

Capítulo 1

Interceptación de lluvia y niebla en bosques de la laurisilva y pinar de las Islas Canarias

J.R. Aboal⁽¹⁾, C. M. Regalado⁽²⁾, A. Ritter⁽³⁾, L.A. Gómez⁽⁴⁾, A. B. Fernández⁽⁵⁾

(1) Dpto.de Biología Celular y Ecología, Universidad de Santiago de Compostela, Campus Vida, 15782 Santiago de Compostela, A Coruña (España). E-mail: jesusramon.aboal@usc.es

(2) Dpto. de Suelos y Riegos, Instituto Canario de Investigaciones Agrarias, Ctra. El Boquerón s/n, Valle Guerra, 38200 La Laguna, S/C Tenerife (España). E-mail: cregalad@icia.es

(3) Dpto.de Ingeniería, Producción y Economía Agrarias, Universidad de La Laguna, Ctra. Geneto, 2, 38200 La Laguna, S/C Tenerife (España). E-mail: aritter@ull.es

(4) TRAGSATEC S.A.; Unidad Técnica de Canarias. Avda. Quinto Centenario, Edif. San José, 38800 San Sebastián de La Gomera, S/C Tenerife (España). E-mail: lgomez2@tragsa.es

(5) Parque Nacional de Garajonay, Gobierno de Canarias. c/ Ruiz de Padrón y Avda. 5º Centenario, Edf. Las Creces, Local I, Portal 3., 38800 San Sebastián de La Gomera, S/C de Tenerife (España). E-mail: aferlop@gobiernodecanarias.org

Resumen

Se presenta una revisión de los diferentes estudios e investigaciones sobre la interceptación de la lluvia y niebla realizados en el Archipiélago Canario. Se han revisado los datos de un total de 55 estaciones de muestreo situadas en las islas más occidentales. Se ha recopilado la información sobre las metodologías empleadas así como la caracterización topográfica y de la vegetación para cada estación de muestreo. Se muestran los datos en cada caso de la precipitación incidente, trascolada y cuando fue disponible la escorrentía cortical. Se ha encontrado que la altitud es el descriptor ecológico con un mayor nivel de correlación en relación al porcentaje de interceptación calculado. En los bosques de laurisilva de cuenca, no se detectaron aportes de precipitación de niebla significativos y, por lo tanto, la interceptación puede considerarse una estimación real del 30-40%. Algo similar ocurriría en algunos fayales-brezales, sobre todo en orientaciones sur con valores similares. Sin embargo, para otras formaciones vegetales como la laurisilva de niebla, el brezal de cumbre o los pinares, la obtención de valores negativos de interceptación, impide su correcta cuantificación. Se han identificado las principales dificultades del estudio de los procesos hidrológicos en las Islas: i) la posible existencia de precipitación de niebla, de difícil cuantificación, o de otros factores que pueden haber afectado a las medidas de precipitación trascolada o de la lluvia, enmascaran el cálculo y dan lugar a valores negativos de interceptación, lo cual imposibilita conocer su magnitud real; y ii) la imposibilidad de aislar variables y realizar un muestreo estratificado, al establecer tanto la altitud como la orientación y el tipo de vegetación existente. Se evidencia la necesidad de nuevos estudios sobre los procesos hidrológicos de las cubiertas vegetales en las Islas, al tiempo que se proponen posibles enfoques para abordar los mismos.

Palabras clave: Laurisilva, Monteverde, Pinar canario, bosques de niebla, precipitación trascolada, escorrentía cortical.

Abstract

We review a series of previous studies focusing on rain and fog water interception carried out in forests of the Canary Islands (Spain). Data from a total of 55 sampling stations located in the western islands have been revised. We gathered information about the methodologies used, as well as the topographic characterization and vegetation survey for each sampling station. Incident precipitation, throughfall and, if available, stemflow data were analyzed. The altitude was found to be the ecological descriptor with the highest correlation with respect to the percentage of calculated interception. In the bottom valley laurel forests, no significant fog water input contributions were detected, and therefore a rain interception of 30-40% may be considered as a "true" estimate. An analogous situation was observed in some wax myrtle-tree heath ('fayal-brezal') forests, especially in southern orientations, with similar interception values. However, for other vegetation types such as the laurel cloud forests, the tree heath ridge forests or the pine forests, the

obtained negative interception values prevented us from an accurate quantification. The main difficulties in studying the hydrological processes in the Canaries were identified as: i) the possible existence of fog water precipitation, difficult to quantify, or of any other factors that may have affected the correct quantification of throughfall or rainfall, masked the estimates and resulted in negative interception values, thus making difficult to quantify its true magnitude; and ii) the unfeasibility of isolating variables and performing a stratified sampling, due to the fact that both the altitude and the orientation determined the type of existing vegetation. We highlight the need for further studies on hydrological processes of canopies growing in the Islands, as well as suggest possible approaches to address them.

Keywords: Laurel forest, Canary Island pine forest, cloud forest, throughfall, stemflow.

1. INTRODUCCIÓN

Canarias es un territorio predominantemente árido que soporta una elevada densidad de habitantes y una significativa presión turística. Mantiene además una superficie agrícola que incluye exigentes cultivos de regadío (60% del área cultivada) destinados principalmente a la exportación, lo que implica una importante demanda de agua. Sin embargo, los estudios que sobre la hidrología forestal se han realizado hasta la fecha en Canarias, a pesar de su evidente importancia para una mejor comprensión del ciclo hidrológico de las Islas, han sido pocos y de limitada entidad. Además dichos trabajos aislados, que utilizan metodologías, diseños de muestreo o tamaños de muestra muy variables no han sido tratados conjuntamente o comparados entre sí, de forma tal que nos permitan una comprensión objetiva de su alcance y limitaciones. Ello ha propiciado por ejemplo que resultados obtenidos en estudios llevados a cabo bajo árboles aislados, en condiciones de exposición particulares o con un número reducido o sesgado de muestras se hayan luego extrapolado al resto del territorio forestal insular.

El agua de la atmósfera llega a los bosques principalmente en forma de lluvia o, como lo que técnicamente se denomina, precipitación incidente. Existen sin embargo otros mecanismos en los que la captación del agua atmosférica por parte del bosque es consecuencia de la presencia de un obstáculo vegetal en el camino de avance más o menos turbulento de una nube baja o niebla, quedando así depositadas en la superficie foliar y/o sobre epífitos las pequeñas gotas de agua de niebla (del orden de < 50 micras) que han impactado sobre estos obstáculos. Estas microgotas de niebla pueden bien ser incorporadas directamente por la planta a través de su superficie foliar o cohesionarse con otras hasta que adquieren la masa crítica necesaria para que precipiten. A este fenómeno se lo conoce como precipitación de niebla o lluvia horizontal, para diferenciarlo de la precipitación incidente (“vertical”), en la que las gotas de lluvia caen directamente por gravedad debido a su mayor tamaño. La interceptación constituye esa agua que queda temporalmente almacenada en el dosel o cubierta vegetal y que se pierde por evaporación o bien por goteo cuando se supera la capacidad de almacenamiento de la cubierta. Como

precipitación trascolada entendemos, en este trabajo, el agua que alcanza la superficie del suelo procedente del goteo del agua interceptada y la fracción de la lluvia que no entra en contacto con la vegetación. Por otro lado, parte del agua interceptada puede discurrir a lo largo de las ramas y llegar al suelo a través del tronco (escurrido cortical).

Para cuantificar la interceptación se han propuesto diversos modelos (Muzylo *et al.*, 2009). Éstos tratan a la cubierta vegetal como un sistema al que entra y del que sale agua. Alternativamente, y por su simplicidad, la interceptación se estima generalmente de forma aproximada a partir de la diferencia entre la precipitación incidente y la trascolada (descontando en ocasiones también el escurrido cortical). Con esta aproximación, la interceptación en la mayoría de las cubiertas estudiadas en todo el planeta resulta en valores positivos (ver por ejemplo: Llorens y Domingo, 2007). Sin embargo, en bosques montanos de niebla subtropicales y tropicales como son algunos bosques de las islas occidentales del Archipiélago Canario (ver por ejemplo: Ritter *et al.*, 2008) y Madeira la posible existencia de precipitación de niebla puede dar lugar a valores negativos de interceptación.

En la zona del Océano Atlántico en donde se encuentran las Islas Canarias, los vientos Alisios del noreste, cargados de humedad, inciden con frecuencia sobre sus vertientes orientadas al norte. En las islas occidentales de elevada altitud, las masas de aire ascienden por sus laderas, condensándose al enfriarse, quedando detenidas en su ascensión a 1000-1500 m snm como consecuencia de la presencia de una inversión térmica en altura. Esto da lugar a una capa estable de nubes conocida localmente como “mar de nubes” (Figura 1). El mar



Figura 1. Mar de nubes, visto desde el Alto de Garajonay, impactando sobre los bosques de Monteverde de Garajonay en la Isla de la Gomera (primer plano) y sobre la Isla de Tenerife (segundo plano). (Fotografía: A.B. Fernández)

de nubes sufre cambios en su densidad y en su espesor a lo largo del año (ver por ejemplo: Huetz de Lempis, 1969), pero su presencia, más o menos permanente sobre todo durante los meses de verano, posibilita que en las laderas forestadas de estas islas se produzcan, además de lluvias orográficas, las condiciones necesarias para la precipitación de niebla.

La observación de la precipitación de niebla en Canarias fue documentada ya desde principios del siglo XV: *"En la parte más alta del país hay árboles que destilan siempre una agua hermosa y clara que se recoge en unos hoyos cerca de los árboles, la mejor que se puede hallar para beber"* ("Le Canarien" (Cioranescu, 2004)). El citado texto se refiere a historias más o menos fabuladas de un árbol mítico llamado Garoé (un ejemplar de til, *Ocotea foetens*, de gran porte), que en la isla de El Hierro (la más oriental de las Canarias) era considerado por los antiguos pobladores como un árbol sagrado que supuestamente les abastecía de agua: generaba unas *"veinte botas de agua al día"*, cantidad suficiente para mantener *"230 vezinos"* (unos 1.000 habitantes).

Cuantificar de forma fiable el volumen de agua de niebla que es captada por la vegetación no resulta sencillo. Tal dificultad proviene principalmente de los pequeños volúmenes (del orden de unos pocos milímetros) de agua de niebla que se deben medir bajo la cubierta, y que además presentan una elevada variabilidad espacial y sesgo, consecuencia per sé del intrincado proceso de captación que se produce a nivel de la cubierta vegetal. Es por ello que las diversas técnicas utilizadas presentan algún tipo de limitación que dificultan la medición o la interpretación de los datos, hecho que se ve agravado si se produce precipitación incidente concomitante con lluvia horizontal. Así, mientras que en ausencia de lluvia se puede medir la salida del agua procedente de la precipitación de niebla desde la cubierta vegetal, la entrada de agua de niebla al dosel es de difícil cuantificación. Al no poder determinar correctamente las entradas de agua, la estimación real del agua interceptada que se pierde por evaporación está asociada a cierto grado de incertidumbre.

Así, por todo lo expuesto anteriormente, el objetivo de este trabajo es realizar una revisión de diferentes aspectos de los trabajos realizados con relación a la hidrología forestal de las Islas Canarias. Los aspectos estudiados serán tanto metodológicos como relativos al análisis de la información recopilada.

2. ESTUDIOS REVISADOS

Se ha revisado un total de 9 trabajos, así como dos grupos de datos inéditos. Todos los trabajos abordan procesos hidrológicos de los bosques de las Islas Canarias. Los trabajos pueden ser clasificados como: informes técnicos (2), capítulos de libros (1), tesis doctorales (1) y artículos científicos (5). El mayor interés de la presente revisión es, muy probablemente, que en ella se recopila la información de diversos estudios poco accesibles junto a otros que si lo son. Generalmente estos trabajos incluyen información de numerosas localizaciones, de manera que esta revisión recoge datos y resultados correspondientes a un total de 55 estaciones de muestreo (EM). La situación de éstas se ilustra en la Figura 2. Se observa la escasa ubicación de EM en algunas de las islas como La Palma (4%), El Hierro (4%) y Gran Canaria (2%), en contrapo-

sición a la profusión existente en La Gomera (45%) y Tenerife (45%). En estas dos últimas islas se aprecia la concentración de estudios en el Parque Nacional de Garajonay y en la Cordillera Dorsal, respectivamente, quedando aún extensas zonas de bosque sin investigar en Tenerife.

En los trabajos revisados pueden identificarse tres grupos. En el primer grupo, que corresponde a las EM 1-16 (Tabla 1), se estudiaron árboles aislados. Éstos constituyen los primeros estudios realizados y se llevaron a cabo por el Patrimonio Forestal y posteriormente por ICONA entre 1951 y 1986. El objetivo principal de estos estudios fue cuantificar la precipitación de niebla. Con este objetivo se seleccionaron árboles aislados de gran porte y muy expuestos.

En un segundo grupo se incluyen las EM 17-49 (Tabla 1), con estudios que se iniciaron en 1971 según Kämmer (1974). En estos casos se abordan trabajos en los que se realizan mediciones en parcelas en lugar de árboles aislados, con el consiguiente cambio en las metodologías empleadas. Estos estudios prosiguen en la actualidad y tienen su máximo exponente en las parcelas experimentales del Plan de Seguimiento Ecológico del Parque Nacional de Garajonay (EM 34-49). En este tercer grupo, a pesar de que el interés principal de los trabajos sigue siendo la cuantificación de la precipitación de niebla, se hace especial hincapié en la comprobación de la existencia de fuertes diferencias en los valores obtenidos en función del tipo de comunidad vegetal estudiada, y en las consecuencias que ello tiene en el funcionamiento y la estructura del ecosistema en el que se sitúa. Por otro lado, algunos de ellos se enfocan hacia el estudio de la interceptación del agua por la vegetación (por ejemplo: Aboal, 1998).

El último grupo de trabajos corresponde a las EM 50-55 (Tabla 1), los cuales se iniciaron en una etapa posterior (1994-2008) y han tenido diferentes objetivos y metodologías más complejas, tratando de modelizar tanto la interceptación (por ejemplo: Aboal *et al.*, 1999a) como la precipitación de niebla (por ejemplo: Ritter *et al.*, 2008). Estos trabajos son los únicos que se han publicado en revistas internacionales y por lo tanto los de más fácil acceso.

2.1. Características topográficas

Las EM se localizan entre los 480 a 1665 m de altitud s.n.m. (Tabla 1). Sólo una de las EM se sitúa por debajo de los 775 m s.n.m., mientras que a partir de esa altitud, la representación en las diferentes clases de altitud establecidas es más equitativa (36% entre 750 – 1000 m; 25% entre 1000 – 1250 m; 16% entre 1250 – 1500 m; y 20% entre 1500 – 1750 m). Para aquellas EM cuya exposición era conocida (Tabla 1), se obtuvo que la mayor parte de las mismas se encuentra orientada al cuadrante norte (el 65% se hallaba entre NO y NE), un 11% al cuadrante este, un 17% al cuadrante oeste, encontrándose la menor representación al cuadrante sur (7%). Por todo esto, y dado que la distribución habitual del Monteverde se encuentra en la fachada norte de las Islas, es fácil inferir los motivos que inducen la existencia de una mayor representación de este tipo de bosques en esta revisión.

Tabla 1. Características topográficas y de la vegetación de las parcelas de estudio.

EM	Ref.	Isla	Lugar	Altitud (m)	F	a. (°)	Orografía	Formación	Especies	Densidad (árb. ha ⁻¹)	BA (m ² ha ⁻¹)	LAI (m ² m ⁻²)	Estrat. (m)
1	a	GC	Pinares de Tamadaba	1300	n.d.	n.d.	n.d.	---	1	---	---	---	---
2		T	Posada de las vacas (Cumbres de los Realejos)	966	n.d.	n.d.	n.d.	---	15	---	---	---	---
3	b	T	Casa Forestal (Tacoronte)	798	n.d.	n.d.	n.d.	---	n.d. (laurisilva)	---	---	---	---
4		T	Casa Forestal (Tacoronte)	798	n.d.	n.d.	n.d.	---	1	---	---	---	---
5		T	Casa Forestal (Tacoronte)	798	n.d.	n.d.	n.d.	---	2	---	---	---	---
6	c	H	Montaña Ajonse	1130	n.d.	n.d.	n.d.	---	2	---	---	---	---
7		H	la Dehesa	900	n.d.	n.d.	n.d.	---	14	---	---	---	---
8		G	Vallehermoso-Apartacaminos	1010	n.d.	n.d.	n.d.	---	5	---	---	---	---
9		G	Vallehermoso-Apartacaminos	1010	n.d.	n.d.	n.d.	---	3	---	---	---	---
10		G	Agulo-Fuentsanta	950	n.d.	n.d.	n.d.	---	3	---	---	---	---
11		P	Cumbre Nueva	1350	n.d.	n.d.	n.d.	---	1?	---	---	---	---
12		P	Los Sauces - Monte de los Tilos	480	n.d.	n.d.	n.d.	---	n.d.	---	---	---	---
13		T	Agumansa	1100	n.d.	n.d.	n.d.	---	1	---	---	---	---
14		T	Agumansa	1100	n.d.	n.d.	n.d.	---	2	---	---	---	---
15		T	El Asomadero - Monte de los Realejos	1100	n.d.	n.d.	Cumbre	---	2	---	---	---	---
16	d	G	Cedro	1000	NE	11	Ladera	Laurisilva de ladera	3,5,6,7	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
17	f	T	Barranco Toledo (Agua García)	825	NNE	10	Barranco	Laurisilva de cuenca	3,4,5,6,7,8	1693	33,7	7,8	3,9
18		T	Barranco Toledo (Agua García)	825	NNE	10	Barranco	Laurisilva de cuenca	3,4,5,6,7,9	1693	33,7	7,8	3,9

19	g	T	El Gaitero	1643	E	12	Ladera	Pinar canario	1	1056	71,4	3,3	2,4
20		T	El Gaitero	1620	N	10	Ladera	Pinar canario	1	656	61,5	3,9	1,8
21		T	El Gaitero	1620	N	14	Ladera	Pinar canario	1	288	30,8	2,8	0,9
22		T	El Gaitero	1648	NO	16	Ladera	Pinar canario	1	1168	73,2	3,5	2,5
23		T	El Gaitero	1643	N	19	Ladera	Pinar canario	1	912	68,0	3,3	3,4
24		T	El Gaitero	1638	N	13	Ladera	Pinar canario	1	368	34,9	2,2	0,6
25		T	El Gaitero	1653	N	15	Cumbre	Pinar canario	1	992	63,6	3,1	1,5
26		T	El Gaitero	1665	NE	20	Ladera	Pinar canario	1	1056	60,9	3,2	0,8
27		T	El Gaitero	1653	NNE	24	Ladera	Pinar canario	1	656	56,2	3,7	2,2
28		T	El Gaitero	1658	NE	21	Ladera	Pinar canario	1	496	30,8	2,0	0,3
29	h	T	Mirados de Ortuño (cumbre)	1590	NO	9	n.d.	Pinar canario	1,4,5	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
30		T	Las Lagunetas	1447	N	1	n.d.	Pinar canario	1	n.d.	n.d.	n.d.	<2 m
31		T	Las Lagunetas	1447	N	1	n.d.	Pinar canario	1	n.d.	n.d.	n.d.	<2 m
32		T	Casa Forestal (Anaga)	915	NNO	11	n.d.	Laurisilva	3,6,7,13,16,17	1786	n.d.	n.d.	1,5 m
33		T	Montaña Cruz de Tabor- no	960	NNO	14	Ladera	Laurisilva de ladera	3,6,7,13,16	n.d.	n.d.	n.d.	3 m
34	d	G	Bailadero	1025	N	12	Cumbre	Brezal de cumbre	5,6,7,13	1350	47,0	n.d.	7,1
35		G	Tajaqué	1225	N	11	Cumbre	Brezal de cumbre	3,5,6,7	1250	55,9	n.d.	8,5
36		G	Apartacaminos	1000	NO	2	Cumbre	Laurisilva de niebla	3,5,6,7	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
37		G	Noruegos	1275	N	12	Ladera	Laurisilva de niebla	3,5,6,7,	781	57,9	5,1	14,4
38		G	Aramaqué	950	N	9	Barranco	Laurisilva de cuenca	3,4,5,6,7,9,12	1404	26,3	3,8	13,6
39		G	Palos Pelados	975	SO	7	Ladera	Fayal-brezal	3,5,6,7,	3175	36,4	3,5	6,8
40		G	Aceviños	950	N	7	Barranco	Laurisilva de cuenca	3,4,9,12	713	73,5	5,7	16,3

41	G	Cañada de Jorge	980	SO	5	Ladera	Fayal-brezal	3,5,6,7,12	1733	59,1	4,6	10,1
42	G	Aguatosca I	1250	SO	14	Ladera	Fayal-brezal	3,5,6,7	3646	41,3	n.d.	7,6
43	G	Argumame	1300	SO	2	Ladera	Fayal-brezal	5,6	5852	31,5	n.d.	4,4
44	G	Fuensanta II	1000	NE	5	Ladera	Fayal-brezal	3,5,6,7	27600	37,4	n.d.	5,0
45	G	La Meseta	775	NE	30	Barranco	Laurisilva de cuenca	3,4,5,6,7,9,11	538	64,8	n.d.	23,9
46	G	Fuensanta I	1000	NE	5	Ladera	Fayal-brezal	3,5,6	12300	26,0	n.d.	5,9
47	G	Aguatosca II	1250	SO	16	Ladera	Jaral de <i>Cistus monspeliensis</i>	---	---	---	---	---
48	i	Los Rasos de Melado	1145	E	9	Barranco	Laurisilva de cuenca	3,5,7,9	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
49	i	El Cabez de la Laguna	1270	NE	10	Cumbre	Fayal-brezal	3,5,6	n.d.	n,d	4,2	n.d.
50	j	Barranco Toledo (Agua García)	825	NNE	10	Barranco	Laurisilva de cuenca	3,4,5,6,7,8	1693	33,7	7,8	3,9
51	k	Los Rasos de Melado	1145	E	9	Barranco	Laurisilva de cuenca	3,5,7,9	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
52	k	Los Loros de Callajo	1185	N	11	Barranco	Laurisilva de cuenca	3,5,6,7,9	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
53	k	La Erita de Jelima	1230	O	16	Ladera	Laurisilva de ladera	5,6	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
54	k	El Cabez de la Laguna	1270	NE	10	Cumbre	Fayal-brezal	3,5,6	1267	68,3	4,2	7,9
55	l	El Cabez de la Laguna	1270	NE	10	Cumbre	Fayal-brezal	3,5,6	n.d.	n,d	4,2	n.d.

EM: estación de muestreo. Ref.: referencia; a: Ceballos y Ortuño (1952); b: Datos inéditos de Patrimonio Forestal e ICONA; c: Santana (1986); d: Gómez y Fernández (2009); f: Aboal (1998); g: Aboal et al. (2000); h: Kämmer (1974); i: Datos inéditos Gómez y Fernández; j: Aboal et al. (1999a); k: Ritter et al. (2008); l: Ritter y Regalado (2010). T: Tenerife; GC: Gran Canaria; P: La Palma; H: El Hierro; G: Gomera. F: orientación. a: pendiente. .
Especies: 1: Pinus canariensis; 2: Pinus radiata; 3: Laurus novocanariensis; 4: Persea indica; 5: Erica arborea; 6: Myrica faya; 7: Ilex canariensis; 8: Ilex perado; 9: Picconia excelsa; 10: Ocoetea foetens; 11: Apollonias barbuajana ssp. barbuajana; 12: Viburnum rigidum; 13: Erica platycodon; 14: Juniperus turbinata; 15: Eucalyptus globulus; 16: Prunus lusitánica hixa; 17: Heberdenia excelsa; ---:sin estrato. BA: área basimétrica. LAI: índice de área foliar. Estrat.: estratificación de la altura de la cubierta (altura del árbol dominante menos altura media, h₀ - h). n.d. datos no disponibles.

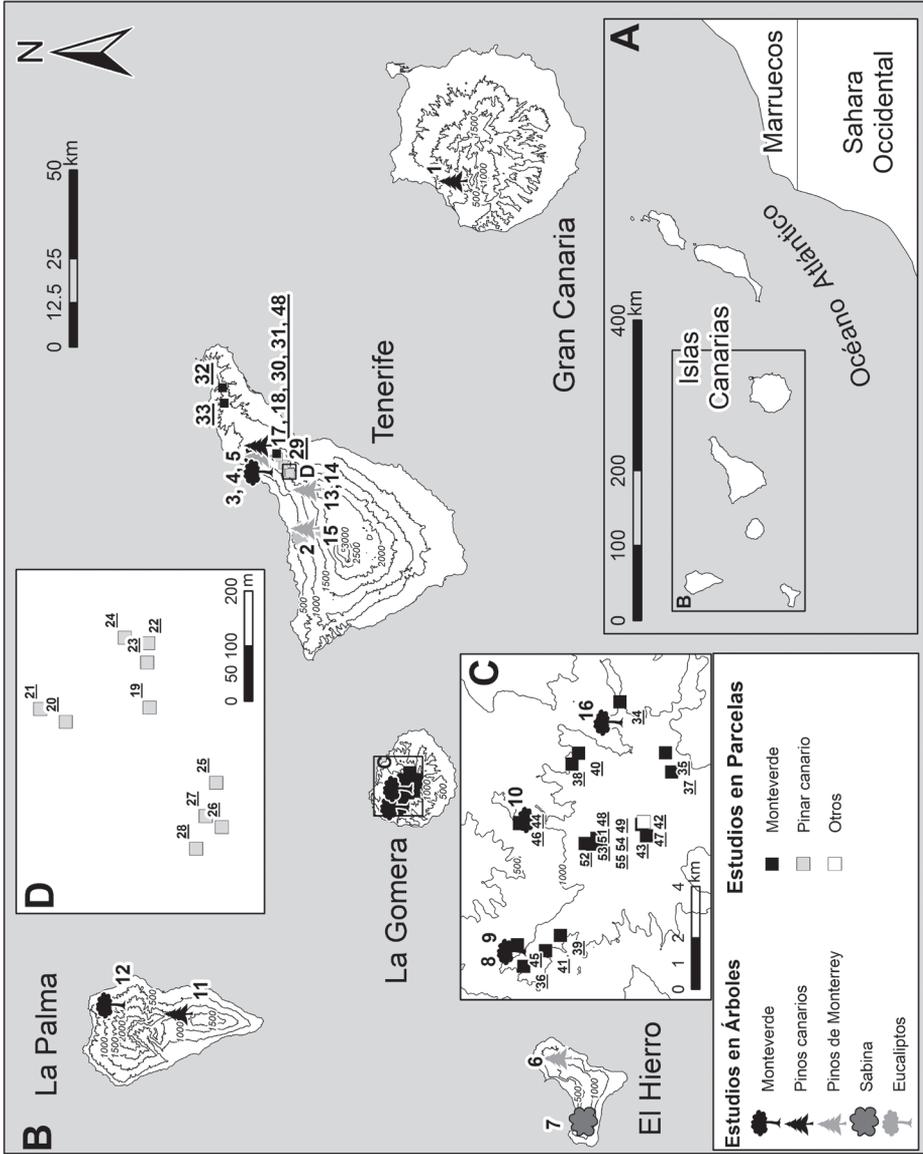


Figura 2. A) Mapa que muestra la situación del Archipiélago de Canarias al oeste de la costa africana, donde las islas occidentales quedan dentro del recuadro. B) Mapa de las islas más occidentales incluyendo curvas de nivel; se muestra la localización de las estaciones de muestreo revisadas etiquetadas con el código asignado en la Tabla 1, la simbología diferencia los estudios realizados en árboles aislados (código sin subrayar) o en parcelas (código subrayado), así como la especie o formación respectivamente. C) Ampliación de la zona central de la isla de La Gomera correspondiente al Parque Nacional de Garajonay. D) Ampliación de la zona adyacente al Pico del Gaitero en la isla de Tenerife.

Del mismo modo, para las EM cuyas pendientes han podido ser revisadas, se obtuvo un rango de variación entre 2 y 35° (Tabla 1), quedando así bien representado el desnivel existente en las zonas boscosas de las Islas. Sobresale, no obstante, el elevado número de EM cuya pendiente oscilaba entre 20 y 25°. Respecto a otras características orográficas (Tabla 1), más de la mitad de las EM con las que se contaba con esta información se localizan en laderas (54%), seguida de los barrancos (24%) y las cumbres (22%). Podemos concluir que las EM disponibles en la revisión recogen de manera bastante adecuada la diversidad de ubicaciones topográficas y orográficas de las masas forestales canarias.

2.2. Características de la vegetación y clima

Es bien conocido el hecho de que la distribución espacial de los organismos se establece en función de los gradientes de variación de los distintos parámetros, tanto bióticos como abióticos (Whittaker, 1970). No obstante, existen determinadas discontinuidades ambientales que pueden conducir a una definición más o menos clara de comunidades vegetales o de ecosistemas (Ren *et al.*, 2012), cuyo exponente más relevante en Canarias es el conocido como *mar de nubes*. Así, desde un punto de vista fundamentalmente fisionómico, la vegetación en las Islas Canarias parece estructurada a modo de pisos bioclimáticos, formando cinturones alrededor de las islas, aunque la altura de los pisos difiere de la vertiente norte a sur (ver por ejemplo: Fernández-Palacios y de los Santos, 1996). De esta forma existe una correspondencia patente entre la distribución de la vegetación y el clima local, expresado éste en función de las variaciones altitudinales. A pesar de existir un piso de vegetación termófila (compuesta por especies arbóreas como *Phoenix canariensis*, *Dracaena draco*, *Olea cerasiformis*, etc.) que se localiza entre los 200 a 500 m s.n.m., éste cuenta con escasa distribución actualmente en las Islas y no se encuentra representado en las EM revisadas. Por encima de éste, entre unos 600-1000 m s.n.m. y fundamentalmente en las fachada norte, se encuentra el Monteverde (Figuras 3 y 4), incluyéndose bajo esta denominación a diferentes tipos de bosques como la laurisilva, el fayal-brezaal y los brezales de cresterías, así como todas sus facies o variaciones locales correspondientes. Las temperaturas medias anuales fluctúan aproximadamente entre los 13 y 17°C y las precipitaciones oscilan entre los 500 y 1100 mm al año. Este piso bioclimático se encuentra bien representado en las EM revisadas. Exceptuando los estudios realizados en árboles aislados (Tabla 1), el 38% de las EM pertenecen a bosques de laurisilva (representados con diversos tipos de bosques como laurisilva de cuenca 23%, de ladera 10% y de niebla el 5%) el 23% a fayal-brezaal y el 5% a brezales de cumbre. Por encima del piso del Monteverde se encuentran los pinares, con un rango de distribución altitudinal bastante diferenciado en función de su orientación geográfica. Así, mientras que en la vertiente septentrional de las Islas varía entre los 1500 y 2000 m s.n.m., en la meridional lo hacen entre los 900 y 2200 m s.n.m., si bien estos límites locales pueden ser fácilmente rebasados localmente dependiendo del sustrato sobre el que se desarrollen. Las temperaturas medias anuales oscilan entre 11 y 17 °C y las precipitaciones varían entre 300 y 900 mm al año. Un tercio de las EM se encuentran en este piso bioclimático. Existe además un estudio realizado bajo vegetación arbus-



Figura 3. Interior de un bosque de laurisilva de la Isla de La Gomera con la niebla incidiendo sobre la cubierta vegetal. (Fotografía: J. Marcos)



Figura 4. Mar de nubes sobre los bosques de Monteverde de Garajonay en la Isla de la Gomera. (Fotografía: A.B. Fernández)

tiva en jarales de sustitución de *Cistus monspeliensis*, que crecen en áreas que albergaron antiguas plantaciones de especies del género *Pinus* no autóctonas.

Los estudios se han realizado bajo un total de 16 especies arbóreas (Tabla 1). A diferencia de los pinares, que suelen ser en ocasiones bosques monoespecíficos en el estrato arbóreo, los bosques de monteverde son pluriespecíficos, con una gran diversidad específica y enorme variación en la composición y estructura de las comunidades estudiadas. Para los bosques en los que se ha contado con información (Tabla 1), existe una gran variación en cuanto a variables tales como la densidad de ejemplares (que fluctúa de 288 a 27600 pies ha^{-1}), el área basimétrica (que varía de 26 a 73.5 $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$), el índice de área foliar (con un intervalo de 2 a 7.8 m^2 de hoja m^2 de suelo) o la estratificación de la cubierta vegetal (de 0.3 a 23.9 m, definida como la diferencia entre la altura de los árboles dominantes, h_0 y la altura media \bar{h}).

3. DESCRIPCIÓN DE LOS MÉTODOS DE MEDIDA

La duración de los experimentos es muy variable (Tabla 2). De este modo, el 35% de los estudios abarcaron un periodo igual o inferior a un año, el 23% entre uno y dos años, mientras que el 42% restante superaron los dos años. Destaca, la duración de los estudios realizados por el Parque Nacional de Garajonay, que se extienden entre unos 5 a 19 años (sin que se haya añadido las

series completas en la presente revisión, ya que en Gómez y Fernández (2009) sólo se incluye hasta 2006 y los datos se extienden hasta 2012).

3.1. Precipitación incidente

En el 73% de los casos se emplean pluviómetros tipo Hellman, mientras que en el 27% restante se utilizan diferentes tipos de pluviómetros generadores de pulsos. Cuando existe la información las medidas de precipitación incidente se realizaron en torres sobre los bosques en un 28% de los casos. Para el resto de las EM los pluviómetros se situaron en claros de bosques, alejados de las mismas a 100, 500, 1000 o 1500 m en un 14%, 19%, 33% y 6% de los casos, respectivamente.

3.2. Precipitación trascolada

El tamaño de las EM donde se ubicaron los colectores de precipitación trascolada (Tabla 2) varía entre 10 y 3390 m², encontrándose en la mayoría de los casos entre 100 y 1000 m² (67%). El número de colectores ubicados en dichas áreas también es muy variable. En los estudios en árboles aislados (EM 1-16) se restringe a un solo colector. En el resto de los estudios el número de colectores varía entre 2 y 50, aunque usualmente es bastante reducido (<10 colectores en el 87% de los casos). Además, a pesar de las recomendaciones de Lloyd y Marques (1988), estos colectores no fueron recolocados espacialmente en ninguno de los estudios revisados, sino que permanecieron en posiciones fijas durante la duración de los experimentos. El tipo de colectores es de nuevo muy variable: en pocas ocasiones (10%) se trata de generadores de pulsos, mientras que los colectores manuales consisten en diversos sistemas: de pluviómetros (55%) o mesas o canaletas (35%). Salvo excepciones, los colectores se encuentran ubicados a una distancia del suelo entre 50 y 100 cm. El tamaño de éstos varía entre los 20 y los 5000 cm², aunque mayoritariamente (48%) se encuentra comprendido entre 200 y 250 cm². El número de colectores utilizado se relaciona con sus dimensiones. Así, cuando son únicos su tamaño es mucho mayor (por ejemplo 5000 cm²) (Tabla 2). Estas diferencias de tamaño de los colectores junto con el número de los mismos empleados, hace que el área total muestreada por los colectores varíe entre 100 y 15000 cm², aunque en el 83% de las estaciones de muestreo varía entre 1500 y 5000 cm².

La periodicidad de la toma de datos de la precipitación trascolada oscila desde el registro en continuo de medidas (en un bajo porcentaje de las EM incluidas, 10%), semanalmente (31%), o hasta periodos superiores a la semana, principalmente mensuales (58%) (Tabla 2). Esta periodicidad en la toma de datos, unida a la duración de los experimentos anteriormente mencionada, genera una enorme variabilidad en el número de registros realizados. Así, en la Tabla 2 se puede observar que los registros de precipitación trascolada obtenidos varían desde 25 a 516 dependiendo de la EM.

Tabla.2. Metodología empleada en los diferentes estudios realizados.

EM	Ref.	Periodo de medida	Periodicidad	n	Área (m ²)	nº col.	Área col. (cm ²)	∑Área (cm ²)	Col.Pt	h (cm)	Col.PI	Dist. (m)
1	a	01/01/1951 - 31/12/1951	n.d.	n.d.	a.a.	1	200	200	1	150	1	n.d.
2		01/01/1951 - 31/12/1951	n.d.	n.d.	a.a.	1	200	200	1	150	1	25
3	b	13/10/1967 - 12/10/1975	1	516	a.a.	1	5000	5000	2	150	n.d.	n.d.
4		13/10/1967 - 31/08/1972	1	381	a.a.	1	5000	5000	2	150	n.d.	n.d.
5		13/10/1967 - 31/08/1972	1	381	a.a.	1	5000	5000	2	150	n.d.	n.d.
6	c	xx/11/1985 - xx/03/1986	2	n.d.	a.a.	1	5000	5000	2	n.d.	n.d.	n.d.
7		xx/01/1985 - xx/12/1985	2	n.d.	a.a.	1	5000	5000	2	n.d.	n.d.	n.d.
8		xx/05/1985 - xx/10/1985	2	n.d.	a.a.	1	5000	5000	2	n.d.	n.d.	n.d.
9		xx/05/1985 - xx/03/1986	3	n.d.	a.a.	1	5000	5000	2	n.d.	n.d.	n.d.
10		xx/05/1985 - xx/12/1985	n.d.	n.d.	a.a.	1	5000	5000	2	n.d.	n.d.	n.d.
11		xx/01/1985 - xx/10/1985	n.d.	n.d.	a.a.	1	5000	5000	2	n.d.	n.d.	n.d.
12		xx/01/1985 - xx/12/1985	n.d.	n.d.	a.a.	1	5000	5000	2	n.d.	n.d.	n.d.
13		xx/10/1985 - xx/02/1986	n.d.	n.d.	a.a.	1	5000	5000	2	n.d.	n.d.	n.d.
14		xx/10/1985 - xx/02/1986	n.d.	n.d.	a.a.	1	5000	5000	2	n.d.	n.d.	n.d.
15		xx/06/1985 - xx/03/1986	4	n.d.	a.a.	1	5000	5000	2	n.d.	n.d.	n.d.
16	d	01/02/1987 - 03/01/2006	5	216	a.a.	1	2500	2500	2	74	1	1000
17	f	04/10/1993 - 11/05/1994 y 01/01/1995 - 31/12/1995	6	70	3390	5	2100	10200	3	100	2	0
18		04/10/1993 - 11/05/1994	6	42	3390	5	20	100	4	100	2	0
19	g	15/03/1997 - 03/04/1998	7	25	400	7	230	1600	5	70	1	500-800
20		15/03/1997 - 03/04/1998	7	25	400	7	230	1600	5	70	1	500-800
21		15/03/1997 - 03/04/1998	7	25	400	7	230	1600	5	70	1	500-800
22		15/03/1997 - 03/04/1998	7	25	400	7	230	1600	5	70	1	500-800
23		15/03/1997 - 03/04/1998	7	25	400	7	230	1600	5	70	1	500-800
24		15/03/1997 - 03/04/1998	7	25	400	7	230	1600	5	70	1	500-800
25		15/03/1997 - 03/04/1998	7	25	400	7	230	1600	5	70	1	500-800
26		15/03/1997 - 03/04/1998	7	25	400	7	230	1600	5	70	1	500-800
27		15/03/1997 - 03/04/1998	7	25	400	7	230	1600	5	70	1	500-800
28		15/03/1997 - 03/04/1998	7	25	400	7	230	1600	5	70	1	500-800
29	h	26/03/1971 - 13/03/1972	8	n.d.	60	50	2500	2500	n.d.	20	n.d.	n.d.

30		26/03/1971 - 22/09/1971	8	n.d.	n.d.	2	50	100	n.d.	20	n.d.	n.d.
31		26/03/1971 - 22/09/1971	8	n.d.	10	50	50	2500	n.d.	20	n.d.	n.d.
32		31/03/1971 - 17/03/1972	8	n.d.	112	50	50	2500	n.d.	20	n.d.	n.d.
33		22/04/1971 - 14/03/1972	8	n.d.	14	10	50	500	n.d.	20	n.d.	n.d.
34	d	01/08/1999 - 12/01/2006	5	116	400	10	226,9	2269	5	64	1	80
35		01/08/1999 - 12/01/2006	5	114	400	10	226,9	2269	5	64	1	10
36		14/03/2001 - 10/01/2006	5	78	400	9	226,9	2042	5	64	1	600
37		01/08/1999 - 13/01/2006	5	103	1600	10	226,9	2269	5	64	1	500
38		02/08/1999 - 13/01/2006	5	100	2400	10	226,9	2269	5	64	1	1500
39		03/08/1999 - 11/01/2006	5	103	400	10	226,9	2269	5	64	1	200
40		02/08/1999 - 12/01/2006	5	101	2400	10	226,9	2269	5	64	1	1300
41		03/08/1999 - 11/01/2006	5	105	900	10	226,9	2269	5	64	1	150
42		14/03/2001 - 11/01/2006	5	71	400	9	226,9	2042	5	64	1	30
43		14/03/2001 - 11/01/2006	5	71	400	9	226,9	2042	5	64	1	500
44		14/03/2001 - 12/01/2006	5	71	400	9	226,9	2042	5	64	1	400
45		14/03/2001 - 10/01/2006	5	70	400	9	226,9	2042	5	64	1	200
46		14/03/2001 - 12/01/2006	5	71	400	9	226,9	2042	5	64	1	400
47		14/03/2001 - 11/01/2006	5	70	400	3	226,9	681	5	64	1	10
48	i	15/03/2004 - 29/09/2009	3	265	100	6	2500	15000	2	50	3	0
49	i	15/03/2004 - 29/09/2009	3	268	100	6	2500	15000	2	50	3	0
50	j	23/09/1994 - 31/12/1995	9	47	3390	40	1230	9100	5	70	2	0
51	k	07/02/2003 - 31/01/2004 y 01/02/2004 - 31/01/2005	10	--	n.d.	2	1886	3772	6	75	3	0
52	k	07/02/2003 - 31/01/2004 y 01/02/2004 - 31/01/2006	10	--	n.d.	2	1886	3772	6	75	3	0
53	k	07/02/2003 - 31/01/2004 y 01/02/2004 - 31/01/2007	10	--	n.d.	2	1886	3772	6	75	3	0
54	k	07/02/2003 - 31/01/2004 y 01/02/2004 - 31/01/2008	10	--	n.d.	2	1886	3772	6	75	3	0
55	l	05/10/2006 - 22/05/2007	10	--	Tran.	22	213,8	4704	7	46	3	0

◀ EM: estación de muestreo. Ref. : referencia; a: Ceballos y Ortuño (1952); b: Datos inéditos de Patrimonio Forestal e ICONA; c: Santana (1986); d: Gómez y Fernández (2009); f: Aboal (1998); g: Aboal *et al.* (2000); h: Kämmer (1974); i: Datos inéditos Gómez y Fernández; j: Aboal *et al.* (1999a); k: Ritter *et al.* (2008); l: Ritter y Regalado (2010). Periodicidad: periodicidad de la recogida de datos; 1: diaria; 2: semanal; 3: mensual; 4: cada 3 días; 5: mensual y tras un episodio tormentoso relevante; 6: 2 ó 3 días hasta semanal; 7: semanal usualmente, a veces hasta 3 semanas; 8: a veces semanal y con determinados tipos de tiempo diaria; 9: eventos o hasta semanal; 10: continua. n: número de medidas realizadas. Área: área de la parcela de estudio; a.a.: árbol aislado; Tran: transecto de 140 m. n° col.: número de colectores de precipitación trascolada instalados en el área de estudio. Área col: área de cada colector de precipitación trascolada. Σárea: total del área muestreada por el conjunto de colectores. Col.Pt: tipo de colector empleado para medir la precipitación trascolada; 1:Hellman; 2:mesa; 3:canaletas; 4:wedge-shaped (R. Fuess Berlín-Steglitz); 5:embudo de paredes paralelas; 6:Pluviómetros rain-O-Matic suplementados con embudos; 7:Pluviómetros generador de pulsos (Davis Instruments Corp., California). h: altura de los colectores; Col.Pi: tipo de colector empleado para medir la precipitación incidente; 1:Hellman; 2:Pluviómetro generador de pulsos (modelo Skye, Int. Llandridod, UK); 3: Pluviómetros rain-O-Matic Professional generador de pulsos (Pronamic Bekhøi International Trading Engineering Co. Ltd.). Dist.: distancia entre la parcela de estudio y la medida de precipitación incidente; 0: torre en los bosques. n.d. datos no disponibles.

3.3. Escurrido cortical

Lamentablemente sólo en 8 de las EM se ha medido el escurrido cortical junto con la precipitación trascolada. En 7 de ellas, ubicadas en el Parque Nacional de Garajonay, el número de árboles en los que se ha determinado esta variable es muy reducido (de 6 a 12 árboles por parcela) y con una periodicidad mensual. En la estación de muestreo 50, se determinó en 30 árboles con periodicidades inferiores a la semana (Aboal, 1999b). En todos los casos se realizó un registro manual con el método habitual de anillos de goma.

4. CALIDAD DE LA INFORMACIÓN

En los estudios revisados existe una gran disparidad de objetivos y metodologías empleadas. Por ello se han aplicado los criterios propuestos por Llorens y Domingo (2007) para evaluar la calidad de la metodología en los trabajos realizados (Tablas 2 y 3), con el fin de ser precavidos a la hora de comparar los estudios e intentar hacer generalizaciones. Para cada estación de estudio se suma un punto cuando se cumple cada criterio. Los criterios son: i) periodo de estudio superior a un año; ii) frecuencia de muestreo semanal o inferior; iii) área de colección superior a 0.2 m²; y iv) que se haya medido el escurrido cortical. Los resultados de los estudios en las Islas Canarias son mucho más pobres que los obtenidos por Llorens y Domingo (2007) para la Europa mediterránea. Así, mientras que a nivel de Europa mediterránea el 21%, 10%, »24% y »45% de los trabajos cumplen con los criterios i, ii, iii y iv, respectivamente, en Canarias son el 38%, 30%, 28% y 2% de los estudios los que cumplen con esos cuatro criterios, respectivamente. Es destacable el reducido número de trabajos en los que se cumplen los cuatro criterios (2%) a diferencia de lo que ocurre

Tabla 3. Resultados de los diferentes estudios realizados.

EM	Ref.	P (mm)	P_t (mm)	E_c (mm)	I%	b	a	r^2
1	a	865 (-; -; -)	2724 (-; -; -)	n.d.	-215 (-; -; -)	n.d.	n.d.	n.d.
2		956 (53; 0; 267)	3038 (199; 43; 698)	n.d.	-218 (-255; -2517; -42)	1,89	102,85	0,78
3	b	5697 (7; 0; 121)	4140 (5; 0; 85)	n.d.	27 (37; -140; 100)	0,70	0,34	0,79
4		4084 (6; 0; 121)	3778 (6; 0; 158)	n.d.	7 (14; -491; 100)	0,97	-0,45	0,8
5		4084 (6; 0; 121)	3644 (6; 0; 138)	n.d.	11 (17; -290; 100)	0,92	-0,24	0,81
6	c	208 (-; -; -)	> 1000 (-; -; -)	n.d.	< -381 (-; -5500; -200)	n.d.	n.d.	n.d.
7		380 (-; -; -)	670 (-; -; -)	n.d.	-76 (-; -; -)	n.d.	n.d.	n.d.
8		72 (-; -; -)	>264 (-; -; -)	n.d.	< -269 (-; -; -)	n.d.	n.d.	n.d.
9		176.7 (-; -; -)	192 (-; -; -)	n.d.	-9 (-; -167; 31)	n.d.	n.d.	n.d.
10		-- (-; -; -)	-- (-; -; -)	n.d.	14 (-; -; -)	n.d.	n.d.	n.d.
11		315 (-; -; -)	1049 (-; -; -)	n.d.	-233 (-; -2700; -100)	n.d.	n.d.	n.d.
12		855 (-; -; -)	>719 (-; -; -)	n.d.	<16 (-; -150; 60)	n.d.	n.d.	n.d.
13		711 (-; -; -)	480.4 (-; -; -)	n.d.	32 (-; -150; 60)	n.d.	n.d.	n.d.
14		711 (-; -; -)	542 (-; -; -)	n.d.	24 (-; -150; 60)	n.d.	n.d.	n.d.
15		825 (-; -; -)	1541 (-; -; -)	n.d.	-87 (-; -6900; 0)	n.d.	n.d.	n.d.
16	d	789 (36; 0; 328)*	615 (36; 0; 248)*	n.d.	22 (-; -; -)	0,58	14,35	0,70
17	f	1209 (13; 0; 122)	673 (6; 0; 71)	n.d.	44 (46; -41; 100)	0,53/ 0,56	-0,01/ -0,52	0,85/ 0,99
18		658 (14; 0; 43)	481 (7; 0; 49)	n.d.	27 (46; -58; 82)	0,53	0,24	0,85
19	g	439 (-; -; -)	838 (-; -; -)	n.d.	-90 (-; -; -)	n.d.	n.d.	n.d.
20		439 (-; -; -)	960 (-; -; -)	n.d.	-118 (-; -; -)	n.d.	n.d.	n.d.

21		439 (-; -; -)	759 (-; -; -)	n.d.	-72 (-; -; -)	n.d.	n.d.	n.d.
22		439 (-; -; -)	873 (-; -; -)	n.d.	-98 (-; -; -)	n.d.	n.d.	n.d.
23		439 (-; -; -)	1051 (-; -; -)	n.d.	-139 (-; -; -)	n.d.	n.d.	n.d.
24		439 (-; -; -)	834 (-; -; -)	n.d.	-90 (-; -; -)	n.d.	n.d.	n.d.
25		439 (-; -; -)	1221 (-; -; -)	n.d.	-178 (-; -; -)	n.d.	n.d.	n.d.
26		439 (-; -; -)	931 (-; -; -)	n.d.	-112 (-; -; -)	n.d.	n.d.	n.d.
27		439 (-; -; -)	922 (-; -; -)	n.d.	-110 (-; -; -)	n.d.	n.d.	n.d.
28		439 (-; -; -)	781 (-; -; -)	n.d.	-78 (-; -; -)	n.d.	n.d.	n.d.
29	h	666 (-; -; -)	3222 (-; -; -)	n.d.	-384 (-; -; -)	n.d.	n.d.	n.d.
30		288 (-; -; -)	1008 (-; -; -)	n.d.	-250 (-; -; -)	n.d.	n.d.	n.d.
31		288 (-; -; -)	425 (-; -; -)	n.d.	-48 (-; -; -)	n.d.	n.d.	n.d.
32		888 (-; -; -)	1074 (-; -; -)	n.d.	-21 (-; -; -)	n.d.	n.d.	n.d.
33		883 (-; -; -)	1063 (-; -; -)	n.d.	-20 (-; -; -)	n.d.	n.d.	n.d.
34	d	665 (25; 0; 261)*	1051 (71; 0; 308)*	17 (1; 0; 8)*	-61 (-; -; -)	0,61	46,82	0,47
35		793 (43; 0; 255)*	1216.1(79; 0; 311)*	22 (1; 0; 6)*	-56 (-; -; -)	0,83	40,20	0,62
36		570 (23; 0; 235)*	713.6 (40; 0; 263)*	n.d.	-25 (-; -; -)	0,65	27,32	0,62
37		796 (32; 0; 279)*	891.5 (39; 0; 393)*	16 (1; 0; 7)*	-134 (-; -; -)	0,88	12,02	0,73
38		651 (32; 0; 318)*	661.6 (36; 0; 234)*	13 (1; 0; 4)*	-4 (-; -; -)	0,62	18,20	0,56
39		646 (24; 0; 290)*	600.8 (28; 0; 239)*	44 (3; 0; 19)*	0 (-; -; -)	0,51	16,90	0,55
40		651 (32; 0; 318)*	628.6 (30; 0; 256)*	3.5 (0; 0; 1)*	3 (-; -; -)	0,62	17,05	0,55
41		646 (24; 0; 290)*	585.1 (38; 0; 222)*	33 (2; 0; 13)*	4 (-; -; -)	0,47	19,18	0,56
42		695 (29; 0; 297)*	567.8 (24; 0; 224)*	n.d.	18 (-; -; -)	0,72	3,68	0,76
43		695 (29; 0; 297)*	493.2 (16; 0; 261)*	n.d.	29 (-; -; -)	0,74	-1,41	0,74
44		572 (37; 0; 289)*	370.6 (24; 0; 118)*	n.d.	35 (-; -; -)	0,43	4,44	0,81

45		599 (22; 0; 277)*	410.7 (20; 0; 170)*	n.d.	31 (-; -; -)	0,53	8,25	0,68
46		572 (37; 0; 289)*	281.6 (19; 0; 82)*	n.d.	51 (-; -; -)	0,32	4,33	0,77
47		695 (29; 0; 297)*	350.8 (12; 0; 224)*	n.d.	50 (-; -; -)	0,50	-0,92	0,74
48	i	n.d.	679.05 (1; 0; 118)*	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
49	i	n.d.	934.02 (12; 0; 112)*	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
50	j	324 (2; 0; 85)	164 (0; 0; 46)	21 (0; 0; 9)	43 (92; 0; 35)	0,56	-0,08	0,99
51	k	574 (2; 0; 36) ^y 1021 (1; 0; 166) ^t	623 (1; 0; 53) ^y 692 (1; 0; 93) ^t	n.d.	-9/32 (-; -; -)	n.d.	n.d.	n.d.
52	k	641 (2; 0; 45) ^y 1124 (1; 0; 163) ^t	315 (1; 0; 27) ^y 695 (1; 0; 106) ^t	n.d.	51/38 (-; -; -)	n.d.	n.d.	n.d.
53	k	612 (2; 0; 38) ^y 1071 (1; 0; 157) ^t	489 (1; 0; 36) ^y 322 (1; 0; 47) ^t	n.d.	20/70 (-; -; -)	n.d.	n.d.	n.d.
54	k	531 (1; 0; 45) ^y 948 (1; 0; 140) ^t	491 (1; 0; 34) ^y 768 (1; 0; 90) ^t	n.d.	7/19 (-; -; -)	0,98	-1,22	0,89
55	l	610 (1; 0; 79) ^t	399 (369; -; -) ^t	n.d.	35(40; -; -)	n.d.	n.d.	n.d.

EM: estación de muestreo. Ref.: referencia; a: Ceballos y Ortuño (1952); b: Datos inéditos de Patrimonio Forestal e ICONA; c: Santana (1986); d: Gómez y Fernández (2009); f: Aboal (1998); g: Aboal et al. (2000); h: Kämmer (1974); i: Datos inéditos Gómez y Fernández; j: Aboal et al. (1999a); k: Ritter et al. (2008); l: Ritter y Regalado (2010). Precipitación incidente, P: datos totales y entre paréntesis mediana, mínimos y máximos por periodo estudiado de precipitación incidente. Precipitación trascolada, P_t: datos totales y entre paréntesis mediana, mínimos y máximos por periodo estudiado de precipitación trascolada; Escorrído cortical, E: datos totales y entre paréntesis mediana, mínimos y máximos por periodo estudiado de escorrído cortical; Intercepción, I%: datos totales y entre paréntesis mediana, mínimos y máximos por periodo estudiado de intercepción (%); b y a son la pendiente y la constante, respectivamente de la regresión entre la precipitación incidente (en abcisas) y la precipitación trascolada (en ordenadas) realizada con n valores (Tabla 2). Los datos separados por la barra "/" se refieren a distintos periodos (ver Tabla 2). n.d. datos no disponibles. t: datos en mm día⁻¹. *: datos anuales.

en el área mediterránea (>45%). Contrastando con los trabajos revisados por Llorens y Domingo (2007), en donde los trabajos que cumplían tres criterios estudiaban la relación entre la precipitación trascolada y la precipitación incidente, en los trabajos revisados, la mitad de los que cumplen tres criterios incluyen la medida del escurrido cortical, pero la frecuencia de toma de datos asciende a un mes.

5. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA

Los resultados de la precipitación incidente, precipitación trascolada y escurrido cortical para las EM revisadas se muestra en la Tabla 3. Los datos corresponden a los totales de los estudios realizados (o en ocasiones datos anuales) acompañados de los datos correspondientes a las medianas, mínimos y máximos. Asimismo, se incluyen los datos de interceptación calculada. Las relaciones con variables topográficas o variables de la cubierta vegetal se realizarán con la interceptación, ya que se calcula a partir de la precipitación incidente, trascolada y el escurrido cortical.

5.1. La interceptación

El porcentaje de agua interceptada ($I\%$) con respecto de la precipitación incidente (P), $I\% = 100 \cdot (P - P_t) / P$, para las EM estudiadas varió entre -384 y 51% (Tabla 1). Más de la mitad (55%) de los valores obtenidos correspondieron a valores negativos de $I\%$ (Figura 5) lo que indica que los colectores de precipitación trascolada (P_t) registraron mayor cantidad de agua que la lluvia medida con los pluviómetros. Esto puede ser debido a diversas causas: como la presencia de una importante precipitación de niebla, sesgos o sobreestimación de los volúmenes de agua medida bajo la cubierta, o minusvaloración de los valores de lluvia como consecuencia de la presencia de rachas fuertes de viento.

Estos resultados sugieren una estrecha relación entre cada uno de los tipos de formación forestal y el porcentaje de interceptación obtenido para cada uno de ellos. Salvo excepciones (EM 4 y 13), las EM correspondientes a pinares de *Pinus canariensis* suelen tener valores negativos, lo que puede sugerir la existencia de precipitación de niebla como se ha apuntado arriba. Lo mismo acontece con los brezales de cumbre y las laurisilvas de nieblas, estas últimas con valores menos negativos que en el caso anterior. Por el contrario, se registran valores positivos del porcentaje de interceptación para las laurisilva de cuenca (con la excepciones de las EM 38 y uno de los periodos estudiados en la 51) y los fayales brezales. Otras formaciones como la laurisilva de ladera y los pinares de pino de Monterrey (*Pinus radiata*) no parecen presentar un patrón claramente definido. No obstante, para cada formación vegetal existe un amplio intervalo de variación en los valores de $I\%$ (para pinares canarios entre un -383% y un 32%, para laurisilva de cuenca entre un -9% y un 51%, para el fayal-brezaal entre un 7 y un 51%).

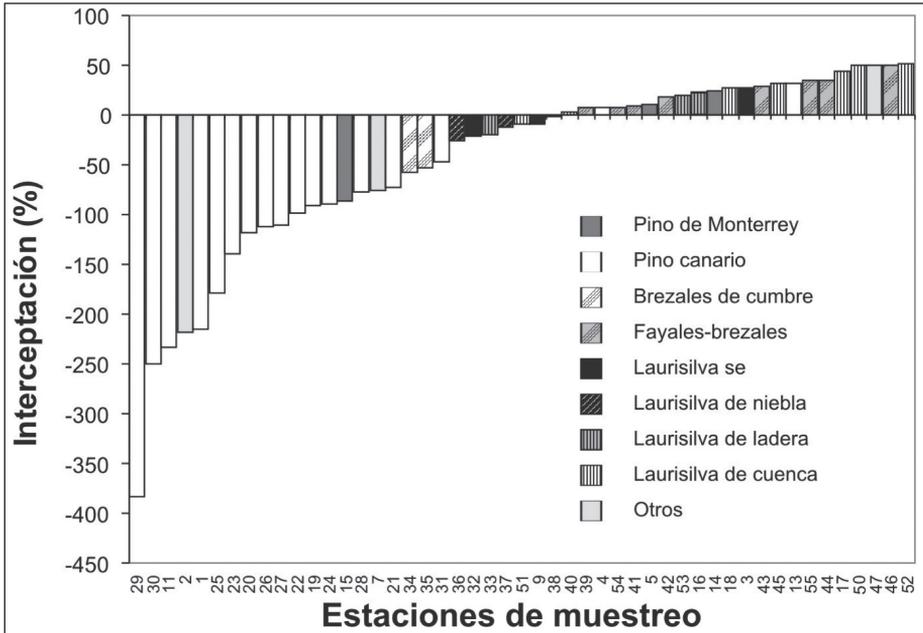


Figura 5. Porcentaje de interceptación (calculado como $I\% = 100 \cdot (P - P_t) / P$; (detalles en el texto) para las diferentes estaciones de muestreo revisadas y etiquetadas con el código asignado en la Tabla 1. El relleno de las barras hace referencia a la formación vegetal existente en la estación de muestreo. Laurisilva se: laurisilva sin especificar; otros: eucaliptos, sabinas o jarales.

5.2. Relación entre las variables topográficas y la interceptación

El porcentaje de interceptación ($I\%$) muestra cierta tendencia polinómica significativa con la altitud (z : en m s.n.m.) ($I\% = -0.0003z^2 + 0.5964z - 265.75$, $n=38$, $r^2=0.54^{***}$) (Figura 6). No se ha encontrado relación significativa entre la interceptación y la pendiente. Respecto a la orientación, los valores más negativos de $I\%$ se encuentran en orientaciones al noroeste, este y principalmente al norte, mientras que en las orientaciones oeste-suroeste y oeste únicamente existen valores positivos. La orografía no parece jugar un papel demasiado importante. Todas estas variables parecen estar relacionadas con la precipitación de niebla (Stadt Müller, 1986; Cavalier y Goldstein, 1989, Santana, 1990, Cavalier *et al.*, 1996).

La relación con la altitud puede deberse a la incidencia del “mar de nubes” (capas de estratocúmulos bajo la influencia de la inversión térmica). Los límites inferiores y superiores de la capa de inversión térmica asociada al Alisio se sitúan aproximadamente entre los 700 y 1800 m s.n.m., siendo la variación estacional del límite inferior mucho mayor. Así el límite inferior supera los 1000 m s.n.m. durante unos diez meses al año (Torres *et al.*, 2001). Esto concuerda con que por debajo de los 800 m s.n.m. nunca se observen valores negativos del porcentaje de interceptación, y que por encima de 1300 m s.n.m.

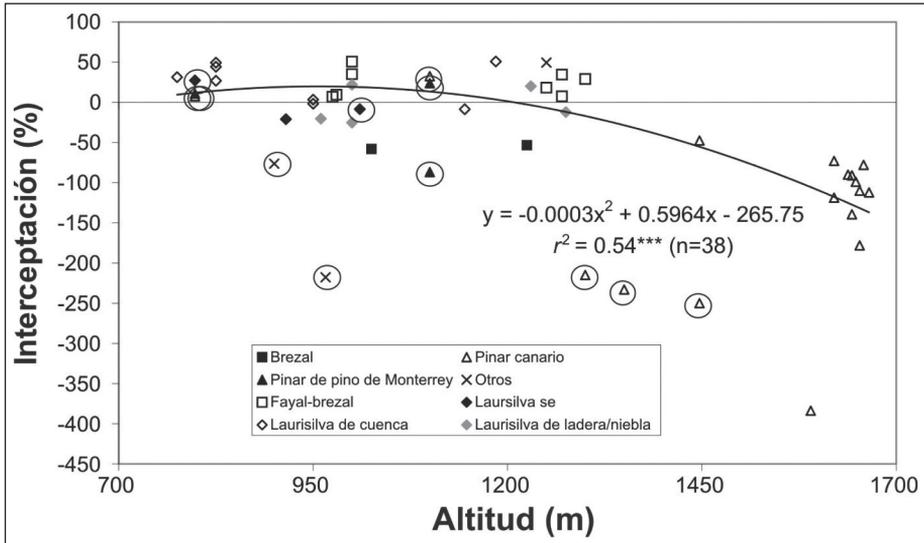


Figura 6. Relación existente entre la altitud de las estaciones de muestreo revisadas y la intercepción (calculada como $I\% = 100 \cdot (P - P_0) / P_0$, detalles en el texto). El símbolo hace referencia a la formación vegetal existente en la estación de muestreo. Laurisilva se: laurisilva sin especificar; otros: eucaliptos, sabinas o jarales. Las estaciones de muestreo rodeadas por círculos corresponden a árboles aislados y se han eliminado del ajuste polinómico que se muestra en la figura.

no se observen valores positivos. Entre 800 y 1300 m s.n.m. encontramos tanto valores positivos como negativos, lo que podría indicar que otras variables topográficas o de la cubierta vegetal (sección 5.3.) condicionen el valor del porcentaje de intercepción en este intervalo altitudinal.

5.3. Relación entre las variables de la cubierta vegetal y la intercepción

Casi todas las variables asociadas a la vegetación se relacionan de forma significativa, aunque débilmente, con el porcentaje de intercepción ($I\%$). La relación es en algunos casos positiva, de forma logarítmica como con la estratificación de cubierta vegetal ($h_0 - h$: altura de los árboles dominantes menos la altura media, expresada en m) ($I\% = 36.734 \cdot \ln(h_0 - h) - 82.032$, $n=28$, $r^2=0.35^{***}$) o la densidad (d : árboles ha^{-1}) ($I\% = 36.855 \cdot \ln(d) - 301.06$, $n=27$, $r^2=0.31^{***}$). La relación con el índice de área foliar (LAI : m^2/m^2) también es positiva pero lineal ($I\% = 28.21 \cdot LAI - 166.76$, $n=20$, $r^2=0.50^{***}$). Sin embargo, para el área basimétrica (BA : $m^2 ha^{-1}$) la relación es negativa ($I\% = -1.9002 \cdot BA + 58.706$, $n=26$, $r^2=0.21^*$). Se conoce que el perfil, volumen y constitución del obstáculo condicionan la magnitud de la precipitación de niebla (Merriam, 1973). En el caso de la vegetación los factores más relevantes serían la altura, tamaño y estructura de la vegetación (Ritter *et al.*, 2008). Así, la precipitación de niebla sería mayor cuanto más sobresalgan las copas de algunos árboles del dosel vegetal (Kämmer, 1974; Höllermann, 1981; Santana, 1986). Sin embargo, se ha encontrado el resultado contrario, es decir, cuanto menor es la estratificación de

la cubierta vegetal, más negativo es $I\%$, evidenciando la presencia de mayor precipitación de niebla, si ésta fuese la única causa que explique los valores negativos de $I\%$. Este resultado es el opuesto al encontrado por Aboal *et al.* (2000) en EM de pinares concentrados en una extensión de terreno reducida en Tenerife. También se debería producir más precipitación de niebla cuanto mayor fuera la distancia entre los árboles (Kämmer, 1974; Santana, 1986; Ritter *et al.*, 2008), y por lo tanto menor la densidad de árboles, un hecho que sí ocurre según los resultados de esta revisión. En cuanto al LAI, Aboal *et al.* (2000) encontraron que cuanto mayor fuera éste mayor sería la precipitación de niebla, siendo este resultado nuevamente opuesto al derivado en la presente revisión.

Otro de los factores de la vegetación que influye en la precipitación de niebla, y por lo tanto en $I\%$, es la disposición y la forma de la hojas (Kämmer, 1974; Ritter *et al.*, 2008). Así, podemos comprobar que existe una clara relación entre los diferentes tipo de bosques y el porcentaje de interceptación (Figura 5), pero ésta puede deberse a una correlación espúrea consecuencia de la relación que existe entre las diferentes formaciones y la altitud a la que se encuentran (Figura 6).

Los resultados obtenidos en esta revisión son, en ocasiones, contradictorios respecto a la bibliografía existente (Aboal *et al.*, 2000). La interpretación de estas relaciones resulta compleja debido a la matriz de datos de la que partimos. En esta matriz encontramos una elevada colinealidad de las variables. Así, la altitud se relaciona significativamente de forma negativa con el LAI ($LAI = -0.004 \cdot z + 9.6412$, $n=20$, $r^2=0.65^{***}$) y la estratificación de cubierta vegetal ($h_0 - h = -0.0094 \cdot z + 17.037$, $n=28$, $r^2=0.29^{***}$). Realmente, la altitud es un descriptor ambiental (Krebs, 2009) y no una variable, ya que usualmente por sí misma no proporciona explicaciones a los procesos que puedan desarrollarse a lo largo de su gradiente, pero sí se correlaciona con cambios de humedad ambiental, temperatura, o precipitación. Estas últimas tienen, en muchas ocasiones, una relación causal con otras variables como en este caso la interceptación. También determinan otras variables como la distribución de las especies vegetales y las características de las masas forestales que pueden ser las que presenten tal relación causal. Por este motivo, al no poder aislar de forma individual cada variable, resulta muy complejo encontrar relaciones causales entre ellas, pudiéndose estar obteniendo relaciones espúreas.

5.4. Relación entre la precipitación incidente y los flujos bajo la cubierta

Las regresiones simples lineales entre la precipitación incidente (P) y los flujos bajo la cubierta vegetal (o en su lugar entre la precipitación trascolada, P_t) presentan claras desventajas respecto a la aplicación de modelos. Estas regresiones simples lineales no tienen en cuenta ni la evaporación, ni la intensidad de la lluvia, ni su duración e intervalo entre eventos, ni la velocidad y dirección del viento mientras llueve (ver por ejemplo: Rutter *et al.*, 1971; 1975; Gash, 1979). Sin embargo, en los estudios revisados, ésta es una información que sí se ha podido recabar. En la Tabla 3 se muestran los parámetros de las regresiones lineales ($P_t = b \cdot P + a$), así como el coeficiente de determinación (r^2)

de laurisilva de ladera. Sin embargo estos valores son muy elevados en otras ocasiones, variando entre 8 y 102 (EM 2, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41 y 45), correspondientes de nuevo a diferentes tipos de formación, incluyendo todos los brezales de cumbre y laurisilvas de niebla. Siempre y cuando pudiera verificarse que la precipitación de niebla fuese la única causa que explique los mayores valores de P_t frente a P , esta elevada constante podría ser debida al aporte de agua por niebla, que posibilita la recolección de precipitación trascolada y escurrido cortical en ausencia de lluvias. Este valor de a podría aproximar el de la contribución de las precipitaciones de niebla en cada periodo de medición, siempre y cuando pudiera descartarse que los $P_t > P$ no sea debido a otras posibles causas distintas del aporte hídrico de las nieblas.

En cuanto a las pendientes (b), todas éstas son inferiores a la unidad, con la excepción de la EM 2, que corresponde a mediciones realizadas sobre un eucalipto aislado y que coincide con el valor de a más elevado (Tabla 3). La pendiente del resto de las EM fluctúa entre 0,32 y 0,98, concentrándose la mitad en el intervalo comprendido entre 0,50 y 0,65. Estas pendientes evidencian la importancia del proceso de evaporación desde las cubiertas cuando las cantidades de precipitación incidente son elevadas. Los altos valores de b en algunos casos (por ejemplo EM 4 ó 5) podrían ser debidos a la precipitación de niebla, como ya se ha indicado para las constantes. Como se observa en la Figura 7, resulta difícil reconocer la existencia de un patrón en las pendientes para cada una de las distintas formaciones forestales estudiadas.

6. CONCLUSIONES

A pesar de la importancia del agua como recurso en el Archipiélago Canario y, por lo tanto, la necesidad de la comprensión de los procesos hidrológicos de las cubiertas forestales, el conocimiento actual resulta escaso. La calidad de los estudios realizados es insuficiente y las pocas conclusiones que se han podido extraer en esta revisión están limitadas por la misma.

A este hecho se une la dificultad del estudio de los procesos hidrológicos en las Islas. La posible existencia de precipitación de niebla, de difícil cuantificación, o de otros factores que pueden haber afectado a las medidas de precipitación trascolada o de la lluvia, enmascaran el cálculo y dan lugar a valores negativos de interceptación, lo cual imposibilita conocer su magnitud real. En la actualidad parece necesaria la adquisición de un conocimiento en mayor detalle del funcionamiento de las cubiertas vegetales. En los estudios recopilados sólo se han calculado los parámetros de la cubierta vegetal en una sola estación de muestreo (Aboal *et al.*, 1999a), permitiendo la aplicación de modelos de interceptación (Rutter *et al.*, 1971; 1975 y Gash, 1979). En dicha estación de muestreo no existe precipitación de niebla, lo que facilitó la aplicación de dichos modelos. El valor obtenido de interceptación mediante la aplicación del modelo de Gash para cubiertas cerradas al periodo 1967-1997 fue de un 30%.

La reformulación de modelos de interceptación incluyendo la precipitación de niebla es una necesidad patente en la actualidad. No obstante, en ausencia de la aplicación de métodos indirectos de la humectación de la cubierta vegetal, sólo se podrá computar la existencia de precipitación de niebla cuan-

do ésta haya superado la capacidad de saturación de la cubierta. Debido a la elevada frondosidad de algunos de estos bosques (como apuntan los elevados LAI, Tabla 2) esta capacidad de saturación puede ser grande – por ejemplo Aboal *et al.* (1999a) la determinaron en 2.45 mm – por lo que para eventos de precipitación de niebla en los que no se alcanzase este valor, y en los que, por tanto, sus aportes fueran evaporados a la atmósfera desde las cubiertas sin haber alcanzado el suelo, se produciría una infraestimación de la interceptación. La parametrización de los modelos tiene, además, la ventaja de la reducción de los periodos de medición, y la estimación tanto retrospectiva como futura de la interceptación.

Otro problema que se presenta en el estudio de la precipitación en las Islas es la imposibilidad de aislar variables y realizar un muestreo estratificado. Como se comentó en la sección 2.2., tanto la altitud como la orientación determinan el tipo de vegetación existente. Las características de cada tipo de dosel varían mucho y no se pueden aislar de variables orográficas (que por ejemplo dan el nombre a las formaciones: laurisilva de cuenca, laurisilva de ladera) y topográficas. El descriptor ecológico de la altitud parece determinar en mayor medida la interceptación. A pesar de las excepciones, parece que en zonas bajas, en los bosques de laurisilva de cuenca, no se encuentran aportes de precipitación de niebla y, por lo tanto, la interceptación sería una estimación real de alrededor del 30-40% (por ejemplo EM 3, 17, 18, 50). Algo similar ocurriría en algunos fayales-brezales, sobre todo en orientaciones sur (por ejemplo EM 42, 43, 44 y 46) con valores similares. Sin embargo para otras formaciones vegetales como la laurisilva de niebla, el brezal de cumbre o los pinares, la obtención de valores negativos de interceptación, impide su correcta cuantificación. No obstante, existen excepciones, y con la información existente, parece que aún estamos muy lejos de conocer el funcionamiento de los procesos hidrológicos que concurren en los bosques de las Islas Canarias.

Futuros trabajos deberían encaminarse a cuantificar de forma fiable la precipitación bajo la cubierta vegetal mediante mallas densas de colectores re-colocados espacialmente (Ritter y Regalado, 2010). En especial para la estimación de la cantidad de agua aportada al suelo procedente de la niebla, donde los pequeños volúmenes a medir hacen necesario intensificar el muestreo. El papel que musgos y líquenes pueden jugar como reservorios que aumenten la capacidad de almacenamiento de la cubierta, así como el papel decisivo que la presencia de niebla pudiera desempeñar en su hidratación son cruciales para entender el funcionamiento de ecosistemas como la laurisilva. Igualmente el desconocimiento sobre las características de la niebla en Canarias -contenido en agua líquida, distribución del tamaño de gotas, composición química- es total. Estudios en este sentido redundarían en una mayor comprensión de su potencial contribución hídrica al bosque. Tales características de la niebla son además necesarias como input de modelos hidrológicos complejos que incorporen la precipitación de niebla. En este sentido, aunque existen algunos trabajos preliminares que han hecho un esfuerzo por modelar la componente de niebla en bosques canarios (Katata *et al.*, 2009; Braojos Ruiz, 2010), la escasez de datos para su contrastación exige un mayor esfuerzo experimental y de modelado. Por último, modernas técnicas isotópicas facilitarían una discriminación del destino y proporción de los distintos “pools” de agua procedente

de la lluvia y niebla, y su seguimiento hasta el acuífero, permitiendo estudiar la función del bosque en su recarga.

7. AGRADECIMIENTOS

A. Ritter y C.M. Regalado agradecen la financiación del proyecto INIA RTA2009-161.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aboal, J.R. 1998. Los flujos netos hidrológicos y químicos asociados en un Bosque de Laurisilva en Tenerife. Colección Soportes Audiovisuales e Informáticos. Serie Tesis Doctorales Curso 1997/98. Ciencias y Tecnologías. Universidad de la Laguna.
- Aboal, J.R., Jiménez, M.S., Morales, D., Hernández, J.M. 1999a. Rainfall Interception in laurel forest in the Canary Islands. *Agric. Forest Meteorol.* 97:73-86.
- Aboal, J.R., Morales, D., Hernández, J.M., Jiménez, M.S. 1999b. The measurement and modelling of the variation of stemflow in a laurel forest in Tenerife, Canary Islands. *J. Hydrol.* 221:161-175.
- Aboal, J.R., Jiménez, M.S., Morales, D., Gil, P. 2000. Effects of thinning on throughfall in Canary Islands pine forest. The role of fog. *J. Hydrol.* 238:218-230.
- Braojos Ruiz, J.J. 2010 Una metodología para la evaluación de la lluvia horizontal (aplicación en la isla de Tenerife). pp. 43-51, en: El conocimiento de los recursos hídricos en Canarias cuatro décadas después del proyecto SPA-15.
- Cavelier, J., Goldstein, G. 1989. Mist and fog interception in elfin cloud forests in Colombia and Venezuela. *J. Trop. Ecol.* 5:309-322.
- Cavelier, J., Solis, D., Jaramillo, M.A. 1996: Fog interception in montane forests across the Central Cordillera of Panamá. *J. Trop. Ecol.* 12:357-369.
- Ceballos, L., Ortuño, F. 1952. El bosque y el agua en Canarias. *Montes* 8:418-423.
- Cioranescu, A. 2004. Crónicas francesas de la conquista de Canarias. Le Canarien. Edit. Idea.
- Fernández-Palacios, J.M., de los Santos, A. 1996. Ecología de las Islas Canarias. Muestreo y análisis de poblaciones y comunidades. Sociedad La Cosmológica de Santa Cruz de la Palma.
- Gash, J.H.C. 1979. An analytical model of rainfall interception by forests. *Quart. J. Royal Meteorol. Soc.* 105: 43-55.
- Gómez, L.A., Fernández, A.B. 2009. La importancia de la precipitación de niebla. En: Ángel B. Fernandez López (Coord.) Parque Nacional de Garajonay. Patrimonio mundial. Organismo Autónomo Parques Nacionales. Publicaciones Turquesa, S.L.

- Höllermann, P. 1981. Microenvironmental studies in Laurel forest of Canary islands. *Mount. Res. Develop.* 1:193-207.
- Huetz de Lempis, A. 1969. Le climat des Iles Canaries. *Publ. Fac. Let. Sc. Hum. Paris-Sorbonne. Ser. Recher.* 54:1-224.
- Kämmer, F. 1974. Klima und vegetation auf Tenerife besonders im Hinblick auf den Nebelniederschlag. *Scripta Geobotanica* 7.
- Katata, G., Regalado, C.M., Ritter, A., Nagai, H.. 2009. Application of a land surface model that includes fog deposition over a tree heath-laurel forest in Garajonay National Park (La Gomera, Spain). pp: 393-400, en: O. Silva Rojas y J. Carrera Ramírez (eds.). *Estudios de la Zona no Saturada del Suelo. Vol IX. CIMNE.*
- Krebs, C.J. 2009. *Ecology*, 6ª edición. Pearson International Edition, San Francisco.
- Llorens, P., Domingo, F. 2007. Rainfall partitioning by vegetation under Mediterranean conditions. A review of studies in Europe. *J. Hydrol.* 335:37-54.
- Lloyd, C.R., Marques-Filho, A.O. 1988. Spatial variability of throughfall and stemflow measurements in Amazonian rain forest. *Agric. Forest Meteorol.* 42:63-73.
- Merriam, R.A. 1973. Fog drip from artificial leaves in a fog wind tunnel. *Water Resource Res.* 9:1591-1598.
- Muzylo, A., Llorens, P., Valente, F., Keizer, J.J., Domingo, F., Gash, J.H.C. 2009. A review of rainfall interception modelling. *J. Hydrol.* 370:191-206.
- Ren, X., Yang, G., Zhu, F., Qin, X., Wang, D., Liu, Z. y Feng, Y. 2012. Plant communities, species richness and life-forms along elevational gradients in Tabai Mountain, China. *Afr. J. Agric. Res.* 7:1834-1848.
- Ritter, A., Regalado, C.M., Aschan, G. 2008. Fog Water Collection in a Subtropical Elfin Laurel Forest of the Garajonay National Park (Canary Islands): A Combined Approach Using Artificial Fog Catchers and a Physically Based Impaction Model. *J. Hydrometeorol.* 9:920-934.
- Ritter, A., Regalado, C.M. 2010. Investigating the random relocation of gauges below the canopy by means of numerical experiments. *Agric. Forest Meteorol.* 150: 1102-1114.
- Rutter, A.J., Kershaw, K.A., Robins, P.C., Morton, A.J. 1971. A predictive model of rainfall interception in forests, 1. Derivation of the model from observations in a plantation of Corsican pine. *Agric. Meteorol.* 9:367-384.
- 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.
- Santana, L. 1986. *Estudio de las precipitaciones de niebla. Instituto Nacional para la conservación de la Naturaleza. Tenerife, ICONA.*
- 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.*

- Stadtmüller, T. 1987. Cloud Forests in the Humid Tropics: A Bibliographic Review. United Nations University Press.
- Torres, C.J., Cuevas, E., Guerra, J.C., Carreño, V. 2001. Caracterización de las masas de aire en la región subtropical sobre Canarias. V Simposio Nacional de Predicción. Madrid. INM.
- Whittaker, R. H. 1970. Communities and ecosystems. The Macmillan Company. New York, USA.