

Sistema experto MAPA (SE-MAPA) para el soporte de decisiones en la gestión del riesgo agroclimático

Expert system MAPA as a decision support for agroclimatic risk management

Andrea Onelia Rodríguez R.¹, Douglas A. Gómez-Latorre², Juan Carlos Martínez Medrano³



Cómo citar este artículo: Rodríguez, A., Gómez-Latorre, D. & Martínez Medrano, J. (2017). Sistema experto MAPA (SE-MAPA) para el soporte de decisiones en la gestión del riesgo agroclimático. *Análisis Geográficos*, 53, 102-110.

Resumen

Con el objetivo de contribuir al cambio del conocimiento experto y al aumento de la capacidad local para la toma de decisiones encaminadas a mejorar la adaptación de los sistemas de cultivo al cambio climático y la variabilidad climática, se desarrolló una plataforma web denominada SE-MAPA en el marco del proyecto de Modelos de Adaptación y Prevención Agroclimática (MAPA), que integra un módulo con información espacial enfocado al conocimiento del territorio en el contexto agroclimático. El sistema se construyó y organizó a través de una lógica que posibilite la gestión del riesgo agroclimático a diferentes escalas espaciales. La primera escala, a nivel de departamento, presenta el conocimiento general del entorno climático y biofísico, que incluye información de la caracterización de las amenazas climáticas y de la susceptibilidad territorial a eventos climáticos extremos como excesos y déficit hídricos. Luego se escala al municipio, en donde se identifican las zonas de aptitud agroclimática para un sistema de cultivo particular bajo eventos de variabilidad climática, identificando áreas de baja exposición espacial y temporal a los eventos climáticos extremos denominados “nichos productivos de bajo riesgo agroclimático”. Y, finalmente, una escala local enfocada a la estructuración de un sistema de alertas agroclimáticas que, para los casos piloto incluidos en la herramienta, proporciona la condición probable de humedad de la zona a partir de una predicción climática que se relaciona con los posibles efectos sobre el cultivo y un conjunto de opciones tecnológicas. La herramienta se puede consultar en <http://www.corpoica.org/>.

Palabras clave: caracterización climática, variabilidad climática, espacial, nichos productivos, herramienta web.

¹MSc Ciencias - Meteorología. Centro de Investigación Tibaitatá, Corpoica. Correo: arodriguezr@corpoica.org.co.

²MSc Ciencias - Meteorología. Centro de Investigación Tibaitatá, Corpoica. Correo: dagomez@corpoica.org.co.

³PhD Geografía. Departamento de Transferencia de Tecnología, Corpoica. Correo: jcmartinezm@corpoica.org.co.

Abstract

With the goal to contribute to change of knowledge expert and the increase of local capacity for decision making aimed at improving the adaptation of cropping systems to climate change and climate variability, a web platform was developed called SE-MAPA, it was developed in the framework of the project Models of Adaptation and Agroclimate Prevention (MAPA), which integrates a module with spatial information focused on the knowledge of the territory in the agroclimate context. The system was built and organized through a logic to allow the management of agroclimate risk at different spatial scales. The first scale at the departmental level presents the general knowledge of the climatic and biophysical environment, which includes information about the characterization of climate threats and territorial susceptibility to extreme events such as water deficits and excesses. After, it is scaled to the municipality, where agroclimate aptitude zones for a crop system are identified, therefore areas of low spatial and temporal exposure to extreme climatic events were identified called "productive niches of low agroclimate risk". Finally, a local scale focused on the structuring of an agroclimate warning system, which for the pilot cases included in the tool, provides the probable condition of humidity of the zone from a climate prediction, which is related to the possible effects on the crop and a set of technological options. The tool can be consulted at <http://www.corpoica.org/>.

Keywords: climate characterization, climate variability, spatial, productive niches, web tool.



Introducción

En el sector agropecuario, los productores deben tomar decisiones frente al manejo de sus sistemas de producción que pueden llegar a afectar aspectos económicos, sociales y ambientales. Generalmente no se conocen con certeza las consecuencias de las decisiones sino mucho tiempo después de que estas hayan ocurrido, y los resultados pueden ser mejores o peores de lo que se había esperado (Breuer, Fraisse & Zierden, 2010).

Una estrategia en el soporte de la elección de una “buena decisión” es la implementación de los sistemas de apoyo a la toma de decisiones (SATD), que son herramientas que se basan en un proceso de selección entre cursos alternativos de acción apoyados en un conjunto de criterios para alcanzar uno o más objetivos (Simon, 1960; Beynon, Rasmequan & Russ, 2002). Es así que los SATD facilitan que los asesores, los asistentes técnicos, los investigadores y los agricultores, entre otros, cuenten con recomendaciones técnicas y asistencia para la toma de decisiones. Los SATD, además, son un instrumento de comunicación para la transferencia y el uso eficiente de las tecnologías de la información y la comunicación o TIC, que son el conjunto de tecnologías desarrolladas para gestionar información y enviarla a diferentes sitios o lugares.

Entre el 2013 y el 2017, la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica) desarrolló el proyecto Reducción del Riesgo y Adaptación al Cambio Climático, denominado MAPA por la sigla de Modelos de Adaptación y Prevención Agroclimática, financiado por el Fon-

do Adaptación, cuyo propósito fue el de contribuir a la reactivación económica de las zonas afectadas por la ola invernal, empoderando a los servicios locales de extensión y asistencia técnica con información agroclimática y tecnologías de manejo. Como un producto del proyecto, se desarrolló un sistema experto MAPA (SE-MAPA) con el propósito de incluir gran parte de la información del proyecto y contar con una herramienta que conlleve a la lógica de pensamiento del enfoque de un sistema de apoyo a la toma de decisión agroclimáticamente inteligente.

El sistema está conformado por dos escalas: una regional, que incluye la información departamental y municipal, y una escala local a nivel de cultivo de la parcela vinculada al producto “Plan de manejo integrado de las cadenas productivas priorizadas en los proyectos de reactivación económica” de MAPA. En consecuencia, el SE-MAPA brinda apoyo a escala regional y local para la selección de opciones tecnológicas con base en la identificación del daño sobre el sistema de producción como consecuencia de la probabilidad de ocurrencia espacial y temporal de un fenómeno agroclimático adverso, específicamente, para excesos y déficits de agua en el suelo.

Desarrollo teórico y metodológico

El SE-MAPA se concibe como una herramienta tecnológica, con el enfoque de agricultura climáticamente inteligente (ACI)⁴ que contribuye con conocimiento experto al aumento de la capacidad local de tomar decisiones encaminadas a mejorar la adaptación de los sistemas de cultivo al cambio climático y la variabilidad climática.

⁴Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la agricultura climáticamente inteligente busca promover la seguridad alimentaria y aumentar la productividad de los sistemas agrícolas, permitiendo que los rendimientos sean más estables y que a largo plazo tengan mayor resiliencia a los riesgos, las crisis y la variabilidad climática (2013).

De esta manera, se puede contar con información agroclimática y de opciones tecnológicas basadas en tecnologías previamente seleccionadas a partir de información bibliográfica y conocimiento experto, bajo un enfoque de construcción participativa local.

El SE-MAPA se compone de tres módulos:

- El módulo A, denominado “SE-MAPA estudiemos el territorio”, tiene como objetivo fortalecer la capacidad técnica de los asistentes técnicos (AT) a través de la sistematización de los resultados más relevantes del proyecto MAPA, como la caracterización y el análisis de la variabilidad climática para precipitación y temperatura a escala departamental, la identificación de zonas de aptitud agroclimática para cultivos y una serie de opciones tecnológicas seleccionadas para ser implementadas, con el fin de mejorar la capacidad adaptativa frente a condiciones restrictivas por exceso o déficit de humedad del suelo.
- El módulo B, denominado “Agua-rendimiento”, posibilita de manera pedagógica la estimación de las tendencias de productividad-rendimiento, inicialmente en los cultivos de tomate, papa, plátano, maíz y frijol, a partir de la utilización de datos climáticos (precipitación, temperatura máxima y mínima a escala diaria) de algunas estaciones meteorológicas a lo largo del territorio nacional en años de clima contrastante (periodos El Niño, La Niña y de neutralidad) y de suelos, considerando sus propiedades físicas definidas en tres clases texturales (arena, arcilla y limo) para determinar los rangos de capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y densidad aparente (Da).

El modelo está basado en los documentos de la FAO *Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos* (Doorenbos et al., 1979) y *Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos* (Allen, Pereira & Races, 2006).

- El módulo C o “Glosario” se concibe como un catálogo de términos que son utilizados o se han desarrollado bajo el enfoque metodológico del proyecto MAPA. Cada palabra está acompañada de una definición breve, una definición amplia y una fuente e información de apoyo. Los términos contenidos hacen factible la ampliación de los conceptos y relaciones, brindando al usuario claridad sobre la información, lo que hace que contribuya al entendimiento y apropiación teórica y técnica del enfoque temático de MAPA.

A continuación se presentan las fases metodológicas utilizadas para la construcción e implementación de los sistemas expertos ajustadas para el desarrollo del SE-MAPA: 1) diseño y formulación; 2) desarrollo y construcción del sistema; 3) verificación y validación participativa del sistema y 4) difusión y uso del sistema (figura 1).

El diseño y la formulación del proceso metodológico abarcan la definición de los objetivos y el propósito del sistema, donde se identifica el problema y se establecen los componentes y las medidas de efectividad que se usarán en la evaluación del modelo. Así mismo, se plantea un análisis del sistema con el fin de entender sus partes, sus relaciones y los factores relevantes que afectan el problema bajo estudio.

El desarrollo y la construcción del sistema es la fase de organización de los



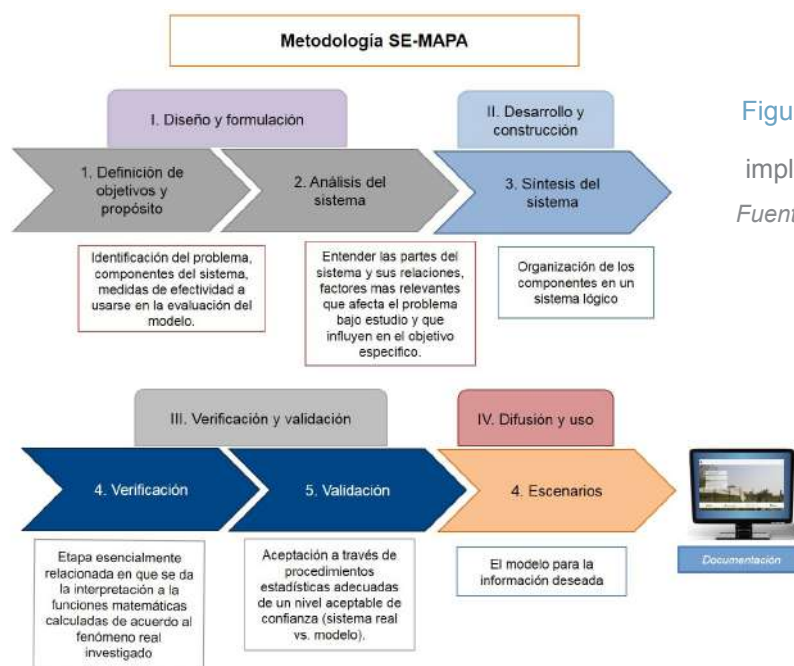


Figura 1. Fases metodológicas para la construcción e implementación del SE-MAPA

Fuente: elaboración de los autores.

componentes en un sistema lógico; esto se realizó a partir de en un conjunto de tareas agrupadas en pequeñas etapas repetitivas o iterativas que a la vez posibilitan el desarrollo de porciones más pequeñas, retroalimentando así lo aprendido en previas versiones. A partir de esta metodología, se integraron los diferentes departamentos con sus sistemas de cultivo, de acuerdo con la información disponible, por etapas repetitivas y realizando las respectivas verificaciones y ajustes por región y cultivo.

La verificación y la validación facilitan valorar algunas de estas características y mejorar la confianza en los resultados que genera el sistema. El proceso se da a través de ejercicios que incluyen personas con conocimiento sobre uno o más aspectos del sistema con el fin de aceptar un nivel de confianza del SE-MAPA (sistema real vs. el modelo).

La difusión es una de las etapas importantes en el desarrollo del SE-MAPA, como pieza formativa en el conocimiento de la herramienta que promueve los objetivos, los alcances, las disposiciones y los contenidos del sistema.

El módulo A: SE-MAPA estudiamos el territorio

Es el módulo que contiene la información espacial y está enfocado al conocimiento del territorio en el contexto agroclimático. La información cartográfica integrada en el SE-MAPA a escala de departamento incluye parte de los resultados generados en el análisis climático del proyecto. Esta información se integra de manera tal que guarda un orden lógico, describiendo, en principio, la caracterización climática, luego la variabilidad climática interanual relacionada al fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENOS, o ENSO en inglés) y, por último, las amenazas agroclimáticas. En la tabla 1 se muestra la estructura de la información cartográfica integrada en el SE-MAPA.

Entre los principales logros de la escala regional por departamento figuran la caracterización climática de 7 variables para 18 departamentos, la estimación de la tendencia histórica de las anomalías de las precipitaciones y las temperaturas (máxima media, media y mínima media) bajo condiciones de El Niño y La Niña, la identificación de la susceptibilidad territorial a excesos y

deficiencias, así como la susceptibilidad a las inundaciones e inundaciones presentadas en el periodo 2010-2011.

La información cartográfica integrada en el SE-MAPA a nivel municipal comprende parte de los resultados generados por el producto “Indicadores locales de vulnerabilidad de los sistemas productivos” del proyecto. Dicha información fue integrada de manera tal que guardara un orden lógico, describe algunas manifestaciones en el territorio de los excesos y las ausencias de lluvias (inundaciones y sequías), denominadas *amenazas agroclimáticas*, así como el impacto del déficit o del exceso de agua en el suelo, directamente sobre el sistema de cultivo priorizado en el municipio, que se denomina *riesgo agroclimático*. En la tabla 2 se muestra la estructura de la información cartográfica integrada en el SE.

Dentro de lo más destacado a nivel municipal está la elaboración de mapas de pérdida o estabilidad (anomalía) del índice de vegetación de diferencia normalizada o NDVI, por la sigla en inglés de *normalized difference vegetation index*, durante un fenómeno El Niño respecto a una condición normal. Se logró confeccionar escenarios de información mensual de las limitantes de suelo asociadas al grado de la amenaza en términos de probabilidad (baja, media o alta), se detectaron áreas con características agroclimáticas apropiadas para la producción agropecuaria, dada la baja exposición espacial y temporal a condiciones de humedad restrictivas a nivel municipal, y se seleccionaron opciones tecnológicas para cada sistema productivo frente a escenarios climáticos. También se generaron mapas de la distribución espacial que integran datos del mayor número posible

Tabla 1. Información cartográfica integrada en el SE-MAPA a escala de departamento

<i>Tipo</i>	<i>Justificación</i>
Caracterización climática	En la actividad agrícola es importante contar con información climática de las zonas de interés, por lo tanto, se presenta la distribución espacial anual promedio de las diferentes variables climáticas importantes para los cultivos y la ganadería. Esto como herramienta para hacer el mejor uso de los recursos y reducir los impactos ambientales.
Variabilidad climática interanual	La variabilidad climática tiene en cuenta las fluctuaciones en el clima durante ciertos periodos en los cuales se tienen valores por encima o por debajo de lo normal en las diferentes variables meteorológicas. Las distintas regiones del país son altamente influenciadas por los efectos de la variabilidad interanual relacionada con el fenómeno de El Niño y La Niña. En consecuencia, en la actividad agrícola es importante, además de contar con información climática, conocer su variabilidad.
Amenazas agroclimáticas	Además del conocimiento de las condiciones climáticas de una zona y su variabilidad, es importante estimar los análisis agroclimáticos; por consiguiente, en esta sección se presentan la frecuencia de excesos y déficits y la susceptibilidad a las inundaciones.

Fuente: elaboración de los autores.



Tabla 2. Información cartográfica integrada en el SE-MAPA a escala de municipio

<i>Tipo</i>	<i>Capa</i>	<i>Justificación</i>
Amenazas agroclimáticas	Análisis de contracción de cuerpos de agua	Las capas indican cuál ha sido el comportamiento de los cuerpos de agua bajo eventos El Niño, donde se presume contracción, y La Niña, donde se supone que pueda darse una expansión, en comparación con la línea base del Instituto Geográfico Agustín Codazzi a escala 1:25.000 a través de la interpretación de imágenes de sensores con resolución espacial entre 5 y 10 m por pixel.
	Análisis de expansión de cuerpos de agua	
	Análisis de condiciones secas a través del cálculo de anomalía del NDVI	La capa indica la pérdida o estabilidad del NDVI, que no es más que 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 un evento El Niño u otras alteraciones océano-atmosféricas) que reflejan el estado de la vegetación en su capacidad fotosintética. Una condición severa considera un porcentaje de pérdida del NDVI mayor al 25%, lo que significa que en las plantas hay una alta disminución en su capacidad fotosintética que repercute en su desarrollo; no obstante, si el porcentaje es menor al 5% se considera estable.
Riesgos agroclimáticos	Aptitud agroclimática (excesos, normal y déficit)	El análisis consiste en la búsqueda de los nichos productivos óptimos por cada escenario (exceso, normal y déficit) por cultivo priorizado a través de la integración del análisis de aptitud de uso del suelo con el análisis de disponibilidad hídrica a partir del cálculo del índice de severidad de sequía de Palmer (PDSI, por su sigla en inglés).
	Escenarios agroclimáticos (exceso, normal y déficit)	Si bien las capas que describen cada uno de los escenarios agroclimáticos son generadas a partir de la identificación del nicho productivo óptimo del análisis de aptitud agroclimática, este análisis es realizado para el ciclo productivo predominante en la zona, si es un cultivo transitorio o en ventanas de mayores y menores lluvias si es un cultivo permanente.

Fuente: elaboración de los autores.

de estaciones meteorológicas, así como el análisis de los patrones de variabilidad temporal a escala regional en los municipios priorizados. Otro logro relevante fue la

vinculación de los planes de manejo agroclimático integrado de los sistemas productivos priorizados.



La identificación de zonas de aptitud agroclimática, que son las áreas con menor riesgo agroclimático para un cultivo, se consideraran como un insumo de planificación a nivel regional para la toma de decisiones. Dada la escala general en que se trabajó, se realizaron revisiones y verificaciones participativas de la zonificación a escala municipal, a través de la cartografía social con productores de las zonas, verificando las áreas y delimitando la ubicación correcta de las zonas con mayor aptitud.

Conclusiones

El SE-MAPA es una plataforma de aprendizaje bajo un enfoque pedagógico de relación de conceptos de riesgos agroclimáticos, y es también la culminación de los diferentes planes de manejo de los sistemas de producción priorizados por el proyecto MAPA. El marco teórico del SE-MAPA facilita entender el concepto de jerarquía de la integración de la escala regional y local a través de sus tres módulos: el primero orienta el conocimiento, la comprensión del territorio y promueve una adecuada cultura territorial; un segundo módulo de produc-

tividad-rendimiento posibilita entender las tendencias del balance hídrico al ingresar datos reales y precisos, facilitando, a su vez, entender los conceptos de agroclimatología, desde la humedad del suelo hasta la eficiencia del uso de agua; y un tercer módulo, el glosario especializado, facilita el entendimiento de los términos usados en el sistema en forma jerárquica.

El SE-MAPA cuenta con información disponible para 18 departamentos a escala regional sobre cartografía de los patrones agroclimáticos mensuales por escenario de variabilidad climática, y de los riesgos agroclimáticos asociados al exceso y el déficit de agua. Esto representa la información base para iniciar los procesos de fortalecimiento de capacidades internas y externas para focalizar y priorizar las medidas tecnológicas de adaptación y mitigación por cultivo, crianza y territorio.

A escala de municipio se integró la información cartográfica de amenazas agroclimáticas y riesgos agroclimáticos de 54 municipios priorizados que relaciona 54 sistemas productivos y la información de opciones tecnológicas y planes de manejo.



Bibliografía

- 
- Allen, R., Pereira L. & Races L. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Estudios FAO Riego y Drenaje N° 56. Roma: FAO. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/009/x0490s/x0490s00.htm>
- Beynon, M., Rasmequan, S. & Russ, S. (2002). A new paradigm for computer-based decision support. *Decision Support Systems*, 33(2), 127-142.
- Breuer, N., Fraisse, C. & Zierden, D. (2010). *Los pronósticos climáticos y la toma de decisiones en agricultura*. IFAS Extension AE 463. Gainesville: Servicio de Extensión Cooperativa de la Florida, Instituto de Alimentos y Ciencias de la Universidad de la Florida.
- Doorenbos, J., Kassam, A.H., Bentvelsen, C.L.M., Branscheid, V., Plusje, J.M.G.A. (1979). *Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos*. Estudios FAO Riego y Drenaje N° 33. Roma: FAO.
- Hurtado, G. & Cadena, M. (2002). Aplicación de índices de sequía en Colombia. *Meteorología Colombiana*, 5, 131-137. Recuperado de http://ciencias.bogota.unal.edu.co/fileadmin/content/geociencias/revista_meteorologia_colombiana/numero05/05_15.pdf.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2013). *¿Qué es la agricultura climáticamente inteligente?* FAO - economía e innovaciones políticas para una agricultura climáticamente inteligente (EPIC). Recuperado de <http://www.fao.org/climatechange/epic/que-hacemos/que-es-la-agricultura-climaticamente-inteligente/es/#.We9pNmjWzIV>.
- Simon, H. (1960). *The new science of management decision*. Nueva York: Harper & Row.

