

## Aptitud agroclimática e identificación de nichos productivos de bajo riesgo a deficiencias hídricas para aguacate en El Tambo, Colombia

F. E. Martínez<sup>1</sup>, L. Y. Deantonio<sup>1</sup>, E. Aguilera<sup>1</sup>, G. Araujo<sup>1</sup>, L. Ortiz<sup>1</sup>, E. O. Rojas<sup>1</sup>, M. Gamboa<sup>2</sup> y F. Boshell<sup>3</sup>

<sup>1</sup>. Proyecto MAPA – Unidad de Agroclimatología, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA, Mosquera, Colombia.

<sup>2</sup>. Proyecto MAPA, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA, Espinal, Colombia.

<sup>3</sup>. Asesor. Unidad de Agroclimatología. CORPOICA, Mosquera, Colombia.

### RESUMEN

Se realizó la zonificación de la aptitud agroclimática del municipio de El Tambo para el cultivo Aguacate (*Persea americana*) mediante la sobreposición de la cartografía de aptitud de uso de los suelos para el cultivo y la cartografía de probabilidad mensual de ocurrencia de tres condiciones de humedad en el suelo para el cultivo: adecuada y restrictiva por exceso y déficit hídrico. La cartografía de probabilidad se construyó mediante balances hídricos generados a partir del Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI) calculado para cada mes de ciclo productivo de cultivo durante la serie 1980 a 2011. Se identificaron y delimitaron áreas que presentaran menores limitaciones por suelo y bajas probabilidades de condiciones de humedad restrictiva para el cultivo. Los resultados indican que bajo condiciones de déficit hídrico hay 49331,68 ha en el primer semestre y 68369,20 ha en el segundo semestre para Aguacate (*Persea americana*). Estas áreas están sujetas a prácticas de corrección acidez e implementación de estrategias de manejo del Riego.

Palabras clave: Exposición, Riesgos Agroclimático, Planificación territorial.

### INTRODUCCIÓN

El aumento en la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos, ha conducido a frecuentes condiciones de excesos y deficiencias de agua con impactos negativos sobre la producción agropecuaria (IPCC, 2012) debido a la reducción del crecimiento y desarrollo de las plantas por efecto del estrés hídrico (Nuruddin et al., 2003) y por el aumento de la incidencia de plagas, enfermedades y arvenses (CORPOICA, 2013). Las inundaciones y sequías fueron responsables del 74.7% de impactos en cultivos y el 94.2% en ganadería (FAO 2015). En Colombia, la variabilidad climática interanual asociada con El Fenómeno El Niño Oscilación del Sur ENOS (Fases positiva y negativa El Niño y La Niña respectivamente) ha ocasionado pérdidas económicas y ambientales afectando principalmente al sector Agropecuario (CCI, 2011). Por citar solo un caso, la ola invernal 2011-2012 afectó 13,3 millones de metros cuadrados de infraestructura agropecuaria en el país, con un impacto aproximado \$550000 millones de pesos.

Según diferentes estudios para el año 2050 los cambios en el clima afectarán el 80% de los cultivos en más del 60% de las áreas de producción de Colombia, y el cambio climático pondrá en riesgo el sustento de casi 3.5 millones de personas que dependen de este sector agropecuario en el país (CIAT, PNUD, 2011). Frente a estos escenarios, la zonificación de aptitud agroclimática del territorio constituye una estrategia de manejo del riesgo que orienta la implementación de medidas preventivas y de adaptación frente a las adversidades climáticas (Brunini, O. et al. 2010). En general la mayoría de metodologías para la zonificación de aptitud agroclimática que tienen en cuenta el suelo dentro de su análisis, incluyen información ya sea de parámetros de capacidad de almacenamiento de agua o de aspectos físico-químicos más no una integración de ambos. Por lo anterior el objetivo de este trabajo fue establecer una metodología para zonificar la aptitud agroclimática del territorio para diferentes especies agrícolas en Colombia, integrando la capacidad de almacenamiento de agua del suelo, la aptitud de uso con base en aspectos físico – químicos del suelo y las posibles restricciones asociadas con excesos y deficiencias de agua en el suelo. La metodología se aplicó en el municipio del El Tambo, en el departamento del Cauca, Colombia.

### MATERIALES Y MÉTODOS

La zonificación de la aptitud agroclimática se realizó teniendo en cuenta la definición sobre riesgos agroclimáticos (IPCC, 2012), que se basa en la exposición del cultivo a eventos climáticos extremos (definida por su ubicación en el territorio) y la sensibilidad de la especie al estrés hídrico. La metodología se basó en la sobreposición de dos tipos de análisis para el cultivo. El primero por aptitud de uso de los suelos (FAO, 1976) y el segundo por probabilidad de ocurrencia de tres condiciones de humedad en el suelo (adecuada, exceso y déficit hídrico) en las etapas fenológicas de mayor sensibilidad del cultivo a estrés hídrico (Tabla 1). La probabilidad de se calculó a partir de las series históricas mensuales del índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI) (Palmer W., 1965) durante un periodo de 32 años (1980 a 2011). El cálculo del índice de Palmer se generó a partir de la interpolación de los promedios mensuales de la ETo (FAO, 2006) calculados con las series históricas mensuales de las variables precipitación, temperatura máxima media, temperatura mínima media y temperatura media, humedad relativa y brillo solar registradas por 8 estaciones pertenecientes a la red de observación meteorológica del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM disponibles en el área de análisis (Tabla 1).

Tabla 1. Ciclos productivos y etapas fenológicas del cultivo de Aguacate (*Persea americana*) en el municipio El Tambo (Cauca, Colombia)

Etapa Fenológica	Duración (días)	Condición de humedad en el suelo restrictiva por déficit hídrico en el suelo											
		Ventana de Análisis											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
primera floración (productiva)	12 días												
formación y llenado del fruto	30 - 40 días												
cosecha	60 días												

Se realizó la sobre posición de la cartografía de aptitud de usos de los suelos para Aguacate (*Persea americana*) con la cartografía de probabilidad de ocurrencia de condiciones de humedad del suelo ligeramente restrictivas y restrictivas (exceso y déficit hídrico) (ArcGIS 10.1).

Con las salidas sobrepuestas generados para cada condición de humedad del suelo (ligeramente restrictiva y restrictiva por exceso y déficit de agua), se identificaron: a) áreas que persistentemente registran alta probabilidad de exceso y déficit de agua; b) áreas que persistentemente registran baja probabilidad de exceso y déficit de agua y c) áreas que persistentemente registran alta probabilidad de humedad ligeramente restrictiva. Los resultados de la aptitud de uso de los suelos para el cultivo y la probabilidad de ocurrencia de humedad del suelo adecuada o restrictiva (exceso y déficit hídrico) fueron interpretados mediante funciones de análisis espacial del software ArcGIS 10.1 y la herramienta central de visualización y exploración de datos ArcMAP™ (Huisman y de By, 2009).

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Aptitud de uso de suelo para el cultivo de Aguacate (*Persea americana*)

En el municipio El Tambo el 21% del área (7.409 ha aprox.) corresponde a la clase A1, es decir, no presenta ninguna restricción para el establecimiento del cultivo de Aguacate (*Persea americana*). Con aptitud moderada se estiman unas 5.824 ha (16% del municipio), las cuales están condicionados a manejo especial por acidez y aluminio. No se identificaron áreas con aptitud marginal (A3). El 63% del municipio (22.420 ha) fueron clasificadas como no aptas (no recomendadas para el cultivo), se descartaron en su mayoría por piso térmico, además de pendiente y profundidad (Figura 1).

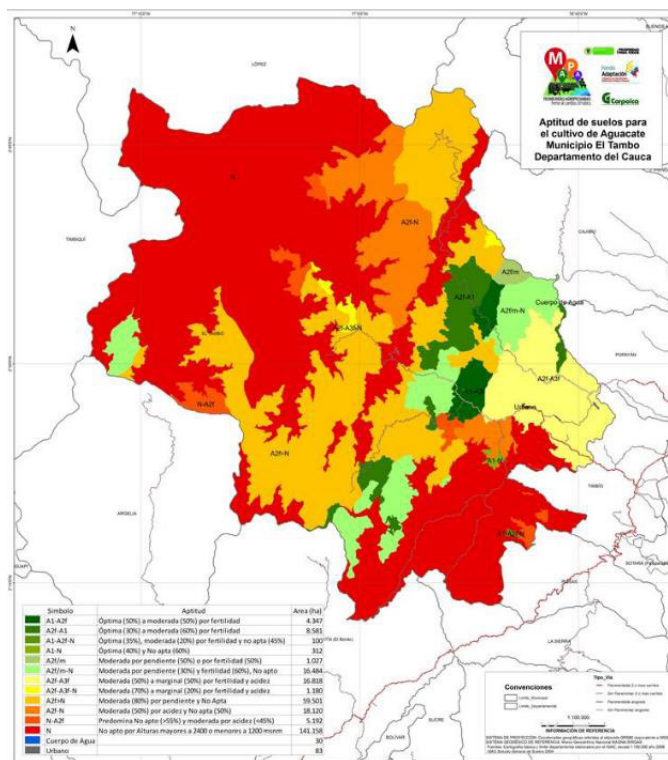


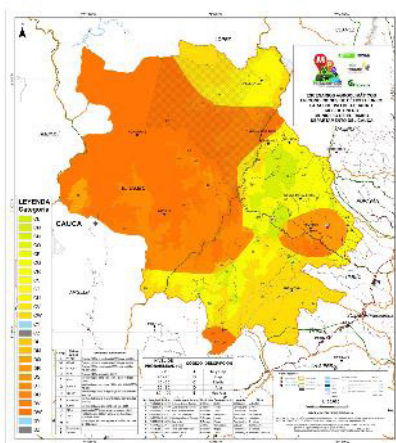
Figura 1. Aptitud de uso de los suelos para cultivo de Aguacate (*Persea americana*) en el municipio de El Tambo (Cauca).

**Probabilidad de ocurrencia de condiciones de exceso hídrico en el suelo**

Durante los 12 meses se observa una buena parte del área del municipio con predominio de probabilidades entre 60 y 80%. Esto indica que el municipio es altamente susceptible a déficit extremos de agua en el suelo. En el primer semestre hay una mayor área expuesta del municipio a eventos extremos de déficit hídrico (tonos naranja, 60 – 80%) en el suelo que abarca principalmente la región del Río Micay. Esto supone una mayor exposición del cultivo a estas condiciones y una mayor probabilidad de efectos negativos sobre la primera temporada de floración, fructificación y primer pico de cosecha. En el segundo semestre, pese a que predomina la probabilidad media (tonos amarillos, 40 – 60%), se observan probabilidades entre 60 y 100% de ocurrencia de excesos hídricos extremos (tonos naranja y rojos) principalmente en la región del Río Micay. Se observan áreas con probabilidades menores al 40% en la región alto cauca que limita con Timbio (Figura 2).

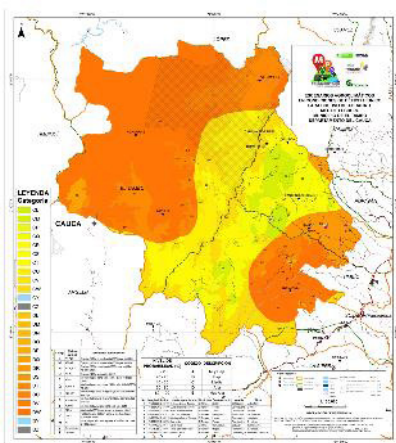
**Enero**

*formación y llenado de fruto; puco de cosecha*



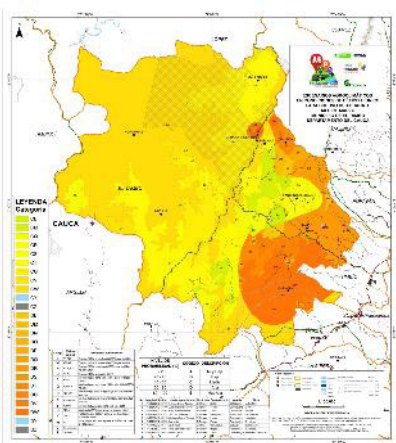
**Febrero**

*floración; formación y llenado de fruto, cosecha*



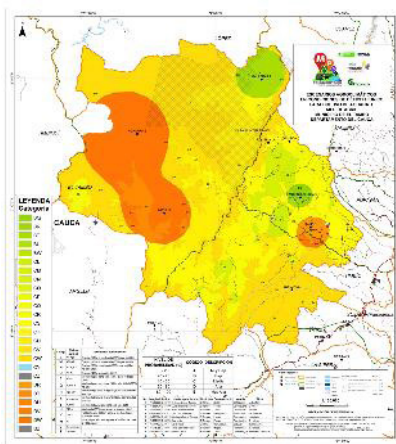
**Marzo**

*pico de floración; pico de formación y llenado de fruto; cosecha*



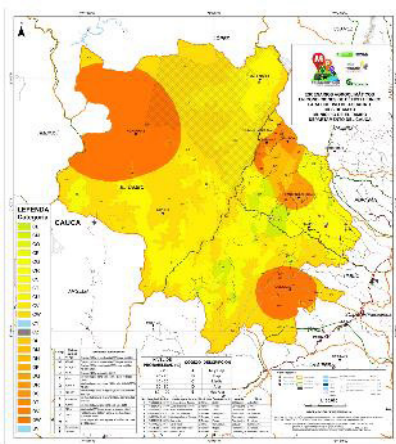
**Abril**

*Pico de floración; pico de formación y llenado de fruto*



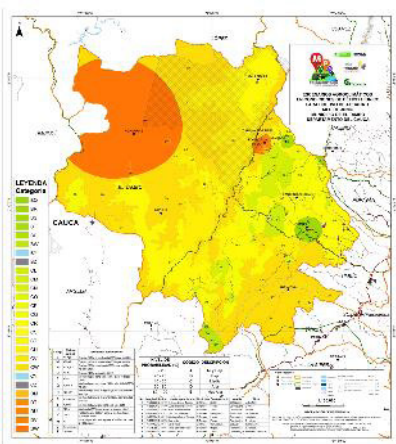
**Mayo**

*Pico de floración; pico de formación y llenado de fruto; cosecha*



**Junio**

*pico de formación y llenado de fruto; pico de cosecha*



**Julio**

*formación y llenado de fruto; pico de cosecha*



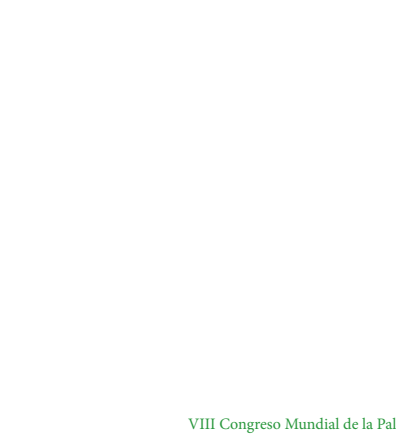
**Agosto**

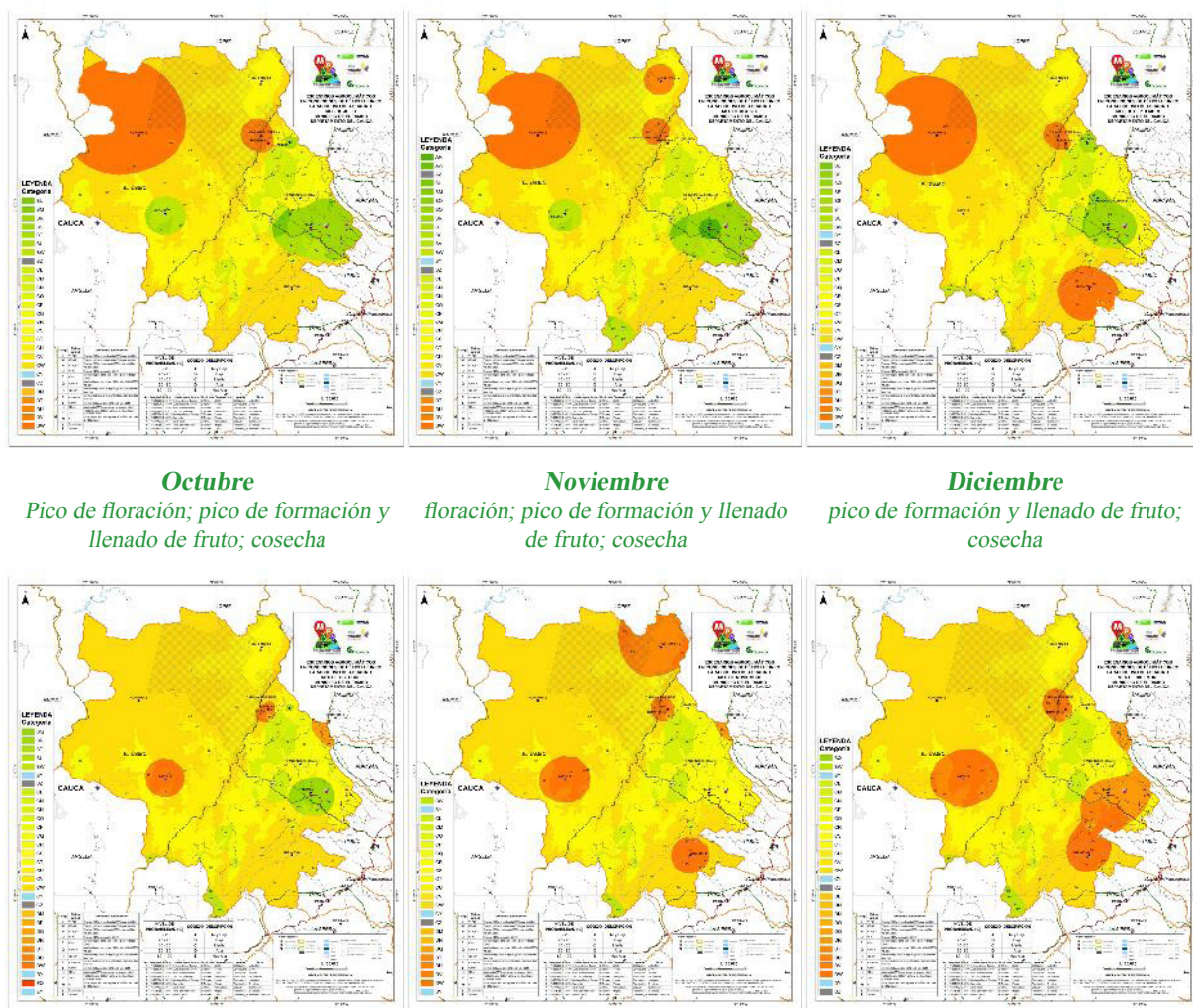
*pico de floración; formación y llenado de fruto; cosecha*



**Septiembre**

*Pico de floración; pico de formación y llenado de fruto*





**Octubre**  
Pico de floración; pico de formación y llenado de fruto; cosecha

**Noviembre**  
floración; pico de formación y llenado de fruto; cosecha

**Diciembre**  
pico de formación y llenado de fruto; cosecha

**Figura 2. Aptitud de suelos y probabilidad de ocurrencia de déficit hídrico para el cultivo de Aguacate (*Persea americana*) en el municipio de El Tambo**

**Aptitud agroclimática bajo una Condición de exceso hídrico en el suelo**

Bajo condiciones de déficit hídrico se identificaron como áreas de bajo riesgo agroclimático (Áreas en tonos verdes):

Nicho productivo optimo o con leves restricciones, área que para el primer semestre ocupa el 18,1% (49331,68 ha) del área total del municipio (272932,33 ha) (Figura 3) y para el segundo semestre el 25% (68369,20 ha) (Figura 4). Presenta unidades de suelos condicionados a manejo especial por condiciones de acidez y contenidos de aluminio relativamente altos. Hay una probabilidad media de ocurrencia de déficit hídrico en el suelo para el cultivo (PDSI > 2) < 60% en la mayoría de meses del año. Pese a que no son meses de riesgo extremo, es probable que se afecten la formación de yemas, el desarrollo del órgano floral, la floración y desarrollo del fruto. En el primer semestre el incremento en la probabilidad de exceso hídrico (60 - 80%), principalmente en enero y febrero podría afectar fuertemente etapas tempranas del crecimiento reproductivo y durante todo el crecimiento de frutos lo cual sugiere la implementación de estrategias de manejo de riego y de control de plagas.

Estas áreas pueden emplearse para el cultivo de aguacate si se aplican prácticas de corrección de pH frecuentes que mejoren su aptitud a mediano y largo plazo y se llevan a cabo prácticas agronómicas (manejo de plagas y nutricional) y de implementación de sistemas de riego de alta eficiencia en los meses en donde tradicionalmente, se presentan déficits extremos de agua en el suelo (primer semestre).

Áreas condicionadas a prácticas de manejo y conservación de suelos y alta exposición a déficit hídrico, en el primer semestre ocupa el 15,8% (43043,82 ha) del área total del municipio (272932,33 ha) (Figura 11) y en el segundo semestre el 8,8% (272932,33 ha). Presenta unidades de suelos condicionados a manejo especial por condiciones de acidez y contenidos de aluminio relativamente altos además de una alta probabilidad >60% de deficiencias hídricas en toda la ventana de análisis, principalmente en el primer semestre. Bajo esta condición puede acentuarse el fenómeno conocido como alternancia productiva. La pérdida de hojas, flores y frutos genera que las reservas del árbol sean usadas en menor cantidad, por lo cual quedan disponibles para el siguiente ciclo productivo. Al haber mayor disponibilidad de carbohidratos se propicia una mayor floración, cuajado de frutos y cosecha. Una vez se inicia este proceso, el comportamiento se puede tornar cíclico (un período de alta producción seguido por un periodo de baja producción) (Romero, 2012). Un efecto importante del déficit hídrico es el incremento de la concentración de etileno acelerando la tasa de respiración (cerca del 25% - 40%) y por consiguiente de maduración de los frutos (Forero & Garcia, 2007).

Como áreas de mayor riesgo agroclimático para el cultivo se identificaron (en tonos naranja y rojo):

Área con suelos no aptos, ocupa el 19,4% (52895,4 ha) del área total del municipio (272932,33 ha) en el primer semestre (Figura 11) y 37,8% (103074,28 ha) en el segundo semestre. Estas áreas están limitadas en su mayoría por condiciones de suelo como pendiente, profundidad efectiva y la mayor parte de estos, por alturas superiores a las adecuadas para el desarrollo de este cultivo.

Área con suelos no aptos y alta exposición a exceso hídrico, área que para el primer semestre ocupa el 46,8% (127661,43 ha) del área total del municipio (272932,33 ha) (Figura 11) y para el segundo semestre el 28,4% (77500,75 ha). Son áreas no recomendadas para el cultivo de aguacate debido a fuertes limitaciones por altitud, pendiente, profundidad y altas probabilidades de déficit hídrico en todo el ciclo productivo del cultivo.

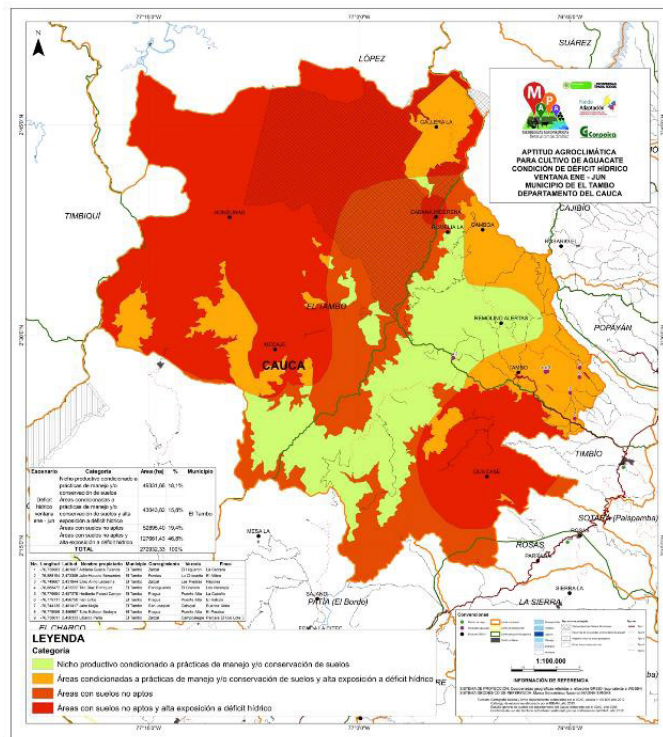


Figura 3. Aptitud agroclimática en ventana enero - junio del municipio El Tambo (Cauca) en condiciones de déficit hídrico en el suelo para el cultivo de aguacate.

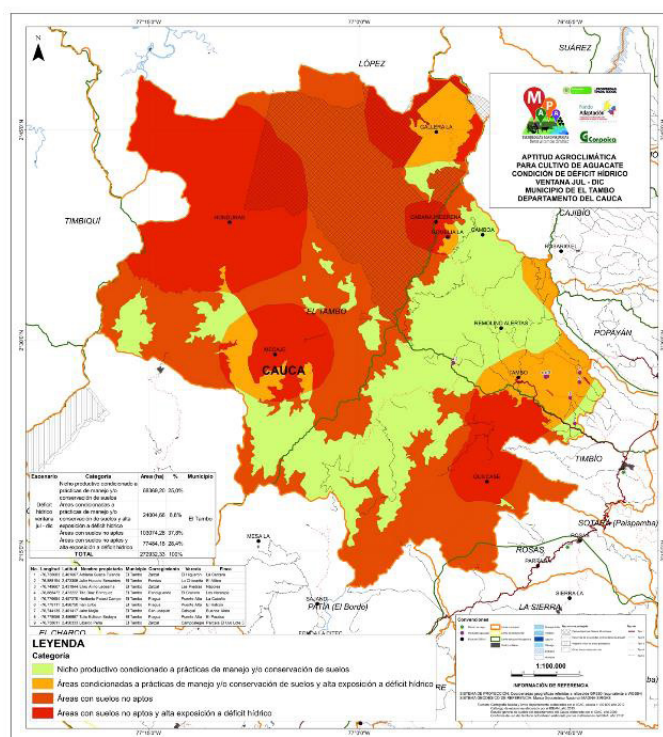


Figura 4. Aptitud agroclimática en ventana julio - diciembre del municipio El Tambo (Cauca) en condiciones de déficit hídrico en el suelo para el cultivo de aguacate.

Este estudio presenta una metodología para la identificación de áreas de bajo riesgo agroclimático para la producción de aguacate, mediante la combinación entre la aptitud de suelos, la probabilidad de que en el suelo se presente una humedad adecuada ó restrictiva para el cultivo y la sensibilidad de la especie a excesos y deficiencias de agua en el suelo. Este análisis se fundamentó en el concepto de balance hídrico categorizado cualitativamente mediante el PDSI (Palmer, 1956) el cual integra la capacidad de almacenamiento de agua de suelo local. Otros autores como Camargo y Ortolani (1964), Brunini et al. (2008a); Brunini et al. (2008b) y Brunini et al. (2009) emplearon registros climáticos anuales y mensuales para determinar parámetros como evapotranspiración actual, déficit y excesos hídricos de acuerdo con Thornthwaite y Mather (1955). En particular Brunini y Caputi (2001) incluyen la capacidad del almacenamiento de diferentes tipos de suelo para mejorar la precisión del cálculo del balance hídrico. Actualmente existen diversas aproximaciones para la zonificación de la aptitud agroclimática que incluyen principalmente índices agroclimáticos como por ejemplo la planteada por Yazdanpanah et al. (2001) quienes delimitaron áreas con mayor aptitud agroclimática para el almendro en secano la zonificación agroclimática de la provincia Azarbayjan-Sharg calculando índices como probabilidad de daño de yemas y flores por frío, probabilidad de lluvias mayores a 250 mm, relación entre precipitación anual y precipitación en verano y primavera, probabilidad de ocurrencia de grados día mayores de 3500 GDD (temperatura base 0°C) e índice de humedad disponible.

La implementación de políticas públicas para el desarrollo agrícola debe incluir el análisis del potencial climático y edáfico de una región asociado al riesgo agroclimático (Brunini, O. et al. 2010). En este sentido la zonificación de aptitud agroclimática es una herramienta que permite identificar las oportunidades ambientales para el establecimiento de sistema de producción en escenarios de amenazas derivadas de la variabilidad climática.

## CONCLUSIONES

Los resultados contribuyen a la identificación de áreas productivas que podrían verse más afectadas con aumentos o disminuciones excesivos de precipitación fruto de eventos de variabilidad climática asociadas y no asociadas a ENSO. Así mismo dan un panorama de riesgo que soporta la implementación de políticas públicas que promuevan desde el uso de infraestructura de riego y drenaje, hasta la aplicación de prácticas de manejo agronómico que mitiguen el impacto de eventos de exceso y déficit hídricos.

La metodología presentada aplica un proceso de cálculo de balance hídrico complejo como el PDSI a aplicaciones agrícolas, haciendo uso de una escala mensual de datos climatológicos de 30 años, asociado a la metodología de evaluación de tierras de la FAO a escala 1:100000. Como resultados se obtienen mapas de aptitud agroclimática con aplicaciones prácticas para la toma de decisiones de sector agropecuario colombiano.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la entidad financiadora del Proyecto MAPA (Modelos de Adaptación y Prevención Agroclimática) Fondo Adaptación, y al equipo de la Unidad de Agroclimatología del Centro de Investigación Tibaitatá de Corpoica.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Brunini, O, Carvalho, J.P, Brunini, A, Padua Junior, A., Adami, S.F, Abramides, P.L.G. 2010. Agroclimatic zoning and climatic risks for sugarcane in Mexico: a preliminary study considering climate change scenarios, Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol, Vol. 27, 1-1. Documento en: // [www.ciiagro.sp.gov.br/zoneamento/2008/Zoneamento2008a.htm](http://www.ciiagro.sp.gov.br/zoneamento/2008/Zoneamento2008a.htm)
- Brunini, O, Pádua Junior, A.L, Carvalho, J.P, Prado, H, Brunini, A.P.C, Landell, M.G. 2008<sup>a</sup>. Aptidão edafoclimática da cultura da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, Obtenido: Agosto 15, 2015.
- Brunini, O & Caputi, E. 2001. Software for estimation of the water balance, Fundação de Apoio à Pesquisa Agrícola, São Paulo, Brazil.
- Brunini, O, Carvalho, J.P, Brunini, A, Padua Junior, A.L, Adami, S.F, Abramides, P.L.G. 2010. Agroclimatic zoning and climatic risks for sugarcane in Mexico: a preliminary study considering climate change scenarios, Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol, 27, 1-13.
- Documento en: [http://www.ciiagro.sp.gov.br/Zoneamento\\_Agroambiental/index.htm](http://www.ciiagro.sp.gov.br/Zoneamento_Agroambiental/index.htm)
- Brunini, O, Pádua Junior, A.L, Carvalho, J.P, Prado, H, Brunini, A, Viegas, R, Campanha, R. 2009. Zoneamento agroambiental da cultura da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, 2nd versión, Obtenido: Agosto 13, 2015.
- CCI. 2011. Impacto de la ola invernal sobre el sector agropecuario segundo semestre. Bogotá: Corporación Colombia Internacional (CCI).
- CIAT, PNUD. 2011. Evaluación de Flujos de Inversión y Financiamiento para Acciones de Mitigación y Adaptación en el Sector Agropecuario. 13p
- Corpoica. 2013. Informe ejecutivo. Plan para el manejo de los impactos en el sector agropecuario ocasionados por la emergencia Invernal. Universidad Tecnológica Pedagógica de Colombia – UPTC, 4D Elements Consultores y Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – CORPOICA, Mosquera, CORPOICA, sede C.I. Tibaitatá
- Camargo, A.P., Ortolani, A.A. 1964. Clima das zonas canavieiras do Brasil. In: MALAVOLTA, E. et al. Cultura e adubação de cana-de-açúcar, São Paulo, POTAFOS. 121–138.

- FAO. 2015. The impact of natural hazards and disasters on agriculture and food and nutrition security. Brochure prepared for the World Conference on Disaster Risk Reduction in Sendai, Japan, 6p.
- FAO. 1976. A framework for land evaluation, FAO (Food and agriculture organization of United Nations), Soils bulletin, 32p.
- FAO. 2006. Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos, Estudio FAO, Riego y Drenaje Nro. 56, Roma.
- Forero, F & Garcia, J. 2007. situación y avances en la poscosecha y procesamiento del aguacate (*Persea americana* Mill), Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 1(2), 189 -200.
- IPCC. 2012. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation, Cambridge University Press.
- Nuruddin, M, Madramooto, C, Dodds, G. 2003. Effects of water stress at different growth stages on greenhouse tomato yield and quality, Hort Science (38), 1389-1393.
- Palmer, W. 1965. Meteorological Drought. Department of Commerce. Res. Paper, (45), 58.
- Romero, S. 2012. Comportamiento fisiológico del aguacate (*Persea americana* Mill.) variedad lorena en la zona de mariquita, Tolima. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Thornthwaite, C.W, Mather, J.R. 1955. The water balance-Centerton New Jersey USA, 104pp.  
Documento en: <http://geospatialworld.net/Paper/Application/ArticleView.aspx?aid=90>
- Yazdanpanah, H, Hajam, S, Khalili, A, Kamali, G. 2001. Agroclimatic zoning of Azarbayjan-Sharghi province for rainfed almond using GIS. Obtenido: Agosto 15, 2015.



# ACTAS • PROCEEDINGS

## VIII CONGRESO MUNDIAL DE LA PALTA 2015

del 13 al 18 de Septiembre. Lima, Perú 2015

[www.wacperu2015.com](http://www.wacperu2015.com)

