

# INTERCEPTACIÓN DE LA LLUVIA POR UN BOSQUE DE LAURISILVA EN LAS ISLAS CANARIAS. AJUSTE DEL MODELO ANALÍTICO DE GASH Y DEL MODELO DE RUTTER

Jesús R. Aboal

Área de Ecología. Departamento de Biología Fundamental. Universidad de Santiago de Compostela

## RESUMEN

La precipitación penetrante, el escurrido cortical, la precipitación incidente y las variables meteorológicas necesarias para la estimación de la evaporación potencial fueron medidas durante un año en un bosque de laurisilva en Tenerife. Las pérdidas por interceptación observadas fueron comparadas con las predichas mediante la utilización de los modelos de Rutter y Gash. Todas las estimas predijeron las pérdidas por interceptación de manera adecuada, siendo la mejor predicción la obtenida por el modelo de Gash (sólo un 2% de sobrestimación de la medición total durante el periodo de estudio), mostrando el método de estimación de  $r_a$  poco efecto. La aplicación del modelo de Gash a datos de lluvia de treinta años (196 -1997) del área de estudio indican unas pérdidas medias por interceptación del 30% de la lluvia, con un máximo del 41% en 1995. Las grandes diferencias entre nuestros resultados y los previos son atribuibles tanto a características de la cubierta (una alta capacidad de almacenamiento, 2.45 mm) y las características climáticas (una baja tasa de evaporación durante la fase de post-saturación de la lluvia, 0.028 mm h<sup>-1</sup>, debido a la presencia del mar de nubes).

## 1. INTRODUCCIÓN

El interés de la investigación de la evaporación por interceptación de la lluvia es debido a que ésta representa la principal causa en la diferencia de recogida de caudales entre cuencas (GASH & MORTON, 1978), dependiendo en gran medida de ella el efecto cuantitativo de los bosques sobre los recursos hídricos (GASH et al. 1980). Así, se sabe que las cubiertas vegetales interceptan la mayoría de la lluvia, y controlan su posterior evaporación, y drenaje desde las mismas (JETTEN, 1996). Por consiguiente las tasas de interceptación afectan a la hidrología local en términos de volúmenes y tiempos de escorrentía (LLOYD et al., 1988).

El conocimiento de este proceso en un territorio insular como el que nos ocupa, donde el agua es un bien escaso y precioso, es imprescindible. Además diferentes tipos de políticas someten a cambios continuos a la cubierta vegetal sin que se evalúe la influencia de los mismos sobre la hidrología, siendo el conocimiento de la interceptación un requisito para la predicción cuantitativa de los efectos de la deforestación (GASH et al. 1980).

Son nuestros objetivos: (1) Estimar los parámetros de la interceptación de la lluvia;

(2) Ajuste del método de RUTTER *et al.* (1971) en un bosque de laurisilva; (3) Ajuste del método analítico de GASH (1979) en un bosque de laurisilva.

**2. MATERIAL Y MÉTODOS**

**2.1. Área de Estudio**

La parcela experimental se encuentra en el Monte de Agua García (UTM X=362464; Y=3148692) en el norte de Tenerife, en el área protegida de Las Lagunetas, a 820-830 m de altitud. La pendiente varía entre los 8° y los 12°. El clima es húmedo mediterráneo, con valores observados en los últimos 30 años de una temperatura media anual de 14.0 °C, con un máximo absoluto de 39.0 °C y un mínimo de 0.2°C. La humedad relativa media anual es del 80%, y la precipitación de 733 mm. La vegetación corresponde a un bosque de laurisilva en regeneración y su estructura ha sido previamente descrita (MORALES *et al.*, 1996 a, b).

**2.2. Diseño Experimental**

La precipitación penetrante fue medida en 40 colectores (embudos de 17 cm de ø) dispuestos aleatoriamente y en posiciones fijas. El escurrido cortical fue medido en 30 árboles, seleccionando 5 por cada especie, y uno aleatoriamente por cada clase diamétrica resultante de dividir el rango de diámetros de cada especie entre 5. La recogida del escurrido cortical se realizó por el método estándar de collares de caucho alrededor de los troncos. Ambas mediciones fueron realizadas a intervalos semanales exceptuando los periodos de llu-

vias intensas en los cuales fueron realizadas tras cada evento.

**2.3. Instrumentos meteorológicos**

Una estación meteorológica automatizada estándar fue instalada en lo alto de una torre (de 17 m de altura), dos metros sobre la cubierta. La lluvia fue recogida por un pluviómetro automático (model Skye, Int.

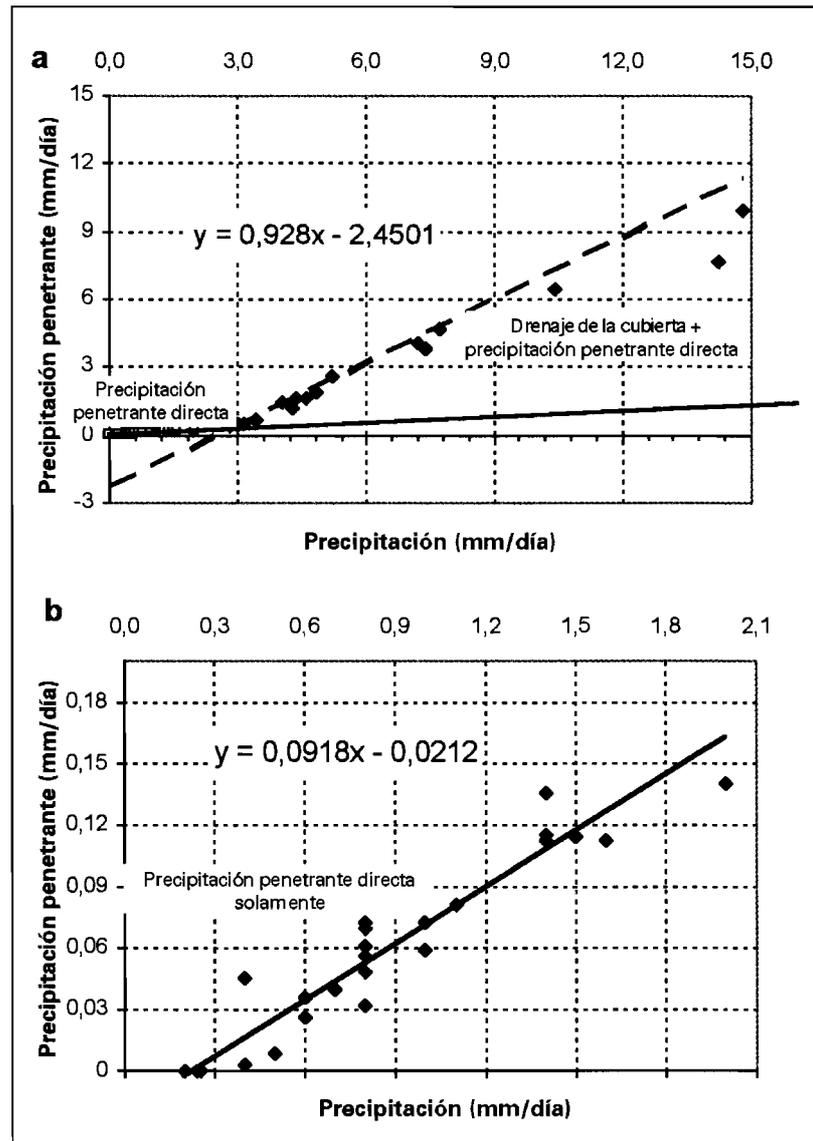


Figura 1a.- La relación entre la precipitación y la precipitación penetrante para los días con más de 2 mm de precipitación. b La relación entre la precipitación y la precipitación penetrante para los días con menos de 2 mm de precipitación.

Llandridod, U.K.) y otro manual. La temperatura y humedad del aire fueron medidas por un sensor combinado (Model RHA1, Delta-T Devices Ltd, Cambridge, England) y la radiación con un piranómetro (model SKS 1110, Skye, Int. Llandridod, U.K.). Para la obtención de datos de viento un anemómetro se montó sobre la torre (model Skye, Int. Llandridod, U.K.). Todos estos datos meteorológicos se recogieron en un registrador (Delta-T Devices Ltd, Cambridge, England). Los datos se tomaron cada minuto y se almacenaron las medias cada 30 minutos. La radiación neta se calculó de acuerdo con Penman (1956), con un valor  $a$  de 0,16 para el presente bosque (ASCHAN *et al.*, 1997).

#### 2.4. Procedimientos

Las pérdidas por interceptación fueron determinadas como la diferencia medida entre la precipitación y la precipitación penetrante más el escurrido cortical. En nuestro caso los pluviómetros de precipitación penetrante no recogían los datos de manera diaria por lo que para realizar los análisis posteriores en los que se precisan datos diarios, se recurrió a examinar los registros de precipitación escogiendo los periodos en los que sólo había llovido un evento de acuerdo con JETTEN (1996) y HÖERMANN *et al.* (1996). Los registros meteorológicos fueron almacenados cada 30 minutos para posteriormente promediarse en registros horarios de acuerdo con RUTTER (1971, 1975), GASH y MORTON (1978), LOYD *et al.* (1988). En nuestro caso, para comparar los resultados, del mismo modo al empleado por JETTEN (1996), se integraron los resultados de interceptación calculada a los periodos de medidas de la precipitación penetrante, realizando lo mismo con los resultados de los modelos de Rutter y de Gash.

#### 2.5. Modelos de Interceptación de la lluvia

El modelo de Rutter se encuentra perfectamente descrito por RUTTER *et al.* (1971) generalizado y reformulado posteriormente por RUTTER *et al.* (1975), y para cubiertas abiertas por VALENTE *et al.* (1997). El modelo realiza

un balance hídrico de la cubierta y los troncos, en donde las entradas son las cantidades de lluvias cada hora y los parámetros meteorológicos necesarios para estimar la evaporación potencial (calculada a partir de la ecuación de Monteith-Penman (MONTEITH, 1965), teniendo como resultados la precipitación penetrante, el escurrido cortical y la evaporación de agua interceptada. El modelo analítico de Gash (1979) es una simplificación del modelo de Rutter basado en eventos singulares de lluvia, que se calibra utilizando datos meteorológicos horarios, y posteriormente se desarrolla mediante valores de lluvia diarios, tales como la tasa media de evaporación y lluvia y los patrones de lluvia, así mismo utiliza para la estima parámetros de la estructura de la cubierta. Este modelo ha sido reformulado posteriormente GASH *et al.* (1995) y VALENTE *et al.* (1997) para cubiertas abiertas.

#### 2.6. El cálculo de los parámetros de la estructura de la cubierta

La capacidad de la cubierta,  $S$ , fue determinada mediante el método de LEYTON *et al.*, (1967), el coeficiente de precipitación libre  $p$ , fue determinada también de acuerdo con LEYTON *et al.* (1967) y mediante un método fotográfico (se utilizaron 40 fotografías tratadas con software de imagen para contar el número de píxeles claros (cielo abierto) y los píxeles oscuros (cubierta)). La resistencia aerodinámica se calculó mediante dos métodos de la ecuación del *momentum* o del calor; el primero de ellos se realizó por medio de correcciones de estabilidad propuesto por THOM (1975), y el segundo de acuerdo con GARRATT y FRANCEY (1978). El cálculo de los parámetros del escurrido cortical  $p$  y  $pt$  se realizó gráficamente. Por último la tasa de drenaje se calculó de acuerdo el procedimiento de Rutter *et al.* (1975) con correcciones (Lloyd *et al.*, 1988 y Jetten, 1996).

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

La capacidad de almacenamiento de la cubierta  $S$  fue determinada en 2,45 mm (Fig.1a). El coeficiente de precipitación

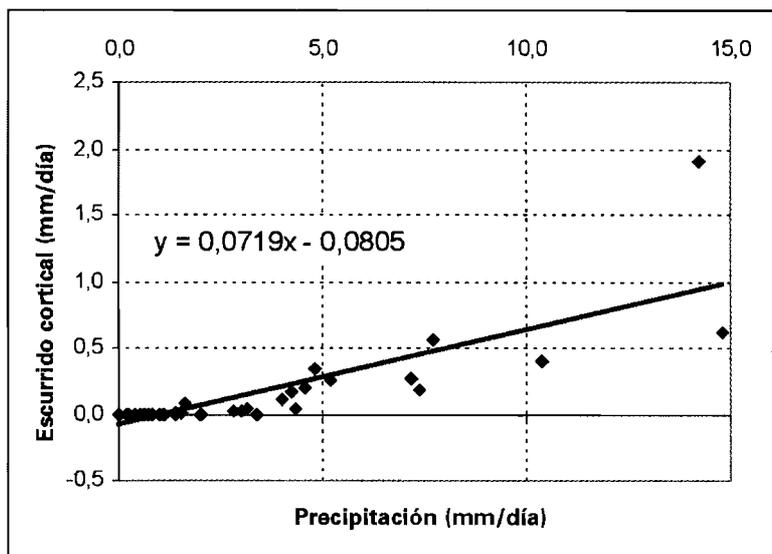


Fig. 2 La relación entre las cantidades (mm) de precipitación y del escurrido cortical diario.

penetrante libre  $p$  con un valor de 0,0918 mediante el método gráfico (Fig. 1b) y 0,0715 mediante el fotográfico. El valor del coeficiente de escurrido cortical  $pt$  es de 0,07 y el de la capacidad de saturación de los troncos  $St$  es de 0,08 (Fig. 2), el mejor valor de  $e$  probado fue de 0,09.

Ya que la resistencia aerodinámica está en función del viento, siendo el resto de los parámetros constantes para una cubierta, se puede calcular de acuerdo con ROBINS (1969) un valor para la  $f$  ( $f = r_a \cdot u$ ). Así se obtuvo de este modo mediante el método del *momentum* un valor para la  $f$  de 14,92, y mediante el método del calor se obtuvo un valor de la  $f$  de 33,44. Se obtuvieron los valores de  $D_s$  de 0,00467 y de  $b$  de 1,58571.

El parámetro climatológicos  $\bar{E}$  tuvo diferentes valores dependiendo del método de cálculo empleado para la determinación de  $r_a$ , así para el *momentum* el valor fue de 0,042 mm h<sup>-1</sup>, mientras que para el calor fue de 0,028 mm h<sup>-1</sup>. Así mismo el parámetro climatológico  $\bar{R}$ , tuvo un valor para los mismos datos de 1,64 mm h<sup>-1</sup>. Los valores  $P_G$  fueron diferentes según el método aplicado, para el cálculo de la evaporación, con la  $r_a$  del *momentum* tuvo el valor de 2,89 mm y para la  $r_a$  del calor 2,88 mm.

Los modelos fueron aplicados durante los meses de diciembre de 1994 a noviembre de 1995, representándose los resultados de la evaporación por interceptación calculada y los resultados medidos con sus errores (Fig. 3), las pérdidas por interceptación medidas fueron 138,8 mm, o un 42,8% de la precipitación; mientras que las estimadas fueron: para el método de Rutter con el cálculo de  $r_a$  del *momentum* 125,6 mm o un 38,7% de la precipitación, para el método de Rutter con el cálculo de la  $r_a$  del calor 119,81 mm o un 36,9% de la precipitación; para el método de Gash con cálculo de la  $r_a$  del *momentum* 142,6 mm o un 43,9% de la precipitación y por

último para el método de Gash con cálculo de la  $r_a$  del calor 141,6 mm o un 43,6% de la precipitación. Tal y como se observa en la Fig. 3 donde se representan los errores como una banda cuyo valor central es la medida, las predicciones de todos los modelos están dentro de este intervalo de error.

La ventaja que conlleva el método de Gash es que una vez calculados los parámetros necesarios es factible su aplicación a diferentes años de la misma estación siempre que se tengan los registros diarios de precipitación. En nuestro caso la estación meteorológica sobre la torre no tiene una suficiente serie de registros pero la estación cercana (sobre 500 m, al lugar de estudio) del Instituto Nacional de Meteorología, con un periodo de registro de 30 años (1967-1997), si la posee. Al aplicar el método de Gash a todo el periodo, se obtiene un valor de 24,1±0,9%, un máximo de 32,9% en el año de año 1995, coincidente en parte con el periodo de estudio, y un mínimo 14,9% en el año 1968. Al aplicar el método a los datos de precipitación obtenidos sobre la torre durante el año de 1995 se obtiene un valor del 36%, lo que crea una diferencia del 20%, al aplicar un 20% de infraestimación para la media obtenida para los valores de la estación meteorológica del INM, se obtiene un valor de 28,92%.

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Este resultado obtenido para  $S$  (2,45 mm) es un valor alto, ya que usualmente los valores para todo tipo de vegetación se hallan por debajo de 1 (ABOAL, 1998), este valor sólo es comparable a determinadas formaciones de frondosas bien en bosques de hayas con 2,6 (ELLING *et al.*, 1990), bosques de laurisilva de *Nothofagus* en Nueva Zelanda 0,6-2 (ROWE, 1983) o en los bosques tropicales australianos con valores entre 2,2 y 8,3 (HEWIRTZ, 1985). Los valores del coeficiente de precipitación penetrante libre son similares mediante los dos métodos. Mediante el método del

*momentum* se obtuvo un valor para la  $f$  de 14,92, que se halla en el rango de los calculados por RUTTER *et al.* (1971) de 9,8 y LLOYD *et al.* (1988) con un valor de 29,2/34,2. Los valores de  $pt$  y el de  $St$  se encuentran en el rango de las diferentes vegetaciones, tanto para frondosas como para coníferas de acuerdo con la revisión efectuada por Aboal (1998), en la que para los diferentes bosques donde se ha aplicado estos modelos  $pt$  varió entre 0,29-0,008 y  $St$  entre 0,9 y 0,014. Respecto a los parámetros climatológicos el valor de  $\bar{E}$  es un valor extremadamente bajo, sólo comparable a los bosques de hayas en Alemania donde varía de 0,01 a 0,05 (HÖERMANN *et al.*, 1996), hallándose habitualmente unan magnitud por encima y teniendo valores extremos para la vegetación semiárida de México de 2,95 (NAVAR & BRYAN, 1994); el bajo valor puede ser debido a que en esta zona de Tenerife las lluvias se suelen producir auspiciadas por el Alisio cargado de humedad. El valor de  $\bar{R}$  fue sin embargo a diferencia del anterior perfectamente normal y dentro del rango de los valores encontrados (ABOAL, 1998).

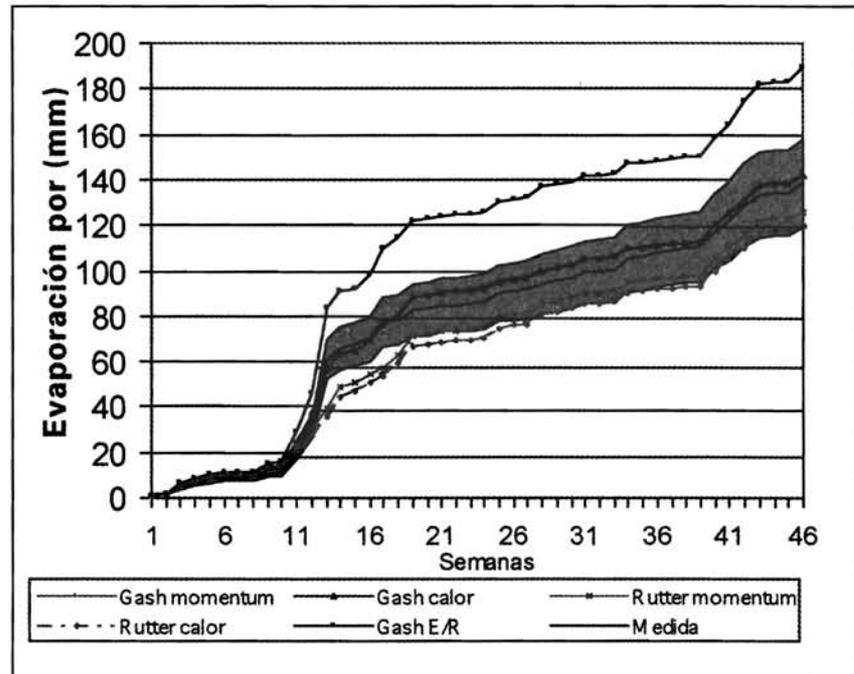


Fig. 3. Evaporación por interceptación acumulada frente al tiempo, estimada por cada método y medida. La franja representa el intervalo de error de la evaporación por interceptación medida.

Al comparar el resultado obtenido al aplicar el método de Rutter con  $r_a$  del *momentum*, con otros resultados de la aplicación de este método en otros bosques del mundo observamos que en casi todos los de frondosas y tropicales a excepción del bosque amazónico el método tiende a infraestimar (el cociente entre el valor calculado varía del 68% al 99%), al igual que el resultado obtenido. Al comparar el resultado obtenido al aplicar el método de Gash con  $r_a$  del *momentum*, con otros resultados de la aplicación de este método en otros bosques del mundo observamos como los ajustes tienden a ser mejores que los estimados por el método de Rutter, al igual que en nuestro caso, y como el cociente entre los valores calculados y medidos en el presente trabajo, que es de 103%, está en el rango de los valores de la bibliografía. Comparando los resultados como porcentaje de repartición de las pérdidas de interceptación debida a cada fase de la lluvia, al aplicar el método de Gash con  $r_a$  del *momentum*, con otros resultados de la aplicación de este método en otros bosques del mundo, observamos como no existe ningún

patrón estricto; aunque no obstante los resultados obtenidos en este caso difieren bastante al resto, seguramente debido al régimen de lluvias existente en este tipo de ecosistema y su alta capacidad de saturación, que producen un alto porcentaje de lluvias incapaces de saturar la cubierta, y a la baja evaporación durante la lluvia que produce que la evaporación antes de que la lluvia cese sea extremadamente baja. Tanto en el periodo medido como en el aplicado (1967-1997) observamos como son los dos valores más altos correspondientes a la evaporación después de que la lluvia cese, estando este resultado de acuerdo con el alto valor de saturación de la cubierta.

El valor obtenido se podría comparar con los de otros ecosistemas del planeta, pero como las diferencias son debidas a la composición y densidad de la cubierta vegetal y de las condiciones meteorológicas existentes durante la lluvia (LARCHER, 1995), no existe ningún otro lugar comparable estrictamente al de estudio, sin embargo de acuerdo con LARCHER (1995) en bosques mixtos de la zona templada varía entre un 15-30% de la precipitación total, 28,9% en el caso de estudio entrando dentro de este rango y coincidiendo con el bosque más afín a la laurisilva existente en la bibliografía que es un bosque mixto dominado por *Nothofagus sp.* en Nueva Zelanda con un valor del 29%.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- ABOAL, J.R. 1998. Los flujos netos hidrológicos y químicos asociados en un Bosque de Laurisilva en Tenerife. Thesis Ph D. Dissertation. Universidad de La Laguna.
- ASCHAN, G. LOSCH R. JIMÉNEZ, M.S. & MORALES, D., 1997. Energiebilanz von Waldbeständen in nicht-idealem Gelände-Abschätzungen auf der Grundlage von standörtlicher Klimaerfassung und flankierenden Gaswechselfmessungen am Beispiel eines Lorbeerwaldbestandes auf Teneriffa. Eco. Sys. Suppl.-Bd. 20:145-160.
- ELLING, W., HÄCKEL, H. & OHMAYER, G., 1990. Schätzung der aktuellen nutzbaren Wasserspeicherung (ANSW) des Wurzelraumes von Waldeständen mit hilfe eines simulations-modells. Forstw. Zbl. 109:210-219.
- GARRATT, J.R. & FRANCEY, R.J., 1978. Bulk characteristics of heat transfer in the baroclinic atmospheric boundary layer. Bound-Lay. Meteorol. 15:399-421.
- GASH, J.H.C., 1979. An analytical model of rainfall interception by forest. Q. J. Roy. Meteor. Soc. 105:43-55.
- GASH, J.H.C. & MORTON, A.J., 1978. An application of the Rutter Model to the estimation of the interception loss from the forest. J. Hydrol. 38: 49-58.
- GASH, J.H.C., WRIGHT, I.R. & LLOYD, C.R., 1980. Comparative estimates of interception loss from three coniferous forests in Great Britain, J. Hydrol. 48:89-105.
- GASH, J.H.C., LLOYD, C.R. & LACHAUD, G., 1995. Estimating sparse forest rainfall interception with an analytical model. J. Hydrol. 170:79-86.
- HERWITZ, S.R., 1985. Interception storage and capacities of tropical rainforest canopy trees J. Hydrol. 77:237-252.
- HÖERMANN, G., BRANDING, A., CLEMEN, T., HERBST, M., HINRICHS, A. & THAMM, F., 1996. Calculation and simulation of wind controlled canopy interception of beech forest in Northern Germany. Agr. Forest Meteorol. 79:131-148.
- JETTEN, V.G. 1996. Interception of tropical rain forest: performance of a canopy water balance model. Hydrol. Process. 10:671-685.
- LARCHER, W., 1995. Water economy in plant communities In Larcher W. (ed.) Physiological Plant Ecology. 2° Edition. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo.
- LEYTON, E.R., REYNOLDS & THOMPSON, F.B., 1967. Rainfall interception in forest and moorland. Processing from International Symposium held at University Park, Pennsylvania, Aug-Sept 1965, Forest Hydrology, In: Sopper, W.E. and LULL, H.W. (Eds.), Pergamon Press, Pergamon Press, Oxford/London/Edinburgh/New

York/Toronto/Sydney/Paris/Braunschweig, pp. 163-178.

LLOYD, C.R., GASH, J.H.C., SHUTTLEWORTH, W.J. & MARQUES, F. A. DE O., 1988. The measurement and modelling of rainfall interception by Amazonian Rain Forest. *Agric. For. Meteorol.*, 43:277-294.

MONTEITH, J.L. 1965. Evaporation and environment. *Symposia of the society for Experimental Biology*. 19:205-234.

MORALES, D. JIMÉNEZ, M.S. GONZALEZ-RODRIGUEZ, A.M. & CERMAK, J. 1996a. Laurel forests in Tenerife, Canary Islands: I. The site, stand structure and stand leaf area distribution. *Trees* 11: 34-40.

MORALES, D. JIMÉNEZ, M.S. GONZALEZ-RODRÍGUEZ, & A.M. CERMAK, J. 1996b. Laurel forests in Tenerife, Canary Islands: II. Leaf distribution patterns in individual trees. *Trees* 11: 41-46.

NÁVAR, J. & BRYAN, R.B. 1994. Fitting the analytical model of rainfall interception of Gash to individual shrubs of semi-arid vegetation in northeastern México. *Agricultural Forest Meteorol.* 68:133-143.

PENMAN, H.L. 1956. Evaporation-an introductory survey. *Neth. J. Agr. Sci.*, 4:9-29.

ROBINS, P.C. 1969. Comparative studies of evaporation from *Pinus nigra* and *Psudotsuga menziesii*, with particular reference to air stomatal resistances. Thesis, Univ. London, 151 pp.

ROWE, L.K. 1983. Rainfall interception by an evergreen beech forest, Nelson, New Zealand. *J. Hydrol.* 66:143-158.

RUTTER, A.J. KERSHAW, K.A., ROBINS, P.C. & MORTON A.J. 1971. A predictive model of rainfall interception in forest, 1. derivation of the model from observation in a plantation of corsican pine. *Agr. Meteorol.* 9:367-374.

RUTTER, A.J. MORTON A.J. & ROBINS, P.C. 1975. A predictive model of interception loss in forest. II. Generalization of the model and comparison with observations in some coniferous and hardwood stands. *J. Appl. Ecol.* 12:367-380.

THOM, A.S. 1975. Momentum, mass and heat exchange of plant communities. In: J.L. Monteith (Ed.), *Vegetation and Atmosphere*. Vol. 1. Academic Press, London.

VALENTE, S., DAVID, J.S. & GASH, J.H.C., 1997. Modelling interception loss for two sparse eucalypt and pine forests in central Portugal using reformulated Rutter and Gash analytical models. *Journal of Hydrology*. 190:141-162.