

VIERAEA	Vol. 28	15-29	Santa Cruz de Tenerife, diciembre 2000	ISSN 0210-945X
---------	---------	-------	--	----------------

Evaluación de la Precipitación de Niebla a Través de la Precipitación Penetrante

JESÚS ABOAL VIÑAS*, MARÍA SOLEDAD JIMÉNEZ PARRONDO** y
DOMINGO MORALES MÉNDEZ**

**Área de Ecología, Facultad de Biología, Universidad de Santiago de Compostela, 15.701, Santiago de Compostela, A Coruña, España.*

***Departamento de Biología Vegetal, Facultad de Farmacia, Universidad de La Laguna, 38.207, La Laguna, Tenerife, España.*

Aboal Viñas, J., Jiménez Parrondo, M. S. & Morales Méndez, D. (2000). Evaluation of Fog Precipitation through the throughfall. *VIERAEA* 28: 15-35.

ABSTRACT: The importance of fog precipitation has been evaluated in a laurel forest experimental plot situated in Agua García, Tenerife, through the quantification of the throughfall during more than a year of measurement. The throughfall represented 52% of incident precipitation with an error of $\pm 5,9\%$, due to spatial variation. Simple and multiple regression analysis were made with the weekly values of throughfall and they were well correlated with the amount and intensity of the incident precipitation but not with the variables related with the fog precipitation. It was concluded that in the experimental plot the fog precipitation does not contribute with significative amounts in the total of throughfall.

Key Words: Canarian Laurel forest, incident precipitation, fog precipitation, throughfall.

RESUMEN: En el presente trabajo se evalúa la importancia de la precipitación de niebla en una parcela experimental de Laurisilva en Agua García, Tenerife, a través de la cuantificación de la precipitación penetrante durante más de un año de medidas. La precipitación penetrante representó un 52% de la precipitación incidente con un error estimado que asciende al $\pm 5,9\%$, debido a su variabilidad espacial. Con los valores de precipitación penetrante obtenidos semanalmente, se realizaron análisis de regresión simple y múltiple resultando estar correlacionados con la cantidad e intensidad de la precipitación incidente y no con las variables relacionadas con la precipitación de niebla, concluyendo por tanto que en el citado lugar de experimentación, la precipitación de niebla no aporta cantidades significativas en el total de la precipitación penetrante.

Palabras Clave: Laurisilva canaria, precipitación incidente, precipitación de niebla, precipitación penetrante.

INTRODUCCIÓN

Los estudios sobre hidrología forestal en Canarias, a pesar de su evidente importancia, han sido pocos y de escasa entidad. Dada la frecuente presencia de nieblas en nuestros bosques la mayoría son principalmente referidos a ellas, entre los que destacan los realizados por MICHAELI (1973), KÄMMER (1974) y los experimentos del Patrimonio Forestal del Estado entre 1968-1973 e ICONA, cuyos resultados elaboró SANTANA (1986 y 1990).

Las entradas hídricas atmosféricas a los ecosistemas forestales son las debidas a la precipitación que incide sobre la cubierta y las precipitaciones ocultas o criptoprecipitaciones. Estas últimas fueron definidas por BAUER (1963) como las precipitaciones adicionales, es decir, las que no se pueden medir con el pluviómetro normal, como son las nieblas (gotas de pequeño diámetro, 0,001-0,5 mm, que tienen velocidades de caída por debajo de $0,3 \text{ m s}^{-1}$, flotan en el aire y son transportadas por el viento horizontalmente, y que chocan contra la cubierta y son así interceptadas) y el rocío (que proviene de la condensación del agua sobre la misma cubierta).

Para la comprensión de las diferencias entre estos tipos de aportes es indispensable el tratamiento de la cubierta como un sistema al que entra y del que sale agua, como se ha venido empleando en la modelización de la hidrología forestal (RUTTER *et al.*, 1971, 1975; GASH, 1979; GASH *et al.*, 1995; VALENTE *et al.*, 1997) de modo que la cantidad final de aporte hídrico al suelo está completamente controlada por el sistema de la cubierta.

Un parte de la precipitación incidente llega al suelo directamente atravesando la cubierta (precipitación directa), otra es interceptada por la cubierta, evaporándose posteriormente desde ella (pérdida por interceptación), o alcanzando el suelo tras drenar (drenaje de cubierta) o tras escurrir a través de ramas y troncos (escurrido cortical). Teniendo en cuenta la poca importancia del escurrido cortical en algunos bosques de la laurisilva canaria (7 % de la precipitación anual, ABOAL, 1998, ABOAL *et al.* 1999), podemos considerar, en estos casos, que la principal vía de transferencia de la cubierta al suelo procede de la precipitación directa y/o del drenaje de la cubierta, lo que se denomina precipitación penetrante.

En el caso de los aportes de las precipitaciones ocultas, también se producen procesos de evaporación o de drenaje desde la cubierta. Por lo que en aquellos bosques en los que las nieblas son frecuentes el concepto clásico de precipitación penetrante sufre algunas variaciones, ya que existirá un aporte de las precipitaciones ocultas que se incluirá en la precipitación penetrante, y estos aportes sólo se pueden diferenciar en el caso de que se detecte drenaje en ausencia de precipitación incidente. La evaporación de las precipitaciones ocultas es un proceso de difícil medida (BAUER, 1963) que sólo se podría llevar a cabo de forma directa mediante el uso de radiaciones Gamma (LUNDBERG, 1996).

Por ello es muy conveniente estudiar el producto medible del proceso del drenaje de las precipitaciones ocultas, que de acuerdo con KÄMMER (1974) sería la precipitación de niebla, *sensu estricto* (el rocío de escasa magnitud estaría incluido), y según MERRIAM (1973) depende principalmente de la magnitud de las gotas de agua, la densidad de la niebla, el viento, la temperatura y finalmente el perfil, volumen y constitución de la superficie del obstáculo. Este último punto de acuerdo con SANTANA (1990) vendrá determinado por el tipo de vegetación, las características orográficas y la orientación.

El objetivo de este trabajo es la cuantificación de la precipitación de niebla, en una parcela de bosque de laurisilva canaria. Esto se realizará indirectamente a través de la cuantificación directa de la precipitación penetrante a lo largo de más de un año de medida, y la determinación del efecto de los factores mencionados anteriormente sobre ella y de la relación con la precipitación incidente durante este mismo periodo.

MATERIAL Y MÉTODOS

El lugar de investigación

El lugar de investigación se halla en la parcela experimental Hoya de la Falla Gorda en el Monte Madre del Agua de Agua García (Tacoronte), (UTM X=362464; Y=3148692), entre los barrancos Toledo y del Salto Blanco, a 820-830 m de altitud, posee una extensión de 3.390 m² y la pendiente oscila entre 8° y 12° y se ha descrito de forma detallada en artículos previos (MORALES *et al.*, 1996a,b). Los suelos de la parcela derivan de piroclastos basálticos de la serie III y pueden clasificarse dentro del Orden de los Andisoles (ABOAL, 1998).

La vegetación corresponde a un bosque de laurisilva (monte verde) que se está regenerando desde que se taló en la década de los años cuarenta. En el momento del estudio la altura media de los árboles era de aproximadamente 13,1 m, formándose la parte superior del dosel entorno a los 15,5 m. El rango de diámetros normales (Dn) inventariados fue 0,06 - 0,46 m, resultando un área basimétrica de 33,7 m² ha⁻¹ y una densidad de 1.693 árboles ha⁻¹, representando 6 especies de árboles, que en orden decreciente de área basimétrica son: *Myrica faya* Ait., *Laurus azorica* (Seub.) Franco, *Persea indica* (L.) Spreng, *Erica arborea* L., *Ilex perado* Ait. ssp. *plathyphylla* (Webb et Berth) Tutin, e *I. canariensis* Poir. El índice de área foliar fue 7,8 m² m⁻² (MORALES *et al.*, 1996a). Entre las especies que no alcanzan porte arbóreo y se hallan en el sotobosque cabe destacar *Viburnum tinus* L. ssp. *rigidum* (Vent.) P. Silva, *Asplenium onopteris* L., *Hedera helix* L., *Smilax aspera* L. *Ranunculus cortusifolius* Willd y *Smilax canariensis* Willd.

Para evaluar la heterogeneidad de la altura de la cubierta se determinó el índice de estratificación de la cubierta, como $Is = h_c - H_0$; donde Is es el índice de estratificación, h_c es la altura cuadrática, es decir la que corresponde al árbol de diámetro cuadrático y H_0 es la altura dominante es decir la que corresponde al diámetro dominante, el de los 100 árboles de mayor diámetro por hectárea.

El clima es mediterráneo húmedo con una temperatura media anual de 14,0°C (media anual de las máximas 17,7°C y media anual de las mínimas 10,7°C; máxima absoluta de 39,0°C y mínima absoluta de 0,2°C). La humedad relativa media anual es de 80%. El módulo pluviométrico medio anual de 733 mm y los valores extremos máximos y mínimos de 1.076,8 mm y 465 respectivamente. Datos tomados de la estación meteorológica situada en la casa forestal de Tacoronte-Agua García (a unos 500 m de distancia).

Medidas meteorológicas

Una estación meteorológica automatizada estándar se ubicó 2 m por encima de la cubierta vegetal (sobre una torre de madera de 19 m de altura construida sobre la

parcela experimental. La precipitación se midió con un pluviómetro automático (modelo Skye, Inst. Llandridod, U.K.), y con un pluviómetro manual estándar. La humedad relativa y la temperatura del aire se midieron con un sensor combinado (modelo RHA1, Delta-T de Devices Ltd, Cambridge, U.K.), y la radiación con un piranómetro (modelo SKS 1110, Skye, Inst. Llandridod, U.K.). Para proveer datos de la velocidad del viento se instaló también un anemómetro (modelo Skye, Inst. Llandridod, U.K.) en la torre. Todos los datos meteorológicos se registraron en un registrador de datos automático (Data Logger DL2, Delta-T Devices Ltd, Cambridge, U.K.). Los datos fueron tomados cada minuto y se registraron los promedios cada 30 minutos. Para los datos de dirección del viento, al no contar con una veleta, se recurrió a la estación meteorológica del Aeropuerto de los Rodeos, y debido a las diferencias topográficas entre ambos puntos sólo se consideraron cuatro cuadrantes con el fin de no introducir errores mesoclimáticos.

Medida de la precipitación penetrante

Se utilizaron embudos de 17 cm de diámetro con las paredes paralelas y altas para minimizar los problemas de pérdidas de agua por salpicaduras colocados sobre botellas de 5 litros, el conjunto se fijó al suelo por medio de tres segmentos de acero de 1,5 m de longitud, con el fin de que el embudo se mantuviera perpendicular al suelo y con la superficie de captación a 70 cm sobre éste. La recogida de agua se realizó a intervalos semanales, midiendo el volumen de líquido con un juego de probetas de 25, 50, 100 y 1.000 ml, eligiendo la misma con base al volumen existente con el fin de minimizar el error de medición.

De acuerdo con LLOYD & MARQUES (1988) la medida de precipitación penetrante es una variable independiente aleatoria que depende principalmente de tres factores: i) de la precipitación, ii) del error de los colectores de precipitación penetrante, iii) y de la variabilidad espacial determinada por la cubierta. Se asume que los errores de los colectores son aleatorios y la variabilidad espacial de la precipitación penetrante es usualmente un valor fijo, así que incrementando el número de pluviómetros se reducen ambas contribuciones al error de la medida de la media, ya que el efecto de la estructura de la cubierta es la única variable espacial y el incremento del número de colectores incrementa la definición de la estructura de la superficie de la cubierta, de este modo para cada bosque habrá un óptimo de colectores fijos por área (KIMMINS, 1973), por lo que desde el inicio del experimento se fue controlando semanalmente el error de la media de los pluviómetros, y tomando como compromiso la reducción del coeficiente de variación por debajo del 20%. Para ello se fue aumentando el número de pluviómetros, que siempre se colocaron al azar en una malla cuadrangular (5 m de lado) superpuesta a la parcela (Fig. 1). El estudio se inició con 15 pluviómetros (23 de septiembre de 1994), para posteriormente incrementar el número de 15 a 30 tras 6 semanas de estudio, y a 40 tras 12 semanas de estudio. De forma que las mediciones en el año 1995 completo (hasta el 31 de diciembre) se realizaron con un área total de captación de 9.079 cm², con 40 pluviómetros sin ser reubicados a lo largo del tiempo de estudio.

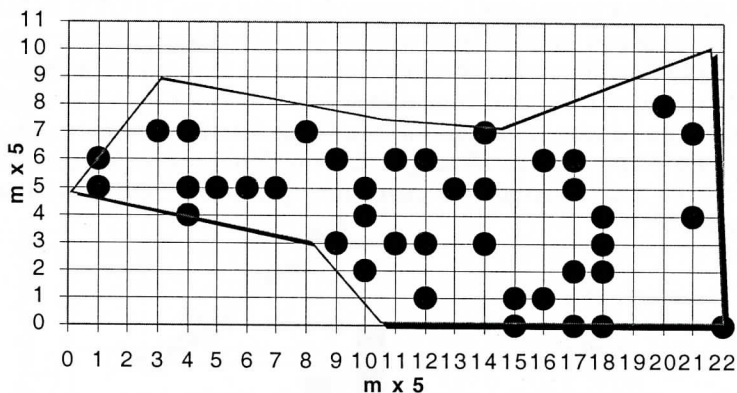


fig. 1 Malla cuadrangular de 5 x 5 m dispuesta sobre la parcela del Monte de Agua García. Puntos negros posiciones de los 40 pluviómetros dispuestos en el interior de la parcela

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Precipitación incidente

La precipitación anual para el año 1995, en la parcela experimental, fue de 626 mm, repartidos de manera muy desigual, lo que originó un coeficiente variación de 112% entre los diferentes meses del año, obteniéndose un valor máximo para el mes de diciembre de 181 mm, seguido de otro pico en marzo de 130 mm, con un mínimo en mayo de 3,4 mm. El 59,6% de la precipitación se produjo en otoño (de septiembre a diciembre), 22,9% en marzo y el 17,5% restante esparcida a lo largo del resto de los meses como lluvias de baja intensidad. El número de días de lluvia fue de 104.

En cuanto a las cantidades semanales y características de la precipitación, el registro semanal de precipitación máxima fue de 131,2 mm, hubo 29 semanas con menos de 5 mm de lluvia y el resto de las semanas tuvieron valores intermedios. La cantidad de lluvia máxima diaria fue de 30,8 mm. A lo largo del año durante el día se registraron 274,2 mm y 351,8 mm durante la noche. La intensidad media fue de 0,8 mm h⁻¹, oscilando entre 11,6 mm h⁻¹ y 0,2 mm h⁻¹. La temperatura media mientras llovió fue de 15,0°C y la velocidad media del viento fue 1,10 ms⁻¹.

Cantidad anual de precipitación penetrante y su error

Para el año 1995 la media de los 40 pluviómetros fue de 325,5 mm (52% como porcentaje de la precipitación) con un rango de 238,1-535,3 mm. Al calcular para cada uno de los 40 pluviómetros la precipitación penetrante como el porcentaje de la precipitación durante el tiempo medido, se obtuvo un intervalo de frecuencias de 38-85% (Fig. 2) y una distribución que no es normal con un sesgo positivo de 1,101 y

una curtosis de 0,243. Sesgos positivos han sido igualmente encontrados por ROBSON *et al.* (1994) debido a la presencia de puntos de goteo y por LLOYD & MARQUES (1988), de acuerdo con estos últimos autores la utilización de errores típicos asumiendo una distribución normal conduce a errores en la estimación del error, recomendando la utilización de transformaciones logarítmicas o de raíces cuadradas, en nuestro caso la que mejor resultado dio fue la logarítmica que normalizó el sesgo positivo, se eligió con base en un test de Chi-cuadrado tomando como los valores esperados los de una distribución gaussiana, y con esta corrección se trabajó posteriormente.

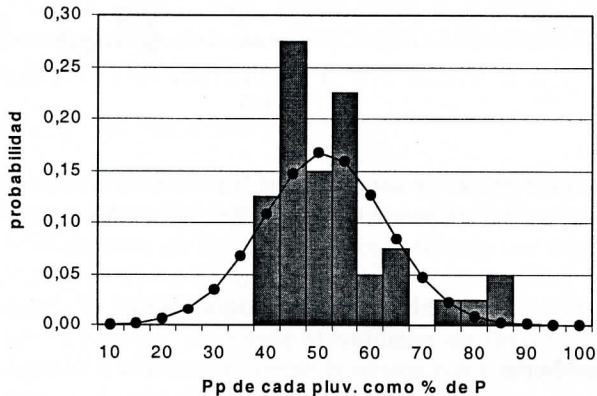


fig. 2 Probabilidad de la distribución de frecuencias de la Pp como porcentaje de precipitación total para cada uno de las cuarenta posiciones muestreadas. Como línea la distribución normal para los datos existentes.

De acuerdo con lo propuesto por LLOYD & MARQUES (1988) se puede estimar el error típico mediante el siguiente cálculo: , donde n es el número de muestras (en nuestro caso 40 muestras), y N es el número de localizaciones posibles en el esquema de muestreo (en nuestro caso 143, correspondientes a los puntos de la malla anteriormente nombrada en el interior de la parcela (fig. 1), obteniendo un valor de 19,37, a partir de un error estándar para los 40 pluviómetros de 6,67, pasando así de un 2% de error de la precipitación incidente total a un 5,9%. Por lo tanto la precipitación penetrante durante 1995 fue de $325,5 \pm 19,4$ mm lo que equivale a un porcentaje de la precipitación de $52 \pm 5,9\%$.

Efecto de los parámetros meteorológicos sobre la precipitación penetrante.

Para las cantidades medias semanales de la precipitación penetrante y de la precipitación incidente (desde el 23 de septiembre de 1994 hasta el 31 de diciembre de 1995) sobre la parcela se puede establecer una relación lineal mediante un modelo simple (fig. 3), como:

$$Pp = 0,56 (\pm 0,007) P - 0,53 (\pm 0,177) \quad r^2 = 0,990 \quad (n=65)$$

Donde Pp = precipitación penetrante semanal (mm) y P = precipitación semanal (mm).

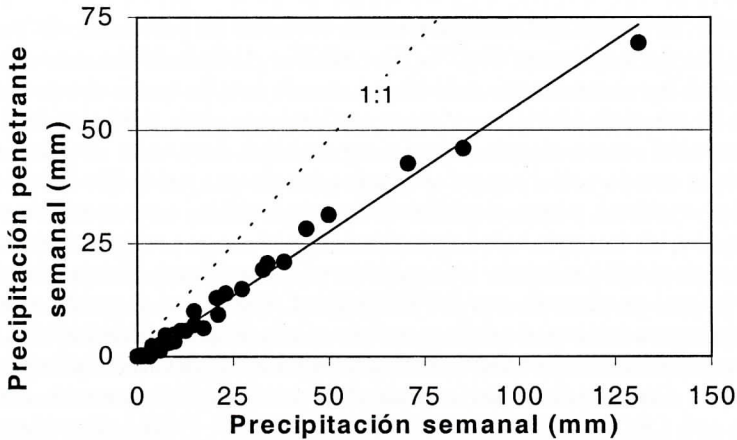


fig. 3 Regresión lineal entre la precipitación semanal (mm) y la precipitación penetrante (mm) para los datos existentes entre septiembre de 1994 y diciembre de 1995. Como línea punteada la recta de pendiente unidad.

Dado que diferentes cantidades semanales de precipitación incidente pueden generar cantidades similares de precipitación penetrante, debido a las diferencias en los patrones de lluvia y de la evaporación potencial para cada evento de acuerdo con RUTTER *et al.* (1971). Se pueden desarrollar modelos lineales múltiples de análisis de regresión para examinar los efectos de parámetros meteorológicos sobre los volúmenes de precipitación penetrante. Los modelos tienen valor para explicar desde el punto de vista de estos parámetros meteorológicos la causa de variación de los volúmenes de precipitación penetrante.

Las variables introducidas en el análisis fueron tomadas semanalmente durante el año de investigación y fueron además del volumen de precipitación semanal, ya constatado como significativo, las siguientes: lluvia diaria media, max. y min.; temperatura media, max. y min. durante la lluvia y durante la semana; n° de horas de lluvia durante la semana, intensidad horaria de la lluvia media, max. y min.; radiación media, max. y min. durante la lluvia y durante la semana; humedad media, max. y min. durante la lluvia y durante la semana; velocidad del viento media, max. y min. durante la lluvia y durante la semana y por último evapotranspiración media (calculada de acuerdo con TÜRÇ, 1961), max. y min. durante la lluvia y durante la semana. El procedimiento realizado con todas las variables, fue de regresiones simples con la precipitación penetrante y entre ellas mismas (para evitar colinealidad). Sólo se incluyeron en el modelo las variables significativas para una $p \leq 0,05$.

Por tanto el modelo lineal de regresión múltiple para los volúmenes de precipitación penetrante estuvo compuesto por las tres variables que se observan en la tabla I, y absorbió el 100% de la variación ($r^2 = 0,998$), con un error típico de 0,533, y una significación de la F del análisis de varianza fue de 0,0000.

DISCUSIÓN

El valor de la precipitación penetrante obtenido en porcentaje de precipitación incidente ($52 \pm 5.9\%$) durante 1995 es muy similar al obtenido durante otros periodos medidos con diferentes métodos en la misma área de estudio (como el 4 de noviembre de 1993 al 11 de mayo de 1994) con valores que variaron entre el 52 y el 55% (ABOAL, 1998) (dentro del error estimado del presente estudio). Este valor obtenido es relativamente bajo en comparación con otros biomas del planeta (tabla II), dentro del amplio rango de las coníferas y más cerca del de las zonas áridas con un régimen de lluvias menores, que a los bosques más tropicales donde al ser la precipitación mayor y más intensa alcanza el valor máximo. Este valor no puede ser extrapolado a otros bosques de laurisilva ya que de acuerdo con RUTTER *et al.* (1971) no se puede esperar que la interceptación para una especie dada guarde la misma proporción de lluvia ni en diferentes sitios con diferentes características climáticas y además la variación de parámetros de la cubierta son diferenciadores de la cantidad de precipitación penetrante entre bosques de acuerdo con CROCKFORD & RICHARDSON (1983, 1990a) tales como el LAI, la hidrofobicidad y el ángulo de las hojas a lo que habría que añadir también de acuerdo con HERWITZ (1987) el ángulo de las ramas.

Si comparamos el rango de esta distribución de frecuencias de la precipitación penetrante porcentuada respecto de la media, que fue de 38-85%, con el rango tomado por otras registradas en un bosque tropical amazónico por LLOYD & MARQUES (1988), que varió entre 0-410% con el 29% por encima del 100%, con el de una plantación de *Pinus sylvestris* en Escocia (R.U.) medida por GASH & STEWART (1977) donde solo el 3% estaba por encima del 100% y en otra plantación de *Picea sitchensis* también en Escocia medido por FORD & DEANS (1978) donde varió del 9-97% de la precipitación, observamos que la variabilidad de esta cubierta es menor. No obstante en los experimentos anteriores hubo recolocación de los pluviómetros por lo que la variabilidad espacial muestreada sería mayor y a la variabilidad espacial se le sumaría la variabilidad estacional al comparar diferentes ubicaciones en diferentes periodos. Esta variación espacial se diferenciará según el tipo de cubierta, siendo mayor según REYNOLDS & NEAL (1991) en bosques mixtos de frondosas, como es nuestro caso, que en plantaciones coetáneas monoespecíficas de coníferas.

A lo largo de las últimas décadas los estudios sobre hidrología forestal han evolucionado desde simples porcentajes de la precipitación penetrante respecto a la precipitación total, como los realizados por KÄMMER (1974), para posteriormente realizar rectas de regresión simples y en la actualidad hacer modelizaciones de la interceptación de la cubierta. Pensamos que el segundo de los pasos es correcto para los objetivos propuestos en este trabajo. El 99,1% de la variación de la precipitación penetrante es explicada por la precipitación mediante el modelo simple lineal. Durante el periodo de estudio se contó con cantidades extremas de precipitación semanal, y son esos valores extremos los que tienen mayor importancia a la hora de la determinación de tendencias lineales como las que se han realizado, por lo que a pesar de únicamente haber medido la precipitación penetrante durante un periodo de 15 meses, se ha recogido gran parte de la variabilidad temporal de la misma, de forma que las conclusiones a las que se puedan llegar son válidas para las condiciones generales climáticas de la parcela de estudio.

La desventaja de estas regresiones simples lineales es que no tiene en cuenta ni la evaporación ni la intensidad de la lluvia, su duración e intervalo entre los eventos, ni la velocidad y dirección del viento mientras llueve (RUTTER *et al.*, 1971; JACKSON, 1975; Gash, 1979; CROCKFORD & RICHARDSON, 1990a), siendo mayor desventaja en regiones costeras con altas velocidades de los vientos (Hörmann *et al.*, 1996), y sólo pueden ser extrapoladas a los mismos bosques en el mismo clima (GASH, 1979) ya que estas regresiones se han encontrado como notablemente constantes en estos casos (HELVEY & PATRIC, 1965). Por esto se optó por la regresión múltiple que solucionaría en parte el problema al incluir todas esas variables nombradas. Así el modelo de regresión múltiple explica que cuanto mayores sean los volúmenes de precipitación, y más concentrada sea esa precipitación, es decir que llueva más cantidad en menos tiempo, más alta será la cantidad de agua que llegue como precipitación penetrante al suelo del bosque. Posiblemente sea debido a que se produce un descenso en la interceptación, de acuerdo con JARVIS (1994), que afirmó que en climas donde las lluvias ocurren en eventos cortos e intensos las pérdidas por interceptación serán menores, al saturar más eficientemente la cubierta.

La poca diferencia entre los coeficientes de correlación entre la regresión simple y la múltiple, 0,990 y 0,998, se evidencia por el escaso peso de las variables de duración e intensidad de lluvia del modelo múltiple (valor de Beta, tabla I), y la razón puede ser debida a que los largos intervalos semanales tamponan las diferencias entre los patrones de precipitación. El ánimo de ambas regresiones no es modelizador ya que los modelos puramente empíricos (como estas rectas de regresión) son más falibles cuando, en términos de diseñar la provisión de agua de un sistema, su veracidad es más crítica, p.e. en las extremas situaciones de sequía; es así que los modelos basados en la física con empirismos restringidos funcionan mejor (GASH & MORTON, 1978).

Tabla I.- Modelos lineales desarrollados para los volúmenes de precipitación penetrante y los parámetros meteorológicos, precipitación (mm), duración de la lluvia semanal (horas), cantidad máxima de precipitación de un día (mm). Beta es el error típico de la regresión múltiple.

Variable	B	SE B	Beta	Sig T
Precipitación	0,486	0,022	0,879	0,0000
Duración de lluvia semanal	-0,071	0,019	-0,082	0,0008
Cantidad max. P en un día	0,269	0,045	0,198	0,0000
Constante	-0,516	0,123		0,0002

Como al realizar el análisis de regresión múltiple fueron introducidos todos los factores que influyen en la precipitación de niebla (el viento y la temperatura directamente, la magnitud de las gotas de agua y la densidad de la niebla indirectamente a través de la humedad relativa), sin que ninguno fuera significativo para una $p \leq 0,05$, no entrando por tanto en el modelo; mientras que factores ligados a los volúmenes y tipo de lluvia fueron los que absorbieron el 100% de la variación sobre la precipitación penetrante, se concluye que la precipitación de niebla se puede tomar como de poca importancia para la parcela de estudio.

Tabla II.- Porcentaje de precipitación penetrante, precipitación total anual, lugar y tipo de vegetación para algunos tipos de cubiertas del mundo (1) Media de verano e invierno. (2) Media anual de precipitación. (3) observaciones de 163 días. (*) Referencias citadas por Lima (1987).

Autor	Vegetación	Lugar	P (mm)	Pp (% P)
Gash y Stewart (1977)	Bosque de <i>Pinus pinaster</i>	R.U.	595 (2)	67,5
Ford y Deans (1978)	Plantación <i>Picea sitchensis</i>	R.U.	1639	43
Ibrahim (1979)	Bosque <i>Pinus pinea</i>	Francia	750	70
Shibata y Sakuma (1996)	Bosque decíduo	Japón	1.324	75±4
Shibata y Sakuma (1996)	Bosque de coníferas	Japón	1.324	85±4
Andersson y Pyatt (1986)	Bosque de <i>Picea sitchensis</i>	R.U.	1037	58
Andersson y Pyatt (1986)	Bosque de pino Lodgpole	R.U.	1037	61
Andersson y Pyatt (1986)	Bosque de <i>Picea sitchensis</i>	R.U.	997	50
Wheather <i>et al.</i> (1987)	Bosque de <i>Picea abies</i>	R.U.	30	71
Wheather <i>et al.</i> (1987)	Bosque de <i>Picea abies</i>	R.U.	155	69
Crockford y Richardson (1990b)	Bosque de <i>Pinus pinaster</i>	Australia	679 (1)	72,7
Johnson (1990)	Plantación <i>Picea sitchensis</i>	R.U.	2200 (2)	69
Reynolds y Neal (1991)	Plantación <i>Picea sitchensis</i>	R.U.	1.603	63-70
Kelliher <i>et al.</i> (1992)	Plantación de <i>Pinus radiata</i>	NZ	1154 (3)	75
Viville <i>et al.</i> (1993)	Bosque de <i>Picea abies</i>	Francia	1400 (2)	65
Ignatova (1995)	Bosque de <i>Picea abies</i>	Bulgaria	580	73,1
Ignatova (1995)	Bosque de <i>Abies alba</i>	Bulgaria	580	71,7
Ignatova (1995)	Bosque de <i>Pinus sylvestris</i>	Bulgaria	580	73,2
Niklinska, <i>et al.</i> (1995)	Bosque mixto	Polonia	729	75
Shibata y Sakuma (1996)	<i>Pinus strobus</i> y <i>P.koraiensis</i>	Japón	1.189	85±4
Taniguchi <i>et al.</i> (1996)	<i>Pinus densiflora</i>	Japón	1.290	78,1
Taniguchi <i>et al.</i> (1996)	<i>Pinus densiflora</i>	Japón	1.290	68,9
Durocher (1990)	Bosque de <i>Quercus rubra</i>	EE.UU:	24	61
Neal <i>et al.</i> (1993)	Bosque de <i>Fagus sylvatica</i>	R.U.	64	82
Shibata y Sakuma (1995)	Bosque de frondosas	Japón	1.189	75±4
Martínez-Meza (1996)	arbustos de desierto	México	230 (2)	55,75(1)
Martínez-Meza (1996)	arbustos de desierto	México	230 (2)	55,8(1)
Martínez-Meza (1996)	arbustos de desierto	México	230 (2)	62,85(1)
Lloyd y Marques (1988)	Bosque tropical	Brasil	2721	91±2
Veneklass y vanEk (1991)	Bosque tropical montano bajo	Colombia	2.115	88
Veneklass y vanEk (1991)	Bosque tropical montano alto	Colombia	1.453	82
Brookes yTurner (1964)(*)	Bosque <i>Eucalyptus regnans</i>	Australia		73,5
Smith (1974) (*)	Bosque de Eucaliptos	Australia		89
Lima (1976) (*)	Plant. <i>Eucalyptus saligna</i>	Brasil		83,6
Duncan <i>et al.</i> (1978) (*)	Bosque <i>Eucalyptus regnans</i>	Australia		72,5
Duncan <i>et al.</i> (1978) (*)	Bosque <i>Eucalyptus regnans</i>	Australia		76
Duncan <i>et al.</i> (1978) (*)	Bosque de Eucaliptos	Australia		75,4
Westman (1978) (*)	Bosque <i>Eucalyptus signata</i>	Australia		65
Westman (1978) (*)	Bosque <i>Eucalyptus umbra</i>	Australia		75
Feller (1981)	Bosque <i>Eucalyptus regnans</i>	Australia		74,5
Feller (1981)	Bosque <i>Eucalyptus obliqua</i>	Australia		84,5
Dunin <i>et al.</i> (1988)	Bosque de <i>Eucalyptus</i>	Australia	1.108	85
Crockford y Richardson (1990b)	Bosque de <i>Eucalyptus sp.pl.</i>	Australia	679 (1)	84,5
Gras (1993)	Plant. <i>Eucalyptus globulus</i>	España		79

Estos resultados estarían de acuerdo con los obtenidos por KÄMMER (1974), quien concluyó diciendo que la ganancia de agua debida a precipitaciones de niebla apenas tiene importancia ecológica para la mayoría de las especies de árboles de laurisilva, y sólo el monte bajo de *Erica scoparia* (donde realizó dos de sus experimentos) y en los bosques de laurisilva ricos en epífitas, llevan el sello de la precipitación de niebla, por lo que sólo en algunas zonas de los bosques de laurisilva que se encuentran en Tenerife, al igual que en el resto de las islas, puede aparecer precipitación de niebla.

A la hora de examinar los factores que pueden explicar la ausencia de precipitación horizontal, sin entrar en los aspectos climáticos analizados anteriormente, cabe destacar los del perfil, volumen y constitución de la superficie del obstáculo. Las condiciones topográficas de la parcela con una pendiente del 10% y la cubierta cerrada y sin calveros no favorecen la captación, de acuerdo con KÄMMER (1974) que afirmó que la precipitación de niebla sólo es fructífera en las pendientes muy pronunciadas que por lo general sólo ocurre en espacios pequeños.

Diversos aspectos de la estructura de las masas forestales tales como la distancia entre los árboles pueden modificar esta captación, así cuanto más separados estén los árboles, más claros existan o mayores sean los márgenes de las colonias vegetales, que permitan la entrada del viento con la niebla, más agua cogerán de acuerdo con diversos autores (KÄMMER, 1974; SANTANA, 1986 y SCHEMENAUER & CERECEDA, 1992), sin embargo en la parcela no hay ningún calvero y la densidad es alta (1.693 árboles por hectárea). Igualmente KÄMMER (1974), HÖLLERMANN (1981) y SANTANA (1986) afirmaron que en los bosques cerrados las precipitaciones de niebla sólo se producen en las partes de los árboles que sobresalen, mientras que en los bosques situados en los cauces y laderas de barrancos estrechos la precipitación de niebla sería nula. Según SCHEMENAUER & CERECEDA (1994) la diferencia entre un terreno forestado y otro desforestado en cuanto a la cantidad de agua que recibe o recoge de la niebla es mínima, porque la parte de las copas de los árboles del bosque se comporta frente a las nieblas del mismo modo que el suelo sin vegetación. En el caso de la parcela de Agua García el índice de estratificación sería de 2,5 m, lo que se consideraría como bajo, lo que sumado a los anteriores factores tales como una baja pendiente, la ausencia de calveros y alta densidad, daría lugar a una pequeña superficie de contacto frente a la niebla.

En lugares específicos tales como las crestas de los sistemas montañosos se puede recoger más agua, sin embargo este efecto es pequeño a escala regional (SCHEMENAUER & CERECEDA, 1994), en el caso de Tenerife estas serían las cresterías de barlovento expuestas a los vientos alisios. Asimismo los árboles aislados son los que ofrecen valores más altos de precipitación de niebla, hecho conocido en el archipiélago desde tiempos del mítico Garoe, y contrastado en la isla de Tenerife por CEBALLOS & ORTUÑO (1952) y KÄMMER (1974) y por diversas experiencias en las islas occidentales llevadas a cabo por el ICONA realizadas bajo árboles singulares y algunas veces en los laterales del bosque, que han sido expuestas por SANTANA (1986) sin que se puedan extraer conclusiones claras de las mismas.

De este modo podemos concluir que muchos bosques de laurisilva canaria de características similares al estudiado en el Monte de Agua García no aportan agua procedente de las nieblas. El efecto de la interceptación de la de niebla puede existir, pero no llega a convertirse en drenaje de niebla (precipitación penetrante) debida a la alta capacidad de saturación de este tipo de vegetación de 2,45 mm (ABOAL, 1998).

AGRADECIMIENTOS

Esta trabajo ha sido subvencionado por la DGICYT (proyecto nº PB94-058) y la Viceconsejería de Educación del Gobierno de Canarias. Nuestro agradecimiento a la Viceconsejería de Medio Ambiente (Gobierno de Canarias) por su colaboración. y al Excmo. Ayuntamiento de Tacoronte por las ayudas facilitadas en el bosque de Agua García.

BIBLIOGRAFÍA

- ABOAL, J.R. (1998). Los flujos netos hidrológicos y químicos asociados en un Bosque de Laurisilva en Tenerife.- Tesis Doctoral: Universidad de La Laguna, España, 210 pp.
- ABOAL, J.R., D. MORALES, J.M. MORENO & M.S. JIMÉNEZ (1999). Laurel Forests in Tenerife, Canary Islands: The annual stand stemflow and causes of variation among trees and species.- *Journal of Hydrology* (in press).
- ANDERSON, A.R. & D.G. PYATT (1986). Interception of precipitation, by pole-stage, Sitka spruce and lodgepole pine and mature Sitka spruce at Kielder forest, Northumberland.- *Forestry* 59(1):29-38.
- BAUER, E. (1963). Nuevo método para medir las precipitaciones horizontales (provenientes de las niebla).- *Montes* 112:323-325.
- CEBALLOS, L. & F. ORTUÑO (1952). El bosque y el agua en Canarias.- *Montes* 8(48): 418-423.
- CROCKFORD, R.H. & D.P. RICHARDSON (1983). Some hydrological influences on vegetation.- Canberra: Technical Memorandum 83/18, CSIRO Institute of Natural Resources and Environment, Division of water resources research, 47pp.
- CROCKFORD, R.H. & D.P. RICHARDSON (1990a). Partitioning of rainfall in a eucalypt forest an pine plantation in southern Australia: I Throughfall measurement in a eucapypt forest: effect of method and species composition.- *Hydrological Processes* 4:131-144.
- CROCKFORD, R.H. & D.P. RICHARDSON, (1990b). Partitioning of rainfall in a eucalypt forest an pine plantation in southern Australia: IV The relationship of interception and canopy storage capacity, the interception of these forests, and the effect on interception of thinning the pine plantation.- *Hydrological Processes* 4:168-188.
- DUNIN, F.X., E.M. O'LOUGHLIN & W. REYENGA (1988). Interception loss from eucalypt forest: lysimeter determination hourly rates for long term evaluation.- *Hydrological Processes* 2:315:329.
- DUROCHER, M.G. (1990). Monitoring spatial variability of forest interception. *Hydrological Processes* 4:215-229.
- FELLER, M.C. (1981). Water balances in *Eucalyptus regnas*, *E.oblicua* and *Pinus radiata* forests in Victoria.- *Australian Forestry* 44: 153-161.
- FORDE,D. & DEANS, J.D., 1978. The effects of canopy structure on stemflow, throughfall and interception loss in a young Sitka spruce plantation.- *Journal of Applied Ecology* 15(3): 905-917.

- GASH, J.H.C. (1979). An analytical model of rainfall interception by forest.- *Quarterly Journal of the Royal Meteorology Society* 105:43-55.
- GASH, J.H.C. & A.J. MORTON (1978). An application of the Rutter Model to the estimation of the interception loss from Thetford Forest.- *Journal Hydrology* 38: 49-58.
- GASH, J.H.C. & J.B. STEWART (1977). The evaporation from Thetford Forest during, 1975.- *Journal of Hydrology* 35:385-396.
- GASH, J.H.C., C.R. LLOYD & G. LACHAUD (1995). Estimating sparse forest rainfall interception with an analytical model.- *Journal of Hydrology* 170:79-86.
- GRAS, J.M. (1993). Investigación sobre las relaciones hídricas en las plantaciones de *Eucalyptus globulus* en Galicia.- Tesis Doctoral: Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Superior de ingenieros de Montes, España, 150 pp.
- HELVEY, J.D. & J.H. PATRIC (1965). Canopy and litter interception of rainfall by hardwoods of Eastern United States.- *Water Resources Research* 1:193-206.
- HERWITZ, S.R. (1987). Raindrop impact and water flow on the vegetative surfaces of trees and the effects on stemflow and throughfall generation.- *Earth Surface Processes Landforms* 12:425-432.
- HÖLLERMANN, P. (1981). Microenvironmental studies in Laurel forest of Canary islands.- *Mountain Research Development* 1:193-207.
- HÖRMANN, G., A. BRANDING, T. CLEMEN, M. HERBST, A. HINRICHS & F. THAMM (1996). Calculation and simulation of wind controlled canopy interception of beech forest in Northern Germany.- *Agricultural and Forest Meteorology* 79:131-148.
- IBRAHIM, M.M. (1979). Recherche sur la dynamique et le bilan de l'eau d'un écosystème a pin pignon (*Pinus pinea* L.) sur sable dunaire.- Tesis Doctoral: Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Francia, 251 pp.
- IGNATOVA, N. (1995). Changes in crown leaching composition induced by a sudden increase in atmospheric deposition. A case study in South-western Bulgaria.- *Plant and Soil* 168-169:373-382.
- JACKSON, I.J. (1975). Relationships between rainfall parameters and interception by tropical forest.- *Journal of Hydrology* 24:215-238.
- JARVIS, P.G. (1994). Water deficits. Plant responses from cell to community.- pp.285-315 in: J.A.C. Smith & H. Griffiths (eds.). *Environmental Plant Biology*.- London: Bios scientific publishers, 345 pp.
- JOHNSON, R. (1990). The interception, throughfall and stemflow in a forest in highland Scotland and the comparison with other Uplands forest in the U.K.- *Journal of Hydrology* 118:281-287.
- KÄMMER, F. (1974). Klima und vegetation auf Tenerife besonders in Hinblick auf Nebelniederschlag.- *Scripta Geobotanica*. Vol. 7.
- KELLIHER, F.M., D. WHITEHEAD & D.S. POLLOCK (1992). Rainfall interception by trees and slash in a young *Pinus radiata* D. Don stand.- *Journal of Hydrology* 131:187-204.
- KIMMINS, J.P. (1973). Some statistical aspects of sampling throughfall in nutrient cycling in British Columbian forest.- *Ecology* 54:1008-1019.

- LIMA, W.P. (1987). O reflorestamento com Eucalipto e seus impactos ambientais.- Sao Paulo: Artpress, 561 pp.
- LLOYD, C.R. & F, A. DE O. MARQUES (1988). Spatial variability of throughfall and stemflow measurements in Amazonian rain forest.- *Agricultural and Forest Meteorology* 42: 63-73.
- LUNDBERG, A. (1996) Interception evaporation. Processes and measurement techniques. Interception evaporation - an overview of current knowledge.- Tesis Doctoral: Universidad de Lulea, Suecia, 312 pp.
- MARTÍNEZ-MEZA, E. & W.G. WHITFORD (1996). Stemflow, throughfall and channelization of stemflow by roots in three Chihuahuan desert shrubs.- *Journal of Arid Environment* 32: 271-287.
- Merriam, R.A. (1973). Fog drip from artificial leaves in a fog wind tunnel.- *Water Resources Research* 9:1591-1598.
- MICHAELI, A. (1973) Fog condensation, dew and evaporation reduction in the Canary islands.- Project SPA-15. Scientific Studies of the Water Resources of the Canary Islands.- MOP/UNESCO, 36pp.
- MORALES, D., M.S. JIMÉNEZ, A.M. GONZÁLEZ-RODRIGUEZ & J. CERMÁK (1996a). Laurel forest in Tenerife, Canary Islands: I. The site, stand structure and stand leaf area distribution.- *Trees* 11:34-40.
- MORALES, D., M.S. JIMÉNEZ, A.M. GONZÁLEZ-RODRIGUEZ & J. CERMÁK (1996b). Laurel forest in Tenerife, Canary Islands: II. Leaf distribution patterns in individual trees.- *Trees* 11:41-46.
- NEAL, C., A.J. ROBSON, C.L. BHARWAJ, T. CONWAY, H.A. JEFFERY, M. NEAL, G.P. RYLAND, C.J. SMITH & J. WALLS (1993). Relationships between precipitation, stemflow and throughfall for a lowland beech plantation, black Wood; Hampshire, southern England: findings on interception at a forest edge and effect of storm damage".- *Journal of Hydrology* 146:221-233.
- NIKLINSKA, M., M. MARYANSKI, G. SZAREK & R. LASKOWSKI (1995). Chemical Input/output balance for a moderately polluted forest catchment in southern Poland.- *Water, Air and Soil Pollution* 85:1771-1776.
- REYNOLDS, B & C. NEAL (1991). Trough versus funnel collectors for measuring throughfall volumes.- *Journal of Environmental Quality* 20:518-521.
- ROBSON, A.J., C. NEAL, G.P. RYLAND & M. HARROW (1994). Spatial variations in throughfall chemistry at the small plot scale.- *Journal of Hydrology* 158:107-122.
- RUTTER, A.J., K.A. KERSHAW, P.C. ROBINS & A.J. MORTON (1971). A predictive model of rainfall interception in forest, I. Derivation of the model from observation in a plantation of corsican pine.- *Agricultural Meteorology* 9:367-374.
- RUTTER, A.J., A.J. MORTON & P.C. ROBINS (1975). A predictive model of interception loss in forest. II. Generalization of the model and comparison with observations in some coniferous and hardwood stands.- *Journal of Applied Ecology* 12:367-380.
- SANTANA, L. (1986). Estudio de la precipitaciones de niebla. Instituto Nacional para la conservación de la Naturaleza.- Tenerife: ICONA. 112 pp.

- SANTANA, L. (1990). La importancia hidrológica de las nieblas en las cumbres del Parque Nacional de Garajonay.- pp. 66-71, en: P.L. Pérez de Paz (ed.). Parque Nacional de Garajonay, Patrimonio Mundial.- Madrid: ICONA, 367 pp.
- SCHEMENAUER, R.S. & P. CERECEDA (1992). Fog as an alternative to rainwater collection.- Proc. Regional Conference on Rain Water Catchment Systems Association, Kyoto, Japan, IRCSA 2 (4-7):593-601.
- SCHEMENAUER, R.S. & P. CERECEDA (1994). The role of wing in rainwater catchment and fog collection.- Water international 19:70-76.
- SHIBATA, H. & T. SAKUMA (1996). Canopy Modification of precipitation Chemistry in deciduous and coniferous forest Affected by Acidic deposition.- Soil Science and Plant Nutrition 42(1):1-10.
- TANIGUCHI, M., M. TSUJIMURA & T. TANAKA (1996). Significance of stemflow in groundwater recharge. 1: Evaluation of the stemflow contribution to recharge using a mass balance approach.- Hydrological Processes 10, 71-80.
- TÜRCK, L. (1961). Evaluation des lesoins en eau d'irrigation évapotranspiration potentialle.- Ann. Agrn. 12:13-49.
- VALENTE, S., J.S. DAVID & J.H.C. GASH (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.
- VENEKLAAS, E. & R. VAN EK (1991). Rainfall interception in two tropical montane rain forests.- Tesis Doctoral, Holanda.
- VIVILLE, D., P. BIRON, A. GRANIER, E. DAMBRINE & A. PROBST (1993). Interception in a mountainous declining spruce stand in the Strenbach catchment (Voges, France).- Journal of Hydrology 144:273-282.
- WHEATER, H.S., S.J. LANGAN, D.J. MILLER & R.C. FERRIER (1987). The determination of hydrological flow paths and associated hydrogeochemistry in forested catchments in central Scotland.- IAHS Publ. 167:433-449.