

# MODELIZACIÓN Y MEDICIÓN COMPARADA DEL CONSUMO DE AGUA DE UN MONTE FORESTAL EN EL SUDESTE DE SANTA FE.

## A COMPARISON ON THE SIMULATED AND MEASURED WATER CONSUMPTION OF A FOREST IN SOUTHEAST SANTA FE PROVINCE.

Raúl Alberto Díaz<sup>1</sup>  
María Graciela Rebori<sup>2</sup>  
Francisco Damiano<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ph. D. Instituto de Clima y Agua. Centro Nacional de Recursos Naturales. INTA. Email: rdiaz@cnia.inta.gov.ar

<sup>2</sup>Ing. Agrónoma. Instituto de Clima y Agua. Centro Nacional de Recursos Naturales. INTA. Email: grebori@cnia.inta.gov.ar

<sup>3</sup>Master en Ciencias. Instituto de Clima y Agua. Centro Nacional de Recursos Naturales. INTA. Email: fdamiano@cnia.inta.gov.ar

### SUMMARY

Water requirements of *Eucalyptus dunnii* were calculated. Weather data from INTA Oliveros meteorological station, soil field capacity and crop coefficient were the input data. Estimates from the water balance were compared to measurements made from 1999 to 2001. Total water use for the period was estimated as 2196 mm, very similar to the measured 2190 mm. Pearson correlation coefficient  $r$  was 0,93. Tukey test yielded non significant differences for the 5% level. Mean square error was 57 mm. Lack of fit was apparent in the first half of 2000. Sensitivity analysis allowed an unbiased rank of sources of variation. Evidences point out to the application of the water budget for an adequate estimation of forest water use. Nevertheless for monitoring purposes or for guiding short term management operations there is room for improvement.

**Key words:** Water requirement, *Eucalyptus dunnii*, Penman-Monteith, water budget.

### RESUMEN

Se calculó el consumo de agua de un monte de *Eucalyptus dunnii*. Los datos meteorológicos del observatorio de INTA de Oliveros, la capacidad de campo del suelo y el coeficiente de cultivo fueron datos de entrada. Las estimaciones del balance hidrológico se compararon con mediciones entre 1999 y 2001. El modelo estimó un consumo total del período de 2196 mm, igual al total medido de 2190 mm. El coeficiente de correlación de Pearson  $r$  fue de 0,93. El test de Tukey no detectó diferencias significativas. El error cuadrático medio fue de 57 mm. La mayor discrepancia está en el primer semestre de 2000. Un análisis de sensibilidad mostró algunas fuentes de variabilidad. Los resultados indican que la precisión del método meteorológico es adecuada para conocer los patrones de consumos de agua del monte. Para su aplicación a fines de manejo, una mejora en la precisión es necesaria.

**Palabras clave :** Consumo de agua, *Eucalyptus dunnii*, Penman-Monteith, balance hidrológico

## INTRODUCCION

El conocimiento del consumo de agua de un monte forestal habilita, entre otros aspectos, evaluar alternativas de manejo sustentable del agua. Las metodologías disponibles se agrupan en mediciones directas y el cálculo del balance hidrológico. La primera técnica comprende la medición directa de los términos principales del balance. DAMIANO *et al.* (2002) midieron los consumos hídricos de *Eucalyptus dunnii* con este procedimiento. Sin embargo, las formas más difundidas, por practicidad y economía, son los métodos de estimación con datos climáticos.

Una estimación indirecta del consumo de agua implica conocer variables de clima, de suelo y de cultivo. La evapotranspiración de referencia, la capacidad de campo de suelo y el coeficiente de cultivo son los datos principales. Si bien el método indirecto es sencillo y económico, su grado de confiabilidad debe ser establecido. Este estudio tiene como objetivo la modelización del consumo de agua de un monte adulto de eucalipto con la metodología de balance de agua con datos meteorológicos y la comparación con las mediciones realizadas entre 1999 y 2001. La hipótesis que subyace es que las necesidades de agua de un cultivo puede calcularse en forma razonable con datos meteorológicos corrientes y unos pocos datos del suelo y de la arquitectura del cultivo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El cálculo del balance de agua con datos meteorológicos comprende tres pasos: 1) cálculo de la evapotranspiración máxima, 2) cálculo del factor de humedad de suelo, y 3) cálculo del consumo de agua.

La evapotranspiración máxima diaria ETM de *E. dunnii* es:

$$ETM = ET_o * kc$$

$kc$  es el coeficiente de cultivo estimado según la técnica de DOORENBOS y KASSAN (1979), ajustada localmente con opinión experta (Figura 1.a) y  $ET_o$  se calculó con el método de Penman Monteith adaptado por FAO (ALLEN *et al.*, 1998), según:

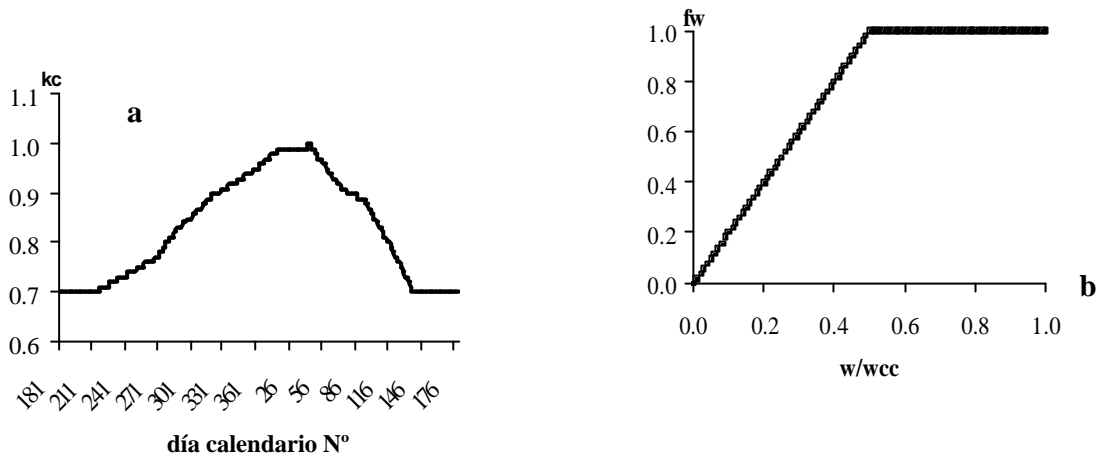
$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34u_2)}$$

$ET_o$  es la evapotranspiración de referencia [ $\text{mm d}^{-1}$ ],  $R_n$  es la radiación neta en la superficie de los árboles [ $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ],  $G$  la densidad de flujo del suelo [ $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ],  $T$  temperatura del aire en abrigo [ $^{\circ}\text{C}$ ],  $u_2$  velocidad del viento a 2 m de altura [ $\text{m s}^{-1}$ ],  $e_s$  tensión de vapor a saturación [ $\text{kPa}$ ],  $e_a$  tensión de vapor actual [ $\text{kPa}$ ],  $\Delta$  pendiente de la curva de tensión de vapor [ $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ], y  $\gamma$  la constante sicrométrica [ $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ]. Esta información fue medida o estimada con los registros meteorológicos diarios de la estación agrometeorológica de INTA Oliveros, Santa Fe ( $32^{\circ}33'$  Sur y  $60^{\circ}51'$  Oeste).

La humedad del suelo  $w$  se estima diariamente computando las diferencias entre la precipitación  $P$  y  $ETM$ . El contenido de agua del suelo aumenta proporcionalmente a la cantidad en que  $P$  supera a  $ETM$  y viceversa. La función de humedad del suelo  $f_w$  expresa la reducción que experimenta  $ETM$  en relación a la pérdida de agua del perfil (Figura 1.b). La función es:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{si } \frac{w}{w_{cc}} \geq 0,5 \therefore f_w = 1 \\ \text{si } \frac{w}{w_{cc}} < 0,5 \therefore f_w = 2 * \frac{w}{w_{cc}} \end{array} \right\}$$

$w_{cc}$  es la capacidad de campo del perfil del suelo en mm.



**Figura 1. a) Marcha diaria del factor de cultivo  $kc$  para eucalipto; b) Factor de humedad del suelo  $f_w$  en función del contenido relativo de agua del suelo.**

El consumo de agua del monte cultivado con eucalipto ( $EVTR$ ) resulta ser:

$$EVTR = f_w * ETM$$

DAMIANO et al. (2002) publicaron los datos de  $EVTR$  medidos y los detalles del experimento.

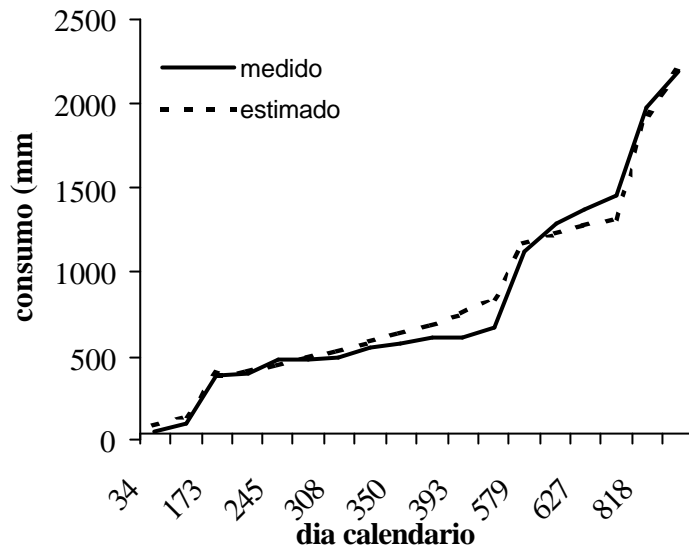
Como indicador de la bondad de ajuste de las estimaciones con la metodología de balance de agua en base a datos meteorológicos y las mediciones se usó el error cuadrático medio ( $ECM$ ):

$$ECM = \sqrt{\frac{\sum (o - i)^2}{n}}$$

$o$  es la  $EVTR$  medida,  $i$  es la  $EVTR$  estimada y  $n$  es igual a 18 observaciones. El coeficiente de correlación  $r$  y la prueba de comparación de medias (test de Tukey,  $\alpha=0,05$ ) completaron el análisis estadístico.

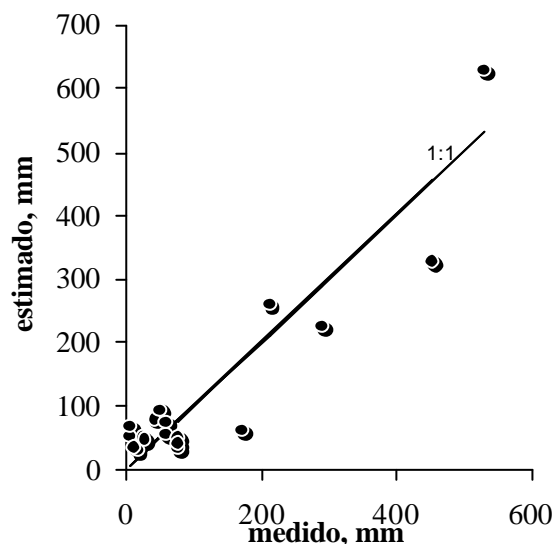
## RESULTADOS

El consumo total medido y estimado del 14 de enero de 1999 al 30 de abril de 2001 son casi iguales (2.190 y 2.196 mm, respectivamente). La Figura 2 muestra una marcha similar de ambos consumos de agua acumulados del período, excepto en el primer semestre del 2000.



**Figura 2. Marcha acumulada de los consumos medidos y estimados de un monte adulto de *E. dunnii* a partir del 03 de febrero de 1999.**

La comparación de los datos individuales denota el grado de ajuste adecuado de la metodología indirecta, basada en el balance en base a datos meteorológicos (Figura 3). Este resultado es similar al obtenido para otros cultivos de la región pampeana (DIAZ, 1983).



**Figura 3. Comparación entre valores medidos y estimados de consumos de agua en un monte comercial de *E. dunnii*. N = 18.**

El coeficiente de correlación ( $r$ ) fue de 0,93. La pendiente de la recta de regresión fue de 0,95. Ambos grupos de datos no presentaron diferencias significativas en la prueba de Tukey al 5% de significancia. Un error cuadrático medio de 56 mm indica que el grado de ajuste del método no es igual en todo el rango de valores.

CAMPBELL y DIAZ (1988) identifican cuatro variables de entrada como fuentes de indeterminación: 1) tipo de fórmula de  $ET_o$ , 2) factor de cultivo  $k_c$ , 3) contenido inicial de agua del suelo, y 4) valor de la capacidad de campo  $w_{cc}$ . Un análisis de sensibilidad es una forma de identificar la contribución relativa de las variables principales de entrada en los resultados. Nuevas simulaciones con un aumento en 20% del valor de cada una de las cuatro variables de entrada demostraron que  $Et_o$  fue la variable más sensible y el agua inicial la menos (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Sensibilidad del error cuadrático medio (ECM) de los consumos de agua al aumentar en 20% el valor de cuatro variables de entrada del balance hidrológico.**

TRATAMIENTO	CAMBIO EN ECM (%)
$ET_o$	+25
Factor $k_c$	+24
Agua inicial del suelo	0
Agua a capacidad de campo	+5

En consecuencia disponer de una serie de datos meteorológicos de calidad o ajustar el modelo de  $ET_o$  es prioritario respecto de los datos de suelo. Con una mejor bondad de ajuste del método indirecto, la modelización podría colaborar en la planificación de operaciones de manejo.

## CONCLUSION

Se ha demostrado que la estimación del consumo de agua de un monte comercial adulto de eucalipto es factible. El error de estima sugiere que los resultados son de aplicación a un análisis preliminar de las necesidades de agua. No hay que perder de vista que una mejora en ciertos datos de entrada extendería la aplicación del modelo.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Sra. Graciela Cazenave del Instituto de Clima y Agua, INTA, por los datos meteorológicos. Al Proyecto Forestal de Desarrollo de la SAGPyA por el subsidio al PIA 02/97, del cual el estudio forma parte.

## BIBLIOGRAFIA

- ALLEN, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Roma. 171 pp.
- CAMPBELL, G.S., Díaz, R. 1988. Simplified soil-water balance models to predict crop transpiration. En: Drought research priorities in the dryland tropics. F. R. Bidingger and C. Johansen (eds.). India. pp.15-26.

- DAMIANO, F.; Gelid, P.; Medel, E.; Moschini, R.C.; Rébora, M.G. 2002. Consumo de agua y crecimiento del *Eucalyptus dunnii* Maiden en Santa Fe, Argentina. IX Jornadas Técnicas Forestales. FCF-INTA Montecarlo.
- DÍAZ, R.A. 1983. Balance del agua en los suelos agrícolas de las zonas ecológicas homogéneas del área de influencia de la EERA Marcos Juárez. Informe N° 4 de la serie Suelos y Agroclimatología. 6 pp.
- DOORENBOS, J.; Kassan, A.H. 1979. Efecto del agua sobre el rendimiento de los cultivos. FAO Irrigation and Drainage Paper 33. Roma. 212pp.