

MODELO AGROMETEOROLÓGICO DE EVALUACIÓN DE LA SEQUÍA AGRÍCOLA.

*Oscar Solano, Ransés Vázquez, Jorge A. Menéndez,
César Menéndez y María E. Martín.*

*Instituto de Meteorología, Apdo. 17032, C.P. 11700, Habana 17. Ciudad de La
Habana. Cuba*

Teléfono: (537) 8670714

Fax: (537) 338010

E-mail: agromet@met.inf.cu

RESUMEN

Se generó un modelo agrometeorológico de evaluación de la sequía agrícola sustentado en el seguimiento decadal de las condiciones secas resultantes del índice de humedecimiento para los cultivos, obtenido como salida del balance hídrico agrometeorológico del suelo, sobre la base de la introducción de técnicas avanzadas en el terreno internacional aplicadas a la determinación de la demanda evaporativa de la atmósfera y al uso del agua por las plantas, el cual permite evaluar la sequía agrícola atendiendo al área afectada, a su duración y a su intensidad. El modelo calcula las condiciones de sequía agrícola década a década, para cada sitio de observación y de una rejilla de puntos que abarca todo el país, con una resolución de 1 km², 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. La aplicación del modelo 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. Se muestran dos ejemplos de aplicación del modelo en la Vigilancia de la Sequía Agrícola.

Palabras clave: Sequía agrícola, zonificación agroclimática.

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 model was generated, based on the decade monitoring of the dry conditions as a result of the crop water index, as one of the most important output of the agrometeorological soil water balance, it allows assess

the agricultural drought keeping in mind the affected area, their duration and intensity. The model 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. It is 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 model application 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.

INTRODUCCIÓN.

Las frecuentes anomalías climáticas presentadas durante las tres últimas décadas (Centella *et al.*, 1997) han traído como resultado disponer con más frecuencia de suministros de agua insuficientes para la vegetación. Estas condiciones han requerido el desarrollo de métodos de evaluación y pronósticos y otros servicios de apoyo a la toma de decisiones de los agricultores, para ser aplicados en la vigilancia agrometeorológica y en la emisión de avisos tempranos de alerta al sector agropecuario, con el propósito de suministrar continuamente información confiable, autorizada y oportuna a los agricultores y actores relacionados con la adopción de decisiones dirigidas a la producción agrícola.

La ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM) (1987) define la sequía como un período anormal de tiempo seco suficientemente prolongado para que la falta de agua cause un serio desbalance hidrológico (esto es daños a los cultivos, carestía de agua, etc.) en la zona afectada. Las sequías son conocidas desde la antigüedad y la historia recoge muchos episodios de esta naturaleza. Aunque las sequías son más frecuentes en las regiones tropicales y subtropicales, especialmente en las zonas áridas, ellas son un fenómeno temporal, el cual puede ocurrir en cualquier región del mundo en áreas de mucha y poca lluvia.

Por los datos estadísticos, más de tres cuartas partes de las tierras en continentes e islas están sometidas en uno u otro grado a la acción de la sequía. La sequía es uno de los riesgos climáticos que más desastres origina a escala mundial. En tiempos de sequía la disminución del rendimiento de los cultivos alcanza de 20% a 30%, y en casos extremos puede llegar a alcanzar valores entre 40 y 45%, incluso hasta la pérdida de la cosecha, si el evento extremo actuó con severidad sobre determinadas fases de desarrollo importantes, tales como la floración y la formación de la cosecha.

Según Sivakumar (2002), hay un número de componentes que pueden ser considerados esenciales en la presentación de la descripción de la sequía en una región determinada. Ellos incluyen información sobre el inicio y el fin de este evento extremo, la intensidad, la duración, la extensión espacial del episodio específico de

sequía y el análisis del riesgo del fenómeno y su efecto probable sobre la producción agrícola.

Los índices agroclimáticos obtenidos de las variables meteorológicas básicas indican, de una manera general, el inicio, la extensión espacial, la intensificación y el fin de la sequía, pero no pueden ser de utilidad para la evaluación de la sequía agrícola y la producción de alimentos. Otros investigadores difieren, apoyándose en que estos índices, individualmente o colectivamente, no pueden reflejar exactamente la sequía agrícola ya que el problema de la sequía agrícola concierne a los aspectos físicos y biológicos de las plantas y su interacción activa con el medio ambiente. Por consiguiente, cualquier estudio y desarrollo del índice de sequía agrícola deberá reflejar realmente y con exactitud este fenómeno complejo. También deberá definir en que grado el cultivo es perjudicado en su crecimiento y desarrollo, por las tensiones a que han estado sometidas las plantas en estrés, debido al déficit de humedad y cuantificar detalladamente el suministro y la demanda de agua en el complejo suelo – planta - atmósfera, por tanto, los índices de sequía agrícola son desarrollados fundamentalmente a partir de la precipitación, evaporación, evapotranspiración, contenido de agua en el suelo y estado de desarrollo de los cultivos.

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 ligadas a la sequía, incluida una inseguridad en los suministros alimentarios.

OBJETIVOS

El objetivo general de este trabajo fue utilizar los conocimientos agrometeorológicos más novedosos de la literatura internacional, adaptarlos a las condiciones de Cuba y formular el desarrollo teórico y los algoritmos necesarios que simulen la sequía agrícola a partir de las condiciones climáticas, utilizando para ello técnicas avanzadas de procesamiento de datos y los Sistemas de Información Geográfica, con el fin de aplicar estos conocimientos en las investigaciones y los Sistemas de Vigilancia Agrometeorológica.

Los objetivos específicos fueron:

- Obtener un modelo de evaluación de la sequía agrícola que describa, por métodos objetivos, el comienzo, el fin, la duración y evolución temporal, espacial y de la intensidad, en una escala adecuada para fines exploratorios, de cada proceso de sequía agrícola.

- Aplicar los resultados obtenidos en el servicio operativo a la agricultura y en la generación futura de una base de datos que permita desarrollar nuevas investigaciones agrometeorológicas y estudios de riesgo de sequía agrícola.

MATERIALES Y METODOS

El modelo 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. 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, 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, mediante una hoja electrónica (Solano *et al.*, 2003a) creada en el desarrollo del modelo para el cálculo del balance hídrico del suelo en la rizosfera, el índice de disponibilidad hídrica para una rejilla de puntos que cubre todo el país y cuyo paso es de 1 km de lado. 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 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.

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 condiciones secas del índice de humedecimiento modificado (Solano *et al.*, 2003b).

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 evaluación de la extensión temporal se han 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.*, (2002) 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 correr el modelo agrometeorológico de evaluación de la sequía agrícola, presentado en este estudio, 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 literatura internacional recoge diferentes métodos para determinar la influencia de las variables climáticas sobre la sequía, tanto meteorológica como agrícola y entre ellas, el elemento climático más importante y comúnmente considerado es la precipitación. Algunos de ellos se sustentan en análisis mensuales de la información del tiempo atmosférico. En la aplicación agrícola un mes es un período muy largo y poco adecuado para evaluar el déficit de agua de los cultivos en condiciones de secano. La lluvia puede concentrarse en determinado período del mes, creando así otros períodos más secos en la parte restante, y por ello, para estudiar la influencia de la sequía agrícola, que puede ser crítica en determinadas fases de desarrollo de las plantas, Frere *et al.* (1978), Appa Rao (1986) y Eldin (1986), han recomendado organizar la información en períodos decadales (10 días), para aumentar su precisión y por esta razón, la escala temporal utilizada fue la década. 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, el modelo generado 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 cuya resolución es de 1 km², 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 vectorización, la interpolación, la reclasificación, la tabulación cruzada y la sobreposición. Los SIG permitieron también obtener la información vectorial del contorno de Cuba, la división político administrativa, la hipsometría y la composición mecánica de los suelos. Los mapas, sacados del Nuevo Atlas Nacional de Cuba (ACADEMIA DE CIENCIAS DE CUBA, 1989), fueron escaneados, geo-referenciados y digitalizados. Para estos efectos fue utilizada la base topográfica digital de Cuba a escala 1:250 000 (GEOCUBA, 2003), en el mismo formato.

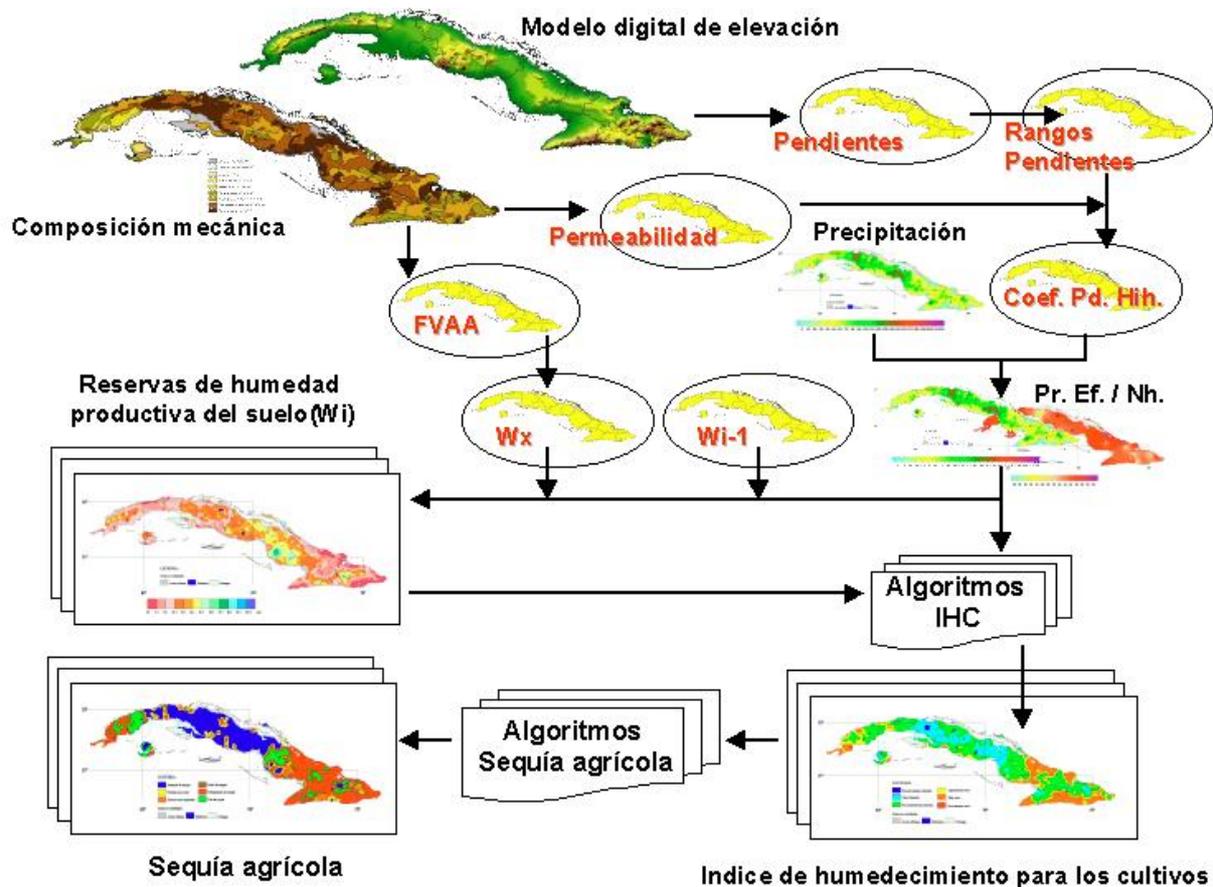


Figura 1. Diagrama de flujo para calcular la sequía agrícola mediante la utilización de los SIG.

Para utilizar la información en formato rejilla (raster) se utilizaron diferentes técnicas de los SIG. Se generó una rejilla cuyos límites en décimas de minutos son los siguientes: -84.97 y -74.11 de longitudes extremas y 19.81 y 23.23 de latitudes

extremas. La cuadrícula (pixel) así generada corresponde a 0.01 décimas de minuto de lado (aproximadamente 1 km²). Para la distribución espacial o interpolación del índice de humedecimiento modificado que interviene en el cálculo de la distribución espacial del índice de sequía agrícola se aplicó el método kriging con variograma lineal y efecto de nodo cero.

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 al SIG para su mapeo y acabado cartográfico.

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.

En la Figura 1 se muestra el diagrama de flujo para calcular la sequía agrícola mediante la utilización de los SIG y los algoritmos de cálculo.

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 modelo agrometeorológico de evaluación de la sequía agrícola, como una herramienta teórica, en la evaluación de las sequías agrícolas de 1997 a 2002 en Cuba, relacionando la información resultante del modelo, con las indemnizaciones realizadas por el Seguro Agropecuario a sus asegurados en cada uno de esos años.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La aplicación práctica del modelo generado por Solano y Vázquez (1999a y 1999b) para calcular el índice de sequía agrícola y evaluar, 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) indican 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. No obstante, la experiencia adquirida en la utilización del modelo 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 sequías. En este caso, las plantas pueden lograr rendimientos económicamente aceptables e incluso llegar a obtener sus máximos rendimientos.

Se diseñaron tres hojas de cálculo con formularios especiales sustentados en métodos de avanzada y ajustados a las condiciones de Cuba, en un tabulador electrónico programado (Microsoft EXCEL 97), que permite calcular, por métodos objetivos, la evaluación temporal, espacial y de la intensidad de la sequía agrícola en las condiciones pasadas, presentes y futuras.

Atendiendo a su duración temporal, al igual que en el análisis de las sequías meteorológicas Lapinel *et al.* (2000), en el Sistema de Vigilancia de la Sequía Agrícola, las sequías agrícolas se conceptúan 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 encuentran en diferentes categorías de sequía agrícola en su proceso de evolución (X), 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 encuentran 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 del territorio evaluado		Umbral máximo (%)	
No hay		X	<	5	
Muy pequeña	5	≤	X	<	20
Pequeña	20	≤	X	<	40
Regular	40	≤	X	≤	60
Grande	60	<	X	≤	80
Muy grande	80	<	X	≤	95
Total		X	>	95	

Atendiendo a su intensidad, las sequías agrícolas se conceptúan 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 cortos o moderados.

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.

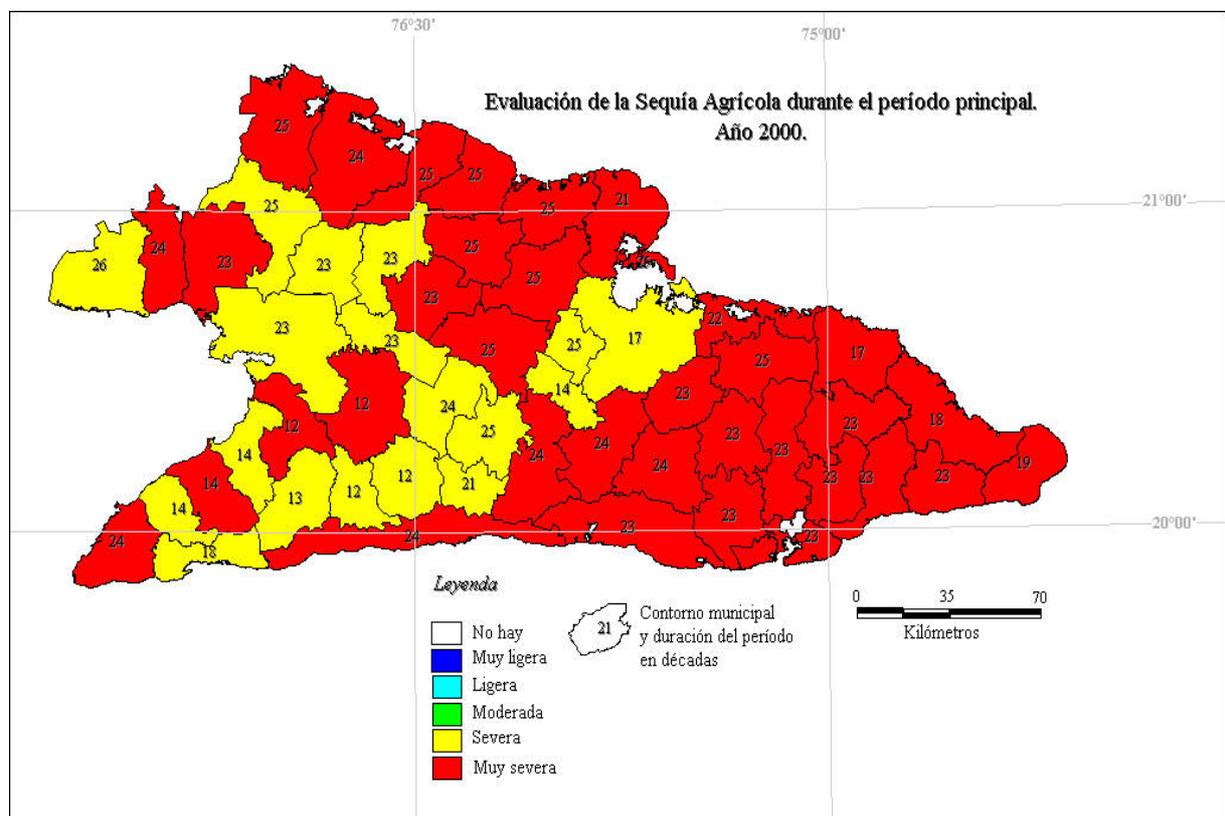


Figura 2. Evaluación de la intensidad de la sequía agrícola del año 2000, durante el período principal, en las cinco provincias más orientales del país.

Según Solano y Vázquez (1992), 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 el 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 dos ejemplos diferentes, uno de ellos comparando los resultados de las evaluaciones anuales generales de la sequía agrícola en Cuba durante los años 1997 – 2002, dentro del Sistema de Vigilancia de la Sequía Agrícola y el impacto producido en el monto total de las indemnizaciones realizadas a los asegurados por parte de los Seguros de Bienes Agropecuarios en el concepto de sequía correspondientes a esos mismos años y el otro caso, dos ejemplos de avisos tempranos de alerta de la sequía agrícola, los cuales ofrecen 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. Uno de ellos, elaborado el 4 de octubre de 2002, al inicio del período estacional poco lluvioso, y el otro, confeccionado el 4 de junio, en plena estación lluviosa.

Anualmente el riesgo de sequía ha representado el mayor porcentaje del total de indemnizaciones por riesgos cubiertos por los Seguros Agropecuarios en Cuba. La Tabla 2 muestra las indemnizaciones realizadas por el riesgo de sequía durante el período 1996 – 2002 en los Seguros de Bienes Agropecuarios. (EMPRESA DEL SEGURO ESTATAL NACIONAL, 1998; 1999; 2000; 2001; 2002). Estas cifras sólo corresponden a las indemnizaciones por los daños originados por la sequía a los agricultores asegurados, no así a las pérdidas totales por este concepto en el país.

Tabla 2. Indemnizaciones realizadas por el riesgo de sequía durante el período 1996 - 2002 en los seguros de bienes agropecuarios.

Año	Indemnizaciones (M.N.)	Porcentaje correspondiente al riesgo de sequía, del total de todos los riesgos
1996	\$ 3 722 700	11.3
1997	\$ 12 203 900	26.1
1998	\$ 24 402 800	29.1
1999	\$ 40 854 000	37.9
2000	\$ 56 154 600	50.3
2001	\$ 60 667 000	46.4
2002	\$ 30 425 000	29.3

A continuación se hace un breve análisis y comparación entre las características evaluadas de las extensiones espaciales y temporales y de la intensidad de la sequía agrícola en el período 1996 – 2002, con las indemnizaciones realizadas por el concepto de sequía en los Seguros de Bienes Agropecuarios.

El año 1996 fue evaluado desde el punto de vista climático como un año normal, no obstante el desarrollo de un proceso de sequía de corto período que venía afectando, principalmente, la provincia de Camagüey y algunas zonas de las provincias orientales desde el año anterior y en los primeros meses del año. Las indemnizaciones correspondientes al riesgo de sequía realizadas a sus asegurados por los Seguros de Bienes Agropecuarios también fueron típicas de un año normal.

La influencia de la fase cálida del evento ENOS durante el período final del año 1997 produjo serias afectaciones en la agricultura, muy especialmente en la región oriental del país, donde se manifestó una intensa sequía agrícola a finales de año. El monto de las indemnizaciones realizadas a sus asegurados por los Seguros de Bienes Agropecuarios en 1997, correspondientes al riesgo de sequía, alcanzó la mayor cifra desembolsada hasta ese año, lo que se corresponde con la intensidad del evento climático extremo en las zonas afectadas.

Estudios complementarios al Sistema de Vigilancia Agrometeorológica de la Sequía Agrícola realizados por Solano y Vázquez (2002) han indicado, a modo general para todo el país, que la sequía agrícola de corto período de 1998, bajo los efectos de la fase cálida del ENOS durante la primera mitad del año, resultó temporalmente y espacialmente más extensa que la ocurrida en 1997 y su intensidad fue también mayor. Las indemnizaciones del Seguro de Bienes Agropecuarios de este año a sus asegurados se corresponden con las evaluaciones de la sequía agrícola de 1998 respecto a los dos años anteriores.

La sequía agrícola en el año 1999, como es común bajo el efecto de las condiciones impuestas por la fase fría del ENOS presente en todo el período poco lluvioso 1998/99, resultó temporalmente más extensa que la registrada en 1998, espacialmente algo más extensa y sin embargo, su intensidad fue ligeramente menor. El incremento en los montos de indemnizaciones puede ser explicado por el efecto de una variación mayor en la extensión temporal de la sequía agrícola de 1998 respecto las variaciones de la extensión espacial e intensidad alcanzada en los dos años anteriores.

De acuerdo a los resultados del Sistema Nacional de la Sequía Agrícola, en el año 2000, bajo el efecto de la fase fría del ENOS durante su primera mitad, la sequía agrícola resultó temporalmente más extensa que las ya estudiadas en los años 1998 y 1999 y espacialmente tan extensa como la de esos años, no obstante, la intensidad resultó menor a la de 1998 y ligeramente superior a la de 1999. Estas condiciones continuaron elevando a cifras nunca alcanzadas, el monto de las indemnizaciones por el riesgo de sequía a sus asegurados. El incremento en los montos de indemnizaciones puede ser explicado al igual que en el párrafo anterior, por el efecto de una variación mayor en la extensión temporal de la sequía agrícola del año 2000 respecto a los dos años anteriores y haber superado la intensidad alcanzada en el año 1999.

La sequía agrícola en el año 2001, como es común bajo el efecto de las condiciones impuestas por la fase fría del ENOS presente en el período poco lluvioso 2000/01, resultó temporalmente menos extensa que la estudiada durante el año 2000, pero más extensa que la ocurrida en los años 1998 y 1999, sin embargo, su intensidad fue ligeramente menor a la de 1998 y superior a la de 2000. Este comportamiento explica también el continuado incremento en los desembolsos por el riesgo de sequía por parte de los Seguros de Bienes Agropecuarios.

Por último, la sequía agrícola ocurrida en el año 2002, bajo condiciones normales hasta el mes de mayo y con la influencia de la fase cálida del ENOS en el resto del año, resultó temporalmente menos extensa que las ocurridas en los años 2000 y 2001 y más extensa que las de 1998 y 1999, sin embargo, su intensidad resultó menor a las estudiadas durante los cuatro años anteriores. La reducción del monto desembolsado por los Seguros de Bienes Agropecuarios también se corresponde, a groso modo, con el comportamiento de la sequía agrícola.

CONCLUSIONES.

- Se generó un modelo agrometeorológico de evaluación de la sequía agrícola, sustentado en técnicas agrometeorológicas de avanzada, que permite 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. Permite además, explicar la evolución temporal, espacial y de la intensidad de la sequía agrícola, con una resolución de 1 km², a niveles de localidad, municipio, provincia, región y 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. La mayor parte de los resultados mostrados por los autores en esta investigación se obtienen por primera vez en Cuba.
- Los resultados de la aplicación de este modelo 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, para toda Cuba, de la sequía agrícola mediante el empleo de los Sistemas de Información Geográfica y su uso en la vigilancia operativa y en la investigación ha generado una base de datos decadal, en soporte digital, donde cada cuadrícula de 1 km² posee información de las condiciones de sequía agrícola.
- La aplicación práctica del modelo agrometeorológico de evaluación de la sequía agrícola generado, 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 del modelo agrometeorológico de evaluación de la sequía agrícola, sobre la información proveniente de las predicciones climáticas, ha 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 esta investigación 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.

Appa Rao, G. 1986: “Mapas de probabilidad de sequías”. Reporte No. 24 de la CMAg. Ginebra, Suiza. 75 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.

Centella, A., L. Naranjo, L. Paz, P. Cárdenas, B. Lapinel, Maritza Ballester, R. Pérez, A. Alfonso A, Cecilia González, Miriam Limia y Marina Sosa. 1997: “Variaciones y cambios del Clima en Cuba”. Informe Técnico. Centro Nacional del Clima. Instituto de Meteorología. La Habana, Cuba, 58 p.

Eldin, M. 1986: “Variabilité climatique. Analyse et incidences sur l'établissement et l'utilisation des bilans hydriques pour le zonagr agri-pedo-climatique”. Pp. 343 – 352.

EMPRESA DEL SEGURO ESTATAL NACIONAL. 1998-2002: “Reporte Anual”. Seguros de Bienes Agropecuarios. La Habana. Cuba.

Frère, M., Rijks J.Q. y Rea J. 1978: “Estudio agroclimatológico de la Zona Andina”. Nota Técnica No. 161 de la OMM. Ginebra, Suiza. ”. 297 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., 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. 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 METEOROLÓGICA MUNDIAL. 1987: “Glosario de términos usados en la agrometeorología”. Ginebra, Suiza. 189 p.

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. Área 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.