

AGUA DE LA NIEBLA PARA HUMEDECER UN DESIERTO SEDIENTO

Por Robert SCHEMENAUER *

Introducción

La provisión de abastecimientos adecuados de agua potable para el consumo humano y el uso agrícola es uno de los principales problemas con que se enfrenta el mundo de hoy. Si puede obtenerse agua de los acuíferos del subsuelo mediante un sistema de pozos, ésta es, probablemente, la fuente menos costosa; si se producen suficientes precipitaciones estacionales que justifiquen la construcción de presas o cisternas con fines de almacenamiento, éste será el procedimiento adecuado. Pero en algunas partes del mundo ni hay agua potable subterránea ni suficientes lluvias que justifiquen los mecanismos de almacenaje. La costa norte del Pacífico en Chile es precisamente una región de este tipo: la precipitación anual varía desde aproximadamente 70 mm en La Serena (30°S) a 1 mm en Arica (con el Desierto de Atacama, situado entre ambas, posiblemente el lugar más seco de la Tierra). Zonas como éstas requieren soluciones innovadoras para los problemas de suministro de agua.

Incluso en las regiones desérticas con bajo grado de humedad una gran cantidad de vapor de agua pasa sobre ellas cada día, pero no es posible convertirla en agua líquida sin un tremendo gasto de energía y de dinero. Las zonas que están cubiertas por nubes es otro tema. Las nubes están compuestas por pequeñas gotitas líquidas si las nubes tienen suficiente espesor y, si se encuentran otras determinadas condiciones, la siembra de las nubes puede inducir precipitación. Pero incluso si se tiene éxito, un proyecto de este tipo tiene dos inconvenientes, su alto costo y la necesidad de probar que el agua adicional fue realmente producida mediante la siembra de las nubes. Una técnica alternativa para capturar directamente las gotitas de las nubes promete proporcionar grandes cantidades de agua a un costo relativamente bajo.

Depósitos de agua de la niebla

Se conoce desde hace mucho tiempo que los arbustos y otros tipos de vegetación interceptan las gotitas de la niebla y depositan el agua en el suelo, mediante un proceso conocido como "niebla destilada". Kerfoot (1968) ha resumido algunas de las anteriores observaciones de la productividad del agua de las nieblas. Más recientemente, Schemenauer (1986) estudió las medidas de la rapidez de los depósitos del agua de la niebla. Las superficies de baja elevación generan nieblas que normalmente tienen bajo contenido de agua líquida (CAL) y, en consecuencia, baja rapidez de depósitos. En altitudes mayores, las nubes se mueven sobre el terreno produciendo nieblas. Estas nieblas de alta cota tienen un mayor CAL y, como los vientos son normalmente más fuertes que en los niveles bajos, los depósitos de agua son mucho mayores. La cantidad real de la niebla destilada depende del tipo, duración y de la CAL de la niebla y de la cubierta vegetal y de la velocidad del viento. En zonas con precipitación pequeña, la rapidez de niebla destilada, desde uno a diez centímetros por mes, puede tener una marcada influencia sobre el ecosistema; por ejemplo, el desierto costero de Namibia muestra muchos ejemplares de plantas que cuentan con el agua de las nieblas que se mueven tierra adentro desde el Océano Atlántico. Necesita ser reconsiderado el tema de si las nieblas pueden utilizarse como un abastecimiento de agua sus-

* Cloud Physics Research Division, Atmospheric Environment Service, Canadá.

ceptible de ser administrado y, en la actualidad, se está realizando en Chile un proyecto para investigar la factibilidad y el costo de la utilización de las nieblas a gran escala para este fin.



Vista hacia el sur desde el cerro de El Tofo con estratocúmulos que llegan desde el mar.

Fotografías: R. S. Schemenauer

El Proyecto Camanchaca

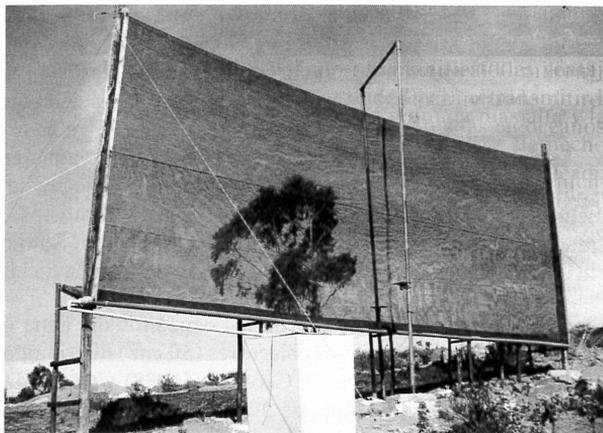
En el norte de Chile, las montañas se elevan rápidamente, desde el mar. Normalmente se encuentran alturas de 1000 m o más a cinco o diez kilómetros de la costa. Estas montañas costeras son suficientemente altas como para interceptar las capas de estratocúmulos que se forman sobre el Pacífico y se mueven tierra adentro y la niebla de alta cota resultante se denomina la *camanchaca*. Schemenauer *et al.* (1988) estudiaron en detalle las condiciones meteorológicas que gobiernan la formación de la camanchaca, así como realizaron los primeros estudios sobre su potencial producción de agua. El emplazamiento principal del proyecto está a 780 m sobre un cerro llamado El Tofo, situado a 29° 26' S, 71° 15' W. Pequeños valles separan el cerro de las montañas más altas situadas al norte y al sur.

El proyecto Camanchaca está pensado para estudiar las condiciones meteorológicas, topográficas y microfísicas asociadas a la formación y la presencia de la camanchaca. Se ha construido una voluminosa estructura de mallas *atrapanieblas* o de colectores del agua de la niebla y se determinará el coste de la producción de agua por este método. Los proyectos anteriores en esta zona fueron más reducidos y de corta duración, no permitiendo la estimación de los costes.

La principal fuente de financiación del Proyecto Camanchaca procede del Centro Internacional de Desarrollo de la Investigación de Ottawa (Canadá). La ayuda investigadora adicional, en lo que se refiere a personal e infraestructura, procede del Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile, del Departamento de Geografía de la Universidad Católica Pontificia de Chile y del Atmospheric Environment Service de Canadá. El trabajo de construcción realizado en El Tofo está supervisado por la Corporación Forestal Nacional de la Región IV de Chile.

La financiación inicial corresponde al período de abril de 1987 a marzo de 1989 y, hacia la mitad del período, se han montado dos estaciones meteorológicas para proporcionar un registro continuo de las condiciones en la montaña. Además, se han situado en El Tofo cincuenta colectores del agua de la niebla, cada uno de ellos de 48 m² de área, y su captación de agua se conduce mediante tubería a los medidores de caudal. En noviembre de 1987, se realizó un período de observación intensiva de dos semanas, en que se utilizaron un avión instrumentado, una embarcación, radiosondas y sondas microfísicas para estudiar la baja

atmósfera, las temperaturas del agua del mar y las propiedades de la camanchaca. Para noviembre de 1988, se ha planeado un segundo período de observación de este tipo, cuando haya comenzado la construcción de una tubería para la conducción del agua a seis kilómetros más abajo, a la ciudad de Chungungo en la costa.



Un colector del agua de la niebla de 4 x 12 m con el alojamiento del medidor de caudal y el soporte para los instrumentos que miden el tamaño y el número de gotas.

Los colectores del agua de la niebla

El colector del agua de la niebla consiste en una malla doble de nylon, de cuatro metros de alto por doce metros de ancho, sustentada por cables atirantados entre dos postes de madera de eucaliptus. La malla es barata y está hecha en Chile; la fibra del tejido es plana y alrededor de un milímetro de ancha. Las pequeñas gotitas de niebla chocan contra la malla y se acumulan formando gotas que caen por la malla hasta un canalón. Actualmente se están haciendo modificaciones del diseño con el fin de asegurar que toda el agua recogida fluya dentro del canalón y, finalmente, a través de medidor de caudal al depósito. El medidor de caudal mide continuamente la corriente de agua y las medidas son guardadas, en valores medios cada cinco minutos, en el mismo registrador de datos que toma los datos meteorológicos.

Schemenauer y Joe (1988) han examinado la eficiencia de recogida de los colectores del agua de la niebla. Con una velocidad de viento de $6,5 \text{ ms}^{-1}$ en el centro del colector, el 69 por ciento del CAL de la niebla ha sido absorbido por la malla doble, pero cuando el tamaño de las gotas varía entre $9 - 13 \mu\text{m}$ (la moda dentro de la distribución CAL), esta proporción aumenta al 82 por ciento. Estas eficiencias de recogida son suficientemente altas como para sugerir que probablemente es innecesaria una investigación para conseguir otras mallas más eficientes. Sin embargo, se examinará más a fondo la eficiencia de recogida como función de la velocidad del viento y de la posición de la pantalla durante el segundo experimento intensivo de campo.

El papel de la topografía y de la meteorología

El relieve en las proximidades del emplazamiento de El Tofo es muy irregular. La velocidad del viento y su perfil sobre el suelo varía considerablemente sobre el terreno. La ladera del cerro que está a barlovento tiene generalmente niebla sobre ella, mientras que la ladera a sotavento está despejada frecuentemente, ya que la niebla se evapora en el aire subsidente. Pero la situación se complica por el hecho de que la capa de nubes está confinada por debajo de una fuerte inversión de los alisios que está casi siempre presente. La cima de la capa de nubes puede variar desde los 500 a los 1000 m, siendo el nivel más corriente en-

tre 800-900 m. Por consiguiente, es importante estudiar cómo varía la proporción de recogida del agua de la niebla con el terreno en un emplazamiento particular para diferentes regímenes meteorológicos.

Schemenauer *et al.* (1988) ofrecieron una visión general de las primeras medidas meteorológicas realizadas en el emplazamiento, mientras que Fuenzalida *et al.* (1988) estudiaron las medidas realizadas durante el experimento de campo de noviembre de 1987. El régimen de vientos está dominado por las brisas marinas (del oeste) durante el día y por las brisas de tierra (del este) por la noche. Los vientos de la tarde son fuertes, con rachas entre 6 y 10 ms^{-1} , mientras que la brisa nocturna de tierra es normalmente menor de 2 ms^{-1} . Se encontró que los períodos de máxima recogida de agua eran los del final de la mañana y también los del final de la tarde y principio de la noche; la rapidez de recogida está fuertemente influida por la altura de la inversión de los alisios, y éstas están registradas por las características sinópticas y a mesoescala del tiempo. Sólo cuando la base de la inversión se encuentra por encima del emplazamiento es cuando la niebla puede alcanzar a los colectores.

El papel de la topografía en los depósitos del agua de la niebla se ha estudiado mediante una serie de pequeños colectores (50 cm^2) distribuidos sobre el terreno (Schemenauer *et al.* (1987)). Schemenauer y Cereceda (1988) y Cereceda *et al.* (1988) observaron las rapideces relativas de recogida de 20 colectores pequeños en altitudes entre los 700 m y los 1000 m, durante el experimento de campo de noviembre de 1987. Encontraron que la rapidez de recogida variaba entre 0,3 a 4,7 $\text{lm}^{-2}\text{d}^{-1}$, con un valor medio de 1,7 $\text{lm}^{-2}\text{d}^{-1}$. Las mayores rapideces de recogida se encontraron en las lomas situadas a 700 m, siguiéndolas las del cerro de El Tofo a 800 m. Fueron más bajas las rapideces de recogida al este del cerro y en altitudes mayores (1000 m). A una altura constante de 800 m, la rapidez de recogida varía en un factor tres dependiendo de la orientación de la ladera. Esto muestra claramente que hay que realizar más investigaciones sobre emplazamientos específicos con el fin de situar los colectores del agua de la niebla en las posiciones óptimas.

La producción de agua y su coste

El caudal medio diario procedente del colector prototipo del agua de la niebla, de 48 m^2 , fue en El Tofo de 237 litros por día, durante los 14 días del experimento de campo de 1987. El diagrama adjunto muestra los valores diarios individuales, de los que puede deducirse que casi toda el agua fue recogida durante dos periodos de tres días. La rapidez media de producción para el conjunto del período de 14 días, sería en consecuencia de unos 5 $\text{lm}^{-2}\text{d}^{-1}$.

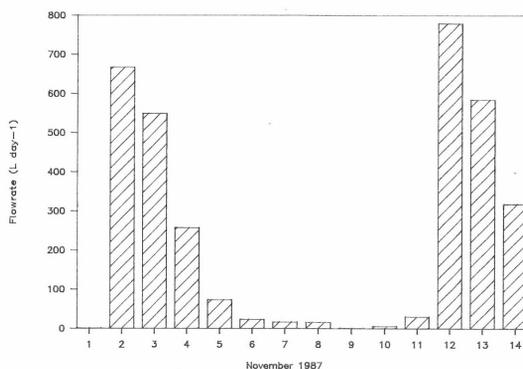
Sobre esta base, 50 colectores del agua de la niebla producirían 12000 litros por día, ó 4380 metros cúbicos por año (a finales de noviembre de 1988 se podrán tener las medidas de un año completo para poder comprobar esta estimación). La población de Chungungo es de 450 personas, de modo que las hipótesis anteriores asignarían a cada persona 27 litros de agua por día aproximadamente. Esto es casi ocho veces la cantidad de agua que los habitantes del pueblo compran actualmente a un tanque móvil de agua.

El coste del agua producida en el Proyecto Camanchaca dependerá también de algunas otras suposiciones. Supongamos que los colectores del agua de la niebla tengan que ser reemplazados cada cinco años y las tuberías cada diez: entonces el coste del agua suministrada a un depósito del cerro de El Tofo estaría aproximadamente de 1 \$ EE.UU. por metro cúbico y en 2 \$ EE.UU. por metro cúbico la suministrada al pueblo situado seis kilómetros más allá. El coste sería algo menor si los materiales duraran más tiempo o si se añadieran más colectores del agua de niebla al sistema ya que la misma conducción podría transportar más agua. Actualmente, los habitantes del pueblo están pagando 2 \$ EE.UU. por metro cúbico de agua de baja calidad recogida en un pequeño río situado casi a 60 km, pero

el coste real está cerca de los 8 \$ EE.UU. ya que el suministro está subvencionado por la municipalidad. A modo de ejemplo, de acuerdo con un informe reciente de un periódico, los Estados de las costas occidentales del Golfo Pérsico están considerando bombear agua dulce de dos ríos turcos en un precio estimado de 11 \$ EE.UU. por metro cúbico. El consumo actual de agua en la región del Golfo es casi de 380 litros por persona y día, siendo mayor si es para fines agrícolas. Al otro extremo de la escala de precios está la ciudad de Toronto (Canadá) donde se obtiene agua del largo Ontario a un precio de 0,47 \$ EE.UU. por metro cúbico.

Si el coste final del agua de la camanchaca suministrada a Chungungo es de 2 \$

Rapidez de caudal diario (litros por día) procedente de un colector del agua de la niebla de 48 m² durante el período de observación intensiva de noviembre de 1987.



EE.UU. por metro cúbico, será un precio razonablemente ajustado para la región. También será una fuente más limpia, más abundante y más segura que la actual. Los análisis iniciales de la calidad del agua no sugieren que pueda haber ningún problema en el cumplimiento de las normas para el agua potable. Sin embargo, debe resaltarse que esto no indica que el agua pueda producirse y suministrarse a dichos precios en todas partes donde se produzcan nieblas. El precio final dependerá de la frecuencia y el CAL de las nieblas, del coste de los materiales y la mano de obra, de la accesibilidad, de la distancia a donde debe ser conducida, etc. Cada emplazamiento potencial o conjunto de emplazamientos debe ser cuidadosamente examinado antes de poder empezar un importante programa operativo.

Conclusión

El Proyecto Camanchaca utiliza instrumentación de alta tecnología y personal científicamente cualificado para evaluar el potencial de un emplazamiento de campo, con el objetivo de dejar situado en el lugar un sistema de producción de agua que utiliza tecnología simple. Los colectores del agua de la niebla, las tuberías y las estaciones de bombeo de la montaña no necesitarán prácticamente mantenimiento salvo algunas reparaciones que serán necesarias debido al vandalismo. El sistema puede ser operado y mantenido por los habitantes del pueblo con poca formación o sin ella. Si se demuestra que es necesario el tratamiento químico del agua del depósito o la reconstrucción de los colectores del agua de la niebla tras cinco o diez años, entonces será precisa la formación de aquellas personas que realizarán este trabajo.

La necesidad del agua de las nieblas no estará restringida a su uso como abastecimiento de agua potable y para propósitos tales como el riego de jardines, para cocinar y para fines sanitarios. Una de las aplicaciones más directas es en la repoblación forestal de las colinas. En muchas regiones semiáridas ciertas especies arbóreas crecerán si se les proporciona un mínimo de humedad y ellas, entonces, estabilizarán las dunas, prevendrán la erosión,

proporcionarán frutos comestibles y sombra para el ganado, etc. El Tofo es un ejemplo excelente de lo que puede hacerse. Ninguna de las montañas de los alrededores permite el crecimiento natural de los árboles, pero hace unos 50 años los mineros decidieron que necesitaban algo de sombra y plantaron algunos retoños de eucaliptus, utilizando el agua de la mina para regarlos. Cuando los árboles crecieron hasta una altura de dos metros sus hojas comenzaron a recoger las gotas de agua de la camanchaca, éstas se unían formando gotas mayores que caían al suelo humedeciéndole lo suficiente como para continuar nutriendo a los árboles sin necesidad de irrigación artificial. Los eucaliptus tienen ahora diez metros de alto y este pequeño bosque se regenera a sí mismo. Este proceso se está copiando en el Proyecto Camanchaca, que está produciendo agua para tres hectáreas de retoño de árboles en El Tofo. Así, existe la posibilidad incluso con pequeños colectores del agua de la niebla de mejorar notablemente la productividad del terreno desértico.

En zonas con pocas fuentes convencionales de agua, las nieblas de alta cota pueden proporcionar al menos una solución parcial. Las nieblas de baja cota, formadas sobre la tierra o el mar, pueden ser también una fuente útil, dependiendo de su frecuencia y su CAL. Las costas occidentales de los continentes parecen ser las regiones en que las condiciones de tierras áridas, nieblas, relieve y falta de otras fuentes de suministro de agua se encuentran más frecuentemente; en el norte de Chile, al sur del Perú y algunas zonas de México son buenos ejemplos de esto (California tiene aridez, nieblas y un terreno adecuado, pero tiene acceso a otras fuentes de agua). Namibia y Angola, así como algunas islas alejadas de la costa occidental de África, podrían ser regiones adecuadas para aplicar las técnicas descritas anteriormente. Sería posible para la comunidad internacional ofrecer apoyo a propuestas bien documentadas de investigación y de programas operativos. Debido a la creciente preocupación por la escasez de suministros de agua dulce, es necesario examinar cada fuente potencial.

Reconocimientos

El Proyecto Camanchaca es un esfuerzo cooperativo y el resultado del trabajo de muchas personas. Las mayores contribuciones científicas han sido realizadas por el Profesor Humberto Fuenzalida y el personal y los estudiantes del Departamento de Geología y Geofísica de la Universidad de Chile, y por el Profesor Pilar Cereceda y el personal y estudiantes del Instituto de Geografía de la Universidad Católica Pontificia de Chile. El Sr. Guido Soto y el personal de la Oficina de la Región IV de la Corporación Forestal Nacional chilena, han dirigido las obras de ingeniería y los aspectos técnicos de los conjuntos de colectores del agua de la niebla. El Centro Internacional de Desarrollo de la Investigación de Ottawa ha proporcionado la mayoría de los fondos para el proyecto y han sido muy apreciados los esfuerzos del Dr. Danilo Anton y del Sr. Robert Rowe del Centro. La pericia y la dedicación del personal técnico del Atmospheric Environment Service of Environment de Canadá, y en especial las de Mohammed Wasey, Steve Bacic y Richard Poersch, contribuyeron de forma importante al éxito del Proyecto.

REFERENCIAS

- CERECEDA TRONCOSO, P., SCHEMENAUER, R. S. y CARVAJAL ROJAS, N. (1988): Factores topográficos que determinan la distribución de las neblinas costeras en El Tofo. Décimo Congreso Nacional de Geografía, Santiago, Chile; pp. B1-6.
- FUENZALIDA, H., RUTLLANT, J., ACEITUNO, P. y VERGURA, J. (1988): On the coastal stratocumuli variability in Chile at 30° S. Meteor. Group Tech. Rpt. 01-88, Dept. de Geología y Geofísica, Universidad de Chile, 16 pp.
- KERFOOT, O. (1968): Mist precipitation on vegetation. *Forestry Abstr.* 29, pp. 8-20.
- SCHEMENAUER, R. S. (1986): Acidic deposition to forests: The 1985 Chemistry of High-elevation Fog (CHEF) Project. *Atmosphere-Ocean* 24, pp. 303-328.
- y CERECEDA, P. (1988): The collection of fog water in Chile for use in the coastal villages. Sixth IRWA World Congress on Water Resources, Ottawa (en prensa).
- , CERECEDA, P. y CARVAJAL, N. (1987): Measurements of fog water deposition on their relationship to terrain features. *J. Clim. Appl. Meteor.* 26, pp. 1285-1291.

- , FUENZALIDA, H. y CERECEDA, P. (1988): A neglected water resource; the Camanchaca of South America. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 69, pp. 138-147.
- y JOE, P. (1988): The collection efficiency of a massive fog collector. Tenth International Cloud Physics Conf., Bad Homberg (en prensa).

EL CONSEJO EJECUTIVO DE LA OMM

CUADRAGESIMA REUNION, GINEBRA, JUNIO DE 1988

El Consejo Ejecutivo celebró su reunión anual en el Centro Internacional de Conferencias, próximo al edificio de la sede de la OMM en Ginebra, del 7 al 16 de junio de 1988. En la ceremonia inaugural, el Presidente de la OMM, Sr. Zou Jingmeng, dedicó una calurosa bienvenida a todos los miembros del Consejo, a sus asesores y a los representantes de las Naciones Unidas y de otras organizaciones internacionales.

Dado que tanto el Dr. R.E. Hallgren (EE. UU.) como el Dr. A. D. Moura (Brasil) habían dejado de ser directores de sus respectivos Servicios Meteorológicos nacionales y representantes permanentes de sus países ante la OMM, habían quedado vacantes sus puestos en el Consejo Ejecutivo; el Consejo, en base a las propuestas de la sala, designó al Dr. E. W. Friday (EE. UU.) y al Dr. E. F. de Queiroz (Brasil) como nuevos miembros en funciones.

El Consejo rindió homenaje al Sr. M. F. Taha, antiguo Presidente de la Organización, que había muerto unos días antes (su necrología figura en la p. 355). Se recordó que había jugado un papel crucial durante los años que estuvo vinculado a la OMM, y se mencionó particularmente su gran contribución al desarrollo de la meteorología en Africa.

Varios factores hicieron que esta reunión del Consejo Ejecutivo resultase ser muy especial. En primer lugar, si exceptuamos las breves reuniones que siguen al Congreso cuatrienal, fue la más corta de todas, nueve días de trabajo. Fue la primera vez que en el orden del día no estaban las propuestas de programas y presupuestos (como consecuencia de la introducción por el Décimo Congreso, el año pasado, de un nuevo ciclo de presupuestos bianual). También fue la primera vez que se disponía de un plan detallado a largo plazo para los trabajos científicos y técnicos de la Organización, como documento básico, que permitiría, en teoría, una importante reducción en la cantidad de los documentos de la reunión.

Sin embargo, las esperanzas no fueron satisfechas por completo. Aunque hubo algo de reducción en la documentación, fue mucho menor de lo esperado. La fluidez dada al orden del día no fue suficiente para hacer fácilmente manejable esta reunión de nueve días, pues algunos problemas resultaron ser más complejos de lo previsto y siempre estuvo presente la falta de tiempo. No obstante, la reunión fue un éxito completo: realizó una gran tarea, y algunas de las decisiones que se tomaron tendrán consecuencias importantes en las actividades de la OMM en los próximos años.

Asuntos importantes

Como es habitual, el trabajo real de la reunión comenzó con el Informe del Presidente de la Organización sobre las acciones que había hecho en nombre del Consejo Ejecutivo desde la reunión anterior. El Secretario General presentó después su informe sobre los eventos y actividades que habían tenido lugar durante los doce meses anteriores. Hizo mención par-