

# RIESGO AGROCLIMÁTICO PARA ZONA CAFETERA COLOMBIANA: MÉTODO PARA REGIONALIZAR LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

Víctor Hugo Ramírez Builes\*; Andrés Javier Peña Quiñonez\*\*; Álvaro Jaramillo Robledo\*\*;  
Julieth Paola Giraldo Escobar\*\*\*; Heverth Eduardo Suárez Arcila\*; Nelson Duque Rincón\*\*

---

## RESUMEN

**RAMÍREZ B., V.H.; PEÑA Q., A.J.; JARAMILLO R., A.; GIRALDO E. J.P.; SUÁREZA. H.E.; DUQUE R. N. Riesgo agroclimático para zona cafetera colombiana: método para regionalizar la variabilidad climática. Cenicafé 63 (2): 98-115. 2012**

En el presente trabajo se considera el riesgo como el producto de la amenaza ocasionada por la variabilidad climática y la vulnerabilidad del sistema de producción de café de reducir la productividad por déficit y exceso hídricos. La fuente de variabilidad climática analizada en este estudio es la variabilidad anual ocasionada por los eventos de El Niño y La Niña. La vulnerabilidad se estima a partir del cálculo del Índice de Humedad del Suelo (IHS) en cafetales productivos a partir de la integración de variables edáficas, de cultivo y atmosféricas que permiten definir la relación que existe entre el comportamiento de la humedad del suelo y variables de productividad del cultivo de café. La aplicación de la metodología se realizó para el departamento del Quindío por tener una adecuada cobertura en la red meteorológica y unidades de suelos georeferenciadas. La metodología permite el análisis histórico para fines de regionalización o zonificación y el análisis dinámico para fines de toma de decisiones y ajustes a los sistemas de producción. Como producto final se entrega un sistema en ambiente web que le permite a cada usuario conocer el nivel de riesgo de su sistema de producción.

**Palabras clave:** Déficit hídrico, exceso hídrico, amenaza, vulnerabilidad.

---

## ABSTRACT

In this work the climate risk is considered as the product of the threat by the climate variability plus the vulnerability of the coffee production system that reduce the production by water excess and/or deficit. The climate variability source analyzed in this work was the annual variability generated by the El Niño and La Niña phenomena (ENSO). The vulnerability is estimated by calculation of the soil moisture index (SMI) in productive coffee crops based on the integration of soil-plant and atmosphere variables which explain better the relationship between the soil moisture changes and productivity variables. The methodology application was made in the Quindío department, due good coverage in climate and soil data. The methodology is composed of historical analysis with objectives of regionalization and dynamic analysis with objectives to support decision making related with production system and adjusting to the production systems. As a final product it is included a system based on web that allows to the end user to know the risk level of yield reduction due to deficit and/or excess of water.

**Keywords:** Climate variability, water deficit, water excess, climate threat, vulnerability, risk.

---

\* Investigador Científico II y Asistente de Investigación (Qepd), respectivamente, Disciplina de Fitotecnia, Cenicafé.

\*\* Investigador Científico II, Investigador Científico III (hasta diciembre 2012) y Auxiliar, respectivamente, Disciplina de Agroclimatología, Cenicafé.

\*\*\* Asistente de Investigación. Disciplina de Fisiología, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

La variabilidad climática hace referencia a las fluctuaciones en los valores promedio del clima a escala temporal y espacial, seguidas de eventos individuales del tiempo atmosférico. Ejemplos de variabilidad climática incluyen sequías prolongadas, inundaciones y condiciones resultantes de los eventos periódicos de El Niño y La Niña. La vulnerabilidad al cambio del clima es una función de la exposición, la sensibilidad a esas condiciones y la capacidad de adaptarse al cambio<sup>1</sup>. La variabilidad climática cambia tanto a escala temporal como espacial (10); a nivel temporal y para la Zona Cafetera Colombiana se identifican diferentes fuentes de variabilidad climática a saber: Relación valle-montaña (escala diaria), ondas intraestacionales de Madden-Julian y ondas del Este-depresiones tropicales (escala anual), Zona de Convergencia Intertropical, Corriente de Chorro del Chocó y Sistemas Convectivos de Mesoescala (escala anual), eventos de El Niño y La Niña-ENSO (escala interanual), Oscilación Decadal del Pacífico y Oscilación del Atlántico Norte (escala decadal).

Las estrategias de adaptación incluyen iniciativas y medidas para reducir la vulnerabilidad de los agroecosistemas a los cambios en el clima (1), por lo tanto, debe haber una adecuada evaluación o valoración del riesgo (amenaza x vulnerabilidad) de los sistemas de producción frente la ocurrencia de eventos climáticos asociados a la variabilidad climática o al clima cambiante, y posteriormente definir las estrategias de mitigación y adaptación. De acuerdo con Sivakumar y Stefanski (20), es necesario el desarrollo y la integración de marcos o estrategias para mitigar y adaptar la agricultura a la variabilidad climática dentro de estrategias de desarrollo sostenible, tanto a nivel nacional como regional.

Los estudios de zonificación agroecológica desempeñan un papel muy importante en la delimitación de áreas en las cuales es posible definir qué cultivos tienen mayor potencial de producción (7), afirman además los autores que en estudios de zonificación de cultivos no se deben considerar solamente las variables climáticas, sino que se deben de incluir variables edáficas y del cultivo como sistema integrado.

Según el boletín de suelos No. 73 de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y La Agricultura (8), uno de los propósitos de la zonificación es la planeación de los recursos naturales, donde zonificar significa separar con similares potencialidades y limitaciones para el desarrollo y producción. La zonificación agro-ecológica (ZAE), de acuerdo con los criterios de FAO, define zonas con base en combinaciones de suelo, fisiografía y características climáticas. Los parámetros particulares usados en la definición se centran en los requerimientos climáticos y edáficos de los cultivos y en los sistemas de manejo, bajo los cuales éstos se desarrollan. Cada zona tiene una combinación similar de limitaciones y potencialidades para el uso de tierras, y sirve como punto de referencia de las recomendaciones diseñadas para mejorar la situación existente de uso de tierras, ya sea incrementando la producción o limitando la degradación de los recursos.

Para la FAO (8), la metodología de ZAE se puede considerar como un conjunto de aplicaciones básicas, que conducen a una evaluación de la aptitud y productividad potencial de tierras, y un conjunto de aplicaciones avanzadas o periféricas, que pueden construirse sobre los resultados de los estudios de ZAE. Los resultados de las

<sup>1</sup> Definición tomada del Documento de la Agencia de Cooperación de los Estados Unidos titulado "Adapting to climate Variability and Change: A Guide Manual for Development Planning, 2007. 31p.

aplicaciones básicas incluyen mapas que muestran zonas agro-ecológicas y aptitud de tierras, la cantidad estimada de las áreas de cultivo potenciales, cosechas y producción. Tal información proporciona las bases para aplicaciones avanzadas tales como la evaluación de la degradación de tierras, modelos de producción ganadera, evaluación de la capacidad de sostenimiento de la población y modelos de optimización de usos de tierras, evaluaciones de riesgo, análisis de tipo de sistemas de producción, evaluación del impacto del cambio y la variabilidad climática, entre otras.

El **riesgo** se refiere a la probabilidad, la estimación y la cuantificación de la magnitud y las consecuencias de los daños ambientales, sociales, económicos o culturales y pérdidas humanas, de bienes, especies, prácticas culturales, entre otras, en un lugar o tiempo determinado, como resultado del desencadenamiento de una amenaza<sup>2</sup>.

Una **amenaza** climática se puede definir como la posibilidad, probabilidad o potencialidad que cambios o fenómenos climáticos (sequía o períodos anormalmente húmedos o lluviosos) afecten por un tiempo prolongado lugares específicos, cultivos, espacios de trabajo, sitios sagrados, etc. O como la probabilidad de afectación de un sistema ante un fenómeno extremo (2). Usualmente la amenaza está basada en la frecuencia histórica (18).

La **vulnerabilidad** de una población o un sistema frente a cambios en el clima se refiere al grado en que un sistema o asentamiento está expuesto a alguna amenaza climática

y a la capacidad que tiene para manejar los daños (riesgos), sin que los afecte; es decir, los mecanismos de adaptación frente a los cambios del clima. Esta capacidad está relacionada con la manera cómo la población o el sistema son afectados, y con el tiempo de afectación. Para saber la capacidad que éstos tienen de manejar los cambios, es necesario conocer la sensibilidad a los mismos, es decir, saber los efectos de las condiciones climáticas sobre la población o el sistema, y cómo éstos responderán a los cambios (susceptibilidad) o sea su capacidad de adaptación. De esta manera, la vulnerabilidad está intrínsecamente relacionada con la amenaza a la que está expuesta y a la sensibilidad de adaptación de quienes están expuestos (2).

El **riesgo** es la valoración de las posibles pérdidas por eventual impacto del fenómeno externo. En términos económicos, el riesgo se refiere a una disminución del ingreso debido a pérdidas que resultan de un peligro o amenaza natural o inducida por el ser humano (18).

El riesgo climático depende de la intensidad y de la frecuencia de la amenaza climática (inundaciones o sequías), pero también de la vulnerabilidad. Usar el concepto de vulnerabilidad permite diferenciar el impacto del riesgo, es así como un desastre tiene sus orígenes en el peligro o amenaza, pero también en el grado de vulnerabilidad del sector o del sistema<sup>3</sup>.

La Federación Nacional de Cafeteros de Colombia-FNC avanzó en las aplicaciones básicas, a partir del estudio de Ecotopos

<sup>2</sup> Naciones Unidas/Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia / Universidad Nacional de Colombia. Amenazas, riesgos, vulnerabilidad y adaptación frente al Cambio Climático. Material de Difusión Frente al Cambio Climático No 3.

<sup>3</sup> Centro Regional de Información Sobre Desastres, América Latina y El Caribe (CRID).

cafeteros (3), por lo tanto, el objetivo del presente trabajo es el de continuar con las aplicaciones avanzadas de la zonificación, en lo relacionado con el desarrollo metodológico para el análisis y evaluación del riesgo agroclimático de la caficultura colombiana.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para el caso específico de este trabajo, se asumió como riesgo la integración de la amenaza producida por la variabilidad climática (Evento de El Niño y La Niña), y la vulnerabilidad del sistema de producción de café al exceso y déficit hídricos críticos, o sea que afectaran la productividad del cultivo.

**Estimación de la amenaza.** En esta metodología la amenaza estuvo asociada con el comportamiento cambiante del clima, el cual dependiendo de la escala temporal, pudo ser el cambio climático o la variabilidad climática. Debido a las implicaciones que tiene el clima como elemento clave en la producción de café, esta metodología se ubicó en el marco de la variabilidad climática debido a que ésta se pudo aproximar a diferentes escalas temporales, desde la diaria a la decadal, y permitió emprender acciones inmediatas y regionalizadas de adaptación y mitigación. Específicamente se tomó como una de las mayores fuentes de variabilidad climática a los eventos de El Niño y La Niña (ENSO). Climáticamente los eventos de La Niña en la zona cafetera colombiana se caracterizan por el aumento en las precipitaciones por encima del normal, disminución en el brillo solar y la temperatura, y los eventos de El Niño por la disminución en la precipitación y aumento en el brillo solar y la temperatura (4, 5, 11, 17). Otra característica adicional de esta fuente de variabilidad climática son las proyecciones futuras, basadas en la información histórica de su dinámica y magnitud, lo que hace que esta amenaza sea

detectable con anticipación y, por lo tanto, hace posible el análisis de riesgo a futuro en función de los escenarios de variabilidad climática y del desarrollo de herramientas computacionales para análisis dinámico.

**Estimación de la vulnerabilidad.** La estimación de la vulnerabilidad se realizó sobre los efectos negativos de la amenaza o sea la variabilidad climática en el sistema productivo de café, y este primer reporte se centró en evaluar el efecto que tienen los cambios de la humedad del suelo (déficit y exceso hídricos) como producto de la variabilidad climática sobre la productividad potencial del cultivo de café en Colombia.

En escenarios o eventos de La Niña la productividad se ve amenazada por aumentos en las precipitaciones que se traducen en aumento en el exceso hídrico y, por lo tanto, se incrementa el número de días en donde la humedad del suelo y la atmosférica es muy alta, con implicaciones directas sobre el cultivo de café como reducción en la fotosíntesis y, por ende, en la productividad. En este caso, se consideró en el análisis el efecto negativo que tiene el exceso hídrico sobre la floración, el cual es un indicador de productividad. En los eventos de El Niño, la reducción en la precipitación y el incremento de la temperatura y brillo solar, aumentan la demanda evaporativa de la atmósfera, reflejándose en una rápida disminución de la humedad del suelo, afectando en ciertas épocas del año el llenado de los frutos de café y disminuyendo la productividad del mismo.

La determinación del déficit y el exceso hídricos se hizo a partir de la aplicación del Índice de Humedad del Suelo -IHS (12). El IHS tuvo como punto de partida el cálculo de la humedad del suelo a nivel diario, el cual

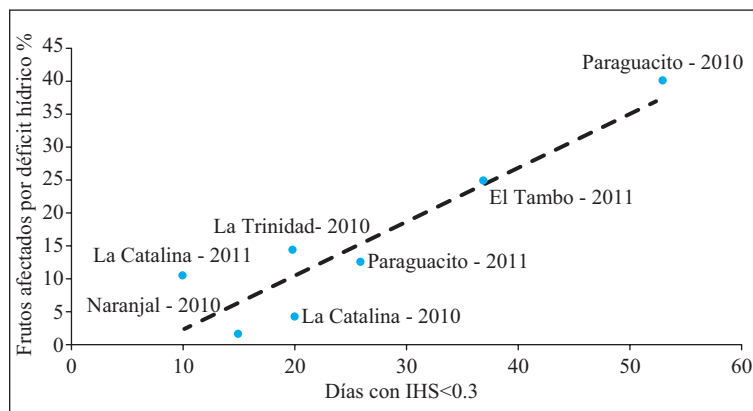
se calculó empleando la metodología propuesta por Ramírez *et al.* (14). Para el cultivo de café se identificó que el número de días con  $IHS > 0,6$ , se relaciona con la disminución en el número de botones florales (13, 16), siendo éste un indicador del efecto negativo del exceso hídrico sobre la productividad. Por otra parte, valores de  $IHS < 0,3$  son críticos por déficit hídrico, la vulnerabilidad del sistema productivo de café ante el déficit hídrico se explica sobre el efecto de la falta de agua en el llenado de frutos y reducción de la cosecha, por aumento en el número de frutos de mala calidad como frutos negros, vanos, parcialmente llenos entre otros (Figura 1), y por la reducción en la fotosíntesis del cultivo por falta de agua (15).

**Criterio para determinar el riesgo.** Los trimestres febrero-marzo-abril y agosto-septiembre-octubre son los de mayor importancia para la floración del café, y los que tienen la mayor correlación con las condiciones climáticas (13). Ellos responden por la cosecha del segundo y primer semestres, respectivamente, y por lo tanto, se consideraron los trimestres de mayor vulnerabilidad por exceso hídrico. Existe alto riesgo de disminuir el potencial productivo por exceso hídrico cuando durante el período

del 21 de enero al 30 de abril o del 21 de julio al 31 de octubre se presentan más de 20 días con  $IHS > 0,6$ .

En los bimestres enero-febrero y julio-agosto la planta de café tiene toda la carga de cosecha en diferentes estados de desarrollo, que responde por la cosecha del primero y segundo semestres, y son los meses históricamente secos en la mayoría de la Zona Cafetera Colombiana (6), y además los que mayor correlación presentan con eventos de El Niño y La Niña (11). Lo anterior permitió afirmar que son los bimestres de mayor vulnerabilidad al déficit hídrico, y se consideró que si durante los períodos comprendidos entre el 21 de diciembre y el 29 de febrero o entre el 21 de junio y el 31 de agosto se presentaron más de 15 días con  $IHS < 0,3$  había riesgo alto de disminuir el potencial productivo por déficit hídrico.

**Análisis histórico.** Se tomó la información histórica de las estaciones de la Red Meteorológica de la FNC, ubicadas en el departamento del Quindío (Tabla 1) y administradas por la Disciplina de Agroclimatología del Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé.



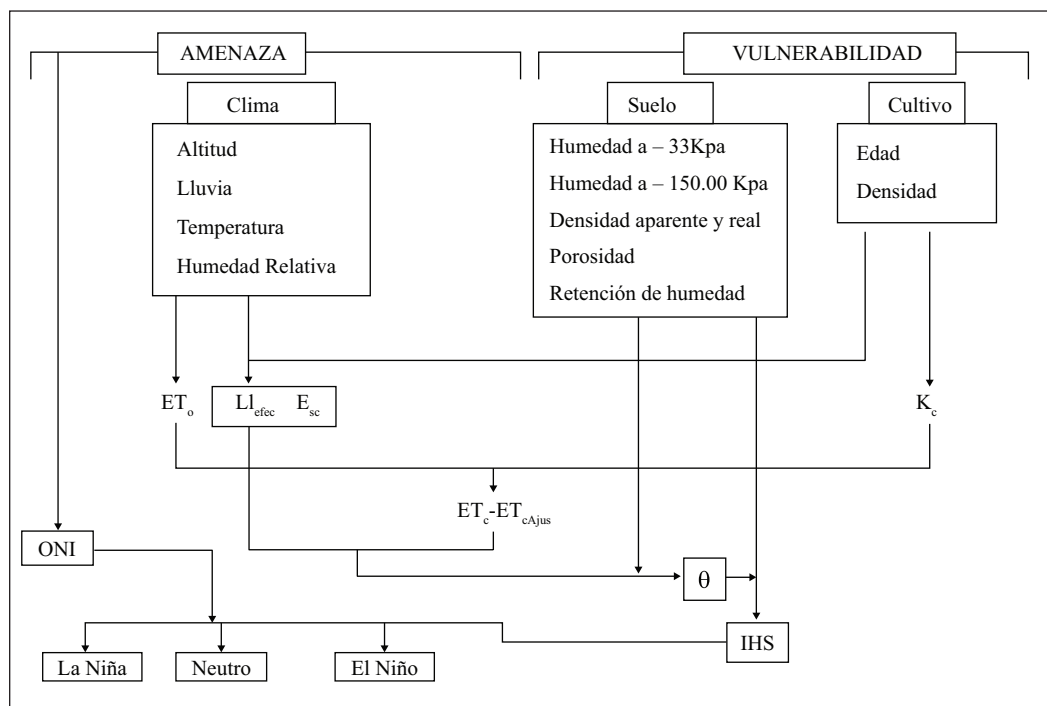
**Figura 1.** Relación entre el número de días con  $IHS < 0,3$  y el porcentaje daño en frutos de café por falta de agua. Muestreo realizado entre el 10 y el 15 marzo de 2010 y el 7 y 21 de septiembre de 2011, correspondiente a los períodos secos de enero-febrero y julio-agosto, en las Estaciones Experimentales de Cenicafé.

De la base de datos del Servicio Atmosférico y Oceánico de los Estados Unidos (NOAA<sup>4</sup>), se tomó el Índice Oceánico de El Niño (ONI por su siglas en inglés), y se seleccionaron a nivel diario los registros por condiciones del El Niño-La Niña y Neutros, como se especifica en la Figura 2, de la siguiente manera. La Niña:  $< -0,5^{\circ}\text{C}$ ; Condiciones Neutras: entre  $-0,5^{\circ}\text{C}$  y  $+0,5^{\circ}\text{C}$ ; El Niño:  $>+0,5^{\circ}\text{C}$ .

**Espacialización del riesgo.** La espacialización del riesgo se hizo a partir de los mapas de suelos, cada unidad de suelo tenía sus propiedades hidrofísicas diferentes, que se pueden diferenciar a nivel regional, aún bajo condiciones climáticas iguales. El criterio

empleado fue la relación existente entre la capacidad de almacenamiento del suelo y la probabilidad de alcanzar valores críticos de déficit y exceso hídrico (Figura 3), es así como los suelos que tuvieran una mayor capacidad de retención de humedad, fueron suelos que con una menor probabilidad de llegar a valores críticos de estrés hídrico (Figura 3a) pero con una mayor probabilidad de alcanzar valores críticos de exceso hídrico debido a que permanecían mayor tiempo húmedos (Figura 3b).

**Análisis dinámico.** Para el análisis dinámico se desarrolló un sistema de información web, bajo lenguaje de programación en



**Figura 2.** Representación esquemática para el cálculo del índice de humedad del suelo (IHS) como criterio para el análisis de la primera aproximación del riesgo agroclimático.

<sup>4</sup> [http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml)

**Tabla 1.** Ubicación de las estaciones climáticas empleadas en el estudio. FNC-Cenicafé.

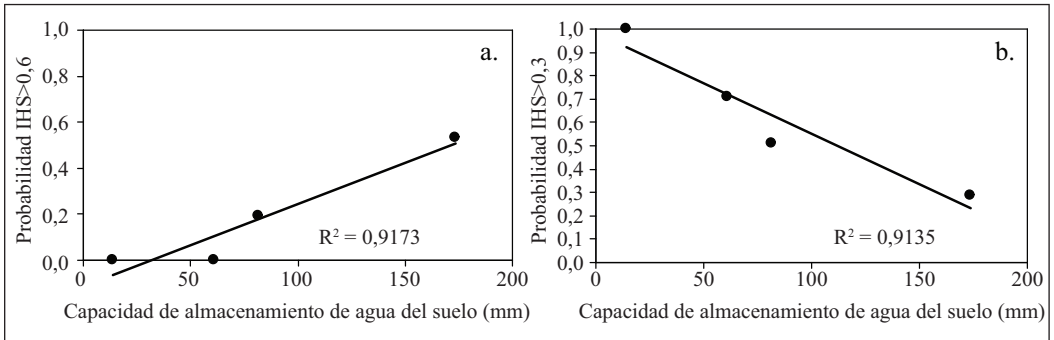
Nombre de la Estación	Municipio	Cuenca	Altitud (m)	Latitud (N)		Longitud (W)	
				Grados	Minutos	Grados	Minutos
La Pradera	Armenia	Quindío	1.350	04	28	75	43
Tucumán	Armenia	Espejo	1.200	04	32	75	46
La Esperanza	Bunavista	Quindío	1.400	04	22	75	44
Paraguaicito	Bunavista	Rioverde	1.250	04	23	75	44
El Jardín	Calarcá	Santo Domingo	1.320	04	28	75	42
La Bella	Calarcá	Quindío	1.450	04	30	75	40
Qubradanegra	Calarcá	Santo Domingo	1.500	04	27	75	40
Bremen	Circasia	Roble	2.040	04	39	75	36
La Ilusión	Circasia	Espejo	1.500	04	34	75	42
Mónaco	Córdoba	Rioverde	1.250	04	25	75	42
La Esperanza	Filandia	La Vieja	1.650	04	38	75	41
La Alejandria	Génova	Gris	1.700	04	11	75	47
La Esperanza	Génova	Gris	1.650	04	13	75	48
La Argentina	La Tebaida	La Vieja	1.200	04	27	75	47
La Miranda	La Tebaida	La Vieja	1.200	04	26	75	51
El Agrado	Montenegro	Espejo	1.250	04	31	75	47
La Julia	Montenegro	Espejo	1.250	04	33	75	45
Sorrento	Montenegro	La Vieja	1.200	04	32	75	49
El Porvenir	Pijao	Lejos	1.470	04	19	75	47
La Esperanza	Pijao	Azul	1.667	04	18	75	44
Maracay	Quimbaya	Roble	1.450	04	35	75	43
Vivero	Quimbaya	La Vieja	1.330	04	37	75	46
La Hungría	Salento	Quindío	2.014	04	39	75	36
Normandía	Salento	Quindío	1.637	04	36	75	37

java y orientado a objetos, la estructura de base de datos se desarrolló en el motor de base de datos relacionales Oracle. Este aplicativo permite a cada usuario el cálculo del IHS y genera alertas de riesgo por exceso y déficit hídrico a nivel semestral, orientado a un cultivo en etapa productiva. Esta información permite generar mapas de riesgo semestre a semestre y compararlos con los mapas históricos, este aplicativo se puede acceder a través de la plataforma agroclimática cafetera, desarrollada con el apoyo del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia (MADR), en el dominio [www.agroclimacafe.org](http://www.agroclimacafe.org).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis histórico

**Comportamiento del IHS en condiciones de La Niña.** La variabilidad climática asociada a los eventos de La Niña se expresa de manera diferencial en la zona cafetera del departamento del Quindío, asociado especialmente a factores geográficos y topográficos; es así como en la zona de influencia de las estaciones meteorológicas de La Ilusión-Circasia, Maracay-Quimbaya y La Esperanza-Bunavista, presentan el mayor número de los meses en donde más



**Figura 3.** Relación entre el contenido de humedad del suelo y la probabilidad de encontrar valores críticos de déficit y exceso hídrico.

del 75% de los días del mes, en condiciones de La Niña, la humedad del suelo para cafetales productivos está por encima de valores críticos de exceso hídrico-  $IHS > 0,6$  (Figura 4); para la zona de influencia de las estaciones meteorológicas anteriormente descritas, se observa que los meses críticos por exceso son de octubre a junio, lo que significa que presentan 9 de los 12 meses del año en condiciones de exceso crítico, caso contrario a lo observado en la zona de influencia de las estaciones meteorológicas de La Argentina-La Tebaida, Sorrento-Montenegro, La Pradera-Armenia y El Vivero-Quimbaya, en las cuales ninguno de los meses en condiciones de La Niña tiene más del 75% de los días con el  $IHS > 0,6$  y en el caso específico de la Argentina presenta 9 meses del año en donde el número de días del mes con exceso hídrico crítico ( $IHS > 0,6$ ) es menor a 25% (Figura 4).

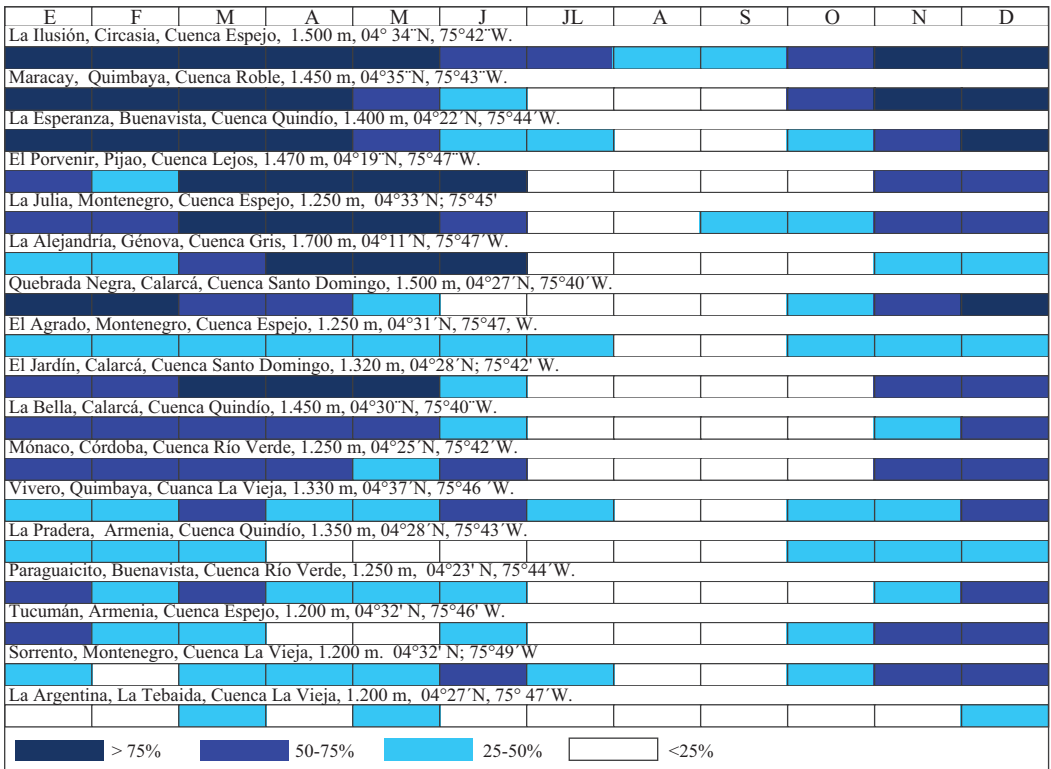
**Comportamiento del IHS en condiciones El Niño.** Bajo condiciones de El Niño, sucede lo contrario a lo descrito en condiciones de La Niña, las estaciones que presentan mayor número de días del mes y mayor número de meses con déficits hídricos críticos ( $IHS < 0,3$ ) son La Argentina-La Tebaida, Tucumán-Armenia, Paraguaicito- Buenavista, Vivero-Quimbaya

y La Bella-Calarcá (Figura 5). Además, se observa que los meses de febrero-marzo y agosto-septiembre, son los meses en donde bajo condiciones de El Niño más del 75% de los días han presentado condiciones de déficit hídrico crítico para el cultivo de café ( $IHS < 0,3$ ), para una profundidad de 50 cm.

**Riesgo al déficit y al exceso hídrico en condiciones de La Niña y El Niño.** Desde el punto de vista del potencial productivo del cultivo de café, los trimestres críticos por exceso hídrico producto del evento de La Niña son: Agosto-septiembre-octubre (A-S-O) y febrero-marzo-abril (F-M-A). Del análisis de la serie histórica se observa que para la zona cafetera del departamento del Quindío, en el trimestre F-M-A el 75,6% de su área está en riesgo potencialmente alto a que el exceso hídrico producido por el fenómeno de La Niña afecte la producción (reducción de floración), mientras que el trimestre A-S-O sólo el 9,0% de área está en riesgo potencialmente alto (Figura c).

Los bimestres más críticos por déficit hídrico para el cultivo del café desde el punto de vista productivo, producto de los eventos de El Niño son: Enero-febrero (E-F) y julio-agosto (Jl-A). Del análisis de la serie



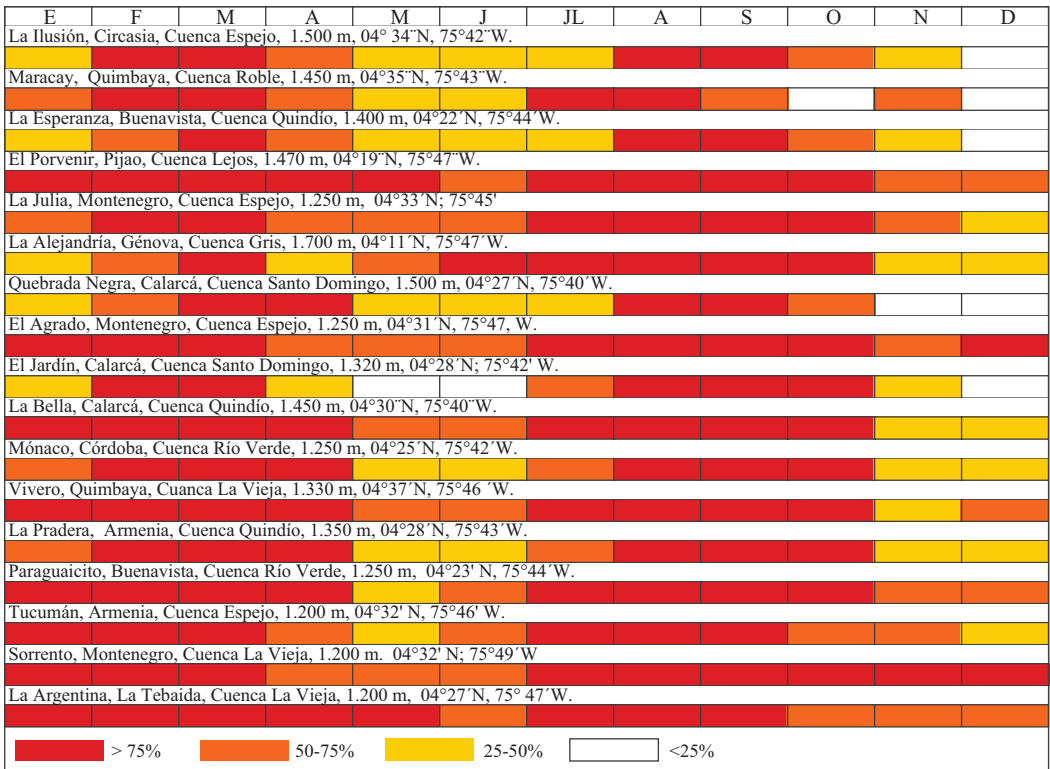


**Figura 4.** Distribución de frecuencias para condiciones críticas de humedad de suelo por exceso hídrico crítico para el cultivo de café, representada en el número de días del mes con IHS>0,6 en meses La Niña.

histórica se observa que para la zona cafetera del departamento del Quindío, ambos bimestres E-F y Jl-A presentan riesgos potencialmente altos 94,0% y 93,5%, respectivamente, de que se vea afectada parte de la cosecha por falta de agua (frutos parcialmente llenos, vanos, grano negro) como se observa en la Figura 7.

**Riesgo al déficit y al exceso hídrico en condiciones Neutras.** En condiciones Neutras, el riesgo potencial de reducción de la producción por exceso hídrico (reducción de floración), disminuye para ambos trimestres, así el 11,7% del área en el trimestre F-M-A tiene riesgo potencial de reducir la floración por exceso hídrico en condiciones neutras y

para el trimestre A-S-O es del 7,0% (Figura 8). Por el contrario y como se ha mostrado en otros trabajos sobre precipitación y condiciones ENSO (El Niño/La Niña) por Ramírez y Jaramillo (11), la condición Neutra es muy similar a la condición de El Niño, es así como para el caso de la zona cafetera del departamento del Quindío el riesgo potencial que se afecte la producción (reducción en el llenado de frutos, frutos parcialmente llenos, vanos, negros) en los bimestres E-F y Jl-A es alto con 85,1% y 96,5% del área, respectivamente (Figura 9). Lo anterior muestra además que hay algunas áreas del departamento que son vulnerables al déficit y a exceso hídrico, aún sin la presencia de la amenaza de El Niño y La Niña.



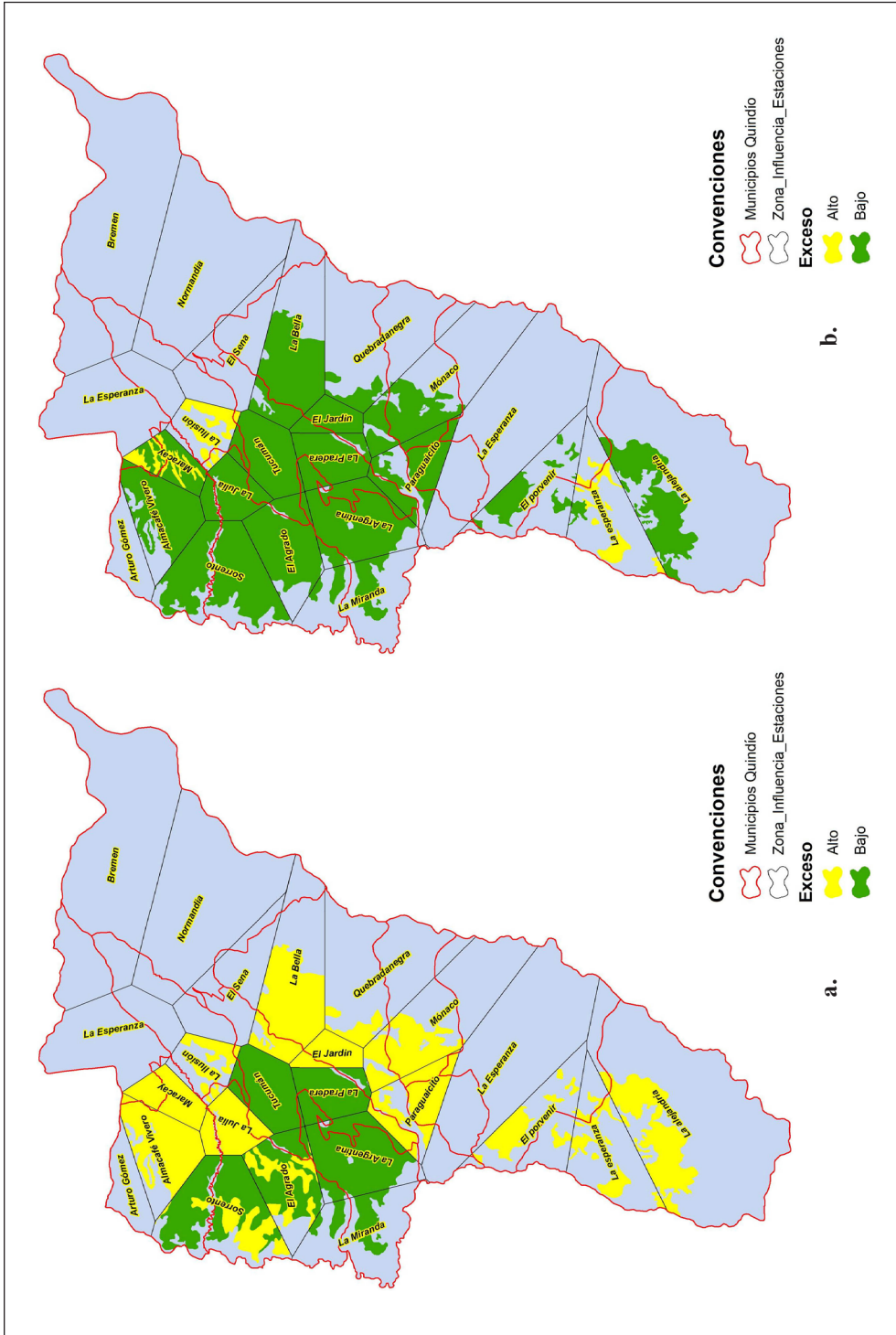
**Figura 5.** Distribución de frecuencias para condiciones críticas de humedad de suelo por déficit hídrico crítico para el cultivo de café, representada en el número de días del mes con IHS <0,3 en meses El Niño.

### Análisis dinámico

El análisis dinámico permite ver la evolución de las áreas potencialmente en riesgo en diferentes niveles o condiciones de la amenaza, es así como se analizó lo ocurrido entre enero de 2008 y junio de 2010, en donde se presentaron condiciones de La Niña y El Niño, a saber: De enero a mayo de 2008 se presentó La Niña, luego una condición Neutra hasta diciembre, posteriormente de enero a marzo de 2009 de nuevo La Niña, luego una condición Neutra de abril a julio y de julio de 2009 hasta julio de 2010 una condición de El Niño (Figura 10).

Se observa que las áreas con riesgo potencialmente alto de afectar el rendimiento

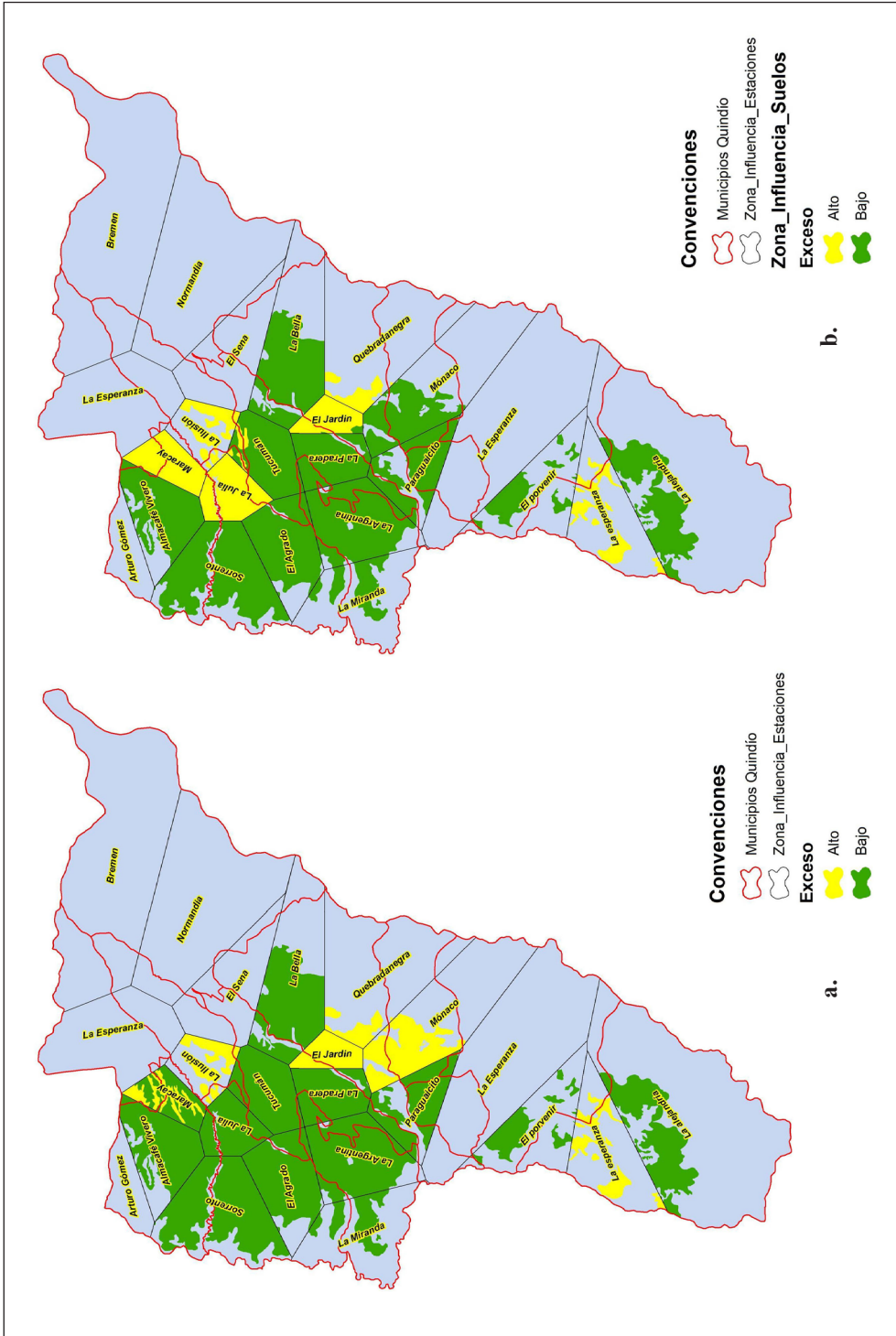
por el exceso hídrico en los eventos de La Niña de los años 2008, 2009 y 2010 es variable; es así como durante el primer semestre de 2008 el área potencialmente afectada es del 52%, y el ONI promedio para ese período es de -1,2°C, y el área con riesgo potencialmente alto para el primer semestre de 2009 y segundo semestre de 2010 disminuye al 40% de área, explicable porque el nivel de amenaza disminuye con un ONI promedio de -0,5°C y -1,1°C respectivamente (Figura 11). Tendencia similar se observa al analizar el comportamiento de las áreas potencialmente afectadas por El Niño, en donde para el segundo semestre del año 2009 el área con riesgo potencial era del 64%, con un ONI promedio de +0,7°C, y subió al



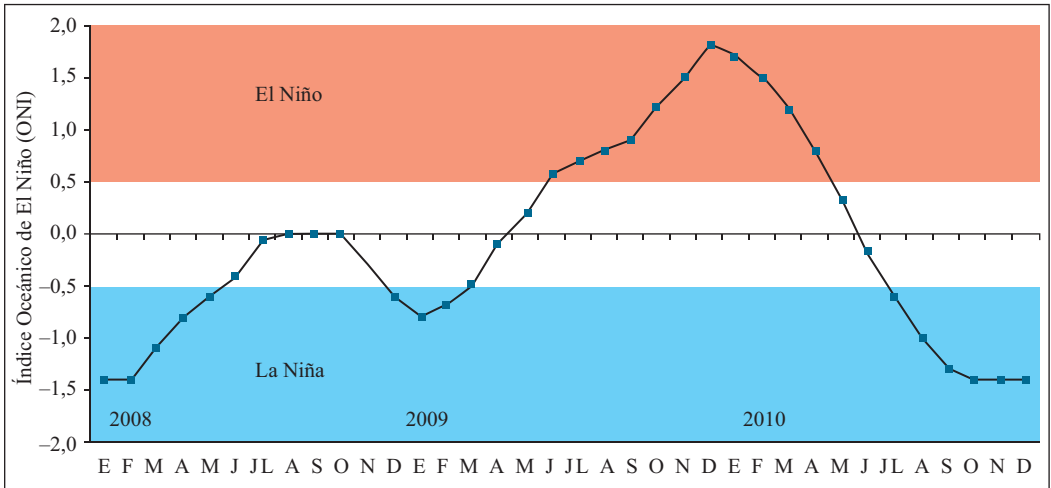
**Figura 6.** Riesgo potencial de la zona cafetera del Quindío en disminuir la floración por la ocurrencia del fenómeno de La Niña. **a.** Trimestre febrero-marzo-abril; **b.** Trimestre agosto-septiembre-octubre.







**Figura 9.** Riesgo potencial de la zona cafetera del Quindío en disminuir el llenado de frutos en condiciones Neutras. **a.** Bimestre enero-febrero, **b.** Bimestre julio- agosto.



**Figura 10.** Distribución del Índice Oceánico de El Niño (ONI) para los años 2008-2009 y 2010. La franja azul indica condiciones de La Niña, y la franja roja indica condiciones de El Niño. Datos tomados del Servicio Atmosférico y Oceánico de los Estados Unidos (NOAA).

85% en el primer semestre de 2010, con un ONI de +1,7°C (Figura 12).

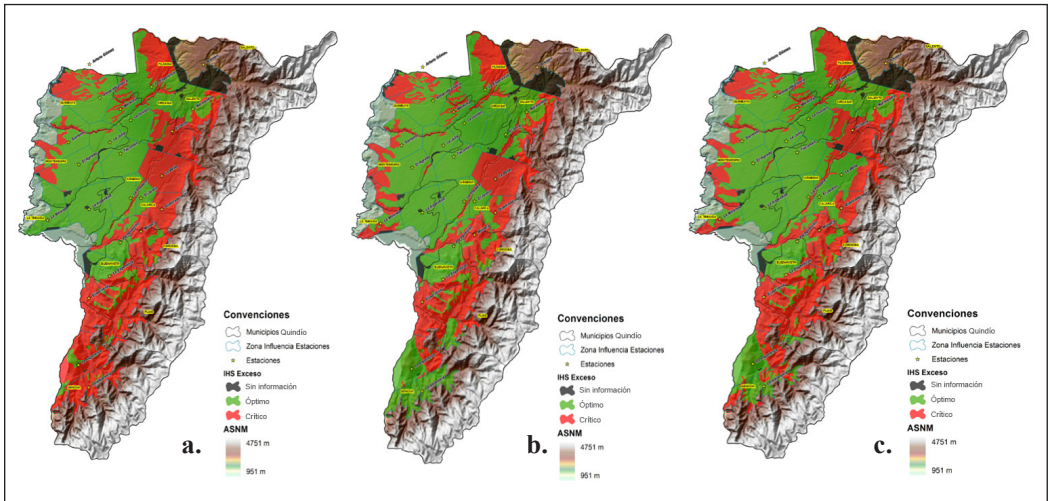
A través del sistema de información web, los usuarios pueden obtener el análisis del riesgo potencial al déficit y al exceso hídrico a nivel de vereda, finca, lote o cultivo (Figura 13), al ingresar con su código de acceso, que puede ser el código del Sistema de Información Cafetera (SIC@), el cual está georeferenciado. En este sistema, el usuario encontrará información general del lote de interés, y la opción de hacer el cálculo del balance hídrico y el análisis de riesgo por déficit y exceso (Figura 13a), el sistema le despliega los resultados del IHS para el período seleccionado (Figura 13b), le hace el análisis de riesgo por déficit y por exceso hídrico por semestre (Figura 13 c y d) al igual que el número de días en los cuales el IHS estuvo por encima o por debajo de los valores críticos para el cultivo.

De acuerdo con Singh *et al.* (19), hay dos estrategias posibles para disminuir el impacto

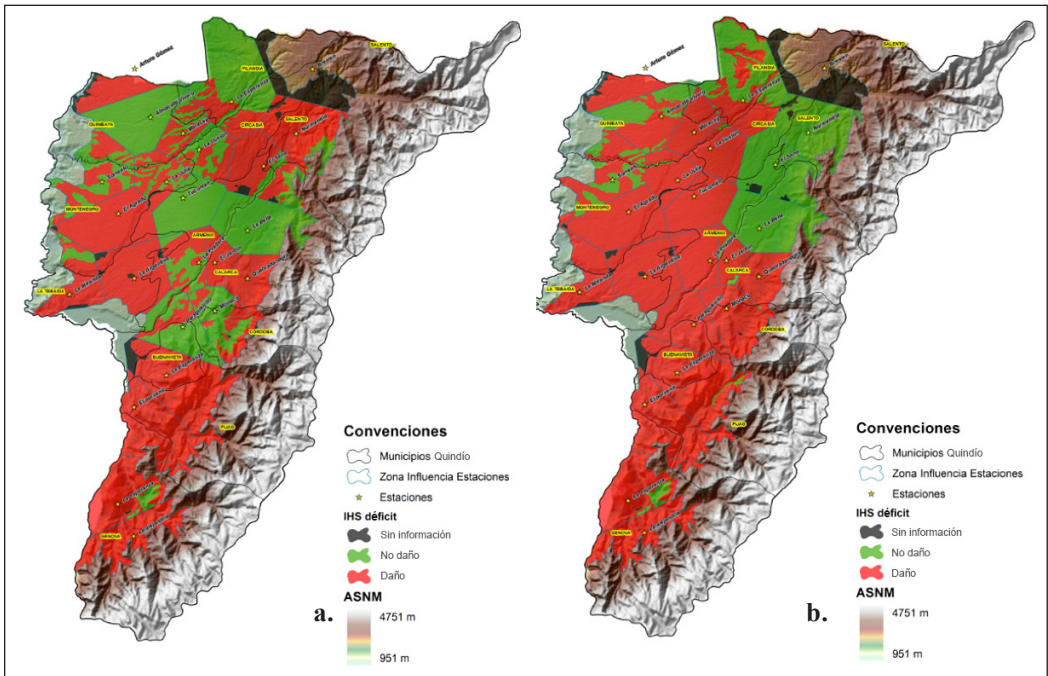
de la variabilidad climática en los sistemas de producción agrícola: i) Reducir el riesgo controlando los factores limitantes (ejemplo uso de sistemas de riego en condiciones en donde el agua sea un factor limitante), y ii) Ajustar las prácticas de manejo del sistema de producción.

Este trabajo brinda la primera aproximación que permite identificar el nivel de riesgo y hacer una primera cuantificación. Igualmente se ha avanzado en unas primeras recomendaciones en las prácticas de manejo del cultivo de café en condiciones de alto riesgo El Niño o a La Niña (9).

Se puede concluir que los índices hídricos aplicados para café son útiles para adelantar un análisis regional sobre el riesgo potencial de la zona cafetera a reducir la producción por efecto de la variabilidad climática interanual, ocasionada por los eventos de El Niño/La Niña, con diferentes proyecciones de escala temporal, metodología que permite el análisis histórico y avanzar en las aplicaciones de

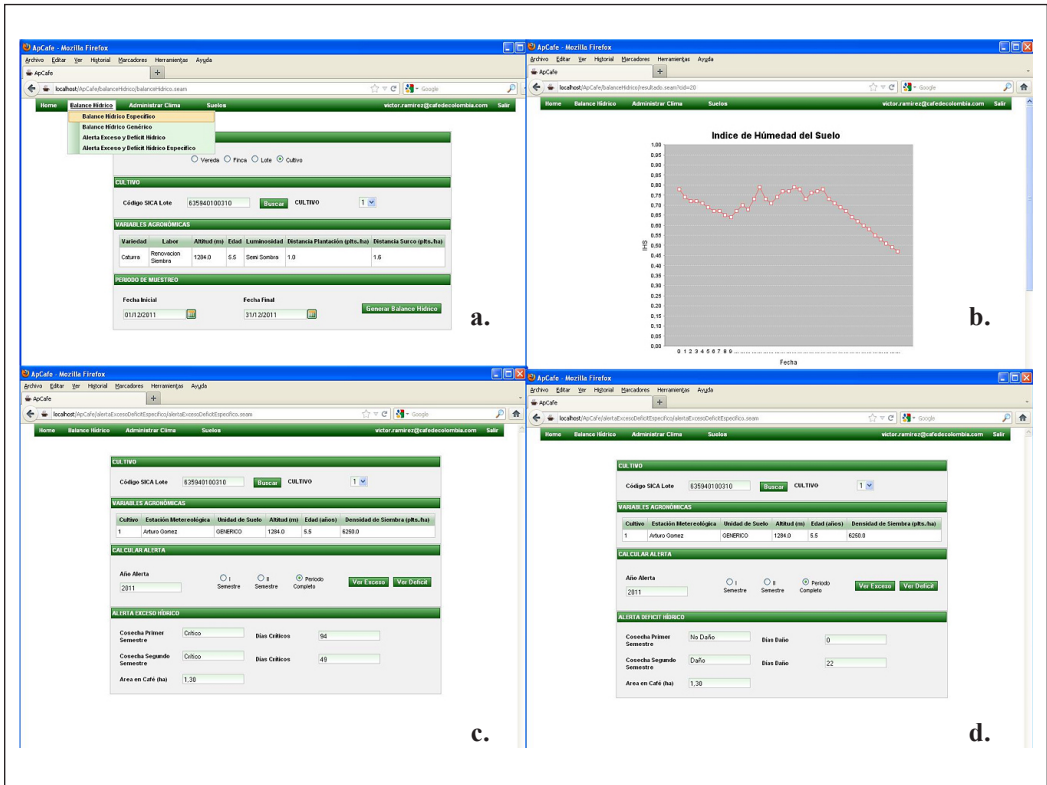


**Figura 11.** Áreas con riesgo potencialmente alto de verse afectado el rendimiento en el cultivo del café por el exceso hídrico durante los eventos de La Niña de 2008 a 2010. **a.** Año 2008 I semestre. **b.** Año 2009 I semestre. **c.** Año 2010 I semestre.



**Figura 12.** Áreas con riesgo potencialmente alto de verse afectado el rendimiento en el cultivo del café por el déficit hídrico durante los eventos de El Niño de 2009 a 2010. **a.** Año 2009 I semestre. **b.** Año 2010 I semestre.





**Figura 13.** Resultados que entrega el aplicativo en ambiente web. **a.** Opciones de balance hídrico y de análisis de riesgo al igual que las opciones de finca, cultivo o lote; **b.** Comportamiento del IHS para el período seleccionado; **c.** y **d.** Información de la estación meteorológica y la unidad de suelo relacionada a su área de influencia, si hay riesgo por déficit y exceso y el número de días con valores de IHS considerados críticos para el cultivo.

la zonificación agroecológica. Por otra parte, es una herramienta útil para apoyar la toma de decisiones relacionadas con el sistema de producción de café dado que va dirigida a usuarios individuales a través del análisis dinámico.

**AGRADECIMIENTOS**

Al Comité Departamental de Cafeteros del Quindío por apoyar el desarrollo de esta propuesta en el marco del proyecto piloto de agricultura de precisión para el departamento.

**LITERATURA CITADA**

1. CAMARGO, B.P.M. The impact of the climate variability and climate change on Arabic coffee crop in Brazil. *Bragantia* 69(1):239-247. 2010.
2. CHAVARRO, P.M.; GARCÍA, G.A.; GARCÍA, P.J.; PRIETO, R.A.; ULLOA, C.A. Amenazas, riesgos, vulnerabilidad y adaptación frente al cambio climático. Bogotá : Naciones Unidas : Ministerio de ambiente vivienda y desarrollo territorial : Universidad Nacional de Colombia. 2008. 58 p.
3. GÓMEZ, G.L.; CABALLERO, R.A.; BALDIÓN R., J.V. *Ecotopos cafeteros*. Chinchiná : Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 1991. 138 p.

4. GUZMÁN M., O.; BALDIÓN R., J.V. El evento cálido del Pacífico en la zona cafetera. *Cenicafé* 48(3):141-155. 1997.
5. GUZMÁN M., O.; BALDIÓN R., J.V. Influencia del evento frío del Pacífico en la zona Cafetera. *Cenicafé* 50(3):222-237. 1999.
6. JARAMILLO R., A.; RAMÍREZ B., V.H.; ARCILAP, J. Patrones de distribución de la lluvia en la zona cafetera. Chinchiná : Cenicafé, 2011. 12 p. (Avances Técnicos No. 410).
7. JIMÉNEZ, C.A.; VARGAS, T.V.; SALINAS C., W.E.; AGUIRRE, B.M. DE J.; RODRÍGUEZ, C.D. Aptitud agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el sur de Tamaulipas, México. *Investigaciones geográficas* 53:58-74. 2004.
8. FAO. Zonificación agro-ecológica: Guía general. Roma : FAO, 1997. 91 p. (Boletín de suelos No. 73)
9. PEÑA Q., A.J.; RAMÍREZ B., V.H.; VALENCIA A., J.A.; JARAMILLO R., A. La lluvia como factor de amenaza para el cultivo de café en Colombia. Chinchiná : Cenicafé, 2012. 8 p. (Avances Técnicos No. 415)
10. POVEDA, J.G. La hidroclimatología de Colombia: Una síntesis desde la escala Inter-decadal hasta la escala diurna. *Revista academia colombiana de ciencias exactas, físicas y naturales* 28(107):201-221. 2004.
11. RAMÍREZ B., V.H.; JARAMILLO R., A. Relación entre el índice oceánico de El Niño y la lluvia, en la región andina central de Colombia. *Cenicafé* 60(2):161-172. 2009.
12. RAMÍREZ B., V.H.; JARAMILLO R., A.; ARCILA P., J. Índices para evaluar el estado hídrico en los cafetales. *Cenicafé* 61(1):55-66. 2010a.
13. RAMÍREZ B., V.H.; ARCILA P., J.; JARAMILLO R., A.; RENDÓN S., J.S.; CUESTA, G.G.; MENZA F., H.D.; MEJÍA M., C.G.; MONTOYA, D.F.; MEJÍA M., J.W.; TORRES N., J.C.; SÁNCHEZ A., P.M.; BAUTE B., J.E.; PEÑA Q., A. Floración del café en Colombia y su relación con la disponibilidad hídrica, térmica y de brillo solar. *Cenicafé* 61(2):132-158. 2010b.
14. RAMÍREZ B., V.H.; JARAMILLO R., A.; ARCILAP, J.; MONTOYA R., E.C. Estimación de la humedad del suelo en cafetales a libre exposición solar. *Cenicafé* 61(3):251-259. 2010c
15. RAMÍREZ B., V.H.; JARAMILLO R., A.; ARCILA P., J. Model to estimate available water for coffee crop in Colombia. California : American Society of Agronomy : Soil Science Society of America : Crop Science Society International Meeting, 2010d. 37 p.
16. RAMÍREZ B., V.H.; ARCILAP, J.; JARAMILLO R., A.; RENDÓN S., J.S.; CUESTA, G.G.; MENZA F., H.D.; MEJÍA M., C.G.; MONTOYA, D.F.; MEJÍA M., J.W.; TORRES N., J.C.; SÁNCHEZ A., P.M.; BAUTE B., J.E.; PEÑA Q., A. Variabilidad climática y la floración del café en Colombia. Chinchiná : Cenicafé, 2011. 8 p. (Avances Técnicos No. 407).
17. RAMÍREZ B., V.H.; JARAMILLO R., A.; PEÑA Q., A.J.; VALENCIA A., J.A. El brillo solar en la zona cafetera colombiana durante los eventos El Niño y La Niña e impactos potenciales en el cultivo del café. Chinchiná : Cenicafé, 2012. 18 p. (Avances Técnicos Cenicafé. No 421. Julio de 2012.).
18. SABORIO, B.J. Metodología para la gestión de cuencas hidrográficas siguiendo el enfoque del riesgo integral: El cambio climático y la adaptación. Cartago {Costa Rica} : CATIE, 2005. 10 p.
19. SING, U.; WILKENS, P.W.; BAETHGEN, E.W.; BONTKES, T.S. Decision support tools for improved resources management and agricultural sustainability. p. 91-117. En: AHUJA, R.L.; MA, L.; HOWELL A.T. *Agricultural systems models in field research and technology transfer*. Florida: Lewis Publishers : CRC Press, 2002. 376 p.
20. SIVAKUMAR, M.V.K.; STEFANSKI, R. Climate change mitigation, adaptation and sustainability in agriculture. p.44. En: *Symposium on climate change and variability: Agrometeorological monitoring and coping strategies for agriculture*. Oscarsborg Norway : WMO, 2008.