

ZONIFICACIÓN DE LAS FECHAS DE INICIO DE LAS SIEMBRAS DE CULTIVOS AGRÍCOLAS EN CUBA, PARA UN AÑO SECO

AUTORES: OSCAR J. SOLANO OJEDA
CÉSAR J. MENÉNDEZ GARCÍA
RANSÉS J. VÁZQUEZ MONTENEGRO
JORGE AGUSTÍN MENÉNDEZ GINORIO

Departamento de Agrometeorología. Instituto de Meteorología. E-mail: agromet@met.inf.cu

RESUMEN

Uno de los aspectos fundamentales de la agricultura sostenible es conocer las posibilidades del abastecimiento hídrico que brindan las condiciones climáticas de diferentes regiones del país. Con las distribuciones espaciales decadales de la precipitación efectiva para un año seco, la evapotranspiración de referencia y las reservas de humedad productiva del suelo normales para los mismos períodos temporales, se procedió a calcular el balance hídrico agroclimático del suelo. Con esta información y mediante el empleo de Sistemas de Información Geográfica, se confeccionaron mapas nacionales a escala 1:1 000 000 para una rejilla de cuadrículas de 1 km² y para cada una de las 36 décadas del año, de la información temática anterior. Se determinaron además, para valores de precipitación asegurada a un 75 % de probabilidad, las fechas de inicio y fin del período de crecimiento principal, de su duración, el número de días de crecimiento en el año y finalmente, se confeccionó el mapa de la fecha de inicio de las siembras y se determinó la tendencia general de sus variaciones temporales y espaciales entre las diferentes regiones del país. La utilización de la lluvia asegurada, en tres de cada cuatro años, ayuda a mejorar la planificación agrícola y disminuir los riesgos de pérdidas de las cosechas. Los resultados muestran un método objetivo, fundamentalmente en condiciones sostenibles y de secano, para evaluar el riesgo climático en la selección de que cultivo sembrar, donde establecerlo y cuándo es el momento oportuno para lograr el éxito en su cosecha.

INTRODUCCIÓN

El clima de algunas regiones de Cuba se caracteriza por presentar dos estaciones bien definidas: la estación poco lluviosa y la estación lluviosa. En algunas localidades la estación lluviosa presenta la característica de tener dos máximos (bimodal), separados por un mínimo relativo de las precipitaciones, principalmente en los meses de julio y agosto. Este fenómeno ha sido estudiado por distintos autores en varios países (Guzmán, 1989; Rojas, 1985; Hargreaves, 1988). Se atribuye a la conjugación de factores meteorológicos y recibe el nombre de «Canícula» o «Veranillo». Las definiciones y métodos difieren de un autor a otro. Los más usados son la relación con la evapotranspiración de referencia, el análisis frecuencial y cadenas de Markov. Según Guzmán (1989), en algunos trabajos se relaciona con situaciones sinópticas regionales reforzadas por efectos locales. En Cuba, Según Lapinel (1988), ocurre por una penetración más profunda de las corrientes del Este producidas por la influencia del Anticiclón del Atlántico. Éste es el tipo de situación sinóptica que influye con mayor frecuencia sobre Cuba. También se ha mencionado alguna relación con el evento El Niño. Las sequías interestivales constituyen un factor que no puede ser despreciado en la planificación agrícola.

Cuba ha sido tradicionalmente un país productor de cultivos, ganado y otros recursos extraídos de los bosques. Muchos cultivos y plantaciones son sembrados en condiciones sostenibles y después de su establecimiento en el campo, se mantienen en condiciones de secano.

Con excepción de la luz que proporciona la radiación solar, el suelo reserva las sustancias nutritivas asimilables, el agua que necesita para su desarrollo y el oxígeno. La cantidad de agua aprovechable por la planta que un suelo puede almacenar está determinada por sus propiedades físicas y según la cantidad reservada, se conoce el tiempo que puede estar una planta sin recibir agua adicional. El agua es uno de los factores esenciales en la producción de alimentos y en una agricultura de secano la precipitación es el factor que determina la disponibilidad de agua y el tiempo en que las plantas pueden hacer uso de ella.

La mayoría de las plantas son más eficientes tomando el agua del suelo si el contenido de humedad es suficientemente alto. En estas condiciones el agua tiene una gran energía potencial para moverse relativamente libre y es fácilmente asimilada por las raíces de las plantas para satisfacer la demanda evaporativa de la atmósfera. En la medida en que el contenido de humedad

disminuye, la tensión de humedad se incrementa, el agua tiene entonces una energía potencial menor y es retenida mas fuertemente por las fuerzas de capilaridad y absorbtividad de la matriz del suelo. En estas condiciones, en ocasiones, las plantas no pueden extraer la humedad que necesitan para desarrollar un crecimiento máximo. Cuando el contenido de humedad se encuentra por debajo de un valor umbral, conocido como límite productivo, el agua no puede transportarse con facilidad para responder a la demanda transpirativa y se dice que el cultivo está en estrés hídrico. Los efectos del estrés hídrico son descritos por Allen *et al* (1998) a través del coeficiente de estrés hídrico. Si el contenido de humedad está en el punto de marchitez permanente o cerca de él durante un período prolongado, es posible que el cultivo se pierda totalmente. Aún cuando el cultivo se recobre, sin serias afectaciones, las pérdidas en el tiempo de crecimiento máximo ya influyeron negativamente en los posibles rendimientos (United States Department of Agriculture, 1964).

Existen diferentes métodos para determinar el contenido de humedad del suelo. Las mediciones del contenido de agua del suelo utilizando técnicas complejas (método gravimétrico, uso de lisímetros, tensiómetros, sondas de neutrones, etc.) son muy eficientes, pero resultan demasiado costosas. Sin embargo, existen métodos indirectos de balance hídrico, como el agroclimático, que resultan mucho más económicos y constituyen hoy día una de las herramientas más útiles y poderosas, no sólo en la agrometeorología operativa, sino en la zonificación agroclimática (Solano, Vázquez y Menéndez, 1999).

La importancia del balance hídrico agroclimático del suelo radica en que permite estimar diferentes aspectos de interés agrícola, tales como las reservas de humedad productiva del suelo, los déficit y los excesos hídricos, el agua evapotranspirada y también el período de tiempo en que ocurren.

Las precipitaciones atmosféricas proporcionan el agua en forma de lluvia. Las lluvias suministran al suelo una determinada cantidad de agua durante un período de tiempo dado o una parte del agua de lluvia se infiltra en el suelo, según su permeabilidad y sólo una porción de la lluvia total caída es utilizada por las plantas. El agua que realmente puede infiltrarse en el suelo y almacenarse en él, constituye uno de los elementos de partida para efectuar el balance hídrico y es conocida como precipitación efectiva. Esta depende de muchos factores, por ejemplo, cuando la lluvia es intensa o sucede en un período prolongado de tiempo, su eficacia puede ser baja debido a la escorrentía superficial y a la percolación más allá de la capa de suelo donde se encuentran las raíces. Si la lluvia es ligera e intermitente, pero con períodos prolongados entre una y otra, también puede dar lugar a que una parte de la misma sea interceptada por el follaje y no llegue al suelo.

La precipitación efectiva también depende de otros factores relacionados con el suelo (textura, pendiente,

estructura, contenido de humedad) y de la vegetación que se encuentra establecida en el lugar. Científicos de diferentes países han intentado resolver empíricamente este problema y han desarrollado métodos que van, desde la selección de valores umbrales de lluvia diaria, hasta el uso de coeficientes de efectividad o pérdidas basados en condiciones agrohidrológicas.

Durante las décadas de los años 70 y 80 fueron publicados una serie de estudios interinstitucionales de carácter agroclimatológico, agrometeorológico y agroecológico. Unos dirigidos a caracterizar las condiciones ofrecidas por el clima a la agricultura en las regiones estudiadas (ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO), 1978, Vol. 1, 2 y 3; Frère, Rijks y Rea, 1978; Oldeman y Frère, 1982) otros dirigidos a evaluar las condiciones agrometeorológicas formadas para pronosticar las cosechas (Frère y Popov, 1980 y 1986) y otros dirigidos a mostrar las necesidades de agua de los cultivos y el efecto del agua sobre el rendimiento de los cultivos (Doorembos y Pruit, 1977; Doorembos y Kassam, 1979). Todos ellos hacían uso del balance hídrico como herramienta fundamental de trabajo, unos de forma sencilla y otros con mayor complejidad en los cálculos.

Muchas de las variables que intervienen en el balance hídrico tienen una significación importante cuando se quiere definir el período durante el cual las plantas podrán disponer de mejores condiciones de abasto de agua para garantizar el crecimiento vegetativo.

Calcular el balance hídrico con valores medios de precipitación resulta arriesgado debido a que este elemento meteorológico no tiene una distribución normal. La media no representa el valor de la precipitación de 50 % de probabilidad de ocurrencia, especialmente en zonas semiáridas, o en la temporada seca de zonas húmedas con precipitación estacional. Martelo (1997) recomienda utilizar primero métodos estadísticos para determinar un valor probable de precipitación para cada período (por ejemplo, la precipitación mínima esperable en 75 % de los años) y luego calcular el balance hídrico con estos valores de precipitación. Sin embargo, esta autora refiere que los resultados obtenidos al calcular el balance hídrico con estos valores de precipitación probable pueden inducir a error, porque se está considerando una situación teórica en la cual todos los superiores fueron tan secos que la probabilidad de que exista una resultante (año completo) así de seco «no» corresponde a una probabilidad de 75 %, sino que es menor.

La duración de los períodos durante los cuales la precipitación excede a la evapotranspiración de referencia ha sido quizás uno de los factores más útiles para determinar las posibilidades agrícolas de una zona. Este criterio se relaciona con la lluvia que ocurre en la zona, pero el conocimiento preciso de la duración del período o períodos con suficiente agua disponible para los cultivos sólo puede lograrse estableciendo el balance hídrico que tiene en cuenta también el almacenamiento de

de agua aprovechable en la zona de la raíz, que está directamente relacionada con la relación evapotranspiración / evapotranspiración potencial, durante las diferentes fases del cultivo. La evaluación de la distribución probable del índice de humedad de suelo puede utilizarse para determinar la adaptabilidad de la tierra en las áreas marginales de precipitación y para determinar los patrones de siembra.

MATERIALES Y METODOS

Los métodos que se recogen en la literatura internacional tienen un valor teórico y son de gran utilidad en la orientación de las investigaciones, pero ellos no pueden ser transferidos de una región a otra, ya que las variables agrometeorológicas no son homogéneas en el espacio, únicamente en zonas limitadas que tengan el mismo tipo de suelo, topografía, clima, prácticas de cultivo, etc. De aquí la necesidad de realizar estas investigaciones dirigidas a elaborar métodos agrometeorológicos que tengan en cuenta los cultivos de Cuba y sus variedades específicas y que sean válidas en las condiciones pedo-climáticas del país.

Para calcular la evapotranspiración de referencia (Eto) se emplearon los datos de 64 estaciones meteorológicas, de las cuales tres están ubicadas en los principales macizos montañosos del país (Topes de Collante, Grupo de Guamuhaya, provincia Sancti Spiritus; Pinares de Mayarí, Macizo Nipe-Sagua-Baracoa, provincia Holguín y Gran Piedra, Grupo Sierra, Macizo Sierra Maestra, provincia Santiago de Cuba). Teniendo en cuenta el carácter general de este estudio, la escala de tiempo considerada fue la década (período de diez días). La información histórica de las variables climáticas, necesarias para el cálculo de la evapotranspiración de referencia, fueron tomadas de las bases de datos del Centro del Clima del Instituto de Meteorología. Todas las series de datos fueron tratadas con un riguroso control de calidad. Las series meteorológicas fueron homogeneizadas y completadas siguiendo métodos similares a los empleados por Rivero, Lapinel y Rivero (1995). La información se organizó en períodos de diez días para las 36 décadas del año, y también por meses, estaciones del año y anual, con vistas a comparar estos resultados con los obtenidos por otros autores. La información meteorológica utilizada en este estudio correspondió al período 1975-1994.

Se emplearon los datos de 682 estaciones pluviométricas pertenecientes a las redes de observación del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) y del Instituto de Meteorología (INSMET). De ellos, 571 ubicados en llanuras entre 0 y 200 m de altitud, 70 en alturas entre 200 y 500 m y 41 en montañas entre 500 y 1 120 m (84 %, 10 % y 6 % del total, respectivamente). La escala de tiempo considerada fue la década. La información histórica de precipitación utilizada fue seleccionada de los archivos administrados por el Centro Nacional de Hidrología y Calidad de las Aguas del INRH y por el Centro del

Clima, del INSMET. Se utilizó la información pluviométrica del período 1961 – 1990 (30 años). Las series de lluvia fueron temporalmente homogeneizadas y tratadas con un riguroso control de la calidad. Los datos faltantes se completaron con los reportes de estos mismos pluviómetros existentes en los archivos del Centro del Clima (fundamentalmente centrales azucareros, estaciones y otras localidades de regiones agrícolas importantes); mediante el empleo de métodos de análisis de varianza simple con efecto fijo y prueba de comparación múltiple de medias de Tukey al nivel de confianza de 95 % para agrupar las series pluviométricas de diferentes estaciones, según el comportamiento de los acumulados medios en los períodos lluvioso y poco lluvioso; utilizando la información real del pluviómetro más cercano perteneciente al mismo grupo del pluviómetro que se quiere recuperar la información y que presente condiciones semejantes de exposición (altitud, paisaje, cercanía a la costa, etc.); y mediante la utilización de criterios de experto.

Con la información de precipitación correspondiente a un año medio (altura de la lámina de lluvia obtenida que puede ser superada con una probabilidad de 50 %); la correspondiente a un año seco (altura de la lámina de lluvia obtenida que puede ser superada con una probabilidad de 75 %); de la evapotranspiración de referencia media; y el empleo del método de balance hídrico agrocimático del suelo y la información de las reservas de humedad del suelo disponibles para los cultivos calculadas en este estudio, se efectuaron balances hídricos para cada una de las 36 décadas del año medio y del año seco. La escala temporal usada fue la década.

Se asumió que la estación de crecimiento de los cultivos está compuesta por tres períodos:

- Un primer período (pre-húmedo), cuando la altura de la lámina de lluvia iguala o supera a la mitad de la evapotranspiración de referencia, pero no llega a igualar a la evapotranspiración de referencia ($0.5 ETo \leq Pr < ETo$)
- Un segundo período (húmedo), en el cual la altura de la lámina de precipitación supera el valor de la evapotranspiración de referencia ($Pr > ETo$) o sea, cuando las necesidades hídricas están totalmente cubiertas.
- Un tercer período (post-húmedo), caracterizado por la disminución de las precipitaciones. Este período cubre el intervalo de tiempo en que la lluvia es menor que la evapotranspiración de referencia y mayor o igual que la mitad de la evapotranspiración de referencia ($ETo > Pr \geq 0.5 ETo$), más un período en que la reserva hídrica del suelo, disponible para los cultivos garantiza el crecimiento vegetativo sin manifestaciones de estrés. Según Allen et al, 1998, cuando el nivel de la reserva de humedad del suelo disponible para los cultivos en un momento dado (W_i) se encuentra entre el almacenaje máximo (W_x) y la mitad del almacenaje máximo ($W_x \leq W_i < 0.5 W_x$).

Este sistema muestra que una sola estación lluviosa puede ser también bimodal, con un segundo o más períodos de precipitaciones que suministran agua a ciertos cultivos. Estos casos se tomaron en cuenta sólo para calcular el total de días de crecimiento, húmedos y secos en el año, no así para determinar la duración de las estaciones de crecimiento, húmeda y seca, en las cuales sólo se contaron los días correspondientes al período más prolongado o principal.

Se asumió en este estudio:

- Como períodos de crecimiento, húmedos o secos a aquellos períodos que cumplieron con las condiciones que los definieron durante al menos dos décadas consecutivas.

- Como interrupción de períodos de crecimiento, húmedo o seco a la década a partir de la cual durante dos décadas consecutivas no se cumplieron los parámetros que dieron origen al período.

- Como fecha de inicio del período de crecimiento a la primera, a aquellos década, en la cual, al menos en dos décadas consecutivas se cumplió la condición de que $Pr \geq 0.5 ETo$.

- Como fecha de inicio de las siembras a la década de inicio de un período de crecimiento superior a 80 días.

- Como fecha de inicio del período húmedo a la primera, de al menos dos décadas consecutivas donde se cumplió la condición de que $Pr \geq ETo$.

- Como fecha de final del período húmedo a la última, a aquella década, de al menos dos décadas consecutivas donde se cumplió la condición de que $Pr \geq ETo$.

- Como fecha final del período de crecimiento, a la última, de al menos dos décadas consecutivas donde se cumplió la condición de que $Pr \geq 0.5 ETo$ ó $W_x \leq W_i < 0.5 W_x$.

- Como fecha de inicio del período seco a la primera, de al menos dos décadas consecutivas donde se cumplió la condición de que $Pr \geq 0.5 ETo$.

- Como fecha de final del período seco, a la última, de al menos dos décadas consecutivas donde se cumplió la condición de que $Pr \geq 0.5 ETo$.

- Como duración del período de crecimiento: duración en días desde el inicio hasta el final del período de crecimiento (principal).

- Duración del período húmedo: duración en días desde el inicio hasta el final del período húmedo (principal).

- Duración del período seco: duración en días desde el inicio hasta el final del período seco (principal).

- Número de días secos (considerados como fisiológica o técnicamente secos): al total de días secos en el año ($Pr < 0.5 ETo$).

- Número de días de crecimiento: al total de días de crecimiento en el año ($ETo > Pr \geq 0.5 ETo$).

- Número de días húmedos: al total de días húmedos en el año ($Pr \geq ETo$).

La distribución espacial de las fechas de inicio y fin de los diferentes períodos, de las siembras, de la duración de los períodos, del número de días secos, húmedos y de crecimiento en el año se confeccionaron a partir de los índices calculados para cada estación pluviométrica.

Se emplearon diversas herramientas de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) que permitieron múltiples y complejas operaciones con los mapas, al organizar la información a manera de capas. La operación básica practicada fue la interpolación, para la obtención de la distribución de las fechas a partir de los datos puntuales de los 682 estaciones pluviométricas procesadas y el ajuste manual de las isocronas de acuerdo a criterio de experto.

La escala espacial de trabajo fue 1 : 1 000 000, lo que permitió generar rejillas, cuyo paso es de 1 km de lado. Esta escala, solicitada por el financista de la investigación y utilizada previamente por los autores en la zonificación de la evapotranspiración de referencia la precipitación y las reservas de humedad productiva del suelo, resulta adecuada para la exploración al nivel nacional de diversos parámetros agrometeorológicos, entre ellos, las fechas del inicio, fin y duración de los períodos de crecimiento, húmedos y secos.

La información en el SIG se organizó y procesó de la siguiente forma:

- Digitalización de la base fija (costa, contornos provinciales y municipales), y su topología;

- Georreferenciación de las estaciones;

- Interpolación y ajuste de las isocronas;

- Acabado cartográfico.

Se utilizó el MAPINFO versión 5.0 para obtener la información vectorial del contorno de Cuba, la división política administrativa y el ajuste manual de las isocronas y el SURFER versión 7.0 para realizar la distribución espacial de las fechas.

El método de interpolación utilizado fue el de mínima curvatura que también es conocido como interpolador exacto.

RESULTADOS

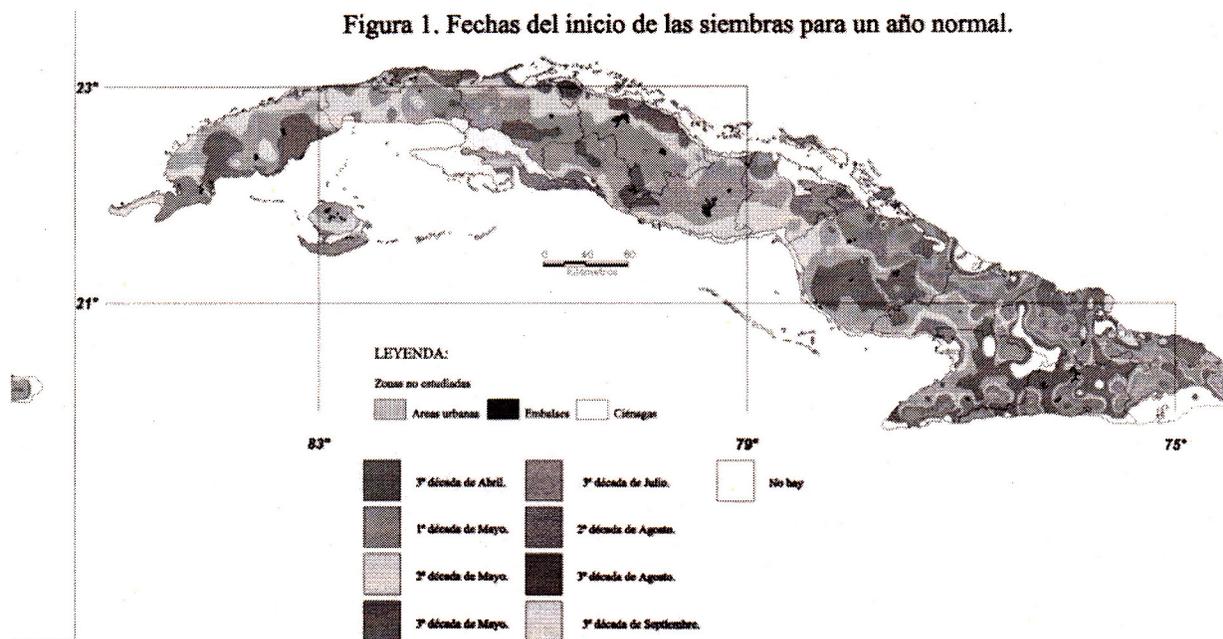
Las zonificaciones del país realizadas y expuestas en este epígrafe corresponden a un año medio (probabilidad 50 % de ocurrencia, o de que se presenten en uno de cada dos años) y a un año seco (probabilidad de 75 % de ocurrencia, o de que se presenten en tres de cada cuatro años).

Para un año medio .

De acuerdo con las fechas de inicio del período de crecimiento principal (Menéndez *et al*, 2002) el país se ha dividido en ocho zonas, extendiéndose las fechas de inicio desde la tercera década de abril hasta la tercera década de setiembre. De acuerdo a las fechas del fin del período de crecimiento principal, la zonificación en el territorio del país se ha dividido en siete zonas. La diferencia, en días, entre el inicio y el final del período de crecimiento principal oscila entre unos pocos días hasta casi el año completo. En general, la extensión del período crece con el incremento de la altitud y disminuye hacia las costas. Diferencias más marcadas pueden observarse al analizar la distribución espacial del total de los períodos de crecimiento en el año, considerando los períodos de crecimiento que ocurran antes y después del período del mínimo estival de las precipitaciones.

aparece en algunas zonas del litoral y en el interior de las provincias más orientales de Cuba, incluyendo a Camagüey. Las fechas de inicio se extienden, en general, desde la primera década de mayo a la segunda década de octubre. Aunque no existe una tendencia bien determinada, el inicio del período de crecimiento principal comienza en mayo para la mayor parte de las localidades ubicadas en el interior del país y a partir del período de ocurrencia del mínimo estival de las precipitaciones comienza a manifestarse en zonas próximas a las costas y algunas regiones del interior de las provincias más orientales, fundamentalmente en las zonas montañosas. La zonificación de la fecha del fin del período de crecimiento principal presenta 12 zonas a lo largo de todo el país más una adicional que expresa la no existencia del fin del período de crecimiento principal, en las mismas zonas ya vistas en el caso del inicio del período

Figura 1. Fechas del inicio de las siembras para un año normal.



La Figura 1 muestra la zonificación de las fechas de inicio de las siembras a lo largo del país. De acuerdo con el comportamiento de las condiciones de reservas de humedad productiva, se ha dividido el país en ocho zonas, desde finales de abril hasta finales de setiembre. Se representa una zona adicional, que aparece en algunas zonas de la región oriental, donde el inicio del período de crecimiento, para una probabilidad de 50 % no permite que los rendimientos de los cultivos que allí pudieran establecerse, logren alcanzar sus máximos rendimientos agrícolas.

Para un año seco.

De acuerdo con las fechas del inicio del período de crecimiento principal mostrada por Menéndez *et al* (2002), el país se ha dividido en ocho zonas, una de las cuales expresa la no existencia del período de crecimiento principal para un 75 % de probabilidad de ocurrencia y ella

de crecimiento principal. Con excepción de la provincia Pinar del Río y de la Isla de la Juventud, existe cierta tendencia de finalizar el período de crecimiento principal de norte a sur y de los llanos a las montañas. De acuerdo a la distribución espacial de la duración del período de crecimiento principal, éste varía desde cero hasta unos 200 días en el año, aumentando del litoral hacia el interior del país y con el incremento de la altitud. Al analizar la zonificación en el territorio del país de la duración del total de los períodos de crecimiento en el año, ésta sigue una tendencia parecida a la duración del período de crecimiento principal, pero los valores máximos pueden llegar a los 260 días en la zona montañosa occidental de Pinar del Río.

Las fechas de inicio de las siembras para un año seco (Figura 2) aparecen en aquellos lugares del país donde pueden alcanzarse rendimientos económicamen-

te aceptables, predominando la no existencia de estas condiciones a lo largo de todo el territorio del país.

En algunos lugares, la indicación de períodos de crecimiento y húmedos muy cortos puede parecer arbitrario; esto se debe al procedimiento de haber utilizado la precipitación correspondiente al año seco (75 % de probabilidad). No obstante, puede indicar la posibilidad de un período adicional de crecimiento en años con precipitaciones normales y en zonas donde los cultivos y plantaciones se beneficien directamente de cualquier humedad adicional, como es el caso de los pastos naturales, cañaverales, bosques, plantaciones de frutales perennes, etc.

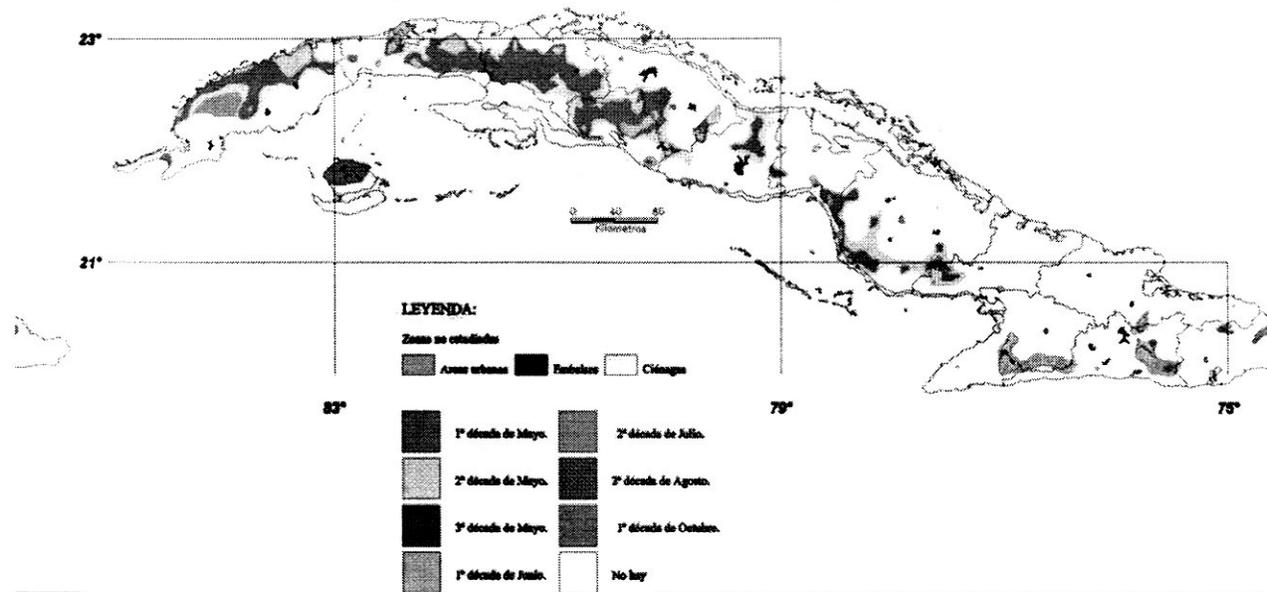
En general, las estaciones de crecimiento inferiores a 80 no tienen mucho significado agronómico, dado el pequeño número de cultivos capaces de cumplir su ciclo vegetativo en menor tiempo. Sin embargo, estos son significativos en relación con los pastos naturales, cañaverales, bosques, plantaciones forestales y frutales perennes.

portamiento de la lluvia, sino que se ha tomado en cuenta en su determinación la precipitación efectiva, la demanda evaporativa de la atmósfera y la reserva de humedad productiva del suelo, calculadas por las técnicas y métodos más aceptadas en el terreno internacional; los cálculos de los períodos de crecimiento, húmedos y secos son efectuados como resultado de la aplicación del balance hídrico agrometeorológico del suelo; y fueron confeccionados 26 mapas temáticos de zonificaciones agroclimáticas, 22 más que los elaborados en el estudio anterior, incluyendo entre ellos la zonificación por el territorio nacional de las fechas de inicio del período de siembras.

CONCLUSIONES

Se obtuvieron por primera vez para Cuba las distribuciones espaciales decadales de las reservas de humedad productiva en condiciones de agricultura de secano,

Figura 2. Fechas del inicio de las siembras para un año seco.



Al comparar los resultados presentados en este estudio, respecto a determinados acontecimientos de interés agrícola, con los obtenidos anteriormente por otros autores (Palenzuela y Planas, 1982), pueden señalarse algunas ventajas: entre ellas: el número de pluviómetros empleados en la investigación supera en más de tres veces a la cantidad de estaciones pluviométricas utilizadas en el estudio anterior; los pluviómetros seleccionados presentan una distribución más racional que los empleados por Palenzuela y Planas (1982); la información pluviométrica básica fue procesada directamente por décadas y no a partir de estimaciones mediante el método de histograma de barras; los períodos de interés agrícola no son solamente definidos a partir del com-

basadas en los resultados de la modelación por métodos objetivos y la aplicación de los Sistemas de Información Geográficos.

Las bases de datos digitales confeccionadas en este estudio poseen información de las fechas del inicio, fin y duración de los períodos de crecimiento y de las fechas de inicio de las siembras, para cada década del año, en condiciones de secano para cada cuadrícula de 1 km².

Los resultados muestran un método objetivo, fundamentalmente en condiciones sostenibles y de secano, para evaluar el riesgo climático en la selección de qué cultivo sembrar, dónde establecerlo y cuándo es el momento oportuno para lograr el éxito en su cosecha.

Este estudio constituye un manual de uso práctico para los funcionarios de la agricultura y muy en particular para los del Seguro Agropecuario, los cuales pueden hacer uso de él para obtener información agroclimática de diferentes zonas del país y para determinar la selección, con conocimiento de causa, de qué cultivo y variedades son factibles distribuir racionalmente por todo el país. Es una valiosa herramienta para la planificación de las fechas de siembra, la preparación de los suelos, y para la determinación de las primas a establecer en la concertación del aseguramiento de un cultivo para cualquier región y época del año. Constituye una ayuda para estimar las posibilidades potenciales para la producción de pastos y forrajes para el ganado y permite evaluar las condiciones de crecimiento y desarrollo de un año específico respecto a las condiciones normales.

REFERENCIAS

- 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.
- Aguilera, M.R. y Martínez. 1980:** «Relaciones agua – suelo – planta - atmósfera». Universidad Autónoma de Chapingo, México.
- Alvarez O., Teresita Gutiérrez, B. Lapinel y M. Se- guí. 2000:** «Sistema de procesamiento geoespacial para la obtención de una red nacional de referencia para la cartografía de elementos meteorológicos». II aplicación al caso de las precipitaciones. Memorias II Taller Internacional de Geomática. Palco, La Habana, Cuba, 6 p.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. y M. Smith. 1998:** «Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements». FAO Irrigation and Drainage paper 56. Rome, Italy. 300 p.
- Allen, R.G., M. Smith, A. Perrier and L.S. Pereira. 1994:** «An update for the calculation of reference evapo- transpiration», International Commission on Irrigation and Drainage (ICID) Bulletin, Vol. 43 No. 2.
- Appa Rao, G. 1986:** «Mapas de probabilidad de se- quías». CMAg Reporte No. 24. Ginebra, Suiza, 75 p.
- Ascaso A. y M. Casals. (1986):** «Vocabulario de tér- minos meteorológicos y ciencias afines». Ed. Instituto Nacional de Meteorología. Ministerio de Transportes, Turismo y Comunicación, Madrid, España, 408 p.
- Cárdenas P. 1993:** «Pronóstico a largo plazo de tota- les anuales de precipitación y modelación de algunos fe- nómenos locales asociados con ésta». Tesis presentada en opción al grado científico de Dr. en Ciencias Geográfi- cas. Instituto de Meteorología. La Habana, 99 p + 27 a.
- Centella, A., L. Naranjo, L. Paz, P. Cárdenas, B. Lapi- nel, Maritza Ballester, R. Pérez, A. Alfonso, Cecilia Gon- zález, Miriam Limia y Marina Sosa 1997:** «Variaciones y cambios del clima en Cuba». Informe Técnico. Centro Nacional del Clima, Instituto de Meteorología, La Haba- na, Cuba, 58 p.
- Davitaya, F. e I. Trusov .1965:** «Los Recursos Cli- máticos de Cuba». Editorial A.C.C. – I.N.R.H., La Haba- na, 68 p.
- Doorembos, J. y W.O. Pruitt 1977:** Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio FAO de Riego y Drenaje, Roma, Italia, 194 p.
- Doorembos, J. y A.H. Kassam. 1979:** «Efectos el agua sobre el rendimiento de los cultivos». Estudio FAO de Riego y Drenaje No. 33, Roma, Italia, 193 p.
- Eldin. 1986:** «Variabilité climatique». Analyse et inci- dences sur létablissement et lútilisation des bilans hydri- ques pour le zona agri-pedo-climatique, pp 343 – 352.
- Falkenmark, M. and T. Chapman. 1993:** Hidrología comparada. Un enfoque ecológico a los recursos hídri- cos y de suelo. Ediciones UNESCO, CEDEX, Madrid, 491 p.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. 1978:** «Report on the Agro-biologi- cal Zones Project.» Vol. 1. Methodology and results for Africa. World Soil Resources Report 48/1. FAO, Rome, 158 p.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS 1978:** «Report on the Agro-ecologi- cal Zones Project.» Vol. II. Results for Southwest Asia. World Soil Resources Report 48/2. FAO, Rome, Italy.
- Frère, M., J. Q. Rijks y J. Rea (1978):** «Estudio Agro- climatológico de la Zona Andina» Nota Técnica No. 161 de la O.M.M. Ginebra, Suiza, 297 p.
- Frère, M. Y G. F. Popov. 1980:** «Pronóstico de cose- chas basado en datos agrometeorológicos». Estudio FAO de Producción y Protección Vegetal No. 17. FAO. Roma, Italia. 54 p.
- Frère, M. Y G. F. Popov. 1986:** «Pronóstico Agrome- teorológico del Rendimiento de los Cultivos». Estudio FAO de Producción y Protección Vegetal No. 73. FAO. Roma, Italia. 172 p.
- Gagua, G., S. Zarembo y A. Izquierdo. 1976:** «Sobre el nuevo mapa isoyético» (3ra versión). En Vol. Hid. No. 37. Instituto de Hidroeconomía. C. Habana, pp 35 – 41.
- García, R. y Maribel Osorio. 1991:** «Balance hídrico climatológico y disponibilidad de agua para los cultivos». Revista Cubana de Meteorología. Vol. 4 No. 1 pp 52-57
- Golden Software Inc. 1999:** SURFER. User's Guide. Contouring and 3D surface mapping for scientists and engineers. Colorado, U.S.A. 610 p.
- González, E. y G. Gagua. 1979:** «Nuevo estudio so- bre la evaporación en Cuba». Revista Voluntad Hidráu- lica, No. 51 pp. 23-34.

- Griffiths, J. F. and C. F. Hemming. 1963:** A rainfall map of Eastern Africa and Southern Arabia. East African Met. Dept. Memoirs, Vol 11. No. 10.
- Guzmán, G. H. 1989:** «La canícula interestival en el Salvador y sus efectos en la Agricultura». Memoria del I Congreso Guatemalteco de Agrometeorología. Ed. Ministerio de Comunicaciones, Transporte y Obras Públicas; Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Ciudad de Guatemala, pp 18 – 27.
- Hargreaves G. H. 1974:** «Climatic Zoning for Agricultural Production in Northeast Brazil». Dept. of Agricultural and irrigation Engineering, Utah State University, Logan, Utah, USA, 1map, 6 p.
- Hargreaves J. G. L. 1988:** «La Canícula en el Salvador». Citado por Guzmán (1989). San Salvador.
- Hiller, D. 1984:** «L' Eau et le Sol. Principes et Procesus Physiques». Cabay, Libraire Éditeur, Louvain-La-Neuve, Belgique. 288 p.
- Howell, W. E. 1953:** «Un estudio de las precipitaciones en la parte central de Cuba». Journal of Meteorology. Vol. 10, No. 24, pp 270 – 278.
- Hutchinson, M. 1995:** Stochastic space – time weather models from ground – based data. Agricultural and Forest Meteorology, 73, pp 237 – 264.
- Hutchinson, M. 1998:** Interpolation of rainfall data with Thin plate smoothing splines: II Analysis of topographic dependence. In Journal of Geographic Information and Decision Analysis, Vol. 2, pp 168 – 185.
- Íñiguez L. R. Y J. Mateo R. 1980:** Geografía Física de Cuba. Componentes naturales y paisajes geográficos. Dpto. Textos y Met. Dialécticos, Univ. de la Habana, La Habana, Cuba, 252 pp.
- Iverson, L. R., S. Brown, A. Prasad, H. Mitasova, A. J. R. Gillespie and A. E. Lugo (1994):** Use of GIS for estimating potential and actual forest biomass for Continental South and Southeast Asia. In Effects of land use change on atmospheric CO₂ concentrations: Southeast Asia as a case study, Springer – Verlag, New York: ch 3, pp 67 – 114.
- Kramer, P. 1983:** Water relations of plants, Academic Press, New York, 487 p.
- Lapinel, B. P. (inédito):** «Distribución espacio temporal de las lluvias sobre Cuba». Informe final del Tema de Investigación 42205. Centro de Información y Documentación, Instituto de Meteorología, 1987.
- Lapinel P. B. 1988:** «La Circulación Atmosférica y las Características Espacio Temporales de las Lluvias en Cuba». Tesis de Doctorado. Instituto de Meteorología, A.C.C., CUBA, 173 p.
- Lapinel B., R. E. Rivero, Virgen Cutié, R. R. Rivero, N. Varela y M. Sardiñas. 1993:** «Sistema Nacional de Vigilancia de la Sequía: Analisis del período 1931 – 1990.» Informe Científico Técnico. Centro Meteorológico Provincial de Camagüey, Cuba. 45 p.
- Lecha, L. B., L. R. Paz y B. Lapinel 1994:** «El Clima de Cuba». Editorial Academia. La Habana, 186 p.
- Le Houérou, H. N., G. F. Popov and L. See (1993):** «Agro – bioclimatic Classification of Africa». FAO Agrometeorological Series Working Paper Number 6. FAO, Rome, Italy, 228 p.
- 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, J.A., O. Solano y R. Vázquez. 1999:** «Estimación de la evapotranspiración de referencia por el método de Penman-Monteith». Memorias de la Convención TROPICO '99 en el Congreso de Meteorología Tropical. Palacio de Convenciones de La Habana, Cuba. Ref. MT 001, 5 p.
- Menéndez, C.J., O. Solano, R. Vázquez y J.A. Menéndez. 2002:** «Atlas agrometeorológico de disponibilidades hídricas para una agricultura de secano». Resultado de investigación 4012 año 2002, 86 p.
- Monteith, J.L. 1965:** Evaporation and Environment. 19th Symposio of the Society for Experimental Biology, University Press, Cambridge, Vol. 19 pp 205-234.
- Monteith, J.L. 1985:** Evaporation from land surfaces: 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.
- Niewolt, S. 1973:** «Normales climatológicas (CLINO) de las estaciones que emiten CLIMAT y CLIMAT SHIP, para el período 1931 – 1960. O.M.M. No. 117, TP. 52.
- Oldeman, L. N. and M. Frère. 1982:** A study of the agroclimatology of the humid tropics of south-east Asia. WMO Technical note No. 179, Geneva, 230 p.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. 1985:** «Datos agroclimatológicos para América Latina y El Caribe». Colección FAO: Producción y Protección Vegetal, No. 24, Roma, Italia.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. 1978:** «Informe del Proyecto de Zonas Agroecológicas». Vol. 3, Metodología y Resultados para América del Sur y Central. Informes sobre recursos mundiales de suelos. 48/3, FAO, Roma, 253 p.
- ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL. 1987:** Glosario de términos usados en la Meteorología. Informe CAgM No. 20, Ginebra, Suiza, 189 p.
- Pacheco, J., N. Alonso, P. Pujol y E. Camejo. 1995:** «Riego y Drenaje». Editorial Pueblo y Educación, La Habana, 414 p.
- Palenzuela E. y A. Planas. 1982:** Significado agrícola de las precipitaciones. En «Guía Climática Abreviada para los Especialistas de la Agricultura». Editado por: la Dirección de Normalización, Metrología y Control de la Calidad del Ministerio de la Agricultura y el Instituto de Meteorología de la Academia de Ciencias de Cuba. La Habana, pp 105 – 165.
- Penman, H.L. 1948:** Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. Royal Society. London, A193 pp 120-146.
- Perrier, A. 1988:** «Bilan Hydrique et Energetique: Consommation en Eau des Cultures», en «Etudes sur les Transferts D» Eau dans le systeme Sol-Plante-Atmosphere», Institut National de la Recherche Agronomique. R. Calvet, Editeur, Paris, 362 p.

Ramírez, E.A., W.Wendland y A.M. Sánchez. 1988: «Cálculo de la ecuación de Penman mediante micro-computadora». Ciencia y Técnica en la Agricultura. Riego y Drenaje. Vol. 11 No. 1 pp 35-46.

Ramírez, E.A. 1989: «La distribución de la evapotranspiración de referencia en Cuba». Ciencia y Técnica en la agricultura. Riego y Drenaje. V 12 No. 1 pp 85-92.

Rey A.L. y de la Hoz. 1979: Manual de Régimen de riego de los principales cultivos de Cuba, Editorial Orbe, Ciudad de La Habana.

Rivero, R.E., B. Lapinel y R.R. Rivero. 1995: «Mapas de radiación, evapotranspiración potencial e índices de aridez para Cuba» Informe de resultados científico-técnico, Centro Meteorológico Provincial de Camagüey.

Rojas, O. E. 1985: «Estudios Agroclimáticos y Zonificación Agroecológica de Cultivos: Metodología y resultados». Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. OEA. San José, Costa Rica, 106 p.

Rojas O. 1993: «Algunas Aplicaciones de la Agrometeorología en la Seguridad Alimentaria». Serie Agrometeorológica No. 5, Centro de Teledetección. Dirección de Fomento de la Investigación y la Tecnología. FAO. Roma. Italia. 37 p.

Sarker, R.P. and B.C. Biswas. 1986: «Agroclimatic classification for assessment of crop potential and its application to tract of India». Mausam, 41, pp 175-184.

Sarker, R.P. and B.C. Biswas and N.N. Khambete. 1982: «Probability analysis of short period rainfall in dry farmine tract in India». Mausam, 33, pp 269-284.

Solano O., C. Menendez, R. Vázquez y A. Menéndez. 2001: «Estudio de la evapotranspiración de referencia en Cuba». Disco Compacto de las Memorias del IX Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología. 7 al 11 de Mayo de 2000. Buenos Aires, Argentina, Ref. Sección 7, Trabajo 15, 10 p.

Solano, O., C. J. Menéndez, R. J. Vázquez y J. A. Menéndez (Inédito, a): «Zonificación de la evapotranspiración de referencia en Cuba». Resultado parcial del resultado científico «Atlas agrometeorológico de disponibilidades hídricas para una agricultura de secano». Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba. 12 p, 4 Anexos, 102 mapas.

Solano, O., R.J. Vázquez y J.A. Menéndez. 1999: «Modelo agroclimático de balance hídrico del suelo. Su importancia en el servicio agrometeorológico operativo cubano para una agricultura de secano». Disco electrónico de las publicaciones de los trabajos en la Convención Trópico'99 en el Congreso de Meteorología Tropical. Palacio de Convenciones de La Habana, Cuba. Ref. MT002, 9 p.

Solano, O., C.J. Menéndez, R.J. Vázquez y J.A. Menéndez, T. de los R. Burgo, Maribel Osorio y Myriam González. (Inédito, b): «Zonificación de la precipitación

en Cuba». Resultado parcial del resultado científico «Atlas agrometeorológico de disponibilidades hídricas para una agricultura de secano». Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba. 17 p, 6 Anexos, 78 mapas.

Thorntwaite, C.W. 1948: An approach a national classification of climate. Geograph. Rev., Vol. 38 55p.

Trusov I. I. 1967: «Las precipitaciones en la Isla de Cuba». De. INRH. La Habana, 62 p. 15 map.

Trusov, I. I., A. Izquierdo y L. R. Díaz. 1983: «Características espaciales y temporales de las precipitaciones atmosféricas en Cuba». Edit. ACC, La Habana, 150 p. 10 mapas.

United States Department of Agriculture. 1964: «Soil-plant-water-relationships». Soil Conservation Service, U.S.A.

Vázquez, R., O. Solano y J.A. Menéndez. 1999: «La evapotranspiración de referencia, su análisis y distribución espacial en las condiciones de Cuba». Memorias de la Convención TROPICO'99 en el Congreso de Meteorología Tropical. Palacio de Convenciones de La Habana, Cuba. Ref. MT 009, 5 p.

Victor, V.S. and P.S.N. Sastry. 1984: «Evaluations of agricultural drought using probability distribution and soil moisture index». Mausam, 33, pp 259-260.

Weisdiet, W. 1965: «The tropical convectional and extratropical advectional type of precipitation. Erdkunde 19, band XIX, 6 p.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. 1969: Climatological Normals (CLINO) for climate and climate stations for the period 1931 – 1960. Geneva, WMO/ OMM No. 117 TP. 52.

ABSTRACT

One of the fundamental aspects of the sustainable agriculture is to know the water supply possibilities that climatic conditions offer in different regions of the country. With the effective precipitation mapping every ten days (decade) based on a dry year data (assured rain at 75% 75 probability), the reference evapotranspiration and the normal soil productive water reservations for the same periods, the soil agroclimatic water balance was calculated. With the thematic information above mentioned and using the Geographical Information Systems, basic on 1:1 000 000 scale, were each grid represent about 1 km² and for each 36 dozen of the year some maps of the beginning and the end of the main growth period dates, their duration, the number of growth days in the year and finally, the map of the sow beginning date was made, and the general tendency of their temporary and space variations between different regions of the country was determined. The use of the assured rain in three of every four years help to improve the agricultural planning and to diminish the risks of crops losses. The results show an objective method, fundamentally under sustainable and unirrigated land conditions, directed to evaluate the climatic risk in the selection of what crop to sow?, where to establish it?, and when is the right time to do it, to obtain the great success in harvest?.

Palabras clave

Agroclimatología; zonificación; períodos de crecimiento de cultivos