

■ Aptitud agroclimática e identificación de nichos productivos de bajo riesgo de déficit hídrico para aguacate en fresno, Colombia

F. E. Martínez¹, L. Y. Deantonio¹, E. Aguilera¹, G. Araujo¹, L. Ortiz¹, E. O. Rojas¹, M. Gamboa² y F. Boshell³

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

² Proyecto MAPA, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA, Espinal, Colombia.

³ Asesor. Unidad de Agroclimatología. CORPOICA, Mosquera, Colombia.

RESUMEN

Los fenómenos climáticos extremos asociados con los ciclos de variabilidad climática tipo ENSO (El Niño oscilación del Sur), El Niño y La Niña, han ocasionado importantes pérdidas económicas en la agricultura Colombiana. La identificación de zonas con menor exposición frente a amenazas agroclimáticas cobra importancia para la planificación territorial agropecuaria y la disminución de la vulnerabilidad de los cultivos frente a riesgos climáticos.

La identificación de nichos productivos se realizó teniendo en cuenta la definición del IPCC (2012) sobre riesgos agroclimáticos, basada en la exposición del cultivo frente a amenazas climáticas y su sensibilidad ante eventos de estrés hídrico. Este análisis integra la metodología de evaluación de tierras de la FAO, el cálculo de disponibilidad hídrica empleando el índice PDSI para el periodo 1980-2011 y un proceso de validación con los actores locales.

Se presenta un análisis para el cultivo de Aguacate (*Persea americana*) variedades Hass y Choquette en el municipio de Fresno, en el departamento del Tolima, Colombia. Las modelaciones se realizaron teniendo en cuenta los estados fenológicos más sensibles a estrés hídrico, en eventos climáticos normales, de exceso y déficit hídrico construidos a partir de la caracterización de la variabilidad climática de la zona. Se encontró que bajo una condición de normalidad hídrica hay alrededor de 21819 ha potencialmente utilizables para cultivo de aguacate con menor riesgo agroclimático. En una condición de excesos hídricos hay una importante reducción de la áreas potencialmente utilizables para cultivo de aguacate con menor riesgo agroclimático (1419 ha). Finalmente, bajo una condición de déficit hídrico, hay alrededor de 423 ha con bajo riesgo agroclimático, para el cultivo de aguacate. Este trabajo constituye una aproximación al estudio del riesgo agroclimático para planificar el uso agrícola del suelo en el territorio.

Palabras clave: Exposición, Riesgos agroclimático, Planificación territorial.

INTRODUCCIÓN

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). En los años 2010-2011 se presentó el fenómeno de La Niña el cual trajo consigo una prolongada época de lluvias que afectó fuertemente al sector. A partir de este, se formuló el proyecto MAPA (Modelos de Adaptación y Prevención Agroclimática) financiado por el Fondo Adaptación y ejecutado por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – CORPOICA.

La zonificación de riesgos agroclimáticos ha surgido como una estrategia territorial para generar políticas públicas y medidas de adaptación que permitan hacer frente a eventos climáticos extremos al sector agropecuario (Brunini, O. *et al.* 2010). Autores como Brunini, O. *et al.* 2010 y Yazdanpanah *et al.*, 2001 la consideran una herramienta clave para la determinación del potencial agrícola, la planificación territorial y el manejo de los suelos en áreas de producción agropecuaria.

En el marco del Proyecto MAPA se priorizó la identificación de los nichos productivos o áreas de bajo riesgo agroclimático de cultivos de importancia económica en el país como es el aguacate. Para ello se utilizó la definición del IPCC (2012), que se basa en el análisis de la exposición o ubicación del cultivo frente a eventos climáticos extremos y la sensibilidad de la especie al estrés hídrico. Para alcanzar este enfoque se realizan dos tipos de análisis para el aguacate, el primero por aptitud de uso de los suelos (FAO, 1976) y el segundo por probabilidad de ocurrencia de condiciones de humedad en el suelo restrictivas por déficit hídrico (Palmer, 1965) en las etapas fenológicas más sensibles a estrés hídrico. En este contexto el objetivo del presente trabajo fue implementar zonificar la aptitud agroclimática de Fresno para el cultivo de aguacate variedades Hass y Choquette e identificar los nichos productivos bajo condiciones de déficit de humedad en el suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La zonificación de la aptitud agroclimática se realizó teniendo en cuenta la definición sobre riesgos agroclimáticos (IPCC, 2012). Los pasos metodológicos fueron los siguientes:

1. Exclusión de áreas de protección legal. No se identificaron ni excluyeron áreas de protección legal (parques naturales, reservas forestales protectoras, reservas naturales de la sociedad civil).
2. Análisis de la aptitud de uso de los suelos para el cultivo de aguacate. Se utilizó la metodología de análisis de la (FAO, 1976) a escala general (1:100.000), en donde se comparan los requerimientos de los cultivos con la oferta edáfica del municipio de Fresno. La información municipal se obtuvo de la información disponible en el estudio general de suelos del departamento de Tolima (IGAC, 2004). Se generaron arboles de decisión para calificar la aptitud de uso de los suelos bajo las siguientes categorías: Óptima (A1), Moderada (A2), Marginal (A3) y No apta (N). Para la elaboración de los mapas de aptitud de uso de los se utilizó el programa ArcGIS 10.1.
3. Cálculo de la probabilidad de ocurrencia de condiciones de humedad en el suelo restrictiva por déficit hídrico en la ventana temporal de análisis (diciembre a agosto) (Tabla 1) que corresponde a las etapas fenológicas más sensibles a estrés hídrico de cultivos establecidos y en plena producción.

Tabla 1. Ventana temporal de análisis para el cultivo de aguacate en el municipio de Fresno (Tolima) durante condiciones de humedad del suelo con déficit hídrico

Etapa fenológica	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Desarrollo de la yema	■	■	■						
Desarrollo del órgano floral		■	■	■					
Floración			■	■	■				
Desarrollo del fruto				■	■	■	■	■	■

La estimación de la humedad del suelo se calculó con el índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI) (Palmer, 1965) a partir de las series históricas mensuales durante un periodo de 32 años (1980 a 2011); el índice se ajustó con los valores modales de textura y profundidad efectiva de los suelos en el área de influencia de las estaciones meteorológicas del municipio.

Se estableció el rango de categorías PDSI que indican humedad en el suelo restrictiva por deficiencias (moderadas, severas y extremas dependiendo del cultivo) en cada una de las etapas fenológicas. La frecuencia de ocurrencia de valores PDSI asociados a deficiencias se calculó con base en el conteo de registros del índice de Palmer < -0,5. Este cálculo se realizó para cada mes de la ventana de análisis (Ej: frecuencia de ocurrencia del índice de Palmer en los 32 enero, en los 32 febrero, etc.). Posteriormente, se determinaron las probabilidades de ocurrencia mensuales de esta condición de humedad calificados como muy baja (0 a 20%), baja (20 a 40%), media (40 a 60%), alta (60 a 80%) y muy alta (80 a 100%).

4. Generación de los Escenarios agroclimáticos mensuales para el cultivo. Consiste en la sobre posición de la cartografía de aptitud de uso de los suelos con las probabilidades de ocurrencias de condiciones de humedad deficitarias para el aguacate en cada uno de los meses de la ventana temporal de análisis.
5. Cartografía final de la Zonificación de Aptitud agroclimática. Del total de Escenarios agroclimáticos mensuales, se seleccionaron las áreas que persistentemente registraron probabilidades superiores al 40% (medias, altas y muy altas) de ocurrencia de déficit hídrico en el suelo en la ventana de análisis ArcGIS 10.1.

Con los criterios establecidos en la tabla 2 y en la ventana de análisis se identificaron las categorías de aptitud agroclimática bajo deficiencias de agua en el suelo para el cultivo de aguacate. Dentro de estas, se identificaron los *nichos productivos óptimos o con leves restricciones* y los *nichos productivos condicionados a prácticas de manejo*, los cuales corresponden a las áreas de bajo exposición agroclimático que indican bajo riesgo. Las áreas con alta exposición agroclimático presentan suelos con aptitud marginal o no aptos (no recomendada) y condiciones recurrentes de deficiencias de humedad en el suelo, por lo que los cultivos requieren manejo tecnológico.

Tabla 2. Categorías de calificación de la aptitud agroclimática del municipio de Fresno bajo condiciones de humedad en el suelo restrictivas por déficit hídrico para el cultivo aguacate

Aptitud de uso del suelo (FAO)	Probabilidad de ocurrencia de humedad en el suelo restrictiva por déficit hídrico	
	Baja (40%)	Media y Alta (> 40%)
Óptimos o con leves restricciones (A1; A1 – N)	Nicho productivo óptimo o con leves restricciones	Áreas con suelos óptimos o con leves restricciones y alta exposición a déficit hídrico
Condicionados prácticas de manejo y/o conservación de suelos (A1 – A2tx; A1/A3f – A3m; A2f – A3m)	Nicho productivo condicionado a prácticas de manejo y/o conservación de suelos	Áreas condicionadas a prácticas de manejo y/o conservación de suelos y alta exposición a déficit hídrico
Suelos no aptos No se encontraron	Áreas con suelos no aptos	Áreas con suelos no aptos y alta exposición a déficit hídrico

¹Suelos con severas restricciones por pendiente, drenaje, profundidad efectiva, riesgo a la erosión, textura, pH, saturación de aluminio.

²Suelos marginales y no aptos por altitud, pendiente, drenaje, profundidad efectiva, riesgo a la erosión, textura, pH, saturación de aluminio.

⁶ Validación en campo con actores locales mediante cartografía participativa.

Los resultados obtenidos se validaron localmente con productores y asistentes técnicos utilizando Cartografía Participativa (CP) mediante un juego de roles. A partir de mapas básicos a escala 1:100.000 (cuencas hidrográficas, altitudes, paisajes, pendientes, entre otras) los productores y asistentes técnicos zonificaron la aptitud de suelos para el cultivo, la susceptibilidad del municipio a deficiencias hídricas y finalmente identificarán las áreas de bajo riesgo agroclimático o *nichos productivos óptimos o con leves restricciones* y los *nichos productivos condicionados a prácticas de manejo del aguacate*.






RESULTADOS

Aptitud de uso de los suelos para el cultivo de aguacate

El municipio de Fresno tiene suelos potencialmente aptos para el cultivo de aguacate: el 62% (13573 ha) de las tierras presentan aptitud óptima “A1” y un 34,7% moderada “A2” (7564 ha), limitados principalmente por el tipo de texturas o por acidez. Las áreas con aptitud marginal “A3”, abarcan el 1,2% de municipio (269 ha) y están restringidos por extrema acidez y contenidos muy altos de aluminio. Sólo un 2% (409 ha) del municipio presenta suelos “No Aptos” debido principalmente a las fuertes pendientes, a profundidad efectiva muy superficial o por formaciones.

Las variedades Hass y Choquette presentan requerimientos edáficos similares, sin embargo se presentan diferencias en la altitud óptima para el establecimiento y desarrollo de los cultivos. La variedad Choquette se adapta a alturas entre 500 a 1500 m y la variedad Hass entre 1500 a 2300 m (Figura 1).

Tabla 3. Leyenda de la aptitud para el cultivo de aguacate, en el municipio de Fresno, Tolima

Simbolo	Aptitud	Area (ha)
 A1	Óptima, sin limitaciones a esta escala	2.772
 A1-N	Óptima en 90%, No apta (10%)	765
 A1-A2tx	Óptima en 80%, Moderada por texturas (20%)	11.251
 A1/A3f-A3m	20% con aptitud óptima; 60% Marginal por pendiente y 20% marginal por acidez	384
 A2f-A3m	Moderada en 50% por acidez y marginal (50%) por pendiente	6.649

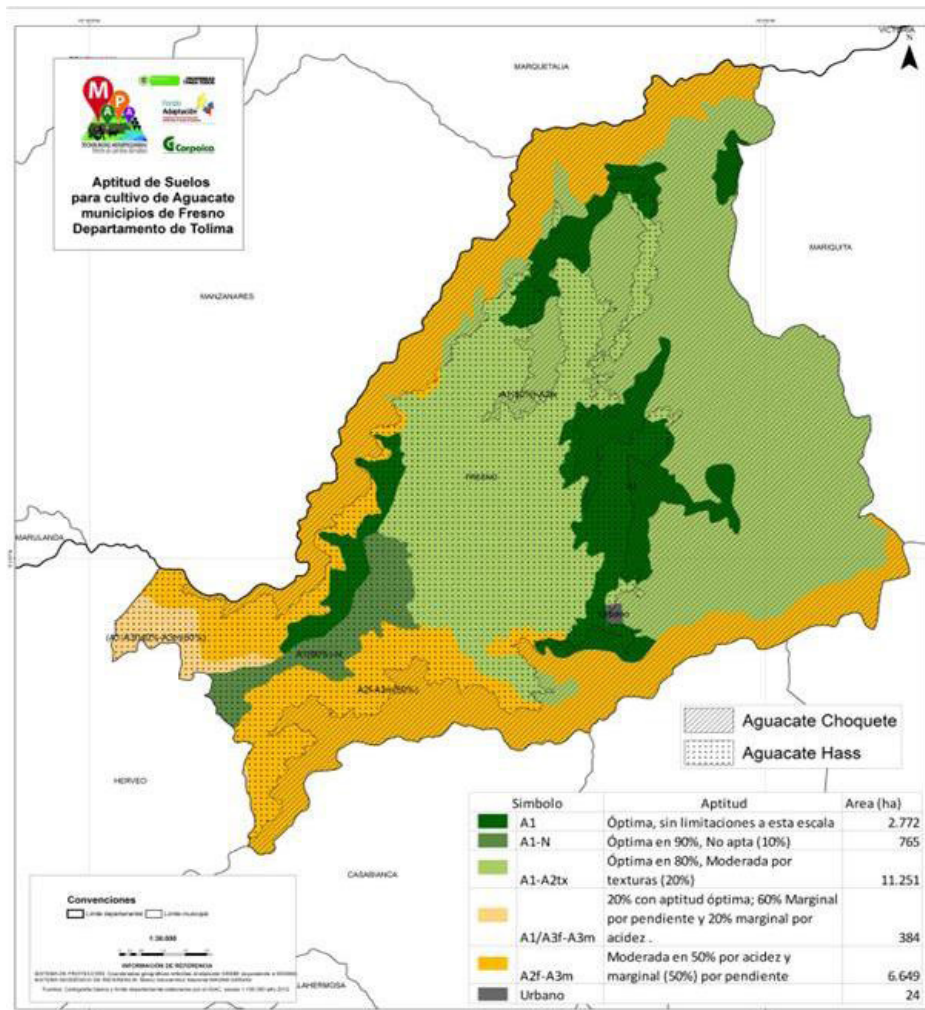


Figura 1. Aptitud de uso para cultivo de aguacate en el municipio de Fresno (Tolima)

Probabilidad de ocurrencia de condiciones de déficit hídrico en el suelo

Los meses de diciembre y enero presentan una alta probabilidad (tonos rojos, 60 – 80%) de ocurrencia de déficit hídrico en la mayor parte del municipio para el cultivo de aguacate (Figura 2). Esto indica que en las fases tempranas de floración (formación de yemas y desarrollo del órgano floral) se puede presentar estrés hídrico que podría afectar el crecimiento y desarrollo de estas estructuras. En los otros meses de la ventana hay una probabilidad media de que se presente un déficit hídrico (40 – 60%: tonos amarillos) durante la floración y desarrollo del fruto. En estas zonas se debe reforzar el monitoreo de la humedad en los suelos y el seguimiento fitosanitario que permitan tomar medidas preventivas oportunas.

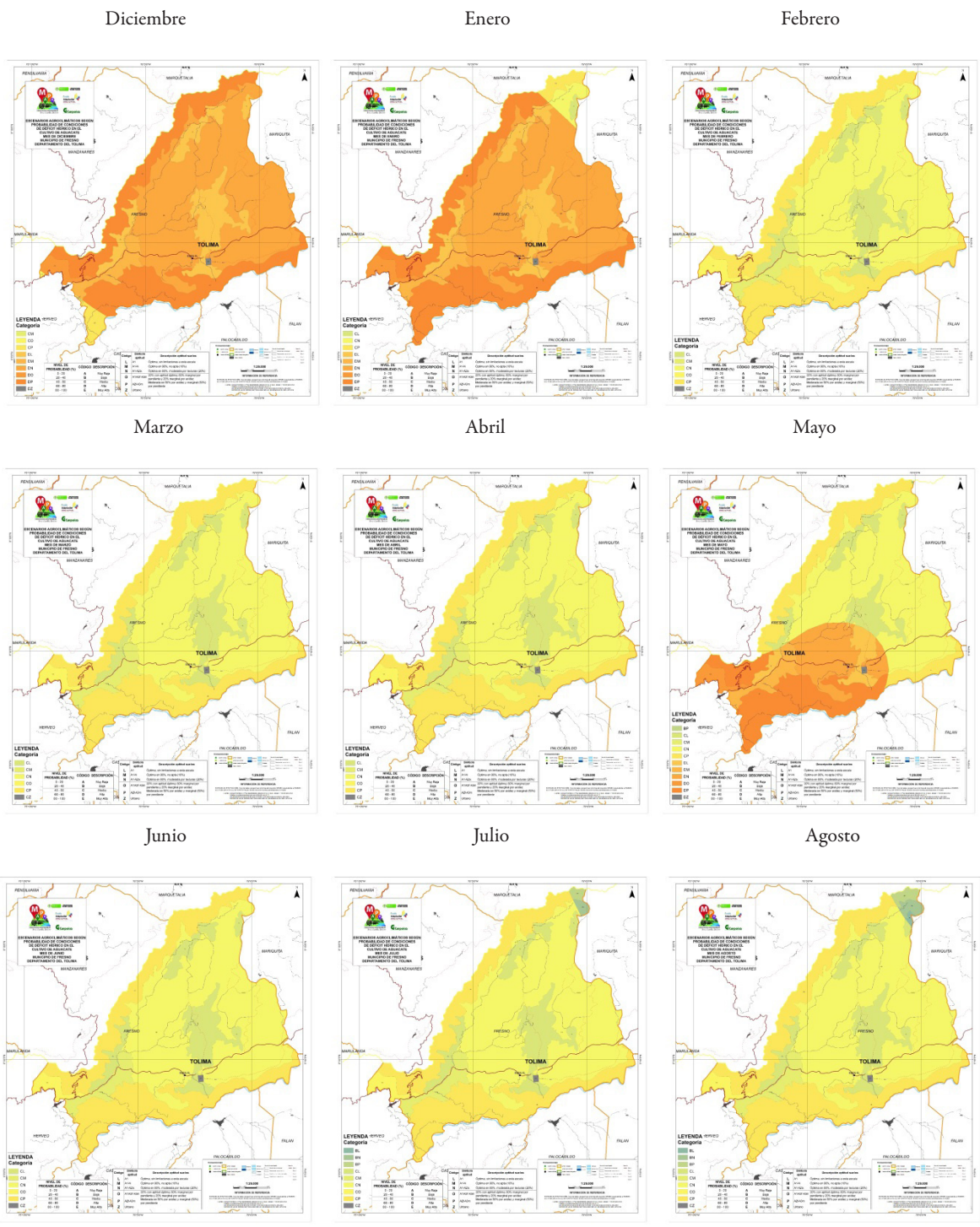
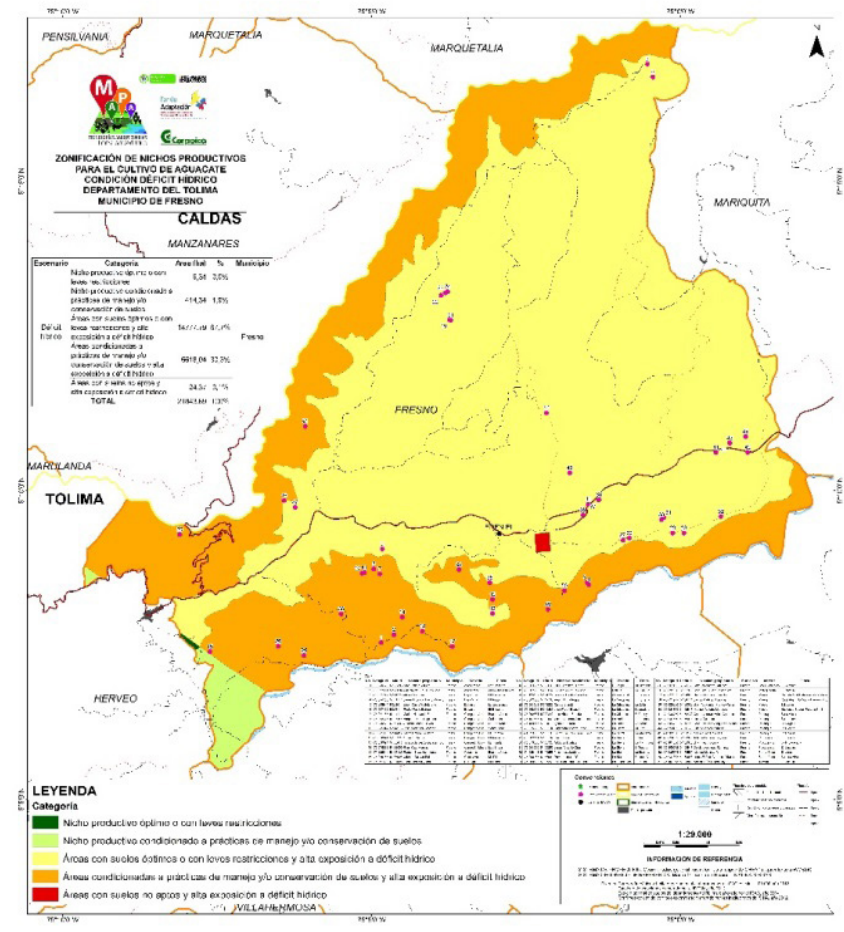


Figura 2. Escenarios agroclimáticos mensuales: Aptitud de suelos y probabilidad de ocurrencia de déficit hídrico para el cultivo de aguacate en el municipio de Fresno (ventana de análisis: diciembre – agosto).

Zonificación de la aptitud agroclimática de Fresno para el cultivo de Aguacate bajo déficit hídrico en el suelo

Para la ventana de análisis (diciembre - agosto) se identificaron cuatro categorías de aptitud agroclimática para el cultivo de aguacate con los siguientes porcentajes de ocupación (Figura 3):



- Nicho productivo condicionado a prácticas de manejo: 1,9%
- Áreas con suelos óptimos o con leves restricciones y alta exposición a déficit hídrico: 67,7%
- Áreas con suelos condicionados a prácticas de manejo y/o conservación de suelos y alta exposición a déficit hídrico: 30,3%
- Áreas con suelos no aptos y alta exposición a déficit hídrico: 0,1%

- Nicho productivo óptimo o con leves restricciones
- Nicho productivo condicionado a prácticas de manejo y/o conservación de suelos
- Áreas con suelos óptimos o con leves restricciones y alta exposición a déficit hídrico
- Áreas condicionadas a prácticas de manejo y/o conservación de suelos y alta exposición a déficit hídrico
- Áreas con suelos no aptos y alta exposición a déficit hídrico

Figura 3. Zonificación nichos productivos para el cultivo de aguacate bajo condiciones de déficit hídrico en el municipio de Fresno (Tolima)

En esta condición las altas probabilidades (60 – 80%) de ocurrencia de déficit hídrico en etapas críticas del cultivo (prefloración, floración y fructificación) disminuyeron en más de un 90% las áreas denominadas *Nichos productivos*.

Predominan las “Áreas con suelos óptimos o con leves restricciones y alta exposición a déficit hídrico” (98% del área total municipal) en donde hay alta probabilidad (60 – 80%) de déficit hídrico para el cultivo. Pese a que hay suelos óptimos para el establecimiento y desarrollo del cultivo, las excesivas pérdidas de humedad del suelo restringen su uso debido a los efectos negativos sobre la sanidad vegetal, fisiología y productividad del cultivo.

Treinta por ciento (30%) del municipio presenta “Áreas con suelos condicionados a prácticas de manejo y/o conservación de suelos y alta exposición a déficit hídrico” en las cuales hay suelos con restricciones por texturas o por acidez y alta probabilidad de deficiencias hídricas.

En las áreas identificadas como “*Nichos productivos*” en la mayor parte de los meses analizados la probabilidad de ocurrencia de déficit hídrico superior al 40%. Pese a que no son meses de riesgo extremo, es probable que bajo un déficit hídrico severo y extremo se afecten la formación de yemas, el desarrollo del órgano floral, la floración y desarrollo del fruto. Los meses de julio y agosto presentan una baja probabilidad (20 – 40%) de ocurrencia de déficit hídricos. Esto indica que en al final del periodo de fructificación la humedad del suelo no implica un problema para el crecimiento de los frutos.

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 periodo 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 & García, 2007).

Adicionalmente al efecto directo del déficit hídrico, se pueden presentar problemas sanitarios principalmente el ataque de insectos plaga como trips (*Frankiniella gardeniae*), *Oligonychus yothersi* Mc Gregor, y Monalonion (*Monalonium velezangeli*).

DISCUSIÓN

Se han planteado otras metodologías que relacionan las propiedades físicas y químicas del suelo con el clima. Por ejemplo, Ceballos-Silva and López-Blanco (2003) delimitaron la aptitud de áreas de producción para la siembra de maíz y papa en México central, se emplearon variables como temperatura mínima, temperatura máxima precipitación, profundidad de suelo, textura del suelo, pH del suelo, pendiente del suelo y altitud. 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 & Mather (1955). En particular Brunini & Caputi (2001) incluyen la capacidad del almacenamiento de diferentes tipos de suelo para mejorar la precisión del cálculo del balance hídrico.

Otros autores han desarrollado trabajos sobre temas relacionados a la interacción cultivos – clima; Yazdanpanah *et al.* (2001) zonificaron la aptitud agroclimática 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. White *et al.* (2001) trabajaron para el cultivo de trigo en Etiopía cuenta la relación entre lluvia y evaporación potencial, temperatura mínima y máxima. En Bolivia, Geerts *et al.* (2006) generaron cartografía de la aptitud agroclimática para el cultivo de quinua a partir de la evapotranspiración de referencia, la duración de la temporada de lluvia, los periodos de sequía y el riesgo a heladas. Moelers & Walker (2012), introdujeron el índice PACSI (Poone AgroClimatic Suitability Index) para integrar los riesgos climáticos más importantes para la producción de maíz en Free State, Sur África.

CONCLUSIONES Y/O RECOMENDACIONES

El municipio de Fresno presentan una aptitud óptima para el cultivo de aguacate con 21819 ha potencialmente utilizables por presentar bajo riesgo agroclimático; de éstas, 14787 ha (67,7% del área) corresponden a nichos productivos óptimos o con leves restricciones y 7032 ha (32,2% del área) condicionadas a prácticas de manejo y conservación de suelos.

Sin embargo, bajo una condición de déficit hídrico, hay alrededor de 423 ha (1,9% del área) con bajo riesgo agroclimático, y el área restante (98% del área) con alto riesgo para el cultivo. Esto indica que se requiere la planificación de labores y estrategias de mitigación para enfrentar las deficiencias durante la producción de aguacate. Prácticas de cultivo y uso de especies locales que toleran esta condición hacen parte de las medidas adoptadas por los productores de Fresno.

Actualmente la mayor parte de los productores se ubican en las áreas con suelos óptimos o condicionados a prácticas de manejo pero con alta exposición a déficit hídrico.

AGRADECIMIENTOS

A la entidad financiadora Fondo Adaptación y al equipo de trabajo del proyecto MAPA del Centro de Investigación Nataima (CORPOICA).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brunini, O., Carvalho A, Brunini A, Padua Junior, S, Abramides P. 2010. Agroclimatic zoning and climatic risks for sugarcane in Mexico: A preliminary study considering climate change scenarios, Proceedings of International Society for Sugar Cane Technology, Vol. 27, pp. 302–314.
- Brunini, O., Caputi, E. 2001. Software for estimation of the water balance, Fundação de Apoio à Pesquisa Agrícola, São Paulo, Brazil (CD-ROM).
- Brunini, O., Carvalho, J., Brunini, A., Padua Junior, A., Adami, S., Abramides, P. 2010. Agroclimatic zoning and climatic risks for sugarcane in Mexico: a preliminary study considering climate change scenarios, Proceedings International Society Sugar Cane Technologists, Vol. 27, pp. 1-13.
- Brunini, O., Pádua Junior, A., Carvalho, J., Prado, H., Brunini, A., Landell, M. 2008^a. Aptidão edafoclimática da cultura da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, Obtenido: enero de 2015 de <http://www.ciiagro.sp.gov.br/zoneamento/2008/Zoneamento2008a.htm>.
- Brunini, O., Pádua Junior, A., Carvalho, J., 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: enero de 2015 de http://www.ciiagro.sp.gov.br/Zoneamento_Agroambiental/index.htm.

- Camargo, A., Ortolani, A. 1964. Clima das zonas canavieiras do Brasil, In: MALAVOLTA, E. *et al.* Cultura e adubação de cana-de-açúcar. São Paulo, POTAFOS, pp. 121–138.
- Ceballos-Silva, A, López-Blanco, J. 2003. Delineation of suitable areas for crops using a Multicri-Criteria evaluation approach and land use/cover mapping: a case study in Central Mexico, *Agriculture Systems*, Vol. 77, pp. 117-136.
- FAO. 1976. A framework for land evaluation, FAO (Food and agriculture organization of United Nations), *Soils bulletin*, 32.
- Forero, F. & García, J. 2007. Situación y avances en la poscosecha y procesamiento del aguacate (*Persea americana* Mill), *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, Vol. 1, no. 2, pp. 189 -200.
- Geerts, S., Raes, D., García, M., Del Castillo, C., Buytaert, W. 2006. Agro-climatic suitability mapping for crop production in the Bolivian Altiplano: a case study for quinoa, *Agriculture Forest Meteorology*, Vol. 139, pp. 399–412.
- IGAC. 2004. Estudio general de suelos y zonificación de tierras de departamento del Tolima, Bogotá: IGAC.
- IPCC. 2011. *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Moeletsi, M., Walker, S., Landman, W. 2011. ENSO and implications on rainfall characteristics with reference to maize production in the Free State Province of South Africa. *Physics and Chemistry of the Earth*, Vol. 36, pp. 715–726.
- Palmer, W. 1965. Meteorological Drought, Department of Commerce, . *Research Paper*, (45), 58.
- Romero, S. 2012. Comportamiento fisiológico del aguacate (*Persea americana* Mil.) variedad lorena en la zona de Mariquita, Tolima, Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Thorntwaite, C, Mather, J. 1955. The water balance-Centerton, New Jersey USA, pp. 1955–104.
- White, J., Tanner, D., Corbett, J. 2001. An Agroclimatological Characterization of Bread Wheat Production Areas in Ethiopia, CIMMYT, Mexico.
- Yazdanpanah, H., Hajam, S., Khalili, A., Kamali, G. 2001. Agroclimatic zoning of Azarbayjan-Sharghi province for rainfed almond using GIS, Obtenido: enero de 2015 de <http://geospatialworld.net/Paper/Application/ArticleView.aspx?aid=90>



ACTAS • PROCEEDINGS

VIII CONGRESO MUNDIAL DE LA PALTA 2015

del 13 al 18 de Septiembre. Lima, Perú 2015

www.wacperu2015.com

