



Determinación de requerimientos de agua en agricultura, mediante el uso del programa **CROPWAT**

Juan P. García M.
Ingeniero Sanitario
Universidad de Antioquia
Máster en Hidráulica Ambiental
Especialidad en Ordenación de Cuencas
Universidad de Córdoba (Andalucía, España)
Docente Institución Universitaria Tecnológico de Antioquia
jpgarcia@tdea.edu.co
Colombia

Abstract

Some computer programs have developed to the estimation of efficient irrigate crops. The calculus are make from meteorological data such as precipitation, radiation and temperature to the irrigate area. This is the case of the CROPWAT program, developed by the Food and Agriculture Organization of the United Nations.

This article describes the operation of the programme. The methodology could be applicate in the local environment.

→ Keywords:

- Environmental care, irrigation system, saving water, environmental factors, sustainable agriculture.

Resumen

Para calcular la cantidad de agua requerida para regar un cultivo de manera eficiente, evitando el desperdicio, se han desarrollado algunos programas para computador. Estos, a partir de datos meteorológicos como la precipitación, radiación y temperatura que se tienen de una región pueden arrojar las necesidades de agua de un cultivo, entendiéndose como la cantidad de agua que se requiere para satisfacer la tasa de evapotranspiración o la cantidad de agua del suelo que vuelve a la atmósfera como consecuencia de la evaporación y la transpiración de las plantas, de modo que los cultivos puedan prosperar sin desperdiciar agua. Tal es el caso de CROPWAT, un programa desarrollado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

En este artículo se presentan los procedimientos necesarios para la utilización del programa en el entorno local.

→ Palabras clave:

- Cuidado ambiental, sistemas de riego, ahorro de agua, factores ambientales, agricultura sostenible.



▲ Foto: Pamela A. Escobar

Represa de Río Grande, Antioquia.

Antecedentes

Una de las razones de la reducción de la disponibilidad de agua en gran parte del mundo es el aumento de la temperatura del planeta. Para entender por qué sucede esto se referencia el fenómeno natural llamado efecto invernadero, el cual se origina por la acumulación equilibrada de ciertos gases de la atmósfera que retienen el calor. Estos gases dejan pasar los rayos del sol pero mantienen el calor como las paredes de un invernadero. Sin embargo, este fenómeno natural se ha desequilibrado, asociándose con las actividades humanas que han incrementado las emisiones de CO₂ relacionadas con el uso de combustibles fósiles y la producción de otros Gases de Efecto Invernadero —GEI—, teniendo un resultado inverso, en el que los rayos del sol quedan atrapados en la atmósfera incrementando la temperatura de la tierra (National Geographic, 2013).

El aumento de la temperatura de la Tierra ha generado grandes movimientos en la dinámica ambiental, social y económica. Las consecuencias de este cambio climático incluyen la variación de la dinámica de las lluvias, la radiación solar y los vientos.

El sector agropecuario se ve cada vez más expuesto a los eventos climáticos extremos, como los periodos de sequía en donde se reducen los regímenes de agua en el suelo y reservorios. En consecuencia, las producciones agrícolas y pecuarias se ven afectadas por la disponibilidad del agua (Mundial, 2016).

Las actividades agropecuarias son considerablemente sensibles al cambio climático e influyen en el rendimiento de los cultivos. La escasez de agua afecta el crecimiento y rendimiento de las

cosechas cuando no ha sido suministrada en cantidades requeridas, amenazando la seguridad alimentaria local y mundial. Por ello, el uso de herramientas ofimáticas podrá ayudar para aplicar estrategias de prevención, ahorro y optimización de este recurso en las actividades de riego del sector agropecuario apuntando hacia la adaptación al cambio climático (Gerald C. Nelson, 2009).

Introducción

Según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO- (Aquastat, 2013), el 50% del agua consumida en el país se emplea para regadío. De ahí la importancia de propender un uso eficiente y ahorro de este recurso. Con el fin de realizar un riego eficiente, minimizando los impactos ambientales, sociales y económicos asociados con los altos consumos de agua, es necesario estimar los requerimientos hídricos de las diferentes especies vegetales, teniendo en cuenta los factores ambientales de las zonas donde se practique la actividad agrícola.

La mayoría de metodologías empleadas para la determinación de las demandas hídricas tienen un desarrollo matemático extenso y complejo, por lo cual gran parte de la población que realiza la actividad no cuenta con los conocimientos necesarios para aplicar los cálculos de una manera correcta. Sin embargo, se han desarrollado algunos programas para computador, de libre acceso y fácil uso, en los cuales, se utilizan datos meteorológicos de una región. Estos programas tienen algoritmos

internos que permiten el cómputo de ecuaciones para obtener la evaporación en diferentes épocas del año y bajo condiciones ambientales cambiantes. Mediante el uso de estas herramientas, el agricultor podrá determinar la cantidad de riego, según el tipo de cultivo y las condiciones ambientales de la zona, evitando la generación de escasez del agua y posibles sobrecostos de producción

Un software de este tipo es CROPWAT, desarrollado por la Organización de las Naciones Unidas ONU para la Alimentación y la Agricultura. Este programa puede ser un instrumento importante para muchos cultivos, por ejemplo, en el riego de pastos y forrajes necesarios para la alimentación de los bovinos en la ganadería de leche y carne.

Consideraciones generales

De acuerdo con Smith (1992), el programa CROPWAT es una herramienta de apoyo a las decisiones desarrollada por la División de Tierras y Aguas de la FAO. Puede ser usado para el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos con base en datos climáticos, de suelos y de cultivos existentes o nuevos. Además, permite la elaboración de calendarios de riego para diferentes condiciones de manejo y el cálculo del esquema de provisión de agua para diferentes patrones de cultivos (Ideam, 2013).

Utiliza el método de la FAO Penman-Monteith, que es una ecuación definida para calcular la evapotranspiración (ET) de una superficie extensa de pasto verde. En esta ecuación se tiene en cuenta la especie de gramínea festuca o alfalfa para determinar la evapotranspiración de los cultivos. Cuando no cuenta con los datos de ingreso en cuanto a condiciones del suelo, el programa utiliza datos que trae por defecto, calibrándolos según el tipo de cultivo. En el caso de que se tengan datos medidos, permite que la información almacenada sea modificada.

Con respecto a los datos climatológicos, el programa permite el ingreso de datos a través del software Climwat (Smith, 1993), que cuenta con bases de datos de medición de estaciones meteorológicas ubicadas en casi todos los países del mundo. Este software fue una publicación de la Unidad de Gestión del Desarrollo del Agua y el Cambio Climático y Bioenergía de la FAO, el cual se puede instalar desde el siguiente link <http://climwat-for-CROPWAT.software.informer.com/download/>

Climwat proporciona valores medios mensuales a largo plazo de los siguientes parámetros climáticos (FAO, 2015):

- La media de temperatura máxima diaria en grados centígrados (°C).
- La media de temperatura mínima diaria en °C.
- La media de humedad relativa en porcentaje (%).
- Velocidad del viento en kilómetros por día (km/día).
- La medida de horas de sol por día.
- La radiación solar media en mega joule/metro cuadrado/día (MJ/m²/día)
- Precipitación mensual en milímetros por mes (mm/mes).
- Precipitación efectiva mensual en mm/mes.
- Evapotranspiración de referencia, calculado con el método de Penman-Monteith en mm/día.

Si bien no se requiere realizar cálculos con la ecuación de Penman-Monteith, pues se encuentra programada en el software, a continuación se presenta como referencia, con las modificaciones incluidas por la FAO (Allen, 1998).

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (Rn - G) + y \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + y (1 + 0.34u_2)}$$

Donde:

- Δ : Es el Gradiente de la curva de presión de vapor de saturación.
- Rn : Radiación neta en la superficie del cultivo (MJ/m²/día).
- G : Flujo de calor en el suelo (MJ/m²/día).
- u_2 : La velocidad del viento a 2 m de altura (m/s).
- e_s : presión de vapor de saturación (kPa).
- e_a : presión de vapor del aire (kPa).
- $e_s - e_a$: Déficit de presión de vapor (kPa).



▲ Foto: Juan P. García

Ingreso de los datos

Selección de estaciones de medición

Se requiere información relacionada con la ubicación de las estaciones meteorológicas donde están dispuestos diferentes instrumentos que permiten medir las variables que afectan el estado de la atmósfera: temperatura, humedad, radiación solar y precipitación, entendiéndose como un conjunto de líneas imaginarias que permiten ubicar con exactitud un lugar en la superficie de la Tierra. Además la altura sobre el nivel del mar (m.s.n.m) y el nombre de la estación.

Datos climatológicos

Luego de seleccionar las estaciones de medición, se procede a descargar información relacionada con la precipitación, temperatura, humedad relativa y cantidad de horas de radiación solar.

La presentación de la información se plasma en series para cada uno de los meses del año, la cual debe subirse a la interfaz del programa. El ingreso de las series mencionadas se puede observar en la Figura 1.

Month	Min Temp	Max Temp	Humidity	Wind	Sun	Rad	ETc
	°C	°C	%	km/h	hours	MJ/m ² /day	mm/Year
January	11.2	25.1	35	1	11.8	25.4	3.76
February	14.2	28.5	40	1	11.9	26.9	4.21
March	14.3	29.2	50	0	12.0	28.1	4.66
April	14.5	29.3	60	0	12.2	29.3	4.99
May	14.7	29.4	65	1	12.3	27.5	4.70
June	15.1	30.1	55	1	12.4	26.9	4.53
July	15.3	30.2	52	1	12.3	27.0	4.59
August	15.2	30.5	45	1	12.2	27.9	4.64
September	15.0	29.5	50	1	12.1	28.0	4.71
October	14.8	28.9	62	1	12.0	27.2	4.66
November	14.9	28.8	63	0	11.9	25.9	4.31
December	14.5	28.0	58	1	11.8	24.9	4.06
Average	14.6	29.6	53	1	12.1	27.9	4.48

Figura 1.

Entorno para ingreso de datos climatológicos al programa.

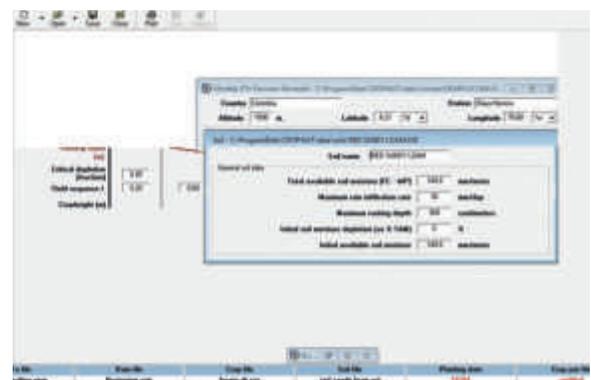


Figura 2.

Entorno para ingreso de datos del suelo al programa.

Datos del suelo

También deben ser ingresados datos relacionados con la textura y granulometría del suelo donde se tienen los cultivos, tales como la densidad del suelo, su clasificación según granulometría, el punto de marchitez permanente PMP y la tasa de infiltración (ver Figura 2). De no contar con dicha información se puede utilizar la que el programa trae por defecto, teniendo en cuenta el tipo de cultivo.

Datos del cultivo

Se debe ingresar el nombre de la planta cultivada, la fecha en la cual fue sembrada, la cantidad de riego recomendado y la profundidad de las raíces. El programa cuenta con una base de datos de las diferentes especies vegetales que tienen uso agrícola. Con la información suministrada este podrá calcular los coeficientes de desarrollo del cultivo. La información ingresada se puede visualizar tal como se muestra en la Figura 3.

Datos de riego

Es necesario ingresar el porcentaje de eficiencia del sistema de riego empleado y la frecuencia con la cual se riega el cultivo.

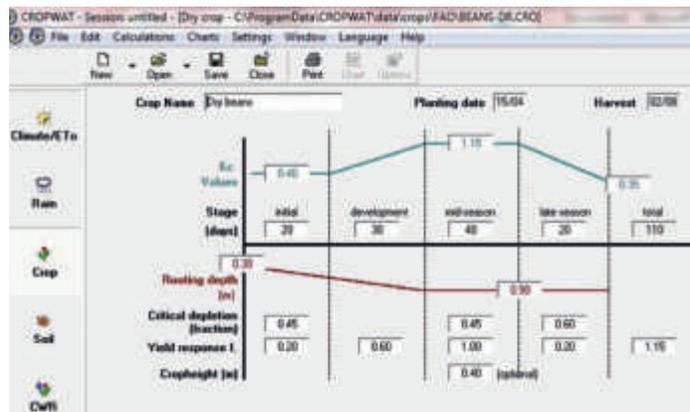


Figura 3.

Entorno para ingreso de datos de la vegetación al programa.

—Ideam—, siguiendo las instrucciones de este link: <http://institucional.ideam.gov.co/jsp/info/institucional/solicitud/solicitud.pdf> gratuitamente.

Adquisición de información necesaria para el programa

Datos climatológicos

La información se puede adquirir en la red de estaciones de monitoreo que tienen instaladas entidades como Ideam, Siata o EPM, entre otras. Se puede solicitar la información climatológica necesaria para calcular los requerimientos de agua de un cultivo en particular en el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

El programa Climwat trae una base de datos en la cual se pueden consultar algunas estaciones ubicadas en el territorio nacional. En la Figura 4 se pueden observar las estaciones registradas por este programa.

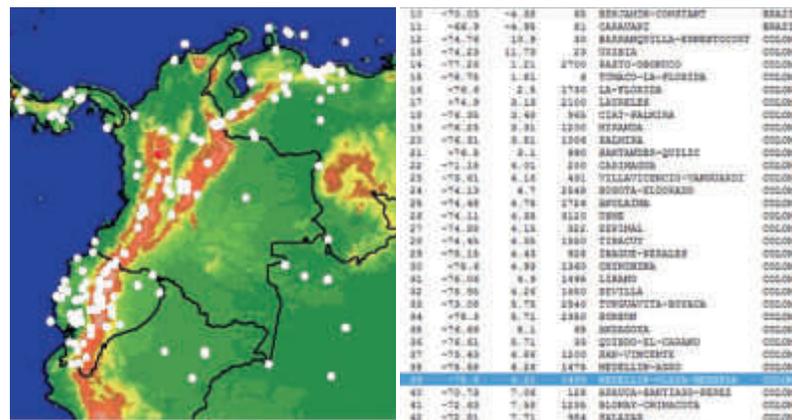


Figura 4.

Estaciones registradas para Colombia por el programa CLIMWAT.

Si se quiere mayor exactitud en los cálculos se puede levantar información directamente en el cultivo, por medio de la instalación de estaciones o simplemente midiendo los parámetros requeridos por el programa. La temperatura ambiente se puede medir con termómetros digitales y la precipitación con la instalación de pluviómetros caseros, que pueden ser recipientes con volúmenes calibrados. Con respecto a los datos de radiación y duración del día, se pueden consultar en tablas de la FAO, basándose en la ubicación geográfica, con coordenadas de las zonas (FAO, 2014).

Datos del suelo

Con el fin de obtener resultados acertados, se deben medir parámetros como la capacidad de campo, la tasa de infiltración, humedad del suelo y la densidad. Sin embargo, si no se cuenta con la información, como se ha mencionado anteriormente, el programa trae datos por defecto, según la granulometría del suelo.

Por lo tanto, es necesario tener un análisis granulométrico del suelo, este se realiza por medio de tamices para los suelos gruesos y análisis hidrométricos o coulter, entre otros, para los suelos finos. En la Figura 5 se presenta la interfaz para la introducción de los datos asociados con el suelo.

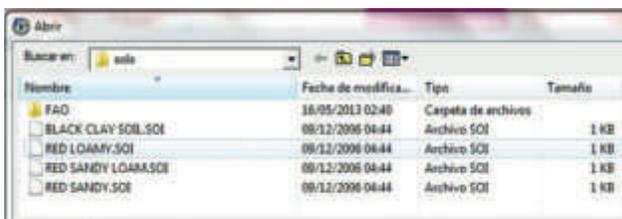


Figura 5. Base de datos de suelo programa CROPWAT.

Datos del cultivo

El programa cuenta con una base de datos en la que se referencian diversos tipos de cultivos, con la información necesaria para la modelación por realizar. Por lo tanto, teniendo el nombre de la planta cultivada se puede subir la información que el programa trae por defecto (Ver Figura 6).

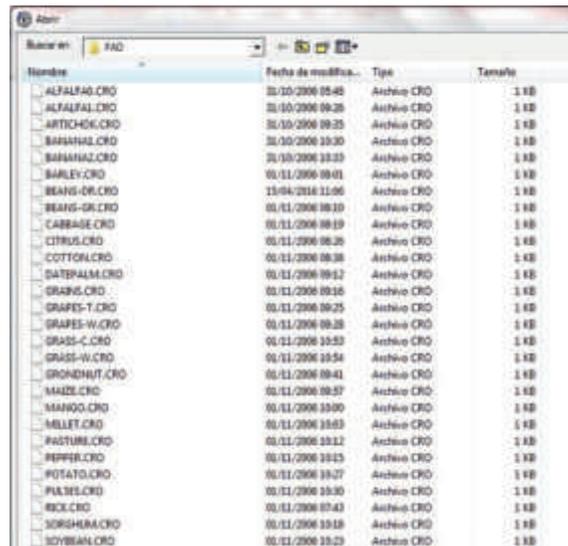


Figura 6. Base de datos de cultivos programa CROPWAT.

Casos exitosos

Como casos exitosos de la aplicación del programa CROPWAT para la determinación de los requerimientos hídricos de diferentes cultivos se pueden mencionar los siguientes:

- Estudios de déficit hídrico en Olivares de Córdoba, España (Soriano MA, 2004).

- Estudios de Evapotranspiración en cultivos de maíz en Rumania (Stancalie, 2010).
- Determinación de requerimientos de riego para gramíneas forrajeras en Tabasco, México (Ruiz-Álvarez, 2011).
- Diseño de calendarios de riego para huertos en el Sureste de Alemania (Marx, 2005).
- Manejo del riego e indicadores en la zona regable del Genil Cabra en Córdoba, España, (Díaz, 2008).
- Evaluación irrigación distrito de riego Samacá, Colombia (De Fraiture, 1998).
- Estimación de régimen de riego para el King Grass en Cuba (Sosa, 2012).

Con respecto a los casos exitosos se ampliarán los resultados del artículo "Estimación de régimen de riego para el King Grass en Cuba", su autor, Sosa (2012), concluye lo siguiente:

"Con la utilización del programa profesional CROPWAT y los datos reales de la zona de estudio se logró contribuir al conocimiento del régimen de riego del King Grass lo que permitió una explotación correcta del riego de este cultivo (...)

Mediante el programa CROPWAT se pudo determinar que el cultivo de King Grass necesita entre 7 y 8 riegos, de 789 a 2467 m³/ha a lo largo del año, teniendo en cuenta los periodos de sequía y lluvias, para esto se tuvo en cuenta la evapotranspiración anual de la planta que arrojó un valor de 1.189 a 1.216 mm/ha, dando como

resultado un balance de agua de 0,85 l/s/ha, demostrando que es totalmente factible la utilización del programa computacional CROPWAT, para la determinación del régimen de riego del King Grass".

Para entender el anterior resultado de la estimación de régimen de riego para el King Grass se debe conocer que el balance de agua es la relación entre la cantidad de agua que, por diferentes medios, llega al suelo y la que finalmente queda accesible por las raíces de las plantas. Finalmente, el balance de agua es el resultado de restar a las entradas de agua las pérdidas, lo que nos da el resultado del agua que está disponible para las plantas en un determinado momento.

Análisis de resultados

Después de ingresar datos como la temperatura, la humedad relativa y el número de horas de radiación solar, el programa automáticamente calcula la radiación y evapotranspiración mediante el modelo de Penman (ET).

Con respecto a los datos de precipitación, el programa arroja resultados referentes a la precipitación efectiva, que se refiere a la parte de la precipitación retenida en el suelo y que está disponible para el aprovechamiento de la planta. Por lo tanto, el programa CROPWAT utiliza el método elaborado por el Servicio de Conservación de Suelo del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA SCS, por sus siglas en inglés), el cual ha desarrollado un procedimiento para

estimar la Precipitación Efectiva (Peff), mediante el procesamiento de largo plazo del clima y datos de humedad del suelo con valores mensuales de precipitación (Dastane, 1978).

Empleando los resultados de la Evapotranspiración (ETc) y los datos del cultivo, el programa determina los requerimientos hídricos mes a mes (Irr. Req), como se presenta en la Figura 7.

Month	Decade	Stage	Ka	ETc	ETc	ETc	Irr. Req.
			mm/d	mm/d	mm/d	mm/d	mm/d
Apr	1	Soil	0.40	1.30	11.7	28.5	0.0
Apr	2	Soil	0.40	1.30	13.3	43.4	0.0
Apr	3	Soil	0.40	1.30	21.4	28.2	0.0
May	1	Deep	0.40	2.14	21.4	28.2	0.0
May	2	Deep	0.40	2.14	21.8	29.0	0.0
May	3	Deep	0.40	2.14	47.2	26.7	11.8
Jun	1	Mid	1.71	5.00	92.9	21.6	194
Jun	2	Mid	1.71	5.00	92.6	20.4	222
Jun	3	Mid	1.71	5.00	92.9	27.6	234
Jul	1	Mid	1.71	6.17	91.1	26.6	24.9
Jul	2	Late	1.91	4.84	46.4	25.4	21.0
Jul	3	Late	0.42	2.08	21.4	25.1	6.3
Aug	1	Late	0.37	1.71	3.4	4.8	3.4
					496.3	348.6	131.6

Figura 7. Irrigación calculada por el programa CROPWAT.

Como se puede observar, el programa realiza los cálculos para periodos de diez días, que denomina décadas, por lo que cada mes se divide en tres periodos. Los requerimientos hídricos se determinan como la diferencia entre la precipitación efectiva (Peff) y la evapotranspiración de la precipitación. (Bolaños, 2011). Luego, el programa construye el calendario de riego como se puede observar en la Figura 8. En este se muestran los días donde se requiere el riego y las láminas netas por aplicar.

Al final, el programa construye esquemas de riego, en los que se puede observar la programación de actividades en cada uno de los meses. Los resultados se relacionan

con las áreas de los cultivos que se tienen. El porcentaje de las áreas se debe ingresar en la ventana de patrones del cultivo.

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Precipitation (mm)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Soil water (mm)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
ETc (mm)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Irrigation (mm)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Net water (mm)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
ETc (mm)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Irrigation (mm)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Net water (mm)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
ETc (mm)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Irrigation (mm)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Net water (mm)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Figura 8. Calendario de irrigación generado por el programa CROPWAT.

Conclusiones

- Por ser un software libre, el programa puede ser descargado por cualquier persona que tenga acceso a Internet.
- El programa trae datos de diferentes tipos de suelos y cultivos que pueden ser utilizados en caso de contar con la información. Sin embargo, se debe tener mucho cuidado en el uso de dichos parámetros, teniendo en cuenta que estos deben aproximarse a las condiciones reales que se tienen en el área de estudio. Como los resultados se obtienen a partir de parámetros aproximados se pueden tener márgenes de error. Para reducir la incertidumbre, se deben medir la mayor cantidad de variables en campo.
- Es necesario contar con información climatológica de la zona referente a datos de temperatura, humedad, velocidad del viento y horas del día.

- Se deben verificar los resultados obtenidos en campo, con el fin de realizar los ajustes que permitan la calibración del modelo para condiciones locales.
- El uso del programa permitirá estimar los caudales de riego de una manera práctica y simple. Sin embargo, se debe tener un conocimiento básico de informática para operarlo.
- A partir de los resultados se pueden programar los riegos de una manera eficiente, promoviendo el uso racional del recurso hídrico, de manera que contribuirá a la reducción de la huella hídrica y mitigación de impactos ambientales, considerándola un indicador de uso de agua que tiene en cuenta el uso directo e indirecto por parte de un consumidor o productor. Teniendo en cuenta que uno de los efectos esperados asociados con el cambio climático es la disminución de los periodos de precipitación, es muy pertinente tomar medidas que permitan la planificación y gestión adecuada del recurso hídrico, teniendo en cuenta que los usos de las aguas para riego constituyen el 50% de la demanda hídrica del país.
- El programa CROPWAT es una herramienta que ayuda a calcular el caudal del riego de un cultivo, proporcionando los datos en litros por segundo por hectárea (l/s/ha), es decir, relaciona la cantidad de agua con el área donde se haya plantado un cultivo.
- Para lo anterior se tiene en cuenta el balance de agua, las entradas como precipitación, rocío, ascenso por capilaridad del agua en el suelo profundo y las pérdidas como evapotranspiración, escorrentía o percolación profunda.

El programa utiliza los datos climatológicos anteriormente citados de una zona o región, relacionando la evapotranspiración de cada una de las especies de plantas y el tipo de suelo en el que se ha sembrado, con el fin de generar un calendario de irrigación para todo el año, que suministra información sobre los días en que se debe aportar riego y en qué cantidad, de manera que se aporte el agua adecuada y suficiente al cultivo sin afectar su rendimiento, optimizando los recursos. ■

Glosario

- **Evapotranspiración:** Pérdida de agua hacia la atmósfera, debido a los procesos de evaporación.
- **Transpiración:** Transferencia de agua de las hojas de las plantas hacia la atmósfera.
- **Percolación o filtración profunda:** Cuando el agua aplicada sobre la superficie del suelo se infiltra, pasa poco a poco hacia capas más profundas.
- **Escorrentía:** Representa la cantidad de agua de lluvia o de riego que cae sobre la superficie del suelo pero que este no puede infiltrar. Así, el agua sobrante escurre sobre él sin ser aprovechada por el cultivo.

Referencias

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo, guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. *Estudio FAO Riego y Drenaje, (56)*. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e0j.htm#annex>

Aquastat. F. (2005). Aquastat database.

- Bolaños, B., & Maria, E. (2011). *Determinación de la huella hídrica y comercio de agua virtual de los principales productos agrícolas de Honduras*.
- Dastane, N. G. (1978). *Effective rainfall in irrigated agriculture*. FAO Irrigation and Drainage Papers, 25. Roma: FAO
- De Fraiture, C., & Garcés, C. (1998). *Evaluación de las tendencias y los cambios en el desempeño de la irrigación: el caso del distrito de riego de Samaca*. Bogotá: Instituto Internacional del Manejo del Agua.
- Fernández, M. (2013). *IDEAM: diagnóstico de modelos agroclimáticos, evaluaciones del riesgo agroclimático por sectores*. Bogotá, Colombia: IDEAM, 21-25.
- Jiménez, M. D., Cañas, J. R., & Pérez, M. F. M. (2009). *Manejo del riego e indicadores en la zona regable del Genil-Cabra (Córdoba)*.
- Marx, W., Eisner, A., & Opata, R. (2005). *Strategies for Orchard Irrigation in South-Western Germany under the Limitation of Meeting Instream Flow Requirements of the Used Stream*.
- National Geographic. (2013). *¿Qué es el Calentamiento Global?*. Recuperado de <http://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/calentamiento-global/calentamiento-global-definicion>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2005). *AQUASTAT database*.
- Organización Meteorológica Mundial. (s.f.). *Cambio climático y desertificación*. Recuperado de http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/agm/publications/documents/WMO_UNCCD_web_S.pdf
- Ruiz O., Arteaga R., Vázquez, M. A., López-López, R., & Ontiveros, R. E. (2011). *Requerimiento de riego y predicción del rendimiento en gramíneas forrajeras mediante un modelo de simulación en Tabasco, México*. *Agrociencia*, 45(7), 745-760.
- Smith, M. (1992). *CROPWAT, a computer programme for irrigation planning and management*. *Estudio FAO Riego y Drenaje*, 46.
- Smith M. (1993). *CLIMWAT para CROPWAT*. *Estudio FAO Riego y Drenaje*, (46).
- Soriano, M. A., Orgaz, F., Villalobos, F. J., & Fereres, E. (2004). *Efficiency of water use of early plantings of sunflower*. *European Journal of Agronomy*, 21(4), 465-476.
- Stancalie, G., Marica, A., & Toullos, L. (2010). *Using earth observation data and CROPWAT model to estimate the actual crop evapotranspiration*. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 35(1), 25-30.
- Sosa Rodríguez, A. A., Puebla Herrera, J. & Alarcón Licea, R. (2012). *Régimen de riego de proyecto para el King Grass (Pennisetum purpureum)*. *Ingeniería Agrícola*, 2(2), 32-35.



RECARGUE

LA UBRE



PROGRAMA
SALUD DE
UBRE MSD

SEA
BUENA
LECHE

Con conciencia,
se tiene buena
recompensa

www.msd-salud-animal.com.co/Species/cattle.aspx

Cephravin

COBACTAN

Finadyne®