

La captación del agua del *mar de nubes* en Tenerife. Método e instrumental [1]

M^a Victoria Marzol, José Luis Sánchez Megia,
Pedro Valladares, Ramón Pérez González, Pedro Dorta
Dpto. de Geografía (Universidad de La Laguna)

Resumen

En el archipiélago canario existen numerosos precedentes del aprovechamiento del agua de las nubes para el consumo humano a partir de sistemas muy variados. Nos proponemos estudiar las características del *mar de nubes* y demostrar que el agua que contiene esta nubosidad es un recurso natural muy importante. Para ello, se han utilizado una metodología y un instrumental (neblinómetros, SFC) determinados; además, se ha realizado una rigurosa selección de los sitios para llevar a cabo el experimento, en función de criterios y factores geográficos y climáticos locales.

Palabras clave: Niebla, agua, neblinómetro (SFC), *mar de nubes*, Tenerife, Canarias.

Résumé

Dans l'archipel canarien il existe de nombreux précédents de l'utilisation de l'eau des nuages destinée à la consommation humaine à partir de systèmes très divers. Nous nous proposons d'étudier les caractéristiques de la *mer de nuages* et de démontrer que l'eau que contient cette nébulosité constitue une ressource naturelle très importante. C'est pourquoi nous avons utilisé une méthodologie et des instruments (capteur de brouillard) bien déterminés; de plus nous avons procédé à une rigoureuse sélection des lieux où réaliser l'expérience en fonction de critères et de facteurs géographiques et climatiques.

Mots clés: Brouillard, eau, capteur de brouillard (SFC), mer de nuages, Tenerife, Canaries.

Abstract

In the Canarian archipelago there are numerous precedents of the use of cloud water for human consumption based on extremely diverse systems. We propose studying the characteristics of the *sea of clouds* and show that the water contained in such cloud formations is an important natural resource. To this end, we have used specific methodology and instruments (standard fog collector, SFC). Also, we have made a rigorous selection of sites where experimentation can be carried out according to geographical and climatic factors and criteria.

Key words: Fog, water, Standard Fog Collector (SFC), sea of clouds, Tenerife, Canary Island.

[1] Investigación financiada por la Consejería de Educación, Cultura y Deportes del Gobierno de Canarias. Proyecto nº 774/94/228/161/93.

I. Introducción

Las nieblas, de irradiación o de advección y más aún las de cualquier otro tipo, son infrecuentes y muy locales en Canarias. Los cielos nubosos son, en cambio, abundantes pero la mayoría de los días las nubes pasan de largo y niegan a las islas el agua que contienen; en especial a las menos elevadas y más orientales y, en todas, a las vertientes del sotavento. Tampoco son fuente de precipitaciones convencionales los estratocúmulos del *mar de nubes* del alisio, a cuyo contacto con los relieves de barlovento se asocia lo que el habla popular llama "bruma" y define como "la nube pegada al niso".

Sólo en situaciones de inestabilidad de la atmósfera las lluvias se generalizan a todo el Archipiélago; pero son irregulares, y generosas en muy contadas y reducidas zonas. Así, que, nacida de la experiencia sobre lo limitado, la cultura campesina de la tierra es también en Canarias, como en otras regiones, secular y admirable cultura del agua según expresan sus paisajes rurales. Para hacer frente a la aleatoriedad de las lluvias y a su desigual distribución, la sabiduría popular aprovechó los más insignificantes regatos, plantó frutales en oquedades que retienen invisibles rocíos, cubrió con la misma finalidad algunos campos de secano de arenas y lapillis para aprovechar las escorrentías y captó el agua de las nieblas y rocíos. Las primeras crónicas del siglo XVI ya acreditan éste último procedimiento, mediante el cual se obtuvo en algunos lugares parte esencial del agua necesaria. Es el caso, en la actualidad, de pequeñas poblaciones de ciertos países y en las propias islas.

Este proyecto se propone evaluar de modo sistemático, con el uso de los neblinómetros y los aparatos que luego se describen, los caudales que pueden obtenerse y, a la vez, avanzar en el conocimiento de la estructura y dinámica del *mar de nubes*.

II. El *mar de nubes*

La nubosidad específica del archipiélago canario, y en particular la de la vertiente norte de la isla de Tenerife, se debe a una capa de estratocúmulos llamada *mar de nubes*. Esta capa alcanza un notable desarrollo horizontal pero su espesor es muy variable como consecuencia de factores de carácter dinámico, la estratificación y estabilidad de la atmósfera regional, y geográficos, la altitud y orientación del relieve local (MARZOL, 1990; 1993; MARZOL *et al.*, 1994). De todos los factores que intervienen en la formación de este banco nuboso el más importante es, sin lugar a dudas, la inversión térmica de subsidencia, típica del régimen de alisios y con una frecuencia media del 95,7% de los días del año (DORTA, 1996, 112).

El *mar de nubes* no mantiene, pues, los mismos rasgos durante todo el año y muestra una dinámica caracterizada por la variación estacional. Esa estacionalidad se refleja en una mayor frecuencia de esta nubosidad en verano, por un reforzamiento del régimen de alisios, que en invierno, cuando es más probable que haya inestabilidad atmosférica sobre Canarias; en el espesor de la nube, que por lo general aumenta en la primavera, otoño e invierno, coincidiendo con la irrupción de aire polar marítimo hasta estas latitudes, y disminuye en el verano cuando son frecuentes las advecciones de aire cálido del Sáhara. Tampoco la altitud en la que se encuentra esta capa de estratocúmulos es ajena a estas variaciones de modo que si durante la primavera, el otoño y el invierno su cima asciende hasta los 2.000 metros, en el estío rara vez supera los 1.100 metros, debido a que la capa húmeda inferior del alisio queda comprimida por el aire subsidente. También existe una fluctuación *diaria* de esta nubosidad estratiforme, vinculada estrechamente al régimen de las brisas, al relieve y a la oscilación de la inversión térmica (MARZOL *et al.*, 1988; VALLADARES,

1996). En las vertientes a barlovento la dinámica del mar de nubes responde de forma inmediata a la acción de las brisas, estancándose a partir del mediodía por efecto de la brisa marina y alejándose hacia el mar, empujada por la brisa terrenal, durante la noche. En las cumbres, sin embargo, es independiente de esos vientos locales y es más frecuente durante la noche y apenas se presenta en las horas centrales del día (VALLADARES, 1995).

En definitiva, se trata de una nubosidad que experimenta notables cambios, tanto en sus rasgos morfológicos como en lo que se refiere a su extensión; en ocasiones, aparece sólo en el valle de La Orotava y tiene entonces una dinámica propia; otras veces alcanza a toda la vertiente norte, a buena parte de Tenerife, incluso a todas las islas del archipiélago. El conocimiento de las variaciones estacionales ha sido decisivo para determinar la ubicación de los neblinómetros (figura 1).

III. Precedentes y aprovechamientos actuales

Indagar en Canarias los antecedentes del uso del agua que contienen las nubes nos lleva hasta las crónicas del s. XVI, algunas de las cuales se refieren a un árbol, el garoé, en el norte de la isla de El Hierro, de cuyas hojas goteaba gran cantidad de agua cuando la niebla invadía el barranco donde alzaba su copa. Entre los diferentes autores no hay acuerdo sobre si era un til (*ocotea foetens*) o un laurel (*laurus azorica*), ni se puede discernir si estamos ante una ficción, una superchería de los viajeros que visitaron la isla o si fue real (VIERA y CLAVIJO, 1991, 72). Lo cierto, sin embargo, es que las descripciones [2] del fenómeno se hacen con tal lujo de detalles y son tan abundantes que es difícil pensar que sean una invención; por otro lado, el aprovechamiento del agua de la lluvia, caída en las azoteas de las casas o recogida en las charcas [3], y de "la nube" recogida a través de la destilación de la vegetación, en brezos (*erica arborea*) y sabinas (*juniperus phoenicea*), es una tarea que desde muy antiguo se viene realizando por sistema entre los habitantes de esta isla ante la carencia de ese elemento [4].

En 1948, a consecuencia de un prolongado período de sequía, un agricultor de San Andrés, en la isla de El Hierro, ideó un sistema para recoger el agua que goteaba de 14 brezos, situados en el monte Ventejis, que canalizaba a través de hojas de piteras (*agave americana*) y recogía en bidones; llegó a obtener 14 litros por minuto [5] en las horas nocturnas cuando la bruma era más abundante. Otros ejemplos del aprovechamiento de este recurso natural son los aljibes construidos por la Viceconsejería de Medio Ambiente en los últimos años para proporcionar agua a las fuentes públicas, a los centros de recreo o para disponer de ella si se produce un incendio forestal. El origen del agua, en todos los casos, proviene del goteo de los brezos y fayas recogido en una superficie cementada y después canalizada por tubería. Es el caso de la fuente de La Llantia, a 1.300 m de altitud, que obtiene el agua de un brezo, de 4,5 m de alto, situado sobre una superficie cementada de unos 14 m²; en las cumbres de Binto, a 1.200 m, dos mallas mosquitero de unos 8 m² y tres grupos de brezos suministran agua a tres depósitos, situados en la ladera sur, con una capacidad de 250 m³ cada uno.

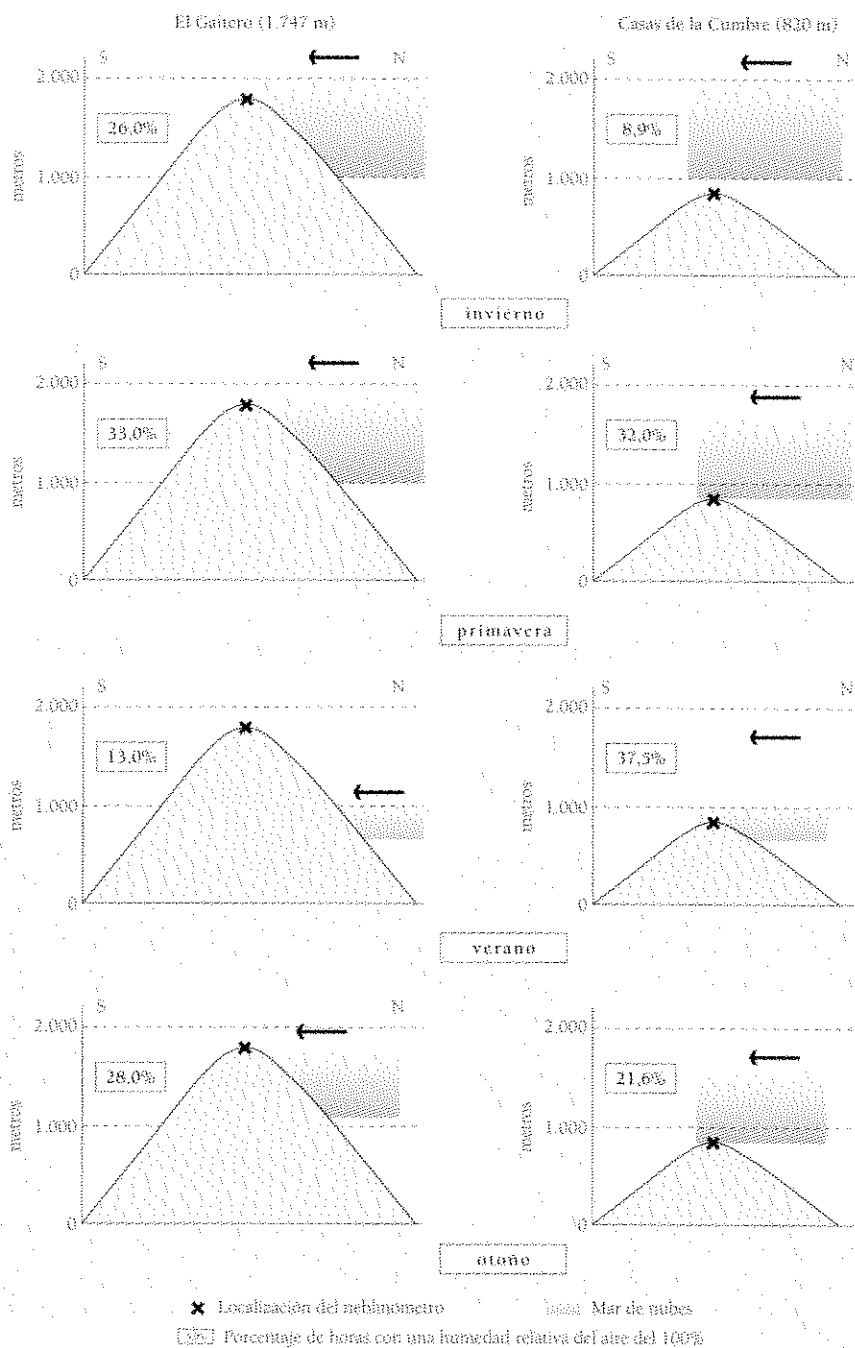
[2] "... ésta detiene la niebla con sus numerosas ramas y hojas, que se empapan como si fuese guata y, no pudiéndola conservar en forma de vapores, la convierte en gotas que recaen espesísimas en el foso" (TOSCANI, L., 1582, p. 216).

[3] Depósitos practicados en la toba volcánica, cubiertos con bóvedas de piedra, que sirven para recoger las aguas pluviales.

[4] En 1845, Madoz escribe refiriéndose a la isla de El Hierro "... En los l. apartados de los espresados (sic) depósitos, se proporcionan el agua potable colocando al pie de los árboles cubos de moca, llamados en el país guacimos, que tardan poco en llenarse con la humedad que en las hojas depositan el rocío de la mañana y las nieblas". (MADOZ, 1845, p. 125).

[5] Información obtenida en conversación personal con el señor Tadeo Casañas Reboso el día 2 de mayo de 1996.

Figura 1
Variaciones estacionales del espesor y altitud del mar de nubes
en El Gaitero y en Las Casas de La Cumbre (Tenerife)



Ciertas experiencias realizadas en la década de 1950 en Tenerife, aún cuando caen en incorrecciones de método que no permiten establecer las cantidades reales del agua obtenida de la niebla, dan idea de la importancia de este fenómeno. Los problemas fundamentales son de dos tipos, uno es el uso de diferentes sistemas de medida, lo que impide establecer comparaciones entre los estudios; otros, de orden meteorológico, son la ausencia de información sobre las condiciones del viento cuando se produce la captura de las gotas en las mallas y la dificultad de diferenciar el agua procedente de la niebla cuando ésta viene acompañada por la lluvia.

A pesar de que adolecen de estos inconvenientes es obligado destacar los trabajos de los ingenieros de Montes Luis Ceballos y Francisco Ortuño, en 1951, en los montes de Tamadaba (Gran Canaria, a 1.300 m) y de Los Realejos (Tenerife, a 1.490 m) con el propósito de estimar cuánta más agua se obtenía por la interceptación de la niebla por la vegetación; utilizaron dos pluviómetros Hellman, colocados próximos entre sí pero situados uno debajo de un árbol y otro en una superficie despejada. En Tamadaba se recogieron 2.723,9 mm de agua bajo un pino y 864,5 mm en un claro del bosque; en Los Realejos 3.038 mm bajo la copa de un eucalipto y 955,5 mm al descubierto (CEBALLOS Y ORTUÑO, 1952, 422). Pese a las notorias incorrecciones de método, reconocidas por los propios autores, las cifras son suficientemente elocuentes para considerar decisivo el aporte de agua por este sistema al mantenimiento de las masas forestales, sobre todo en los meses de verano cuando más necesitado de agua está el bosque. Durante los meses de julio y agosto de ese año en que duró la experiencia no llovió y sin embargo se contabilizaron 236 mm de la destilación de un solo eucalipto.

Ya en la década de los setenta, Kämmer analiza los efectos del aporte procedente de la niebla en diferentes especies vegetales de la isla de Tenerife entre el 1 de enero de 1971 y el 15 de marzo de 1972. Comparó el agua de lluvia recogida en pluviómetros Hellman y el agua recolectada por 25 captadores Grunow [6] situados a diferentes altitudes y exposiciones en la isla de Tenerife. Los datos obtenidos son espectaculares aunque él mismo reconoce que es difícil distinguir las aguas de lluvia y de niebla; por eso no se refiere a la precipitación de niebla sino a la "diferencia de medida" cuando anota la cantidad de agua adicional recogida en los medidores Grunow (KÄMMER, 1974, 53). Aún así, los resultados de Kämmer dan cuenta del volumen de agua adicional al de la propia lluvia que puede retener el bosque: en la montaña de Ayosa, por ejemplo, la diferencia fue de 650 mm de lluvia y 5.090 mm de lluvia más niebla.

Más recientes son las mediciones realizadas por Santana Pérez (ICONA) entre los años 1983 y 1985 en las cuatro islas occidentales a diferentes altitudes y cuyo objetivo era cuantificar el aporte de agua de niebla utilizando captadores parecidos a los de Grunow, mesas pluviométricas [7] y pantallas verticales. Los resultados de esta campaña confirman que el agua de la niebla, dependiendo mucho de la topografía del emplazamiento, es de dos a cinco veces superior a la recogida a través de la precipitación convencional. Sin embargo, al igual que en los casos anteriores, no se tuvo en cuenta el viento y por ello es imposible distinguir el agua recogida de la lluvia de la captada de la niebla.

Entre 1993 y 1994 el Centro Meteorológico Territorial de Canarias Occidental y el Departamento de Geografía de la Universidad de La Laguna realizaron una experiencia piloto para evaluar

[6] Invención del alemán J. Grunow y aceptado por la OMM, consiste en un cilindro de 200 mm de alto x 100 mm de diámetro recubierto por una malla metálica situado sobre la abertura de un pluviómetro.

[7] La mesa pluviométrica es una bandeja de hierro de 50 cm x 50 cm (0,25 m²), colocada sobre el suelo y debajo de los árboles para recoger las gotas de agua que caen desde las hojas de éstos. La mesa está conectada a un bidón, donde se almacena el agua para su posterior medida.

el potencial de captación de agua proveniente de la lluvia y de la niebla en Las Lagunetas (Tenerife, a 1.400 m de altitud). Se utilizaron cinco captadores cilíndricos de 16 cm de diámetro y 12,5 cm de alto, con una superficie de captación de 200 cm² y distintas mallas (MARZOL *et al.*, 1994, 86). Se pudo establecer así la diferente eficacia de éstas y el volumen total de agua recogida en cada aparato, sin contar su procedencia; la mayor disparidad entre el pluviómetro y las mallas resultó de 841,2 mm frente a 3.575,9 mm en una de ellas entre julio de 1993 y julio de 1994.

IV. Método e instrumentos

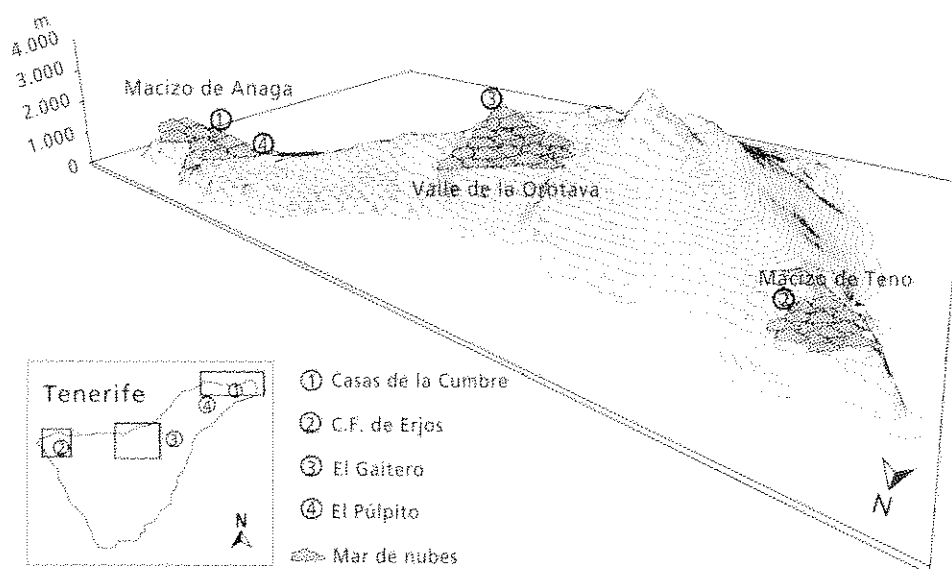
Con lo dicho hasta ahora se advierte que el fenómeno atmosférico susceptible de ser aprovechado por su contenido en agua no es la niebla sino una "nube rasante" que choca con la superficie de la isla entre los 600 y 1.500 metros; ahora bien, se utiliza el término "precipitación de niebla" cuando se alude a las gotitas de agua de la nube que se depositan sobre las superficies, naturales o artificiales, siendo el viento el encargado de arrastrarlas. En ocasiones la superior altitud del relieve provoca el estancamiento de esa nubosidad, por ejemplo en el valle de La Orotava; en cambio, otras veces los collados topográficos facilitan su paso, con lo que desborda, aunque sea poco, sobre la vertiente opuesta; tal es el caso de Anaga o Teno. La eficacia de captación depende de la frecuencia de la nube, de su contenido líquido (*liquid water content*, LWC), de la velocidad del viento que transporta las gotitas y de los factores topográficos locales; por eso, son las degolladas o collados lugares más a propósito al pasar por ellas, en cada unidad de tiempo, un mayor volumen de aire cargado de las gotitas que pueden ser atrapadas de manera natural, por la vegetación, o artificial, en las mallas.

Con el fin de demostrar que el *mar de nubes* puede ser un recurso hidrológico de inestimable valor en la isla de Tenerife se ha emprendido un estudio, que se desarrollará inicialmente en dos años, para analizar su eficacia y evaluar la viabilidad de obtener el agua que contiene. Pero a la vez, y a diferencia de anteriores trabajos, se persigue, además, conocer con detalle su estructura y dinámica, por lo que la ubicación del instrumental se ha hecho también en función de la dinámica de este manto de estratocúmulos.

Estudiar las condiciones atmosféricas durante los periodos en los que la nubosidad está presente en el norte de la isla ayudará a conseguir ese objetivo. Por eso no sólo se miden el volumen de agua y la velocidad y dirección del viento sino también otros elementos como la temperatura y la humedad relativa del aire (MARZOL *et al.*, 1994). Una vez que se tengan los resultados sobre la frecuencia del fenómeno y la cantidad de agua recogida se correlacionará con el estado sinóptico de la atmósfera sobre el archipiélago canario estudiando los mapas del tiempo y los sondeos termodinámicos.

Los factores geográficos que intervienen en la presencia de la niebla y que, por tanto, tienen una mayor incidencia en la captación de agua son la altitud y orientación del relieve, la exposición y pendiente de las laderas y la distancia al océano (CERECEDA *et al.*, 1988; SCHEMENAUER y CERECEDA, 1994a). Los tres últimos, orientación, exposición y pendiente, condicionan la dirección y velocidad del viento, que es el medio en el que viajan las gotas de agua. En este sentido se ha trabajado a dos escalas: en la menor, se han seleccionado dos sectores de la isla, los macizos de Anaga (Noreste) y de Teno (Noroeste), porque *a priori* se sabe que la niebla es frecuente en ellos (figura 2); en la mayor, ha sido necesario utilizar indicadores eficaces de la presencia frecuente de la niebla, como la existencia de líquenes (*usnea barbata*) en las rocas y en los arbustos y árboles, y la inclinación de éstos por efecto del viento dominante. En la elección definitiva de los emplazamientos también han

Figura 2
Localización más frecuente del *mar de nubes* en la isla de Tenerife
y la ubicación de las estaciones experimentales utilizadas en el estudio



sido determinantes la información local ofrecida por las personas que conocen bien este fenómeno atmosférico, y la propia seguridad de los instrumentos ante posibles acciones vandálicas.

Establecer la tecnología más apropiada para recoger el agua de las nubes es asimismo objetivo principal. Para ello se ha seguido la metodología desarrollada por Schemenauer y Cereceda que se ha mostrado, después de 12 años de investigaciones en Chile, Perú, Ecuador, Sultanato de Omán y más recientemente en Sudáfrica y Cabo Verde, la más eficaz. Por ello y por la conveniencia de contar con una unidad común de medida se utiliza el mismo tipo de aparato, el neblinómetro (SFC). En cuanto a las mallas, además de la que usan estos investigadores, se ha añadido una local; en el caso del instrumental meteorológico se ha empleado el de tecnología española.

1. El instrumental utilizado

Los neblinómetros instalados, Standard Fog Collector (SFC), son los diseñados por Schemenauer y Cereceda (1994b) con un costo en materiales aproximado de 13.000 pesetas/unidad (aprox. 100 US\$). Consiste en un marco metálico de 1,0 x 1,0 metros (con un grosor de 1 cm) cuya superficie cuadrada se recubre por una malla de polipropileno, tipo Raschel, con doble capa. El neblinómetro se coloca en posición vertical y perpendicular a la dirección del viento dominante que transporta las gotitas de la nube y éstas al chocar con la malla escurren hasta caer en una canaleta situada en la parte inferior del marco recogiendo, de esta manera, el agua y canalizándola a través de una manguera hasta un recipiente de medición. La canaleta es de hierro galvanizado para evitar la corrosión, tiene una sección de 100,5 cm x 5,1 cm, con la base ligeramente inclinada para permitir el desagüe. Toda esta

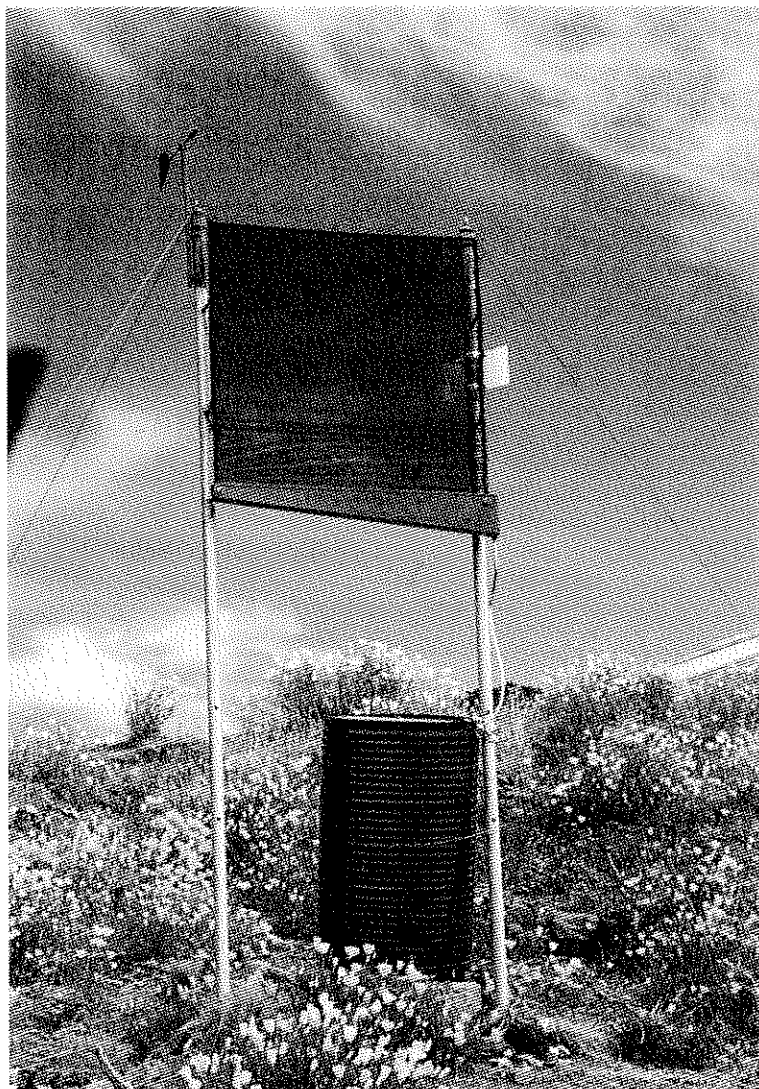


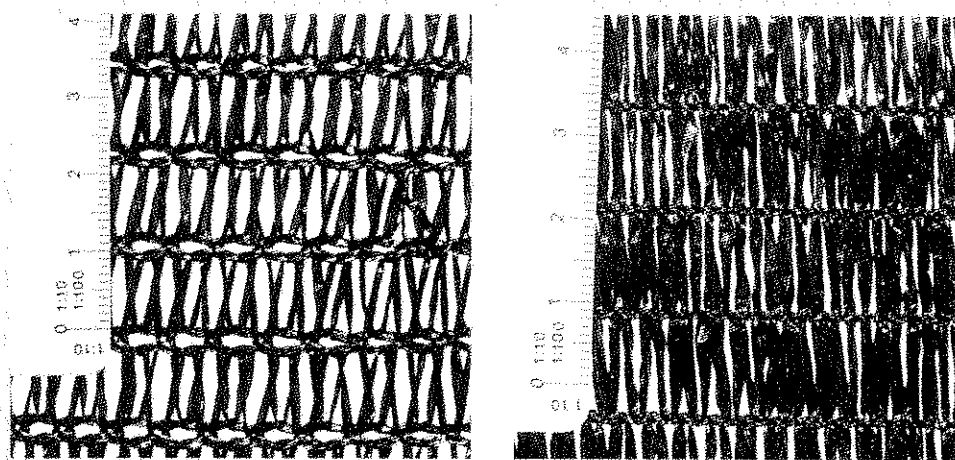
Figura 3. Neblinómetro instalado en El Gaitero a 1.747 m.s.n.m. Tenerife.

estructura se levanta entre dos y tres metros del suelo sobre dos postes de hierro galvanizado. Al tener el neblinómetro una superficie de 1 m^2 las medidas se obtienen en litros/ m^2 . En este estudio se van a utilizar ocho unidades de este aparato, de las que seis ya están montadas (figura 3).

Este es el método más apropiado para "atrapar" las gotas de agua que por no alcanzar el diámetro necesario no pueden caer en sentido vertical en forma de lluvia pero que, sin embargo, son transportadas por el viento en la horizontal y que pueden chocar con un obstáculo natural, los árboles de un bosque por ejemplo, o artificial como la malla montada sobre una pantalla vertical.

Las mallas utilizadas en este estudio son de estructuras semejantes aunque con densidad de tejido distinta (figura 4). Una, adquirida en Chile, tiene un coeficiente de cobertura del 35% pero que al ser instalada en doble ofrece una cobertura aproximada del 60% y deja el 40% restante libre al paso del viento; su coeficiente de eficacia con vientos entre 2 y 8 m/seg es del 70 al 95% (SCHEMENAUER, CERECEDA, 1994b). La otra, adquirida en el mercado local, posee una cobertura del 65% (en capa sencilla); el ancho de la fibra horizontal es de 1,0 mm y el de la vertical 1,25 mm de promedio, el espaciado entre fibras verticales es de 2,0 mm. Las características de la malla Raschel se detallan en Schemenauer y Cereceda (1994b).

Figura 4
Mallas de polipropileno, tipo Raschel, utilizadas en el estudio



Con el uso de estas dos mallas, la chilena y la tinerfeña, se pretende comparar los resultados obtenidos con similares investigaciones que se desarrollan en el resto del mundo, lo que sólo se consigue si se realiza la experiencia con el mismo instrumental y el mismo tipo de malla. La malla del mercado local, empleada en el recubrimiento de invernaderos, es lo más parecida a la Raschel de 35%, para que en caso de que en un futuro sea factible la utilización del modelo se pueda adquirir más fácilmente y a un menor costo. Con el fin de poder comparar las cantidades de agua recogidas por ambas mallas, bajo las mismas condiciones atmosféricas, se han colocado en dos lugares diferentes dos parejas de neblinómetros, uno con la malla chilena y otro con la de Tenerife.

Los datos obtenidos difieren de una a otra estación en función del instrumental instalado y de la frecuencia con que las visitan los investigadores. Dos de las estaciones, en las que se ha

instalado neblinómetros de diferentes mallas, están equipadas con estaciones meteorológicas automáticas, tipo EMA II/VII, marca SEAC, que registran, en soporte magnético, cada diez minutos, la temperatura, la humedad relativa, la precipitación y el viento medio (velocidad y dirección) con un muestreo cada 2 segundos. Se han incorporado a estas estaciones dos contadores de agua (*tipping bucket*) de modo que cada vez que cae 2 cm^3 se activa una señal magnética y lo registra con los demás parámetros. De esta manera se conoce, además del volumen de agua recogido por cada uno de los neblinómetros, la intensidad de la niebla y el momento en el que ésta aparece y desaparece. Siempre será difícil conocer el momento exacto en el que entra la niebla porque hay un "desfase" entre la aparición del fenómeno, la niebla, y el registro de la medida ya que la malla tarda en empaparse y en empezar a escurrir hasta el contador; en otras, la niebla desaparece bruscamente pero la malla sigue goteando porque estaba muy cargada de gotas; también puede ocurrir que la niebla tenga escaso contenido líquido y las gotas se quedan adheridas a la malla pero no llegan a escurrir hasta el contador.

Los cuatro SFC restantes están equipados con una veleta, para conocer la dirección del viento en el momento de efectuar la visita (durante la cual se mide su velocidad con un anemómetro de mano) y un pluviómetro, para comprobar si ha llovido en el tiempo transcurrido entre dos lecturas consecutivas. De ser así, la cantidad recogida en el SFC es la suma del agua de la niebla más una cantidad, difícil de precisar, de agua de lluvia que depende de la velocidad del viento (SCHEMENAUER, CERECEDA, 1994 e) y al no poder establecer la diferencia exacta se ha decidido analizar por separado la información de esos días.

2. La localización de los neblinómetros

La selección de los lugares donde instalar los neblinómetros, por su importancia y relación con el doble objetivo propuesto, ha sido muy meditada y responde al conocimiento que se tiene hasta el momento de la dinámica del *mar de nubes* y a los resultados de estudios anteriores realizados en Canarias (GARCÍA PUERTO *et al.*, 1960) y en otros lugares del mundo con una nubosidad semejante (SCHEMENAUER y CERECEDA, 1994a) en los que se fija que la mayor eficacia de captación se produce en torno a los $2/3$ del espesor de la nube. En este nivel se está lejos de la base, donde la irradiación del calor superficial tiende a evaporar las gotas de agua, y por tanto la niebla es menos densa, y no muy cerca de la cima porque los rayos solares también producen la evaporación.

El identificar las zonas óptimas de captación y el conocer las posibilidades reales en la cima y base del *mar de nubes* han determinado las altitudes donde se colocaron los neblinómetros. Así, no debe extrañar que uno de ellos, el de El Gaitero, se encuentre a 1.747 metros de altitud. Aunque se tiene la certeza de que en verano será poco probable recoger agua de la niebla en este lugar, sólo el 13% de los días (VALLADARES, 1995, 76), porque la nubosidad se detiene, a consecuencia de la inversión térmica, en torno a los 1.000 m; en cambio, en el resto del año el ascenso y mayor espesor de las nubes le conceden muchas posibilidades (ver figura 1). Se puede afirmar que este enclave nunca se encontrará en las $2/3$ partes del espesor de la nube, lo que le imposibilitará como un lugar óptimo, sin embargo ayudará a determinar el potencial de la cima nubosa. La figura 5 muestra el número de horas al día en las que El Gaitero permaneció con una humedad relativa del 100% en 1987 y 1988, años que presentaron un comportamiento muy diferente entre sí, y la media de siete años.

Por los motivos opuestos se ha decidido colocar otro SFC a 664 metros. En este caso es seguro que durante muchos días del verano la montaña de El Pulpito se encuentra inmersa en la niebla a partir de media tarde. Los datos obtenidos en esta estación ayudarán a delimitar la base

Figura 5
Número medio de horas al día en los que la humedad relativa del aire
ha sido del 100% en El Gaitero entre 1986 y 1992 y en los años 1987 y 1988

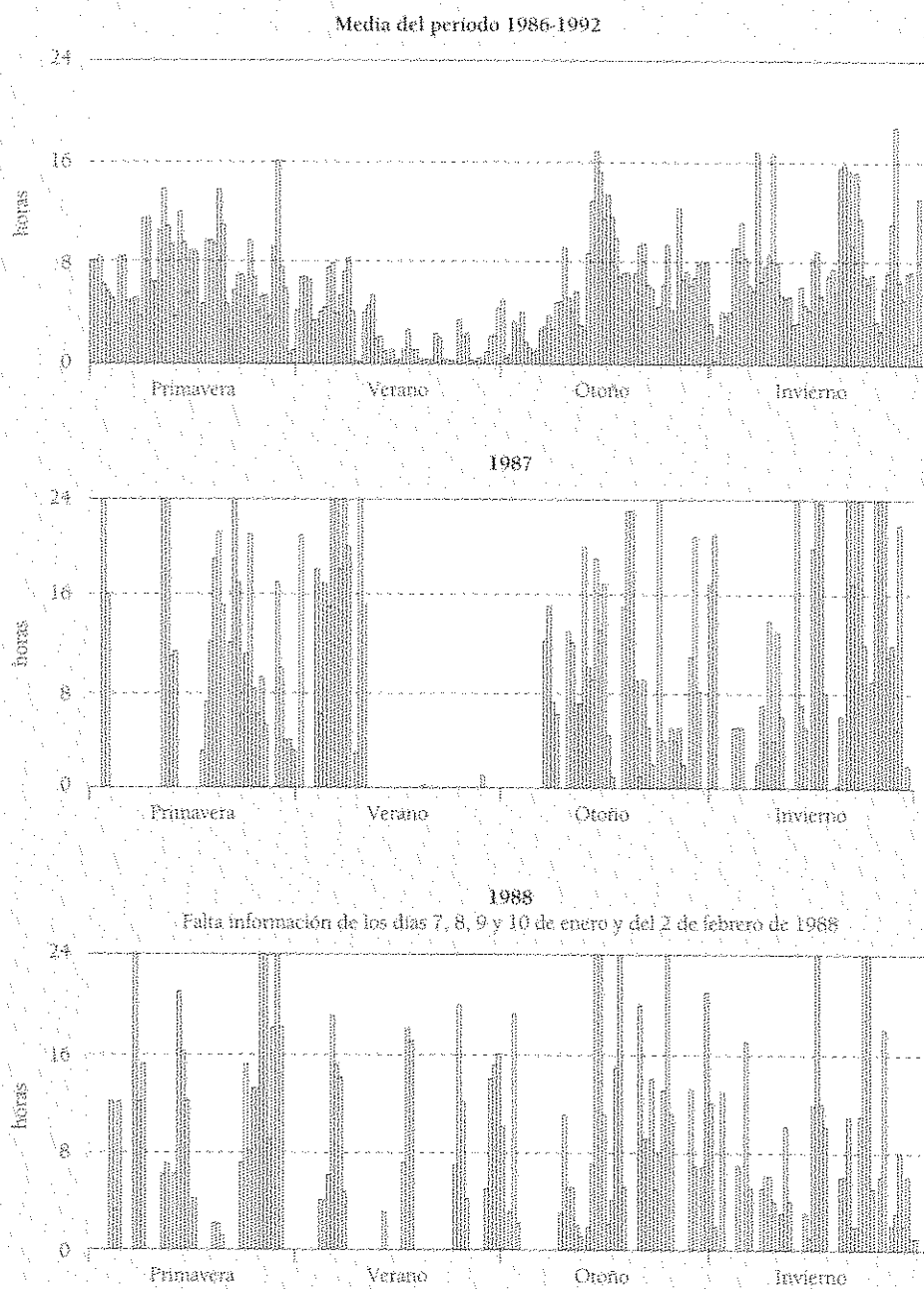
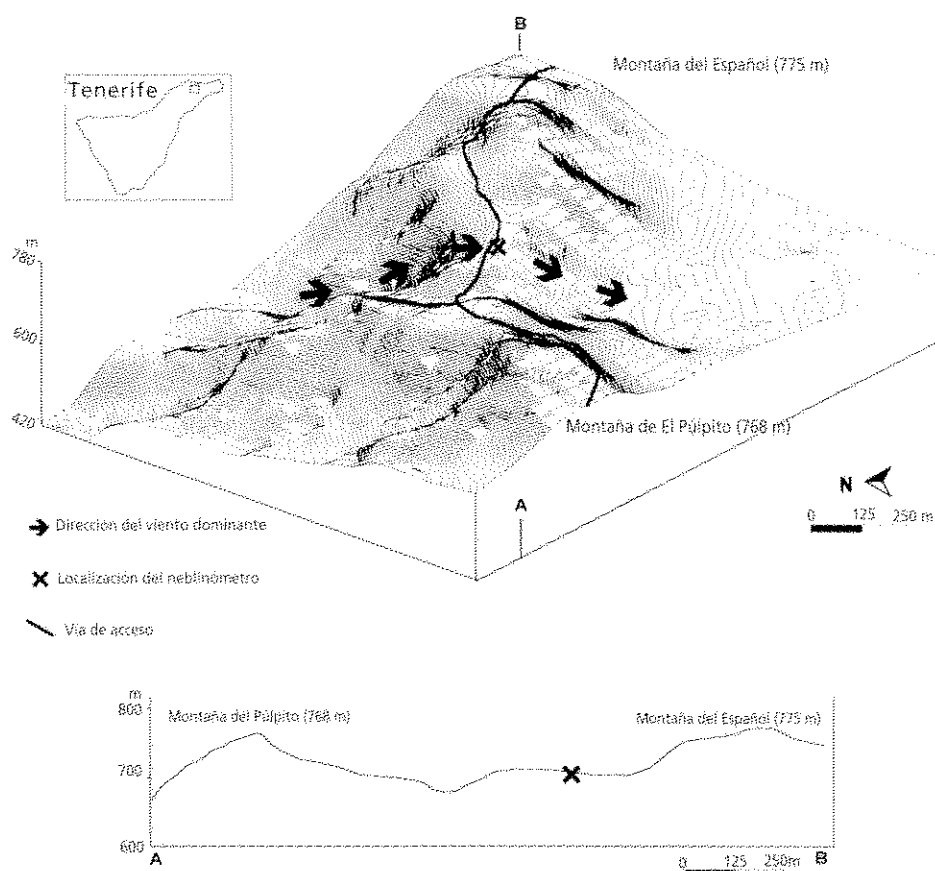


Figura 6

Condiciones topográficas de la localización del neblinómetro de El Pulpito, a 664 m.s.n.m. (Tenerife)



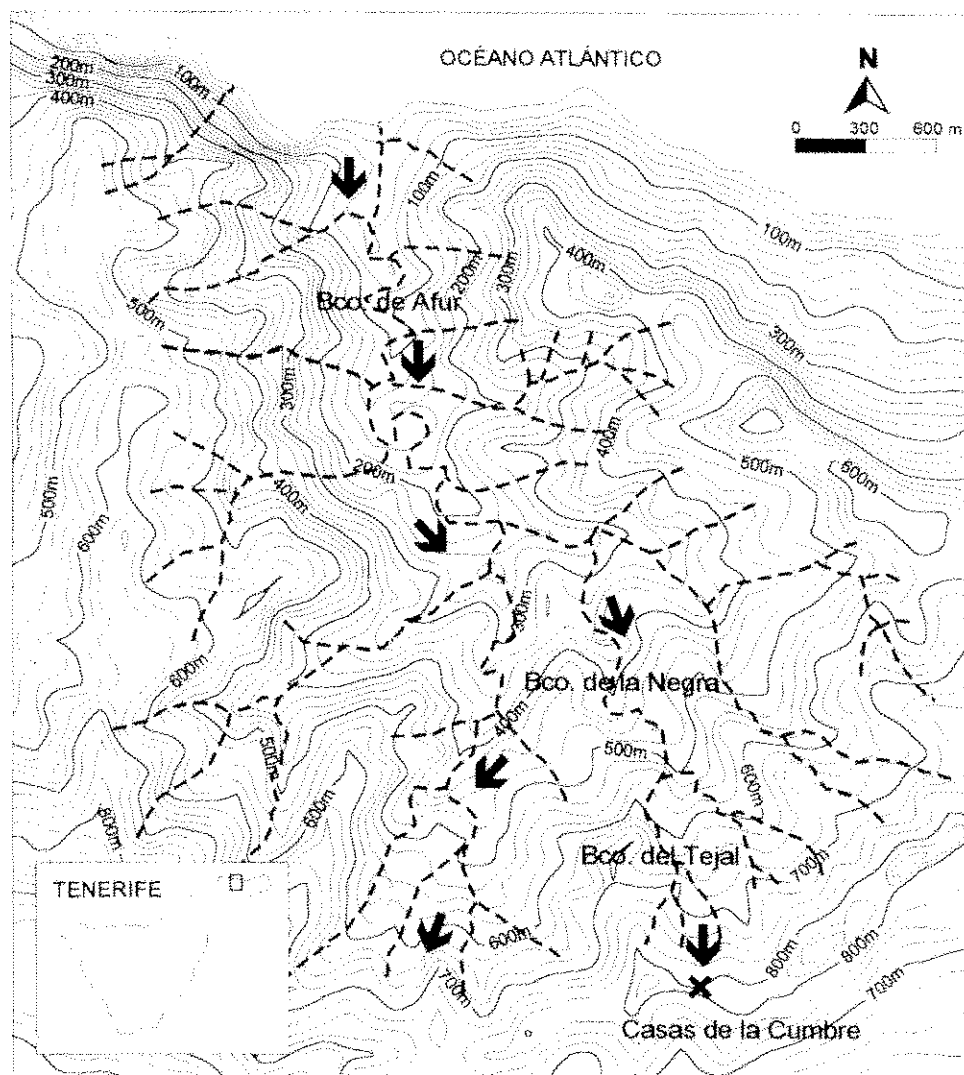
del mar de nubes en los meses en los que está más bajo. Otra razón ha sido la de ser un collado con un fácil acceso que permite un seguimiento continuado y frecuente (figura 6).

La localización de la estación número tres, Casas de la Cumbre, está justificada porque se trata de una zona cuya altitud asegura la presencia del mar de nubes entre abril y octubre y, sobre todo, de junio a septiembre; además, su orientación, distancia al mar y una topografía de cumbre incrementan las posibilidades de captación. En definitiva, en este caso se aunan los factores atmosféricos y los de índole geográfica para decidir esta ubicación (figura 7).

En la estación nº 4, Casa Forestal de Erjos, a 1.010 m de altitud, la dificultad de determinar con exactitud la dirección de los vientos dominantes obligó a instalar primero la estación meteorológica automática para realizar un análisis preliminar del régimen de vientos. Es frecuente que la nubosidad se canalice por el barranco del Agua y entre en contacto con la superficie de la isla a la altitud de Ruigómez (800 metros) para continuar ascendiendo por él hasta sobrepasar los 1.300 metros, en Cumbre Bolico, donde se halla instalada una torre de incendios de la Viceconsejería de Medio Ambiente.

Las cabeceras de varios de estos barrancos están ocupadas por un bosque de laurisilva cuya pervivencia debe guardar relación, con mucha probabilidad, con el importante volumen de agua que la niebla deposita en las hojas de los árboles. El problema fundamental al que se enfrentan las autoridades locales es la falta de agua *in situ* que permita una rápida respuesta ante un incendio forestal en este bosque que tiene muy difícil acceso; además, existe un refugio forestal que durante

Figura 7
Canalización de los vientos del norte por el barranco de Afur hasta llegar al neblinómetro situado en Las Casas de la Cumbre, Anaga, a 842 m.s.n.m.



→ Dirección del viento dominante X Localización de los neblinómetros - - - Barrancos

los meses de verano tiene que abastecerse del agua transportada en camiones-cisterna. La coexistencia de estos dos hechos, presencia frecuente de la bruma y necesidad puntual de abastecimiento de agua, justifica sobradamente el realizar las mediciones en este lugar y el buscar otro punto, la estación nº 5, con una menor altitud pero en el que se siga produciendo el fenómeno, dentro de la misma cuenca hidrográfica. Ambos neblinómetros permitirán establecer la estructura y dinámica del *mar de nubes* en este sector de la isla de Tenerife.

3. Características de las estaciones

Estación nº 1: El Gaitero (figura 3).

- Localización: dorsal de Pedro Gil.
- Topografía local: un pequeño rellano en la línea de cumbres que separa los valles de La Orotava (al norte) y de Güimar (al sureste).
- Altitud: 1.747 m.
- Orientación del neblinómetro: NNW (350°).
- Distancia al mar: 7,2 km.
- Instrumental: un SFC, un pluviómetro y una veleta.
- Frecuencia de medición: Dos veces cada semana.

Estación nº 2: El Pulpito (figura 6).

- Localización: La Laguna.
- Topografía local: un collado.
- Altitud: 664 m.
- Orientación del neblinómetro: NNW (340°).
- Distancia al mar: 6,5 km.
- Instrumental: un SFC, un pluviómetro y una veleta.
- Frecuencia de medición: diaria.

Estación nº 3: Casas de la Cumbre (figura 7).

- Localización: macizo de Anaga.
- Topografía local: la línea de cumbres divisoria de las vertientes norte y sur y en la cabecera de la cuenca hidrográfica del barranco de Afur.
- Altitud: 842 metros.
- Orientación del neblinómetro: NNW (345°).
- Distancia al mar: 4 km.
- Instrumental: dos SFC con mallas diferentes y una estación meteorológica automática.
- Frecuencia de medición: en soporte magnético cada 10 minutos.

Estación nº 4: Casa Forestal de Erjos.

- Localización: macizo de Teno.
- Topografía local: en la cabecera del barranco del Agua.
- Altitud: 1.010 m.
- Orientación del neblinómetro: NE (45°).
- Distancia al mar: 5,7 km.
- Instrumental: dos SFC con mallas diferentes y una estación meteorológica automática.
- Frecuencia de medición: en soporte magnético cada 10 minutos.

IV. Evaluación de los primeros resultados

Debido a que no ha transcurrido el tiempo suficiente para contar con la información necesaria para deducir el comportamiento del *mar de nubes*, tan sólo se dispone de datos preliminares que son indicativos de algunos parámetros. En segundo término, al haberse instalado las estaciones meteorológicas automáticas a comienzos de julio, se desconocen las condiciones del viento (dirección y velocidad) durante las horas en las que ha habido niebla; si se han medido ambos parámetros en el momento de hacer las lecturas de los instrumentos. Finalmente, los meses de mayo y junio no han sido pródigos en días con niebla, por lo que, quizá, se podría hablar de "meses anómalos". A pesar de todo, la información obtenida hace pensar que es factible la hipótesis de partida de que el *mar de nubes* es un recurso hidrológico importante.

En Casas de La Cumbre, se ha colectado, entre el 1 de mayo y el 25 de junio de 1996, un total de 386 litros/m² en la malla de 35% de cobertura, la chilena, y 361 litros/m² en la de 65%, la tinerfeña, mientras que sólo de lluvia han sido 19,7 litros/m²; esto supone una media diaria de captación de 6,9 y 6,4 l/m² en cada una de las mallas frente a 0,35 l/m² de lluvia (cuadro I). Tales cantidades dan idea del aporte complementario de agua que supone la niebla a la lluvia convencional. Baste decir que por cada litro de agua de lluvia se recogió en el neblinómetro 2,5 litros en mayo y 19,4 litros en junio; no hay que olvidar que en estas ocasiones el neblinómetro colecta las gotas de agua de la niebla y de la lluvia.

CUADRO I

Cantidades de agua recogidas en cada neblinómetro (SFC) y en el pluviómetro en Las Casas de la Cumbre entre el 1 de mayo y el 25 de junio de 1996

Fechas	Neblinómetro malla 35% (litros/m ²)	Neblinómetro malla 65% (litros/m ²)	Precipitación (litros/m ²)
01/05	0,00	0,00	0,0
05/05	0,74	0,79	0,0
07/05	3,87	3,93	2,6
10/05	3,05	3,29	1,3
14/05	6,24	5,87	0,5
17/05	0,03	0,03	0,2
21/05	3,28	3,08	1,9
24/05	10,50	8,96	0,0
28/05	1,97	1,52	0,0
01/06	14,08	10,90	0,0
04/06	113,20	113,10	7,7
07/06	12,25	11,05	0,0
11/06	98,15	98,79	5,3
15/06	19,35	15,50	0,0
18/06	14,48	11,30	0,0
20/06	43,35	39,80	0,2
23/06	34,80	28,55	0,0
25/06	6,85	4,50	0,0
Total	386,19	360,19	19,7
Media diaria*	6,89	6,44	0,35

Nota: El agua recogida en cada fecha es la acumulada desde la anterior.

* En la media diaria se contabilizan todos los días del mes, haya habido o no niebla.

Los dos meses no se comportaron de igual forma, tampoco colectaron lo mismo las dos mallas. En el primer caso, junio fue más rico en agua de niebla que mayo, $14,4 \text{ l/m}^2/\text{día}$ frente a $0,95 \text{ l/m}^2/\text{día}$. Destaca el día 4 de junio en el que se recogieron más de 100 litros/ m^2 en cada una de las mallas y tan sólo $7,7 \text{ l/m}^2$ en el pluviómetro. Este agua entró en los aparatos desde las 10 de la mañana del día 1 de junio hasta las 11.30 h del día 4, es decir, en tres días.

Con respecto a las diferencias de colección de agua entre los dos tipos de mallas, por el momento tan sólo se está en disposición de afirmar que la malla de 35% de cobertura recoge cerca de un 7% más de agua que la que es más tupida. Esta relación media oculta días en los que la malla tinerfeña recogió algo más que la chilena o incluso lo mismo. Al no disponer de la información del viento no se pueden establecer las condiciones óptimas para cada una de ellas.

En la montaña de El Pulpito, la lectura de los instrumentos se hace a diario por lo que la información es más exhaustiva. En estos dos meses se han contabilizado $91,9 \text{ l/m}^2$ en el neblinómetro y $27,1 \text{ l/m}^2$ en el pluviómetro. De un total de 50 días, entre el 29 de abril hasta el 26 de junio de 1996, entró la niebla en este collado en 32 ocasiones (el 55%), de las cuales en 8 lo hizo simultáneamente con lluvia y el resto, 23 días porque el 6 de junio lloviznó pero la malla no recogió agua, sólo hubo niebla (cuadro II). En esos ocho días el neblinómetro colectó $68,9 \text{ l/m}^2$ de agua y el pluviómetro $27,1 \text{ l/m}^2$, lo que supone que por cada litro de agua de lluvia el SFC recoge 2,5 litros de agua de la niebla y lluvia.

CUADRO II

Cantidades de agua recogidas en el neblinómetro y en el pluviómetro en la Montaña de El Pulpito entre el 29 de abril y el 25 de junio de 1996

Fechas	Neblinómetro $\text{l/m}^2/\text{día}$	Pluviómetro $\text{l/m}^2/\text{día}$	Fechas	Neblinómetro $\text{l/m}^2/\text{día}$	Pluviómetro $\text{l/m}^2/\text{día}$
29/04	4,74	4,8	06/06	0,00	0,3
06/05	3,55	0,0	07/06	1,55	0,0
07/05	0,03	0,0	09/06	0,44	0,0
08/05	0,08	1,3	10/06	3,50	1,5
11/05	0,08	0,0	12/06	1,10	0,0
14/05	0,42	0,0	13/06	1,43	0,0
15/05	0,21	0,0	14/06	0,14	0,0
18/05	0,77	1,1	16/06	0,32	0,0
22/05	0,03	0,0	17/06	1,20	0,0
23/05	0,12	0,0	18/06	0,04	0,0
24/05	1,70	0,0	19/06	3,45	0,0
28/05	1,50	0,0	20/06	12,50	1,6
29/05	0,12	0,0	21/06	1,37	0,0
30/05	2,12	0,0	22/06	1,11	0,0
03/06	>25,00*	12,2	23/06	0,10	0,0
04/06	17,50	4,0	26/06	2,45	0,0
05/06	1,32	0,3			

* La capacidad del bidón es de 25 litros y este día se desbordó.

Al igual que ocurría en Casas de la Cumbre, junio fue más lluvioso, el doble, y el SFC recogió casi cinco veces más de agua que en el mes de mayo. Destacan las cantidades de los días 3, 4 y 20 de junio, en los que se colectó, mediante el sistema de la malla, 3 veces más de agua que de lluvia convencional.

Si bien esta simultaneidad de la lluvia y presencia de la niebla dificulta las mediciones con vistas al estudio científico del comportamiento y potencial del *mar de nubes*, y exige un tratamiento y una metodología diferentes, sí es válida para establecer el volumen complementario de agua que aporta la niebla a la lluvia convencional en diferentes puntos de la isla de Tenerife.

Agradecimientos

A los señores Carlos Barros, M^a Ángeles Sánchez y Leonardo Pica por su inestimable colaboración en la obtención de los datos de este estudio.

Referencias bibliográficas

- CEBALLOS, L.; ORTUÑO, F. (1952): "El bosque y el agua en Canarias". *Montes*, 48, 418-423. Madrid.
- CERECEDA, P.; SCHEMENAUER, R.; CARVAJAL, N. (1988): "Factores topográficos que determinan la distribución de las neblinas costeras en el Tolo (IV Región de Coquimbo-Chile)". *X Congreso Nacional de Geografía y I Jornada de Cartografía temática*. Santiago de Chile, B1-B4.
- DORTA, F. (1996): "Las inversiones térmicas en Canarias". *Investigaciones Geográficas*, 15, 109-124.
- GARCÍA PRIETO, P.; LUDLAM, F.; SAUNDERS, P. (1960): "The possibility of artificially increasing rainfall on Tenerife in the Canary Island". *Weather*, 5, 39-51.
- GRUNOW, J. (1963): "Worldwide Measurements of fog precipitation by the Hohenpeissenberg method". *International Hydrological Conference*, Berkeley, California, 29 p.
- KÄMMER, F. (1974): *Klima und Vegetation auf Tenerife besonders im Hinblick auf den Nebelniederschlag*. Göttinga, Ed. Erich Goltze KG.
- MADOZ, P. (1845): *Diccionario Geográfico-Estadístico-Histórico de España y sus posesiones de ultramar. CANARIAS*. Recopilación y estudio introductorio por PÉREZ GONZÁLEZ, R. (1986). Valladolid, Ámbito y Editorial Interinsular Canaria.
- MARZOL, M.V.; RODRÍGUEZ, J.; AROZENA, C.; LUIS, M. (1988): "Rapport entre la dynamique de la mer de nuages et la vegetation au Nord de Tenerife (Iles Canaries)". *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, vol. 1, 273-283.
- MARZOL, M.V. (1990): "Los factores atmosféricos y geográficos que definen el clima del archipiélago canario". En *Climatología y Medio Ambiente*. Homenaje al profesor Luis Albentosa Sánchez, Universidad de Barcelona, 151-176.
- MARZOL, M.V. (1993): "Tipificación de las tres situaciones atmosféricas más importantes en las Islas Canarias". En DÍAZ PADILLA, G.; GONZÁLEZ LUIS, F. (eds.), *Strenae Emmanuelae Marrem Oblatae*. Universidad de La Laguna, pp. 79-85.
- MARZOL, M.V.; DORTA, F.; VALLADARES, F.; MORIN, P.; SÁNCHEZ MEGÍA, J.L. y ABREU, M. (1994): "La captation de l'eau à Tenerife (Iles Canaries). L'utilisation des brouillards". *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, vol. 7, 83-91.

- SCHEMENAUER, R. (1992): "The use of fog for groundwater recharge in arid regions". *Proc. Int. Seminar on Groundwater and the Environment in Arid and Semiarid Areas*, Beijing, China, Chinese Academy of Geological Sciences, 84-91.
- SCHEMENAUER, R.; CERECEDA, P. (1994a): "Fog collection's role in water planning for developing countries". *Natural Resources Forum*, vol. 18, 2, 91-100.
- SCHEMENAUER, R.; CERECEDA, P. (1994b): "A Proposed Standard Fog Collector for Use in High-Elevation Regions". *Journal of Applied Meteorology*, vol. 33, 11, 1.313-1.322.
- SCHEMENAUER, R.; CERECEDA, P. (1994c): "The role of wind in rainwater catchment and fog collection". *Water International*, vol. 19, 2, 70-76.
- TORRIANI, L. (1978): *Descripción de las Islas Canarias. 1590*. Ed. Goya, Santa Cruz de Tenerife.
- VALLADARES, P. (1995): *Estudio geográfico del mar de nubes en la vertiente norte de Tenerife*. Memoria de Licenciatura, Departamento de Geografía, Universidad de La Laguna. Inédita.
- VALLADARES, P. (1996): "Propuesta metodológica para el estudio del mar de nubes: el caso del año 1989 en el norte de Tenerife". *Investigaciones Geográficas*, 13, 99-108.
- VIERA Y CLAVIJO, J. (1991): *Historia de Canarias (1772)*. Tomo I, Biblioteca Básica Canaria, Madrid.