

que se obtiene presenta poca actividad antimicrobiana.

Para optimizar los rendimientos y la calidad del orégano deshidratado y del aceite esencial, es necesario conocer si el material genético cultivado contiene altas concentraciones de aceite esencial, un alto contenido de componentes fenólicos y una buena producción de hojas e inflorescencias, para obtener altos rendimientos económicos y así cumplir con los requerimientos de los importadores y consumidores locales.

RESUMEN

En orégano se estudió la fluctuación del rendimiento del producto deshidratado, de la concentración y del rendimiento de aceite esencial y su contenido de

fenoles durante la temporada de crecimiento de 1993/94 en dos localidades de la VII Región. El rendimiento de orégano deshidratado alcanzó valores máximos en el mes de Enero. La concentración de aceite esencial aumentó desde la etapa vegetativa a la reproductiva, logrando valores mayores a 4 ml/100g. De esta forma el rendimiento de aceite esencial superó los 120 L/ha, en ambas localidades. Simultáneamente aumentó el contenido de fenoles en el aceite esencial de un 10% hasta un 13 y 14%, siendo el carvacrol el componente principal. Dentro de un mismo órgano de la planta la concentración de aceite esencial y su contenido de fenoles se mantuvieron constantes durante la temporada, observándose los mayores valores en brácteas y flores. El momento óptimo de cosecha en ambas localidades fue entre la quinta y octava semana después de iniciarse la floración (Enero).

LITERATURA CITADA

- DACHLER, M. Y H. PELZMAN. 1989. Heil und Gewürzpflanzen. Österreichischer Agrarverlag, Graz, Austria, 244 p.
- GIACONI, V. Y M. ESCAFF. 1994. Cultivo de hortalizas. Ed. Universitaria, Santiago, Chile, 335p.
- HEEGER, E.F. 1989. Handbuch des Arznei und Gewürzpflanzenbaues. Thun-Verlag, Frankfurt, Alemania, 776 p.
- KALETTA, K.H. Y H. SCHULZE. 1990. Gewürzkräuter selbst angebaut. Neumann Verlag, Leipzig, Alemania, 238 p.
- LÓPEZ, C.E. 1982. Plantas aromáticas. El Campesino (Nov): 36-46.
- MONTES, M.A., L. VALENZUELA, T. WILKOMIRSKY, H. BELLO Y G. VALLADARES. 1992. Esencia de *Origanum vulgare* L. Región del Bío-Bío, Chile. A. Real Acad. Farm. 58: 509-518.
- MUÑOZ, F. 1987. Plantas medicinales y aromáticas. Ed. Mundi-Prensa; Madrid, España, 365 p.
- MUÑOZ, J. 1995. Efecto de la época de cosecha sobre el rendimiento de orégano deshidratado y aceite esencial en *Origanum vulgare* L. Tesis de Grado. Escuela de Agronomía, Universidad de Talca, 63 p.
- ÖZGÜVEN, M., M. SCHNEIDER Y R. MARQUARD. 1996. Yield and quality aspects of *Origanum wild* species collected in the çukorova Region of Turkey. Beiträge zur Züchtungsforschung 2 (1): 21-24.
- WAGNER, H. 1988. Pharmazeutische Biologie: Drogen und ihre Inhaltsstoffe. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Alemania, 520 p.

CRECIMIENTO Y USO DE AGUA DE *Eucalyptus globulus* (LABILL.) BAJO DIFERENTES REGÍMENES DE RIEGO

Eucalyptus globulus (LABILL.) GROWTH AND WATER USE UNDER
DIFFERENTIAL IRRIGATION REGIMES

LUIS A. GUROVICH, JORGE HOLMBERG Y ANDRÉS LYON

Departamento de Fruticultura y Enología
Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal
Pontificia Universidad Católica de Chile
Casilla 306-22. Santiago, Chile

Summary

Growth and water use of a new *Eucalyptus globulus* (Labill.) plantation is evaluated under field conditions at 4 experimental sites in Chile. The effect of different water depths applied upon daily ET, estimated by means of a USWB class A pan evaporation and a $Kc = f(t)$ is reported; differential irrigation is obtained by a modification on emitter densities and discharge. Tree development is significantly (5% level) lower for deficit and excess water depths applied, as compared to the normal (100% ET) and 125% ET treatments. Differences are reflected on tree height and trunk diameter, as well as on soil water use. $Kc = f(t)$ used on ET calculations, underestimates by 12% actual ET values.

Using a water budget technique for 5 consecutive days, actual soil water consumption calculations indicate a very close relation to ET estimations, obtained through daily class A pan data and $Kc = f(t)$.

The use of the Water Stress Index approach, by using an infrared differential thermometer, Leaf Water Tension, measured in a Scholander chamber and Soil Water Tension, through conventional tensiometer daily readings, are evaluated as water availability indexes for the differentially irrigated plots. Results indicate that Leaf Water Tension is not a viable option to assess water status in young *Eucalyptus* trees; Air-Leaf temperature differences and conventional tensiometry are useful approaches to define water status in stressed and unstressed plants.

INTRODUCCIÓN

El sector forestal en Chile ha experimentado un desarrollo creciente y sostenido desde la década 1970-1980, utilizando de una manera integral los recursos naturales y las condiciones ambientales imperantes en una extensa área del país. Las tasas de crecimiento de las principales especies forestales permiten obtener plantaciones industriales en rotaciones bastantes más cortas que en otras regiones del mundo, lo que reduce el costo de materia prima para la industria maderera y de producción de celulosa.

El adecuado marco económico del país ha posibilitado el desarrollo de plantaciones forestales con especies de rápido crecimiento, como *Pinus radiata* y *Eucalyptus spp*, alcanzando en la actualidad a más de 1,5 millones de hectáreas. De esta superficie, 1,3 millones de hectáreas corresponden a Pino radiata, más de 170 mil hectáreas a *Eucalyptus spp*. y unas 100 mil hectáreas a otras especies.

La economía hídrica en las plantaciones de *Eucalyptus spp*. está basada en la precipitación natural, que varía en las áreas actualmente plantadas en el país, en un rango de 450 a 1000 mm anuales, con una distribución correspondiente al clima mediterráneo templado, concentrándose lluvias esporádicas sobre los 20 mm diarios, entre los meses de Abril y Septiembre, y con una estación prácticamente seca entre Noviembre y Marzo (Kimmins, 1986).

Este trabajo ha sido realizado con el aporte del Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología, FONDECYT, en el marco del proyecto «Producción de madera de *Eucalyptus* bajo diferentes condiciones de riego». Proyecto 1 95 1009.
Publicación aprobada por el Comité Editor de la Facultad de Agronomía de la P. Universidad Católica con el N°16/96.

Las características edafoclimáticas en las que se desarrollan las plantaciones actuales de *Eucalyptus spp.* en Chile determinan condiciones de importantes desbalances temporales entre la demanda evaporativa de la atmósfera y el aporte del agua de lluvia retenida en el suelo hacia las raíces; ésto significa que se producen condiciones de estrés hídrico severo durante el fin de la primavera y el verano

Esta situación afecta significativamente el ritmo de crecimiento del *Eucalyptus* (incremento en la biomasa total), determinando una rotación o período de plantación a cosecha no inferior a 10 años, pudiendo éste extenderse, en algunos suelos arenosos y delgados, y/o en áreas de menor precipitación, a unos 12 o más años. Se considera una fecha de cosecha óptima, con fines de producción industrial de celulosa, un DAP (diámetro fustal a 1,30 m de altura desde el nivel del suelo) entre 20 y 40 cm y la altura máxima posible de alcanzar según las características del sitio, considerando un crecimiento promedio de 150 cm por año como una plantación exitosa.

La mayor parte de los suelos que se ubican en un radio de 100 Km. de las industrias productoras de celulosa en base a madera de *Eucalyptus spp.*, corresponden a suelos agrícolas, cuyo uso actual es la producción de cultivos anuales y empastadas. Muchos de estos suelos son regados, ya que tienen infraestructura de riego y derechos de aprovechamiento de agua.

La rentabilidad actual, y sus proyecciones para el futuro, de los cultivos anuales posibles para esas condiciones edafo-climáticas es bastante marginal y de hecho, hay superficies significativas que en los últimos años han dejado de ser sembradas, revirtiendo su uso a praderas naturales de escaso valor nutricional, en la que se está desarrollando una ganadería incipiente, también de poca rentabilidad. Una alternativa que puede ser de interés económico es la transformación de estos suelos agrícolas en plantaciones de *Eucalyptus spp.* con riego suplementario, que podría permitir:

- 1) reducción del número de años de plantación a cosecha,
- 2) modificación de algunos aspectos cualitativos de la madera
- 3) reducción del número de años necesario para

el desarrollo óptimo de renovales después de la primera cosecha, manteniendo y aumentando el volumen de madera obtenida.

Para determinar si la hipótesis anterior es válida, se requiere definir el nivel óptimo de inversiones en tecnología de riego, en relación con su impacto sobre la rentabilidad de la producción de madera de *Eucalyptus*; esto es, evaluar el punto de equilibrio entre el costo y el ingreso marginal, asociados a la incorporación del riego como práctica de producción en plantaciones de *Eucalyptus* (Sharma, 1984; Calder, 1990, 1992).

A diferencia de otros países, como Australia (Anderson, 1981; Carbon *et al.*, 1981; Feller, 1981; Lima, 1984), India (Calder, 1985; Kallarackal, 1992; Greenwood *et al.*, 1985) y Sudáfrica (Landsberg, 1986); en Chile se dispone de suelos con dotaciones adecuadas de agua de riego, en los cuales el uso de este recurso no es competitivo, desde un punto de vista económico y ambiental, con la producción de cultivos agrícolas ni con otros usos del agua (Vandana *et al.*, 1982). Esta es realmente una condición casi única en el mundo (Newson y Calder, 1989), ya que en los países mencionados, los estudios acerca del consumo de agua de plantaciones de *Eucalyptus spp.* están motivados exclusivamente por la necesidad de demostrar que esta especie consume un volumen similar de agua que aquel requerido por un cultivo agrícola; esta hipótesis no ha podido ser comprobada con exactitud (Calder, 1986; Kallarackal, 1992; Dye, 1987), por lo que la autorización para plantar con esta especie nuevas áreas está siendo seriamente cuestionada, lo que limitaría en esos países la disponibilidad de materia prima para la fabricación de celulosa en los próximos años.

La determinación del consumo de agua de plantaciones de *Eucalyptus* ha sido desarrollada por Calder (1986, 1992), en base al uso de deuterio como trazador. Harding y Rosier (1988) presentaron una revisión comentada de diversas publicaciones acerca del uso de agua de especies forestales de crecimiento rápido, centrando la discusión en resultados correspondientes a plantaciones de más de 5 años de edad.

Pereira *et al.* (1986, 1987) realizaron estudios acerca de las relaciones hídricas y la eficiencia de uso de agua de *Eucalyptus globulus* (Labill.) en una plantación cercana a Lisboa, Portugal, determinando

que esta especie posee un mecanismo de control estomático bastante eficiente: durante el invierno, el consumo evapotranspirativo máximo coincidió con la hora de máximo déficit de presión de vapor, pero en los meses de verano, el consumo evapotranspirativo máximo se alcanza varias horas antes que se produjera el máximo déficit de presión de vapor.

Los estudios de uso de agua por plantaciones de *Eucalyptus spp.* que se han realizado en Australia Occidental son los esfuerzos más detallados y comprensivos para determinar la eficiencia de uso del agua de riego por estas especies (Calder, 1991). De los resultados de estos estudios se ha concluido que los mecanismos fisiológicos de control estomático para evitar la deshidratación del tejido foliar, son bastante diferentes entre especies de *Eucalyptus*; asimismo, el enraizamiento diferente según especies y sitios, juega un papel fundamental en la economía hídrica de estas plantaciones (Colquhoun *et al.*, 1984; Greenwood y Beresford, 1979; Crombie *et al.*, 1988).

El objetivo de este trabajo es investigar la economía hídrica y el crecimiento en altura y diámetro fustal, en plantaciones de *Eucalyptus globulus* (Labill.) durante los primeros meses desde la plantación, en las que se ha aplicado láminas de riego diferentes.

MATERIALES

Se estableció 4 ensayos de campo en plantaciones de *Eucalyptus globulus* (Labill.), en las localidades de Lo Aromo (V Región, secano costero, a 5 Km del balneario de El Tabo), Longovilo (Región Metropolitana, secano costero interior de la Cordillera de la Costa, a 40 Km de la ciudad de Melipilla), La Punta (VI Región, pre-cordillera de

Los Andes, a 15 Km de la localidad de Codegua) y San Andrés (VIII Región, valle central, a 2 Km de la localidad de Negrete).

Los ensayos estuvieron constituidos por 8 tratamientos y 4 repeticiones, con un diseño experimental de bloques completos al azar; cada parcela experimental constó de 4 hileras de árboles, separadas entre sí en forma alternada por 2,4 y 4,0 m; entre cada parcela experimental hubo 2 hileras de árboles como bordes. Se planteó definir una función de producción del agua de tipo lineal, en relación con el crecimiento en altura y el diámetro fustal, incluyendo tratamientos que representaran un exceso de agua por sobre los requerimientos evapotranspirativos reales de la plantación. Durante esta primera temporada, las hileras bordes y aquellas correspondientes al tratamiento 0% ET (sin riego) se regaron manualmente 2 veces por semana, para lograr el establecimiento de las plántulas.

Los tratamientos de cada ensayo correspondieron a diferentes láminas de riego, establecidas en función de la estimación de la ET efectiva de la plantación; esta estimación se basó en: a) mediciones diarias de la evaporación de una bandeja standard clase A (USWB), de acuerdo con la técnica publicada por Doorenbos y Kassam (1986) y Jensen *et al.*, (1989) y b) en el uso de un valor diario del coeficiente de ET (Kc), relacionado con el índice de área foliar de los árboles. La función $Kc = f(t)$ propuesta se ha construido en base a la limitada información bibliográfica publicada (Calder, 1992) y con el uso de la técnica descrita por Gurovich (1991) para huertos frutales.

Las láminas diarias de riego correspondientes a cada tratamiento se obtuvieron variando la distancia entre los goteros y su descarga unitaria, de acuerdo con la pauta presentada en el Cuadro 1.

CUADRO 1
TRATAMIENTOS DE RIEGO DE LOS ENSAYOS DE CAMPO
Field irrigation treatments

| TRATAMIENTO | ENSAYO DE CAMPO |
|--|---|
| 1. Reposición del 100% de ET [testigo 1] | goteros de 4 l/hora, separados por 1,00 m sin goteros |
| 2. Reposición del 0% de ET [testigo 2] | |
| 3. Reposición del 25% de ET | goteros de 2 l/hora, separados por 2,00 m |
| 4. Reposición del 50% de ET | goteros de 2 l/hora, separados por 1,00 m |
| 5. Reposición del 75% de ET | goteros de 4 l/hora, separados por 1,09 m |
| 6. Reposición del 125% de ET | goteros de 4 l/hora, separados por 0,80 m |
| 7. Reposición del 150% de ET | goteros de 4 l/hora, separados por 0,66 m |
| 8. Reposición del 175% de ET | goteros de 4 l/hora, separados por 0,57 m |

De esta manera, cada vez que se realizó un riego, cada tratamiento recibió simultáneamente una lámina de riego diferente. Es necesario indicar que en los ensayos de las localidades de La Punta y Lo Aromo, a partir del día 65 desde la plantación, la disponibilidad de agua para el riego se redujo por debajo de los requerimientos efectivos de los árboles, como resultado de la intensa sequía que experimentó la zona central del país a partir de 1993. La recuperación del nivel del pozo en el predio Lo Aromo llegó a ser tan lenta, que el riego diario tuvo que ser ciclado en 6 a 8 ciclos de 15 minutos cada uno, con una espera de 90 a 120 min entre ciclos, para lograr recuperar el nivel mínimo de agua en el pozo que permitiera el funcionamiento de la bomba. En el predio La Punta el aprovisionamiento de agua de riego desde el río Cachapoal se interrumpió totalmente a partir del 10 de Febrero y el ensayo se regó esporádicamente, con la acumulación de agua desde una quebrada, cuyo caudal era inferior a 0,5 L/s.

MÉTODOS

Entre los parámetros más utilizados para evaluar el crecimiento en altura y DAP en plantaciones forestales, Coetzee (1995) hace referencia a la velocidad de crecimiento en altura y la velocidad de incremento del índice de biomasa (IB); se ha definido un índice de biomasa IB, de acuerdo con los conceptos publicados por Coetzee y Naicker (1995), como:

$$IB = d_1 * d_2 * h \quad \text{Ecuación 1}$$

en que:

IB = índice de biomasa (cm³),
d1 = diámetro de fuste a nivel del suelo (cm)
d2 = DAP = diámetro del fuste a una altura de 1,3 m sobre el nivel del suelo
h = altura del eje principal del fuste

El crecimiento en altura y el desarrollo del diámetro fustal se determinaron periódicamente (con un intervalo aproximado de 45 días), con vara telescópica y forcúpula forestal, en las fechas indicadas en los Cuadros 2 y 3. Asimismo, se registró diariamente la evaporación de la bandeja standard y las horas efectivas de operación del equipo de riego, de acuerdo con la metodología descrita por Gurovich (1991). En el ensayo de la localidad de Longovilo los perfiles de humedad del suelo se determinaron en 2 períodos de 5 días consecutivos, por medio de: a) el muestreo de suelo y la determinación gravimétrica de humedad, para la estrata 0 - 20 cm y b) con el uso de un aspensor de neutrones Troxler modelo 3332, en estratas de 20 cm de grosor, entre los 20 y 180 cm del perfil del suelo.

Para realizar las determinaciones de humedad del suelo, se instaló 1 tubo de acceso de aluminio en cada una de las 32 parcelas del ensayo; este tubo se ubicó a 50 cm frente al árbol central de cada parcela experimental. La información correspondiente a los perfiles de humedad del suelo en días consecutivos, permitió establecer un balance hídrico, de acuerdo con las técnicas descritas por Hillel (1980) y Jensen *et al.* (1989).

Se registró diariamente las lecturas de tensión de agua en el suelo, con el uso de tensiómetros convencionales, ubicados a 30 cm de profundidad, bajo el lateral de riego, entre 2 goteros consecutivos, de acuerdo a las pautas publicadas por Gurovich (1991) para estudios de programación del riego en huertos frutales. Se midió la tensión de agua en la hoja (5 repeticiones por parcela), usando la cámara de presión de Scholander *et al.* (1965); estas determinaciones se realizaron por medio de la escisión de 5 hojas en cada parcela experimental, elegidas con exposición solar y ubicación en la planta con el mayor grado de similitud posible; se aplicó presiones neumáticas crecientes al interior de la cámara, hasta observar la aparición de la primera gota de savia en el extremo distal del pecíolo de la hoja. Estas determinaciones se realizaron entre las 10 A.M. y 13 P.M.

CUADRO 2
DETERMINACIÓN DE DIFERENTES PARÁMETROS EN LA
PLANTACIÓN EXPERIMENTAL DE LONGOVILLO
Field measurements at Longovilo experimental sites

| | Fechas de evaluación |
|--|---|
| Evaporación de bandeja (mm/día) | 01.10.95 - 22.04.96 |
| Tensión del agua en el suelo (kPa) | 10 - 14.01.96 - 05 - 09.03.96 |
| Tiempo diario de riego (horas) | 01.10.95 - 22.04.96 |
| Crecimiento en altura (cm) | 25.10.95 - 21.12.95 - 15.02.96 - 25.04.96 |
| Diámetro Fustal (cm) | 25.10.95 - 21.12.95 - 15.02.96 - 25.04.96 |
| Perfiles de humedad del suelo (lámina, cm) | 10 - 14.01.96 - 05 - 09.03.96 |
| Tensión del agua en la hoja (kPa) | 10 - 14.01.96 - 05 - 09.03.96 |
| Índice de estrés hídrico (adimensional) | 10 - 14.01.96 - 05 - 09.03.96 |

CUADRO 3
DETERMINACIÓN DE DIFERENTES PARÁMETROS EN LAS
PLANTACIONES EXPERIMENTALES DE LO AROMO, LA PUNTA Y NEGRETE
Field measurements at Lo Aromo, La Punta y Negrete experimental sites

| | Fechas de evaluación | | |
|---------------------------------|----------------------|----------|----------|
| | Lo Aromo | La Punta | Negrete |
| Evaporación de bandeja (mm/día) | 05.11.95 | 01.12.95 | 01.01.96 |
| | 31.03.96 | 14.04.96 | 15.04.96 |
| Tiempo diario de riego (horas) | 05.11.95 | 01.12.95 | 01.01.96 |
| | 31.03.96 | 14.04.96 | 15.04.96 |
| Crecimiento en altura (cm) | 20.11.95 | 14.12.95 | 05.01.96 |
| | 18.01.96 | 08.02.96 | 25.04.96 |
| | 27.03.96 | 15.04.96 | |
| Diámetro Fustal (cm) | 20.11.95 | 14.12.95 | 05.01.96 |
| | 18.01.96 | 08.02.96 | 25.04.96 |
| | 27.03.96 | 15.04.96 | |

El índice de estrés hídrico de la planta (ISH), se determinó con un termómetro infrarrojo diferencial marca Standard Oil Scheduler, de acuerdo con la técnica publicada por Clawson y Bald (1988) y Gurovich (1989).

RESULTADOS

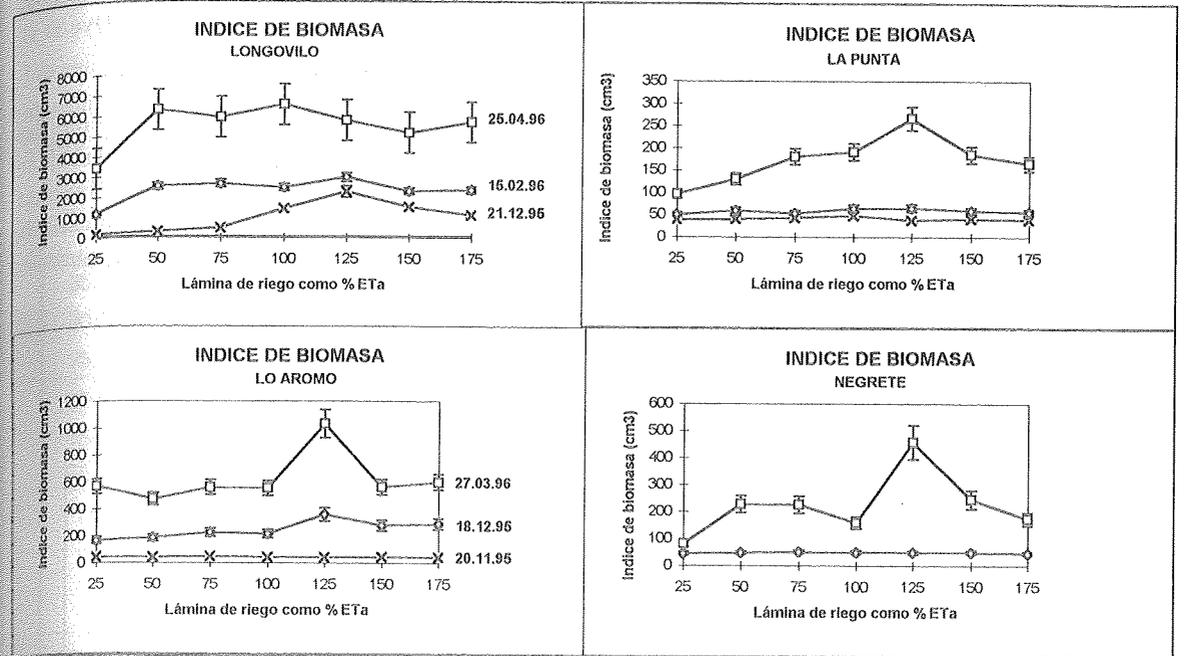
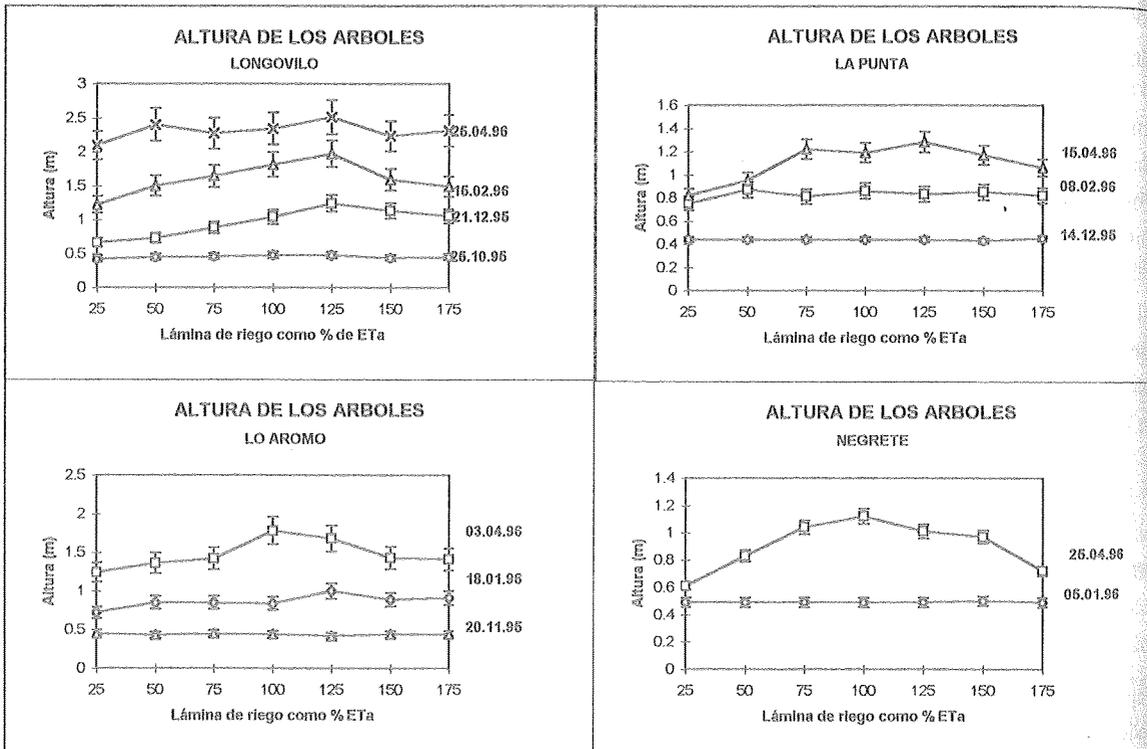
Crecimiento y desarrollo de los árboles

Los valores de DAP y crecimiento en altura,

correspondientes a cada sitio experimental, y a cada tratamiento, se presentan en las Figuras 1 y 2.

Es posible agrupar estos resultados en categorías de tratamientos, considerando que no hay diferencias significativas entre los tratamientos correspondientes a cada uno de los grupos:

- a) riego deficitario (tratamientos que reciben una lámina diaria de reposición correspondiente a 25, 50 y 75% de la ET estimada)
- b) riego excesivo (tratamientos que reciben una lámina diaria de reposición correspondiente



150 y 175% de la ET estimada)
c) riego normal (tratamientos que reciben una lámina diaria de reposición correspondiente a 100 y 125% de la ET estimada).

De acuerdo a los resultados presentados en la Figura 1, es posible afirmar que la respuesta de *Eucalyptus globulus* (Labill.) a diferentes láminas de riego, se produce por una aceleración de los procesos de crecimiento y desarrollo, que claramente es función de la condición hídrica del suelo, ya que no sólo se obtiene velocidades de crecimiento menores en los tratamientos con riego deficitario, sino que también en los tratamientos de riego

excesivo la velocidad de crecimiento se reduce significativamente, en comparación con los tratamientos de riego normal.

En las Figuras 1 y 2 se observa también una tendencia generalizada de obtención de mayor crecimiento en altura y mayor diámetro fustal para los tratamientos 100% y 125% de ET estimada, en casi todos los sitios de ensayo y en casi todas las fechas de medición.

Coefficiente Kc

Los parámetros que permiten describir cuantitativamente las funciones del coeficiente

evapotranspirativo de la plantación, $K_c = f(t)$, se presentan en la Figura 3.

Tensión del agua en la hoja

En la Figura 4 se presentan los resultados de las determinaciones de la tensión del agua en la hoja,

que se relaciona linealmente con el potencial de presión en el xilema, de acuerdo con Dye et al. (1993).

Los resultados obtenidos con las determinaciones de la tensión de agua en la hoja no reflejan el posible efecto de los diferentes tratamientos de riego sobre el potencial xilemático, tal como se discute en el capítulo correspondiente.

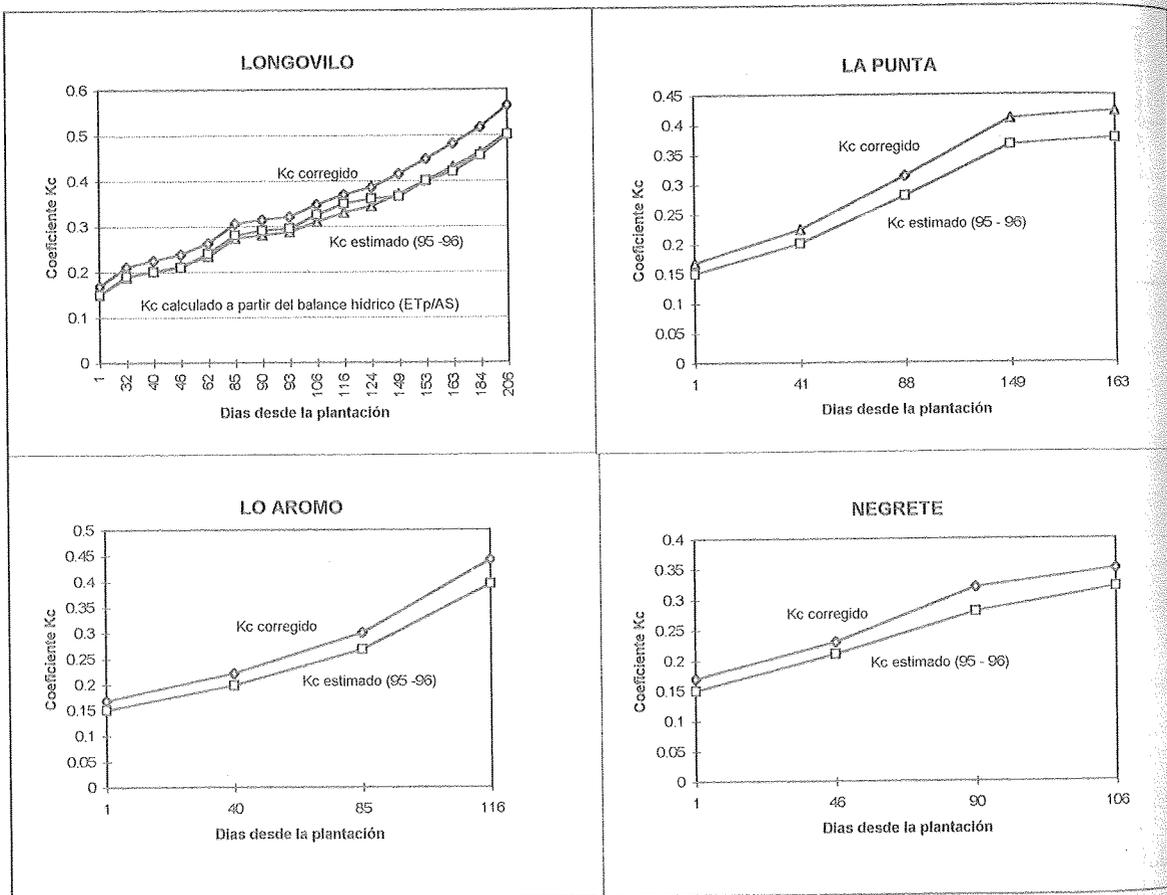


FIGURA 3

FUNCIÓN DEL COEFICIENTE DE EVAPOTRANSPIRACIÓN $K_C = F(T)$ PARA *Eucalyptus globulus* (LABILL.) EN LA PRIMERA TEMPORADA DE CRECIMIENTO
 $K_C = F(T)$ Function for *Eucalyptus globulus* (LABILL.)
 on the first season after planting

Tensión del agua en el suelo

Los valores obtenidos en las determinaciones de la tensión del agua en el suelo, en el ensayo de Longovilo, se presentan en la Figura 5. Las

diferencias entre los tratamientos son estadísticamente significativas (nivel de significancia de 5%); en los tratamientos de riego deficitario, los valores de tensión de agua en el suelo (a 30 cm de profundidad), son inferiores (más

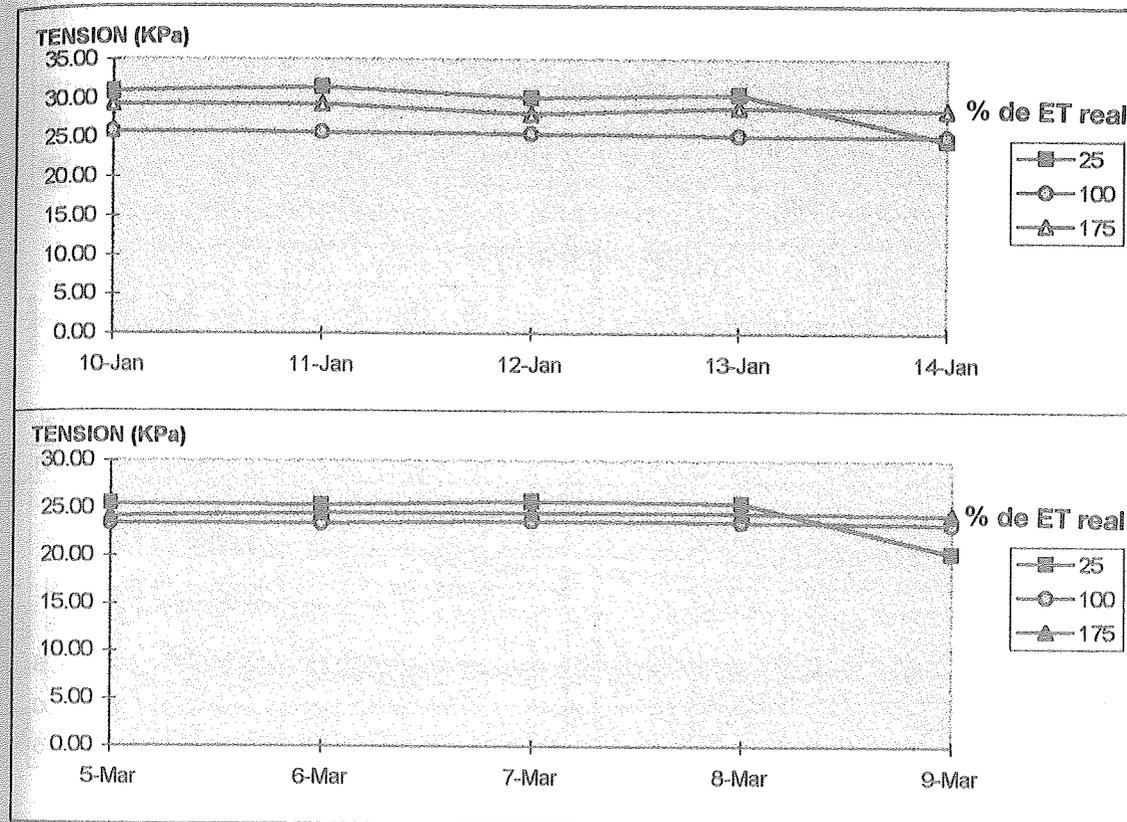


FIGURA 4
 TENSIÓN DEL AGUA EN LA HOJA EN ÁRBOLES JÓVENES DE *Eucalyptus globulus* (LABILL.), REGADOS CON DIFERENTES LÁMINAS
 Leaf water tension in young *Eucalyptus globulus* (LABILL.)
 Trees, irrigated with different water depths

negativos) a aquellos recomendados como máximos en huertos frutales (Gurovich, 1991), ya que esta condición hídrica determina un estrés hídrico permanente en el árbol.

Índice de estrés hídrico de los árboles (ISH):

El análisis de la información obtenida por medio

del termómetro infrarrojo diferencial, relacionada con el ISH se presenta en la Figura 6; este análisis permite señalar que el uso de este instrumento es una posibilidad interesante para continuar evaluándose, como una forma rápida de establecer el nivel de estrés hídrico al que puede estar sometida una plantación de *Eucalyptus globulus* (Labill.) en sus primeros 2 años de vida.

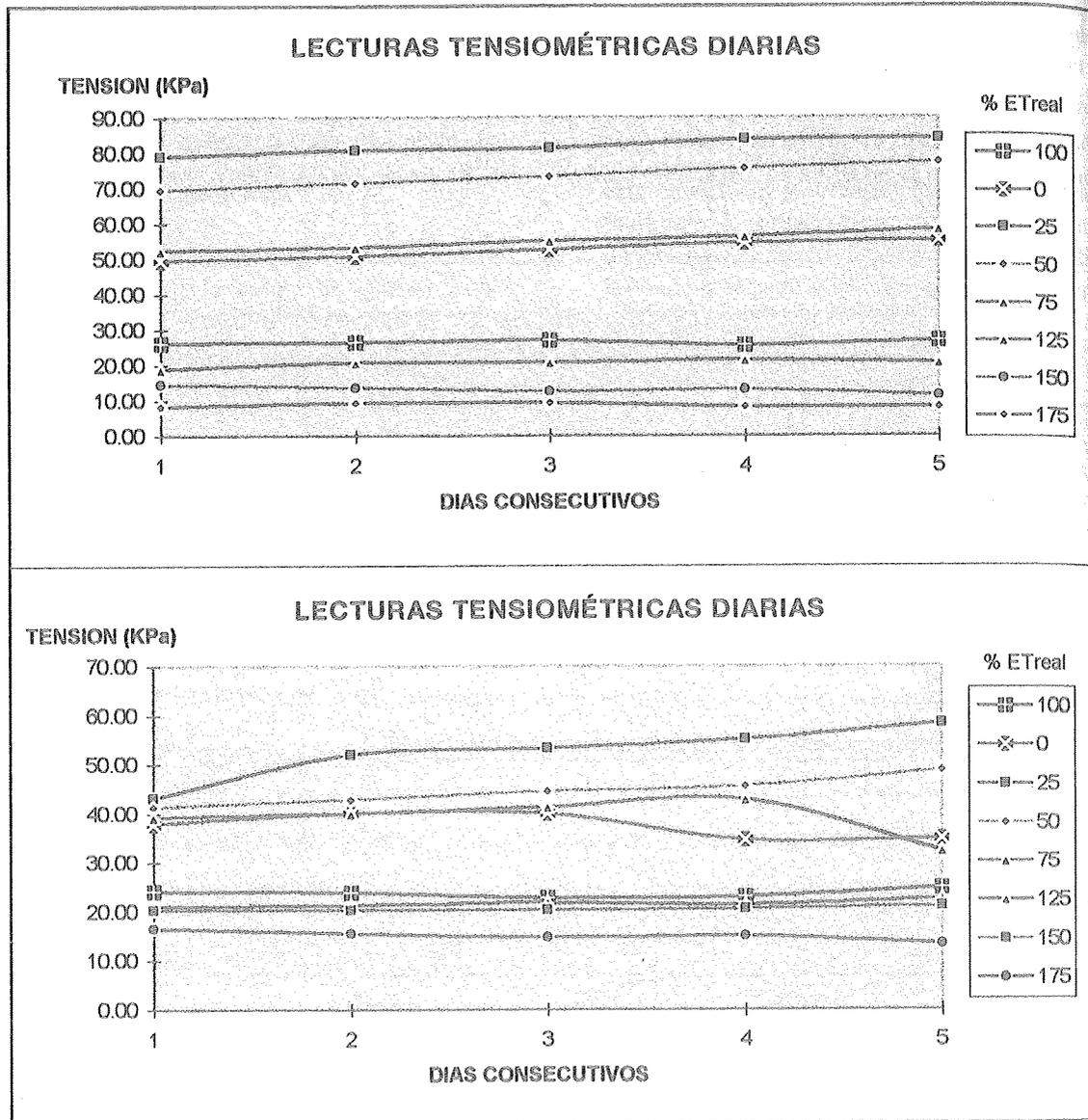


FIGURA 5

TENSIÓN DEL AGUA EN EL SUELO (30 CM PROFUNDIDAD) EN UNA PLANTACIÓN JOVEN DE *Eucalyptus globulus* (LABILL.) REGADA CON DIFERENTES LÁMINAS DE RIEGO
Soil water tension (at 30 cm depth) in a young Eucalyptus globulus (LABILL) Plantation, irrigated with different water depths

Perfiles de humedad del suelo

En la Figura 7 se presenta algunos perfiles de humedad del suelo para días consecutivos, determinados con muestreo y secado gravimétrico (estrata 0-20 cm) y con aspersor de neutrones en el

resto del perfil del suelo (20-180 cm).

Consumo evapotranspirativo

El consumo de agua de los árboles correspondientes a cada tratamiento de riego, se presenta en la Figura

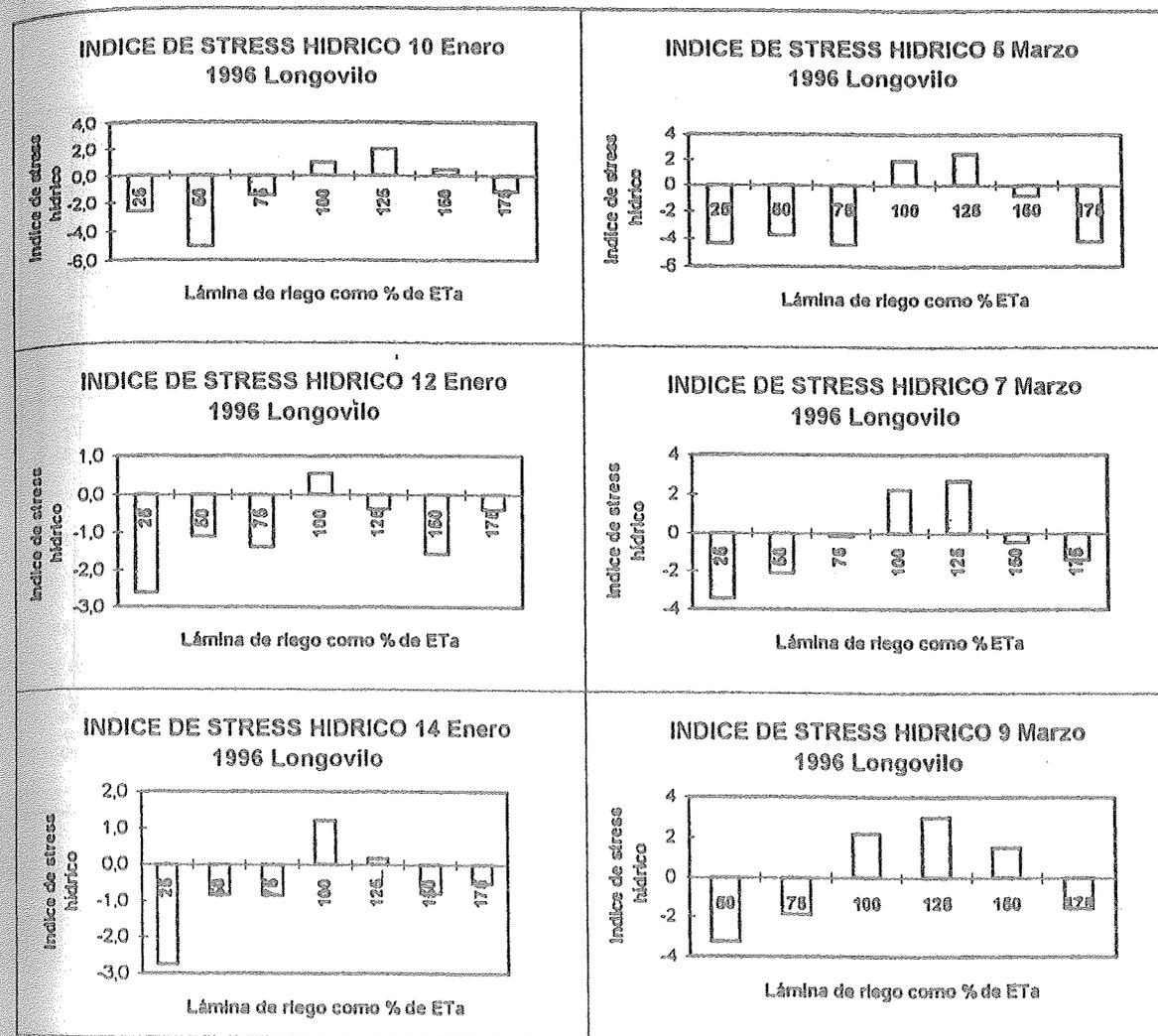


FIGURA 6

INDICE DE ESTRÉS HÍDRICO EN ÁRBOLES JÓVENES DE *Eucalyptus globulus* (LABILL.), REGADOS CON DIFERENTES LÁMINAS DE AGUA
Water stress index in young Eucalyptus globulus (LABILL) trees, irrigated with different water depths

8; el consumo máximo de agua de los árboles corresponde a los tratamientos 100 y 125% de la ET estimada y alcanza un valor de 2,2 mm/día en la determinación del mes de Enero de 1996, en el

ensayo de Longovilo.

En el tratamiento testigo, correspondiente a una lámina de reposición del 100% ET, la

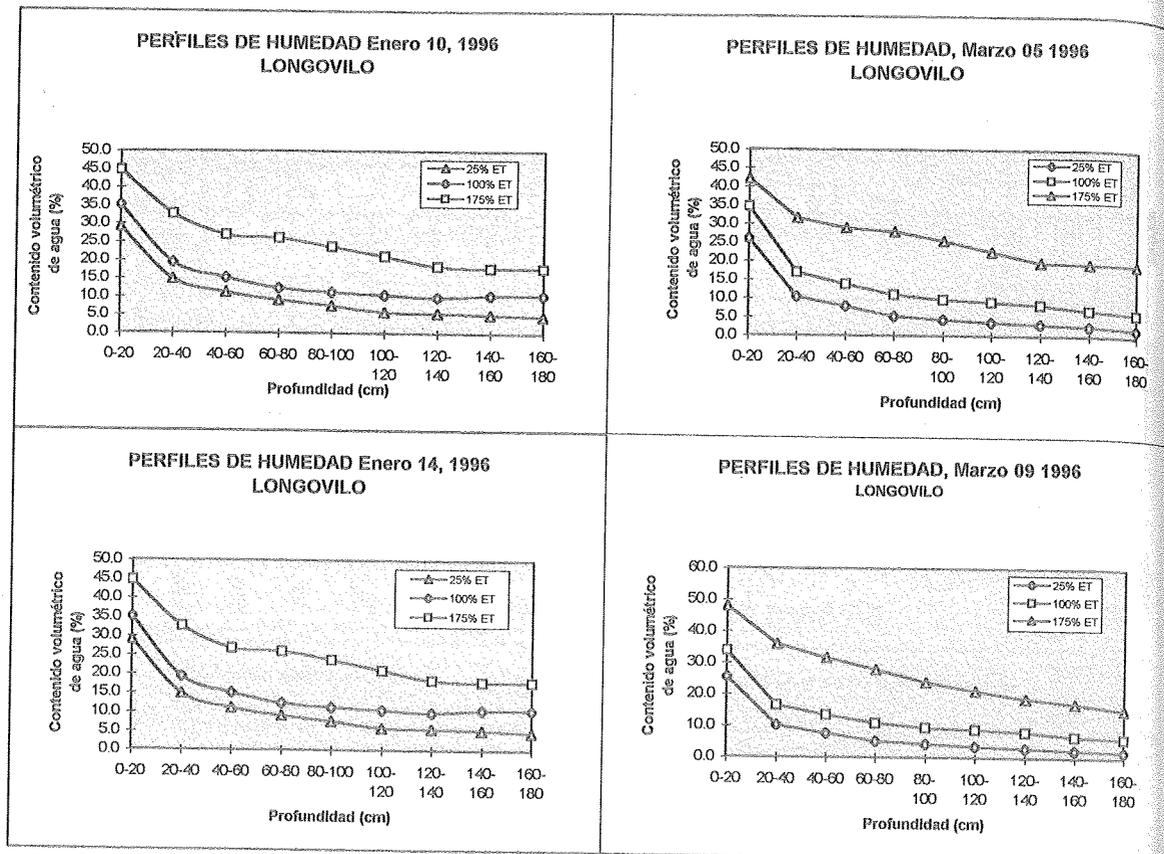


FIGURA 7

PERFILES DE HUMEDAD DEL SUELO PARA ALGUNAS PARCELAS PLANTADAS CON *Eucalyptus globulus* (LABILL.), REGADAS CON DIFERENTES LÁMINAS DE RIEGO
Soil moisture profiles in some *Eucalyptus globulus* (LABILL.) experimental plots irrigated with different water depths

mantención de un perfil de humedad del suelo prácticamente constante, asociado con un valor estable de tensión del agua en el suelo durante toda la temporada (Figura 5), permiten asumir que el consumo total de agua fue de 189 mm = (1890 m³/ha), calculado de acuerdo con las mediciones de evaporación de bandeja standard y de la función $K_c = f(t)$, reponiéndose diariamente el consumo de agua con la operación del equipo de riego durante un periodo de tiempo específico, hasta lograr un volumen total de agua aplicada de 210 mm = (2100 m³/ha), tal como se presenta en la Figura 9.

De acuerdo con la precipitación acumulada durante el otoño, invierno e inicio de primavera de 1996 que es claramente deficitaria respecto a un año promedio, resulta imposible continuar con la evaluación de los ensayos en las últimas dos localidades, ya que no es posible crear condiciones de riego normal o riego excesivo. La Figura 10 ilustra claramente los déficits de riego debido a las condiciones de sequía en los ensayos de La Punta y Lo Aromo.

No ha estado dentro de los objetivos de este

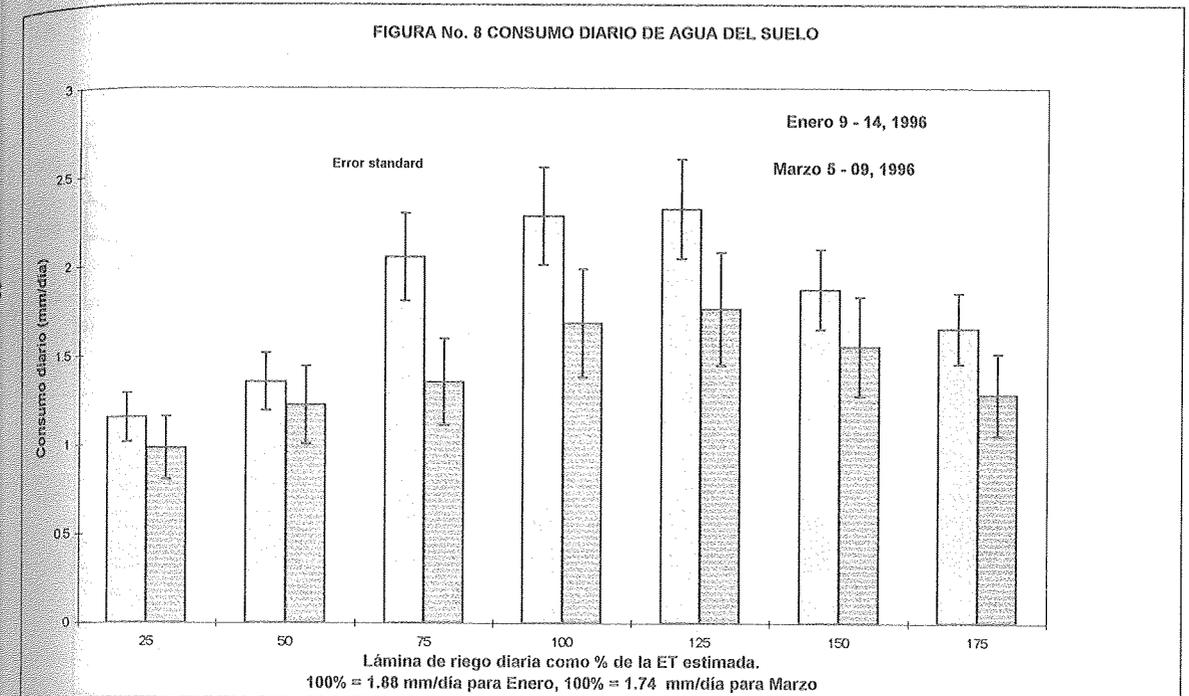


FIGURA 8

CONSUMO DIARIO DE AGUA DE ÁRBOLES DE *Eucalyptus globulus* (LABILL.) EN EL PRIMER VERANO DESDE LA PLANTACIÓN, PARA DIFERENTES LÁMINAS DE RIEGO
Daily water use by *Eucalyptus globulus* (LABILL.) young trees, irrigated with different water depths

trabajo una comparación entre sitios experimentales; las diferencias de suelos, climas y fechas de plantación determinan condiciones muy diferentes para cada sitio. Sin embargo, en relación con el efecto de las diferentes láminas de agua aplicadas sobre el crecimiento de los árboles en su primer semestre de vida, la tendencia observada en

Longovilo se repite en los otros 3 sitios experimentales, ya que en todos los casos el mayor crecimiento se obtuvo en los tratamientos correspondientes a una reposición de 100% y 125% ET, cuando se comparan con el resto de los tratamientos, sean éstos deficitarios o excesivos con respecto a la estimación de ET.

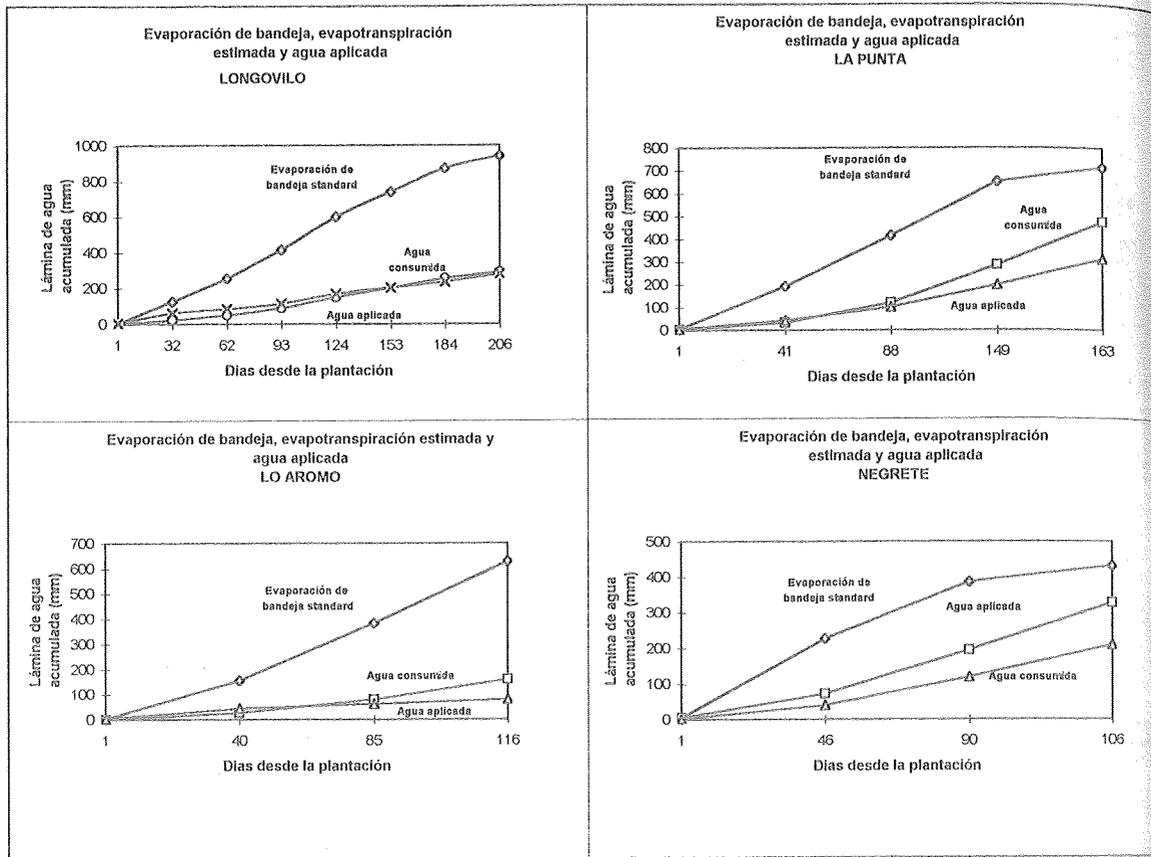


FIGURA 9

CONSUMO TOTAL DE AGUA DE ÁRBOLES JÓVENES DE *Eucalyptus globulus* (LABILL.), REGADOS CON DIFERENTES LÁMINAS DE AGUA
 Total water use by young *Eucalyptus globulus* (LABILL.) Trees, irrigated with different water depths

DISCUSIÓN

Crecimiento en altura y diámetro fustal de *Eucalyptus globulus* (Labill.), en su primera temporada de desarrollo después de la

plantación, en relación con la lámina de riego

La condición hídrica del suelo resulta determinante en la expresión de respuesta en crecimiento de altura y desarrollo del diámetro fustal, de acuerdo con los

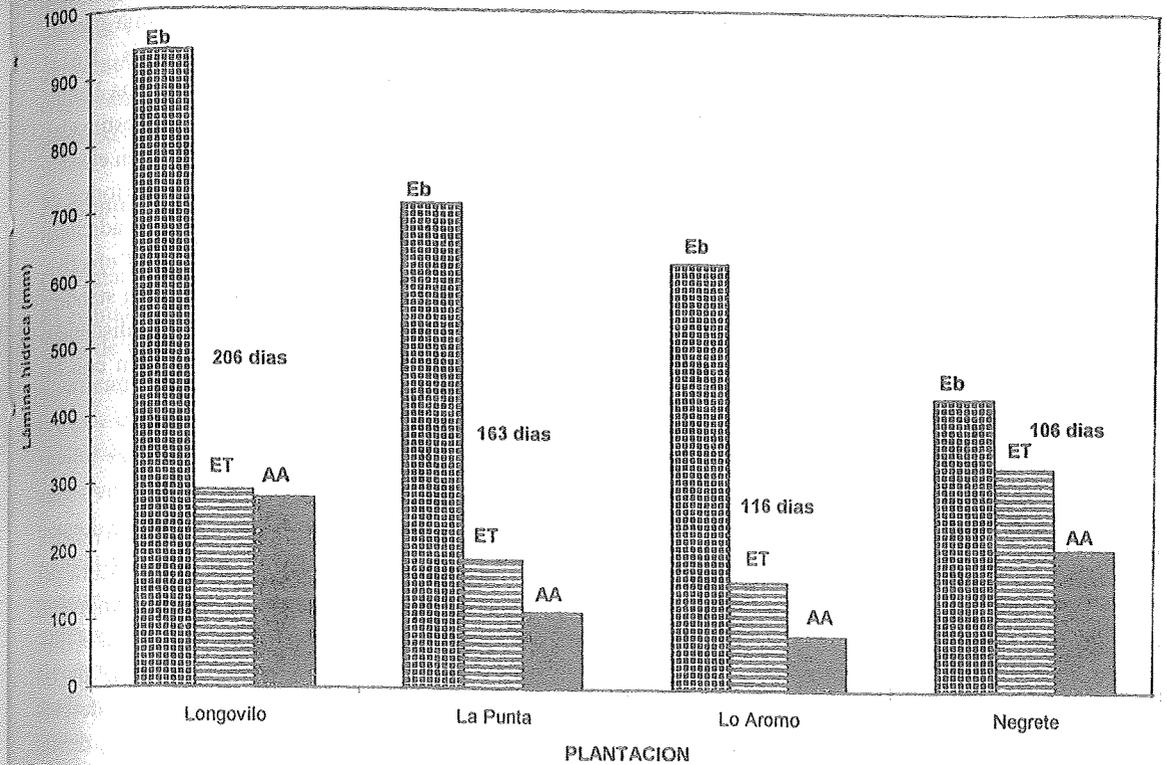


FIGURA 10

EVAPORACIÓN DE BANDEJA (EB), EVAPOTRANSPIRACIÓN (ET) Y APLICACIÓN DE AGUA (AA) TOTALES PARA *Eucalyptus globulus* (LABILL.) EN LOS PRIMEROS MESES DESDE LA PLANTACIÓN.

Standard pan evaporation (EB), evapotranspiration (ET) and total water depth applied (AA) for *Eucalyptus globulus* (LABILL.) in the initial months after plantation

resultados presentados en la Figura 1; diferentes láminas de agua aplicadas a plántulas de *Eucalyptus globulus* (Labill.) durante los primeros meses después de su plantación, tienen como resultado un diferente crecimiento de los árboles, siendo interesante observar que tanto los tratamientos deficitarios como excesivos con respecto a la ET estimada, tienen un crecimiento en altura y un diámetro fustal inferiores a aquellos observados en los tratamientos de riego normal (100% y 125% de ET estimada); estas diferencias resultan estadísticamente significativas, con un nivel de significancia de 5%, a partir de la fecha de la segunda determinación del crecimiento, en cada ensayo

(Cuadros 2 y 3).

A pesar de la escasa información disponible respecto a valores para la función $Kc = f(t)$, válida para los primeros meses de desarrollo de *Eucalyptus globulus* (Labill.) después de la plantación (Landsberg, 1986), la función $Kc = f(t)$ propuesta en este trabajo (Figura 3), basada en el enfoque descrito por Doorenbos y Kassam (1986) y Gurovich (1991), para plantaciones de árboles frutales, permite obtener una función bastante aproximada a los valores reales de la función.

En base a la información de crecimiento y desarrollo de los árboles, es posible definir que la función $Kc = f(t)$ utilizada para calcular la lámina

de riego correspondiente a la reposición diaria para el tratamiento testigo (100% de ET estimada), debería desplazarse en forma paralela y hacia arriba, en aproximadamente un 12%, para que el cálculo de la ET estimada corresponda al consumo real de agua de ese tratamiento.

Potencial de agua en la hoja, como índice del estado hídrico de *Eucalyptus globulus* (Labill.) en su primer año de vida

Determinaciones de la tensión de agua en la hoja, hechas durante la noche y antes de la salida del sol, han sido reportadas para *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus camendulensis* como índices adecuados del estrés hídrico en condiciones de secano, cuando el contenido de agua del suelo es cercano al punto de marchitez permanente (Roberts *et al.*, 1992; Jarvis, 1976). Sin embargo, no se ha encontrado información relevante publicada, en relación con mediciones del potencial del agua en la hoja para *Eucalyptus spp.*, cuando la disponibilidad de agua en el suelo es lo suficientemente elevada para suplir adecuadamente la demanda evaporativa de la atmósfera. La necesidad de realizar las determinaciones del potencial del agua en la hoja durante la noche, limita significativamente la posibilidad de usar esta técnica como un índice cuantitativo del estado hídrico de una plantación de *Eucalyptus*, que permita determinar la necesidad de efectuar un riego en una fecha específica.

Potencial del agua en el suelo

En el caso de *Eucalyptus globulus* (Labill.), los resultados presentados en la Figura 5 indican que es posible estimar el efecto de diferentes potenciales del agua en el suelo, sobre el crecimiento y desarrollo de los árboles en la primera temporada posterior a la plantación; sin embargo, el rango preciso de tensiones del agua en el suelo, que no afecten significativamente el desarrollo del árbol, debe ser establecido en estudios más específicos, si se quisiera utilizar tensiómetros convencionales en la programación del riego de plantaciones comerciales de esta especie forestal. Es importante señalar que en los tratamientos de riego deficitario hay una clara tendencia al aumento paulatino de la tensión del agua en el suelo, a medida que transcurre la temporada,

con diferencias significativas, incluso al comparar las lecturas tensiométricas de una misma parcela experimental, en días consecutivos. En el tratamiento testigo (correspondiente a una lámina de riego diaria equivalente al 100% de ET estimada), se mantiene un valor de tensión de agua en el suelo prácticamente constante, en ambos períodos de medición, lo que constituye una evidencia adicional acerca de la adecuada estimación de la ET efectiva, basada en la evaporación de una bandeja standard clase A y el coeficiente de ET (Figura 3), discutidos más arriba. Estos resultados concuerdan con los valores presentados por Calder (1992).

Índice de estrés hídrico

Las mediciones de radiación solar, humedad relativa del aire, temperatura del aire y temperatura del follaje, que se obtienen con el uso del termómetro infrarrojo diferencial, y que permiten calcular el ISH, deben efectuarse por encima del follaje de las plantas, por lo que el uso de este instrumento después del segundo año de crecimiento resulta muy difícil desde un punto de vista operativo. Las diferencias en el ISH presentadas en la Figura 6 resultaron estadísticamente significativas (nivel de significancia de 5%), cuando se agrupan los tratamientos de acuerdo al nivel de reposición de la lámina evapotranspirada, como riego deficitario, excesivo y normal.

Perfiles de humedad del suelo

De acuerdo con la información presentada en la Figura 7, los perfiles de humedad correspondientes al tratamiento testigo (lámina de riego diaria equivalente a la reposición del 100% de ET estimada), se mantienen prácticamente constantes durante los días consecutivos en cada semana de evaluación. Sin embargo, aquellos perfiles de humedad del suelo, correspondientes a los tratamientos con riego deficitario, muestran un secado paulatino del suelo en profundidad. Por otra parte, los perfiles de humedad del suelo correspondientes a los tratamientos con riego excesivo, muestran una acumulación paulatina de agua en el suelo, como resultado de la lámina aplicada en exceso, y también por la reducción en el consumo de agua de los árboles, que posiblemente

está relacionada con una aireación insuficiente del sistema radical de los árboles y puede ser la explicación de la reducción observada en el crecimiento y desarrollo de los árboles sometidos a riego excesivo, comentada anteriormente.

Consumo de agua

Los tratamientos de riego deficitario respecto a la ET estimada (25, 50 y 75%), presentan un consumo diario de agua significativamente menor (nivel de significancia de 5%) con respecto al tratamiento testigo, correspondiente a 100% ET; un efecto similar se presenta con los tratamientos de riego excesivo (125% y 150% de ET estimada). El tratamiento correspondiente a una lámina de riego equivalente al 175% de la ET estimada, muestra un consumo evapotranspirativo mayor que aquel correspondiente al tratamiento testigo, debido a que el componente de evaporación del agua directamente desde la superficie del suelo resulta en este caso muy intenso, porque la estrata superficial está permanentemente con un contenido de humedad superior a la capacidad de campo del suelo. Los valores de consumo de agua presentados en las Figuras 8, 9 y 10, son comparables en magnitud a aquellos publicados por Karschon y Heth (1967); Sharma (1984); Calder (1990); Greenwood *et al.* (1985); Dye *et al.* (1993).

De acuerdo con la información presentada en la Figura 9, sólo en los ensayos de Longovilo y Negrete la cantidad de agua aplicada fue coincidente con la estimación del agua consumida por los árboles, en las parcelas experimentales correspondientes al tratamiento 100% ET. En los ensayos de los predios La Punta y Lo Aromo, la lámina de riego efectiva fue bastante inferior al consumo estimado, debido a la insuficiente disponibilidad de agua de riego, resultante de la intensa y prolongada sequía que afecta al país en los últimos 4 años.

CONCLUSIONES

Se ha establecido la relación entre el crecimiento en altura, el diámetro fustal y el índice de biomasa con

el consumo efectivo de agua de una plantación de *Eucalyptus globulus* (Labill.) en sus primeros 6 meses de edad, para diferentes láminas de riego. La respuesta de *Eucalyptus globulus* (Labill.) en sus primeros 6 meses desde la plantación, expresada en función del crecimiento en altura y diámetro fustal, así como el consumo de agua del suelo, han resultado estadísticamente diferentes para las diferentes láminas de riego deficitario y excesivo evaluadas.

El consumo de agua de cada tratamiento ha sido estimado con un grado aceptable de aproximación, mediante el uso de la bandeja de evaporación y la función $Kc = f(t)$; esta estimación ha sido corroborada satisfactoriamente con el balance hídrico, basado en el análisis de la variación diaria de los perfiles de humedad del suelo, y también con los resultados de las mediciones tensiométricas diarias. El crecimiento mayor y el consumo de agua mayor se ha obtenido en las parcelas experimentales que reciben la lámina de riego correspondiente al tratamiento 125% ET, lo que indica la necesidad de incrementar los valores de la función $Kc = f(t)$ en un 12%, para la temporada 1996-1997.

Los resultados obtenidos con el uso de la cámara de presión, para determinar la tensión del agua en la hoja como un índice de estrés hídrico del árbol, no han sido concluyentes, posiblemente por haberse efectuado las mediciones durante las horas de luz. El uso del tensiómetro infrarrojo diferencial para establecer el ISH, indica que esta técnica puede ser de utilidad en plantaciones jóvenes de *Eucalyptus globulus* (Labill.), ya que las lecturas obtenidas son estadísticamente diferentes para cada tratamiento de riego.

RESUMEN

La respuesta en crecimiento y el consumo de agua de la especie *Eucalyptus globulus* (Labill.) para diferentes láminas de riego, es evaluada en ensayos de campo en 4 localidades del área central de Chile, entre la V y VIII Regiones. Se evalúa el efecto de láminas de riego deficitarias y excedentes, con respecto a la ET diaria, estimada como el producto de la evaporación diaria desde una bandeja de

evaporación standard clase A (USWB) (Eb), y el valor diario del coeficiente de evapotranspiración (ET), $Kc = f(t)$. El riego diferencial correspondiente a cada tratamiento es obtenido modificando la densidad y descarga de goteros en el lateral de riego.

La respuesta en crecimiento de los árboles es significativamente diferente para cada tratamiento; tanto los árboles regados en forma deficitaria como excesiva, en relación con la ET estimada, presentan un menor crecimiento en altura, diámetro fustal y consumo de agua del suelo, en relación con el tratamiento correspondiente a la reposición diaria de 125% de la ET estimada; este resultado indica que la función $Kc = f(t)$ utilizada subestima los requerimientos hídricos reales de la plantación aproximadamente en un 12%. Por medio de un balance hídrico diario, realizado en dos intervalos de 5 días consecutivos en el verano de 1996, se determina el consumo efectivo de agua y los perfiles de humedad para cada tratamiento. Los resultados obtenidos son muy similares a aquellos

correspondientes a la estimación del consumo diario de agua, basada en $Eb * Kc$, para cada tratamiento de riego diferencial.

En la búsqueda de algún parámetro que permita definir la condición hídrica del árbol para cada tratamiento de riego, se evalúa el uso del índice de estrés hídrico de la planta (ISH), determinado con un termómetro infrarrojo diferencial, la tensión del agua en la hoja, determinada mediante la cámara de presión de Scholander, y la tensión del agua en el suelo, en base a lecturas tensiométricas diarias, obtenidas con tensómetros convencionales. Los resultados obtenidos con estas determinaciones permiten concluir que la medición de la tensión del agua en la hoja no es un indicador efectivo de la condición hídrica del árbol; asimismo, el ISH es una técnica promisoriosa, al menos para la primera temporada de crecimiento, y que el uso del tensiómetro es una posibilidad efectiva para establecer la concordancia entre la ET efectiva con la lámina de riego aplicada.

REFERENCIAS

- ANDERSON, M. C. 1981. The geometry of leaf distribution in some South-eastern Australian forests. *Agric. Meteorol.* 25:195-205.
- CALDER, I.R. 1985. What are the limits on forest evaporation?. *J. Hydrol.* 82: 179-192.
- CALDER, I.R. 1986. Water use of Eucalyptus-a review with special relevance to South India. *Agric. Water Manag.* 11:333-342.
- CALDER, I.R. 1990. Evaporation in the uplands. John Wiley & Sons Ltd. Chichester, England.
- CALDER, I.R. 1991. Implications and assumptions in using the total count and convection-dispersion equations for tracer flow measurements in trees. *J. Hydrol.* 124:145-158.
- CALDER, I.R. 1992. Deuterium tracing for the estimation of transpiration from trees. *J. Hydrol.* 125:149-158.
- CARBON, B.A., G.A. BARTLE Y A.M. MURRAY. 1981. Patterns of water stress and transpiration in jarrah (*Eucalyptus marginata*) forests. *Austr. For. Res.* 11:191-200.
- CLAWSON, K Y B.L. BLAD. 1988. Infrared thermometry for scheduling irrigation. *Agron. J.* 74:311-316.
- COTEZEE, J. 1995. Mensuration of Herdwoods. Institute for Commercial Forestry Research. Ann. Report.
- COTEZEE, J. Y S. NAICKER. 1995. Tree volume and Taper equations for Eucalyptus smithii. Institute for Commercial Forestry Research. Bull. Series 12/95.
- COLQUHOUN, I.J., R.W. RIDGE, D.T. BELL, W.A. LONERAGAN Y J. KUO. 1984. Comparative studies in selected species of Eucalyptus used in rehabilitation of the northern jarrah forest. *Aust. J. Bot.* 32:37-373.
- CROMBIE, D.S., J.T. TIPPETT Y T.C. HILL. 1988. Dawn water potential and root depth of trees and understorey species in south-western Australia. *Austral. J. Bot.* 36:621-631.
- DOORENBOS, J. Y A.H. KASSAM. 1986. Yield - water relations. *FAO Irrigation and Drainage Series N° 33.*
- DYE, P.J., B.W. OLBRICH Y I.R. CALDER. 1993. A comparison of the heat pulse method and Deuterium tracing method for measuring transpiration from Eucalyptus grandis trees. *J. Exp. Bot.* 43:337-343.
- DYE, P.J. 1987. Estimating water use by Eucalyptus grandis with the Penman - Monteith equation. *Management. Proc. of the Vancouver Symposium* pp. 329:337.
- FELLER, M.C. 1981. Water balances in Eucalyptus regnans, E. obliqua and Pinus radiata forests in Victoria. *Austr. For.* 3:153-161.
- GREENWOOD, E. A. N., L. KLEIN, J.D. BERESFORD, G.D. WATSON. 1985. Differences in annual evaporation between grazed pasture and Eucalyptus species in plantations on a saline farm catchment. *J. Hydrol.* 78:261-278.
- GUROVICH, L., 1989. Una nueva técnica para determinar las necesidades de riego en huertos y parronales. *Revista Aconex* 26: 21-26.
- GUROVICH, L. 1991. «Manual de Riego Programado de los Frutales». Publicación Corfo - U. Católica, 600 p.
- HARDING, R. J. Y ROSIER, P. T. W., 1988. Water use of fast growing tree species. *J. Appl. Hydrol.* 9:25-37.
- HILLEL, D. 1980. Applications of soil physics. Academic Press. New York.
- JARVIS, P. G. 1976. The interpretation of the variations in leaf water potential and stomatal conductance found in canopies in the field. *Philos. Trans. R. Soc. London Ser. B* 273:593-610.
- JENSEN, M. E., BURMAN, R. D. Y ALLEN, R. G. 1989. Evapotranspiration and irrigation water requirements. *ASCE Manuals of Engineering Practice* 70.
- KALLARACKAL, J., 1992. Water use of Eucalyptus in Kerala. En: I. Calder (editor) *Eucalyptus production*. Wiley, New York. pp. 290-297.
- KARSCHON, R. Y HETH, D. 1967. The water balance of a plantation of Eucalyptus camaldulensis. *Contributions on Eucalyptus in Israel, Vol III:* 7-34.
- KIMMINS, J. P. 1986. *Forest Ecology*. Macmillan, New York, USA.
- LANDSBERG, J. J., 1986. *Physiological Ecology of Forest Production*. Academic Press. London. England.
- LIMA, W. P. 1984. The hydrology of Eucalyptus forests in Australia. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, University of San Paulo, Brazil.
- NEWSON, M. D. Y CALDER, I. R. 1989. Forests and water resources: problems of prediction on a regional scale. *Phil. Trans. R. Soc. London, Ser. B:* 324:283-298.
- PEREIRA, J. S., TENHUNEN, J. D., LANGWE, O. L., BEYSCHLANG, W., MEYER, A. Y DAVID, M. M., 1986. Seasonal and diurnal patterns in leaf gas exchange of Eucalyptus globulus (Labill.) trees growing in Portugal. *Can. J. For. Res.* 16:177-184.
- PEREIRA, J. S., TENHUNEN, J. D., LANGWE, O. L., 1987. Stomatal control of photosynthesis of Eucalyptus globulus (Labill.) trees under field conditions in Portugal. *J. Exp. Bot.* 38:1678-1688.
- ROBERTS, J. M., ROSIER, P. T. W. Y SRINIVASA, M., 1992. Physiological studies in young Eucalyptus stands in Southern India and their use in estimating forest transpiration. *J. Hydrol.* 55:226-243.
- SCHOLANDER, P. F., HAMMEL, H. T., HEMMINGSEN, E. A. Y BRADSTREET, E. D. 1965. Sap pressure in plants. *Science* 148:339-346.
- SHARMA, M. L. 1984. Evapotranspiration from a Eucalyptus community. *Agric. Water Manag.* 8:41-56.
- VANDANA, S., Y BANDYOPADHYAY, J. 1982. Social forestry - no solution within the market. *The Ecologist* 12:158-168.