

Determinación de parámetros del ciclo hidrológico usando percepción remota

POR JUDITH RAMOS HERNÁNDEZ

En la Coordinación de Hidráulica del Instituto de Ingeniería, se desarrolló un algoritmo para calcular la pérdida de agua hacia la atmósfera, que se denomina Método para el balance de energía superficial (MEBES).

Este método se utilizó con magníficos resultados para estudiar la cuenca del río Sonora y actualmente se está empleando para investigar la cuenca del río Lerma.

Es importante calcular la pérdida de agua hacia la atmósfera pues permite conocer, por un lado, los requerimientos de éste líquido por zona y, por otro, hacer una mejor distribución del agua.

ANTECEDENTES

El uso intensivo y la sobrexplotación de ríos y acuíferos han provocado grandes desigualdades entre la población y ocasionado conflictos por derechos de agua. Esto, aunado a los cambios climáticos que modifican el ciclo hidrológico, hace necesario conocer la disponibilidad real del líquido para abastecer a los usuarios. Para ello, se requiere un balance preciso de las fuentes de agua, lo que implica una clara comprensión de los procesos del ciclo hidrológico y sus interacciones.

Sin embargo, lograr una cuantificación precisa del balance de agua es difícil por la naturaleza altamente variable en tiempo y espacio de los parámetros que lo integran.

Para determinar el manejo integral del agua en una zona, se requiere conocer todo el sistema, lo que implica analizar la cuenca a la que pertenece, para ello hay que hacer mediciones y observaciones continuas a nivel regional y local de las variables hidrológicas -precipitación, escurrimientos, evapo-

transpiración (ET*) e infiltración, entre otras-, las cuales son determinantes en la distribución del agua y, por tanto, en la circulación de la energía en la atmósfera.

La heterogeneidad del terreno hace imposible a veces instalar sistemas de medición para cuantificar el agua en espacio y tiempo, los cuales se observan en las técnicas de percepción remota.

Los sistemas de información geográfica (SIG) y percepción remota (PR) se han convertido en valiosas herramientas para la ordenación y gestión del territorio. En general, la PR se basa en el registro, mediante un sensor portado en satélites y aeronaves (tripuladas y no tripuladas), de la energía electromagnética reflejada y emitida por los objetos de la superficie terrestre a diferentes longitudes de onda (por ejemplo, cuerpos de agua, vegetación, suelo). Los sensores captan las diferentes regiones espectrales como microrondas, visible e infrarrojo. Dependiendo del tipo de sensor, la información generada se presenta en imágenes ópticas y de microrondas o radar. Actualmente existe una diversidad de plataformas satelitales cubriendo el espectro visible (VIS) e infrarrojo (IR), como Landsat (Fig. 1), Spot, MODIS, NOAA-AVHRR, entre otras, y aquellas que cubren el espectro de microrondas proporcionando información en frecuencias como Radarsat, Envisat, ALOS, etc. Si bien hoy en día se puede tener acceso a gran variedad de imágenes, el costo está en función de los objetivos del estudio por realizar. Es accesible tener imágenes gratuitas a una resolución es-

* La ET es una variable del ciclo hidrológico importante porque afecta y es afectada por otras variables y aunque es fácil calcularla a nivel local, ya que se pueden hacer mediciones directas, a nivel regional esto es imposible, por lo que sólo se hacen suposiciones en relación al cálculo.

espectral menor como MODIS o NOAA-AVHRR y media como Landsat, pero sólo a precios altos se obtienen con alta resolución espectral.



Fig 1. Captura de una imagen de satélite por la plataforma Landsat 7.

En hidrología, la PR ha demostrado su utilidad para la investigación nacional, regional y local de la estimación del balance y productividad del agua, la cobertura vegetal y el mapeo de zonas de riego. Para obtener la productividad del agua, se calculan variables hidrometeorológicas (temperatura y contenido de agua en el suelo, solo por mencionar algunas), así como la clasificación de la cubierta superficial. Estas variables son usadas para estimar flujos hidrometeorológicos como la evapotranspiración, precipitación y escurrimiento, mediante la aplicación de algoritmos.

La PR se enriquece al contar con datos de campo, lo que lleva a una estimación más precisa de las variables y de los parámetros hidrometeorológicos. Adicionalmente, si estos resultados se implementan en un SIG es posible analizar y generar información complementaria, lo que contribuye a plantear mejores políticas para el manejo eficiente del agua.

EVAPOTRANSPIRACIÓN

A escala local, el cálculo de la evapotranspiración puede obtenerse con alta precisión. Sin embargo, estos valores no pueden ser directamente extrapolados a escalas mayores (regiones, cuencas, nación) debido a las variaciones climáticas y superficiales que existen entre diversas zonas aun dentro de la misma cuenca hidrológica (algunos métodos

usados en el país para calcular la ET son las ecuaciones de Turc, de Hargreaves y de Penman-Monteith). La dificultad para hacer un análisis espacial de la ET a gran escala ha motivado la introducción del uso de datos y técnicas de PR, como alternativa para estimar tanto las variables como la ET misma.

Aunque el uso de la información satelital ha demostrado ser muy confiable tanto en espacio como en tiempo para estimar la ET, se requiere un mínimo de información de campo, en particular, de datos meteorológicos, fenológicos y de suelo. Contar con datos meteorológicos representativos de la zona de estudio no siempre es posible, pues con frecuencia no se cuenta con series de tiempo completas, confiables y adecuadas para el estudio, o bien las estaciones meteorológicas se encuentran dispersas debido a la gran heterogeneidad del terreno, la falta de recursos o la baja eficiencia de operación. Cuando la información de la serie no está completa, se recurre a técnicas de minería de datos donde los registros de otras esta-

ciones con una situación climática similar, son empleados para que la información sea lo más cercana posible a la realidad.

El análisis de la información meteorológica ha considerado datos de 3 tipos de estaciones: climatológicas convencionales o tradicionales, meteorológicas automáticas y observatorios.

El uso de la PR para calcular la ET es aún considerado una técnica nueva, pese a que se usa desde hace tres décadas. Entre los métodos para estimar la ET usando PR destaca el balance de energía superficial, donde se definen los flujos de energía en superficie y atmósfera. Uno de estos métodos es el algoritmo Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL), desarrollado por Bastiaansen et al (1998), con el cual se estima la ET real (medida de la pérdida de agua de cualquier superficie bajo condiciones normales). El SEBAL incluye tanto ecuaciones empíricas como físicas para la obtención de la ET real.

En el proceso SEBAL se realiza una calibración interna para la temperatura superficial, (T_s). Otra ventaja del proceso SEBAL es que permite estimar la ET en áreas homogéneas y heterogéneas, incluyendo la evaporación del suelo y los cuerpos de agua y la transpiración de las plantas.

Estudios realizados en zonas agrícolas de España y México, han empleado una versión propia, desarrollada por Judith Ramos, basada en el algoritmo SEBAL, la cual se denomina Método para el balance de energía superficial (MEBES). En ella, se incluyeron algunas consideraciones para los datos climatológicos y se analizó el efecto del viento y otras variables que son determinantes en el proceso.

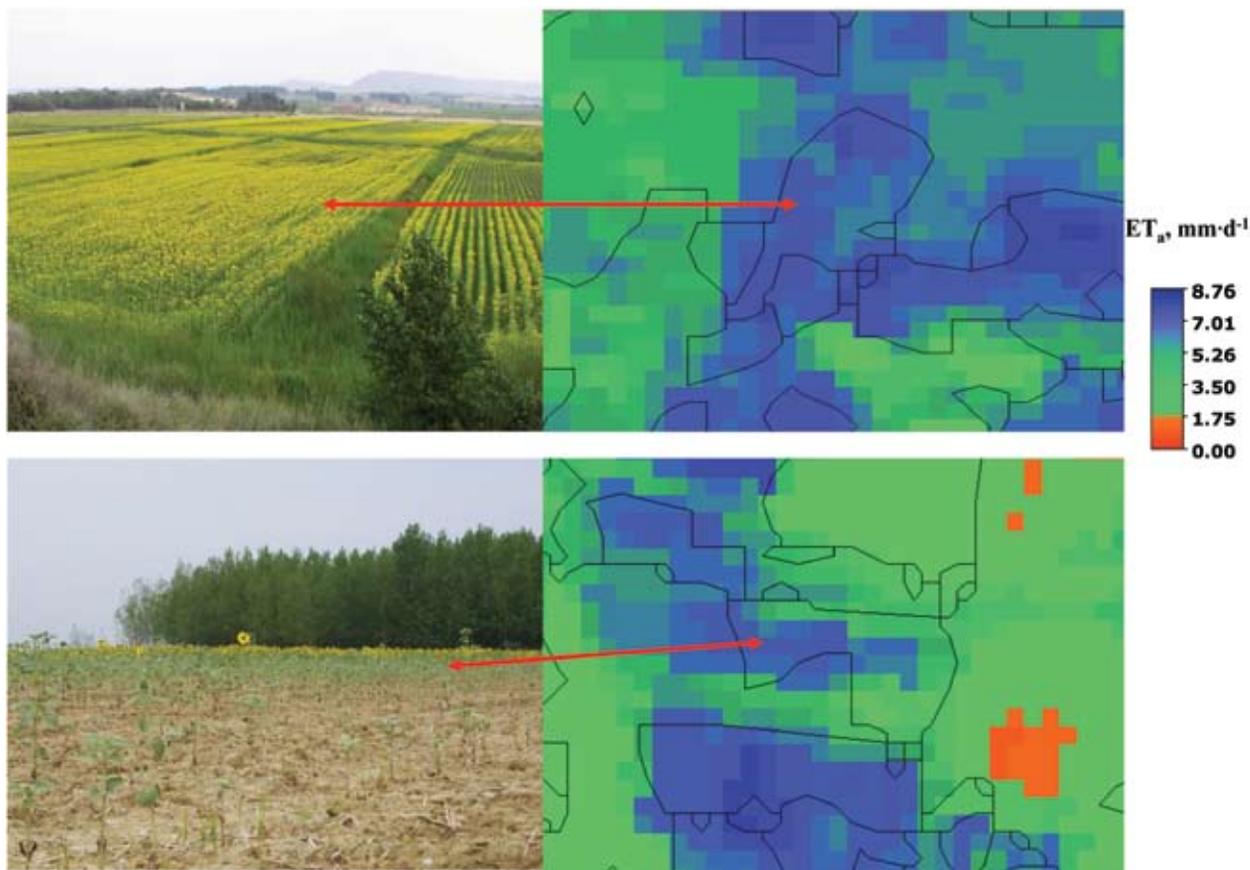


Fig 2. Girasol para may-99, donde son evidentes las diferencias de crecimiento del cultivo en diferentes parcelas

De acuerdo con los resultados obtenidos en la investigación realizada en el Distrito de Riego de Flumen, Zaragoza (España), se puede afirmar que el proceso MEBES es un método robusto y confiable para estimar la ET real tanto local como regionalmente, pues representa las condiciones en las que se encuentra el cultivo (Fig. 2).

Sin embargo, se encontraron algunas limitaciones, principalmente para parcelas aisladas de una hectárea y para suelos bajo inundación constante. La validación de los requerimientos de agua por cultivo mostró un error relativo de 3.7 %. Asimismo, con los resultados de ET real obtenidos por MEBES se calcularon los volúmenes de agua totales para el distrito de riego, que comparados con los consumos de agua facturados por la Confederación Hidrográfica del Río Ebro resultaron muy similares.

ESTIMACIÓN DE LA ET REAL PARA LA CUENCA DEL RÍO SONORA

En México, se estudió la cuenca del río Sonora localizada en el centro norte del estado de Sonora, en un área de 26 707 km² que limita al norte con EUA y al sur con el mar de Cortés. El río principal es el Sonora, de 277 km de longitud, que empieza al norte en la ciudad de Cananea y termina en la costa de Hermosillo. La cuenca se divide en subcuencas formadas por los ríos Zanjón, San Miguel de Horcasitas y Sonora y la Costa de Hermosillo.

El clima es muy seco al este (siguiendo la línea de costa), seco y semiseco en la mayor parte del centro y templado al oeste. La topografía es accidentada con más de 1000 msnm en las montañas y menos de 100 msnm en la costa. Esto genera alta variación climática y, en consecuencia, gran

diversidad de vegetación, bosques de pino en el norte y mezquites en el resto de la cuenca, excepto en las zonas regadas: zonas aluviales y costa. Los principales cultivos son maíz, trigo, garbanzo, zacate, nogal, naranjo y alfalfa.

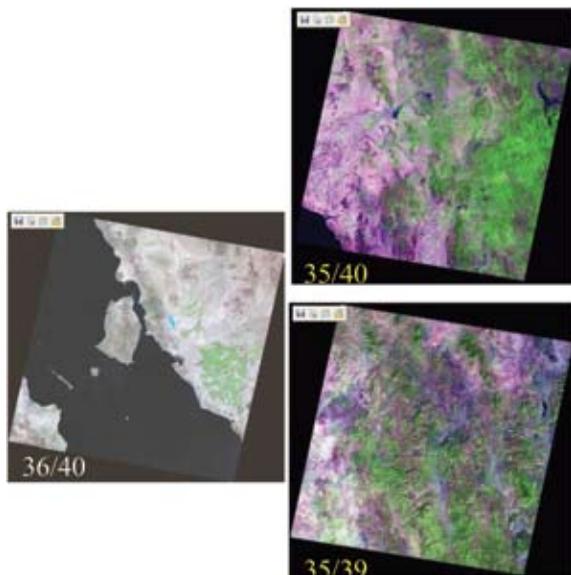


Fig 3. Imágenes Landsat que integran la cuenca del Río Sonora: columnas y filas 35/39, 35/40 y 36/40 para el 30/04/2003

El estudio de la cuenca del río Sonora se dividió en dos etapas, empleando imágenes satelitales. En la primera se analizó el año hidrológico 2002-2003 con imágenes disponibles de la plataforma Landsat correspondientes a los sensores TM y ETM+ para las columnas y filas 35/39, 35/40 y 36/40, de las fechas 29/03/2003, 30/04/2003, 16/05/2003 (Fig. 3). Las imágenes de satélite descritas fueron preprocesadas para corregirlas geométrica, atmosférica y radiométricamente. Una vez corregidas las imágenes, se extrajeron índices de vegetación y polígonos de riego para establecer el área total y parcial por tipo de cultivo. Posteriormente, se realizaron clasificaciones supervisadas que se validaron en campo.

La estimación de la ET real empleando el proceso MEBES para las diferentes clases de cobertura vegetal y bajo las condiciones prevalecientes en el día en que se capturó la imagen. Los datos de ET real diaria se emplearon para obtener la ET por tipo de cultivo para los sistemas de riego de los acuíferos de Mesa del Seri-Victoria (Fig. 4), Pesqueira, Topahue y Ures, ubicados en la cuenca del río Sonora. Finalmente, se calcularon las necesidades hídricas mensuales y los volúmenes de agua de riego requeridos para esta zona, por cultivo y por sistema.

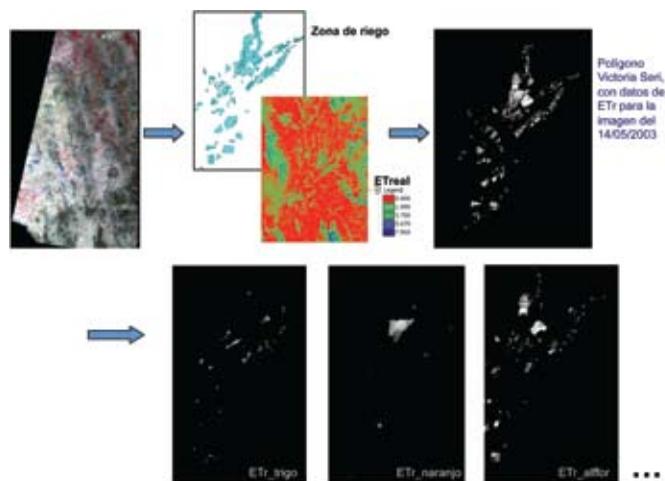


Fig 4. Valores de ET real empleando MEBES para el polígono correspondiente al acuífero de Seri-Victoria

CONCLUSIONES

La estimación de ET incluye variaciones espaciales y temporales que ayudan a obtener un manejo apropiado del agua, básico en el sector agrícola para definir la operación día a día, planear el riego de las parcelas y establecer el manejo de las fuentes de agua y suelo, a corto y largo plazos.

El proceso MEBES fue validado a escala local y regional en la cuenca del río Sonora. En el primer caso, se validó con una huerta de naranjos y con los valores de ET obtenidos con datos de las estaciones climatológicas tradicionales. En la validación regional se aplicó a toda la imagen y, en particular, se revisaron los resultados para las zonas agrícolas de cuatro acuíferos: Mesa del Seri-Victoria, Pesqueira, Ures y Topahue.

Los resultados de ET real a escala local mostraron que el algoritmo MEBES puede representar con fidelidad las condiciones prevalecientes durante el día de la toma de la imagen. Por otro lado, durante la validación regional se observaron variaciones importantes asociadas con el desarrollo del cultivo o las prácticas que siguen los agricultores. Se hizo una validación adicional comparando los volúmenes de agua requeridos por los principales cultivos con los registros de agua asignada a dichos cultivos.

Finalmente, los valores de ET real obtenidos por MEBES mostraron ser un parámetro confiable para calcular los volúmenes de agua por cultivo y por distrito de riego. Esto confirma que el proceso puede representar de manera confiable las condiciones del terreno, ambiente y cultivo. 🧑🏫