EL ÁRBOL FUENTE

EN CIERTAS REGIONES MONTAÑOSAS REGULARMENTE VENTEADAS Y SOMETIDAS A UN CLIMA OCEÁNICO, COMO EN CHILE, ÁFRICA DEL SUR O CABO VERDE, REINA CASI PERMANENTEMENTE UN MAR DE NIEBLA. ESTAS CONDICIONES METEOROLÓGICAS, MUY SINGULARES, PERMITEN QUE LA VEGETACIÓN MEDRE A PESAR DE LA ESCASÍSIMA IMPORTANCIA DE LAS LLUVIAS. ÁRBOLES Y ARBUSTOS CAPTAN EL AGUA DE LAS NIEBLAS Y DE LAS LLOVIZNAS PARA DAR ORIGEN A VERDADEROS BOSQUES LLAMADOS NEBULOSOS. ESTAS FUENTES VEGETALES SON EXPLOTADAS POR EL HOMBRE DESDE LA NOCHE DE LOS TIEMPOS CON EL FIN DE RECUPERAR EL AGUA POTABLE Y DESARROLLAR UNA AGRICULTURA. VERDADERO REGALO DE LOS DIOSES, EL ÁRBOL FUENTE HA SIDO ELEVADO ALGUNAS VECES AL RANGO DE ÁRBOL SAGRADO, COMO EN LA ISLA DE HIERRO, EN CANARIAS, PUNTO DE PARTIDA DE LA INVESTIGACIÓN DE LOS AUTORES DE ESTE ARTÍCULO, LOS CUALES NO SÓLO NOS ACLARAN ESTE FENÓMENO NATURAL TAN DESCONOCIDO, SINO QUE, A LA VEZ, NOS INVITAN A UN FABULOSO VIAJE EN EL TIEMPO Y EL ESPACIO SIGUIENDO LAS HUELLAS DE UN ANTIGUO SABER DEL CUAL SON PREVISIBLES ALGUNAS APLICACIONES MODERNAS.

ALAIN GIODA, ANDRÉS ACOSTA BALADÓN, PIERRE FONTANEL, ZÓSIMO HERNÁNDEZ MARTÍN Y ARNOLDO SANTOS

■

«En lo alto de este árbol siempre hay una nubecilla y el garoé *deja caer unas gotitas de agua que los hombres encauzan hacia una modesta fuente; gracias a ella, viven, durante los periodos de sequía extrema, seres humanos y animales...».* Hace unos veinte años, este pasaje de *La Historia de las Indias*, del dominico Bartolomé de las Casas (1474-1566), puso a uno de nosotros (A. Acosta Baladón, de la Organización Meteorológica Mundial) sobre la pista de un árbol extraño, el *garoé*. Fue durante una escala en la isla de Hierro, en las Canarias, en ruta hacia América, cuando Las Casas se interesó por la cultura de los indígenas, los guanches, ya casi desaparecidos en el siglo XVI. Emparentados con los bereberes, su civilización era original: practicaban la cría del carnero y de la cabra, cultivaban cereales, pero no conocían los tejidos e iban vestidos con pieles de cabra. Dedicaban un culto particular a un árbol, el *garoé*, que les proporcionaba agua dulce en abundancia. Este árbol, que parecía mítico, existió hasta que fue arrancado de cuajo por un huracán en 1610.[1] Su existencia está atestiguada por una placa conmemorativa y por los seis pozos a cielo abierto que recogían su agua. Se encontraba alrededor de los 1 000 metros de altura, cerca de Tiñor, en la vertiente que recibe el viento. Curiosamente, su desaparición coincidió con la extinción de la civilización guanche en Hierro, quizás al verse privada de sus raíces. Según una leyenda insular, fue una joven enamorada de un español la que desveló el secreto de su existencia, indiscreción que pagó con su vida. Sin embargo, el *garoé* sobrevivió en el escudo de la isla. Conocido también con el nombre de «árbol santo» de la isla de Hierro, fue nuestro primer encuentro con el árbol fuente, un árbol capaz de captar el agua de las nieblas y de las lloviznas, y que, por tanto, per-

Figura 1. Resulta sorprendente comprobar que, en ciertas regiones del mundo, medran árboles y arbustos con grandes necesidades de agua, cuando una escasa pluviometría podría hacer creer a priori que su existencia es imposible. Esto es, por ejemplo, lo que ocurre en las Islas Canarias. En A, se ve el bosque de los Montes de Las Mercedes, que recubre las cimas occidentales del macizo montañoso del norte de la isla de Tenerife, donde la niebla reinó por término medio 199 días al año en un período de observación de doce años. En B, puede apreciarse el bosque del valle de la Orotava, en Tenerife, que se extiende entre 1 000 y 1 600 me de altitud. La fotografía está tomada en la formación vegetal «Fayal-Brezal», que se caracteriza por mirícáceas arborescentes y brezos arborescentes. El bosque está dominado por la silueta de los pinos canarios, que pueden alcanzar los 30 m de altura. (Foto A: Cabildo Insular de Tenerife, Patronato de Turismo; B: Alain Gioda.)

ALAIN GIODA, hidrólogo francés investigador en el centro ORSTOM de Montpellier, Francia, y miembro de la red SET (Systèmes écologiques tropicales).
ANDRÉS ACOSTA BALADÓN, de nacionalidad uruguaya, es agrometeorólogo honorario de la Organización Meteorológica Mundial.
PIERRE FONTANEL es botánico del CIRAD (Centre de coopération internationale en recherche agronomique) de Montpellier (Francia).
ZÓSIMO HERNÁNDEZ MARTÍN, de nacionalidad española, es técnico forestal del ICONA (Instituto para la conservación de la naturaleza) en Hierro (Canarias).
ARNOLDO SANTOS, de nacionalidad española, es botánico y responsable del jardín de aclimatación de La Orotava (Canarias).

mitió desarrollar una verdadera vida agrícola en medios de pluviometría débil (fig. 1). Muy pronto, se vio que el árbol fuente correspondía a un fenómeno extendido en todo el mundo, pero limitado a unos lugares muy particulares y que, como veremos en este artículo, ha sido explotado por el hombre desde hace miles de años.

A pesar de algunas incertidumbres, pensamos que el *garoé* debía ser una laurácea y, más exactamente, un laurel endémico de Madera y de las Canarias, un especimen de *Ocotea foetens*. El *O. foetens* fue identificado de una manera muy verosímil gracias a los conocimientos de Arnoldo Santos, del Jardín de Aclimatación de La Orotava, fundado en 1788 en Tenerife. Según las descripciones de Bartolomé de las Casas, el *garoé* medía más de tres troncos de hombres, es decir, un diámetro del orden de 1,50 m. Era un especimen absolutamente excepcional, ya que hoy no existe en Hierro ningún *Ocotea foetens* de este diámetro. En las especies forestales, la explotación de los árboles impide el crecimiento de ejemplares muy grandes.

Otras investigaciones bibliográficas hechas en Inglaterra y en España nos han permitido hallar un dibujo del *garoé*, editado en 1764, en el que se ve claramente que se trata de un laurel (fig. 2). El historiador y empresario inglés George Glas, que, en aquella época, proponía el desarrollo de la pesca regional y de una fábrica para transformar los productos de Canarias antes de exportarlos, llama al árbol fuente *garsé* o *til*.[2,3] Ahora bien, actualmente, en Hierro, el *O. foetens* se llama siempre *til* o *tilo*.[1,4]

Hemos encontrado otra ilustración del árbol en una obra del E. Charton, fechada en 1855,[5] y que, a su vez, reproduce una ilustración de 1748. El dibujo del *garoé* corresponde a un laurel que un científico del siglo XIX, el doctor Roulin, incorporó a la especie *Laurus foetens*. Estos elementos concuerdan perfectamente. La especie, *foetens*, sigue siendo la del *til*, pero el género es diferente, ya que el género *Ocotea* no se creó hasta finales del siglo XIX. El libro de E. Charton es verdaderamente precioso, ya que, además, en él se encuentra la reedición de la primera mención de la existencia del *garoé*, aparecida en 1630 en la narración de la conquista de las Canarias por Juan de Bethencourt. Escrita entre 1402 y 1405 por los dos biógrafos de Bethencourt, P. Bontier y J. Le Verrier, nos da la noticia más antigua sobre el *garoé*: «*En las partes más altas de la isla, hay árboles que siempre gotean un agua buena y clara que cae en hoyo cerca de los árboles*».[5]

ÁRBOLES QUE MEDRAN EN LA NIEBLA

La existencia actual de árboles fuente explica ciertas situaciones paradójicas que se observan en muchos lugares del mundo (fig. 1). En las regiones costeras de Chile, de Perú, de África del Sur, de Etiopía, etc., y en ciertas islas (Cabo Verde, Canarias, Galápagos, etc.) sorprende ver cómo se desarrollan árboles y arbustos con grandes necesidades de agua, a pesar de que la escasez pluviométrica debería hacer que, *a priori*, su existencia fuera imposible. El mejor ejemplo de valoración contemporánea de los árboles fuente es todavía la isla de Hierro, verdadero pequeño laboratorio natural para el estudio de la niebla (fig. 3). El escalonamiento de los terrenos de la vertiente septentrional al viento depende en gran parte de la utilización o no de las nieblas. El llano costero está ocupado por cultivos hortícolas, campos de maíz y un principio de acondicionamiento turístico; la parte baja de la vertiente está dedicada a la viña hasta la zona de las nieblas, que empieza a 600 metros de altura. Las aglomeraciones (Sabina 250 m), Frontera (375 m), Guarazoca (550 m), Mocanal (570 m) y Valverde (575 m) están en lugares elevados por razones defensivas. Sin embargo, también se encuentran próximas a la zona de nieblas en la que se desarrolla la actividad pastoril. A partir de 600 m, el bosque que depende de la niebla, el bosque asociado al «fayal-brezal» (formación vegetal constituida por miricáceas y brezos arborescentes) se mantiene sobre los flancos escarpados de las altas vertientes y configura una verdadera isla vegetal dentro del desierto canario (fig. 4). Actualmente, se han identificado diferentes tipos de bosques nebulosos (que no hay que confundir con el bosque nuboso clásico, el *cloud forest* de los anglosajones). Según Ch. Huttel, botánico del Centro ORSTOM de Quito, el bosque nuboso crece en Ecuador a grandes alturas (3 000 a 3 500 m), en zonas donde la pluviometría es ya abundante y las nieblas sólo aportan una humedad adicional. Los bosques nebulosos, objeto de nuestro estudio, se encuentran a alturas menores y en lugares costeros o insulares. Los botánicos ingleses les han dado el sugestivo nombre de bosques de elfos, los pequeños genios del aire. En estos bosques se distinguen dos subtipos: uno de clima oceánico y otro de clima más seco. En el primer subtipo hay que incluir el bosque de laureles de las Canarias, bañado casi cada día por la niebla gracias al alisio.[6] Así, pues, el *O. foetens*, el *ga-*

Figura 2. El árbol fuente, el garoé de la isla de Hierro (Canarias), según un grabado antiguo reproducido de la obra de Darías y Padrón.[1] El garoé debía ser un laurel endémico de Madeira y Canarias. Otras ilustraciones menos espectaculares del árbol fuente se hallan en History of the Canary Islands, *aparecida en Londres en 1764 (in* Font Tullot), en Voyageurs anciens et modernes, *de E. Charton, una obra editada en París en 1855, etc. Por su parte, E. Charton reproduce un dibujo de 1748, aparecido en* The universal magazine of knowledge and pleasure, *etc. Todas estas ilustraciones son posteriores a la desaparición del garoé.*

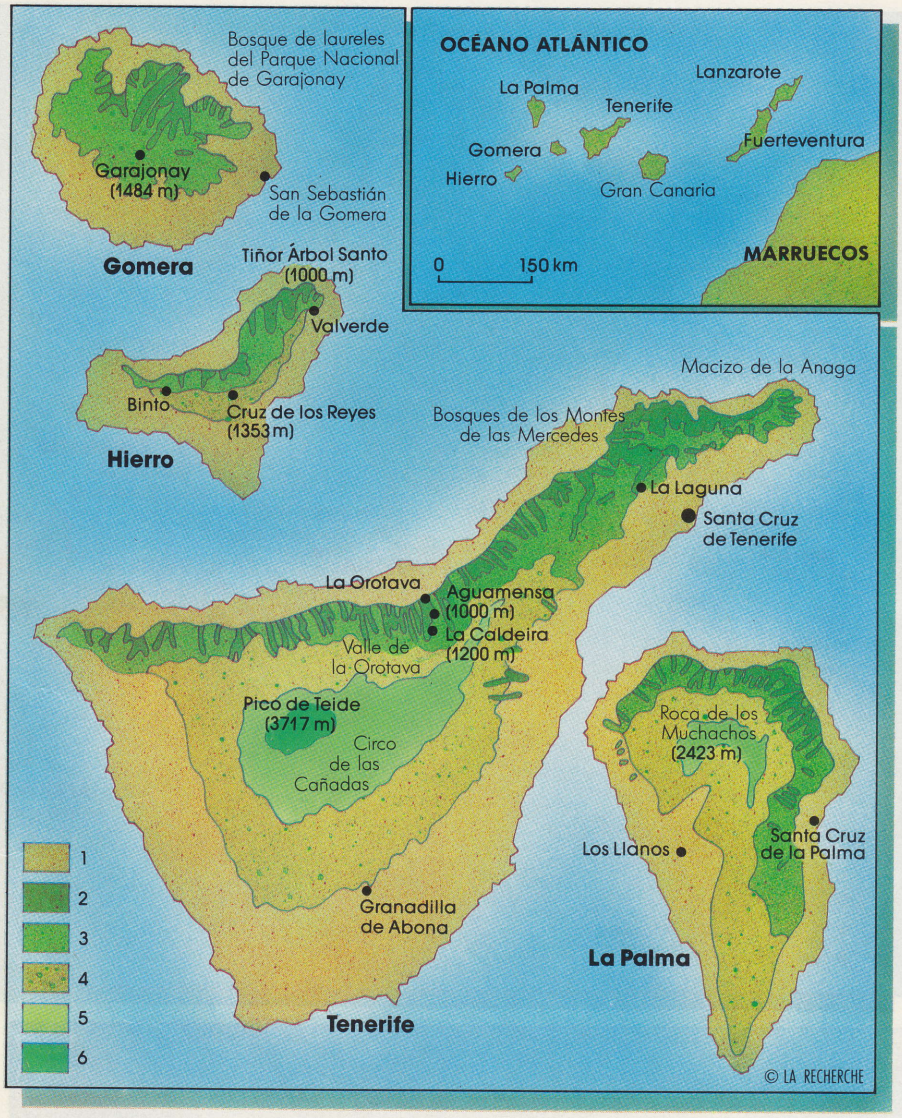

Figura 3. La vegetación de algunas islas altas de las Canarias permite apreciar el escalonamiento, debido a la niebla, de las formaciones vegetales. El bosque de laureles se halla instalado casi exclusivamente en las vertientes septentrionales. Está sometido a la influencia de las masas nubosas —y, naturalmente, de las nieblas— empujadas por el alisio, que sopla del nordeste. De las siete islas principales del archipiélago canario, Hierro es la más pequeña (280 km²) y la menos poblada (7 400 habitantes). Forma parte de las islas altas (1 500 m en Malpaso) del archipiélago, que es exclusivamente volcánico. En las islas bajas, Lanzarote y Fuerteventura, el bosque de laureles no puede desarrollarse. Ha desaparecido casi totalmente de Gran Canaria, muy deforestada. Las diferentes formaciones visibles en este mapa son las siguientes: en (1) formaciones de xerofitas con predominio de la maleza y pequeñas islas de Juniperus phoenicea; *(2) bosques de laureles; (3) formaciones «Fayal-Brezal» caracterizadas por la* Myrica faya *y la* Erica arborea; *(4) bosques de* Pinus canariensis *con pequeñas extensiones de formaciones arbustivas de* Cytisus proliferus; *(5) formaciones arbustivas «Retama-Codeso» caracterizadas* Spartocytisus nubigenus *y* Adenocarpus viscosus; *(6) formaciones de alta montaña. (Esquemas según F. White, 1986.)*

roé, forma parte del cortejo florístico del bosque de laureles, la *laurisilva*, formada casi exclusivamente por árboles de grandes hojas persistentes, vestigio de la flora subtropical húmeda, muy extendida en el sur de Europa y en ciertas partes de África del Norte a finales del Terciario.(7) Esta formación vegetal constituye una variedad de los bosques nebulosos tan abundantes en las montañas intertropicales. En dos archipiélagos de Oceanía existen algunas —raras— formaciones comparables (fig. 5): en Otago, en la isla del sur de Nueva Zelanda (46 °S - 171° E), y en el pequeño archipiélago chileno de Juan Fernández (34° S - 78/81° O).(7) Estos bosques tienen en común un clima muy oceánico, acentuado por su insularidad. En el segundo subtipo, más seco, se incluyen los bosques de elfos de las colinas de Perú, como Lachay,(8) y también el oasis de Erkowit, al sur de Sudán (fig. 5). Allí, las precipitaciones son más débiles, a lo largo de la costa del Pacífico de América del Sur el viento es menos constante, o bien, como en Erkowit, la estación seca sin niebla dura varios meses.

¿Qué requiere el funcionamiento de un árbol fuente? Además de las condiciones climáticas particulares, clima tropical y vientos importantes (fig. 5), es necesario, ante todo, que haya una niebla muy densa y persistente que entre en contacto con las montañas a partir de cierta altura (en general, 500-600 m) y que permita la condensación del vapor de agua. Por ejemplo, en la isla de Santo Antao, en el archipiélago de Cabo Verde,(9) la niebla se mantiene más de 200 días/año. De igual modo, en Hierro, donde existía el *garoé*, el mar de niebla sólo existe entre los 600 y 1 500 m (fig. 4). Esto explica porqué la función de la niebla ha pasado tantas veces desapercibida. En efecto, en todo el mundo, la medida de los fenómenos meteorológicos en la montaña es rara debido a los altos costes de instalación y de funcionamiento de los aparatos en dichas zonas. Además, las considerables precipitaciones de la niebla se localizan en los lugares muy ventosos, como los collados, es decir, en lugares donde la Organización Meteorológica Mundial y los constructores desaconsejan implantar pluviómetros. De ahí la falta de datos disponibles. Nuestro ejemplo de principio, el *garoé*, estaba situado al nordeste de Hierro, frente al alisio, que sopla del nordeste en el hemisferio norte (fig. 3). Las aguas de la niebla asociadas sistemáticamente con el viento son llamadas por españoles y sudamericanos precipitaciones horizontales. En lugares muy favorables, se han detectado importantes precipitaciones anuales relacionadas únicamente con la niebla. Pueden alcanzar los 4 176 mm en Serra Malagueta, Santiago, en el archipiélago de Cabo Verde, a 900 metros de altura,(10) y 1 354 mm en la Montaña de la Mesa (1 086 metros de altura), en África del Sur, por encima de El Cabo.(11) Destaquemos el hecho de que las lluvias registradas en los mismos lugares y épocas fueron de 699 mm en el primer caso y de 1 940 mm en el segundo. El máximo mensual en Serra Malagueta se alcanzó en agosto de 1980, con 856 mm de precipitaciones nebulosas, mientras que en el pluviómetro se midieron ¡447 mm!

Si está empujada por un viento violento, la niebla precipita sobre cualquier objeto interpuesto. Así, a lo largo del desierto costero de Namibia, donde la precipitación de la niebla puede llegar a ser de 40 a 50 mm anuales, el agua se condensa primero en la superficie de las rocas. A continuación, el agua de una extensa superficie de captaciones se escurre en el interior de grietas, y las plantas vasculares pueden desarrollarse

(1) D.C. Darías y Padrón, *Noticias generales históricas sobre la isla del Hierro*, Goya (ed.), Sta. Cruz de Tenerife, 3ª ed., 1988.
(2) G. Glas, The fountain tree (1764), 15, 374, *Weather* , 1960.
(3) I. Font Tullot, *Climatología de España y Portugal* , Servicio Meteorológico Nacional, Madrid, 1983.
(4) I. Sánchez García, *Bosque y agua en Hierro*, ICONA, 30, 1982.
(5) E. Charton, *Voyageurs anciens et modernes* , Magasin Pittoresque, París, III, 1855.
(6) P.L. Pérez de Paz (ed.), *Parque Nacional de Garajonay*, ICONA, Madrid, 1990.
(7) P. Dansereau, *Collectanea Bot., VII*, I, 11, 227, 1968.
(8) M.J. Dourojeanni y C.F. Ponce, *Los parques nacionales del Perú*, INCAFO, Madrid, 1978.
(9) Reis F. Cunha, *García de Orta, 12*, 4, 719, 1964.
(10) A.N. Acosta Baladón, A. Gioda, *Sécheresse, 2* , 2, 132, 1991.
(11) J.F. Nagel, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 82*, 452, 1956.

en las zonas arenosas aunque no se produzcan precipitaciones mensurables. En el desierto de Namibia, el crecimiento de la vegetación tiene lugar principalmente durante el invierno austral, cuando las nieblas son frecuentes, y no durante el verano, que es la estación de las lluvias ocasionales.[12] El *garoé* mismo se encontraba al pie de una escarpadura rocosa de unos 10 m, en el fondo de un largo y pequeño valle.

La captación de agua de niebla por los vegetales es todavía más importante cuando los especímenes están aislados o agrupados en pequeños bosquecillos. En efecto, es necesario que la turbulencia a su alrededor sea máxima. Observemos que la especie y la familia de los vegetales fuente pueden ser muy variadas. En un entorno boscoso, los árboles fuente sólo pueden localizarse en los bordes forestales. Esta es la situación micrometeorológica que permite el fenómeno de precipitación de las nieblas. En el sultanato de Omán, cerca de Salalah, con tres árboles pueden recogerse hasta 180 litros día durante el monzón, es decir, un rendimiento específico máximo de 60 litros/día, según P. Cerceda, de la universidad de Santiago de Chile. Los agaves de Cabo Verde proporcionan 20 litros/día durante los periodos favorables, de acuerdo con observaciones hechas a lo largo de unos cuarenta años. Según una ilustración de los años sesenta, una pequeña palme-

Figura 5. En todo el mundo, son muchas las zonas favorables a la precipitación de la niebla, especialmente en las regiones costeras e insulares tropicales y subtropicales. Estas regiones son tanto los trópicos húmedos como los trópicos áridos. En las zonas tropicales y subtropicales húmedas, las precipitaciones de las nieblas se han estudiado sobre todo en Puerto Rico, Colombia y costa oriental de México. En las zonas áridas y en América, las regiones favorables son esencialmente las montañas costeras de Chile, de Perú y de Ecuador meridional, incluidas las Galápagos, las del norte de Venezuela y de la Colombia atlántica, de la baja California y, en el Pacífico, la isla de Lanai, en Hawai. En África del Sur, Namibia y Angola meridional y, al este del continente, las cadenas costeras de Sudán, de Eritrea y de Djibuti constituyen los dos polos africanos de las nieblas en zona árida. Están completados por una región atlántica que incluye las Canarias y el archipiélago de Cabo Verde tocando ya a Mauritania y Marruecos meridional. Finalmente, en Asia, el sur de la península arábiga (Dhofar de Omán y Yemen) es similar al Cuerno de África.

ra daba casi la misma cantidad.[9]

Los vegetales presentan muchísimas adaptaciones a los medios áridos; una de ellas es la captación de las nieblas por parte de los vegetales fuente. Junto al caso de los árboles fuente, existen también otras estrategias para captar agua de las nieblas a nivel de la hoja y de la rama. Por ejemplo, las gotitas de niebla pueden ser detenidas por una hoja ancha o grande. Formadas por coalescencia, las gotas son conducidas a un colector formado por la nervadura central y van a parar a un reservorio en el punto de nacimiento de la hoja. Esta es la estrategia adoptada por los agaves, por las bromeliáceas —es decir, la familia que incluye las ananas—, por el árbol viajero (*Ravenala madagascariensis*), que es una especie de aspecto parecido al banano, etc. Otro tipo de adaptación se produce cuando la red densa y movediza de la corona del árbol está formada por hojas finas o pequeñas. En este caso, la red de la corona de hojas es asimilable a una red o a una rejilla, es decir, puede compararse a un buen captador de gotitas de niebla. Se incluyen en este tipo las acacias, los *Prosopis*, los tamariscos, etc.

Estos tipos de adaptación se reparten el espacio. El primero corresponde al estrato del monte bajo y el segundo al del arbolado. Por su parte, los árboles fuente son unos especímenes aislados o agrupados en bosquecillos, o bien quedan confinados en los bordes forestales. Por consiguiente, no existe una formación vegetal única y específica de los oasis nebulosos. Es posible encontrar formaciones arbustivas como el *fynbos*, nombre vernáculo que define una formación vegetal de la región de El Cabo, en África del Sur, y que recuerda el matorral mediterráneo; algunos bosques con *Juniperus procera* , como el del ecosistema de Day, en Djibuti; formaciones abiertas de *Haageocerus lachayensis*, una cactácea que crece en las colinas peruanas, etc. Además de la gran diversidad de las formaciones, el conjunto de los vegetales de las zonas nebulosas debe presentar la misma adaptación a una luminosidad débil. La fisiología mejor conocida de las plantas de la niebla es la de los vegetales de una gran importancia económica, como el cafeto y el té. El cafeto *Arabica* y los diferentes tés

Figura 4. La aparición de los árboles fuente está relacionada con la presencia de una niebla muy persistente, localizada en las montañas a partir de cierta altitud (500-600 metros). En Hierro, donde está tomada la fotografía (A), el mar de niebla sólo existe entre los 600 y 1 500 m. Aquí, las nubes están colgadas de las vertientes abruptas del Golfo, aproximadamente a 600 m de altitud. En primer plano, se ven las casas de Frontera. En (B) se ha fotografiado el tipo de captador de niebla adoptado en las Canarias para medir exactamente la cantidad de precipitaciones horizontales. Se trata de un cilindro de un metro de altura y de 20 centímetros de diámetro, formado por una rejilla metálica parecida a una mosquitera. El aparato se encuentra en Tenerife, en el valle de la Orotava, a 1 000 m de altitud; está instalado a 2 m de altura, junto a la estación meteorológica gestionada por el ICONA. (Fotos Alain Gioda.)

(12) F. White, *La végétation en Afrique*, ORSTOM-Unesco, 1986.

Figura 6. Existen árboles fuente modernos. Así lo atestigua este ejemplar centenario de enebro de Fenicia (Juniperus phoenicea*) en la isla de Hierro, en Cruz de los Reyes (en A). El diámetro de su corona medía 8 m; lo empleó el* ICONA *como captador de agua en los años ochenta. El agua que producía se canalizaba hacia tres depósitos cerrados que tenían una capacidad total de 200 m^3. Otro ejemplo, en B: el olivo y un arbusto mediterráneo* Rhamnus *dominan una cisterna en una región montañosa del Sultanato de Omán (Arabia meridional), El Djebel, donde las precipitaciones horizontales representan el 80 % de las precipitaciones totales. Durante los meses de verano (monzón asiático), esta cisterna recoge por término medio 180 litros al día. A la derecha, un captador de niebla se ha instalado con un pequeño depósito para recoger y medir las precipitaciones. (Foto A: Z. Hernández Martín; B: Pilar Cereceda, de la Univ. de Santiago de Chile.)*

son plantas tropicales perfectamente adaptadas a las nieblas. La primera es originaria de las altas mesetas de Abisinia del suroeste, hacia los 2 000 metros de altura, en zonas de niebla. Nos ocuparemos del cafeto *Arabica*, ya que es también una planta que puede adaptarse bien a la sequía y medrar en climas áridos. O. Neuvy, de la Oficina agrícola francoyemení de Sana'a, estudia el crecimiento del cafeto en condiciones extremas cerca de Manakhah, sobre el Mar Rojo, en colaboración con F.N. Reyniers y P. Quideau, del CIRAD (Centre de cooperation internationale en recherche agronomique pour le developpement) de Montpellier. En las montañas a 1 600 metros de altitud, el cafeto *Arabica* se contenta con 350 mm de lluvias anuales por término medio, mientras que la evapotranspiración potencial durante el mismo periodo alcanza los 1 700 mm aproximadamente.[10] Varios elementos, como suelos volcánicos de calidad protegidos por capas de piedras que los aíslan de la radiación directa de la atmósfera; una red de canalillos, que aportan agua a cada planta cuando se produce alguna de las raras lluvias; y un cultivo en terraza son la causa de una parte de esta paradoja. Sin embargo, el hecho de que la planta sea una leñosa pequeña, de hojas persistentes, implica que transpira continuamente y que el porcentaje de sus pérdidas de agua depende exclusivamente de las condiciones meteorológicas. En diciembre de 1991, se instalaron sondas en pequeños troncos y en ramas de cafeto con el fin de medir el diámetro, sobre todo durante la subida de la savia. El crecimiento de su diámetro, junto con la alimentación por las precipitaciones horizontales, ocurrió por la noche, en concomitancia con la niebla. La subida de la savia cesa justo cuando empieza la mañana con la consiguiente disipación de las nieblas nocturnas. Un fenómeno comparable existe en otras zonas marginales de cultivo, favorecidas por otra característica del cafeto: la lentitud de su asimilación clorofílica durante el día. Esta lentitud hace al arbusto insensible a la reducción de la luz, causada por, la cobertura nubosa.

Sin la niebla, ciertos bosques no hubieran existido. Éste es el caso, por ejemplo, de Fray Jorge, en Chile, un bosque nebuloso que domina directamente el mar, colgado en las cimas de un cañón de 600 metros de altitud. Está situado al sur de la ciudad de La Serena. El bosque comprende, entre otras, tres especies típicas: el olivillo (*Aetoxicon punctatum*), el canelo (*Drimys winteri*) y el arrayán (*Myrceugenia correaefolia*). En los bosques nebulosos de las colinas y de las montañas, el frío es intenso. Cada 100 metros de altura, la temperatura media disminuye 1,2 °C aproximadamente, es decir, experimenta un descenso dos veces más rápido que el normal en las mismas latitudes. En el patrimonio ecológico mundial, los bosques de niebla tropicales son el conservatorio de una flora que se adaptó a condiciones más frías durante los periodos glaciales del Cuaternario. Entonces, era frecuente que las nubes bajas y estratiformes ocultaran el sol, rebajando la temperatura y permitiendo, por tanto, la extensión a baja altitud de vegetales

típicamente de montaña. No cuesta pensar que, en las localidades donde algunos vegetales desempeñan la función de captadores de humedad y de productores de agua a la manera de una fuente, los hombres pudieran instalar una agricultura que se aprovecha del carácter casi permanente de las nieblas. Ya los precolombinos habían explotado los antiguos oasis nebulosos de Perú y de Chile.

Hasta el día de hoy, en Lacahy, Perú, se han sucedido muchas civilizaciones. Situado a un centenar de kilómetros al noroeste de Lima, Lachay es un oasis de nieblas, característico de las colinas costeras de Perú, que guarda indicios antiguos de actividades agrícolas y ruinas de establecimientos humanos. Después de la desaparición, hacia 3800 años AP (antes del presente), de la civilización costera del Precerámico Terminal, el más importante establecimiento de Lachay fue el poblado de Doña María, habitado entre 2800 y 2500 años AP, que formó parte de la civilización de Chavín. Uno de los bosques actuales de taras y de palillos, dos leguminosas arbóreas, se desarrolla entre las terrazas de Chavín, todavía perfectamente visibles y fechadas gracias a su cerámica. La tara (*Cesalpinia tinctoria*) fue utilizada como fuente de tanino.[9] El paisaje actual sería, en su totalidad, la herencia recibida de los hombres de aquella época y de su antigua puesta en cultivo de los terrenos.[14] La flora habría sobrevivido hasta hoy gracias a los recursos hídricos que han aportado las nieblas. Además, en los yacimientos de Chavín se encuentran restos abundantes de frutos comestibles, como el aguacate, la guayaba o las bayas de lucuma, un árbol frutal de Chile y Perú. Es posible que los árboles que dieron estos frutos hubieran sido plantados también en las colinas nebulosas en el primer milenio a.C.

Por otra parte, también un asentamiento importante, muy cercano a Doña María, fue poblado por la civilización Teatino hacia 800 d.C. Posteriormente, entre 800 y 900 de nuestra era, Doña María volvió a ser habitado por un grupo perteneciente a la cultura Maranga. Miembros de esta misma cultura fundaron también en plena zona de nieblas, a más de 500 m de altitud, una población colgada de tipo defensivo en Chancayllo, al norte de Doña María. Finalmente, Lachay estuvo ocupado por un grupo de la cultura Chancay a finales del siglo XIV y a principios del siglo XV. Después de la conquista española y hasta su clasificación en 1977 como reserva nacional, tanto el pastoreo como la tala forestal fueron, en Lachay, los modos de explotación.

En un pasado más próximo, el hombre se contentó con recoger y almacenar el agua de la niebla. Su uso como aprovisionamiento de agua potable estuvo asociado a periodos de gran sequía y a un aislamiento total de las poblaciones. Este fue el caso de los habitantes de Hierro antes de 1610, o el de los de la aldea de Tiñor durante la Guerra Civil española, así como en 1947, un año en que la sequía fue excepcional. Finalmente, Hermógenes Gonçalves, un agricultor de la isla de Brava, en el archipiélago de Cabo Verde, bebió agua de niebla en 1942, durante la Segunda Guerra Mundial.[9] Para ello, explotó un agave muy grande de origen brasileño (*Furcraea gigantea*) como recolector. Hoy, los habitantes de Cabo Verde siguen explotando los agaves para procurarse agua. La palmera datilera (*Phoenix dactylifera*) también ha sido utilizada en un medio muy árido del mismo archipiélago.[9] En Hierro, el enebro de Fenicia (*Juniperus phoenicea*) fue empleado por el ICONA (Instituto para la conservación de la naturaleza) como captador en los años ochenta (fig. 6A). Proporcionó agua de bebida a los peregrinos de la Cruz de los Reyes, situada a una altura de 1 353 m.[4] Entre otros ejemplos, citaremos el olivo (*Olea europea*) y un arbusto mediterráneo (*Rhamnus spp.*), que se utilizan como colectores encima de una cisterna desde finales de 1980 en Dhofar de Omán (Arabia del Sur) y en El Djebel (fig. 6B). Esta pequeña lista no es, sin embargo, exhaustiva. Conocidos a veces de manera anecdótica o sólo localmente, los árboles fuente han existido y todavía existen, ya sea de manera aislada, ya sea en forma de bosquecillos.

Figura 7. Actualmente, se han reemprendido las investigaciones sobre la utilización de las nieblas como fuente de agua potable, por ejemplo, para el abastecimiento de pueblos de Chile y Perú y también para actividades agroforestales. Esta fotografía ilustra un experimento de reforestación llevada a cabo en Chile por R. Espejo Guasp en la región particularmente árida de Antofagasta. Pueden verse, detrás de cada planta y orientados de cara al viento dominante durante los episodios nebulosos, unos captadores de niebla que permiten aportar un suplemento hídrico a los árboles jóvenes multiplicando la superficie que intercepta las gotitas. Éstas, con su crecimiento por coalescencia, crean en los captadores un goteo que seguidamente llega al suelo para alimentar las plantas. (Foto R. espejo Guasp.)

LA CAPTACIÓN DE LA NIEBLA CON REJILLAS PERMITE LA ALIMENTACIÓN HÍDRICA DE LOS ÁRBOLES JÓVENES EN LOS PAÍSES ÁRIDOS

■

Actualmente, se ha iniciado ya una investigación sistemática sobre esta recolección de agua y se están poniendo a punto algunas técnicas. Por ejemplo, a partir del fenómeno de precipitación sobre las rocas, que hemos visto más arriba, se ha llegado a la idea de optimizar un atrapaniebla. Los científicos han sustituido las rocas por rejillas del tipo mosquitera. Estas investigaciones se iniciaron a iniciativa de un uruguayo, R.P. Saá, en los años cincuenta, en la universidad católica del Norte, en Antofagasta, Chile. Se prepararon numerosos captadores, algunos montados sobre veletas. Varios de ellos incluso eran flexibles, con soporte de bambú, como el que pusieron a punto en Antofagasta los físicos O. Tapia y R. Zuleta, que trabajaron durante veinte años en el proyecto «Camanchaca» (nombre indio de la niebla en la costa chilena). La flexibilidad del captador evita que los vientos violentos lo arranquen. Además, montándolo sobre una veleta se garantiza que, con un captador de niebla fijado

(13) J. Maley, *Climatic Change, 19*, 79, 1991.
(14) F.A. Engel, *De las begonias al maíz*, CIZA, Lausanne, 1987.
(15) R.S. Schemenauer, P. Cereceda, *J. Applied Meteorology, 31*, 3, 275, 1992.

perpendicularmente al primero, la recogida de agua sea la máxima, porque también lo es la superficie interceptada. Actualmente, y refiriéndonos siempre a Antofagasta, R. Espejo Guasp sigue el crecimiento de jóvenes árboles alimentados con el agua condensada en estos captadores (fig. 7).

En estos momentos, los árboles fuente han permitido al sector agroforestal desarrollarse en unas sorprendentes regiones brumosas. Entre los árboles utilizados para reforestar zonas de niebla, citemos los géneros *Acacia, Prosopis, Cupressus* (ciprés), *Juniperus* (enebros), *Eucalyptus, Olea* (olivos) y *Podocarpus*. Todos estos árboles existen ya en los bosques llamados climácicos (constituidos por una comunidad estable de vegetales bien adaptados al entorno) y algunos, como las acacias, los olivos y los eucaliptus, han dado pruebas de su rusticidad. Por ejemplo, el género *Acacia* es muy adecuado a las condiciones difíciles de los medios áridos y de los nebulosos. En el archipiélago de Cabo Verde, la *A. nilotica* y la *A. farnesiana* se encuentran entre las especies de reforestación más empleadas. Sin embargo, en los bosques nebulosos, el mejor ejemplo es la *A. spirocarpa*, la Acacia-parasol. Esta especie se encuentra sobre todo en el oasis nebuloso de Erkowit, entre 600 y 1 000 metros de altitud, al sur de Port-Sudán, cerca del mar Rojo. Las precipitaciones bajo estos árboles fuente son tan abundantes que hacen crecer una verdadera pradera, exactamente bajo la vertical de su cubierta, mientras que entre los árboles la vegetación es muy escasa. Los estudios que C. Troll, un botánico alemán, hizo en 1935, así como los del ecólogo M. Kassas, de la universidad de Kartum, en 1956, demostraron que es precisamente el agua de la niebla la causa del crecimiento de la pradera y no la sombra protectora que dispensan las acacias. En efecto, la inclinación del Sol en esta latitud (19° N) es insuficiente para dar las sombras necesarias, y las manchas de vegetación herbácea no se corresponden con ellas.

Desde el estricto punto de vista de la optimización del recurso que ofrece la niebla, el éxito de los árboles fuente sugiere efectuar plantaciones de reforestación en bandas, en bosquecillos, con plantas ya suficientemente grandes para interceptar las gotitas proyectadas por el viento, es decir, las precipitaciones horizontales. Además, situados precisamente detrás de cada planta y orientados frente al viento dominante en los episodios nebulosos, los captadores de niebla pueden aportar un suplemento de agua a los árboles jóvenes multiplicando la superficie interceptada por las gotitas. Con su crecimiento por coalescencia, estas últimas crean un goteo sobre los captadores que se precipita seguidamente al suelo para alimentar las plantas. Este procedimiento, entre otros, es el que ha adoptado en Chile la CONAF (Corporación nacional forestal) para la reforestación de la región de Antofagasta, especialmente árida (fig. 7). Los bosques nebulosos de las zonas áridas son asimilables a los oasis de los desiertos, por lo que desde hace mucho tiempo han sido explotados por el hombre. La mayoría de las veces, la ganadería extensiva fue el mejor modo de aprovechamiento, ya que los recursos hídricos eran demasiado limitados para permitir una agricultura intensiva. Añadamos que muchas plantas cultivadas, como el tomate o el maíz, no soportan la débil insolación de estas regiones. En cambio, gracias a los árboles fuente naturales, la carga de caprinos llegó a ser de cinco animales por hectárea y año en Lachay, Perú, antes de la clasificación de la zona como reserva nacional (1977).[8] Era indispensable limitar esta carga para conservar el patrimonio botánico, patrimonio que, en el Parque nacional de Garajonay en la isla de La Gomera (Canarias), es de una calidad tan notable que justificó, en 1986, su clasificación por la UNESCO como patrimonio mundial. Tal apadrinamiento da continuidad a unos estudios científicos, especialmente sobre la niebla, iniciados hace diez años por L. Santana Pérez, del ICONA, en este entorno forestal.[6]

LA NIEBLA UTILIZADA COMO FUENTE DE AGUA POTABLE

■

En la actualidad, se están efectuando investigaciones a mayor escala sobre la calidad de las precipitaciones de la niebla utilizadas como fuente de agua potable. Las llevan a cabo, sobre todo, R.S. Schemenauer, de Medio Ambiente de Canadá, y P. Cerceda, de la universidad pontificia de Santiago.[15] Se trata, en Chile, del abastecimiento de agua del pueblo de Chungungo (330 habitantes) y en Perú del de pequeñas comunidades de la región de Lima. Además de la ayuda de servicios nacionales, como la CONAF, de Chile, el conjunto se beneficia de subvenciones canadienses, entre otras del CRDI (Centre de recherche pour le développement international). Setenta y cinco captadores estaban ya instalados en 1991 en El Tofo, al norte de La Serena. Cada uno de ellos consiste en un cuadro sobre el que se halla extendida una doble mosquitera de polipropileno de 48 m². Un goteador recoge el agua de la niebla, por gravedad, abajo en el cuadro. Se trata de una tecnología muy económica, basada en una energía eólica renovable y que no consume ningún combustible fósil. El conjunto queda fuera del alcance de los animales, ya que el goteador está a dos metros de altura. El agua se canaliza desde las colinas, a unos 800 metros de altitud, hasta la costa. Calculada en más de tres años, la producción diaria media de agua de niebla es de 3 l/m² de mosquitera. En el verano austral, ya se han sobrepasado los 8 l/m², como ocurrió en noviembre de 1989. La producción de niebla es notable, incluso durante los meses desfavorables del invierno austral.

Finalmente, hay que destacar que la niebla es un buen marcador de la contaminación atmosférica. Por esto, desde 1986, su composición química está siendo estudiada en un trabajo sobre lluvias ácidas y deterioro de los bosques en los montes de Sumava, en Bohemia, hecho por el equipo de V. Eliás, del laboratorio de hidrodinámica de Praga.

Gracias a la historia del *garoé*, esta investigación nos ha hecho considerar el agua de la niebla como un regalo de los dioses y como un recurso demasiadas veces olvidado, cuando, en realidad, las zonas nebulosas de las montañas bajas y áridas encierran un patrimonio botánico de una rara importancia ecológica tanto a lo largo de las costas como en las islas tropicales. Así, pues, podemos decir que actualmente existe una vía de aplicación si los investigadores, utilizando las técnicas más modernas, aceptan poner sus métodos de trabajo al servicio de un antiguo saber. La plantación de nuevos árboles fuente ha de ser una perspectiva alentadora en las localidades conocidas por los viejos explotadores forestales y ha de animarles a disponer de buenos recursos de agua de niebla, tal como ya hiciera Z. Hernández Martín, quien, en 1945, plantó un *Ocotea foetens* en el lugar exacto del árbol santo de Hierro, con objeto de crear otra fuente vegetal. Estos nuevos *garoé* tendrán un enorme valor como ejemplo y sensibilización en ecología aplicada. Podrán ayudar a los servicios encargados de los recursos hídricos y forestales a encontrar financiación para una obra de larga duración como es la reforestación. ■

PARA MÁS INFORMACIÓN:

■ J. Blot, *Bilan écologique des forêts à* Juniperus procera, tesis, Univ. Bordeaux III, 1991.

■ J. Cavelier y G. Goldstein, «Mist and fog interception in elfin cloud forests in Colombia and Venezuela», *J. Tropical Ecology, 5*, 1989.

■ Ch. Gischler, *The missing link in a production chain*, Unesco-Rostlac, Montevideo, 1991.

■ O. Kerfoot, «Mist precipitation on vegetation», *For. Abstr., 29 (1)*, 1968.

■ R.S. Schemenauer *et al.*, «A neglected water source: the camanchaca of South America», *Bull. Am. Meteor. Soc., 69 (2)*, 1988.

■ O. Tapia y R. Zuleta, *Veinte años de camanchacas y dos del proyecto Mejillones*, UCN, Antofogasta, Chile, 1980.