

## Resumen

El agua es el factor productivo más importante en la agricultura de regadío. Debido a la escasez y la limitación de los recursos hídricos, el riego se debe manejar de la manera más eficiente posible. Habitualmente, el manejo del riego no suele realizarse adecuadamente por el agricultor debido a la dificultad de realizar una adecuada programación, dado que un manejo eficiente implica considerar todo el sistema suelo-agua-planta-atmósfera. Así, en la práctica, habitualmente los momentos de riegos y las dosis de agua aplicadas no son los más adecuados. De esta manera las pérdidas de agua, bien por escorrentía o por percolación, suelen ser habituales. Para evitar estos efectos, el objetivo del presente trabajo es el de establecer un modelo que permita gestionar el riego teniendo en cuenta estas consideraciones. También, analizar la influencia que puede tener este manejo en la disponibilidad del agua para el cultivo y en la producción. Se ha estudiado cómo afectan los factores ambientales,

evapotranspiración del cultivo, la salinidad del agua en la disponibilidad del agua para la planta y en la producción final del cultivo. Se establecieron las líneas principales del trabajo y su implementación en una aplicación informática. Se estableció un modelo matemático de acuerdo con el método de balance hídrico en suelo (Vico y Porporato, 2010; Rodríguez Iturbe *et al.*, 1999). Este método se usa para determinar de forma indirecta los momentos óptimos de riego a través de un balance de agua. El modelo calcula la evolución de la humedad en el suelo en función

de las condiciones ambientales. Cada cultivo en cada fase de su crecimiento tiene un umbral de contenido de agua fácilmente extraíble del suelo, el riego se programó para evitar reducir la humedad por debajo de dicho umbral, y de esta forma, evitar mermas en la producción ocasionadas por el estrés hídrico en la planta. Para ello se analizó el balance hídrico para determinar la humedad en el suelo mediante la realización de un balance entre entradas y salidas de agua. Además, aunque el modelo se ha diseñado originalmente para el manejo del riego en el olivar, se analizaron sus posibles adaptaciones a otros cultivos. Se definió el modelo, su estructura y los datos necesarios para ejecutarlo: las necesidades del cultivo, las características de agua (la

salinidad), las características del suelo que pueden afectar indirectamente en la disponibilidad de agua para el cultivo (drenaje, escorrentía, el caso de saturación, la profundidad radicular y el mantenimiento del agua) y las variables climáticas que tienen una influencia directa en la demanda de agua de la planta (la lluvia y la evapotranspiración). El efecto de la salinidad en la disponibilidad del agua se integró en el modelo de acuerdo con el método de FAO (FAO 29, Riego y drenaje 2006). También se integró la influencia que tiene la disponibilidad del agua en la producción final (Moriani *et al.*, 2003). El modelo ha sido programado en MATLAB. Después de establecer el modelo, se validó en campo, teniendo en cuenta datos reales de un ensayo experimental del IFAPA, Córdoba, España. Para poder evaluarlo correctamente, se observarán las diferencias entre los resultados del modelo y los observados en campo. Los resultados del modelo desarrollado son, poder determinar el calendario de programación del riego y la lámina a aplicar para que la humedad del suelo no sobrepase la de capacidad de campo ni reduzca por debajo de un umbral bajo el cual la planta sufre estrés hídrico. También se pudo estimar la influencia del manejo del riego en la producción final teniendo en cuenta cualquier estrés hídrico o salino.

## Summary

Water is the most important productive factor in irrigated agriculture. Due to the scarcity and limitation of water resources, irrigation must be managed in the most efficient possible way. Usually, irrigation management is not done adequately by the farmer because of the difficulty

of proper programming, whereas an effective management should consider all the system soil-water-plant-atmosphere. Thus, in practice, usually irrigation time and applied doses aren't adequate enough. In this way, losses of water, either by run-off or percolation, are becoming common. To avoid these effects, the objective of this work is to establish a model to

manage irrigation taking into account all those considerations. Also analyze the influence that could have this management on the availability of water in crop and production. It was studied how environmental factors, crop water requirements, water characteristics affect in the availability of water for the plant and in the final production. The main lines of work and its implementation were settled in a computer application. A mathematical model was established

according to the method of soil water balance (Vico and Porporato, 2010; Rodriguez Iturbe et al., 1999). This method is used to determine the optimal times of irrigation indirectly through a water balance. The model estimates the evolution of soil moisture depending on the environmental conditions. Each crop has an easily extracted water content threshold; irrigation was programmed to avoid decreasing the moisture below that threshold, and thus avoid reductions in production caused by water stress on the plant. This was analyzed to determine the water balance in the soil moisture by performing a balance between incoming and

outgoing water. Furthermore, although the model was originally designed for irrigation management in olive crop, the possible adaptations to other crops have been analyzed. The model structure was defined and the required data to run: crop water requirements, water characteristics (salinity), soil characteristics that may indirectly affect the availability of water for the crops (drainage, runoff, saturation case, rooting depth and water maintenance) and climatic variables that could have a direct influence on water demand (rainfall and evapotranspiration). The effect of salinity on water availability was integrated into the model according to the method of FAO (FAO 29, Irrigation and drainage 2006). Also, the influence of water availability in the final production has been integrated (Morianana et al., 2003). The model has been programmed in MATLAB. After establishing the model, it was validated in the field, taking into account actual data from olive (*Olea europaea*) in an experimental field of IFAPA, Córdoba, Spain. To evaluate it, the differences between the model results and the observed in the field have been recorded. The results of the developed model are: the ability to determine timing of irrigation, irrigating management and the sheet to apply to save the soil moisture under the field capacity without decreasing below a threshold below which the plant suffers water stress. Also, it's possible to estimate the influence of irrigation management in the final production taking into account any water stress or salinity.

## Résumé

L'eau est le facteur plus important de la production dans l'agriculture irriguée. En raison de manque et de la limitation des ressources en eau, la gestion du processus est due à la quantité et à la qualité de l'irrigation. En règle générale, gestion de l'irrigation est généralement pas fait correctement par l'agriculteur en raison de la difficulté de la programmation proprement dite, où il est nécessaire d'examiner tous les sol-eau-plante-atmosphère. Ainsi, en pratique, souvent l'eau d'irrigation fois et doses appliquées ne sont pas les plus appropriés. De cette façon, les pertes d'eau, que ce soit par ruissellement ou percolation, est devenu courant. Pour éviter ces effets divers, l'objectif de cette étude était d'établir un modèle pour gérer l'irrigation compte tenu de ces considérations. Aussi, nous analysons également l'influence que cette gestion de la disponibilité de l'eau pour la culture et la production. Nous avons étudié la façon dont les facteurs environnementaux affectent les besoins de la culture, des jeux d'eau dans la disponibilité de l'eau pour la plante et dans la production finale de la récolte. Ils se sont installés les principaux axes de travail et sa mise en oeuvre dans une application informatique. Un modèle mathématique a été établi selon la méthode du bilan hydrique du sol (*Vico et Porporato, 2010*; *Rodriguez Iturbe et al, 1999*). Cette méthode est utilisée pour déterminer indirectement les périodes optimales d'irrigation de calcul de l'évapotranspiration. Le modèle permet d'estimer l'évolution de l'humidité dans le sol en fonction des conditions environnementales. Chaque culture a un seuil de teneur en eau du sol facilement démontable, l'irrigation a été programmé pour éviter de réduire l'humidité en dessous de ce seuil, et d'éviter ainsi des réductions de production causées par le stress hydrique de la plante. Cela a été analysé afin de déterminer l'équilibre de l'eau dans l'humidité du sol en effectuant un équilibre entre l'eau entrante et sortante. En outre, bien que le modèle a été conçu à l'origine pour gestion de l'irrigation dans l'oliveraie, nous avons analysé les adaptations possibles à d'autres cultures telles que le blé. Nous avons défini le modèle et sa structure et les données nécessaires pour le faire fonctionner, car les besoins de la culture, les caractéristiques de l'eau (salinité), les caractéristiques du sol qui peuvent influencer indirectement sur la disponibilité de l'eau pour la culture (drainage, ruissellement, le cas de saturation, la profondeur d'enracinement et de l'entretien de l'eau) et les variables