
**IMPLEMENTACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA ESTIMAR EL CONSUMO
Y ESTADO HÍDRICO DE LA VID MEDIANTE TELEDETECCIÓN Y SENSORES
INALÁMBRICOS ESPECIALIZADOS**

**FERNANDO PABLO FUENTES PEÑAILILLO
DOCTOR EN CIENCIAS AGRARIAS**

RESUMEN

Diversas investigaciones señalan que la disponibilidad del agua para riego ha disminuido considerablemente en los últimos años, por esta razón existe la necesidad de optimizar el uso de esta sin afectar la calidad y rendimiento. Con el fin de mejorar la eficiencia en el uso de los recursos hídricos, un factor clave para la programación del riego es la estimación de la evapotranspiración actual (ETa). Aunque este método proporciona un enfoque simple para estimar los requerimientos hídricos, existe una gran incertidumbre en la obtención de los valores de coeficiente de cultivo (Kc), debido a que en literatura se reportan valores empíricos que no están adaptados a las condiciones locales de suelo, clima, cultivar y sistema de conducción. Estas consideraciones son especialmente importantes en cultivos discontinuos como el viñedo, donde existe una gran variabilidad espacial asociada a la arquitectura del dosel. Para resolver esta problemática algunos autores han propuesto realizar una estimación directa de ETa utilizando el modelo de Shuttleworth-Wallace (SW) mientras que otros autores han utilizado mediciones fisiológicas para la estimación del estado hídrico del viñedo, con el objetivo de proponer una estrategia de riego. Sin embargo, estas técnicas presentan limitaciones para ser implementadas a una escala predial mayor a 20 ha, por lo que recientemente se ha propuesto la utilización de técnicas de percepción remota para estimar indirectamente el estado hídrico de la planta a través de índices espectrales. Sin embargo, es importante considerar que aún existen importantes desafíos por resolver como; el costo del equipamiento y el desarrollo metodologías para utilizar apropiadamente estos dispositivos. Debido a esto el presente estudio busca determinar el consumo y estado hídrico del viñedo utilizando vehículos aéreos no tripulados y sensores inalámbricos especializados de bajo costo. Los resultados obtenidos por esta investigación mostraron que para

la utilización de las imágenes aéreas es fundamental efectuar una adecuada segmentación de la canopia mediante el uso de algoritmos de segmentación en donde los algoritmos k-means y Clara tuvieron un desempeño similar. Posteriormente la técnica k-means fue utilizada para implementar el modelo de Shuttleworth y Wallace en combinación con imágenes aéreas de alta resolución lo que permitió obtener el consumo hídrico tanto del suelo como la canopia con un error del 5%, un cuadrado medio del error (RMSE) de 0.37 mm dia-1 y un error medio absoluto (MAE) de 0.27 mm dia-1. Los capítulos siguientes estuvieron enfocados en el desarrollo de dispositivos de bajo costo en donde en primer lugar se desarrolló una red inalámbrica especializada de termohigrómetros para la determinación del estado de desarrollo del viñedo (fenología), debido a su estrecha relación con el consumo hídrico. Finalmente, un segundo dispositivo de bajo costo (aSIMOV) fue desarrollado para la determinación del estado hídrico del viñedo basado en radiómetros infrarrojos de bajo costo desplegados en terreno. Este dispositivo permitió determinar el Crop Water Stress Index (CWSI) y posteriormente el potencial hídrico xilemático (SWP). El dispositivo fue capaz de predecir el SWP con un R2 de 0.72 en contraste a los dispositivos tradicionales que permitieron predecir el SWP con un R2 de 0.70, demostrando de esta forma la efectividad de estos dispositivos.

ABSTRACT

Several investigations indicate that the availability of water for irrigation has decreased considerably in recent years, for this reason, there is a need to optimize its use without affecting quality and yield. To improve the efficiency in the use of water resources, a key factor for irrigation scheduling is the estimation of the actual evapotranspiration (ET_a). Although this method provides a simple approach to estimate the water requirements, there is significant uncertainty in obtaining the crop coefficient values (K_c), since empirical values reported in the literature are not adapted to the local conditions of soil, climate, cultivar, and training system. These considerations are crucial in discontinuous crops such as vineyards, where there is great spatial variability associated with the canopy architecture. To solve this problem, some authors have proposed to make a direct estimation of ET_a using the Shuttleworth and Wallace (SW) model, while other authors have used physiological measurements to estimate the water status of the vineyard, with the aim of proposing an irrigation strategy. However, these techniques have limitations to be implemented at a farm-scale greater than 20 ha, reason why the use of remote sensing techniques has recently been proposed to indirectly estimate the water status of the plant through spectral indices. However, it is important to consider that there are still critical challenges to be solved, such as the cost of equipment and the development of methodologies to use these devices properly. Due to this, the present study seeks to determine the consumption and water status of the vineyard using unmanned aerial vehicles and low-cost spatialized wireless sensors. The results obtained by this research showed that for aerial images, it is essential to carry out an adequate segmentation of the canopy using segmentation algorithms where the k-means and Clara algorithms had a similar performance. Subsequently, the k-means technique was used to implement the Shuttleworth and Wallace model in combination with high-resolution aerial images, which allowed obtaining the water consumption of both the soil and the canopy with an error of 5%, a mean square of the error (RMSE) of 0.37 mm day⁻¹ and a mean absolute error (MAE) of 0.27 mm day⁻¹. The following chapters were

focused on the development of low-cost devices where, in the first place, a spatialized wireless network of Thermo hygrometers was developed to determine the state of development of the vineyard (phenology) due to its close relationship with water consumption. Finally, a second low-cost device (aSIMOV) was developed to determine the water status of the vineyard based on low-cost infrared radiometers deployed in the field. This device made it possible to calculate the Crop Water Stress Index (CWSI) and subsequently the stem water potential (SWP). The device was able to predict SWP with an R^2 of 0.72 compared to traditional devices that allowed predicting SWP with R^2 of 0.70, thus demonstrating the effectiveness of these devices