



Universidad de Concepción  
Dirección de Postgrado  
Facultad de Ingeniería Agrícola  
Programa de Doctorado en Ingeniería Agrícola con mención  
en Recursos Hídricos en la Agricultura

# **Transpiración de cultivo y evaporación de suelo para cultivos de cobertura parcial y suelos parcialmente humedecidos**

**(Crop transpiration and soil evaporation to  
partial cover crop on partially wetted surfaces)**

Tesis para optar al grado de Doctor en Ingeniería Agrícola con  
mención en Recursos Hídricos en la Agricultura

CAMILO IGNACIO SOUTO ESCALONA

CHILLÁN-CHILE  
2019

*Profesor Guía: L. Octavio Lagos Roa*  
Departamento de Recursos Hídricos  
Facultad de Ingeniería Agrícola  
Universidad de Concepción  
*Profesor Co-guía: Eduardo Holzapfel Hoces*  
Departamento de Recursos Hídricos  
Facultad de Ingeniería Agrícola  
Universidad de Concepción

# Resumen

Un modelo de balance de energía superficial (SEB) fue concebido para estimar la transpiración de cultivo ( $T$ ) y evaporación de suelo ( $E$ ) en huertos y viñedos donde la superficie de suelo esta parcialmente húmeda por un sistema de micro-riego. El modelo propuesto de balance de energía superficial para suelos parcialmente humedecidos (SEB-PW) fue construido basandose en modelos de multiples capas para estimar el flujo de calor latente, sensible y del suelo, para lograr la partición de la evapotranspiración ( $ET$ ) en  $E$  húmedo,  $E$  seco y  $T$  de cultivo. El modelo estima del balance de energía y las resistencias al flujo la  $E$  desde áreas de suelo seco y humedo bajo la canopia,  $E$  desde áreas de suelo seco y humedo entre hilera y  $T$  de cultivo y  $ET$  total. Esta tesis describe en el capítulo 2 el desarrollo del modelo, un análisis de sensibilidad, una evaluación preliminar del modelo SEB-PW en dos huertos de viñedos y en el capítulo 3 la validación del modelo SEB-PW para dos huertos de avellanas europeas.

La evaluación del modelo (capítulo 2) mostró que los valores de  $ET$  horarios simulados tienen una buena correlación con las mediciones de terreno conducidas con el método de renovación de superficie (surface renewal) y micro-lisímetros (MLs) en dos viñedos micro-irrigados en California del norte para un rango de cobertura de canopia. La evaluación mostró que  $\lambda E$  estimado horariamente tuvo la raíz del error cuadrático promedio ( $RMSE$ ) de  $58.6 W m^{-2}$ , error absoluto promedio ( $MAE$ ) de  $35.6 W m^{-2}$ , una eficiencia de Nash-Sutcliffe ( $NSE$ ) de 0.85, y un índice de acuerdo ( $d_a$ ) de 0.94. Estimaciones de la  $E$  diaria ( $E_s$ ) tuvo un  $RMSE$  de  $0.30 mm d^{-1}$ ,  $MAE$  de  $0.24 mm d^{-1}$ ,  $NSE$  de 0.87, y  $d_a$  de 0.94. Estimaciones de  $E_s$  tuvieron un coeficiente de determinación ( $r^2$ ) de 0.95 cuando fueron comparados con las mediciones de los MLs, los cuales mostraron que  $E_s$  puede alcanzar entre un 28% a un 46% de la  $ET$  total después de un evento de riego.

La validación del modelo SEB-PW para un huerto de avellana europea en la dinámica diurna y de la temporada de  $ET$ ,  $E$  y  $T$  de la canopia en sistemas de riego por goteo y micro-aspersión mostró que los valores simulados horaria y diariamente de  $ET$  tienen una buena correlación con las mediciones de campo realizadas con el residual del SEB y

MLs en dos huertos de avellanas europeas con sistemas de micro-riego en la Region de Ñuble, Chile. Específicamente,  $ET$  estimada tuvo un  $RMSE$  entre  $0.35$  y  $0.41 \text{ mm d}^{-1}$ ,  $MAE$  entre  $0.25$  y  $0.32 \text{ mm d}^{-1}$ ,  $NSE$  entre  $0.91$  y  $0.93$ , y  $d_a$  entre  $0.96$  y  $0.97$  para ambos sistemas de micro-riego. La  $E$  diaria estimada tuvo un  $RMSE$  de  $0.4 \text{ mm d}^{-1}$ ,  $MAE$  de  $0.3 \text{ mm d}^{-1}$ ,  $NSE$  de  $0.69$  y  $d_a$  de  $0.88$  para ambos sistemas de micro-riego. La  $E$  en sistemas de riego con micro-aspersión y goteo fueron entre  $20\text{-}30\%$  y  $15\text{-}20\%$  aproximadamente de la  $ET$  total en la temporada.

El modelo SEB-PW propuesto puede ser usado para estimar el efecto y significancia de la  $E$  desde áreas de suelo húmedas y secas en la  $ET$  total, e informar estudios de balance de agua para optimizar el manejo de riego. Es recomendable testear el modelo SEB-PW en otros huertos parcialmente húmedos durante la temporada de crecimiento para obtener resultados adicionales y mejorar continuamente el rendimiento del modelo SEB-PW.



# Abstract

A surface energy balance model was conceived to estimate crop transpiration ( $T$ ) and soil evaporation ( $E$ ) in orchards and vineyards where the ground is partially wetted by micro-irrigation systems. The proposed surface energy balance model for partial wetting (SEB-PW) builds upon previous multiple-layer modelling approaches to estimate the latent, sensible and soil heat fluxes while partitioning the total evapotranspiration ( $ET$ ) into dry and wet soil  $E$  and  $T$ . The model estimates the energy balance and flux resistances for the  $E$  from dry and wet soil areas below the canopy,  $E$  from dry and wet soil areas between plant rows, and  $T$  and total crop  $ET$ . This dissertation describes in the chapter 2 the model development, sensitivity analysis, a preliminary model evaluation in vineyard orchard and in chapter 3 the model validation for hazelnut orchard.

The evaluation (chapter 2) shows that simulated hourly  $ET$  values have good correlation with field measurements conducted with the surface renewal method and micro-lysimeter measurements in a micro-irrigated winegrape vineyard of Northern California for a range of fractional crop canopy cover conditions. Evaluation showed that hourly  $\lambda E$  estimates had root mean square error ( $RMSE$ ) of  $58.6 W m^{-2}$ , mean absolute error ( $MAE$ ) of  $35.6 W m^{-2}$ , Nash-Sutcliffe coefficient ( $NSE$ ) of 0.85, and index of agreement ( $d_a$ ) of 0.94. Daily soil evaporation ( $E_s$ ) estimations had  $RMSE$  of  $0.30 mm d^{-1}$ ,  $MAE$  of  $0.24 mm d^{-1}$ ,  $NSE$  of 0.87, and  $d_a$  of 0.94.  $E_s$  estimation had a coefficient of determination ( $r^2$ ) of 0.95, when compared with the micro-lysimeter measurements, which showed that  $E_s$  can reach values from 28 to 46% of the total  $ET$  after an irrigation event.

The validation of SEB-PW model for hazelnut orchard on the diurnal and seasonal dynamic of  $ET$ ,  $E$  and canopy  $T$  on drip and micro-sprinkler irrigation systems shows that simulated hourly and daily  $ET$  values have a good correlation with field measurements conducted with the residual of SEB method and micro-lysimeter measurements in two micro-irrigated hazelnut orchards Ñuble Region, Chile. Specifically, daily  $ET$

estimates had  $RMSE$  between 0.35 and 0.41  $mm d^{-1}$ ,  $MAE$  between 0.25 and 0.32  $mm d^{-1}$ ,  $NSE$  between 0.91 and 0.93, and  $d_a$  between 0.96 and 0.97 for both micro-irrigation systems. Daily  $E$  estimates had  $RMSE$  of 0.4  $mm d^{-1}$ ,  $MAE$  of 0.3  $mm d^{-1}$ ,  $NSE$  of 0.69, and  $d_a$  of 0.88 for both micro-irrigation systems.  $E$  from micro-sprinkler and drip irrigation systems were between 20-30% and 15-20% approximately of the total  $ET$ .

The proposed SEB-PW model can be used to estimate the affect and significance of  $E$  from wet and dry soil areas on the total  $ET$ , and to inform water balance studies for optimizing irrigation management. It is advisable to test the model in other partially wetted orchards during growing seasons to obtain additional results and continually improve model performance.

