coeficiente único del cultivo*, es aquel que "integra las diferencias de la evaporación en el suelo y la tasa de transpiración del cultivo, entre el cultivo y la superficie de pasto de referencia" (Allen et al., 2016, p. 98).

$$ET_c = K_c \times ET_o \quad \text{(Ecuación 2)}$$

El K_c resulta de sumar el *coeficiente basal del cultivo* (K_{cb}) y el *coeficiente de evaporación de agua del suelo* (K_e) (ecuación 3). El K_{cb} describe el proceso de transpiración de la planta, asumiendo que la superficie del suelo está seca, pero con el suficiente contenido de agua en la zona de raíces para que la planta continúe con el proceso de transpiración. El K_e, por su parte, se refiere al componente de evaporación que ocurre en el suelo.

$$K_c = K_{cb} + K_e \quad \text{(Ecuación 3)}$$

El concepto de $ET_{c\ aj}$ se introduce cuando el cultivo presenta condiciones no óptimas o no estándar (plagas y enfermedades, salinidad y baja fertilidad del suelo, exceso o escasez de agua), las cuales reducen el crecimiento o densidad de las plantas e influyen en la tasa de evapotranspiración del cultivo.

La $ET_{c\ aj}$ se calcula mediante el *coeficiente de estrés hídrico* (K_s), que describe el efecto del estrés hídrico y otras limitantes ambientales en la transpiración del

cultivo. Si se producen limitaciones debido a la disponibilidad de agua en el suelo, entonces $K_s < 1$. Si, por el contrario, no existen condiciones de estrés por falta de humedad del suelo, entonces $K_s = 1$. El K_s se multiplica por el K_{cb}, y al resultado se le suma el K_e. Posteriormente, la cifra obtenida se multiplica por la ET_o y de este modo se obtiene la $ET_{c\,aj}$ (ecuación 4):

$$ET_{c\,aj} = (K_s \times K_{cb} + K_e) \times ET_o \text{ (Ecuación 4)}$$

El cálculo del K_s se obtiene de la ecuación 5, que relaciona el *Agua Disponible Total* (ADT), el *Agua Fácilmente Aprovechable* (AFA) y el *agotamiento de humedad en la zona radicular* (D_r). Para calcular el K_s se requiere que $D_r >$ AFA:

$$K_s = \frac{ADT - D_r}{ADT - AFA} \quad \text{(Ecuación 5)}$$

Finalmente, el balance hídrico se obtiene de la relación entre la *evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar* ($ET_{c\,aj}$) y el manejo de las condiciones en campo. Pero debe tenerse en cuenta que, si no existe una influencia importante del coeficiente de evaporación del suelo K_e, la $ET_{c\,aj}$ debe calcularse mediante la ecuación 6, la cual no tiene en cuenta la evaporación del suelo:

$$ET_{c\,aj} = K_s \times K_c \times ET_o \quad \text{(Ecuación 6)}$$

- El riego no se considera como entrada del modelo de balance hídrico. Esto con el objetivo de inducir el estrés hídrico. Tan solo se tienen en cuenta las precipitaciones registradas en la zona de estudio. El cultivo, por tanto, se analiza como agricultura de secano.
- Modelo de balance hídrico. El modelo empleado corresponde al de la guía FAO n.º 56 y está adaptado a las condiciones de estrés hídrico. Se basa en la premisa de que el suelo mantiene su capacidad de campo al inicio del balance, si bien este parámetro puede ser modificado de acuerdo con las condiciones existentes.

El esquema de la figura 9 indica los procesos metodológicos que deben tenerse en cuenta para pasar del modelo de productividad-rendimiento al módulo de agua-rendimiento. La figura presenta el esquema de implementación según las consideraciones y los modelos matemáticos anteriormente descritos.

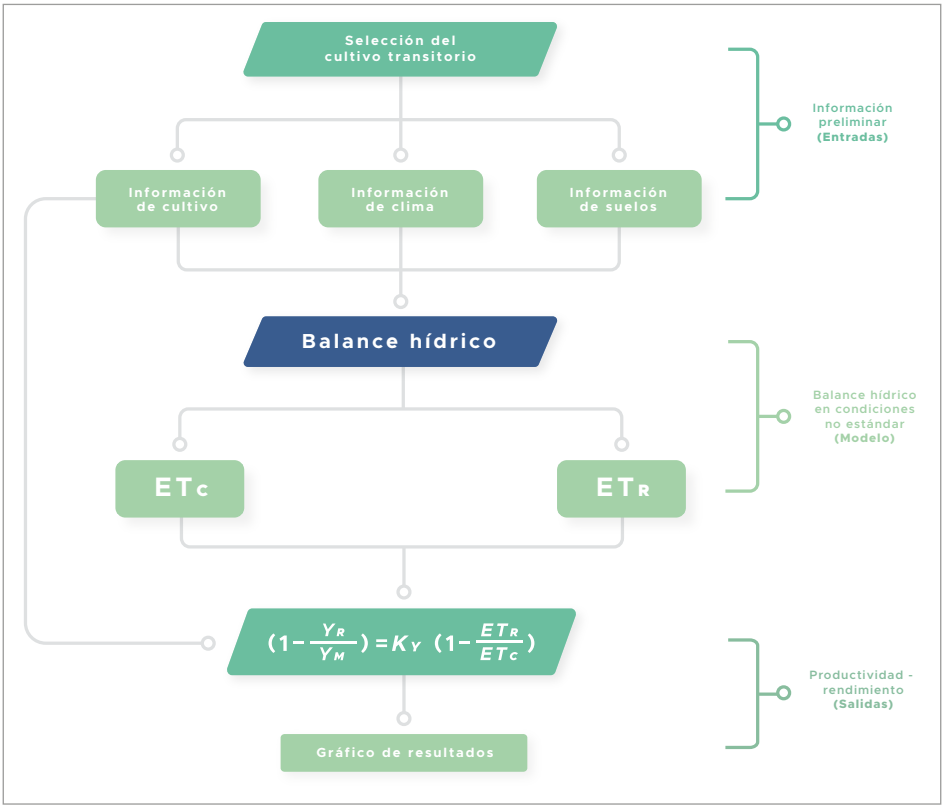


Figura 9. Proceso metodológico realizado dentro del módulo agua-rendimiento del SE-MAPA. Fuente: Elaboración propia

Variables por componente

Para una mejor comprensión, se ofrece en este apartado una descripción de algunas de las variables que conforman cada componente del proceso:

Información del cultivo

Se deben conocer parámetros importantes como fechas de siembra, tiempos de crecimiento de raíz, coeficientes del cultivo (K_c), longitud de raíz máxima y mínima, duración en días de las etapas de crecimiento (inicial, desarrollo, media y final) y coeficientes de reducción de rendimiento (K_y). En los cultivos seleccionados, se emplearon los valores K_y para las diferentes etapas de crecimiento, según lo requerido por el *software* Cropwat versión 8.0 de la FAO (Organización de las Naciones Unidad para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2009).

Información del clima

Se usaron las series climáticas diarias de las variables precipitación y temperaturas máxima y mínima. Estas series correspondieron a un periodo de 32 años (1980-2011) y se sometieron a un exhaustivo control de calidad. En el módulo A, se siguieron los protocolos metodológicos acordados entre AGROSAVIA e Ideam, lo cual exigió tener en cuenta solamente los años que presentaban condiciones climáticas de exceso, déficit y promedio normal climatológico.

Información de suelos

Se deben tener en cuenta parámetros como capacidad de campo, punto de marchitez permanente, densidad aparente y nivel de agotamiento. Estos son los parámetros definidos por el sistema de clasificación de suelos del Departamento de Agricultura de los Estados (USDA, por sus siglas en inglés) (s.f.).

El enfoque metodológico de este módulo fue utilizado por otros sistemas que se han convertido en referentes, como el desarrollado por el Instituto Nacional de Meteorología de Brasil (Inmet) en conjunto con el Sistema de Soporte a la Decisión en Agricultura (Sisdagro) de la Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (Embrapa) (Instituto Nacional de Meteorología de Brasil [Inmet], 2011).

Módulo C. Glosario

El objetivo de este módulo es ampliar los conceptos clave de agroclimatología presentados en el SE-MAPA y mostrar sus relaciones de jerarquía. El módulo brinda al usuario claridad sobre la información consignada en la plataforma, ya que contextualiza la terminología usada en el sistema, la cual incluye un amplio número de expresiones y conceptos relacionados con climatología básica y agroclimatología.

Durante la construcción del sistema experto y en los talleres participativos, se percibieron enfoques y conceptos heterogéneos. En torno a un mismo concepto a menudo se manejaban distintos significados y matices de interpretación, que conducían a malos entendidos entre los técnicos. Con el glosario se intentó brindar una herramienta que unificara la terminología y facilitara la comprensión de los conceptos plasmados en el SE-MAPA.

La tabla 4 contiene un ejemplo de esta unificación de criterios. Muestra la definición del concepto de *agricultura climáticamente inteligente* que se utilizó en el enfoque de trabajo de MAPA.

Tabla 4. Ejemplo de definiciones de términos técnicos

Palabra o juego de palabras	Jerarquía	Palabras o frases relacionadas	Relación en el Sistema Experto (SE)		Definición breve
			Escala	Sección	
Agricultura climáticamente inteligente (ACI)	1	Riesgo agroclimático, seguridad alimentaria, variabilidad climática	Inicio	Más información	Promover la seguridad alimentaria y aumentar la productivida de los sistemas agrícolas, permitiendo que los rendimientos sean más estables y que en el largo plazo tales sistemas tengan mayor capacidad de resiliencia frente a los riesgos, las crisis y la variabilidad climática (Organización de las Naciones Unidad para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2018)

Fuente: Elaboración propia

Desarrollo, construcción visual y navegabilidad del sistema

En este apartado, se explican los criterios de desarrollo, navegación y visualización del sistema. Se muestra la manera, no siempre fácil, de encajar los ritmos de un proyecto de investigación y la obtención de resultados con la necesidad de transferirlos e instalar una capacidad local para la asistencia técnica agropecuaria de los municipios y las regiones donde se implanta el proyecto.

Desarrollo

Debido a la naturaleza investigativa del proyecto y a los cambios constantes que se llevaron a cabo para acercarse al objetivo final, se consideró necesario fijar un ciclo de vida de desarrollo ágil para el *software* a partir de un modelo iterativo y creciente. Fue así como se implementaron versiones de desarrollo del sistema en una secuencia evolutiva para llegar al resultado esperado. En cada entrega o ciclo, se agregaron nuevas funcionalidades y capacidades al sistema, basadas en validaciones y en nuevas definiciones formuladas por el equipo de trabajo.

En su segunda versión, el SE-MAPA se desarrolló con el programa Visual Studio 2013 y 2015, con el lenguaje de programación C# .NET y con la arquitectura Módulo Vista Controlador (MVC). Como repositorio de información se utilizó la base de datos Microsoft SQL Server 2012. Estas herramientas se utilizaron por requerimiento del Departamento de Tecnologías de la Información (DTI) de AGROSAVIA para que se ajustaran a la arquitectura disponible en la Corporación, la cual es base de la instalación en ambiente de desarrollo y producción. Se dispuso que la información geográfica se manejara por medio de GeoServer y un repositorio de datos PostGIS, montados ambos sobre un servidor Linux y con distribución Ubuntu Server.

Estos requerimientos son los que aseguran una mejor integración y comunicación entre las diferentes aplicaciones que se desarrollen e implementen en el servidor de AGROSAVIA y son también los que aseguran las tareas de administración y mantenimiento. El tiempo que tomó el desarrollo del *software*, desde la definición de requerimientos iniciales hasta la instalación en el servidor de producción, fue de dos años aproximadamente, distribuidos en las etapas que se indican a continuación (figura 10).

Figura 10. Proceso de desarrollo y construcción del SE-MAPA.
Fuente: Elaboración propia

- Construcción y ajustes del módulo regional. Involucró el análisis de archivos de información geográfica, su instalación sobre el servidor GeoServer, la implementación en Open Layers y la integración en el sistema para las escalas regional departamental, regional municipal y local.
- Construcción y ajustes de componentes locales. Comprendió la implementación del ajuste de los modelos de clima y agroclimáticos (como el SPI), la validación y el ajuste del cálculo de requerimiento hídrico, la inclusión de las OT para las escalas regional municipal y local y la migración de los datos del primer departamento consolidado (Atlántico) y de sus correspondientes municipios y sistemas de cultivo.
- Implementación de prototipo. En el módulo de escala regional (departamental y municipal), se implementó, por medio del visor web geográfico, el diseño de visualización, validación y ajuste de la información geográfica. Luego de las primeras validaciones con expertos y ATA, en el módulo de escala local se implementaron algunos ajustes del modelo de alertas agroclimáticas y opciones tecnológicas.

- Módulo de administración. Se trabajó en la inclusión de tablas para lista de datos y en la implementación de una aplicación de carga masiva de las series climáticas de precipitación y temperatura (máxima, media y mínima). De igual manera, se incluyeron submódulos de carga de información relacionada con cultivos y suelos.
- Talleres de validación del sistema. Se llevaron a cabo validaciones internas con investigadores de AGROSAVIA y talleres participativos con usuarios, esto con el fin de continuar con el ajuste y el afinamiento de los cálculos matemáticos realizados en el sistema. Esta etapa aplicó para el módulo B y para las escalas regional municipal y local del módulo A.
- Carga de capas. Se enfocó en completar la carga de información geográfica de la totalidad de los departamentos contemplados en el sistema y de los respectivos municipios priorizados.
- Instalación de servidores DTI. Se llevaron a cabo instalaciones en ambiente de desarrollo y producción. El objetivo era que las distintas versiones se ajustaran al ambiente de desarrollo mientras se evaluaba su correcta funcionalidad, y que se instalaran de forma definitiva en ambiente de producción para las tareas de difusión.
- Documentación. Esta tarea se llevó a cabo simultáneamente con el desarrollo del sistema y arrojó como resultado los manuales de desarrollo, administración y de usuario.

Construcción visual y navegabilidad

Uno de los objetivos del SE-MAPA que siempre estuvo presente en el equipo de trabajo fue transmitir al usuario la experiencia del sistema en términos metodológicos y de uso para brindar de este modo un instrumento de mejora de la cultura agroclimática y de apoyo a la toma de decisiones para los sistemas productivos. El sistema se concibió como un medio de aprendizaje social en el que los principales usuarios del sistema, los ATA, se erigirían como una interfaz entre los productores, y el conocimiento y la información generados por MAPA. Fue importante, por tanto, mejorar las capacidades y la cultura agroclimática de los ATA, dado que esto impactaría en el servicio de asesoría que prestarían a los productores.

El diseño, desde sus inicios, se desarrolló bajo la premisa de que debía ser funcional y amigable con el usuario. Fue así como, inicialmente, el sistema se concibió para que fuera usado en dispositivos móviles y tabletas, de modo que se

adaptara al entorno laboral más próximo a los ATA. Sin embargo, la consolidación de la información y el diseño de la ruta lógica de desarrollo mostraron que el sistema experto se comportaba, no tanto como un sistema de consulta rápida, sino como una plataforma de conocimiento agroclimático, con la cual se podían mejorar aspectos asociados a la cultura climática de los ATA.

De esta forma, se decidió que la primera fase de desarrollo se concentrara en crear una estructura de despliegue de la información que cumpliera con dos condiciones: (a) que la lógica del sistema fuera coherente con la lógica que debe tener un análisis de condiciones climáticas para hacer una mejor gestión del riesgo agroclimático, y (b) que la manera de navegar por el sistema fuera intuitiva, es decir, que el usuario pudiera explorarlo sin necesidad de apoyos externos o tutorías. El propósito más inmediato de estas dos condiciones era que el sistema contribuyera a la comprensión y el desarrollo de una teoría de decisiones que mejorara la cultura agroclimática.

El primer paso consistió en estructurar la información de modo que fuera coherente con la lógica de análisis agroclimático desarrollada en el proyecto, es decir, que fuera de lo general a lo particular. El análisis agroclimático de la escala regional departamental conduce a un análisis de las amenazas relacionadas con las condiciones climáticas del municipio y a los riesgos de escala municipal a los que están expuestos los cultivos. Esta manera de afrontar el análisis es coherente con la necesidad de mejorar el conocimiento climático general para entender de forma más precisa la relación entre clima y cultivo en términos de adaptación a las condiciones actuales del cambio climático. Es por esta razón que el sistema, en el módulo A, no permite hacer consultas puntuales. El usuario debe hacer una elección de escala regional, y si requiere averiguar una información más puntual, debe pasar de las condiciones climáticas generales a las particulares para llegar finalmente a las alertas tempranas de una localidad.

La navegación se lleva a cabo mediante un índice que se despliega a la izquierda de la pantalla. Los ítems de este menú corresponden a la caracterización climática, la variabilidad interanual y las amenazas agroclimáticas, y tienen la opción de conducir al usuario a una reseña general de lo que significa cada concepto. Estas reseñas incluyen una explicación de la diferencia básica, pero importantísima, entre clima y tiempo. El usuario puede pinchar los distintos apartados de cada ítem, con lo cual se desplegará una serie de íconos que

explican de manera gráfica los distintos elementos del concepto (figura 11). Por ejemplo, los íconos de caracterización climática corresponden a distintos elementos meteorológicos y a criterios de regionalización de la información que describen el clima de un determinado espacio geográfico.

Figura 11. Ejemplos de íconos para navegar en el sistema MAPA. a. Ícono de estaciones meteorológicas; b. Ícono de subzonas hidrográficas; c. Ícono de temperatura.
Fuente: Corpoica (2016)

El fondo de pantalla es un mapa que permite seleccionar tres bases cartográficas distintas. El objetivo es que el usuario visualice gráficamente la información en un entorno geográfico, de forma que pueda distinguir, por ejemplo, cómo los umbrales de temperatura máxima, la precipitación de lluvia o la humedad relativa se distribuyen en un departamento específico.

Las diversas zonas de interés del mapa se activan al pasar el cursor sobre ellas y le indican al usuario que puede obtener más información si pincha sobre ellas. Un problema que puede limitar la experiencia del usuario tiene que ver con la correcta identificación de las diferentes zonas. Si la información de un departamento se refiere a más de tres áreas distintas de una categoría, la paleta de colores del mapa y del cuadro de convenciones puede generar confusiones debido a la ambigüedad de algunos tonos y matices. Para evitar este problema, basta que el usuario dirija el cursor a las diferentes zonas y pinche sobre ellas. Con ello se desplegará información detallada donde podrá constatar si la descripción del cuadro de convenciones que ve *a priori* corresponde efectivamente a la zona que ha seleccionado en el mapa.

Los criterios seguidos en la fase de diseño para mejorar la experiencia de usuario tenían como objetivo permitir una exploración intuitiva del sistema. Para ello se siguió una lógica pedagógica que ayuda a relacionar el clima, la región y el cultivo, y se partió de la premisa de que conocer el territorio es la primera acción para adaptarlo al cambio climático. El sistema muestra las

carácterísticas de contexto de cada territorio y sus peculiaridades geográficas, sociales, culturales, económicas y políticas, todo esto con el fin de abarcar la amplia diversidad del país y adecuar la prestación del servicio agroclimático a las diferentes realidades de los sistemas de cultivo priorizados en los departamentos.

La guía de la pantalla de navegación está dispuesta en sentido horizontal con el fin de mostrarle al usuario la ruta que ha seguido para llegar al lugar donde se encuentra, tal como se ilustra en el ejemplo de la figura 12.

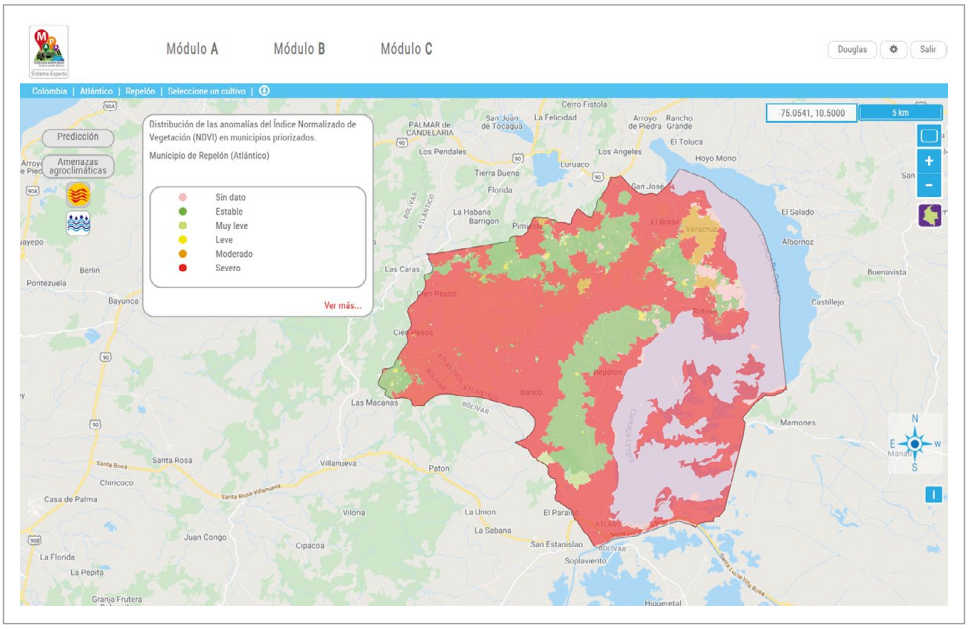


Figura 12. Pantalla del sistema MAPA con la barra de navegación en Colombia/Atlántico/Municipio/Cultivo. El usuario navegó desde Atlántico hasta Repelón y allí seleccionó un cultivo. El ícono de descarga, situado a la derecha de la barra de navegación, permite bajar el mapa en el formato gráfico jpg.
Fuente: Corpoica (2016)

El desarrollo iconográfico de la información permite al usuario explorar conceptos complejos de una forma sencilla e intuitiva, sin que se fatigue de entrada con información escrita o contenidos densos.

Los tres ejemplos del sistema de alerta temprana contenidos en el SE integran cuadros de consulta muy gráficos y fáciles de entender para el usuario. Además,

las respuestas a estas consultas tienen un tratamiento gráfico basado en los colores del semáforo (rojo, amarillo y verde). De esta forma, se pretende que el ATA pueda, rápidamente, informarse, priorizar las acciones más urgentes que debe llevar a cabo en función de la alerta, planificar OT y tomar decisiones en respuesta al comportamiento de la disponibilidad hídrica de la zona (figura 13).

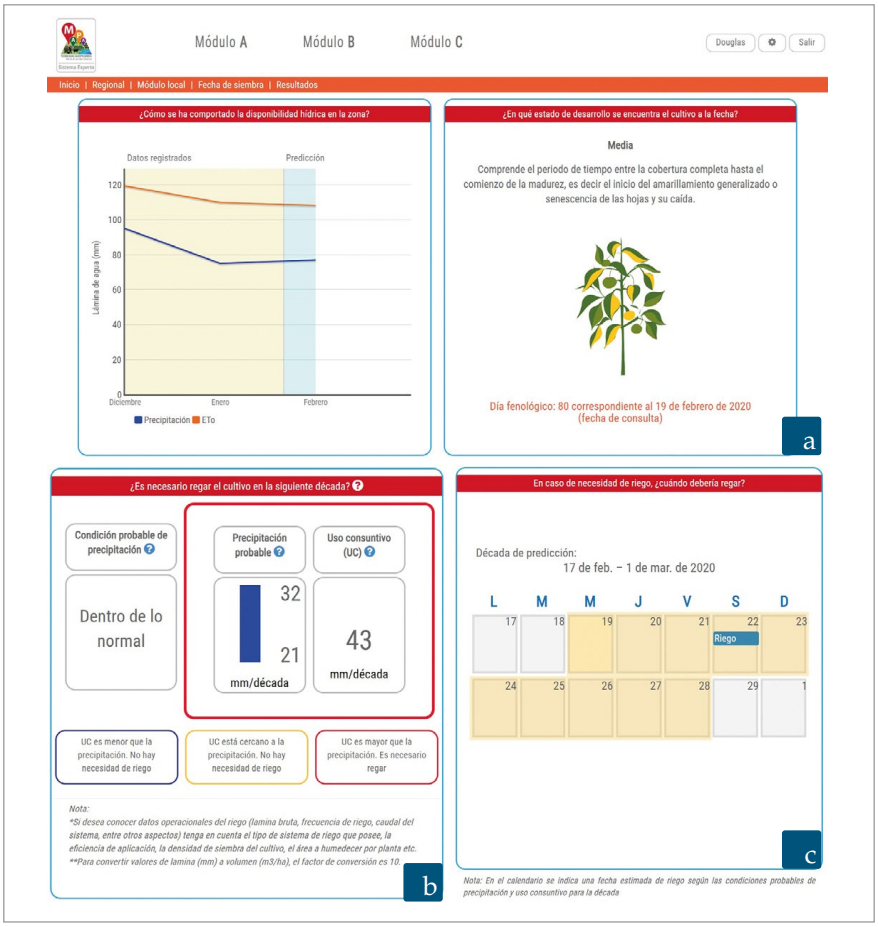


Figura 13. Pantallas de salida de información del Sistema de Alerta Agroclimática Temprana (SAAT). a. Curva de precipitación y evapotranspiración que ha tenido el cultivo desde su siembra y etapa fenológica en la que se encuentra; b. Contenido de humedad del suelo en donde está el cultivo y medidas que se deben tomar; c. Calendario de riego que debe recibir el cultivo según las condiciones de precipitación pronosticadas para la región.
Fuente: Corpoica (2016)

A continuación, en la figura 14, se presenta la ruta de navegación y conformación del SE-MAPA:

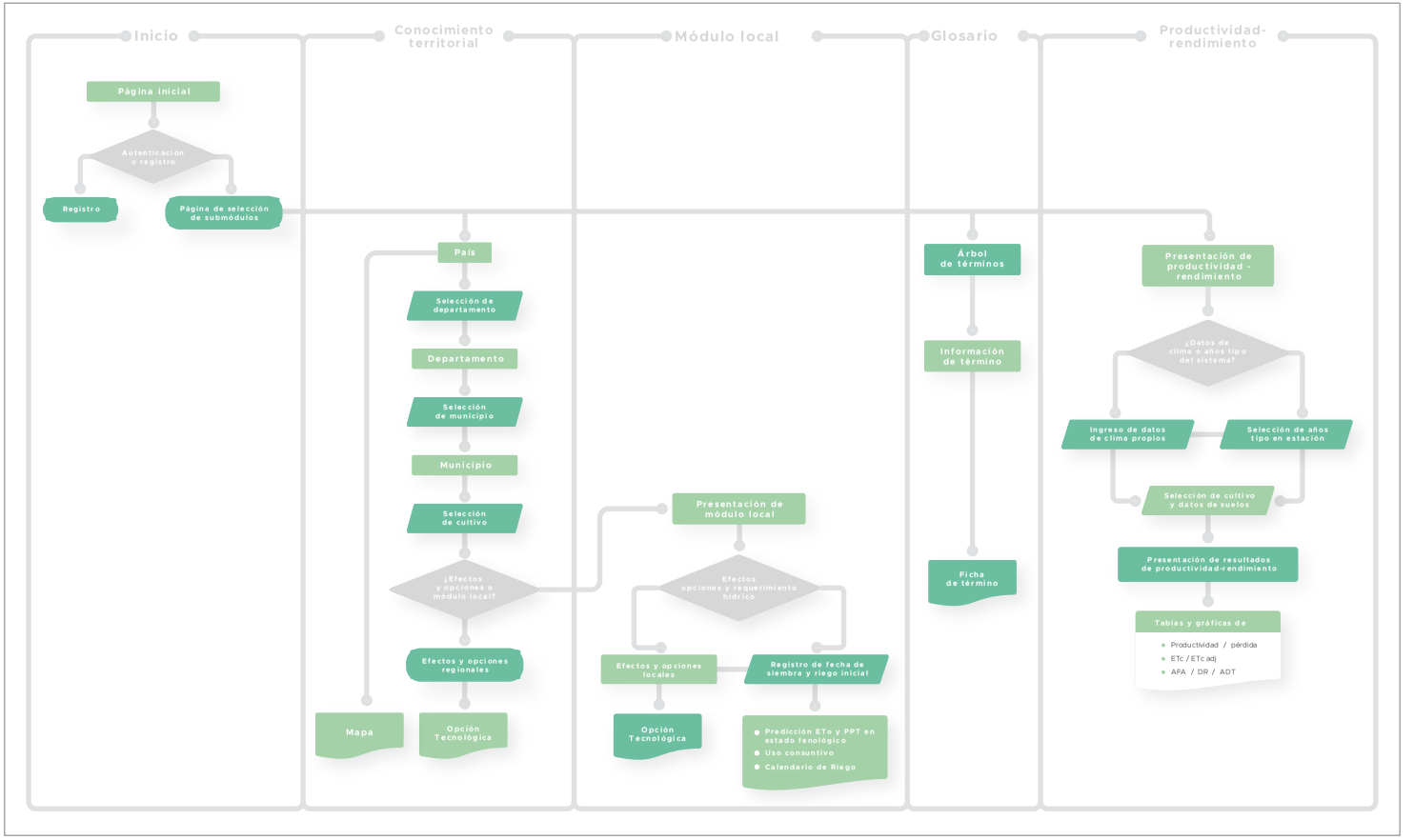


Figura 14. Ruta de navegación y conformación del SE-MAPA.
Fuente: Elaboración propia

Verificación y validación del sistema

Las actividades de ajuste y mejora, contempladas en el proceso de desarrollo y construcción del SE-MAPA, se llevaron a cabo durante la fase de verificación y validación. Estas acciones permitieron valorar características como precisión, eficiencia y utilización del sistema, así como mejorar la confianza en los resultados generados.

Se considera que el desarrollo de un *software* tiene éxito cuando ofrece una solución lo suficientemente satisfactoria a los responsables de la toma de decisiones. Para aumentar la probabilidad de éxito y conseguir su aprobación, las salidas del sistema deben contar con un aval de calidad. Conseguir dicha calidad implica medir y valorar las características ya mencionadas de precisión, eficiencia y utilización.

En general, la verificación y validación permite evaluar algunas de estas características y mejorar la confianza en los resultados que genera el sistema. La ubicación de las etapas de verificación y validación se puede observar en el esquema del proceso de construcción del modelo representado en la figura 15. Estas etapas relacionan y alimentan de manera permanente los tres pasos de construcción del modelo: (a) observación del sistema real, (b) construcción del modelo conceptual y (c) traducción a un modelo operacional.

Figura 15. Etapas de verificación y validación del proceso de construcción del SE-MAPA.
Fuente: Elaboración propia

La validación es el proceso que determina si un modelo representa el sistema de manera fiable y si dicho modelo se ajusta a los objetivos particulares del estudio. Dicho en otras palabras, evalúa el modelo desde la perspectiva de su uso esperado. La validación se lleva a cabo mediante un proceso de calibración, es decir, por medio de un proceso de comparación iterativa entre el modelo y el sistema real. Requiere sucesivos ajustes, que van mejorando el modelo conceptual y operacional, y finaliza cuando el modelo alcanza un nivel de precisión apropiado.

Una forma de comparar el modelo con la realidad es haciendo ejercicios con personas que conocen uno o más aspectos del sistema. Los juicios de valor de estas personas sobre las salidas son el insumo que permite ajustar el modelo para que sus resultados sean lo suficientemente precisos y se ajusten a los objetivos propuestos. El trabajo de comparación (realidad versus modelo) que se requirió para que el SE-MAPA alcanzara un nivel satisfactorio de confianza se desarrolló en los talleres participativos llevados a cabo con los ATA de las zonas priorizadas. En ellos se efectuaron actividades de verificación y validación del sistema tanto para la escala regional (departamental y municipal) como para la local. Se ajustó información sobre el cultivo de la parcela de integración, se calibraron los módulos de clima (cálculos de disponibilidad de agua en el suelo), se hicieron análisis agroclimáticos (requerimiento hídrico del cultivo) y se consideraron OT (lista de OT en función de la disponibilidad de agua en el suelo).

La metodología desarrollada en la validación se denominó "técnica de grupo focal". Se basó en recoger las opiniones de un grupo de personas seleccionadas por un moderador que dirigía la discusión. Los resultados de los talleres permitieron a los ATA conocer elementos para realizar análisis climáticos y agroclimáticos según el sistema productivo de la zona. Fueron los resultados obtenidos en estos talleres los que permitieron efectuar los ajustes pertinentes al sistema.

Asimismo, las opiniones de los grupos de ATA de las zonas seleccionadas permitieron corroborar la información presentada en el sistema, validar su lógica de acuerdo con el enfoque de ACI y valorar la utilidad del modelo como herramienta de apoyo a la toma de decisiones (figura 16).

Fotos: Equipo de desarrollo del SE-MAPA

Figura 16. Talleres de validación del SE con asistentes técnicos agropecuarios seleccionados de las redes constituidas en la estrategia de transferencia de tecnología del proyecto. a. Validación del SE-MAPA en el departamento del Atlántico; b. Validación del SE-MAPA en el departamento de Tolima.

Los asistentes al taller formaban parte de la red de ATA que el proyecto estructuró como estrategia de transferencia de tecnología. Esta red nacional se construyó a partir de los ATA que desempeñaban roles operativos y de gestión y tenían influencia en los municipios priorizados de cada uno de los 18 departamentos. Los ATA fueron seleccionados por los profesionales de transferencia que gestionaban las redes departamentales, y como eran los encargados de validar el sistema, fue preciso establecer previamente unos criterios de selección que maximizaran sus aportes desde una lógica disciplinar.

Los criterios de selección de los participantes fueron los siguientes:

- ATA con liderazgo y representatividad de las organizaciones vinculadas a la red de ATA.
- ATA con un rol de actores fuente dentro de la red y otros miembros elegidos por su papel como colectores-estructuradores de la red.
- ATA con conocimiento de suelos y características climáticas de los municipios focalizados para que apoyaran la revisión y validez de las salidas del sistema experto en la escala municipal.
- ATA con conocimiento de los requerimientos de los cultivos priorizados en cada municipio.
- ATA con conocimiento básico del uso de herramientas informáticas y criterio técnico para valorar la visualización y el uso del SE-MAPA.

Para el desarrollo del taller, los participantes se organizaron en tres grupos de acuerdo con sus habilidades para analizar el enfoque de cada escala. La organización se hizo de la siguiente manera:

- Grupo 1. Enfoque en revisión de la información de la escala regional departamental.
- Grupo 2. Enfoque en revisión de la información de la escala regional municipal.
- Grupo 3. Enfoque en revisión de la información de la escala local.

Cada grupo de trabajo tuvo la tutoría de un miembro del equipo de desarrollo. El tutor hacía una presentación del SE-MAPA en todas sus escalas para que los asistentes pudieran tener una visión general de la herramienta.

Posteriormente, se entregaban ejercicios y preguntas sobre cada escala de trabajo. Este material tenía el propósito de puntualizar el enfoque de cada grupo y cumplir con los siguientes objetivos:

- Corroborar la información presentada en el SE-MAPA con el conocimiento de los participantes del taller para que los resultados del modelo se ajustaran al contexto de cada escala.
- Puntualizar la lógica del SE-MAPA para que presentara de forma clara el contexto climático departamental, el agroclimático municipal y los requerimientos hídricos del nivel local.
- Valorar la utilidad del SE-MAPA como una herramienta adecuada para apoyar la toma de decisiones desde el enfoque de ACI.

Las OT definidas previamente se adecuaron a las condiciones de las veredas o los municipios, es decir, se ajustaron a la disponibilidad de acceso a determinados recursos, a las características de la zona, a la ubicación de los predios y al mercado. Las OT se elaboraron y se ajustaron con apoyo de los equipos regionales del proyecto para que se vincularan con cada sistema productivo. Se utilizó información basada en los contenidos científicos y técnicos disponibles que fuera pertinente para la zona; información proveniente de fuentes secundarias recopilada en el proyecto MAPA sobre las OT disponibles para las cadenas productivas priorizadas en los proyectos productivos, y el conocimiento de investigadores y entidades que tenían cercanía con las regiones.

Una vez realizados los ajustes pertinentes con base en los resultados de los talleres, se procedió a la instalación definitiva del sistema en el ambiente de producción (figura 17).

Figura 17. Proceso de instalación del SE-MAPA en el ambiente de producción para su difusión en la plataforma web.
Fuente: Elaboración propia

La experiencia del proceso de validación permitió obtener algunas conclusiones generales sobre las diferentes escalas que apoyaron el proceso de refinamiento del SE-MAPA con miras al proceso de difusión. A continuación, se mencionan las conclusiones más importantes:

Resultados por escala regional departamental

- Se destaca la coherencia de la información contenida en el SE-MAPA con las condiciones climáticas y biofísicas del departamento, especialmente en los lugares donde se desarrolla la asesoría técnica.
- Sobresale la utilidad de la herramienta como fuente de información para la realización de una asesoría técnica mucho más integral. Al contar con descripciones más exhaustivas, que no se limitan al cultivo, con mayores elementos de carácter biofísico y de contexto territorial, se pueden brindar mejores consejos.
- La información sirve de base para planificar, manejar y controlar los cultivos en el marco de una agricultura climáticamente inteligente. Permite una adaptabilidad eficiente de cara a un futuro escenario con mayor frecuencia de eventos climáticos extremos.

Como conclusión de esta escala, se puede decir que la información contenida tiene un carácter general. Los participantes señalaron que la escala regional-departamental es una herramienta de soporte para la toma de decisiones y para la planificación en los territorios donde ejercen su actividad.

Resultados por escala regional municipal

- La información presentada sobre las condiciones probables de precipitación tiene una buena aproximación. Está respaldada por la información climatológica de referencia del municipio.
- Los asistentes plantean que esta información es importante para desarrollar sus actividades ya que les permite tomar decisiones sobre fechas de siembra, manejo de cultivos y uso eficiente de los recursos.
- La información sobre la condición probable de precipitación requiere datos históricos de precipitación para que pueda ser útil en el proceso de toma de decisiones. Asimismo, se señala la importancia de consultar con agricultores y comparar la información reportada en términos de la OT recomendada.
- La información contenida sobre riesgos agroclimáticos permite una evaluación de las medidas de mitigación y adaptación que deben ser planificadas e implementadas en cada área. El objetivo es que estas medidas tengan un impacto positivo en los cultivos y que respondan a las condiciones restrictivas de humedad.
- Muchos participantes señalan que se requieren datos precisos, pero este no es el alcance del sistema. Se debe continuar con el fortalecimiento del SE-MAPA como una plataforma de aprendizaje que permite conocer el territorio y su relación con las tendencias climáticas presentes.

Resultados por escala local

- La información presentada se percibe como un referente importante sobre las características edafoclimáticas de los cultivos.
- Se sugiere que la información de las láminas de riego tenga en cuenta el balance hídrico para conocer los rangos probables dentro de los cuales se pueden establecer los parámetros de riego.

Los ajustes del SE-MAPA posteriores al proceso de validación pueden resumirse en los siguientes puntos:

- Ante la dificultad de algunos participantes para usar la plataforma web, los talleres y las recomendaciones de los expertos y colaboradores sobre el uso del sistema permitieron ajustar detalles, principalmente de diseño y funcionamiento. Con ello se pudo mejorar la experiencia del usuario con el *software*. Un logro valioso fue haber validado el sistema con los sistemas productivos priorizados, sobre todo en términos de la OT dispuesta para cada escenario.
- Aunque la escala local del SE-MAPA brinda información clara sobre requerimientos hídricos, fue necesario ajustar la visualización de la información contenida en las láminas de riego en aras de una mayor sencillez.
- La información sobre la predicción climática de precipitación (por debajo, dentro y por encima de lo normal) resultó confusa para los participantes. Se mostraba no solo el valor, sino también su vínculo directo con la condición probable de humedad y su cálculo por medio del SPI. Se replanteó esta forma de presentar la información adoptando un diseño más enfocado en lo cualitativo, que diera indicaciones al usuario sobre la decisión de regar o no.

Difusión del sistema

La difusión del SE-MAPA fue una de las etapas más importantes del proceso. Constituyó una parte formativa para el conocimiento de la herramienta y con ella se promovieron los objetivos, los alcances, la disposición y los contenidos del sistema. La divulgación se realizó desde dos frentes. El primero se ocupó de difundir el sistema entre los miembros de la red de ATA, entre la población interesada en los aspectos técnicos de la actividad agroproductiva y entre quienes se ocupan de brindar asesoría o consejo técnico en cada uno de los municipios focalizados o en las regiones (miembros de secretarías de agricultura o corporaciones autónomas). El segundo frente se enfocó en el nivel institucional y convocó a entidades relevantes del sector agropecuario de cada uno de los 18 departamentos.

Para el caso de la red de ATA, se planteó la difusión del sistema por medio de talleres participativos conformados por integrantes de la red con perfiles de difusores. La idea era que ellos multiplicaran la información sobre el sistema entre sus colegas y potenciaran su uso en los departamentos.

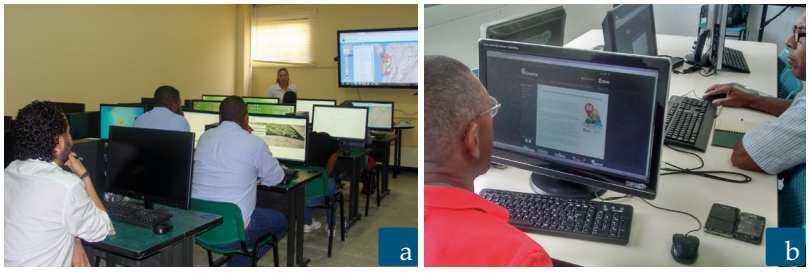
La difusión se acompañó de material divulgativo, como plegables, fichas técnicas, pósteres, letreros, folletos, boletines e insumos para la implementación de las OT. Este material se distribuyó por medios virtuales o físicos y fue diseñado y publicado por el proyecto MAPA.

La etapa de difusión del sistema se implementó en cada uno de los 18 departamentos. La asistencia promedio a los talleres fue de 20 participantes (figura 18).

Fotos: Equipo de desarrollo del SE-MAPA

Figura 18. Talleres de difusión del SE-MAPA en los departamentos. a. En Tolima; b. En Boyacá.

En cadal taller de difusión se expuso el propósito y el uso del sistema. Posteriormente, se planteó una situación hipotética (escenario) basada en la información climática y agroclimática del departamento para que se interpretaran los resultados y se conversara sobre los procedimientos que podrían solucionar la situación planteada con los recursos ofrecidos por el SE-MAPA. Finalmente, se discutieron en grupo los compromisos que podría asumir cada participante para difundir el sistema en el departamento (figura 19).



Fotos: Equipo de desarrollo del SE-MAPA

Figura 19. Talleres de difusión del sistema MAPA en los departamentos. a. En Chocó; b. En Cundinamarca.

La metodología de los talleres se diseñó con el objetivo de implicar a los ATA y comprometerlos en la difusión del sistema. Al finalizar cada taller, se realizó una encuesta sobre el uso del SE-MAPA que incluyó preguntas sobre el manejo del sistema, el alcance de la herramienta y un espacio para incluir comentarios, de forma que la información derivada del proceso quedara documentada.

Acuerdos resultantes de los talleres de difusión

De los talleres se destacan los siguientes resultados y propuestas generales para lograr la difusión del SE-MAPA:

- Compromiso de divulgar el sistema entre los demás actores de la red. El objetivo de esto era que los participantes de los talleres promovieran la utilización de la herramienta en las instituciones donde prestaban su asistencia técnica.
- Creación de grupos conformados por ATA y otros participantes con el objetivo de enriquecer el contenido de las OT.
- Encuentros de la red de ATA, donde el profesional de transferencia de AGROSAVIA apoyaba la actividad de difusión del SE-MAPA con un enfoque de ACI.
- Es necesario socializar el sistema entre las Entidades Prestadoras del Servicio de Extensión Agropecuaria (EPSEA), ya que en dichas organizaciones se encuentra un núcleo de asistencia técnica.
- Se recomienda articular de manera activa el SE-MAPA con otros proyectos que manejen similar tecnología, para que, en un futuro, se pueda brindar un soporte con información y experiencias asociadas a este tipo de actividades.
- Se aconseja difundir el SE-MAPA en la academia para que la herramienta contribuya a la formación de profesionales y técnicos del sector con un perfil más ajustado a los desafíos que impone la adaptación al cambio climático.

Capítulo II

Gestión del SE-MAPA

Como se indicó anteriormente, el proceso de desarrollo e implementación de los aspectos técnicos y metodológicos del SE-MAPA se realizó de manera ordenada y sistemática. Esto aseguró el cumplimiento del cronograma previsto, su ejecución y la aplicación en campo.

Si el capítulo anterior abordó aspectos metodológicos, el presente se ocupa de algunos criterios que se han tenido en cuenta para el buen desempeño del SE-MAPA. Tales criterios son: (a) participación de los actores involucrados en el proceso, desde la fase de desarrollo hasta la etapa de utilización del sistema; (b) grado de apropiación del sistema; (c) factores que han facilitado o limitado su escalabilidad, y (d) sostenibilidad en el tiempo del SE-MAPA.

Participación

Se define *participación* como el involucramiento de los diversos actores en las actividades, programas y tareas orientadas al buen proceso de desarrollo y aplicabilidad de la propuesta del SE-MAPA.

Desde el inicio se tomó en cuenta el enfoque participativo para recopilar, en la medida de lo posible, las distintas percepciones, requerimientos y aportes de cada uno de los investigadores involucrados en el proyecto y los diferentes grupos de interés (financiadores, ATA y productores). A continuación, se analiza la participación de los profesionales, en especial la de los ATA, en las diferentes fases de desarrollo del SE-MAPA (tabla 5).

En la fase de diseño y formulación, se definieron los objetivos del sistema de acuerdo con los problemas agroclimáticos de la región y los sistemas de cultivo priorizados. El diseño y la formulación se ajustaron a dichos objetivos para asegurar que las salidas y los escenarios del sistema ofrecieran respuestas a las inquietudes de los ATA sobre los riesgos agroclimáticos, sus eventuales efectos en los sistemas de cultivo y las opciones para enfrentar el problema. También para que brindaran soporte en la gestión de los cultivos y acompañaran el proceso de aprendizaje del tema.

La experiencia del equipo base, procedente de su participación en proyectos similares ya reseñados anteriormente como el SAAT y el STDF, sirvió para definir las áreas temáticas que permitirían cumplir con las exigencias de diseño y formulación del sistema. Las áreas temáticas identificadas para el desarrollo del SE-MAPA fueron las siguientes:

- Área de modelación en sistemas de producción (cultivos y crianzas): para modelar el sistema integrado de producción en cultivos y crianza.
- Área de meteorología: para aportar en la construcción de los modelos climáticos y agroclimáticos.
- Área de agronomía: para dar un enfoque especializado al manejo de los cultivos de la zona ante fenómenos adversos del clima.
- Área de hidrología: para estudiar la disponibilidad, la ocurrencia, la distribución y los derechos y propiedades del agua en las regiones.
- Área de sistemas informáticos: para almacenar, procesar y transmitir información destinada a la construcción del *software* que representaría todo el sistema.
- Área de diseño gráfico: para la visualización del sistema mediante un *software* amigable, práctico y didáctico.
- Área agroclimática: para apoyar el desarrollo de los modelos agroclimáticos con análisis de riesgos y oportunidades de los agroecosistemas. Esta área aportó los modelos y la información relacionada con el comportamiento de las plantas ante fenómenos adversos del clima. Incluyó caracterizaciones y modelamientos espaciales de cultivos y sistemas productivos.

El diseño y la arquitectura del *software* se ajustaron a los requerimientos de escala regional de los 18 departamentos y a los tres sistemas de cultivo de los tres departamentos donde se implementaron los pilotos (Atlántico, Boyacá y Nariño), dejando abierta la posibilidad de ampliar la cobertura del *software* a otros lugares. Este crecimiento solo será posible en la medida en

que se disponga de información sobre nuevos departamentos y municipios. También es necesario contar con insumos y requerimientos de escala local sobre más sistemas de cultivo para ampliar la cobertura de los SAAT.

Tabla 5. Profesionales y áreas temáticas necesarias para implementar el SE-MAPA

El equipo utilizado para el desarrollo del SE-MAPA debió manejar información de escala local (el SAAT para tres sistemas de cultivo) e información de escala regional (18 departamentos y 54 municipios).
• 1 modelador • 2 meteorólogos • 1 ingeniero agrónomo • 1 ingeniero hidrólogo • 1 ingeniero ambiental • 1 desarrollador • 1 diseñador gráfico • 1 especialista en sistemas de información geográfica (SIG)

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra el equipo que se requiere para ampliar este tipo de sistemas a una escala nacional.

Uno de los factores importantes es la conformación del equipo de trabajo. Dentro de los profesionales existentes en el mercado laboral colombiano, son pocos los que cuentan con formación idónea para participar y aportar en el desarrollo de este tipo de sistemas. No es fácil conseguir perfiles profesionales capacitados para trabajar con sistemas basados en una modelación matemática y vinculados a la agroclimatología y con un enfoque de análisis de riesgos y oportunidades, recomendaciones tecnológicas e innovación. Es necesario que las escuelas de agronomía y ciencias agropecuarias formen más profesionales especializados en digitalización, sistemas de información geográfica, inteligencia artificial y agricultura climáticamente inteligente. El escaso número de profesionales del país especializados en estas áreas limita la oferta de sistemas expertos con enfoques diversos y complementarios.

El desarrollo del SE-MAPA contó con especialistas en áreas como hidrología, climatología, agronomía, opciones tecnológicas, y se nutrió de la fortaleza de Corpoica (en la actualidad AGROSAVIA). En esta fase también intervinieron de manera positiva los líderes especialistas de cada producto del proyecto MAPA,

quienes aportaron su visión sobre los resultados que se estaban empezando a consolidar y sobre la manera como estos podían integrarse al sistema.

La participación de todos los involucrados en el proyecto, no solo de los responsables del producto, permitió replantear el sistema en la etapa de diseño y formulación para que, además de mostrar alertas agroclimáticas, ofreciera un acceso más universal a la comunidad de asistentes técnicos agropecuarios del país. Con ello se aumentó la sostenibilidad y eficiencia del sistema bajo un enfoque de toma de decisiones agroclimáticamente inteligentes. Se hizo un escalonamiento que conserva la información regional generada por cada uno de los siete productos del proyecto MAPA y se logró un mayor conocimiento territorial y agroclimático (mediante la integración de las escalas regional y local).

Sin embargo, la participación de los investigadores debió tener un norte metodológico, para que no derivara en largas discusiones, en las que los líderes buscaban imponer la lógica de sus respectivos productos. La decisión de replantear el sistema MAPA para escalarlo y ampliar su enfoque de alerta agroclimática a uno de SE obedeció a la intención de mejorar la cultura agroclimática y aprovechar los resultados más contundentes de otros productos.

El proceso no fue sencillo. Aun cuando se tenía una metodología para organizar las discusiones entre líderes, se debió contar con más tiempo para generar varias versiones del sistema en busca de un diseño lógico que satisfaciera las distintas visiones. En esta etapa fue necesario unificar los objetivos y los conceptos de los profesionales participantes, dado que sus aportes generalmente provenían de enfoques, percepciones y necesidades diferentes. Sin embargo, esta falta de consenso entre los líderes de producto sobre los objetivos y las metodologías no afectó el resultado final, ya que se logró un sistema que representa resultados integrados. En este punto fue importante el rol desempeñado por los líderes del SE-MAPA. El enfoque del modelador y desarrollador guió la ruta, y el resultado no solo fue un *software* que funciona como un sistema de alerta agroclimática temprana, como era el propósito inicial, sino también un proyecto MAPA consolidado, con una propuesta original para gestionar el conocimiento por medio de una herramienta informática en línea.

La etapa de desarrollo y construcción del sistema fue una de las más complejas. Requirió mucha interacción entre el equipo técnico y el desarrollador y demandó talleres de validación de resultados para llegar al modelo final que se propuso con base en el diseño. Aquí fue clave la participación de los expertos de las diferentes regiones y temáticas, ya que con ellos se pudieron definir los tres módulos que conforman el sistema: módulo de conocimiento del territorio (clima, aptitud agroclimática), módulo de estimación agua-rendimiento y módulo del glosario.

En esta fase, el rol del líder del SE-MAPA fue clave para orientar y lograr el desarrollo del sistema, dadas las diferentes disciplinas del equipo técnico y las prioridades de cada líder de producto. La experiencia previa del líder del equipo y de parte del equipo base con el modelado de distintos sistemas de producción aportó un enfoque muy claro sobre los pasos metodológicos que se debían seguir. Sin embargo, la información de los otros productos del proyecto demoró mucho en concretarse, debido a que en la formulación inicial del proyecto MAPA, el cronograma general no contemplaba una forma de integrar los resultados al sistema. Los líderes, por tanto, no tenían definidos ni el enfoque ni las metodologías de sus respectivos productos en el momento de tomar decisiones de diseño sobre el sistema, y esto hizo que el trabajo de prueba y error con esos productos retrasara el desarrollo. Aunque en algunos casos este impase se solucionó mediante estrategias de modelación, se dedicó demasiado tiempo a la revisión de los modelos matemáticos, lo cual alargó los procesos.

La cartografía temática sobre la que se desarrolló el SE-MAPA provino de los resultados obtenidos por el equipo de investigadores responsables de los productos 1 y 2 de MAPA. Esta cartografía no habría tenido relevancia si solo hubiera formado parte de los informes de resultado. El SE-MAPA demostró que el desarrollo de sistemas de este tipo constituye una forma efectiva y útil de socializar los resultados más relevantes de las investigaciones.

Para la validación del SE, se convocaron reuniones y talleres con expertos temáticos y usuarios del sistema en cada fase de desarrollo. Dado el alcance del proyecto, se organizaron talleres en cada uno de los departamentos contemplados. Se verificaron tanto el enfoque como las recomendaciones de los usuarios. En especial, se validaron las salidas (resultados) de los modelos matemáticos que conformaban cada módulo y se verificó que el sistema

fuera intuitivo y amigable para los usuarios, además de didáctico. Este enfoque participativo en el proceso de validación y verificación se tradujo en un sistema bastante cercano a la realidad.

A lo anterior se suma la validación en cada parcela de las OT formuladas por los profesionales. Esto fue de gran utilidad para nutrir el SE-MAPA ya que aportó información práctica, obtenida directamente de la experiencia en cada sistema productivo. Los ATA participaron principalmente en la escala local, en la fase de verificación y validación del requerimiento hídrico de las zonas y los cultivos priorizados (los tres pilotos). Asimismo, los asistentes verificaron las opciones y sugirieron ajustes en la forma y en los contenidos.

Debe destacarse también el trabajo y la actitud proactiva de la mayoría de los facilitadores que intervinieron en los centros de investigación de la Corporación. No solo desempeñaron su labor facilitadora, sino que además hicieron un adecuado seguimiento del ejercicio de validación realizado por cada profesional en campo, con lo cual se logró obtener información valiosa para fortalecer la plataforma. Con respecto a las fichas, la experiencia en campo y el ejercicio de validación no fueron lo suficientemente representativos como para desarrollar el contenido de algunos sistemas productivos, aunque cabe señalar que estas fichas no constituyeron una alternativa importante dentro de las OT seleccionadas. Todas las labores del facilitador regional influyeron, en mayor o menor medida, sobre las labores de campo realizadas en la parcela y, por tanto, sobre el proceso de obtención de información para el sistema experto.

En esta etapa de validación, se resalta la adecuada selección de participantes. Muchos fueron clave para los talleres. Los criterios de selección previamente definidos desempeñaron aquí un rol importante, dado que permitieron dar cumplimiento a los objetivos propuestos. Esto pudo lograrse también gracias al trabajo con las redes de ATA, adelantado en el marco de las actividades de transferencia de tecnología del proyecto MAPA.

Sin embargo, cabe señalar como punto para mejorar, que la verificación del SE-MAPA careció de técnicas completas de verificación estadística para probar la confiablidad del sistema. Esto se debió a las limitaciones de tiempo y a lo extensas que resultaron las fases de diseño y desarrollo. Las verificaciones se

realizaron de manera empírica y por medio de observaciones comparativas, con metodología de verificación de expertos (denominada *teoría experto*).

Del análisis de esta etapa se concluye que es recomendable verificar cada módulo por separado. La validación se ocupó del conjunto de módulos que conforman el sistema. Si bien la participación de investigadores, asistentes técnicos y productores fue vital e importante para el éxito de esta etapa, los siguientes puntos limitaron la fase de validación del SE-MAPA:

- Poco conocimiento de los requerimientos hídricos para validar el módulo de los SAAT piloto.
- La inestabilidad laboral de los asistentes técnicos agropecuarios en las distintas regiones del país no permitió que ellos mismos participaran como verificadores en campo de la correcta modelación del sistema.

La difusión del SE-MAPA se hizo por medio de talleres participativos, en dos niveles: (a) con actores del SNCTA, lo cual permitió difundir el sistema en el nivel departamental, y (b) con los ATA articuladores y difusores de cada una de las redes (representantes de los sistemas productivos priorizados), lo cual permitió que se convirtieran en agentes activos de difusión del sistema en su ámbito de actuación, en cada uno de los departamentos.

En esta fase, la aceptación por parte de los usuarios fue muy positiva debido a que se encontraron con una herramienta novedosa, que enseña a reconocer los cambios y variables climáticas que afectan los sistemas de cultivo, y que propone OT para enfrentarlos. A esto se suma el interés de los ATA y los actores del SNCTA, quienes, gracias al sistema, pudieron disponer de un espacio virtual que brinda información agroclimática del territorio donde prestan el servicio de asistencia técnica.

Cabe destacar la pertinencia de la información con enfoque de riesgo agroclimático. Este tipo de información resulta novedosa dentro de la gestión del servicio de asistencia técnica agropecuaria. Contribuyó a que los asistentes técnicos con perfil difusor de las redes participaran de forma positiva en la difusión del SE-MAPA en los departamentos. Otro punto positivo de esta etapa fue la disponibilidad de material divulgativo y de videos y boletines didácticos y prácticos. Dicho material ayudó al aprendizaje del uso del sistema y a consolidar el tema de la agricultura climática.

Asimismo, se destaca el uso del SE-MAPA como herramienta clave para el componente de transferencia en los momentos formativos con las redes de ATA departamentales, algo que permitió difundir y usar el sistema de manera permanente (figura 20). El sistema sirvió para complementar la metodología de transferencia propuesta y permitió capacitar de manera pedagógica a los ATA en lo concerniente al riesgo agroclimático y su impacto en el territorio.

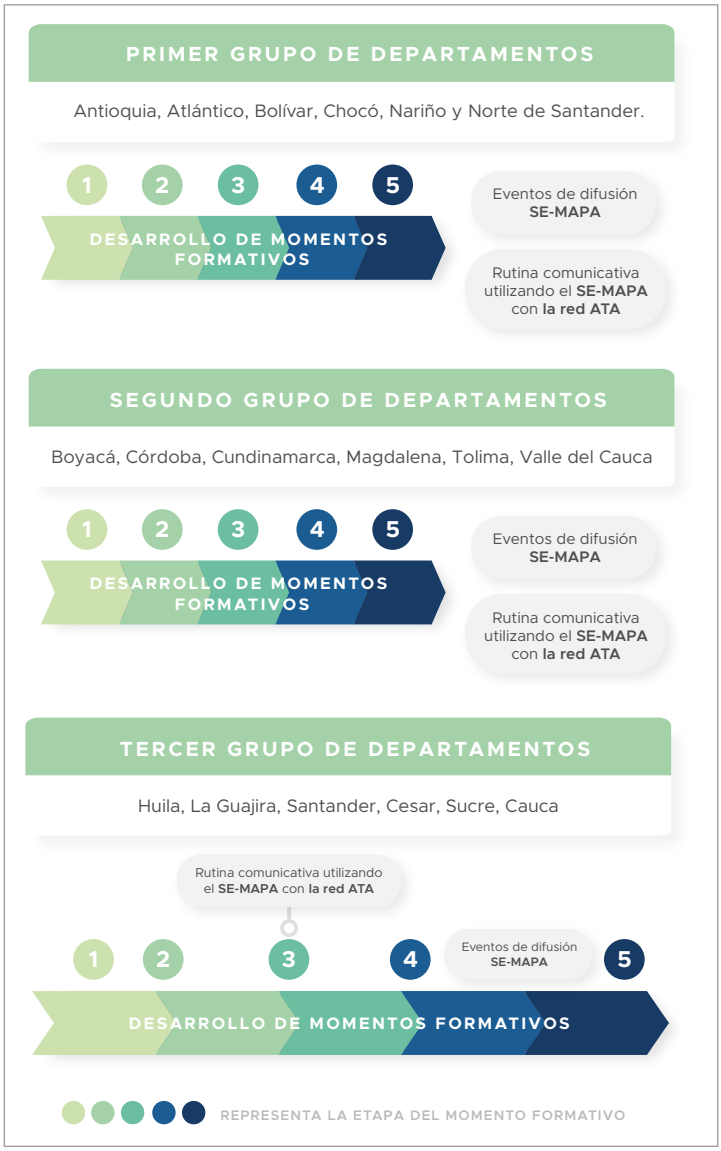


Figura 20. Difusión y uso del SE-MAPA con las redes de ATA departamentales, en los momentos formativos del componente de transferencia.
Fuente: Elaboración propia

Un aspecto que no permitió la participación de un mayor número de asistentes técnicos en esta fase fue el lugar donde se llevaron a cabo los talleres de difusión. Su ubicación dificultó el acceso de algunos asistentes de los municipios priorizados. Otro aspecto para mejorar en el proceso de difusión es la falta de integración entre el equipo que realiza los talleres y el desarrollador del sistema. La integración ayudaría a tener una visión más completa, acorde con el enfoque sistémico, y aseguraría el manejo de la información del sistema, dado que el desarrollador podría solucionar muchos aspectos de manera oportuna durante el mismo taller.

Hubo otras dificultades asociadas a los talleres de difusión del SE-MAPA y a su metodología. Fue difícil motivar a los participantes del SNCTA que no conocían el proyecto a profundidad para que se comprometieran a difundir el SE-MAPA desde su rol. Cabe decir, sin embargo, que a medida que conocieron el sistema, experimentaron un cambio positivo y se mostraron dispuestos a colaborar en la labor de difusión. En cuanto a la planificación misma de los talleres, faltó que la presentación del sistema se complementara con información técnica, para contar con aclaraciones específicas que ayudaran a la comprensión y facilitaran su uso por parte del público objetivo.

La relación entre la academia y los centros de investigaciones regionales de la Corporación fue una limitante para la difusión del SE-MAPA. Mejorar esta relación abriría un campo de oportunidades. Permitiría disponer de más tiempo para trabajar e involucraría un actor con mucho que aportar en la construcción de los sistemas expertos que genera AGROSAVIA.

Una última limitante es de tipo estructural. No todos los asistentes técnicos cuentan con el conocimiento o la experiencia en el uso de herramientas informáticas y algunos tienen poca cultura de búsqueda de información en la web. Esta es una consecuencia de la escasa conectividad y cobertura de Internet en las zonas de influencia de los asistentes técnicos y en las instalaciones de entidades municipales como las Unidades Municipales de Asistencia Técnica Agropecuaria (Umata).

Apropiación del sistema por parte de los ATA

Un sistema de estas características solo se consolida cuando es objeto de una apropiación social. Uno de los objetivos del SE-MAPA era que los ATA sintieran como suyo el sistema y lo encontraran útil para su ejercicio profesional. En el proyecto MAPA, los productos 4 y 7, denominados originalmente "de transferencia de tecnología", uno para aspectos de agroclimatología y otro para opciones tecnológicas, se unificaron a partir de la noción de *gestión del riesgo agroclimático*, con el fin de que pudiera darse la transferencia al subsistema de extensión agropecuaria de cada localidad intervenida por el proyecto.

De otro lado, la estrategia de transferencia estuvo orientada por la estructura de las redes locales de ATA. Sobre estas redes se llevó a cabo un proceso de comunicación dirigida denominado "momentos formativos". Las redes se orientaron a establecer comunidades de práctica entre ATA y productores, con el fin de implementar acciones o innovaciones a partir de las informaciones y los conocimientos generados por el proyecto. El momento formativo 3 tuvo como tema principal la utilidad de los sistemas expertos como herramientas para el quehacer de los extensionistas y sirvió para involucrar a los ATA en el desarrollo y la posterior difusión del sistema.

Los aspectos que facilitan o limitan la intensidad y forma de uso deben ser tenidos en cuenta en todas las fases de desarrollo de un sistema de estas características. El sistema debe ser práctico y amigable y debe contener recursos como mapas de ubicación departamentales y municipales, fichas técnicas de OT e información agroclimática, para brindar una ayuda efectiva al asistente o el productor. Un sistema así permite tomar decisiones frente al ciclo de vida del cultivo, funciona como herramienta de conocimiento sobre la relación entre la agricultura y el clima y permite que los asistentes y productores se involucren como replicadores en su zona o región.

En el proceso de desarrollo del SE-MAPA, se sensibilizó a los participantes de los talleres acerca de la necesidad de conocer y manejar la herramienta para incluir la gestión del riesgo agroclimático en los planes de desarrollo rural o los planes de extensión agropecuaria y así estructurarlos mejor. La fase de difusión brindó la oportunidad de realizar talleres sobre los cultivos priorizados en cada uno de los departamentos vinculados al proyecto. Además, el proceso de MAPA tuvo una construcción participativa y colaborativa, en

la que intervinieron investigadores y productores de los departamentos y municipios, lo cual significó un aporte a la promoción del sistema.

Dado que es un aplicativo en línea de uso público, en la actualidad el sistema está disponible 24 horas al día, todos los días del año. Su diseño lo hace fácil de manejar, tiene una interfaz amigable, y posee un lenguaje y un contenido temático muy constructivos. Es una herramienta al alcance de todo público, cuyo uso se promueve y se asegura mediante la aplicación en campo.

Se puede decir que la plataforma es intuitiva y de fácil navegación, lo cual contribuye de manera significativa a que cualquier persona se convierta fácilmente en usuaria. Se puede recuperar la información de interés y replicarla eventualmente en otros sistemas productivos, y posee una cartografía que ofrece la posibilidad de ampliar su cobertura.

Hay que tener en cuenta que la plataforma tiene un bajo número de sistemas de cultivos priorizados por departamento. En algunos casos, estos cultivos no corresponden a productos principales o representativos en términos económicos para los municipios. Esto debido a que, en la gran mayoría de casos, los cultivos seleccionados respondieron a los criterios del Fondo de Adaptación (fuente financiadora) y no a las prioridades de los productores de cada departamento. Lo positivo de esta limitante es que los cultivos seleccionados permitieron dar inicio al SE-MAPA e introducir a la Corporación en el tema de la gestión del riesgo agroclimático.

Cabe mencionar que la difusión del sistema para su uso solo se ha llevado a cabo en las ciudades capitales de los departamentos vinculados al proyecto. Aun así, la adopción del SE-MAPA ha crecido gracias a la dinámica de redes implantada por el departamento de transferencia de tecnología de AGROSAVIA. Por otra parte, el SE-MAPA tiene unos alcances parciales en términos de departamentos, municipios y cultivos, cuyas razones no son sencillas de explicar. Esto puede limitar el uso del SE-MAPA, sobre todo por parte de los pequeños productores, pero los ATA pueden actuar como enlace para difundirlo.

Otro aspecto que debe considerarse son las demandas de algunos usuarios (ATA, productores, investigadores) de ampliar los sistemas de cultivos, los sistemas de producción, los departamentos y los municipios. Esto requiere mayor información técnica, pero también amplía la percepción de la utilidad

del sistema, y demuestra que la lógica de estructuración fue la adecuada ya que permite un crecimiento orgánico hacia nuevas zonas o cultivos.

Existe una debilidad para el uso del sistema asociada a las condiciones de trabajo y al contexto en el que se implementa el SE-MAPA. No todos los usuarios potenciales cuentan con experiencia o conocimientos en el uso de herramientas informáticas, debido, en parte, a que algunas de las zonas de influencia ofrecen un limitado acceso a Internet. Esto plantea la necesidad de implementar programas de capacitación permanente sobre uso de herramientas informáticas, programas que deben estar debidamente articulados con dinámicas de difusión de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) impulsadas por el respectivo ministerio. Al respecto, se cuenta con la experiencia de capacitación dirigida a pequeños productores de leche de la sabana de Bogotá, de la Cooperativa Integral Multiactiva (Coopmancilla). En ella, se implementó un programa de capacitación básico para el uso de herramientas informáticas, cuyo objetivo fue difundir el uso del SAAT en el sistema de producción de leche y entre los miembros de Coopmancilla (Corpoica, 2012a).

Escalabilidad

Para efectos del presente análisis, se define como *escalabilidad* a la capacidad del SE-MAPA de funcionar y adaptarse a una mayor demanda de regiones para ampliar el impacto esperado.

Las metodologías y la información generadas por el SE-MAPA permiten aplicar el sistema en otros departamentos, municipios y cultivos-crianzas. La Corporación cuenta ya con la información básica y la suficiente experiencia para ampliarlo. Si se dispone de la información adecuada, la arquitectura del sistema puede incluir nuevos departamentos, municipios, zonas, cultivos, estaciones y fichas técnicas de OT.

El sistema brinda la posibilidad de actualizar las metodologías y la resolución y de añadir componentes o módulos sin afectar su arquitectura para ofrecer un mejor acercamiento territorial al riesgo agroclimático. Pero, aunque se cuenta con las metodologías para escalar el SE-MAPA a otras regiones, es necesario trabajar en cada municipio y levantar información local y específica sobre los cultivos y las zonas que se piensen incluir. Si bien en la etapa de construcción

del sistema se planteó cubrir 18 departamentos, siempre se consideró la posibilidad de ampliar la cobertura a todo el país. Esta capacidad de escalar el sistema se contempló desde la fase de diseño de la arquitectura.

Un aspecto que puede limitar la escalabilidad son los requerimientos de *hardware* para la administración del sistema. Esto exige tener una visión clara desde el inicio del modo cómo estos sistemas se articulan con la política de gestión y recursos de la propia organización que los maneja, para no toparse con cuellos de botella insalvables que impidan escalar los sistemas. En el caso de AGROSAVIA, el DTI ha mejorado sus procesos de soporte para atender este tipo de desarrollos de investigación. Sin embargo, es importante que la Corporación, para desarrollar este tipo de herramientas, refuerce el perfil de los investigadores en las áreas de programación y matemática computacional. En un modelo como el planteado para el SE-MAPA, se deben considerar elementos que garanticen su continuidad, además del presupuesto, los tiempos para mejorar metodologías, la resolución y la adición de nuevos componentes o módulos.

Un punto adicional para lograr la escalabilidad del sistema es reconocerlo como herramienta de la comunidad de investigadores de AGROSAVIA. De esta manera se podría usar como recurso en la formulación de agendas de investigación y se podrían ampliar sus posibilidades. Cabe resaltar aquí que el marco estratégico corporativo responde en gran medida al interés de adaptar la agricultura al cambio climático y que este aspecto constituye una línea transversal de todas las redes de investigación.

Sostenibilidad

Este aspecto se refiere a las condiciones que aseguran la permanencia del SE-MAPA en el tiempo. Si bien todavía es precipitado afirmar o negar la sostenibilidad del sistema, dado lo reciente de su uso, se pueden indicar algunas condiciones que favorecerían su permanencia en el tiempo.

Para comenzar, es importante reconocer el diseño amigable, didáctico y práctico con el que se presentan los mapas y los cálculos sobre el clima y el requerimiento hídrico (necesidades de agua para el cultivo). Otro factor favorable es la pertinencia de la información agroclimática y su enfoque regional, dado el posicionamiento de la gestión del riesgo agroclimático en

el país para la planificación del desarrollo rural agropecuario. A esto se suma el proceso formativo de los ATA en gestión de la información climática y de riesgo agroclimático, que se llevó a cabo a la par con el desarrollo del SE-MAPA. Todos estos factores podrían influir positivamente en la sostenibilidad del sistema.

Las temáticas sobre las cuales se desarrolló el SE-MAPA (zonificación de amenazas climáticas, nichos productivos, opciones tecnológicas y de adaptación) son críticas para el sector agropecuario y son objeto de altas demandas de información. La información contenida en la cartografía permite una consulta práctica y en muchos casos está validada mediante análisis de series climáticas, y esto podría fortalecer el indicador de sostenibilidad. Otro aspecto que facilita la sostenibilidad es la posibilidad de integrar información adicional a las diferentes escalas. Por ejemplo, se podrían integrar modelos agroclimáticos más eficientes y modelos de predicción más precisos, lo cual permitiría crear sistemas de alerta para más localidades.

La articulación entre los subsistemas de educación, investigación y extensión contribuye a la sostenibilidad de este tipo de sistemas ya que mejora la precisión y la escala de la información generada. La formación de profesionales, la investigación en áreas relacionadas con la inteligencia artificial y la geomática y una visión más integral de la extensión agropecuaria permitirían que sistemas como el SE-MAPA se consoliden como plataformas idóneas para la capacitación y la toma de decisiones. Sin embargo, si esta articulación llegara a debilitarse, la consecución de recursos para el mantenimiento y el desarrollo de estos sistemas resultaría cada vez más difícil.

Un factor limitante para la sostenibilidad es el de la información climática. El Ideam es la institución del páis encargada de generar este tipo de información, y es clave contar con estrategias interinstitucionales que permitan complementar las iniciativas y eviten que los esfuerzos se repliquen. Esta articulación entre instituciones y sectores (ambiental y agropecuario) no siempre es sencilla en la práctica y puede obstaculizar la vigencia del sistema en el mediano y el largo plazo.

Un factor organizacional que puede aportar a la sostenibilidad es la alineación de la agenda de investigación corporativa y de las nociones de agricultura intensiva y sostenible con la actualización y la pertinencia de la información

obtenida en las parcelas de integración. Desafortunadamente, una vez terminado el trabajo en las parcelas de integración P6, los investigadores responsables no proyectaron una línea de trabajo con la misma metodología que permitiera continuar con la misma dinámica y con la comprensión de la relación entre la vulnerabilidad agroclimática y las OT.

El SE-MAPA tiene todo el potencial para ser una plataforma de pedagogía profunda sobre la agroclimatología del país. El sistema es una herramienta informática que simula el razonamiento de un especialista en un campo específico con enfoque de ACI y permite llegar a deducciones lógicas sobre alternativas tecnológicas y prácticas de manejo para disminuir el impacto de las variables climáticas en los cultivos. Sin embargo, si no se actualizan las metodologías y la información generada, se corre el riesgo de que el SE-MAPA pierda proyección.

Una ventaja estratégica del SE-MAPA es que, desde su misma concepción, se inscribió en las dinámicas de transferencia de tecnología en red. Esta visión ha permitido relacionar el sistema con la dinámica de apropiación que la Comunidad de Extensionistas y Asistentes Técnicos Agropecuarios (Linkata) adelanta en el ámbito de la extensión agropecuaria del país. Así también se ha ayudado a que el uso del sistema no se circunscriba a un número limitado de personas en unas pocas localidades del país. Existe una creciente demanda de parte de los ATA y los productores para que el sistema incorpore información de departamentos que en la actualidad no están representados, como los de la Orinoquía y la Amazonía colombiana.

El grupo de asistentes técnicos agropecuarios que se estructuró en red durante el proyecto (la mayoría de los cuales formaba parte de Linkata) fue un detonante de estos temas agroclimáticos en las comunidades de práctica y en la interacción con los productores. Los asistentes técnicos consolidaron un conocimiento sobre los riesgos y oportunidades agroclimáticas y adquirieron una experiencia de tres años en temas como: caracterización agroclimática, análisis de riesgos agroclimáticos, identificación de nichos productivos, desarrollo de sistemas expertos para la toma de decisiones, estrategias de validación participativa de resultados, y creación y fortalecimiento de lazos con pares temático-sectoriales y corporativos.

En conclusión, la sostenibilidad del SE-MAPA se sustenta en su capacidad de responder a las necesidades del sector mediante cuatro acciones básicas: (a) gestionar información útil, pública y accesible para los ATA; (b) hacer pedagogía en el enfoque ACI, dirigida a los ATA de los departamentos involucrados; (c) matizar el alcance puntual del SAAT con el alcance regional de la información territorial para ampliar su utilidad práctica, y (d) sensibilizar sobre la urgencia de mejorar los sistemas locales de información agroclimática, por medio de un ejemplo práctico que muestra cómo un SAAT puede convertirse en herramienta tecnológica.

Capítulo III

Lecciones aprendidas

El sector agropecuario de Colombia, al igual que el del resto de países de América Latina, evidencia efectos cada vez más intensos de la variabilidad y el cambio climático. De cara a garantizar la soberanía alimentaria de la población y la eficiencia de los sistemas agroalimentarios, es urgente mejorar la capacidad de respuesta de los actores involucrados y la adaptación de los sistemas productivos agropecuarios colombianos a los fenómenos climáticos.

Las lecciones que deja el desarrollo del SE pueden explicarse en dos planos: el técnico y el de uso del sistema.

Sobre el aspecto técnico del sistema

Seleccionar adecuadamente los usuarios es uno de los pasos más importantes en el desarrollo de cualquier sistema experto. En el caso del SE-MAPA, los principales usuarios fueron los extensionistas y los ATA, aunque el sistema también ha resultado útil para investigadores y docentes de diferentes regiones del país.

Se logró generar una metodología que evalúa la susceptibilidad a inundaciones a partir de las características intrínsecas de los suelos. Este abordaje generalmente no se incluye en las modelaciones hidrológicas-hidráulicas. Su metodología permite una primera aproximación al conocimiento del territorio, cuya utilidad quedó demostrada en el trabajo con los ATA y con otros actores locales en los procesos de planificación de la producción en las escalas local y regional.

Para mejorar el alcance, es importante que se pueda realizar una revisión detallada de las bases de datos y de los estudios socioeconómicos que se hayan llevado a cabo en los cultivos priorizados para el sistema experto. Los datos históricos locales de comportamiento del cultivo brindan información primaria que ayuda a determinar rendimientos máximos según condiciones locales. Dicha información no estuvo disponible durante el desarrollo del proyecto, y debido a ello se ampliaron los tiempos empleados en el proceso de alimentación de datos del SE-MAPA. Es indispensable, por tanto, verificar la existencia de este tipo de información antes de elegir el cultivo, ya que así se pueden definir con claridad los tiempos de cada etapa. También es importante contar oportunamente con la información básica que requiere el desarrollo de este tipo de trabajos (climática, de suelos y cultivos, de priorización de municipios y cultivos) para evitar retrasos importantes en las actividades y la entrega de resultados.

- Es estratégico destinar un tiempo suficiente para recolectar datos y para probar y ajustar las metodologías en un sistema lógico de procesos, de modo que se eviten pérdidas de recursos y esfuerzos. La articulación con otras organizaciones y proyectos similares debe hacerse en esta fase previa, para que en el momento de desarrollar el sistema ya estén solventados los inconvenientes administrativos y se pueda trabajar efectivamente y de manera coordinada.
- En la escala local es importante complementar el módulo agroclimático con modelos matemáticos para el manejo de plagas y el plan de siembra. Los modelos matemáticos de "grados día" pueden ser una herramienta muy valiosa para anticipar la ocurrencia de ciertas plagas de insectos y para determinar en qué etapas son perjudiciales. Con este conocimiento, pueden hacerse muestreos para determinar el umbral de daño que el insecto puede causar y justificar la aplicación de un tratamiento para controlar las plagas.
- La plataforma SE-MAPA debe actualizarse de manera permanente y oportuna. Nuevos proyectos pueden idearse a partir de la lógica de gestión del riesgo que siguió MAPA, especialmente en temas relacionados con ampliar el conocimiento del territorio, la agroclimatología y las OT.
- En el desarrollo de sistemas de este tipo es clave considerar los tiempos que demandan los investigadores en la administración del sistema para que este se mantenga actualizado y vigente. En el caso del SE-MAPA, se diseñó un módulo que facilita la administración eficaz. Sin embargo, se requiere que los investigadores-desarrolladores integren este módulo de forma recurrente a su universo de actividades y desempeños.

La construcción de las OT se desarrolló con un enfoque participativo. Se vincularon los productos 4 y 7 (transferencia), el producto 5 (opciones tecnológicas) y el producto 6 (plan de manejo integrado), con el objetivo de fortalecer y empoderar a los servicios locales de extensión y asistencia técnica con información enfocada en las características técnicas y socioeconómicas de la zona de producción. Durante el tiempo de trabajo de campo en cada departamento, se adelantaron talleres y reuniones de trabajo con los equipos regionales, en los cuales se definieron las OT que debían ser incluidas según las condiciones limitantes en cada zona. Es importante indicar, sin embargo, que la delimitación del concepto de OT tomó más tiempo de lo previsto, debido a que en el inicio del proyecto no se habían definido ni el marco teórico ni los objetivos de las OT del proyecto MAPA. Para futuros desarrollos, es importante ahondar en este concepto para evitar la tentación de definir paquetes tecnológicos estándar de difícil implantación en las condiciones reales de los diversos sistemas de producción.

- Los vacíos de información que se identificaron durante el desarrollo del SE-MAPA definieron y priorizaron algunas líneas de investigación para la agenda de trabajo de la Corporación. El sistema recibió continuidad y fue un tema de primer orden en la agenda de investigación e innovación. Enfoques y herramientas como el SE-MAPA no deben quedar como apuestas de investigación (como suele suceder), sino que deben continuar y deben aplicarse en campo de manera práctica para brindar soluciones a los usuarios (agricultores principalmente) en una dinámica de coinnovación que asegure una comunicación constante con el entorno productivo.
- AGROSAVIA es sin duda la entidad sectorial con mayores fortalezas para generar la información requerida a nivel nacional sobre riesgos y oportunidades agroclimáticas. Esta información orienta, prioriza y focaliza la toma de decisiones y las agendas de investigación e innovación.

Sobre el uso del sistema

- Aplicar en campo la información de los siete productos que conforman el proyecto MAPA demandó un proceso de aprendizaje constante que permitió cambios de enfoque en los profesionales técnicos participantes. Esta plasticidad ayudó a identificar los factores más relevantes del proceso de construcción de un sistema de apoyo a la toma de decisiones

con enfoque de riesgos y oportunidades agroclimáticas como el SE-MAPA, en una etapa en la que la Corporación recién asumía las acciones de su agenda de investigación e innovación.

- A algunos líderes del equipo técnico del proyecto MAPA se les dificultó entender el objetivo general del proyecto. Se concentraron en el aporte de los resultados de sus proyectos específicos, lo que trajo como consecuencia que se dedicara más tiempo del esperado a la consolidación de una visión de los logros e impactos del proyecto como un todo. En este sentido, para ayudar a superar tales dificultades, se debe invertir tiempo en sesiones previas de formulación con los investigadores responsables de la ejecución, para que el equipo técnico participante en el desarrollo y la construcción del sistema tenga una mirada holística del proyecto y una visión compartida de objetivos. Es importante entender la importancia de unificar los objetivos y los conceptos entre los profesionales participantes, dado que sus aportes generalmente vienen de enfoques, percepciones y necesidades diferentes. Para ello, es importante contar con equipos interdisciplinarios, ya que con ellos se podrán intervenir sistemas complejos como los sistemas agrícolas, teniendo en cuenta los efectos del cambio y la variabilidad climática.
- La etapa de desarrollo y construcción inicial del SE-MAPA demandó mucho tiempo al equipo base del producto 3, sobre todo en lo relativo a la interacción entre los profesionales del equipo técnico y el desarrollador del sistema. Esta interacción promovió el desarrollo de puntos en común. Se destaca el rol del proceso de validación de los resultados. Permitió construir un modelo integral, real y práctico, ya que el proceso se llevó a cabo bajo una metodología participativa, en la que la interacción constante entre los profesionales técnicos y el desarrollador ayudó a lograr los objetivos del sistema.
- La experiencia muestra lo importante que resulta para este tipo de desarrollos contar con profesionales de áreas sociales y con conocimientos de metodologías participativas. Estas personas complementan sinérgicamente a los especialistas técnicos y a los investigadores de otras áreas del conocimiento (enfoque interdisciplinario).
- Las necesidades, las condiciones y los alcances de la población objetivo del proyecto siempre deben tenerse en cuenta. Aplicar un enfoque participativo en todo el desarrollo es la forma más adecuada de fomentar la viabilidad y el uso del sistema y alcanzar un nivel de confianza aceptable.

- En relación con el perfil de los ATA, es importante que estos se encuentren familiarizados con el manejo de las herramientas informáticas que exige el sistema, de tal forma que puedan procesar y gestionar adecuadamente la información existente para transmitirla al agricultor de manera confiable en aras de tomar la mejor decisión. Es imprescindible, además, que los ATA tengan experiencia en el manejo de los cultivos que se van a verificar y validar en el sistema. Se presentaron casos de ATA que contaban con mucha experiencia en campo, pero que desconocían el uso de las herramientas informáticas, y casos de ATA que, por el contrario, manejaban dichas herramientas, pero carecían de experiencia en los cultivos. Todo lo anterior evidenció la necesidad de entrenar a los ATA para capacitarlos en ambos frentes.
- Este tipo de proyectos generan unos aprendizajes en el personal que los desarrolla que deberían ser capitalizados por la organización contratante. Fue por esto que la Corporación, una vez terminado el proyecto, incorporó a su nómina a la mayoría de profesionales participantes, enriqueciendo con ello su acervo de especialistas con el enfoque del sistema.
- El proyecto permitió que la Corporación desarrollara la capacidad de dar soporte al subsistema de extensión agropecuaria en el marco del SNIA. Capacitar ese entorno de extensión en temas de adaptación al cambio climático y gestión del riesgo agroclimático se ha convertido en una tarea prioritaria ya que permite prestar un servicio más integral de extensión agropecuaria.
- En el desarrollo del sistema se pudo constatar la escasa masa crítica de profesionales capacitados en esta visión integral de gestión del riesgo agroclimático. Es necesario, por tanto, formar más profesionales en agroclimatología y modelación de sistemas de producción agropecuarios, con una visión integral de gestión del riesgo, a fin de que puedan comprender los procesos y las dinámicas de un SE. El crecimiento del SE-MAPA requerirá que AGROSAVIA adopte e implemente nuevas estrategias de formación de especialistas para impulsar la sostenibilidad del sistema.
- El proyecto MAPA dejó una plataforma permanente que consolida toda la información del proyecto. Permite a los ATA conocer su territorio con base en las variables propuestas por el sistema y tomar decisiones que beneficien al productor agropecuario. Posiciona, de esta manera, la gestión del riesgo agroclimático dentro de la planificación del desarrollo rural agropecuario del país. Así mismo, se resalta la orientación del sistema hacia los enfoques pedagógico y de gestión del conocimiento.

El enfoque de gestión de conocimiento se adoptó con la participación de la población local y de los usuarios del sistema en las distintas fases de desarrollo (diagnóstico, ejecución, seguimiento y evaluación), por medio de una clara estrategia de comunicación en red. El enfoque pedagógico, por su parte, se adoptó con la promoción de un concepto amplio de tecnología. Según este enfoque, la tecnología es base del aprendizaje y del dominio de los saberes prácticos y las habilidades técnicas que estimulan la innovación y que guían y motivan a las personas en la búsqueda de medios de vida sostenibles.

- El SE-MAPA apoya la toma de decisiones y, por tanto, mejora su eficacia. Se fundamenta en una gestión del conocimiento basada en datos y en evidencias sobre el suelo y el clima de los sistemas de producción colombianos, y constituye una buena herramienta para el quehacer de los extensionistas.

Los autores

Andrea Onelia Rodríguez Roa
Correo: arodriguezr@agrosavia.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0001-9279-3607

Licenciada en Física, magíster en Ciencias-Meteorología y especializada en Geomática. Sus intereses de investigación están en las áreas de agroclimatología, variabilidad y cambio climático, lo que implica el entendimiento de las causas y los impactos de la variabilidad en diferentes escalas de tiempo y espacio. Ha trabajado en evaluación de modelos climáticos globales, generación de escenarios de cambio climático y construcción de sistemas expertos y alertas tempranas en el campo de la agroclimatología. Igualmente, ha participado en proyectos de investigación en análisis de los factores climáticos relacionados con el crecimiento y el desarrollo de cultivos, el comportamiento de plagas, la zonificación agroclimática y el análisis de riesgos agroclimáticos. Actualmente, se desempeña como investigadora del Centro de Investigación Tibaitatá de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA.

Douglas Andrés Gómez-Latorre
Correo: dagomez@agrosavia.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-6067-7596

Ingeniero catastral y geodesta y magíster en Ciencias-Meteorología. Investigador del Centro de Investigación Tibaitatá de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA en las áreas de agroclimatología, modelamiento espacial y análisis de riesgo agroclimático. Su trabajo se ha focalizado en las temáticas de modelación espacial para el seguimiento de plagas y enfermedades de la palma de aceite, y climatología aplicada a la agricultura a partir de la depuración, el procesamiento y el análisis de información climática. En la actualidad, su trabajo se enfoca en el desarrollo de sistemas de soporte a la toma de decisión, integrando el uso de predicciones climáticas a corto (días o semanas) y mediano plazo (meses o semestres), mediante el del uso de modelos de simulación numérica y estadística.

Juan Carlos Martínez Medrano
Correo: jcmartinezm@agrosavia.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0003-0506-3660

Ingeniero agrónomo de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira; magíster CTS en la Universidad de Salamanca, España, y PhD de la misma universidad. Trabajó en proyectos de desarrollo en el ámbito de la cooperación internacional durante diez años en países de Centroamérica, el Caribe y el norte de África. Desde 2013, trabaja en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA, en el departamento de Transferencia de Tecnología, en donde ha liderado diversos proyectos sobre la adaptación de la agricultura al cambio climático. En la actualidad, dirige el grupo de investigación "Cambios sociotécnicos para el desarrollo de la innovación en el sector agropecuario", en el que se enfoca principalmente en la comprensión de las dinámicas asociadas a la gestión del conocimiento y los procesos de cambio técnico relacionados con la innovación bajo un enfoque geográfico. También forma parte del proyecto Sistema de Información Agroclimática de la Papa.

Blanca Aurora Arce Barboza
Correo: barce@pnia.gob.pe
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-9708-1470

Ingeniera zootecnista de la Universidad Agraria La Molina de Lima (Perú), magíster de la Pontificia Universidad Católica de Chile y PhD en Ciencia Animal (*Animal Science*) de la Universidad de Cornell en Estados Unidos. Especialista en análisis de sistemas agropecuarios. Actualmente es directora ejecutiva del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA-Perú). Es experta en gestión de la investigación, el desarrollo y la innovación agropecuarias y cuenta con más de 25 años de experiencia en organismos internacionales y nacionales. Sus áreas de competencia son desarrollo rural-urbano sostenible y cadenas productivas; medio ambiente y manejo de recursos naturales; y desarrollo y aplicación de sistemas de apoyo a toma de decisiones (SATD) para el sector agropecuario vinculado al agua y los riesgos agroclimáticos. Trabajó en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA por siete años, en temas relacionados con el desarrollo y uso de sistemas de alertas agroclimáticas tempranas de sistemas de producción agropecuarios; desarrollo e innovación agraria de zonas rurales, periurbanas y urbanas, y mejoramiento-conservación de recursos naturales.

Referencias

Allen, R., Pereira, L., & Raes, L. (2006). *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos.* Estudio FAO riego y drenaje n.º 56. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Recuperado de http://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf

Arce Barboza, B., Peña Quiñones, A. J., & Cárdenas Rocha, E. A. (2013). Sistema de apoyo a la toma de decisiones para la selección de especies forrajeras (STDF) en función de la oferta ambiental en Colombia. *Revista Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 14*(2), 215-229. Recuperado de http://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/483/385

Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), & Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2014). *Impactos económicos del cambio climático en Colombia. Síntesis.* Recuperado de https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Impactos%20Econ%C3%B3micos%20del%20Cambio%20Climatico_Sintesis_Resumen%20Ejecutivo.pdf

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). (2019). *Ganadería sostenible*. Recuperado de http://www.corpoica.org.co:8086/NetCorpoicaMVC/GanaderiaSostenible/sistemas

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). (2017). *Marco Estratégico Corporativo (MEC)*. Mosquera, Colombia: autor.

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). (2016). *Sistema de apoyo a la toma de decisión agroclimáticamente inteligente*. Recuperado de http://www.corpoica.org.co:8086/NetCorpoicaMVC/SEMapa/

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). (2013). *Modelos de adaptación y prevención agroclimática: opciones tecnológicas frente al cambio climático*. Mosquera, Colombia: autor. Recuperado de https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/1866

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). (2012a). *Sistema piloto de alertas agroclimáticas tempranas (SAT), para el apoyo a la toma de decisiones de alternativas tecnológicas de manejo para disminuir los efectos de eventos climáticos adversos en la sabana de Bogotá, Colombia*. Mosquera, Colombia: autor.

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). (2012b). *Desarrollo de un sistema de manejo y alerta temprana para la chinche de los pastos Collaria scenica en relación con la variabilidad y el cambio climático en el altiplano cundiboyacense. Informe final*. Mosquera, Colombia: autor.

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), & Fondo de Adaptación. (2012). Convenio 002. Recuperado de http://fondoadaptacion.gov.co/convenio-002-de-2013/

Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). (s.f.). Soil Texture Calculator. Recuperado de https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/?cid=nrcs142p2_054167

Doorenbos, J., & Kassam, A. H. (1979). *Yield Response to Water* [FAO Irrigation and Drainage paper n.º 33]. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (Embrapa), & Centro de Investigación Meteorológica y Climática Aplicada a la Agricultura (Cepagri). (2019). *Agritempo. Sistema de Monitoreo Agrometeorológico*. Recuperado de https://www.agritempo.gov.br/agritempo/index.jsp

Garza Puentes, J., & Barreto Triana, N. (2016). Fluctuación temporal de la chinche de los pastos *Collaria scenica* (Stal, 1859) (Hemiptera: Heteroptera: Miridae) en la sabana de Bogotá. *Revista Facultad de Ciencias Básicas, 7*(2), 166-179. Recuperado de https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/view/2101

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). (2013). *Zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia*. Bogotá, D. C., Colombia: autor.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), Departamento Nacional de Planeación (DNP), & Cancillería. (2017). *Tercera comunicación nacional de Colombia a la convención marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático. Resumen ejecutivo.* Recuperado de http://documentacion.Ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023732/RESUMEN_EJECUTIVO_TCNCC_COLOMBIA.pdf

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), (2008). *Mapa digital de biomas en Colombia*. Bogotá, D. C., Colombia: autor.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), (1997). *Regiones naturales de Colombia.* Bogotá, D. C., Colombia: autor.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), & Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). (2002). *Mapa de zonificación agroecológica de Colombia*. Bogotá, D. C., Colombia: autores.

Instituto Nacional de Meteorología (INMET). (2011). *Sistema de Suporte* à *Decisão na Agropecuária*. Recuperado de http://sisdagro.inmet.gov.br:8080/sisdagro/app/monitoramento/bhc;jsessionid=71fc36b4b2eb834db4c27fedf1f7

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). (2019). *Sistema de información. Clima y agua.* Recuperado de http://climayagua.inta.gob.ar/

Matos, G., Chalmeta, R., & Coltell, O. (2006). Metodología para la extracción del conocimiento empresarial a partir de los datos. *Información Tecnológica*, *17*(2), 81-88. Recuperado de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642006000200011

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). (s. f.). *Siembra*. Recuperado de www.siembra.gov.co

Ministerio de Justicia. (2010). Decreto N.º 4579. Recuperado de http://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=1547357

Nelson, G. C., Rosegrant, M. W., Koo, J., Robertson, R., Sulser, T., Zhu, T… Lee, D. (2009). *Cambio climático. El impacto en la agricultura y los costos de adaptación.* Recuperado de http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/AGRO_Noticias/docs/costo%20adaptacion.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2019). *¿Qué es la agricultura climáticamente inteligente?* Recuperado de http://www.fao.org/climatechange/epic/que-hacemos/que-es-la-agricultura-climaticamente-inteligente/es/#.XkV2x2hKjDe

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2018). La agricultura climáticamente inteligente. Recuperado de http://www.fao.org/climate-smart-agriculture/es/

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2009). *CropWat* (versión 8.0) [*software*]. Recuperado de http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/es/

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (1976). *Esquema para la evaluación de tierras.* Roma, Italia: autor.

Pérez, J. C. (2013). *Diseño de un sistema de alertas agroclimáticas tempranas participativas en la subcuenca Río Piedras del Macizo colombiano* (Tesis de maestría). Recuperado de http://bdigital.unal.edu.co/40216/1/80231739.2013.pdf

Pulido-Herrera, L. A., Romero, Y., Arcila, Á., Benavides, P., & Ruiz, F. (julio, 2011). *Efecto del cambio climático sobre la distribución altitudinal de la broca del café (Hypothenemus hampei) en una zona de la región cafetera y la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia.* 38° Congreso Socolen, Manizales, Colombia: Sociedad Colombiana de Entomología.

Pulido-Herrera, L. A., Rudas-Ll., A., Betancourt, J. A., Grant, W. E., & Vilchez, S. J. (2015). Distribución inusual y potencial de la garrapata común del ganado, *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*, en zonas tropicales de alta montaña de los Andes colombianos. *Biota Colombiana, 16*(2), 75-95. Recuperado de http://revistas.humboldt.org.co/index.php/biota/article/view/376

Red Agroclimática Nacional (Agromet). (s.f.). Agroclima.cl. Recuperado de http://www.agroclima.cl/

Rodríguez Roa, A. O. (2011). *Desarrollo de un sistema de alertas agroclimáticas tempranas para la chinche de los pastos, Collaria scenica, en la sabana de Bogotá* [Tesis de maestría]. Recuperado de http://www.bdigital.unal.edu.co/4205/1/andreaoneliarodriguezroa.2011.pdf

Rojas, E., Arce, B., Peña, A., Boshell, F., & Ayarza, M. (2010). Cuantificación e interpolación de tendencias locales de temperatura y precipitación en zonas alto andinas de Cundinamarca y Boyacá (Colombia). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 11*(2), 173-182. Recuperado de https://doi.org/10.21930/rcta.vol11_num2_art:209

Steduto, P., Hsiao, T., Fereres, E., & Raes, D. (2012). *Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua* [Estudio FAO riego y drenaje n.º 66]. Recuperado de http://www.fao.org/3/a-i2800s.pdf

AGROSAVIA

Corporación colombiana de investigación agropecuaria

La crisis climática es evidente y los eventos climáticos extremos afectan al sector agropecuario, ocasionando incalculables pérdidas al país. En este contexto, cobra especial relevancia, para el sector, contar con plataformas de información, bases de datos e investigaciones más precisas sobre las afectaciones del clima a los cultivos, el manejo preventivo y la gestión del riesgo agroclimático.

En este libro hacemos memoria y sistematizamos las lecciones aprendidas y los factores que determinaron contar hoy con el Sistema Experto MAPA, para que otros grupos de I + D que inician el desarrollo de un sistema experto o un dispositivo similar tengan este punto de referencia.

A cada paso fuimos develando las múltiples dimensiones que conlleva un desarrollo de este tipo. Aprendimos sobre las posibilidades y limitaciones de una institución de investigación para el desarrollo de un sistema de estas características, las dificultades de valorar e incorporar la visión de los usuarios en el desarrollo, las restricciones que se tienen a la hora de lograr la apropiación de la herramienta por parte del sector y las complicaciones que tiene consolidar su sostenibilidad.

Puesto que el conocimiento humano es un sistema, esperamos que esta memoria le sirva a la comunidad de investigadores para que ese "cerebro colectivo receptivo e inquieto" alcance mayores cotas de éxito y contribuya a una mejor cultura agroclimática.

www.agrosavia.co

ISBN: 978-958-740-347-3

BAC

BIBLIOTECA AGROPECUARIA DE COLOMBIA

CORREO: **bac@agrosavia.co**
TELÉFONO: **(57 1) 422 73 00** EXT. **1257 o 1274**
SKYPE: **biblioteca.agropecuaria**

Distribución gratuita
Prohibida su venta

El campo es de todos
Minagricultura