



Best CIHEAM Master Thesis 2007

Improvement of the productivity of water in sprinkler irrigated perimeters

Ahmed Skhiri (*Tunisia*)
CIHEAM-MAI of Zaragoza

Director of thesis
Dr. Nery Zapata
Dr. Enrique Playan Jubilar

Abstract

In irrigation systems, proper design and management lead to an efficient water use, to the maximization of crop yield and to the limitation of water losses. Improving water productivity is essential to respond to the growing demand for food derived from the increase world-wide population. It is therefore compulsory to modernize irrigated areas by a coordinated effort on both structures and management. This will contribute to the economic, social and environmental sustainability of the irrigated areas.

In this work, the improvement of water productivity in the Montesnegros irrigation district (CRM, NE Spain) is addressed. This district is sprinkler irrigated since 1998 and has a total area of 3.475 ha. In the first section of the thesis a characterization of the district is presented. The plots, irrigation systems, conveyance structures and the water records corresponding to the 2004 campaign are presented and discussed.

A representative part of the CRM, denoted as the simulation area, was selected and characterized in detail. The conveyance structures were analysed and their relationship with the hydrants, the farms and the plots was established. The agronomic and economic characteristics of the two main local crops (corn and alfalfa) were obtained for the local condition of the CRM. Additionally, the ballistic simulation model ADOR-Sprinkler (Playán and col., 2006) was calibrated and validated for the local specific conditions (sprinkler model, operating pressure and wind speed range).

Finally, the "ADOR-Simulation" tool was improved to extend the simulation domain from just one irrigation sector (a part of an irrigated plot which is irrigated simultaneously) to an irrigated area. This tool has been applied to the evaluation of the effect of different irrigation strategies and irrigation network design parameters on water productivity in a typical farm. Finally, the model was used to analyse water allocation, crop yield and economic return under different management strategies. These strategies were compared in terms of water productivity based on net margin. Simulation results were also compared to water allocation records.

The most common crops in the CRM are corn (41 %) and alfalfa (48 %). The average water use in 2004 was 9.300 m³ ha⁻¹ for corn and 9.550 m³ ha⁻¹ for alfalfa. The vast majority irrigation district is solid-set irrigated. The technical characteristics of these systems are varied, although the typical configuration is that of a triangular spacing T 18 x 18 m, with a VYR35 sprinkler placed at an elevation of 2 m over the soil surface. The average nozzle pressure was 350 kPa, and the nozzle diameters were 4,8 and 2,4 mm for the main and auxiliary nozzles, respectively.

The ADOR-Sprinkler model was calibrated and validated for the abovementioned conditions. The resulted calibration parameters proved to have a remarkable reliability. In fact, the prediction of the Christiansen Coefficient of Uniformity (*CU*) resulted in standard errors between 1 and 2 %. As for the prediction of precipitation rate within the sprinkler spacing, the Root Mean Standard Error (RMSE) was lower than 2 mm h⁻¹. The best model performance occurred for intermediate wind speeds, between 2,5 and 4,0 m s⁻¹.

The calibrated and validated ADOR-Sprinkler model was used to characterize the effect of wind speed and direction on *CU*, Wind Drift and Evaporation Losses (WDEL) and water distribution resulting from a solid-set. In the analysed case, characterized by a triangular spacing, two axes of low uniformity, at wind directions of 180° and 360° were noticed. When the wind blows from a direction parallel to the sprinkler lines, *CU* is severely affected and reaches lower values than in other directions. Other axes of low uniformity were noticed at an interval of 60° (corresponding to the axes of symmetry of a triangular sprinkler layout).

Aligning the sprinklers in precise directions respect to the prevailing wind could help improve uniformity in this particular layout.

The current version of ADOR-Simulation is composed by four modules. The first one is the solid-set sprinkler simulation module (ADOR-Sprinkler); the second one is ADOR-Crop, a soil water and crop yield model; the third one manages the conveyance network, the hydrants, the farms, the plots and the irrigation sectors (ADOR-Network); finally, ADOR-Decision allocates water to the plots following an analysis of the existing information and respecting the system constrains in terms of capacity and simultaneity. ADOR-Sprinkler and ADOR-Crop had been developed in previous works of the research group. ADOR-Network is an adaptation of the database structure used in the software ADOR-Management for irrigation districts. The last module, ADOR-Decision was specifically developed for this work. Therefore, the main innovation in the current version of ADOR-Simulation is the connection of the four modules and the custom development of ADOR-Decision.

Two parameters were identified in this work to characterize the control strategy of district irrigation: the Days of Equivalent Stress (*DEE*) and the Potential Application Efficiency of the low Quarter (*EPcb*). The values of these parameters that result in an optimal control strategy were determined for a typical field and different hydrant capacities. The analyses made in terms of water productivity (based on the net margin) showed that both of the crop and the hydrant capacity determine the optimum value of *DEE* and *EPcb*. As a consequence, the irrigation strategy maximizing water productivity in corn is less restrictive than the one maximizing water productivity in alfalfa. This is due to the fact that small stress levels can cause significant yield reductions in corn, while alfalfa is much more drought resistant. These analyses were performed in the meteorological conditions of 2004, an aspect that can decrease the representativeness of the results. A generalised recommendation of model parameters will require the analysis of long time series.

The application of the model to the management of a real irrigated area composed of a number of farms and hydrants demonstrated its capacity to improve regional water productivity. A centralized irrigation management has proven to be more advantageous than individualized farmer management, showing more capacity to avoid strong winds, keeping uniformity at safe levels, sustaining crop yield and limiting water use. The application of ADOR-Simulation to manage the irrigation of an irrigated area will require additional calibration and further analyses.

The application of ADOR-Simulation to an irrigated area requires the following steps:

1. ADOR-Sprinkler must be calibrated for the local condition(s): sprinkler model, nozzle diameter, wind speed range, solid set spacing, nozzle elevation and operating pressure;
2. ADOR-Crop must be updated to include the characterization of the common crops in the study area;
3. The ADOR-Management database (if existing) must be analysed to extract the data required for ADOR-Network. A number of additional parameters must be field collected.
4. The strategy of irrigation control must be locally calibrated to adapt to the local meteorological conditions, conveyance network, crops and land tenure.

Titre de la thèse

"Amélioration de la productivité de l'eau dans les périmètres irrigués par aspersion"

Résumé

Pour tous les systèmes d'irrigation, une conception et une gestion adéquates permettent un usage plus efficace de l'eau, une maximisation de la production et une limitation des pertes. L'amélioration de la productivité de l'eau s'avère indispensable pour répondre à la grande demande d'aliments dérivée de l'accroissement de la population mondiale. Pour l'obtenir, une modernisation des irrigations s'avère indispensable au moyen d'activités au tant sur les infrastructures comme sur la gestion. Ceci contribuera à avoir une soutenabilité économique, sociale et environnementale des périmètres irrigués.

Dans ce travail on prétend contribuer à l'amélioration de la productivité de l'eau dans le périmètre irrigué de Montesnegros (CRM, NE Espagne) analysant la gestion de ses irrigations. Ce périmètre est irrigué avec le système d'irrigation par aspersion depuis 1998 et comprend une surface de 3.475 ha. Dans le premier chapitre de ce travail toute la surface du périmètre s'est caractérisée d'une manière globale: ses cultures, ses infrastructures et les consommations d'eau durant la campagne 2004 (utilisant la base de données d'ADOR). On a choisi une zone représentative du périmètre irrigué de Montesnegros (CRM), Zone de Simulation, où on a effectué une étude détaillée sur les infrastructures de réseau et sa relation avec la structure parcellaire, les sols et les cultures (surfaces, coûts de production, recettes).

En outre, on a calibré et validé le matériel d'irrigation le plus utilisé dans le périmètre au moyen du modèle de simulation ADOR-Aspersion (Playán y col., 2006). Finalement, on a développé un outil de simulation "ADOR-Simulation" embarqué à gérer l'irrigation par aspersion d'un périmètre irrigué. Cet outil a été utilisé pour évaluer l'effet de différentes stratégies de contrôle de l'irrigation sur la productivité de l'eau pour différentes cultures et différentes dimensions du réseau d'irrigation. Finalement, on a utilisé le modèle pour simuler la productivité de l'eau d'une zone irriguée sous différentes stratégies de gestion. Ces dernières ont été comparées en termes de productivité de l'eau basée sur la marge nette. De même, on a comparé les consommations réelles avec les consommations simulées.

Les cultures majoritaires du périmètre irrigué de Montesnegros sont le maïs (41 %) et la luzerne (48 %). Les consommations moyennes dans le périmètre sont respectivement 9.300 m³ ha⁻¹ pour le maïs et 9.550 m³ ha⁻¹ dans le cas de la luzerne. Les caractéristiques techniques des ameublements en parcelle des couvertures totales (système d'irrigation majoritaire dans le périmètre) se sont avérées très homogènes. Une disposition triangulaire 18 x 18 m, un asperseur de double buses de marque VYR35 placé à 2 m par rapport au sol et une pression de travail de 350 kPa, sont les caractéristiques techniques les plus communes du périmètre irrigué de Montesnegros.

Le calibrage et la validation du modèle ADOR-Aspersion pour le matériel d'irrigation VYR35 travaillant sous une pression de 350 kPa et équipé de double buses 4,8 mm et 2,4 mm, a donné lieu à des paramètres de calibrage qui fournissent des résultats de fiabilité remarquable. La prévision du *CU* présente des erreurs entre 1 et 2 %. Quant aux erreurs à la détermination de la pluviométrie, le R.S.M.E. se situe que dessous de 2 mm h⁻¹. Les meilleures prévisions du modèle (meilleures statistiques) sont données pour des vitesses du vent intermédiaires entre 2,5 et 4 m s⁻¹.

Le modèle ADOR-Aspersion calibré et validé a été utilisé pour analyser l'effet de l'orientation des lignes porte asperseurs sur le *CU* d'une couverture soumise à l'action du vent. Pour le cas des dispositions triangulaires, on signale deux axes de faible uniformité, l'un à 180° et l'autre à 360°. Ceci veut dire que quand le vent soufflera dans une direction parallèle à la ligne d'asperseurs, le coefficient d'uniformité est plus touché et atteint des valeurs plus faibles que dans d'autres directions. En outre, on signale autres axes d'uniformité faible chaque 60° (ce qui correspond avec la symétrie des possibles lignes d'aspersion qui peuvent être dessinées dans les dispositions triangulaires). L'orientation des lignes d'asperseurs en cherchant certains angles par rapport au vent dominant pourrait aider à améliorer l'uniformité.

Le modèle développé dans ce travail ADOR-Simulation est formé par quatre modules, un premier qui sert pour la simulation de l'irrigation par aspersion en parcelle (ADOR- Aspersion), un deuxième de bilan hydrique et croissance de cultures (ADOR-Culture), un troisième de structure du réseau et sa relation avec la structure parcellaire (ADOR-Réseau) et finalement, un module qui analyse l'information et décide le moment de l'irrigation (ADOR-Décision). Les deux premiers modules avaient été déjà développés dans des travaux précédents du groupe de recherche, le troisième (ADOR-Réseau) est une adaptation des données que fournit le programme de gestion du périmètre irrigué (appelé ADOR) et en fin le dernier, est celui qui a été développé dans ce travail. Par conséquent, la principale nouveauté de cet outil est située dans la connexion de ces modules et dans la définition d'ADOR-Décision.

ADOR-Décision gère les résultats du reste des modules et prend les décisions de si s'irrigue ou non en se basant sur une série de paramètres. Dans ce travail on a identifié deux paramètres que d'une manière conjointe déterminent la stratégie de contrôle de l'irrigation: jours de stress équivalent (*DEE*) et Efficience Potentielle du Quart Bas (*EPcb*). La caractérisation des paramètres qui déterminent la stratégie optimale de contrôle de l'irrigation a été effectuée dans une parcelle type du périmètre irrigué de Montesnegros (CRM) pour différentes cultures et différentes tailles des vannes de prise d'eau (débits fictifs continus).

Les analyses effectuées en termes de productivité de l'eau basée sur la marge nette ont mis en évidence que la culture comme la taille de la vanne de prise d'eau déterminent la valeur optimale de *DEE* et de *EPcb*. Ainsi, la stratégie d'irrigation qui maximise la productivité de l'eau en maïs est moins exigeante que celle qui maximise la productivité de la luzerne. Ceci est dû au fait que des bas niveaux de stress provoquent importantes réductions du rendement du maïs, tandis que la luzerne supporte un plus grand niveau de stress sans que sa production diminue. Ces analyses ont été effectuées en se basant sur les conditions météorologiques de l'année 2004, aspect qui peut diminuer la représentativité des résultats. Dans le but de généraliser l'adéquation des stratégies choisies, il est nécessaire d'analyser son comportement dans des séries temporaires plus vastes.

L'application du modèle à la gestion d'un périmètre irrigué réel a mis en évidence son utilité pour améliorer la productivité de l'eau d'irrigation. On a aussi mis en évidence l'avantage que suppose la gestion centralisée de l'irrigation face à une gestion individualisée de chaque agriculteur.

L'application d'ADOR-Simulation pour gérer l'irrigation d'un périmètre irrigué spécifie un travail préalable de calibrage local:

1. le module ADOR-Aspersion doit inclure le matériel d'irrigation le plus commun dans le périmètre irrigué, calibré et validé dans les conditions techniques locales.
2. ADOR-Cultures doit inclure la définition des cultures communes du périmètre, comme par exemple leurs fonctions de production.

3. Un travail d'adaptation de la base de données du programme de gestion du périmètre irrigué (ADOR) est nécessaire pour l'inclure dans ADOR-Réseau. Aspect qui inclut la recompilation des données du champ non incluses dans le programme de gestion et nécessaires pour ce module (caractérisation de sols...).
4. Calibrage local de la stratégie de contrôle de l'irrigation. La meilleure stratégie de contrôle dépend des conditions météorologiques locales (évaluer des séries temporaires de plusieurs campagnes d'irrigation), des infrastructures de réseau et sa relation avec la structure parcellaire, ainsi que des cultures.