

Evaluación de la sequía agrícola en Cuba

Autores: Oscar Solano Ojeda, Ransés Vázquez Montenegro, Jorge A. Menéndez Ginorio,

César Menéndez García y María E. Martín Padrón

Departamento de Meteorología Agrícola, Instituto de Meteorología: e-mail: agromet@met.inf.cu

Resumen

Se expone un método que permite evaluar las condiciones de sequía agrícola, formadas y esperadas el cual fue concebido para determinar el inicio, evolución temporal, espacial, intensidad, duración y fin de los procesos de sequía agrícola, en los trabajos de investigación y del servicio agrometeorológico cubano, sobre la base de la introducción de las técnicas más avanzadas en el terreno internacional, aplicadas a la determinación del poder evaporante de la atmósfera y al uso del agua por las plantas. El método agrometeorológico de diagnóstico y pronóstico de la sequía agrícola está sustentado en el seguimiento decadal de las condiciones secas resultantes del índice de humedecimiento modificado, obtenido como salida del balance hídrico agrometeorológico del suelo, el cual permite evaluar la sequía agrícola atendiendo al área afectada, a su duración y a su intensidad. La evaluación de las condiciones de sequía agrícola se realiza década a década, para cada sitio de observación y de una rejilla de puntos que abarca todo el país, y permite determinar el comienzo, la intensificación, la extensión espacial, el debilitamiento, la reducción del área afectada, el fin, la duración y la ausencia de la sequía agrícola a partir del empleo de herramientas de los Sistemas de Información Geográfica para confeccionar los mapas de la distribución espacial de la evolución de este evento climático extremo. El método utilizado refleja con veracidad y exactitud el grado en que el déficit de humedad ha perjudicado el rendimiento agrícola en condiciones de secano, por las tensiones que ha generado el estrés hídrico en la vegetación y toma en cuenta con precisión la demanda y el suministro de agua de cada componente del complejo suelo – planta – atmósfera, lo cual se muestra en dos ejemplos de aplicación del modelo al Sistema de Vigilancia de la Sequía Agrícola.

Palabras clave: Sequía agrícola, zonificación agroclimática.

Introducción

Actualmente, la definición más universal de sequía se encuentra en el texto de la Convención de Lucha contra la Desertificación (CCD), elaborada por Naciones Unidas y ratificada en 1996 (DPCSD/CCD/95/2):

Por «sequía» se entiende el fenómeno que se produce naturalmente cuando las lluvias han sido considerablemente inferiores a los niveles normales registrados, causando un agudo desequilibrio hídrico que perjudica los sistemas de producción de recursos de tierras

(Parte I, Introducción, Artículo 1).

En el contexto de agricultura, la sequía «no comienza cuando cesa la lluvia, sino cuando las raíces de las plantas no pueden obtener más humedad del suelo» y puede ser definida sobre la base de la humedad del suelo más que sobre alguna interpretación indirecta de los registros de precipitación. Dado que la reserva de humedad productiva del suelo depende del carácter del suelo y del cultivo, existe sequía agrícola, cuando la humedad del suelo en la rizosfera se encuentra en un nivel tal que limita el crecimiento y la producción del cultivo. Visto de otro modo, según la Organización Meteorológica Mundial, hay sequía agrícola cuando la cantidad de precipitación y su distribución, las reservas de agua del suelo y las pérdidas debidas a

la evaporación se combinan para causar disminuciones considerables del rendimiento de los cultivos y del ganado. El resultado de ello es una producción alimentaria deprimida, condiciones inadecuadas de pastoreo, una baja rentabilidad de los trabajos y de las inversiones agrícolas, una disponibilidad menor de madera para la combustión, un peligro mayor de ocurrencia de incendios en la vegetación, un riesgo de desertificación mayor y las consecuencias sociales y económicas vinculadas a la sequía, incluida una inseguridad en los suministros alimentarios.

En condiciones de agricultura de secano la precipitación determina la disponibilidad de agua y el tiempo en que las plantas pueden abastecerse de ella. Una parte del agua proveniente de la lluvia es almacenada en el suelo y es utilizada por las plantas para satisfacer sus necesidades. Cuando la disponibilidad de agua en el suelo es inferior a las necesidades de la vegetación para satisfacer el crecimiento y el desarrollo normal, aunque el agua es teóricamente disponible hasta el punto de marchitez permanente, el consumo de agua por las plantas se reduce progresivamente desde el límite productivo (valor inferior del contenido de agua en el suelo, por encima del cual las plantas alcanzan rendimientos aceptables, si no existen factores limitantes), hasta el punto de marchitez. En este caso, la conductividad hidráulica del suelo no permite que el agua

almacenada en él pueda ser transportada suficientemente rápido hacia las raíces de las plantas para responder a la demanda de transpiración.

En general, cuando la transpiración es mayor que el agua absorbida por las raíces, lo cual ocurre primeramente durante el día, las plantas comienzan a padecer de estrés hídrico, manifestado por la pérdida de turgencia de las hojas. Si estas condiciones de marchitez temporal desaparecen durante la noche, cuando la transpiración se reduce, el estrés hídrico a que están sometidas las plantas es ligero y si no ocurren varios periodos de estrés ligero en la misma época, los cultivos pueden soportarlo, llegando a alcanzar rendimientos aceptables, pero si estas condiciones se mantienen, el estrés llega a ser moderado y comienza a manifestarse la sequía permanente en horas del día y de la noche. En estas condiciones las plantas crecen y se desarrollan con dificultad, lo que después se refleja en los rendimientos, aún cuando posteriormente reciban agua suministrada por la lluvia o la irrigación. Si estas condiciones continúan, el estrés hídrico llega a ser severo y puede causar grandes afectaciones en determinados estadios de desarrollo de las plantas. Si no se abastece la humedad del suelo las plantas pueden llegar a perecer.

Desde principios de esta misma década, especialistas del Centro de Clima del Instituto de Meteorología han confeccionado predicciones climáticas a corto y mediano plazo, mediante la utilización de modelos de pronósticos de lluvia y temperaturas mensuales y estacionales y esto ha permitido la toma de medidas encaminadas a la mitigación de los efectos de los eventos meteorológicos perjudiciales sobre múltiples ramas de la economía y la sociedad, incluyendo entre ellas las relacionadas con el sector agrícola. La exactitud de las predicciones climáticas ha ido mejorando durante los últimos años, en la medida en que se ha incrementado la vigilancia de la atmósfera y de los océanos. Estas predicciones se expresan habitualmente en forma de desviaciones previstas respecto a las condiciones normales y en ellas no se incluye habitualmente ninguna predicción detallada de las variaciones meteorológicas dentro del periodo de que se trate.

La integración de la predicción climática a largo plazo en los sistemas de vigilancia dirigidos a la agricultura ha contribuido al conocimiento de eventos extremos que afectan a este sector, con suficiente antelación y ello representa una valiosa herramienta para los agricultores y otras personas relacionadas con la toma de decisiones de manejo agrícola, tales como la planificación de fechas de siembra o del momento adecuado para regar y la cantidad de agua a suministrar, la construcción de obras de drenaje o para

distribuir el agua, en dependencia de que las condiciones esperadas vayan a ser muy húmedas o muy secas, entre otros aspectos.

Solano y Vázquez (1999a y 1999b) describieron un método generado por ellos para detectar y seguir la evolución de la sequía agrícola a partir de la vigilancia de las condiciones secas del índice de humedecimiento. Este método, expresado en términos de contenido de agua en el suelo en la zona de las raíces, explicó con muy buena aproximación (Solano *et al.* 2000a y 2000b; Solano y Vázquez, 2002) la evolución temporal, espacial y de la intensidad de la sequía agrícola al nivel de localidad, municipio, provincia, región y país hasta el comienzo del año 2003. Más adelante, Solano *et al.* (2003a), ajustaron el modelo de balance hídrico del suelo en la rizosfera, según el método tradicional empleado por la Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), modificado por Allen *et al.* 1998, lo simplificaron y calibraron algunos cálculos de sus elementos principales, para su uso operativo en el servicio de vigilancia y en la investigación agrometeorológica y lo expresaron en términos de agotamiento de agua en la rizosfera, utilizando los métodos propuestos por un conjunto de expertos de la Comisión Internacional de Riego y Drenaje, la Organización Meteorológica Mundial y la FAO y planteados en el Estudio FAO No. 56 de la serie Riego y Drenaje.

El objetivo general de este trabajo fue mostrar los métodos utilizados por el Sistema de Vigilancia Agrometeorológica Nacional para evaluar el comienzo, el fin, la duración y evolución temporal, espacial y de la intensidad, de la sequía agrícola en Cuba, en una escala adecuada para fines exploratorios.

Materiales y métodos

El método se sustenta en la evaluación de la sequía agrícola a partir del estrés hídrico en la vegetación producido por el déficit de humedad del suelo (Solano *et al.* 2003d). Para calcular este término se requiere hallar con precisión la demanda y el suministro de agua de cada componente del complejo suelo – planta – atmósfera. Para ello se ha utilizado el modelo agrometeorológico de balance hídrico en la rizosfera descrito por Solano *et al.* (2003a). Los elementos de entrada al modelo son la precipitación efectiva y la demanda evaporativa de la atmósfera.

La precipitación efectiva es calculada por el método de Rojas (1983), modificado por Martelo (1997), aplicando un coeficiente de pérdidas por escorrentía. La demanda evaporativa de la atmósfera es calculada por el método de Penman Monteith (Monteith, 1985; Monteith, 1991) ajustado por Menéndez *et al.* (1999), a las condiciones climáticas de Cuba. Para realizar la

zonificación de esta variable agrometeorológica se utilizaron gradientes de variación de la evapotranspiración de referencia con la altitud, obtenidos por Solano *et al.* (2003c).

El modelo de balance hídrico toma en cuenta, además, parámetros del suelo tales como su textura, inclinación de la pendiente, capacidad de campo, punto de marchitez permanente y algunos elementos de las plantas, tales como la profundidad efectiva de las raíces, la fase de desarrollo alcanzada por el cultivo y los coeficientes de los cultivos.

Como resultado de este balance se obtiene, el índice de disponibilidad hídrica (que no es más que el contenido de la reserva de humedad productiva del suelo en el período decadal analizado respecto a la capacidad de campo), para una rejilla de puntos que cubre todo el país y cuyo paso es de 9 km de lado.

$$I_{sa} = f[(IH)_i, (IH)_{i-1}, (IH)_{i-2}, (IH)_{i-3}, \dots, (IH)_{i-n}]$$

donde IH es el Índice de Humedecimiento modificado (Solano *et al.*, 2003b) en la década en que se evalúa el índice (i), en la década anterior (i-1), hasta la enésima década anterior (i-n). El Índice de Humedecimiento es calculado con auxilio del balance hídrico simplificado del suelo en la rizosfera (Solano *et al.*, 2003a) de la siguiente forma:

$$Ar_i = Ar_{i-1} - Pe_i - I_i + ETca_i$$

donde:

Ar_i es el agotamiento de agua en la rizosfera al final del período temporal anterior de análisis (i - 1).

Pe_i es la precipitación efectiva en el período temporal de análisis (i).

La relación cuantitativa existente entre este índice y la precipitación, la reserva de humedad productiva, las necesidades hídricas de las plantas y el estrés hídrico a que se encuentra sometida la vegetación, son las variables que dan origen a la modelación para elaborar un índice agrometeorológico que permite determinar las condiciones de humedad formadas en la vegetación predominante en la zona estudiada y otras cuestiones relacionadas con la humedad en diversos aspectos relacionados con la agricultura, nombrado por Solano y Vázquez (1998), Solano *et al.* (2001) y Solano *et al.* (2003b), como el índice de humedecimiento. El seguimiento continuo de las condiciones del índice de humedecimiento para una localidad permite detectar la presencia de eventos extremos secos y húmedos perjudiciales para la agricultura. De esta forma, el índice de sequía agrícola (I_{sa}) puede ser expresado como una función del Índice de Humedecimiento:

El balance hídrico agrometeorológico simplificado del suelo en la rizosfera, es expresado en términos del agotamiento de agua en la rizosfera (Ar_i), al final de un día, década, etc., como:

I_i es la irrigación en el período temporal de análisis (i).

$ETca_i$ es la evapotranspiración de cultivo ajustada en el período temporal de análisis (i).

Si el balance hídrico del suelo se realiza en condiciones de agricultura sostenible y de secano, la ecuación simplificada toma la forma:

$$Ar_i = Ar_{i-1} - Pe_i + ETca_i$$

El proceso se repite para todas las décadas siguientes $i + 1, i + 2, \dots, i + n$.

La evapotranspiración del cultivo (ETc o necesidad hídrica de un cultivo específico) para condiciones estándar (cultivos bien abastecidos de agua), durante un período de tiempo dado, se obtiene como

resultado del producto de la evapotranspiración de referencia de ese mismo período calculada por el método Penman - Monteith ajustado para las condiciones de Cuba, según Menéndez *et al.* (1999), por los coeficientes de cultivo que relacionan Allen *et al.* (1998).

$$ETc = Kc * ETo$$

Cuando el agua disponible es menor que el límite productivo, la tasa a la cual se evapora el agua disminuye. Para simular este fenómeno, Allen *et al.* (1998) señalan que para condiciones no estándar (con ajustes en el suministro de agua), la evapotranspiración

donde:

Kc es el coeficiente de cultivo.

ETo es la evapotranspiración de referencia (mm).

del cultivo ajustada (ETca), durante un período de tiempo dado, es el producto de ETC de ese

mismo período, por el coeficiente de estrés:

$$ETca = (Kc * ETo) * Ks$$

donde:

Ks es el coeficiente de estrés.

El índice de disponibilidad hídrica (IDH) representa la razón entre la reserva de agua del suelo en la década

de análisis y el total de agua disponible por los cultivos a capacidad de campo:

$$IDH = (TAD - Ar) / TAD$$

donde:

(TAD - Ar) es el contenido actual de agua en la rizosfera (mm).

TAD es el total de agua disponible en la rizosfera (mm).

Este índice se determina mediante una hoja de cálculo de Microsoft Excel programada para calcular el balance hídrico simplificado del suelo

(Solano *et al.*, 2003a) con formularios especiales sustentados en métodos de avanzada y ajustados a las condiciones de Cuba.

El índice de humedecimiento modificado se conceptuó en una escala de seis valores mediante los algoritmos siguientes:

$$(\theta_{sat} - \theta_{pmp}) * Pr < (Pe + I - ETca + TAD - Ar_{r,i})$$

para la categoría excesivamente húmedo,

donde:

θ_{sat} es el contenido de agua del suelo en condiciones de saturación (m^3/m^3)

θ_{pmp} es el contenido de agua del suelo para el punto de marchitez permanente (m^3/m^3)

Pr es la profundidad de las raíces del cultivo (mm)

$$TAD < (Pe + I - ETca + TAD - Ar_{r,i}) \leq (\theta_{sat} - \theta_{pmp}) * Pr$$

para la categoría muy húmedo,

$$TAD * (1 - f) \leq (Pe + I - ETca + TAD - Ar_{r,i}) \leq TAD$$

para la categoría favorablemente húmedo,

donde:

f es la fracción media del total de agua disponible en el suelo que el cultivo puede extraer fácilmente de la rizosfera.

$$TAD * (1 - f) / 2 \leq (Pe + I - ETca + TAD - Ar_{r,i}) < TAD * (1 - f)$$

para la categoría ligeramente seco,

$$\theta_{pmp} * Pr \leq (Pe + I - ETca + TAD - Ar_{r,i}) < TAD * (1 - f) / 2 \text{ y } Pe + I > \theta$$

para la categoría muy seco,

$$Pe + I = 0 \text{ y } TAD - Ar_{r,i} = 0$$

para la categoría severamente seco.

En este caso, la detección y evolución de la sequía agrícola es evaluada a partir de las condiciones de estrés hídrico señaladas por Allen *et al.* (1998), expresadas según las categorías secas del Índice de Humedecimiento modificado.

Las escalas de evaluación para la extensión espacial y la intensidad de la sequía agrícola han sido elegidas de forma arbitraria. Sin embargo, para la determinación de la extensión temporal se ha tenido en cuenta en su conceptualización, la correspondencia con algunos criterios que imponen respuestas análogas en la

vegetación, utilizados por algunos servicios meteorológicos internacionalmente reconocidos para definir la sequía absoluta y los períodos secos. (Ascaso y Casals, 1986; Sivakumar, 2002), o el utilizado por Lapinel *et al.*, (2003) para conceptualizar las diferentes categorías de la sequía meteorológica en el Sistema de Vigilancia de la Sequía del Centro de Clima, en Cuba.

La información primaria utilizada para diagnosticar la sequía agrícola provino de estaciones de superficie. En total unas 70 estaciones meteorológicas

pertenecientes al Instituto de Meteorología y unas 630 estaciones pluviométricas pertenecientes al Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, ambas Instituciones de la República de Cuba.

La escala espacial de trabajo fue 1:1 000 000, la cual ha resultado adecuada para la exploración al nivel nacional de diversos índices agrometeorológicos en los trabajos de investigación de las zonificaciones de diferentes índices de interés agrícola para el Atlas Agrometeorológico de Disponibilidades Hídricas para una Agricultura de Secano (Menéndez *et al.*, 2001) y en la vigilancia de índices agrometeorológicos dentro del servicio operativo a la agricultura.

Para el análisis nacional de la sequía agrícola no es posible disponer operativamente de la localización exacta de los cultivos ni tampoco de sus estadios de crecimiento y desarrollo. Por esta razón, se diseñó un modelo para la vigilancia de un índice general de sequía agrícola, representativo para los agroecosistemas agrícolas y de bosques, en condiciones de agricultura de secano y se asumió que el consumo de agua por las plantas, en este caso, se efectúa a su valor potencial, o sea, que las necesidades hídricas de las plantas son iguales a la demanda evaporativa de la atmósfera (evapotranspiración de referencia). No obstante, de ser requerido, este método es ajustable al análisis individual del consumo de agua para cada fase de desarrollo de cultivos específicos y por tanto, permite en estos casos analizar la evolución de la sequía agrícola que puede estar afectándolos.

La información agrometeorológica empleada para evaluar las condiciones de la sequía agrícola en cada punto de observación y para una rejilla de puntos, proviene de los resultados obtenidos en la evaluación del índice de humedecimiento modificado durante un período de al menos cinco décadas anteriores a la década donde se esté evaluando el índice de sequía. Los resultados de estas evaluaciones son calculados por un software especialmente diseñado para este fin. Estos resultados se superponen para evaluar y clasificar los períodos de tiempo seco según Solano y Vázquez (1999a), y con el empleo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se obtiene la distribución espacial de la sequía agrícola. Con la ayuda de las herramientas de los SIG, Solano y Vázquez (1999b) conformaron un sistema de vigilancia decadal de la sequía agrícola para toda Cuba, el cual ha ofrecido a los agricultores y planificadores agropecuarios, mapas correspondientes a períodos de diez días, con las salidas del modelo de evaluación de la sequía agrícola, cuyos resultados muestran la distribución espacial de las condiciones de comienzo, intensificación, extensión espacial, reducción del área afectada, fin y ausencia de sequía agrícola en el territorio nacional.

No todas las sequías agrícolas afectan a la vegetación de igual forma, su efecto depende del estrés hídrico en que se encuentren las plantas (intensidad) y del tiempo en que estas condiciones hayan estado influyendo sobre ellas (duración).

Para calcular y realizar la distribución espacial del índice de sequía agrícola se han empleado diversas herramientas de los SIG y los tabuladores electrónicos. Los SIG permitieron múltiples y complejas operaciones con los mapas, al organizar la información a manera de capas, entre ellas, las operaciones básicas, empleadas son: la vectotización, la interpolación, la reclasificación, la tabulación cruzada y la sobreposición.

Los SIG se utilizaron para obtener la información vectorial del contorno de Cuba, la división político administrativa, la hipsometría y la composición mecánica de los suelos. Los mapas de la hipsometría y la composición mecánica de los suelos, del Nuevo Atlas Nacional de Cuba (ACADEMIA DE CIENCIAS DE CUBA, 1989) fueron escaneados, geo-referenciados y digitalizados. Los mapas del contorno de Cuba y la división político administrativa fueron utilizados de la base topográfica digital de Cuba a escala 1:250 000 (GEOCUBA, 2003), en el mismo formato.

Los SIG fueron empleados también para utilizar la información en formato rejilla (*raster*). Se generó una rejilla cuyos límites en décimas de grados son los siguientes: -84.97 y -74.11 de longitudes extremas y 19.81 y 23.23 de latitudes extremas. Para la distribución espacial o interpolación de los diferentes parámetros que intervienen en el cálculo del balance hídrico en la rizosfera, del índice de humedecimiento y de la sequía agrícola, se aplicó el método de la distancia inversa al cuadrado. En cada cuadrícula se almacena la información de la lluvia efectiva, de la evapotranspiración de referencia, altitud, textura del suelo, reserva de humedad productiva, entre otros.

Dada la complejidad del algoritmo diseñado para realizar el cálculo del índice de sequía agrícola se exportó la información temática de cada cuadrícula necesaria para la evaluación del modelo en el tabulador EXCEL donde se construyó una hoja electrónica con dicho algoritmo. Finalmente, la información de la evaluación de la sequía agrícola obtenida para cada cuadrícula fue reinsertada a un SIG para su mapeo y acabado cartográfico, utilizando en esta ocasión una rejilla con idénticos límites a los iniciales, cuya cuadrícula generada es de 0.01 décimas de grado de lado (aproximadamente 1 km).

El comportamiento medio del índice de sequía agrícola y su intensidad para áreas tales como empresas, municipios, provincias, etc. se determinó mediante la aplicación de comandos de sobreposición y extracción disponibles en los SIG antes mencionados.

En la Figura 1 se muestra un esquema de los pasos seguidos para diagnosticar o pronosticar la sequía

agrícola mediante la utilización de varios SIG y los algoritmos de cálculo.

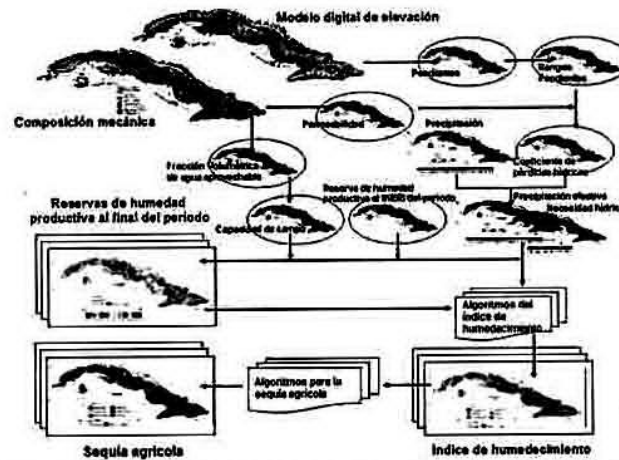


Fig. 1. Esquema de las operaciones realizadas para diagnosticar y pronosticar la sequía agrícola mediante la utilización de los SIG.

Al realizar las predicciones de la sequía agrícola, se utilizan, como elementos de entrada al modelo agrometeorológico de evaluación de la sequía agrícola, las condiciones ya formadas en la vegetación en el momento de la elaboración del aviso, las predicciones a largo plazo mensuales y estacionales de lluvia y temperaturas extremas realizadas por especialistas del Centro de Clima y la información estadística de series climáticas locales de muchos años, de 70 estaciones meteorológicas del Instituto de Meteorología y de 682 estaciones pluviométricas del Instituto de Recursos Hidráulicos, organizadas en períodos de diez días, para evaluar las condiciones de sequía agrícola esperadas y poder emitir avisos tempranos de alerta.

Al utilizar la predicción climática a largo plazo, se asume en el método empleado que la variación en porcentaje respecto a la norma de las variables climáticas lluvia y temperaturas extremas esperadas para la localidad que se esté analizando y se quiera efectuar el balance hídrico del suelo, se corresponderá con la variación, en porcentaje respecto a la norma, de la variable climática pronosticada para la región del país donde se encuentre la localidad de interés.

De no existir predicciones para los restantes variables meteorológicas necesarias para calcular la evapotranspiración de referencia, éstas podrán ser estimadas según criterio de experto a partir de la selección percentilica correspondiente a las variables climáticas pronosticadas, o seguir el método propuesto por Frère y Popov (1986) de utilizar las normas agroclimatológicas de la evapotranspiración de referencia al realizar el balance hídrico del suelo en la rizosfera, puesto que:

- La evapotranspiración de referencia y los parámetros que la condicionan tienen una variabilidad mucho menor, para un determinado período de tiempo del año, y en una localidad dada, que las precipitaciones, que normalmente registran variaciones ilimitadas para un período de tiempo dado.

- Si bien la evapotranspiración de referencia puede mostrar algunas variaciones en los valores correspondientes a algunos días sucesivos, éstas variaciones serán ampliamente amortiguadas si se toman en consideración para los cálculos los valores por década o por semana. Estos valores normales de evapotranspiración de referencia por estación y por década se extraen de las bases de datos agroclimatológicas.

Ante la imposibilidad material de obtener información estadística de daños producidos por la sequía agrícola en diferentes sectores agropecuarios y períodos temporales, y la de utilizar información real de rendimientos agrícolas por campo, afectados por otros factores adicionales a los de índole agroclimática, se muestra la introducción del método agrometeorológico de evaluación de la sequía agrícola, como una herramienta teórica, en un ejemplo del Sistema de Vigilancia Agrometeorológica y emisión de avisos tempranos de alerta de la sequía agrícola. En este caso, la evaluación de dos predicciones agroclimáticas a partir de los pronósticos climáticos (mensuales y estacionales) de precipitación elaborados por el Centro de Clima del Instituto de Meteorología los primeros días del mes de noviembre de 2002 y los primeros días de junio de 2003, para los períodos poco lluvioso y lluvioso que le continuaron, respectivamente. Cada uno de ellos, a partir de las condiciones formadas en

la vegetación al momento de realizar el pronóstico y los resultados de la predicción estacional de precipitación. Los resultados de la evaluación de la predicción temporal de la sequía agrícola son expresados en porcentaje de cumplimiento del pronóstico medio para todo el país, a partir de la evaluación de la predicción de la sequía agrícola de una década o mes, contrastada con las condiciones reales de esa década o mes, respectivamente, para cada cuadrícula de 1 km² del país.

La aplicación práctica del modelo generado por Solano y Vázquez (1999a y 1999b) para calcular el índice de sequía agrícola y diagnosticar y predecir, en el sistema de vigilancia agrometeorológica, el desarrollo de los procesos de este evento climático extremo en los diferentes episodios de sequía agrícola desde 1996 hasta la fecha, Solano *et al.* (2000b) y Solano y Vázquez (2002), han indicado que este modelo ha descrito con muy buena aproximación el inicio, extensión espacial, evolución, disminución del área afectada, debilitamiento, fin y ausencia de la sequía agrícola.

Resultados y discusión

La experiencia adquirida en la utilización de los métodos utilizados por Solano y Vázquez (1999a y 1999b) permitió calibrar la categoría de fin de sequía, haciéndola corresponder con la desaparición de las condiciones de estrés hídrico en la vegetación.

Sobre la base del seguimiento de los períodos de tiempo seco 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, fin y duración de la sequía agrícola, en función de las condiciones de estrés hídrico que afectan a la vegetación predominante en la zona estudiada, la evolución de la sequía agrícola se ha conceptualizado en seis categorías.

• **Período seco corto.** Esta categoría expresa que ha sucedido un período seco en el cual la vegetación ha agotado la reserva de humedad productiva del suelo y ha permanecido en estrés hídrico moderado a severo durante las siguientes dos décadas (categorías del índice de humedecimiento muy secas o severamente secas). Sus efectos pueden corresponderse, en términos de afectación por estrés hídrico a las plantas, con las categorías de sequía absoluta, período seco o sequía parcial, citados por Sivakumar (2002).

• **Período seco moderado.** Se corresponde con aquel período seco que ha mantenido a la vegetación en estrés hídrico moderado o severo, por un período adicional de una década, a la categoría descrita anteriormente y cuya duración ha sido mayor o igual a tres décadas posteriores al inicio del agotamiento del agua del suelo.

• **Inicio de sequía agrícola.** Comprende aquel período seco que ha mantenido sometida a la vegetación en estrés hídrico moderado o severo, por un período adicional de una década, a la categoría descrita anteriormente y cuya duración ha sido mayor o igual a cuatro décadas posteriores al inicio del agotamiento del agua del suelo. Este período temporal, suficientemente largo, se corresponde con el inicio de la sequía meteorológica en el Sistema de Vigilancia de la Sequía que lleva a cabo el Centro de Clima.

• **Permanencia de sequía agrícola.** Esta categoría indica el establecimiento de la sequía agrícola. La sequía agrícola, en este caso, ha mantenido sometida a la vegetación en estrés hídrico moderado o severo, por un período adicional de una década, a la categoría ya descrita anteriormente y su duración ha sido mayor o igual a cinco décadas posteriores al inicio del agotamiento del agua del suelo.

• **Fin de sequía agrícola.** Comienza con la primera década, entre dos décadas consecutivas, donde se presentan condiciones húmedas después de un período seco, pudiendo haber entre ellas 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 éste 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 y esto disminuye débilmente su producción de biomasa).

• **Ausencia de sequía agrícola.** Se corresponde con aquel 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 máximos rendimientos.

Atendiendo a su duración temporal, al igual que en el análisis de la sequía meteorológica Lapinel *et al.* (2000), en el Sistema de Vigilancia de la Sequía Agrícola, la sequía agrícola se conceptúa como de:

• **Corto período.** La extensión temporal total de la sequía agrícola es igual o mayor a cuatro décadas, pero no llega a abarcar un período estacional.

• **Corto período estacional.** La extensión temporal total de la sequía agrícola es igual o mayor a un período estacional, pero no llega a comprender dos períodos estacionales.

• **Largo período.** La extensión temporal total de la sequía agrícola abarca dos o más períodos estacionales.

Atendiendo a la extensión espacial de la sequía agrícola, el Sistema Nacional de Vigilancia de la Sequía Agrícola contempla la evaluación en la escala nacional, aunque pueden ser utilizadas otras escalas

espaciales menores tales como regiones, provincias y municipios. La escala para la evaluación espacial de la sequía agrícola, mostrada en la Tabla 1, toma en cuenta el porcentaje del área del territorio evaluado que se encuentra en diferentes categorías de sequía agrícola en su proceso de evolución, respecto a la suma total del área que contenga el territorio evaluado.

Tabla 1. Categorías de evaluación de la sequía agrícola atendiendo a su extensión espacial, tomando en cuenta el porcentaje del área del territorio evaluado que se encuentra en diferentes categorías de sequía agrícola en su proceso de evolución (X), respecto a la suma total del área que contiene el territorio evaluado.

Categoría de evaluación de la sequía agrícola	Umbral mínimo (%)	Porcentaje del territorio evaluado que se encuentra en diferentes categorías de sequía agrícola, respecto a la suma total del área de territorio evaluado			Umbral máximo (%)
Ausencia	0	≤	X	<	5
Muy pequeña	5	≤	X	<	20
Pequeña	20	≤	X	<	40
Mediana	40	≤	X	≤	60
Grande	60	<	X	≤	80
Muy grande	80	<	X	≤	95
Total	95	<	X	≤	100

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

Muy ligera: Se corresponde con un período de tiempo seco en el cual la suma de las décadas muy secas o severamente secas que lo componen no llegan a alcanzar 20% de la longitud total de un período seco de al menos 12 décadas de duración. Se incluyen también los períodos de tiempo seco corto y moderado.

Ligera: Se presenta cuando en un período seco, la suma de las décadas muy secas o severamente secas superan o igualan 20%, pero no llegan a alcanzar 40% de la longitud de un período seco de al menos 12 décadas de duración. Se incluyen también los períodos de tiempo seco con 4 ó 5 décadas clasificadas de muy secas o severamente secas.

Moderada: Se corresponde con un período de tiempo seco en el cual la suma de las décadas muy secas o severamente secas superan o igualan 40%, pero no llegan a alcanzar 60% de la longitud de un período seco de al menos 12 décadas de duración. Se incluyen también los períodos de tiempo seco con 6, 7 y 8 décadas clasificadas de muy secas o severamente secas.

Severa: Se presenta cuando en un período de tiempo seco, la suma de las décadas muy secas o severamente secas superan o igualan 60%, pero no llegan a alcanzar 80% de la longitud de un período seco de al menos 12 décadas de duración. Se incluyen también los períodos de tiempo seco con 9, 10 y 11 décadas clasificadas de muy secas o severamente secas.

Muy severa: Se corresponde con un período de tiempo 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 12 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.

Una sequía agrícola de largo período puede contener otros períodos menores de sequía agrícola de corto período con igual o diferente intensidad a la correspondiente evaluación de la sequía agrícola de largo período que los contiene.

En la Figura 2 se muestran las evaluaciones de la intensidad (representada por el color de fondo en cada municipio) y duración, en décadas, de la sequía agrícola (representada por el número que aparece en el interior del contorno de cada municipio) en el año 2000, respectivamente, de cada municipio estudiado en las cinco provincias más orientales del país durante el período principal de la sequía agrícola.

Según Solano y Vázquez (2002), el año 2000 se caracterizó por tener dos períodos de sequía agrícola, el primero y principal, comenzado ya durante los últimos meses del año anterior, manifestó su presencia desde la primera década de enero hasta más allá de mediados de año. El período seco comprendió desde unas 16 décadas en Granma, hasta unas 23 - 24 décadas en las restantes provincias, y la intensidad de la sequía agrícola, en general, resultó evaluada de muy severa. Esta sequía resultó la más severa ocurrida en las provincias orientales durante los años 1998/2000.

Resulta muy difícil probar los resultados de la aplicación del modelo obtenido para la evaluación de la sequía agrícola sobre la vegetación natural o cultivos agrícolas establecidos, sin embargo, la experiencia práctica en el uso sistemático de la evaluación de la sequía agrícola ha servido como elemento alentador mediante la realización de

evaluaciones teóricas en el sistema de vigilancia agrometeorológica y como expresión de ello, se exponen un ejemplo de avisos tempranos de alerta de la sequía agrícola, el cual ofrece a los tomadores de decisión, la posibilidad de actuar oportunamente y reducir los impactos adversos, es decir, adaptarse a los efectos de la variabilidad climática.

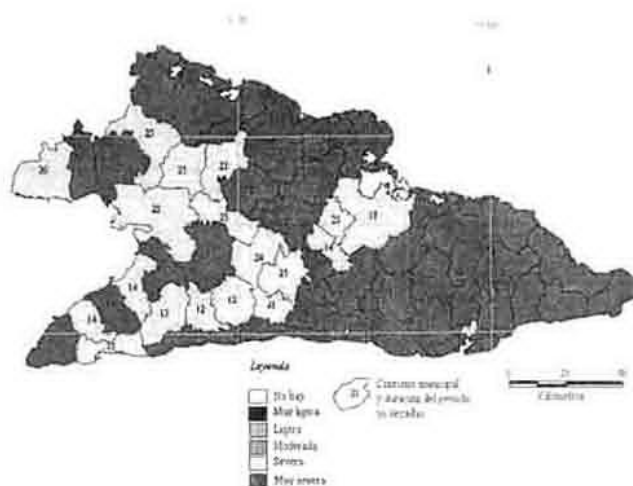


Fig. 2. Evaluación de la intensidad de la sequía agrícola del año 2000, durante el periodo principal, en las cinco provincias más orientales del país.

A continuación se muestran dos ejemplos de predicciones de la sequía agrícola a largo plazo, elaboradas dentro del sistema nacional de vigilancia de este evento climático extremo. El primero de ellos, confeccionado el 4 de octubre de 2002, al inicio del periodo estacional poco lluvioso. Las condiciones de sequía agrícola formadas en la vegetación al final de la década anterior (31 de octubre) a la fecha de realización del pronóstico, se muestran en la Figura 3. En esta figura puede observarse que al terminar el período lluvioso del año, la sequía agrícola ya establecida se encontraba

afectando el nordeste de Camagüey, Las Tunas y la zona al noroeste de Holguín. Procesos de sequía agrícola en evolución se observaban al noroeste de la provincia Granma y Guantánamo.

En la Tabla 2 se muestra la evaluación de las predicciones de la sequía a largo plazo, utilizando el mismo método de evaluación, para 10, 20 y 30 días posteriores a la fecha de elaboración del pronóstico y también, para finales de los meses de diciembre de 2002 y enero, febrero, marzo y abril de 2003.



Fig. 3. Diagnóstico de la sequía agrícola en Cuba al final de la tercera década de octubre de 2002.

Tabla 2. Evaluación de la predicción de la sequía agrícola realizada el 3 de noviembre de 2002 para el final de diferentes periodos temporales de la estación poco lluviosa del año.

Periodo temporal	Cumplimiento de la predicción (%)
1 década de noviembre de 2002	99,7
2 década de noviembre de 2002	94,9
3 década de noviembre de 2002	86,9
3 década de diciembre de 2002	77,2
3 década de enero de 2003	72,5
3 década de febrero de 2003	67,5
3 década de marzo de 2003	62,3
3 década de abril de 2003	62,8

Tabla 3. Evaluación de las predicciones de la sequía agrícola, realizadas el 4 de junio de 2003, para el final de diferentes décadas de la estación lluviosa del año.

Periodo temporal	Cumplimiento del pronóstico (%)
3 década junio de 2003	88,4
1 década de julio de 2003	94,1
2 década de julio de 2003	85,4
3 década de julio de 2003	79,8
1 década de agosto de 2003	69,3
2 década de agosto de 2003	63,5
3 década de agosto de 2003	74,3

En la Tabla 3 se muestra la evaluación de la predicción de la sequía agrícola a largo plazo, en este caso dentro de la estación lluviosa del año, utilizando el mismo método de evaluación para el final de la tercera década de junio y las décadas siguientes, hasta la tercera de agosto, para periodos de 30, 40, 50, 61, 71, 81 y 92 días posteriores a la fecha de elaboración del pronóstico, en este caso, confeccionado el día 4 de junio de 2003.

Nótese en las Tablas 2 y 3 que en las predicciones a largo plazo de la sequía agrícola, el grado de incertidumbre aumenta mientras mayor es el periodo temporal pronosticado. Los resultados de las predicciones a largo plazo deben ser interpretados como tendencias de los elementos climáticos previstos sobre grandes zonas del país y no para localidades específicas. No obstante, las predicciones de la sequía agrícola en todos los casos analizados han mostrado resultados alentadores.

Conclusiones.

- El empleo del modelo agrometeorológico de evaluación de la sequía agrícola utilizado en este trabajo permitió detectar y describir con muy buena aproximación el comienzo de este evento climático adverso y el proceso de intensificación, extensión espacial, debilitamiento, reducción del área afectada, el fin y la ausencia de la sequía agrícola. Ha permitido además, explicar la evolución temporal, espacial y de la intensidad de la sequía agrícola, a escala local, municipal, provincial, regional y para todo el país, de cada episodio de sequía agrícola, a partir del análisis de la existencia y continuidad en el tiempo de condiciones de estrés hídrico en las plantas, su duración e intensidad

- Los resultados de la aplicación de este método en los sistemas de vigilancia agrometeorológica para la emisión de avisos tempranos de alerta y en la investigación, tienen una gran importancia para la planificación agropecuaria, fundamentalmente en condiciones sostenibles y de secano. Ello permitió obtener el conocimiento puntual de la sequía agrícola en los lugares de observación y la distribución espacial de la sequía agrícola mediante el empleo de los Sistemas de Información Geográfica. Su uso en la vigilancia operativa y en la investigación ha generado una base de datos decadal, en soporte digital, donde cada cuadrícula posee información de las condiciones de sequía agrícola.

- La aplicación práctica del método de evaluación de la sequía agrícola presentado, utilizado como herramienta teórica, ha permitido evaluar adecuadamente los resultados del efecto de este evento climático extremo en la vigilancia de la sequía agrícola y de las condiciones de peligro potencial de ocurrencia de incendios en la vegetación. La utilización de este método agrometeorológico de evaluación de la sequía agrícola, sobre la información proveniente de las predicciones climáticas ya permitido emitir avisos tempranos de alerta para plazos temporales mucho mayores a los avisos emitidos anteriormente por el sistema de vigilancia nacional, lo que ha ayudado a los agricultores y actores a manejar el riesgo climático en la toma de sus decisiones. El conocimiento futuro de la sequía agrícola ha sido un criterio potencialmente útil para determinar las fechas de siembras agrícolas, la época de riego y el monto de agua a suministrar por irrigación a los cultivos, entre otras opciones de manejo agrícola, lo cual ha contribuido a un incremento de la seguridad alimentaria en el país.

▪ Los diferentes métodos objetivos de evaluación temporal, espacial y de la intensidad de la sequía agrícola mostrados en este trabajo sientan las bases para acometer nuevas investigaciones agroclimáticas y del riesgo que origina este evento climático extremo, mejoran la interpretación de la sequía agrícola y de las salidas de los servicios agrometeorológicos y por tanto, a la ampliación del conocimiento científico de la sequía en Cuba.

Referencias Bibliográficas.

Academia de Ciencias de Cuba. 1989: «Nuevo Atlas Nacional de Cuba» Editado por el Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de Cuba, el Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía y el Instituto Geográfico Nacional de España.

Allen, R., L. Pereira, D. Raes y M. Smith. 1998: «Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements». In FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. 301 p.

Ascaso, A. y M. Casals. 1986: «Vocabulario de términos meteorológicos y de ciencias afines». Ministerio de Transporte, Turismo y Comunicaciones. Instituto Nacional de Meteorología. Sección de Publicaciones. Madrid.

Frère, M. y G.F. Popov. 1986: «Pronóstico agrometeorológico del rendimiento de los cultivos». Estudio FAO de Producción y Protección Vegetal No. 73. Roma, 1986. 172 p.

GEOCUBA. 2003: «Base Topográfica Digital a Escala 1:250 000 de la República de Cuba en Formato MapInfo». Disco Compacto. La Habana. Cuba.

Lapinel B., D. Pérez, V. Cutié, C. Fonseca, R. Aroche, et al. 2000: «Interconexión entre eventos en la categoría de forzamiento climático y la ocurrencia de sequía en Cuba». Informe científico técnico de resultado de investigación. Proyecto 01301017 Causas de la sequía en Cuba y su pronóstico. Instituto de Meteorología. La Habana 53 p. y 3 a.

Lapinel B., C. Fonseca, V. Cutié, D. Pérez, I. Rivero, et al. 2003: «Capítulo I en Monografía del Proyecto 0421 «La Sequía en Cuba».» Obra Científica. Instituto de Meteorología. La Habana. 138 p. 16 a.

Martelo, M. T. 1997: «Cálculo del balance hídrico». En Cursillo Regional de Expertos (ARIII) sobre Técnicas Agrometeorológicas en la Agricultura Operativa de América Latina. Paipa, Colombia, Ginebra, Suiza. Pp. 21 – 35.

Menéndez C. J., O. Solano, R. Vázquez, J. A. Menendez, M. Osorio, M. González, T. Burgo y T. Gutiérrez. 2001: «Atlas Agrometeorológico de

Disponibilidades Hídricas para una Agricultura de Secano». Informe final de resultado de investigación. Instituto de Meteorología. La Habana, Cuba.

Menéndez J. A., O. Solano y R. Vázquez. 1999: Estimación de la Evapotranspiración de Referencia por el Método de Penman – Monteith. Disco Compacto de las Memorias de la Convención Trópico' 99, en el Congreso de Meteorología Tropical. Palacio de Convenciones de La Habana, Cuba, Ref. MT 001, 5 p.

Monteith, J. L. 1985: «Evaporation from land surface: Progress in analysis and predictions since 1948». Proceedings of the National Conference on Advances In Evapotranspiration, December 16-17, 1985, Chicago, American Society of Agricultural Engineers.

Monteith, J. L. 1991: «Weather and Water in Sudano – Sahelian Zone». In Soil Water Balance in the Sudano – Sahelian Zone. Proc. Int. Workshop. Niamey. Niger. February 1991. Edts. M.V.K. Sivakumar, J.L. Wallace, C. Renards and C. Giroux. Institute of Hidrology. Wallingford. U.K. IAHS Press. Publication No. 199. Pp. 443 – 458.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS. 1996: Convención de Lucha Contra la Desertificación (CCD), Parte 1, Introducción, Artículo 1. (DPCSD/CCD/95/2).

Rojas, R. 1983: «Hidrología de las Tierras Agrícolas». CIDIAT. Venezuela. Citado por Martelo, 1997. 33 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 October, 2001. Pp. 237-248.

Solano, O. y R. Vázquez. 1998: «Sistema de seguimiento agrometeorológico decadal del Índice de humedecimiento para los cultivos». Disco compacto de las Memorias del X Congreso Brasileño de Meteorología y VIII Congreso de la FLISMET. Area de Agrometeorología. Referencia AG- 98034. 5 p.

Solano, O y R. Vázquez. 1999a: «Modelo agrometeorológico de evaluación de la sequía agrícola». Disco de las publicaciones de los trabajos presentados en la Convención Trópico'99, en el Congreso de Meteorología Tropical. Palacio de Convenciones de La Habana, Cuba. Referencia MT 026. 4 p.

Solano, O. y R. Vázquez. 1999b: «Sistema de seguimiento agrometeorológico decadal de la sequía agrícola». Disco de las publicaciones de los trabajos presentados en la Convención Trópico'99, en el Congreso de Meteorología Tropical. Palacio de Convenciones de La Habana, Cuba, Ref. MT 009. 5 p.

Solano, O., R. Vázquez, C. J. Menéndez y J. A. Menéndez. 2000a: «Sistema Agrometeorológico Operativo para la Detección y 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 julio de 1999. Pp 45 – 54.

Solano, O., R. Vázquez y E. Pérez. 2000b: «Evaluación de la sequía agrícola de 1998 y 1999 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 julio de 1999. Pp 21 – 29.

Solano, O., R. Vázquez y J.A. Menéndez. 2001: «El índice de humedecimiento modificado y su aplicación en el servicio de vigilancia y emisión de avisos tempranos de alerta para los agricultores cubanos». Disco compacto de las Memorias del XI Congreso Nacional de la Organización Mexicana de Meteorólogos. Referencia pon. 59 htm. 9 p.

Solano, O. y R. Vázquez. 2002: «Estudio de caso de la sequía agrícola en las cinco provincias más orientales de Cuba». Disco compacto de las Memorias del Primer Seminario Taller «La Física en la Meteorología». Ciudad de La Habana. Cuba. 23 p.

Solano, O., R. Vázquez, J.A. Menéndez y M.E. Martín. 2003a: «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, J.A. Menéndez y M.E. Martín. 2003b: «Modelo agroclimático para el cálculo del índice de humedecimiento modificado». 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. 22 p.

Solano, O., C. Menéndez, R. Vázquez y J.A. Menéndez. 2003c: «Estudio de la Evapotranspiración de Referencia en Cuba». Revista Cubana de Meteorología. Instituto de Meteorología. Volumen 10, No. 1, 2003. pp 33 – 38.

Solano, O., R. Vázquez, J.A. Menéndez C. Menéndez y M.E. Martín. 2003d: «Modelo agrometeorológico de evaluación de la sequía agrícola». 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. 33 p.

Abstract

Based in the introduction of the most advanced international techniques, used to calculate the atmosphere evaporation demand and the water used by the plants, a method that allows to evaluate the current and prospective agricultural drought conditions it is shown. The same, was conceived to determine the beginning, the temporary and space evolution, the intensity and the end of the agricultural drought processes, used in the Cuban agrometeorological research and service. An agrometeorological agricultural drought method was generated, based on the ten days monitoring of the dry conditions as a result of the modified water Index, as one of the most important output of the agrometeorological soil water balance, it allows assess the agricultural drought according to the affected area, their duration and intensity. The method is able to calculate the agricultural drought decade to decade, for each observation point of a grid for the whole country with a resolution of 1 km², and also for each point is possible to determine the beginning, the intensification, the space magnification, the attenuation, the affected area reduction and the agricultural drought end and absence, aided with the employment of geographical information systems tools, with which is possible to make the maps of the space distribution of the evolution of this extreme climatic event. With truthfulness and accuracy the application of this method reflects the degree in which the humidity deficit has harmed the agricultural yield under unirrigated land conditions, due to the tensions generated by the water stress in the crops; it takes accurately into account the demand and the water supply of each component of soil-plant-atmosphere system, which is shown in two model application examples of the Surveillance Agricultural Drought System.

Key words: Agricultural drought, agroclimatic zoning.