

GESTIÓN DE DATOS AGROMETEOROLÓGICOS

Por R. P. MOTHÁ*

Introducción

Los datos, la información y la tecnología están cada vez más interrelacionados. Los datos son los elementos necesarios para elaborar una información significativa. Ésta constituye la estructura conceptual básica en los procesos racionales de toma de decisiones. La tecnología es un medio que aumenta las oportunidades de la información y simplifica los procesos complejos para que las herramientas de información puedan ser utilizadas por los usuarios. Las posibilidades para integrar productos de distintas disciplinas y fuentes, y crear modelos de sistemas que puedan aplicarse directamente a un amplio abanico de decisiones de gestión son más asequibles que nunca. Debido a que la meteorología agrícola comprende numerosas disciplinas, las nuevas tecnologías informáticas y de telecomunicaciones resultan especialmente adecuadas para mejorar el flujo de información a su amplia comunidad de usuarios. En nuestro camino hacia el siglo XXI, una gestión adecuada de las bases de datos y una mezcla adecuada de herramientas para procesar, analizar, almacenar y mostrar los productos de información ofrecen oportunidades apasionantes para ayudar a que los meteorólogos agrícolas distribuyan la información necesaria a los usuarios adecuados. Los objetivos deben ser adecuados y flexibles para satisfacer la sed de productos cada vez más inmediatos y elaborar información a la medida para las necesidades de cada usuario. Para lograr estos objetivos, debe tenerse acceso al conjunto de recursos, la información debe verificarse con controles de calidad y deben aumentarse la consistencia y la calidad de los resultados.

Redes de observación

Los Servicios Nacionales de Meteorología gestionan redes importantes de estaciones sinópticas que obtienen datos fundamentales para la predicción. Mientras estas redes proporcionan una gama completa de datos de observación

para las operaciones y aplicaciones de investigación, éstos normalmente son insuficientes para las necesidades agrícolas. Una de las mayores limitaciones de los datos meteorológicos de estas redes de observación es la escasez de estaciones rurales en zonas agrícolas clave. Las observaciones en áreas remotas pueden ser costosas de obtener debido a las dificultades de acceso para el mantenimiento, calibrado y funcionamiento de las estaciones manuales. La necesidad de datos meteorológicos más específicos de un mayor número de estaciones en zonas agrícolas importantes ha incentivado un rápido aumento de redes de estaciones meteorológicas automáticas (EMA). Las EMA se están convirtiendo en el método ideal para la obtención de datos climatológicos y agrometeorológicos y son necesarias para las aplicaciones operativas en tiempo real. Los datos se obtienen y transmiten por procedimientos electrónicos. Estas tecnologías incluyen marcado telefónico a través de un sistema informático, repetidores de radio con enlace directo a un sistema informático, o enlace vía satélite. Las aplicaciones funcionales de estas redes de datos utilizados en la toma de decisiones agrícolas incluyen: estimaciones de consumo de agua de los cultivos; programación, drenaje y diseño de los riegos; gestión de la ganadería; gestión integrada de plagas; estimación de temperatura de la cubierta vegetal; gestión forestal; modelización de cosechas y humedad del suelo; avisos y predicciones de escarcha y heladas; seguimiento del crecimiento de los cultivos; evaluación de riesgos; y conservación de recursos naturales. Una tarea importante es la gestión adecuada de la proliferación de las bases de datos para que una gran variedad de usuarios pueda beneficiarse de la abundancia de información generada por estas tecnologías en expansión. En todo el mundo va estando cada vez más disponible la tecnología de la información, lo que permite el acceso a estas bases de datos, potenciar a científicos, personal de extensión y agricultores, junto con la capacidad para transformar los datos en información pertinente para la toma de decisiones.

* Meteorólogo Subjefe, Departamento de Agricultura de EE. UU. Washington D. C.

Requisitos para la gestión de datos

Deben hacerse varias consideraciones con respecto a la tecnología de las EMA, que son aplicables a los sistemas de observación automáticos y manuales. Deben conocerse las especificaciones técnicas de los datos de las EMA para que su información pueda ser utilizada eficazmente por las comunidades de usuarios. Para garantizar la calidad deberían adoptarse estándares en los procedimientos de instalación, mantenimiento y funcionamiento.

Un plan de gestión de datos debe incluir una interacción de ida y vuelta entre el suministrador de la información y el usuario de los productos. El diseño de la gestión debería tener en cuenta los múltiples usos posibles, la adecuación y precisión de los productos deseados, la utilidad de la información generada y la adaptación a las tecnologías cambiantes para mejorar el flujo de los productos. El conocimiento de la estación que proporciona la información y la información suplementaria, conocida como metadatos, debe reunirse y archivarse en formato estándar y estar disponible en formato electrónico para su intercambio. Los metadatos referidos a las características y funcionamiento de la estación de observación son una parte fundamental del registro de datos. El diseño de las bases de datos debe proporcionar formatos estandarizados y, preferiblemente, de estructura modular, ya que todos los usuarios no necesitarán o desearán la misma información. Deben desarrollarse directrices para asegurar la calidad de los datos y procedimientos de validación de datos. A este respecto, los procedimientos deberían realizarse tan cerca de la fuente de datos como fuera posible con el objeto de detectar errores. Los valores originales de los datos deberían poder recuperarse después de realizar los controles de calidad como parte del historial de los metadatos. Debe insistirse en la importancia de la calidad de los datos como elemento fundamental para las aplicaciones agrometeorológicas.

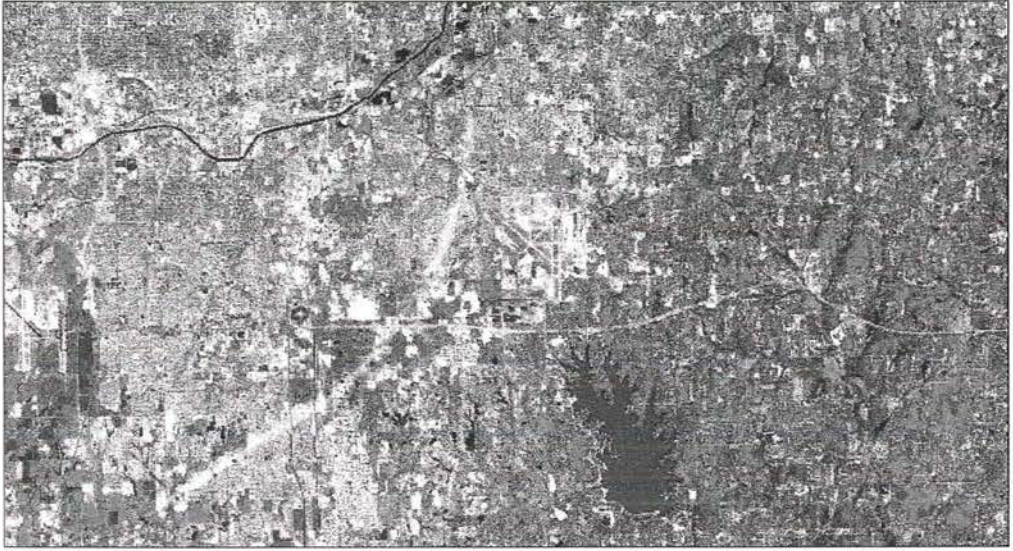
Asegurar y mantener las fuentes de datos históricos son aspectos integrales para un plan de gestión de datos. Estos datos históricos de calidad controlada deberían archivarse en centros especiales y copiarse en más de un lugar. Los archivos deberían mantenerse en condiciones medioambientales adecuadas y ser accesibles a la comunidad de usuarios. Son fundamentales los sistemas informáticos interactivos de fácil utilización ya que permiten el acceso a

otros tipos de datos como los productos de los satélites. Los sistemas de envío de información automática como CLICOM (informática para el clima) y UCAN (Red Unificada de Acceso al Clima) también se están haciendo tecnológicamente más accesibles. Finalmente, muchas aplicaciones del tiempo y del clima para la agricultura necesitan información agronómica y de fisiología de los cultivos. El desarrollo de escalas estandarizadas de datos fenológicos para las distintas cosechas debería ayudar a establecer un historial y unos patrones de reconocimiento con respecto a la variabilidad del tiempo y del clima. Los grandes avances en la tecnología de la información automática ofrecen nuevas vías para desarrollar y realizar sistemas de gestión de datos agrometeorológicos, incorporando datos meteorológicos, climatológicos y agrícolas en una infraestructura de información que beneficia las actividades de múltiples programas.

Sistemas de información geográfica

La necesidad de procesar y analizar datos de distintas fuentes y de mostrar productos en un formato utilizable rápidamente han aumentado la utilización de los sistemas de información geográfica (SIG). Estos sistemas informáticos sirven para la adquisición, almacenamiento, análisis y presentación de muchos tipos de datos. Es un sistema de gestión de bases de datos que permite que entidades con referencia geográfica se relacionen entre sí, y además se pueden seleccionar y fundir datos procedentes de distintas categorías de información. Estas categorías incluyen el tipo de suelo, modelos de drenaje, relieve topográfico, cubierta vegetal e información de redes de información meteorológica. La tecnología SIG integra operaciones normales de bases de datos como petición de información y análisis estadístico con las ventajas inigualables de la visualización y análisis geográfico. Los SIG son herramientas fundamentales para ayudar a comprender procesos complejos de escalas diferentes: local, regional y mundial. En un SIG, la información procedente de distintas disciplinas y fuentes, incluidos mapas tradicionales o digitales, bases de datos y teledetección, pueden combinarse en modelos que simulan el comportamiento de sistemas complejos.

El problema de la representación de los elementos geográficos se resuelve de dos modos: utilizando coordenadas x e y (vectores) o representando el objeto como variación de valores en



LANDSAT-5 TM vista del sureste de la zona metropolitana de la ciudad de Oklahoma el 12 de mayo de 1999. El 3 de mayo de 1999 pasó un tornado de escala F5 por la parte sur de esta zona. Su rastro es la curva ligeramente velada marcada con dos flechas negras. (Fuente: Departamento de Agricultura de EE. UU., División de Evaluación de Cultivos y Servicio de Estimación de Producción Agrícola Extranjera. Para más información contactar con: gernazio@fas.usda.gov)

un conjunto de puntos. La posibilidad de cambiar el formato de los datos permite una rápida interacción entre las distintas capas de información. Las operaciones típicas incluyen la superposición de mapas temáticos distintos, cálculos de áreas y distancias, adquisición de información estadística sobre los atributos, cambio de leyenda, escala y proyección de los mapas y visualización en tres dimensiones utilizando datos de altitud. Los SIG pueden utilizarse para crear mapas e imágenes, dibujos y animaciones de todos los productos cartográficos. Sin embargo, estos productos no son sólo una cartografía asistida por ordenador ni la presentación de datos estadísticos en los mapas. Su utilidad reside en su capacidad para combinar datos procedentes de una gran variedad de fuentes, lo que requiere una organización eficaz de las bases de datos, procedimientos rápidos de acceso a la información y capacidad de acomodar distintos tipos de formato de datos.

La capacidad de gestionar esta información tan variada, incluyendo el procesado y análisis de las capas informativas, abre nuevas e increíbles oportunidades para la simulación de sistemas complejos (Maracchi, 1999). Esta tecnología aporta nuevas herramientas para que el usuario analice capas múltiples de información, prediga el comportamiento natural de los parámetros, explique tendencias o variaciones de

episodios y planifique estrategias de acción. En los SIG, toda la información puede relacionarse y procesarse simultáneamente, obteniendo una expresión ordenada de los cambios producidos en el sistema por la variación de un parámetro. De este modo, pueden utilizarse conjuntamente condiciones históricas y próximas al tiempo lo que permite una rápida adaptación a las condiciones reales con su análisis y su representación.

La tecnología SIG ofrece grandes aplicaciones a la meteorología agrícola. Pueden incorporarse en los SIG, disciplinas tan diversas como la geografía, meteorología, climatología, teledetección, agronomía, fisiología de los cultivos y economía agrícola. La información detallada sobre parámetros meteorológicos, vegetación, suelo y agua forma capas complejas de información. Sin embargo, el producto final puede reducirse a información rápidamente utilizable para toma de decisiones racionales. En las aplicaciones agrometeorológicas, los datos de campo reunidos directamente son los más importantes ya que representan la realidad sobre el terreno. Los datos de las estaciones meteorológicas y las observaciones de datos de campo (observaciones ecofisiológicas, prácticas agronómicas, incidencia de enfermedades y plagas, suelo, etc.) son fundamentales para todas las posibles aplicaciones agrometeorológicas. Estas fuentes

de datos informan sobre la realidad del territorio y describen el estado de sus elementos. A continuación pueden utilizarse los modelos para simular condiciones o relacionar parámetros estadísticamente. Por ejemplo, si no se dispone de mediciones directas de déficits de agua en el suelo, lo que sucede en muchos casos debido a una limitada red de observación, pueden calcularse valores estimados utilizando varios modelos de balance hídrico.

En los SIG pueden introducirse modelos agrometeorológicos muy diversos, que van desde estadísticos hasta fenológicos (semideterministas) y fisiológicos (deterministas). Los modelos estadísticos examinan las relaciones básicas entre las variables meteorológicas seleccionadas y la respuesta agrícola, como puede ser la producción potencial. Los modelos fisiológicos intentan reproducir los mecanismos básicos del crecimiento de las plantas. Estos modelos dinámicos requieren el conocimiento de un gran número de parámetros que influyen en las condiciones locales de las plantas y su entorno. Los modelos fenológicos reducen la dinámica de las funciones del crecimiento fisiológico a fases críticas del desarrollo del ciclo de vida y después combinan los enfoques estadísticos y deterministas para generar resultados. Los resultados del modelo pueden introducirse en un SIG, o bien el propio modelo puede utilizarse directamente como una capa de información del SIG. Es fundamental disponer de observaciones de campo para calibrar las simulaciones y para evaluar escenarios actuales y futuros. El diseño de la gestión de datos debe considerar las necesidades específicas de datos de tiempo y clima de la zona para las aplicaciones agrometeorológicas. La integración de los datos con una resolución espacial óptima en esta tecnología SIG introduce un mayor nivel de sofisticación para un uso eficaz en agrometeorología.

Tecnología de teledetección

Los datos proporcionados por las redes de observación terrestres son frecuentemente inadecuados para la cobertura espacial de parámetros agrometeorológicos requerida. Pueden pasarse por alto frecuentemente distintas características locales y regionales, sin conseguir un análisis espacial tan completo como el que posibilitan los satélites agrometeorológicos y las técnicas de teledetección. Estos satélites permiten realizar observaciones espaciales durante

períodos continuos de tiempo, aunque dependen de la cobertura nubosa. La teledetección ofrece una fuente complementaria y muy valiosa de información espacial, que puede combinarse con datos de estaciones meteorológicas y observaciones de campo utilizando los SIG para crear una potente herramienta de análisis y toma de decisiones. Información importante sobre la atmósfera y la superficie terrestre, incluyendo la temperatura terrestre, nubosidad, radiación solar y procesos de fotosíntesis y evaporación que pueden afectar a la radiación reflejada y emitida detectada por los satélites. Además, a partir de una combinación eficaz de las observaciones de la red meteorológica y de los datos de los satélites pueden obtenerse aplicaciones como análisis de alta resolución de utilización del suelo, biomasa, vegetación y condiciones hidrológicas, planificación y gestión de recursos agrícolas y naturales, análisis de sequías e inundaciones y riesgo de incendios y evaluación de daños. Muchos artículos e informes han presentado estudios de casos de integración de datos de teledetección con los convencionales de estaciones de tierra y con modelos de simulación de cosechas para realizar un seguimiento del estado, crecimiento y producción probable (Kustas *et al.*, 1995; Maas *et al.*, 1996; Doraiswamy *et al.*, 1997). Estos productos contribuyen significativamente a las capas de información de análisis del SIG.

Una red de radares puede proporcionar información sobre la cobertura, intensidad y movimiento de las células tormentosas. El radar Doppler proporciona mayor información por detectar el movimiento dentro de la tormenta. Esta tecnología permite realizar estimaciones de la cantidad e intensidad de la lluvia, lo que puede ayudar a la predicción de inundaciones. Entre otras aplicaciones útiles de la tecnología radar de vigilancia a la agricultura se encuentran la detección de tormentas fuertes, la cizalladura del viento y la predicción de inundaciones repentinas. EE. UU. ha puesto en operación una red nacional de radares Doppler que introduce una capa de información adicional para las aplicaciones de los SIG. La extensión espacial y la intensidad de precipitación obtenidas a partir de la información de los radares, el análisis de las imágenes nubosas procedentes de satélites meteorológicos y de los datos proporcionados por una red nacional de estaciones terrestres de observación, representan una potencialidad de los SIG para enriquecer las medidas y estimaciones de parámetros meteorológicos para la agri-

cultura. Esta combinación de tecnologías, puestas en conjunto en un formato SIG, ofrece unas nuevas y excelentes oportunidades para distintas aplicaciones en la futura modernización de los sistemas mundiales, regionales y locales de observación agrometeorológica.

La contribución de productos de teledetección a la agrometeorología es de valor extremo. Las técnicas de teledetección requieren una inversión considerable en equipamientos y *software* para poder recibir, procesar, almacenar y difundir datos digitales. Gran parte de la tecnología relacionada con el proceso y la interpretación de datos de teledetección ha sido desarrollada y puesta en operación en los países desarrollados, debido a los recursos necesarios para ello. Mediante el esfuerzo concertado de la OMM y de las naciones Miembro, la transferencia de las nuevas tecnologías a los países en desarrollo resulta cada vez más factible. La disponibilidad de series de datos meteorológicos de satélites más largas, incluyendo un acceso más rápido a los archivos, las aplicaciones de los radares meteorológicos y la mayor capacidad de presentación con herramientas SIG e Internet están abriendo nuevas posibilidades para los agrometeorólogos con acceso al *hardware* y *software* adecuados.

Sistemas de suministro de información

Los desarrollos recientes de la tecnología de ordenadores personales, *software* de bases de datos y de los sistemas avanzados de interpretación, como los SIG, aportan más información en un formato rápidamente accesible para el usuario. Los grandes avances en la era de la automatización ofrecen nuevas vías para disponer de datos e información. La introducción de la transferencia electrónica de archivos de datos a través de Internet utilizando el protocolo de transferencia de archivos (FTP) y la Red Informática Mundial (WWW) han situado esta transferencia de información en un nuevo nivel. La WWW permite a los usuarios acceder a textos, imágenes e incluso a archivos fiables que están enlazados electrónicamente. Los atributos de la WWW incluyen la flexibilidad de manejar una amplia gama de métodos de presentación de datos. Sin embargo, en muchos países en vías de desarrollo aún existen limitaciones en el desarrollo de bases de datos accesibles electrónicamente.

La interfase de la WWW gestiona la comunicación entre un servidor remoto, en el que resi-

den los archivos de datos, y la terminal de visualización del usuario. Esta interfase está controlada por una serie de sentencias de programa que ejecutan comandos de lectura, proceso y presentación de productos. Los datos pueden archivar en formato de archivo auto-descriptivo. Los programas que generan los menús para la interfase de la WWW pueden leer la información descriptiva del contenido de los archivos de datos (por ejemplo, metadatos). Esta modernización de la observación, proceso, archivo y presentación de datos ha permitido que se disponga en todo el mundo de una gran cantidad de datos medioambientales. El creciente desafío consiste en gestionar estos recursos de datos cada vez mayores para que los usuarios pueden extraer eficazmente la información necesaria para sus aplicaciones específicas. La comunidad agrometeorológica y climática mundial está muy interesada en la incorporación de estas nuevas tecnologías de la información en un diseño sistemático para la gestión de datos agrometeorológicos. El objetivo es asegurar que las bases de datos agrometeorológicos necesarios para el sector agrícola sean recopiladas y archivadas adecuadamente, con control de su calidad, y se distribuyan oportunamente.

Se han desarrollado proyectos utilizando esta tecnología de la información para permitir que los datos y los productos se muevan rápidamente a través de este medio electrónico a una gran variedad de usuarios. A continuación se describen dos ejemplos brevemente.

El CLICOM es un proyecto del Programa Mundial de Datos y Vigilancia Climáticos (PMDVC) de la OMM. Sus actividades son la transferencia de métodos y técnicas para procesar los datos climatológicos y ayudar a los usuarios. El *software* del CLICOM, desarrollado originalmente en 1985, funciona en ordenadores personales utilizando el sistema operativo DOS y realiza una serie de utilidades de gestión de datos climatológicos. Éstas incluyen la descripción y gestión de redes climatológicas, el seguimiento y archivo de datos climatológicos y la preparación de productos climatológicos. El CLICOM está reconocido como una herramienta importante para las aplicaciones operativas, pero el sistema necesita ser revisado y actualizado para incorporar las nuevas tecnologías disponibles de informática interactiva.

Otro sistema diseñado para la gestión de datos AWS es UCAN. Está siendo desarrollado por un consorcio de organismos federales y entidades estatales de EE. UU. para proporcio-

nar a los usuarios acceso virtual vía Internet a numerosos conjuntos de datos climáticos (Doraiswamy et al., 1999). UCAN es un sistema de información climática que envía automáticamente las peticiones de datos específicos de los usuarios a una red de sistemas informáticos que contiene el archivo de los productos solicitados. Una vez recibida la petición, se recuperan los conjuntos de datos y programas de proceso y la información se envía a través de archivos de datos o como entrada directa a los programas de usuario. Esta tecnología está siendo probada en distintos centros climáticos regionales.

Con los limitados recursos de muchas zonas rurales y en desarrollo, el concepto de "telecentros" se ve como un medio de proporcionar una amplia gama de servicios de telecomunicación no sólo a los meteorólogos agrícolas sino también a toda la comunidad rural a través de un punto de acceso simple. En varios países de África, Asia y Latinoamérica, se están estableciendo telecentros comunitarios de propósitos múltiples con participación de socios nacionales e internacionales (Weiss et al., 1999). Estos telecentros ofrecen una interesante oportunidad para transferir las herramientas necesarias para gestionar los datos agrometeorológicos y acercan la tecnología SIG a nivel local para las aplicaciones específicas que varían en gran modo para las diferentes regiones. Se prevé que estos centros puedan ser puntos focales para proporcionar servicios como el CLICOM o UCAM a la comunidad local para sus aplicaciones específicas.

La información agrometeorológica general puede transmitirse por televisión, radio y prensa para apoyar las labores del campo y la planificación agrícola. Sin embargo, para proporcionar las herramientas agrometeorológicas regionales y específicas sobre cultivos necesarias para la toma de decisiones, el papel de los servicios de extensión local puede ser un enlace valioso para la transferencia de información y de tecnología de comunicación. Las modernas tecnologías cada vez son más accesibles y ayudan a que los meteorólogos agrícolas generen los productos oportunamente. Esta información, además de ser válida, debe prepararse en un formato que permita su fácil utilización al agricultor o al planificador agrícola. Las salidas de la comunicación deben establecerse de tal modo que se suministre el flujo de información a los usuarios adecuados. La educación y la

formación son esenciales para facilitar la transferencia de la información. El personal de extensión agraria se encuentra en una posición privilegiada, a nivel local y regional, para ayudar a la transferencia de información tecnológicamente avanzada para los usuarios agrícolas. De este modo, la íntima colaboración y coordinación entre todas las entidades pertinentes implicadas y la comunidad agrícola es esencial para asegurar un adecuado suministro de la información.

Conclusión

Durante la pasada década, se ha producido un gran número de avances tecnológicos innovadores que pueden aplicarse directamente a la gestión de datos agrometeorológicos. Estaciones meteorológicas automáticas, comunicaciones electrónicas, *hardware* y *software* para ordenadores personales, tecnología SIG y sistemas de suministro de información han creado una nueva infraestructura para la gestión de datos. Sivakumar (1998) destacó los tres componentes que establecen un paradigma del paso de los datos a información; primero, la obtención de datos es irrelevante si no genera información útil; segundo, aunque la generación de información es importante, no tiene valor si no llega al usuario adecuado; tercero, la información anticuada no sirve a nadie. Es necesario que la información esté disponible y sea accesible al usuario correcto en el momento adecuado para que sea útil en el proceso de toma de decisiones. Éste debería ser el objetivo último del desarrollo de cualquier sistema de gestión de datos.

Referencias

- DORAISWAMY, P. C., P. A. PASTERIS, K. C. JONES, R. P. MOTHÁ and P. NEJEDLIK, 1999: *Techniques for methods of collection, data base management and distribution of agrometeorological data*. International Workshop on Agrometeorology in the 21st Century, Needs and Perspectives, Accra, Ghana. February 1999, WMO, Geneva.
- DORAISWAMY, P. C., A. J. STERN and P. ZARA, 1997: Monitoring crop progress using NOAA AVHRR data adjusted for seasonal climatic variation. *Proc. 61st Am. Soc. Photo. and Remote Sens.* April 1997, Seattle, WA.
- KUSTAS, W. P., E. M. PERRY, P. C. DORAISWAMY and M. S. MORAN, 1994: Using satellite remote sensing to extrapolate evapotranspiration estimates in time and space over a semi-arid rangeland basin. *Remote Sens. Environ.* **49**, 275-286.

MAAS, S. J. and P. C. DORAISWAMY, 1996: Integration of satellite data and model simulations in a GIS for monitoring regional evapotranspiration and biomass production. *Proc. National Center for Geographic Information and Analysis*. Third International Conference on Integrating GIS and Environmental Monitoring, Santa Fe, NM.

MARACCHI, G., V. PERARNAUD and A. D. KLESCHENKO, 1999: *Applications of geographic information systems and remote sensing in agrometeorology*. International Workshop on Agrometeorology in the 21st Century, Needs and Perspecti-

ves, Accra, Ghana. February 1999, WMO, Geneva.

SIVAKUMAR, M. V. K., U. S. DE, K. C. SINHA RAY and M. RAJEEVAN, 1998: User requirements for agrometeorological services. *Proc. of an International Workshop*. Pune, India. November 1997.

WEISS, A., L. VAN CROWDER and M. BERNARDI. 1999: *Communicating agrometeorological information to farming communities*. International Workshop on Agrometeorology in the 21st Century, Needs and Perspectives, Accra, Ghana. February 1999, WMO, Geneva. □

METEOROLOGÍA AGRÍCOLA: EVOLUCIÓN Y APLICACIÓN

Por J. L. MONTEITH*

Antecedentes históricos

Para el aprovechamiento de sus recursos, la agricultura es mucho más dependiente de la meteorología que los demás sistemas biológicos tales como la silvicultura y la pesca. Desde que el hombre comenzó a cultivar los campos y a criar ganado, los agricultores y ganaderos comprendieron que la meteorología durante la época de crecimiento establece un límite superior a la producción, que depende principalmente de la radiación solar y de la lluvia. De hecho, este límite rara vez se alcanza, debido a la temperatura adversa o al impacto de enfermedades y patógenos con ciclos vitales que también dependen del tiempo.

Los primeros agricultores tuvieron que aprender de la experiencia la manera de maximizar las cosechas en una buena temporada y de minimizarlas en una mala. La sabiduría que adquirieron fue pasando de generación en generación y, eventualmente, quedó registrada en sencillos manuales de agricultura. En el siglo I a. C., un agrónomo chino, Fan Sheng-Chi, dejó escrita una relación de sus experiencias que se han traducido al inglés bajo el título de *An Agriculturalist Book of China* (Shih, 1974). Esta obra contiene muchas aplicaciones prácticas sobre el tema identificadas muchos siglos después como "meteorología agrícola". Por ejemplo, se aconsejaba a los agricultores compactar la nieve con rodillos en el invierno y al comienzo de la primavera para aumentar el agua almacenada en el

suelo después de fundirse la nieve. Esta primera etapa descriptiva de la meteorología agrícola dominó la materia durante siglos y todavía estaba vigente cuando, en 1898, Edward Mawley, Presidente de la Real Sociedad Meteorológica de Gran Bretaña, pronunció su discurso presidencial: "Influencias de la meteorología en la producción agrícola y hortícola". Dijo: "Hay pocas ciencias tan interrelacionadas como la meteorología, la agricultura y la horticultura" (Mawley, 1898) aunque las conexiones que identificó eran casi exclusivamente cualitativas.

El siglo XX

Doce años después de Mawley, otro Presidente con mentalidad agrícola, Henry Mellish, también se refirió al impacto de la meteorología sobre las cosechas y, de nuevo, apenas si trató de establecer relaciones cuantitativas entre la gestión, el tiempo y la productividad (Mellish, 1910). Sin embargo, el surgir de la meteorología agrícola como ciencia no estaba muy lejos. R. H. Hooker, Presidente durante 1921/22, abogó por la utilización de la estadística para correlacionar la producción con las variables meteorológicas. Afirmó: "Hay una gran cantidad de trabajo por hacer antes de que podamos determinar el efecto de un cambio dado en cualquier fenómeno en cualquier período dado del crecimiento de la planta, hasta la producción última de la cosecha" (Hooker, 1921). En una observación más positiva, indicó que "recientemente, unos pocos autores europeos... han realizado contribuciones al tema, y las cuestiones sobre la "meteorología agrícola"

* Meteorólogo Subjefe, Departamento de Agricultura de EE. UU. Washington D. C.