

Determinación del peligro por sequía agrícola

Determination of the agricultural drought danger

MsC. Ranses J. Vázquez | ranses.vazquez@insmet.cu | Centro de Meteorología Agrícola, Instituto de Meteorología

Dr. Oscar J. Solano | oscar.solano@insmet.cu | Centro de Meteorología Agrícola, Instituto de Meteorología

Recibido: 18 de septiembre, 2013; aceptado: 29 de octubre, 2013. pp. 154 – 168.

Resumen

El Instituto de Meteorología ha diseñado e implementado el Sistema para la Vigilancia, el Pronóstico y el Alerta Temprana de la Sequía Agrícola. Los métodos para su diagnóstico fueron generados por los autores a partir de técnicas avanzadas y actualizadas, que con precisión toman en cuenta la demanda y el suministro de agua de cada componente del complejo suelo-planta-atmósfera para las 36 décadas de cada año. Se creó el índice combinado de sequía agrícola, desarrollado sobre la base del diagnóstico del estado de la sequía agrícola (inicio y permanencia) e intensidad (severidad del estrés hídrico), el cual ofrece en tres escalas los niveles de peligro por sequía agrícola para cualquier punto del país. El análisis de la frecuencia, tanto en tiempo, como en espacio, permitió procesar la información de este índice que posibilita a los encargados del análisis del riesgo, a los especialistas y a quienes toman decisiones relacionados con el sector agropecuario actuar de manera oportuna en la adopción de medidas de prevención con vistas a enfrentar períodos con presencia de sequía agrícola. Los resultados están listos para realizar el análisis conjunto con los estudios del peligro por sequía meteorológica con miras a obtener el peligro integrado, y que será una capa en los estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgos. En relación con su cálculo, el proceso fundamental es la realización para cada

cuadrícula de 4 x 4 km del balance hídrico del suelo en la rizosfera mediante los sistemas de información geográfica. Se muestran los mapas de las diferentes gradaciones de peligro para toda la nación y para diferentes períodos (anual, poco lluvioso y lluvioso).

PALABRAS CLAVE: Peligro, sequía agrícola, riesgo, balance agrometeorológico.

Abstract

The Cuban Meteorology Institute has designed and implemented a Surveillance System for the Forecast and Early Alert of the Agricultural Drought. The methods for its diagnosis were generated by the authors starting from advanced and update techniques that take accurately into account the demand and the supply of water in each component of the soil-plants-atmosphere complex, for the 36 decades of every year. The combine Agricultural Drought index was developed starting from the diagnosis of the agricultural drought status (beginning and permanency), and intensity (water stress severity); its offers in 3 scales the levels of danger for agricultural drought for any point of the country. The analysis of frequency in time and space it allowed to process the information that allows to the specialists and decisions makers related with the agricultural sector to act in an opportune way in taking measures of prevention to face periods with presence of agricul-

tural drought. The results are ready to carry out the combined analysis with the studies of the danger for meteorological drought with the objective to get the integrated danger; it will be a layer of danger in the studies of Danger, Vulnerability and Risks. For their calculation the fundamental process is the realization for each pixel of 4x4 Km. of the water balance in the root zone using the Geographical Information Systems. The maps are shown for the whole nation of the different gradations of danger and for different periods: annual, not rainy and rainy season.

KEYWORDS: Danger, agricultural drought, risk, agrometeorological balance.

Introducción

Las sequías, inundaciones, tormentas tropicales y otros eventos naturales adversos siempre han estado presentes en la naturaleza y la historia de la humanidad; sin embargo, uno de los eventos meteorológicos más nocivos conocidos en el planeta es la *sequía*. Este fenómeno, si bien constituye una afectación climática extrema que la sociedad ha enfrentado tradicionalmente, en los últimos decenios, su acrecentada influencia ha hecho que se le considere como "uno de los mayores desastres naturales del mundo, el más frecuente y persistente, de mayores efectos negativos para la producción agrícola, como también de impactos adversos reales sobre el medio ambiente" (WMO, 1994).

Muchos países de América del Norte, América Central y el Caribe han estado, asimismo, sometidos a la influencia de eventos de sequía severos, los cuales han causado importantes trastornos en la vida social e impactos altamente negativos sobre los ecosistemas naturales y de cultivos, con el consecuente deterioro de los suelos, evento que, combinado con la también frecuente ocurrencia de eventos de lluvias intensas, acelera los procesos de desertificación en zonas frágiles y genera pérdidas económicas cuantiosas.

La sequía suele evaluarse desde dos puntos de vista diferentes, bien sea por sus condicionantes climáticas, es decir, el carácter de la circulación atmosférica, las precipitaciones, la temperatura, evaporación, etc., o por sus consecuencias e impactos de tipo agrícola, hidrológico o socio económico. Existe la sequía agrícola cuando la cantidad de precipitación y su distribución, las reservas en agua del suelo y las pérdidas por la evaporación se combinan para causar disminuciones considerables del rendimiento de los cultivos y el ganado (Wilhite y Glantz, 1987; Gallardo Ballat y Brown, 2010).

Según Sivakumar (2002), hay componentes que pueden considerarse esenciales al describir un proceso de sequía en una región determinada, los cuales incluyen información sobre el inicio y el fin de este evento extremo; por ejemplo, la intensidad, la duración, la extensión espacial del episodio específico de sequía, el análisis del riesgo del fenómeno y su efecto probable sobre la producción agrícola. No todos los episodios de sequía agrícola afectan la vegetación de igual forma, y su efecto depende de los parámetros mencionados.

En Cuba se han desarrollado experiencias importantes a los efectos de los planes de reducción de riesgos (Insmet-Minagri, 2009); de estos se conoce que para la determinación del riesgo por sequía es necesario, previamente, disponer de índices representativos del peligro o la amenaza por sequía (componentes meteorológico, agrícola, hidrológico y otros) con vistas a ser integrados y evaluados en la ecuación que representa ese riesgo, en su interpretación más abierta.

La sequía agrícola se evalúa por sus consecuencias o impactos. En el contexto de la agricultura, la sequía puede definirse sobre la base de la humedad del suelo más que sobre alguna interpretación indirecta de los registros de precipitación. Vázquez y Solano han colaborado previamente en la determinación de la susceptibilidad del peligro de incendios en la vegetación

(Vázquez y Solano, 2009), como parámetro o capa de peligro en los estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgos asociados a los incendios en áreas rurales.

El objetivo de este trabajo es la propuesta de un índice de peligro por sequía agrícola que permita representar las características de los estreses hídricos en los cultivos para su introducción en la ecuación de riesgo.

El índice es el resultado, para un momento y un lugar dados, de una compleja combinación de atributos relativos al intercambio de energía y masa en el complejo suelo-planta-atmósfera. Entonces, el peligro por sequía agrícola toma en cuenta más que la lluvia en sí misma, la reserva de humedad en el suelo en interrelación con los componentes biológico y pedológico que generan el estrés hídrico en las plantas, así como su intensidad en un período precedente de hasta cuatro meses.

El resultado es la contribución del Centro de Meteorología Agrícola al pedido del Grupo Nacional de Evaluación de Riesgo de la Agencia de Medio Ambiente del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (GNER) en pos de colaborar con los "Lineamientos metodológicos para el estudio del peligro, la vulnerabilidad y el riesgo por la sequía intensa". El texto formará parte en la versión 1 (n/09 de la Guía de estudio de peligro, vulnerabilidad y riesgo) Intensa sequía, en su acápite relativo al cálculo del peligro.

Materiales y métodos

Los sistemas agrícolas son, en esencia, complejos, con aire, agua, suelo, plantas y animales interactuando en el agro-ecosistema; por esta razón, la sequía agrícola se calcula por un modelo (Solano *et al.*, 2005) sustentado en el diagnóstico de este evento climático adverso a partir del estrés hídrico en la vegetación producido por el déficit de humedad del suelo. Para calcular este término se requiere hallar la demanda y el suministro de agua de cada compo-

nente del complejo suelo-planta-atmósfera, en condiciones pasadas, presentes y futuras.

Los aspectos relativos al cálculo de las condiciones de la vegetación, la sequía agrícola, su intensidad, duración y extensión superficial han sido abordados con anterioridad (Solano *et al.*, 2005a y b; 2006a y b y Vázquez, 2008); sin embargo, lo novedoso en el presente trabajo radica en la creación y el desarrollo de un *índice combinado de sequía agrícola* (ICSA), el cual surge por la necesidad de combinar en un solo término categorías del diagnóstico del estado de la sequía agrícola (inicio y permanencia) y la intensidad. Para ello, se utilizan las variables de entrada siguientes (Fig. 1):

1. *Del suelo*: la composición mecánica, la permeabilidad, la fracción volumétrica de agua aprovechable, la capacidad de campo, la hipsometría y la inclinación de la pendiente del terreno.
2. *De la vegetación*: el coeficiente de cultivo que, a su vez, depende del tipo de cultivo; y su fase de desarrollo y la profundidad de las raíces absorbentes.
3. *De la atmósfera* (meteorológicas): la altura de la lámina de precipitación caída, las temperaturas máxima y mínima del aire, la humedad del aire, el déficit de saturación, la radiación solar y la velocidad del viento.

Sequía agrícola. Categorías de diagnóstico

La figura 1 muestra un cajetín referido a los algoritmos necesarios para el cálculo de las categorías de la sequía agrícola; estas se establecen sobre la base del seguimiento de los períodos con permanencia del estrés hídrico en la vegetación evaluados por el índice de humedecimiento modificado (Solano *et al.*, 2003b) y la escala propuesta por Solano *et al.* (2000a) que permite evaluar el inicio, el fin y la duración de la sequía agrícola en función de las condiciones de estrés hídrico que afectan la vegetación predominante en la zona estudiada.

caso, ha mantenido sometida a la vegetación en estrés hídrico moderado o severo, por un período adicional de una década, a la categoría antes descrita, y su duración ha sido mayor o igual a cinco décadas posteriores al inicio del agotamiento del agua del suelo.

5. *Fin de sequía agrícola*: Comienza con la primera década, entre dos décadas consecutivas, donde se presentan condiciones húmedas después de un período seco; entre estas puede existir un período seco que ocasione estrés hídrico ligero a las plantas (el contenido de agua del suelo no permite que las plantas satisfagan sus necesidades hídricas o, dicho de otra forma, la humedad productiva del suelo es inferior al volumen de agua que este almacena en el límite productivo y es mayor o igual a la mitad del contenido de agua que el suelo almacena cuando se encuentra en el límite productivo, o sea, que no llega a extraer fácilmente el agua del suelo ni tampoco a tensiones altas. La vegetación, en estas condiciones, casi satisface sus necesidades hídricas y extrae el agua del suelo con ciertas limitaciones, crece con algunas dificultades, lo cual disminuye débilmente su producción de biomasa).
6. *Ausencia de sequía agrícola*: Se corresponde con el período en el cual las condiciones agrometeorológicas no originan períodos secos ni sequía. En este caso, las plantas pueden lograr rendimientos aceptables e incluso llegar a obtener sus rendimientos máximos.

De acuerdo con su intensidad, la sequía agrícola fue conceptualizada por Solano *et al.* (2003d) de la forma siguiente:

1. *Muy ligera*: Se corresponde con un período seco en el cual la suma de las décadas muy secas o severamente secas que lo componen no alcanzan 20 % de la longitud total de un período seco de al menos doce décadas de duración. Se incluyen también los períodos de tiempo seco corto y moderado.

2. *Ligera*: Se presenta cuando en un período seco la suma de las décadas muy secas o severamente secas superan o igualan 20 %, pero no alcanzan 40 % de la longitud de un período seco de al menos doce décadas de duración. Se incluyen también los períodos de tiempo seco con cuatro o cinco décadas clasificadas de muy secas o severamente secas.
3. *Moderada*: Se corresponde con un período seco en el cual la suma de las décadas muy secas o severamente secas superan o igualan 40 %, pero no alcanzan 60 % de la longitud de un período seco de al menos doce décadas de duración. Se incluyen también los períodos de tiempo seco con seis, siete y ocho décadas clasificadas de muy secas o severamente secas.
4. *Severa*: Se presenta cuando en un período seco la suma de las décadas muy secas o severamente secas superan o igualan 60 %, pero no alcanzan 80 % de la longitud de un período seco de al menos doce décadas de duración. Se incluyen también los períodos de tiempo seco con nueve, diez y once décadas clasificadas de muy secas o severamente secas.
5. *Muy severa*: Corresponde a un período seco en el cual la suma de las décadas secas o severamente secas superan o igualan 80 % de la longitud de un período seco de, al menos, doce décadas de duración.

Aquellos períodos que contengan más de 20 % de décadas evaluadas como severamente secas, del total de décadas secas que lo componen, serán evaluados dentro de la categoría inmediata superior.

Datos

La información agrometeorológica utilizada es la base del Sistema para la Vigilancia, el Pronóstico y el Alerta Temprana de la Sequía Agrícola en Cuba, y proviene de las estaciones de superficie meteorológicas y de lluvia.

Escalas

Los resultados del estudio de los diferentes índices agroclimáticos se representan de acuerdo con su conveniencia empleando diferentes escalas espaciales y temporales. Entre las escalas espaciales se encuentran las siguientes: la localidad (celdas de 4 km de lado), el municipio, la provincia, la región y la nación, mientras que entre las escalas temporales se hallan las siguientes: por décadas (períodos de diez días) y por períodos (lluvioso, poco lluvioso y anual).

La base de cuadrículas poligonales ha sido creada (Vázquez *et al.*, 2007; Centella *et al.*, 2007) como entidades geográficas independientes a las cuales se les asocia un conjunto de atributos o propiedades del área que representa. Para cada punto de la rejilla interior del territorio fueron calculados los parámetros resultantes del balance hídrico agroclimático del suelo en la rizosfera, como la reserva de humedad productiva del suelo y las condiciones de vegetación de las plantas. Con los valores de la rejilla interior de las condiciones de vegetación se calculó el índice de sequía agrícola. En la figura 1 se presenta una síntesis del proceso seguido, cuadrícula a cuadrícula, para evaluar la sequía agrícola mediante la combinación de los sistemas de información geográfica (SIG) y los algoritmos de cálculo.

El ICESA es la suma de puntuaciones otorgadas al clasificar los estados de SA y la intensidad. Con el propósito de componer el ICESA se reclasifica en cuatro niveles:

La tabla 1 muestra la matriz de puntuación para la propuesta de análisis en el caso de la sequía agrícola. La evaluación se realiza para cada década en cada cuadrícula de las 7 626 cuadrículas de la rejilla mediante la multiplicación del valor que denomina la cualidad, tanto del estado de la sequía agrícola, como de la intensidad. Esto ofrece una matriz de resultados con un recorrido desde el 2 al 15. La categoría ausencia no se analiza, pues se asume que no hay presencia de estrés hídrico.

TABLA 1

Matriz de puntuación para la propuesta de compilación del ICESA, según el análisis de la sequía agrícola y la intensidad

		PSC			
		Fin de SA	PSM	ISA	PSA
		Ausencia (0)	SA baja (1)	SA moderada (2)	SA alta (3)
Intensidad / SA		0	1	2	3
Muy ligera (1)	1			2	3
Ligera (2)	2			4	5
Moderada (3)	3			6	9
Severa (4)	4			8	12
Muy severa (5)	5			10	15

En un análisis diagonal de la tabla propuesta, salta a la vista el hecho del incremento de la severidad o peligrosidad del fenómeno estudiado. El peligro de la presencia de la sequía agrícola se expresaría al efectuar el cálculo de los terciles para dividir el recorrido de las puntuaciones en tres grupos (Tabla 2).

La representación sobre la base de categorías es, en primer lugar, para brindar una mayor visión general del peligro que, naturalmente, el fenómeno representa; en segundo lugar, para facilitar enlazar el análisis del peligro integrado a la sequía meteorológica.

TABLA 2

Categorías del ICESA de acuerdo con su gravedad y expresadas en tres categorías de peligro

Categorías ICESA	Nomenclatura
	Ausencia (0)
ICESA = 2, 3 o 4	Bajo Peligro de Sequía agrícola (1)
ICESA = 6, 8 o 9	Moderado Peligro de Sequía agrícola (2)
ICESA = 12, 10 o 15	Alto Peligro de Sequía agrícola (3)

Programa de cálculo

Para obtener el índice de sequía agrícola, se utiliza una combinación de herramientas disponibles en diversos programas, tales como: los tabuladores electrónicos (EXCEL), y los sistemas de información geográficas (Surfer 7.0, Mapinfo 6.5 y Vertical Mapper 3.0).

Método de ponderación espacio temporal del ICESA. Frecuencia y representación espacio-temporal

Se ha visto hasta aquí, que la información que se obtiene del ICESA clasificado en una categoría de peligro, está referida a cuadrículas y décadas; sin embargo, para ofrecer esta información de acuerdo con los períodos estacionales o agrupaciones de cuadrículas que definan un área geográfica léase, granjas, municipios, provincias etc., es necesario calcular un único valor de peligro y, aunque diferentes métodos existen, se propone aplicar el método de las medias ponderadas para expresar el peligro por sequía agrícola y de este modo podrá posteriormente ser conjugado con otros tipos de sequía que hayan que ofrezcan puntuaciones en similar escala como la sequía meteorológica.

En la tabla 3 perteneciente a una cuadrícula "x", se muestran los valores de los períodos lluvioso y poco lluvioso de un año "x" de las condiciones de vegetación (CV), sequía agrícola (SA) e intensidad (Int). El ICESA se obtuvo aplicando la multiplicación $Int * SA_{en4}$ y luego reclasificando para expresar en tres categorías de acuerdo con el cruce mostrado en la tabla 1.

A continuación, se cuentan los casos en cada una de las categorías para cada período; se multiplica por el valor de la categoría, según corresponda; se suman y el valor ponderado final será la división del total de casos entre la suma del total ponderado: $\sum ICESA * n / \sum años$, donde: n es el número de la categoría (0, 1, 2 y 3)

Para el período lluvioso, el valor es 0.33, mientras que para el período poco lluvioso, el valor es 2.22; estos valores oscilan entre 0 y 3. Si se calculan los cuartiles, se obtiene cuatro zonas representativas de las categorías. La nomenclatura empleada para cada categoría es la siguiente: entre 0 y 0.75, *ausencia*; entre 0.76 y 1.5, *peligro bajo*; entre 1.51 y 2.25, *peligro moderado* y, finalmente, entre 2.26 y 3, *peligro alto*.

TABLA 3

Ejemplo para la obtención del único valor de peligro por períodos estacionales lluvioso y poco lluvioso de una cuadrícula y un año "x"

Décadas	CV	SA	Int	SA en 4	ICESA	P. Lluvioso	
13	2	4	5	0	3	0	16
14	2	4	5	0	3	1	0
15	4	5	5	0	0	2	0
16	4	6	5	0	0	3	2
17	4	0	4	0	0	Suma casos 18	
18	3	0	4	0	0	0	0
19	3	0	3	0	0	1	0
20	3	0	3	0	0	2	0
21	4	0	3	0	0	3	6
22	4	0	2	0	0	Suma ponderados 6	
23	4	0	2	0	0	SA único valor PII 0.33 Ausencia	
24	4	0	1	0	0	P. poco Lluvioso	
25	4	0	1	0	0	0	3
26	4	0	1	0	0	1	2
27	5	0	1	0	0	2	1
28	4	0	1	0	0	3	12
29	4	0	1	0	0	Suma casos 18	
30	3	0	1	0	0	0	0
31	3	0	1	0	0	1	2
32	3	0	1	0	0	2	2
33	2	0	1	0	0	3	36
34	2	1	1	1	1	Suma ponderados 40	
35	2	2	2	1	1	SA único o valor PpII 2.22 P. moderado	
36	2	3	2	2	2		
1	2	4	3	3	3		
2	2	4	3	3	3		
3	2	4	3	3	3		
4	2	4	4	3	3		
5	2	4	4	3	3		
6	2	4	5	3	3		
7	2	4	5	3	3		
8	2	4	5	3	3		
9	2	4	5	3	3		
10	2	4	5	3	3		
11	2	4	5	3	3		
12	2	4	5	3	3		

Recorrido continuo entre 0 y 3, cuartiles:
 -0 y 0.75: Ausencia
 -0.76 y 1.5: Peligro bajo
 -1.51 y 2.25: Peligro moderado
 -2.26 y 3: Peligro alto

De igual modo, se procede para obtener un único valor de peligro por agrupación de cuadrículas con miras a conseguir un valor de peligro por área geográfica. Por ejemplo, si se desea hallar un valor para municipios, se cuentan los casos dentro de las áreas municipales, y se ponderan.

Este procedimiento se realizó para una extensa base de datos sobre las categorías de la sequía agrícola

la e intensidad, con los cuales ha sido posible obtener los valores del ICSA y, a su vez, las probabilidades de la presencia de este fenómeno mediante el análisis de la frecuencia de ocurrencia. Una vez establecida la frecuencia de ocurrencia de cada categoría del ICSA para cada cuadrícula y década, es posible calcular el porcentaje para cada categoría de peligro, lo cual ofrece una información estadística importante, tanto espacio, como temporalmente acerca del peligro por sequía agrícola.

La base de datos corresponde a la serie 1961–2008. La información fue procesada por cuadrículas y décadas; sin embargo, para ofrecer esta información de acuerdo con las exigencias del GNER fue necesario un único valor de peligro y, aunque existen diferentes métodos, se aplicó el de las medias ponderadas para expresar el peligro por sequía agrícola.

Resultados

La figura 2 muestra uno de los resultados del análisis estadístico; puede observarse el porcentaje de probabilidad de ocurrencia de la presencia de sequía agrícola para cada cuadrícula del territorio nacional teniendo en cuenta todas las primeras décadas para el mes de septiembre en los 47 años de la serie empleada. Resulta interesante constatar que mientras en pleno período lluvioso una buena parte del país posee una probabilidad baja de presentar sequía agrícola (detalle superior izquierdo, provincia de Matanzas), otras regiones presentan una probabilidad alta de encontrarse en sequía agrícola (detalle superior derecho, provincia de Las Tunas).

Este primer resultado, emanado del análisis frecuencial de los datos, es muy necesario; sin embargo,

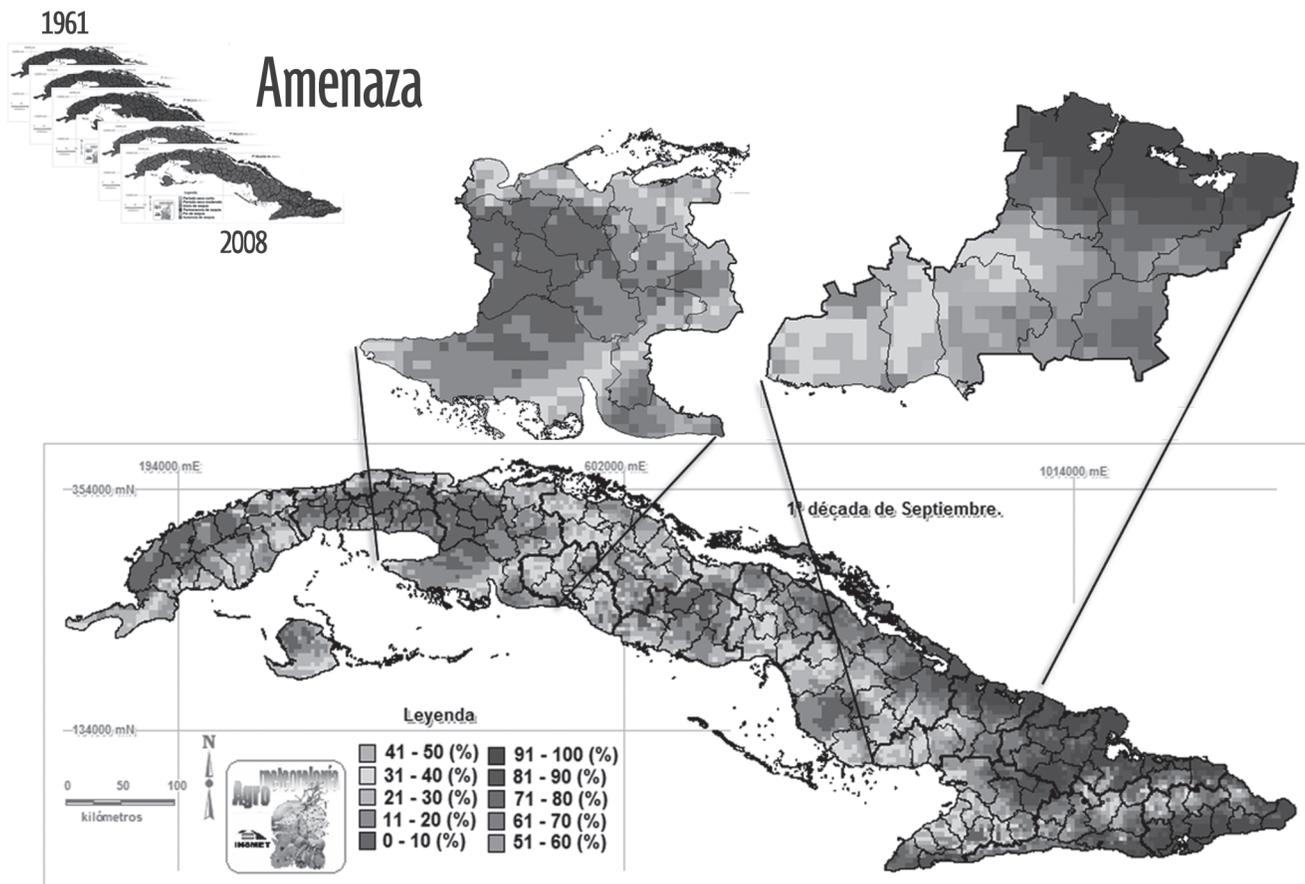


Fig. 2 Porcentaje de probabilidad de ocurrencia de la presencia de la sequía agrícola en la primera década de septiembre.

el índice de peligro va más allá, al relacionar el estado de los períodos con estrés hídrico en la rizosfera y la intensidad de estos durante un período antecedente.

El ICSA obtenido con los algoritmos aplicados permite agrupar sus categorías y expresarlas en niveles de peligro por sequía agrícola. A continuación, se describe el significado desde el punto de vista de manejo agrícola, lo cual significaría cada uno de esos agrupamientos:

Categorías 10, 12 y 15. Peligro "3" alto

Expresa el agotamiento de la reserva de humedad productiva del suelo durante un tiempo muy prolongado a causa de la ausencia de lluvia. Su efecto origina la pérdida total de la cosecha en cultivos agrícolas y pastizales que crecen y se desarrollan en condiciones de secano, así como una merma severa del peso del ganado por la falta de agua y alimentos que incluso podrían conducirle a la muerte. Disminuyen sensiblemente los volúmenes de agua en las fuentes superficiales y subterráneas disponibles para la irrigación de cultivos y el abastecimiento de agua para el ganado. Estas condiciones originan un extremo peligro de ocurrencia de incendios rurales en cañaverales, pastizales, cultivos agrícolas, matorrales y bosques; en ocasiones, han sido causantes de incendios de grandes proporciones.

Categorías 6, 8 y 9. Peligro "2" moderado

Expresa el agotamiento de la reserva de humedad productiva del suelo a intervalos durante un tiempo prolongado a causa de la ausencia de lluvia. Su efecto provoca grandes pérdidas de la cosecha en cultivos agrícolas y pastizales que crecen y se desarrollan en condiciones de secano, así como una merma notable del peso del ganado por falta de agua y alimentos. Disminuyen sensiblemente los volúmenes de de agua en las fuentes superficiales y subterráneas disponibles para la irrigación de cultivos y el abastecimiento de agua para el ganado, y se originan condiciones de alto peligro de ocurrencia

de incendios rurales en cañaverales, pastizales, cultivos agrícolas, matorrales y bosques.

Categorías 2, 3 y 4. Peligro "1". Bajo.

Expresa el agotamiento de la reserva de humedad productiva del suelo a intervalos frecuentes y, en ocasiones, prolongados a causa de la ausencia de lluvia. Su efecto produce reducciones apreciables en la cosecha de cultivos agrícolas y la alimentación del ganado que crecen y se desarrollan en condiciones de secano, así como una disminución en el peso del ganado por la falta de agua y alimentos. Disminuyen los volúmenes de agua en las fuentes superficiales y subterráneas disponibles para la irrigación de cultivos y el abastecimiento de agua para el ganado, y se originan condiciones de peligro moderado para la ocurrencia de incendios rurales en cañaverales, pastizales, cultivos agrícolas, matorrales y otros, mediante los cuales el fuego podría llegar al bosque si los incendios no se combaten a tiempo.

A la serie referida al período 1961-2008 se han aplicado los algoritmos correspondientes, y el resultado es una base de datos del ICSA para cada década de los 47 años y para cada una de las 7 626 cuadrículas. Luego se le practicó la reclasificación en niveles de peligro. A continuación, se muestran una serie de mapas resultado de este proceso. Se elaboraron mapas de 25 percentil, 50 percentil (mediana), 75 percentil, media aritmética y media ponderada.

La figura 3 presenta los mapas calculados para percentil 25 (parte superior) y 75 (parte inferior) de ambos períodos estacionales (izquierda, lluvioso; derecha, poco lluvioso). Esta información permite conocer el nivel de incertidumbre en el momento de tomar decisiones tácticas y estratégicas; por ejemplo, en el caso de los mapas para percentil 25 es importante, puesto que muestra la posibilidad a 75 % de probabilidad de que una cuadrícula o punto del país pueda presentar una categoría determinada del peligro por sequía agrícola.

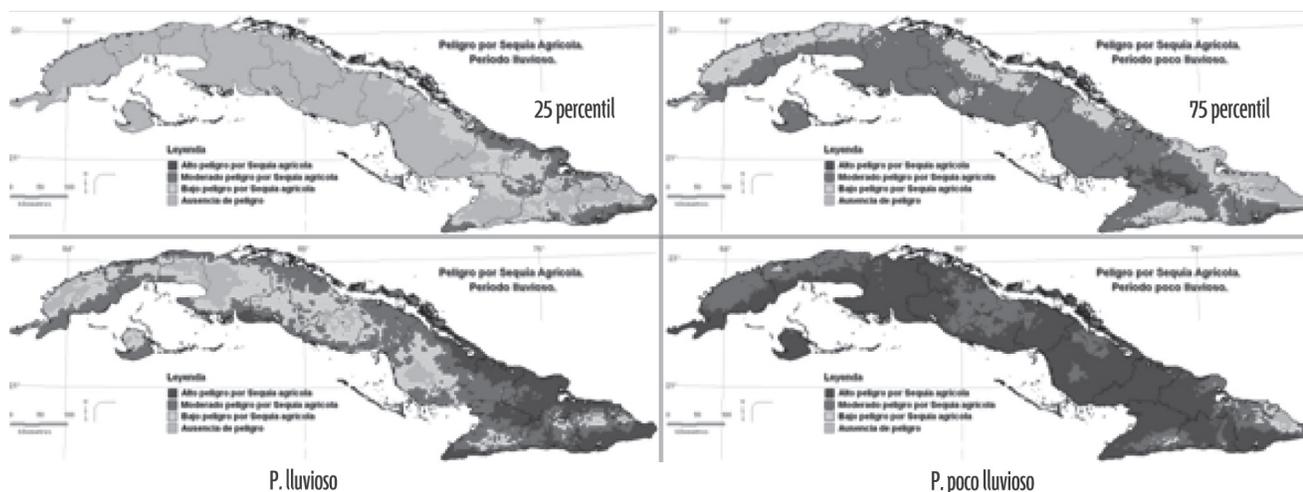


Fig. 3 Peligro por sequía agrícola por cuadrículas y para los períodos estacionales lluvioso y poco lluvioso, a diferentes probabilidades: parte superior (75 %) y parte inferior (25 %).

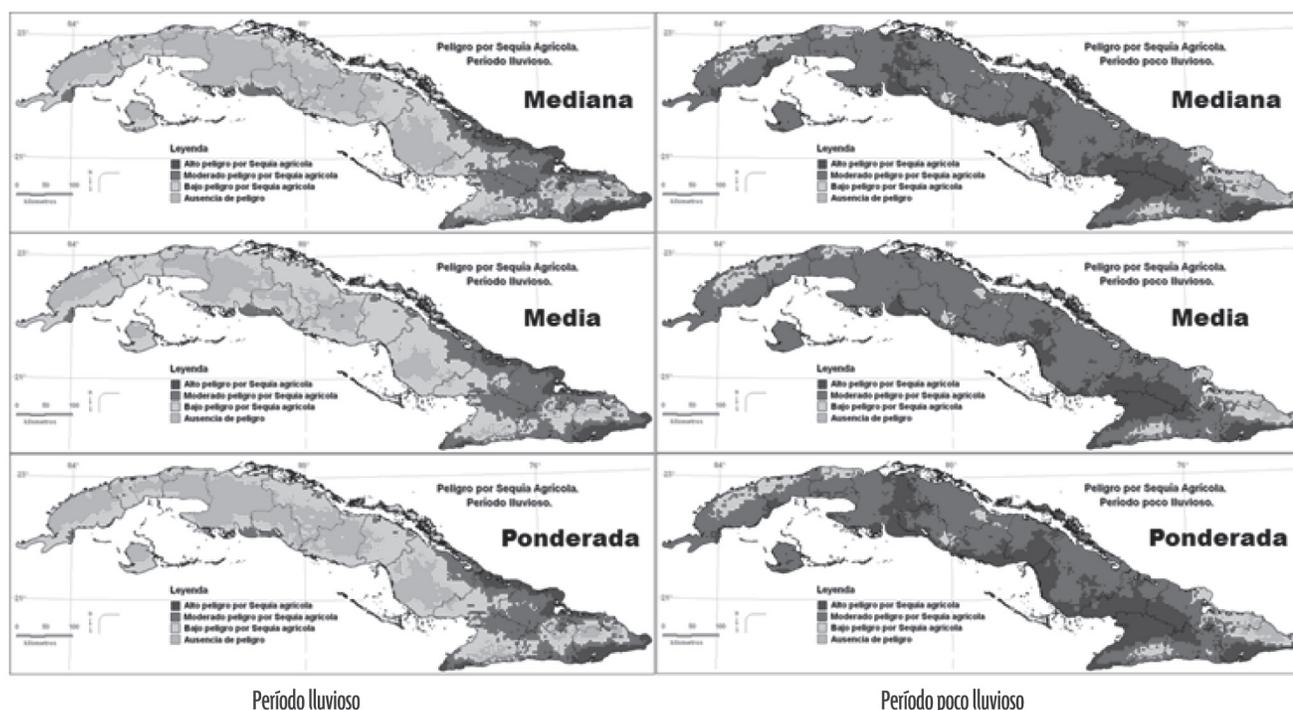


Fig. 4 Peligro por sequía agrícola por cuadrículas y para los períodos estacionales lluvioso y poco lluvioso, valor promedio de la serie por tres métodos: parte superior mediana, parte central media aritmética y parte inferior media ponderada.

No obstante los resultados de los mapas anteriores, siempre es necesario ofrecer cierta información referida a una medida de tendencia central, para lo cual se procesaron tres variantes: 50 percentil (mediana), media aritmética y media ponderada. Al comparar los resultados, se aprecia que la mediana y la ponderación son muy similares;

sin embargo, esta última tiende a develar puntos de categoría de peligro alto que quedan enmascarados en los métodos anteriores. Por ejemplo, las diferencias porcentuales en la categoría de peligro son de 11 % para el período poco lluvioso, mientras que con el método de la media aritmética se observan diferencias de 15 %.

Teniendo en cuenta la necesidad de expresar la información del peligro por municipalidades, se ha generado un mapa municipal (Fig. 5) a partir del mapa procesado con la media ponderada de la figura 4. A la agrupación de cuadrículas contenidas en el área municipal se le aplicó el mismo método, es decir, la media ponderada. Se decidió aplicar este método dado que los resultados comparativos en los períodos estacionales arrojaron que representaba (especialmente) mejor los niveles de peligro.

La figura 5 muestra el mapa anual municipal del peligro por sequía agrícola. Este resultado es interesante, puesto que ofrece una visión espacial del fenómeno en los tres períodos temporales clásicos que presentan los estudios climáticos en Cuba, y permite la comparación con estudios similares referidos a peligros por sequías meteorológica e hidrológica.

Un aspecto que ha de tenerse en cuenta es el hecho de que si, en buena medida, los resultados hasta ahora mostrados representan el análisis de mucha

información contenida pero expresados en solo tres categorías, los datos de cada década y cuadrícula están disponibles para los especialistas en el momento de realizar estudios o análisis que requieran una atención particular.

La figura 6 presenta un caso interesante, donde puede observarse la información particularizada a la provincia de Granma. Aunque no se aprecia en detalle los valores del índice, la gama de grises ofrece una visual de su comportamiento para cada los 47 años de la serie y el valor ponderado de todos para los períodos lluvioso y poco lluvioso. En los mapas de la provincia de Granma se representa (a la izquierda) la categoría del índice de peligro por cuadrícula y (a la derecha) su ponderación espacial para sus municipios. Además, la figura permite una comparación del comportamiento del peligro en sentido espacial y temporal. Las líneas para cada período estacional contienen los valores, en primer lugar, de comportamiento *nacional*; la segunda línea representa la *región*, en este caso la oriental; luego se tiene los valores *provinciales* y sus 13 *municipios*. Es posible detallar qué año presentó mayor o menor peligro y cómo fue su comportamiento para cada localidad con respecto a la región y la nación en su conjunto.

La figura 7 presenta otra forma de observar los resultados teniendo en cuenta la dimensión espacio-temporal al unísono y con la particularidad de poder generalizar el índice; se muestra el cálculo de los porcentajes del área afectada, con los tres niveles de peligro por sequía agrícola para 1991. Estos porcentajes fueron procesados a partir de las agrupaciones de cuadrículas que constituyen las regiones occidental, central y oriental, y la nación en su conjunto.

La curva que representa el peligro alto durante el año, exhibe un comportamiento anual que coincide, en buena medida, con la distribución anual de la categoría más severa de la sequía agrícola, pero con modificaciones, puesto que la intensidad que toma en cuenta los estreses hídricos antecedentes (hasta

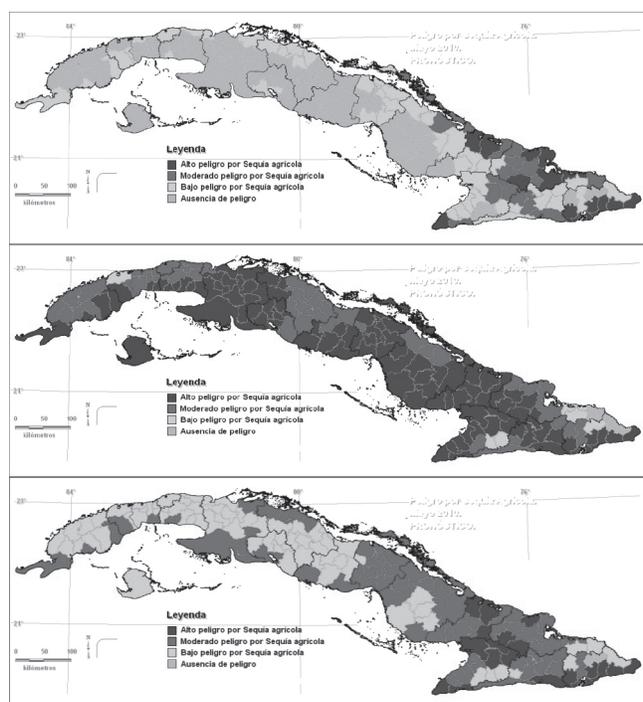


Fig. 5 Mapas municipales del peligro por sequía agrícola para períodos los estacionales anual, lluvioso y poco lluvioso. Valor central a partir de la media ponderada de las cuadrículas.

doce décadas) puede influenciar en que el peligro sea menos severo en un momento dado, o viceversa.

Nótese como en toda la nación y en las tres regiones para el año analizado, el mayor peligro se concentra hacia finales del período seco, al cual la sa-

biduría popular campesina ha denominado como "seca"; no obstante, son apreciables diferencias en el comportamiento de noviembre a febrero, tal es el caso de la región occidental que, para este año (1991), resultó más severo que el resto. En el período lluvioso, las diferencias también se hacen notables, sobre todo en la región oriental, donde el alto peligro por sequía agrícola estuvo presente para 1991 en más de 40 % de su territorio, mientras que el mismo peligro para la región occidental se mantuvo por debajo de 10 % y para la región central, por debajo de 20 %.

Sin duda, este análisis resulta importante puesto que se logra extraer regularidades del comportamiento del peligro por sequía agrícola cualquiera que sea el entorno espacial (provincia, municipio, concejo popular, granja, etc.). Por supuesto, en este caso particular, se ha analizado un año específico; sin embargo, se dispone como uno de los resultados principales de toda la base de datos del peligro para cada cuadrícula y década en 47 años (y subiendo), dado que la herramienta se emplea actualmente en el Sistema para la Vigilancia, el Pronóstico y el Alerta Temprana de la Sequía Agrícola que ejecuta el Centro de Meteorología Agrícola del Insmet, y con ello pueden construirse funciones probabilísticas que aportarán un instrumento indispensable para la planificación y el manejo agrarios.

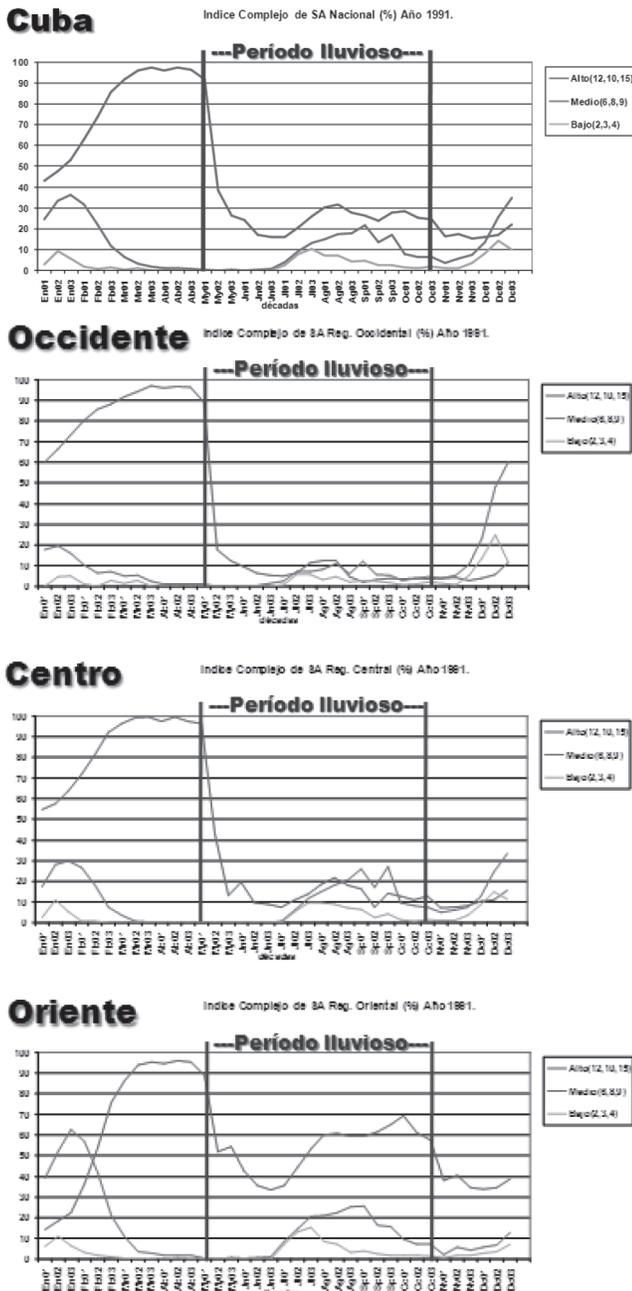


Fig. 7 Porcentajes del área afectada con los tres niveles de peligro por sequía agrícola en 1991, para las regiones occidental, central y oriental, y para la nación en su conjunto.

Conclusiones

1. La integración de categorías que representan el estrés hídrico de la vegetación y su permanencia en el tiempo hasta de doce décadas precedentes, permitió la creación de un índice combinado de sequía agrícola que refleja con buenos resultados el peligro de este fenómeno.
2. Al aplicar diferentes métodos estadísticos para obtener un valor central de la categoría del ICSA se comprueba que el mejor método resultó el de las medias ponderadas.

	Período lluvioso																							
	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
Nación	1.6	1.4	1.3	1.0	1.5	0.7	1.4	0.9	0.6	1.2	1.6	0.8	1.1	1.2	1.4	1.1	0.8	0.9	1.0	1.0	1.5	1.1	1.4	1.2
Oriental	1.9	2.0	1.3	1.5	1.8	1.2	2.3	1.9	1.0	1.9	2.2	1.4	1.6	1.6	2.0	1.9	1.3	1.5	1.2	1.3	2.0	1.2	2.1	1.4
Granma	1.7	1.5	1.0	1.2	1.6	0.8	2.1	1.5	0.7	1.4	1.9	1.7	1.3	1.4	1.5	1.8	1.0	1.3	0.8	1.3	2.0	1.0	2.1	1.1
Bartolomé Masó	1.1	0.7	0.6	1.1	1.3	0.2	1.4	0.8	0.1	1.0	1.3	0.7	0.9	0.9	0.9	1.1	0.4	0.4	0.2	0.6	1.0	0.6	1.4	0.3
Bayamo	1.5	0.8	1.4	1.2	1.9	0.6	2.4	1.9	0.7	1.9	2.1	1.7	1.7	1.0	1.5	2.2	1.4	1.9	1.5	1.8	2.7	1.4	2.5	1.3
Buey Arriba	1.7	0.8	0.4	0.6	1.2	0.1	1.8	1.1	0.1	0.7	0.9	0.5	0.6	0.7	0.5	0.7	0.4	0.5	0.1	0.7	0.8	0.5	1.1	0.6
Campechuela	2.1	1.4	0.6	1.0	1.3	0.2	1.5	1.1	0.5	0.4	1.8	1.2	1.1	1.4	0.9	1.0	0.2	1.1	0.2	0.8	1.8	0.3	2.4	0.5
Cauto Cristo	2.1	2.0	1.8	1.9	2.8	0.8	2.9	2.0	1.0	2.6	2.3	1.9	1.4	1.2	2.2	1.4	1.7	1.5	1.4	1.8	2.6	1.4	1.9	1.9
Guisa	2.0	1.2	0.5	1.0	1.7	0.3	2.4	2.4	0.3	0.7	0.9	0.7	1.1	1.0	0.9	1.0	0.6	0.5	0.1	0.4	1.4	0.6	1.5	0.7
Jiguaní	2.3	1.9	2.0	2.5	2.3	1.5	2.9	2.5	1.1	2.1	2.1	2.2	1.6	2.0	2.7	2.8	1.9	2.1	1.8	1.8	3.0	1.6	2.4	2.4
Manzanillo	1.6	1.9	0.7	0.7	2.0	0.7	2.6	0.9	0.1	0.5	2.1	1.6	0.8	1.8	0.9	1.4	0.5	1.1	0.3	0.3	1.3	0.5	1.7	0.8
Media Luna	2.1	1.7	0.7	0.4	1.1	0.7	1.3	2.1	1.2	0.8	2.1	2.2	1.6	1.2	1.2	2.2	0.4	1.1	0.2	1.1	2.7	1.2	2.6	0.7
Niquero	1.9	1.5	1.7	1.7	2.0	1.8	1.3	1.9	1.4	1.3	2.6	2.7	1.5	2.6	2.5	2.6	1.1	2.2	0.8	1.9	2.6	2.0	2.4	1.8
Pilón	1.5	2.8	1.4	1.9	2.4	2.3	2.6	2.5	1.9	2.1	2.6	2.7	1.9	2.6	2.6	2.7	1.0	2.5	0.9	2.3	2.4	1.6	2.6	2.5
Río Cauto	1.7	2.0	0.8	1.2	1.0	0.7	2.2	0.8	0.6	1.8	1.9	1.9	1.3	1.0	1.6	1.8	1.2	1.1	1.3	1.5	1.7	0.9	2.1	0.8
Yara	0.9	0.8	1.0	0.6	1.1	0.4	2.0	1.1	0.3	1.1	1.9	1.4	0.7	1.5	1.3	1.2	0.9	0.8	0.4	1.0	1.6	0.7	1.5	0.6
	Período poco lluvioso																							
	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
Nación	1.9	2.4	2.3	2.0	1.9	2.0	2.1	2.3	1.7	2.0	2.4	1.8	2.1	2.1	2.3	2.3	2.1	1.8	1.7	1.8	1.7	2.3	1.2	1.9
Oriental	2.2	1.9	2.1	1.4	2.0	1.9	1.6	2.5	2.3	2.1	2.3	1.9	2.0	1.9	2.2	2.2	2.4	1.8	1.8	1.9	1.8	2.2	2.0	2.2
Granma	2.4	2.1	2.2	1.6	2.2	2.2	1.9	2.6	2.3	2.5	2.5	1.9	2.1	2.1	2.5	2.5	2.4	2.0	2.1	2.1	2.1	2.2	2.2	2.1
Bartolomé Masó	2.1	1.7	1.5	1.0	1.8	1.7	1.4	2.0	1.7	2.0	2.3	1.6	1.1	1.9	2.4	1.8	1.6	1.3	1.8	1.6	1.9	1.7	1.4	1.6
Bayamo	2.6	2.0	2.0	1.7	2.7	2.6	2.2	2.9	2.5	2.7	2.7	1.9	2.4	2.4	2.4	2.8	2.9	2.2	2.3	2.5	2.6	2.1	2.9	2.7
Buey Arriba	2.0	1.8	1.1	0.6	1.7	1.4	0.9	2.1	1.3	1.1	1.2	0.9	0.7	1.5	1.8	1.7	1.4	0.3	1.4	1.5	1.6	1.6	1.0	0.9
Campechuela	2.1	1.9	2.5	1.5	2.1	2.2	1.9	2.4	2.3	2.6	2.5	1.6	2.1	1.9	2.6	2.2	2.1	2.0	1.8	2.0	2.2	2.4	1.9	2.2
Cauto Cristo	2.9	2.6	2.6	1.8	2.8	2.4	2.5	2.9	2.6	2.7	3.0	2.3	2.8	2.5	2.4	2.9	2.8	2.5	2.3	2.9	2.5	2.6	3.0	2.8
Guisa	1.9	1.5	1.2	0.6	1.9	1.1	0.7	1.9	1.3	1.1	1.0	1.1	0.4	1.3	1.6	1.4	1.3	0.2	1.4	1.3	1.0	1.6	1.2	1.6
Jiguaní	2.7	2.2	1.8	1.6	2.6	2.5	2.2	3.0	2.9	2.6	2.9	2.1	2.7	2.3	2.8	2.9	2.9	2.7	1.9	2.7	2.2	2.1	2.7	2.4
Manzanillo	2.3	2.1	2.6	2.1	2.2	2.2	2.2	2.9	2.8	2.8	2.6	2.4	2.4	2.2	2.7	2.6	2.4	2.5	2.2	1.5	2.2	2.2	2.3	2.4
Media Luna	2.3	1.9	2.4	1.1	2.1	1.9	1.9	2.6	2.3	2.7	2.6	1.6	2.0	1.8	2.6	2.3	2.1	1.7	2.0	1.9	2.3	2.7	2.1	2.3
Niquero	2.1	1.7	2.7	2.0	1.9	2.3	1.8	2.5	2.2	2.4	2.9	1.9	2.7	2.1	2.9	2.8	2.8	1.7	1.8	2.1	2.3	2.1	2.4	1.9
Pilón	1.8	2.2	2.6	1.5	1.7	2.6	2.3	2.9	2.5	2.9	3.0	2.1	2.8	2.0	2.8	2.9	2.5	2.2	1.9	2.1	2.3	2.4	1.8	2.3
Río Cauto	2.7	2.6	2.6	1.8	2.3	2.4	2.1	2.8	2.6	2.8	2.8	1.9	2.1	2.5	2.4	2.6	2.8	2.7	2.6	2.6	2.1	2.6	2.5	2.2
Yara	2.5	2.3	2.1	2.1	2.3	2.5	2.0	2.9	2.5	2.8	2.5	2.3	2.2	2.4	2.5	2.7	2.6	2.7	2.2	1.9	2.2	2.1	2.4	2.0

Fig. 6 Serie de valores del peligro por sequía agrícola para los períodos estacionales lluvioso y poco lluvioso, ponderado para la nación, región oriental, provincia de Granma y sus municipios.

– Artículos originales: Determinación del peligro por sequía agrícola –

	Período lluvioso																								
	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	UV
Nación	1.3	1.5	1.8	0.7	1.8	1.7	1.1	1.2	1.4	1.3	1.1	1.1	1.5	1.6	1.1	1.9	1.4	1.3	1.2	1.2	0.7	1.0	0.5	1.3	1.1
Oriental	1.7	1.8	1.9	1.5	2.3	2.0	2.0	1.8	1.3	1.6	2.0	1.8	2.1	2.2	1.6	2.3	1.8	1.8	2.1	2.1	1.0	1.4	0.8	1.5	1.7
Granma	1.6	1.7	1.9	1.3	2.0	1.5	1.7	1.6	1.0	1.3	2.0	1.3	1.9	2.0	1.3	1.9	1.9	1.7	1.9	1.9	0.7	1.3	0.8	1.1	1.4
Bartolomé Masó	0.2	1.4	1.0	0.5	1.2	0.7	0.6	0.5	0.2	0.2	2.0	0.6	0.9	0.9	0.3	1.0	1.2	1.2	0.7	0.7	0.0	0.7	0.4	0.3	0.6
Bayamo	1.9	1.8	2.1	1.2	2.1	1.7	1.8	1.2	1.3	1.6	2.5	1.9	1.8	1.9	1.9	2.2	2.0	1.9	2.7	2.7	1.1	1.4	0.6	0.9	1.6
Buey Arriba	0.3	1.0	0.6	0.4	1.1	0.8	2.1	1.3	0.2	0.3	1.5	0.2	0.9	0.9	1.6	1.7	1.0	1.3	1.4	1.4	0.1	0.2	0.1	0.3	0.6
Campechuela	1.3	1.2	0.9	1.4	1.8	1.0	1.2	1.6	0.8	1.2	1.3	1.2	1.4	1.4	0.8	1.6	1.5	1.3	1.7	1.7	0.6	1.0	1.2	1.0	1.0
Cauto Cristo	2.1	1.9	2.3	1.8	2.8	1.6	2.1	1.2	1.7	1.7	2.6	1.9	1.7	1.6	2.2	2.5	2.7	2.7	2.8	2.8	0.5	1.1	0.5	1.7	1.9
Guisa	0.5	1.0	1.7	0.3	2.5	1.8	1.9	1.4	0.5	0.6	1.5	0.9	2.3	2.2	0.8	1.5	0.4	0.4	1.7	1.7	0.2	0.4	0.5	0.5	0.9
Jiguaní	2.2	2.2	2.5	1.8	2.9	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	2.3	1.7	1.6	1.7	0.9	2.0	2.0	2.0	2.6	2.6	0.4	0.7	1.4	1.7	2.0
Manzanillo	1.1	1.7	1.6	1.6	1.1	1.5	1.5	1.6	0.7	1.0	1.6	0.8	1.5	1.6	1.2	1.7	1.9	1.4	0.9	0.9	0.6	1.3	0.9	0.9	1.1
Media Luna	1.8	1.8	2.2	1.7	1.9	1.6	1.7	1.3	1.3	1.3	1.4	1.2	2.3	2.4	1.4	1.8	1.7	1.5	1.6	1.6	0.6	1.6	1.3	1.7	1.5
Niquero	2.6	2.4	2.4	2.4	2.5	2.3	1.8	2.6	1.6	2.3	2.1	2.0	2.8	2.9	2.3	2.5	2.5	2.4	2.5	2.5	1.0	2.7	1.4	2.1	2.1
Pilón	2.2	2.2	2.4	2.3	2.9	2.3	2.1	2.2	1.3	1.8	1.4	1.6	2.3	2.4	1.4	2.6	1.7	1.6	2.1	2.1	1.0	1.9	1.6	1.7	2.1
Río Cauto	2.1	1.7	2.0	1.0	2.1	1.2	1.9	1.9	0.9	1.6	2.4	1.3	2.4	2.6	1.2	2.0	2.5	2.1	1.8	1.8	1.2	1.5	0.4	0.9	1.4
Yara	1.4	1.4	2.1	1.3	1.2	1.1	1.4	1.0	0.7	1.3	1.9	1.2	1.6	1.7	0.9	1.5	1.9	1.7	1.7	1.7	0.7	1.4	0.8	0.6	1.1
	Período poco lluvioso																								
	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	UV
Nación	2.5	2.1	2.5	1.8	2.1	2.1	0.5	1.9	2.2	1.8	2.2	1.7	1.9	2.1	2.2	1.8	2.0	1.9	1.7	2.1	2.4	1.9	1.7	1.6	2.0
Oriental	2.4	2.1	2.7	1.6	2.0	2.5	0.2	1.9	2.2	1.8	2.3	1.7	2.0	2.5	2.4	1.8	1.9	1.7	1.7	2.1	2.4	1.8	1.3	1.3	2.0
Granma	2.5	2.4	2.9	1.7	2.2	2.7	0.2	2.3	2.3	2.0	2.4	2.4	2.2	2.7	2.7	2.3	2.3	1.9	1.9	2.3	2.5	1.9	1.9	1.3	2.2
Bartolomé Masó	1.8	1.4	2.5	1.3	1.3	2.0	0.1	1.8	2.2	1.2	1.5	1.9	1.6	2.2	2.2	1.5	1.5	1.5	1.5	1.7	1.9	1.8	1.1	0.8	1.7
Bayamo	2.6	2.7	2.9	2.0	2.5	2.7	0.2	2.6	2.1	2.1	2.9	3.0	2.7	2.8	2.9	2.8	2.2	2.3	2.4	2.7	2.8	2.3	1.6	1.2	2.5
Buey Arriba	1.5	1.2	2.7	1.1	1.4	1.8	0.1	2.4	0.5	0.2	1.1	1.1	0.8	1.6	2.3	1.6	1.2	1.1	1.1	1.6	2.2	1.5	0.6	0.2	1.2
Campechuela	2.4	2.0	2.7	1.4	1.8	2.5	0.2	2.4	2.7	1.9	2.3	2.3	1.9	2.5	2.6	2.2	2.8	1.8	1.5	2.1	2.6	1.9	2.0	1.2	2.2
Cauto Cristo	2.9	2.8	3.0	2.4	2.9	2.9	0.2	2.7	2.9	2.6	3.0	3.0	2.9	3.0	3.0	2.8	2.9	2.7	2.7	2.9	3.0	1.8	1.8	1.7	2.7
Guisa	1.7	1.2	2.7	0.9	0.7	2.6	0.1	0.7	1.0	0.7	0.7	1.3	1.1	2.1	1.6	1.4	0.8	1.0	0.6	0.7	1.7	1.4	0.6	0.7	1.1
Jiguaní	2.8	2.6	3.0	1.7	2.6	2.9	0.3	2.0	2.5	2.2	2.7	2.9	2.4	2.7	2.7	2.8	2.2	2.2	2.3	2.6	2.7	1.6	1.6	1.7	2.5
Manzanillo	2.7	2.5	2.9	1.7	2.6	2.6	0.2	2.2	2.6	2.1	2.5	2.6	2.2	2.7	2.8	2.7	2.8	1.8	1.7	2.2	2.5	1.9	2.6	1.4	2.4
Media Luna	2.4	2.1	2.8	1.5	1.8	2.5	0.1	2.1	2.7	2.2	2.1	2.4	1.7	2.8	2.8	1.8	2.6	1.8	1.4	1.8	2.3	2.0	2.2	1.3	2.2
Niquero	3.0	2.7	3.0	1.7	2.4	2.8	0.3	2.2	2.9	2.2	2.8	2.7	2.3	3.0	3.0	2.0	2.9	1.9	2.1	2.7	2.7	2.0	2.7	1.4	2.4
Pilón	2.8	2.7	3.0	1.6	1.9	2.9	0.3	2.4	2.7	1.5	1.7	1.0	2.0	2.8	2.8	2.0	2.3	1.9	2.1	2.1	2.2	2.0	1.9	1.4	2.3
Río Cauto	2.6	2.9	3.0	2.0	2.7	3.0	0.4	2.8	2.4	2.9	3.0	2.8	2.7	3.0	3.0	2.9	2.7	2.3	2.3	2.7	2.8	2.1	2.6	1.8	2.6
Yara	2.5	2.7	2.9	1.8	2.6	2.5	0.2	2.5	2.6	2.3	2.8	2.8	2.3	2.6	2.6	2.6	2.3	1.9	1.9	2.5	2.7	1.9	2.4	1.4	2.5

3. La serie de 47 años (1961–2008) permitió el cálculo de los percentiles y la construcción de mapas para determinadas probabilidades; en este sentido, resultó muy interesante el de percentil 25, dado que permite analizar la información con una incertidumbre de 25 %.
4. Los resultados, expresados en mapas de períodos estacionales anual, lluvioso y poco lluvioso para cada municipio, según las exigencias del GNER, resultan suficientes para la integración con otros tipos de sequía.

Referencias

- Centella A., B. Lapinel, O. Solano, R. Vázquez, C. Fonseca, V. Cutié, R. Báez, S. Gonzáles, J. Sillé, P. Rosario y L. Duarte, 2007, *La sequía meteorológica y agrícola en la República de Cuba y la República Dominicana*. Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas (PNUD) en Cuba, 174 p.
- Gallardo Ballat Yurisbel y Brown Manrique Oscar, *Sequías*. *Monografía.com*. <http://www.monografias.com>. Consultado en diciembre de 2010.
- Insmet–Minagri, 2009, "Estrategias agrícolas para enfrentar el cambio climático" (02 corregida, documento interno inédito, Insmet, La Habana, 26 p.
- Sivakumar, M. V. K, 2002, *Drought Information in Agrometeorological Bulletins*. Proceedings of the Inter Regional Workshop on Improving Agrometeorological Bulletins, Bridgetown, Barbados. AGM-5 WMO/TD no. 1108, 15–19 oct., 2001. pp. 237–248.
- Solano, O., R. Vázquez, C. J. Menéndez y J. A. Menéndez, 2000, Sistema Agrometeorológico Operativo para la Detección y el Seguimiento de la Sequía Agrícola en Cuba. En Actas de la reunión de expertos de las asociaciones regionales III y IV Sobre Fenómenos Meteorológicos Adversos, Caracas, Venezuela, 12–14 de jul., 1999, pp. 45–54.
- Solano, O., R. Vázquez, J. A. Menéndez y M. E. Martín, 2003, Modelo agroclimático de balance hídrico del suelo. Formulación y representación espacial. Informe científico técnico de resultado de investigación. Proyecto "Pronostico de peligro de incendios forestales, su seguimiento y evolución utilizando técnicas de observación terrestre y la percepción remota", Instituto de Meteorología, La Habana, 30 p.
- Solano, O., R. Vázquez, C. Menéndez, J. A. Menéndez y M. E. Martín, 2005, "Evaluación de la Sequía Agrícola en Cuba", *Revista Cubana de Meteorología*, Instituto de Meteorología, vol. 12, no. 2, La Habana, pp. 3–14.
- _____ 2005a, "Evaluación de la Sequía Agrícola en Cuba", *Revista Cubana de Meteorología*. Instituto de Meteorología, vol. 12, no. 2, La Habana, pp. 3–14.
- Solano, O., R. Vázquez, A. Centella, C. Menéndez, M. González, *et al.*, 2005b, Evaluación científica de los riesgos asociados a la ocurrencia de la sequía agrícola en Cuba, Proyecto PNUD–CUBA RLA/01/013 "Strengthening Links Between Development and Climate Change Adaptation in the Caribbean", La Habana, 151 p.
- Solano, O., R. Vázquez y M. E. Martín, 2006a, A study of the spatial extension of agricultural drought in Cuba and its hyper-annual trends. In Climate Variability and Change–Hydrological Impacts (Proceedings of the Fifth FRIEND World Conference, held at Havana, Cuba, november 2006), IAHS Publ. 308, 2006. pp 315–318.
- _____ 2006b, *Sistema para la vigilancia, el pronóstico y el alerta temprana de la sequía agrícola en Cuba*. Disco Compacto de la 5th World Friend Conference Climate Change and Hydrological Impacts, Hotel Cohiba, 27th november–1st december, La Habana, Cuba, 24p.
- Vázquez, R., Fernández, A., Solano, O., Lapinel, B. y Rodríguez F., 2007, *Mapa de aridez de Cuba*. Zonas áridas, no. 11, año 2007, ISSN 1013–445x versión impresa, ISSN 1814–8921, versión electrónica, p. 101–110, Lima, Perú.

Vázquez R. (2008), "Sistemas de Información Geográfica en la gestión agrometeorológica y agroclimatólogica en Cuba", en *Memorias del II Congreso de Meteorología Tropical, Convención Trópico 2008* (disco compacto), sección Agrometeorología, La Habana, Cuba, 14p.

Vázquez, R. y Solano O, 2009, "Índice de susceptibilidad de ocurrencia de incendios en la vegetación" en *Memorias de la VII Convención Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo* (disco compacto), La Habana, 15 p.

Wilhite, D. A. and M. H. Glantz, 1987, *Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definition, Planning for Drought*, West View Press, pp. 11-27.

World Meteorological Organization, 1994: *A decadal against natural disasters*, WMO, no. 799, 20 pp.