

LAS NEBLINAS COSTERAS DE CHILE Y OMAN. SIMILITUDES Y DIFERENCIAS

PILAR CERECEDA TRONCOSO
Instituto de Geografía
Pontificia Universidad Católica de Chile

JUANSE BARROS
Geógrafo

Dr. ROBERT S. SCHEMENAUER
Atmospheric Environment Service
Environment Canadá

RESUMEN

En este trabajo se realiza un análisis comparativo del fenómeno de nieblas de Chile y del sultanato de Omán, lugares donde se llevan a cabo experimentaciones para coleccionar sus aguas y aprovecharlas en actividades domésticas, agrícolas o forestales.

El análisis está enfocado hacia las similitudes y diferencias relacionadas con las condiciones atmosféricas que las originan, las variaciones temporales y espaciales de su presencia, y su composición y variación altitudinal. Las nubes que producen las neblinas difieren en su dinámica de formación y en su estructura. Esto da por resultado una mayor colección de agua en Omán, pero sólo durante dos o tres meses del año. En Chile, el agua de la neblina puede ser colectada durante todo el año; sin embargo, las cantidades colectadas son menores. A pesar de estas diferencias, existe potencial para usos similares en ambos países.

ABSTRACT

In this study a comparative analysis has been done of the occurrence of high elevation fog along the arid north coast of Chile and in the mountains of southern Dhofar in Oman. In both locations there have been experiments to collect fog water for domestic, agricultural and arboricultural use.

The analysis is focussed on the similarities and differences in atmospheric conditions which lead to the formation of the high elevation fogs. The temporal and spatial variations in the fogs are described as well as the difference in water collection with altitude. The clouds that produce the fogs differ in the dynamics of their formation and in their structure. This results in a high fog water collection rate in Oman but for only two to three months of the year. In Chile, the fog can be collected throughout the year; however, the collection rate is much lower. Despite the differences, there exists the potential for similar uses for the water in both countries.

INTRODUCCION

Chile y el sultanato de Omán tienen como característica común las extensas zonas desérticas con escasez de agua potable y el fenómeno de neblinas de advección. Estas neblinas se generan al pasar una masa de aire cálida y húmeda sobre una superficie de aguas frías, en este caso, oceánica.

En la actualidad, en ambos países se realizan investigaciones para la captación del agua contenida en las neblinas, a base de metodologías desarrolladas en Chile desde los años 60. Desde el punto de vista geográfico, la investigación se ha centrado en la detección de los lugares con presencia de neblina, y en la evaluación de la potencialidad de esta fuente como suministro de agua potable para la población residente en el área, y para otros usos, como reforestación por ejemplo.

En Chile, el proyecto "Camanchaca-Chile", desarrollado entre los años 1987 y 1989, dio por resultado la construcción en la cima de los cerros de El Tofo, de un sistema de atrapanieblas de 2.400 m² de ma-

lla interceptora que arroja una producción promedio de 7.200 litros de agua al día, la que abastecerá próximamente al poblado de Chungungo (29° S), localidad ubicada en la IV Región, 500 km al norte de Santiago. Este proyecto fue financiado por el International Development Centre de Canadá, y participaron la Universidad de Chile, CONAF IV Región, el Atmospheric Environment Service de Canadá y la Pontificia Universidad Católica de Chile.

En Omán, ubicado en el extremo sureste de la península arábiga, durante los años 1989 y 1990, se ha experimentado con mallas captadoras que permiten suponer volúmenes de captación significativos, que podrían abastecer de agua potable a la población de la región sur de ese país, si se desarrolla tecnología que permita acumular el agua a un costo razonable y, además, ser utilizada para la reforestación de las montañas de Dhofar (17° N). Esta zona litoral se encuentra ubicada a 1.000 km de distancia de Muscat, la capital del sultanato y se caracteriza por ser el área agrícola y ganadera del país (Figura 1).

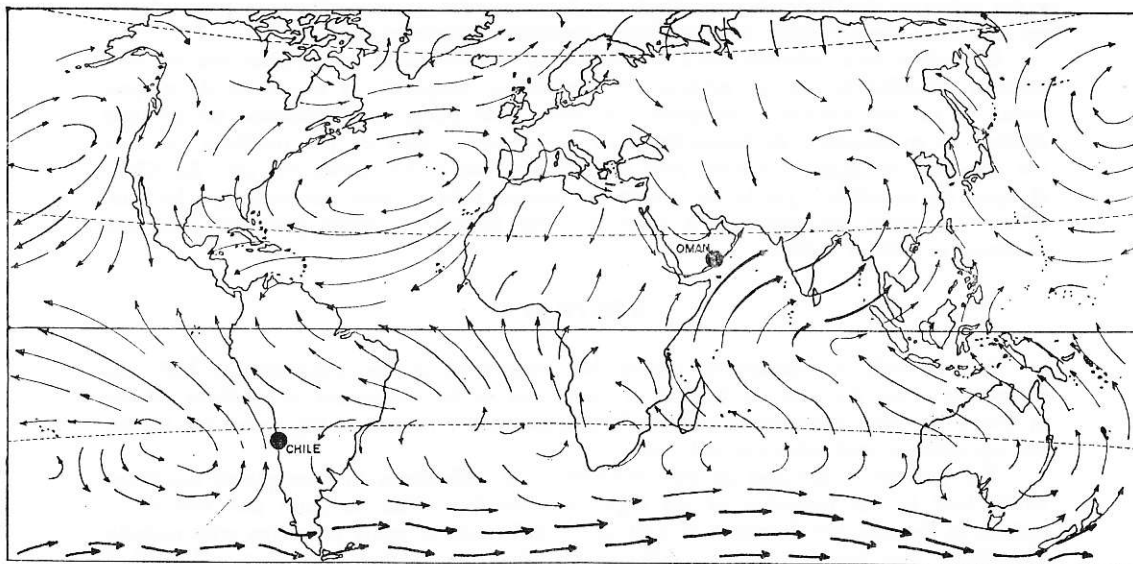


Figura 1. Mapa de ubicación de las áreas de estudio, Chile y Omán, con vientos predominantes en el mes de julio

Chile y Omán tienen rasgos geográficos semejantes en cuanto a aridez y semiaridez, las localidades estudiadas presentan algunas similitudes en cuanto a sus paisajes desérticos y las formaciones vegetacionales de tipo xerofítico. Sin embargo, los asentamientos humanos, las actividades productivas de la población, y los modos de vida difieren notablemente.

En Chile, la población rural se encuentra dispersa y también en pequeños villorrios, Chungungo es una caleta de pescadores representativa del área costera, en la que habitan alrededor de 300 personas. La actividad principal es la extracción de variados productos del mar, especialmente mariscos y pesca artesanal, en las áreas aledañas hay asentamientos dedicados a la ganadería caprina y también a la minería. El agua potable la reciben mediante un camión aljibe semanalmente; estudios recientes (Cereceda et al, 1990) demuestran que la población consume en promedio 14 litros por persona al día, pero no se debe olvidar que el estándar chileno de agua potable rural es de 60 lts diarios por habitante. El agua la paga la población, pero es subsidiada por la Municipalidad de La Higuera.

En Dhofar, la población se ubica tanto en casas aisladas, en pequeños villorrios de 10 a 100 personas y en centros administrativos de 250 a 1000 habitantes. La actividad principal es la ganadería bovina, caprina y de camélidos. Esta actividad genera una trashumancia que desplaza a las familias entre las planicies costeras, las montañas y el desierto absoluto del *Empty Quarter*. El agua potable y para los animales la extraen de pozos profundos y es entregada gratuitamente por el gobierno. No existen estudios del consumo de agua per cápita, sin embargo, el estándar nacional define un abastecimiento mínimo de 90 litros diarios por habitante.

EL FENOMENO DE LAS NIEBLAS COSTERAS

Chile y Omán presentan, en su zona costera, neblinas de advección, cuyo mecanismo de formación es muy similar. Sin embargo, los factores que las originan y determinan su comportamiento difieren notablemente en ambos países.

1. Su origen

Chile

En el tercio norte de Chile, el clima se encuentra dominado por el anticiclón del Pacífico. Este produce vientos suaves del sur y suroeste que penetran al continente, dejándose sentir en la capa límite atmosférica (Figura 2). Esta capa se forma con un techo impuesto por una inversión térmica de altura generada por la subsidencia de los alisios. Los vientos procedentes del anticiclón recorren un extenso *fetch* oceánico, cargándose de humedad; al entrar en contacto con el frío océano de la costa chilena, dominado por la corriente de Humboldt, la humedad se condensa formando nubes estratiformes, que encuentran su tope en la inversión dinámica mencionada. (Schemenauer et al, 1988).

Dada la presencia de la cordillera de la Costa, cuyo flanco oceánico se levanta abruptamente, esta nube estratiforme entra en contacto con el relieve, dando formación a neblinas de altura o *camanchaca*. Asimismo, este relieve genera un ascenso forzado de la masa de aire, produciendo un enfriamiento por expansión que incentiva la formación o mantención de esta nubosidad (efecto orográfico). Además, la presencia de surgencias de aguas profundas frías en el mar incentivan la formación de esta nubosidad (Cereceda, 1989).

Omán

La región costera meridional del sultanato de Omán —conocida como Dhofar— se ve afecta a neblinas estacionales. Durante el bimestre abril-mayo el desierto del Sind y el interior de Arabia se calientan progresivamente, resultando la formación de un centro de bajas presiones sobre Rub Al-Khali (*Empty Quarter*), el que se mantiene durante el verano del hemisferio Norte. Este centro de baja contribuye a definir la dinámica de la circulación SW sobre el océano Indico y el mar Árabe. Vientos monzónicos del Suroeste, que se desprenden del brazo principal de la circulación monzónica que afecta a la India, soplan entre mayo y septiembre atraídos por este centro de bajas presiones. Estos vientos alcanzan velocidades máximas de 30 a 40 nudos sobre el océano Indico entre julio y agosto, invirtiendo la

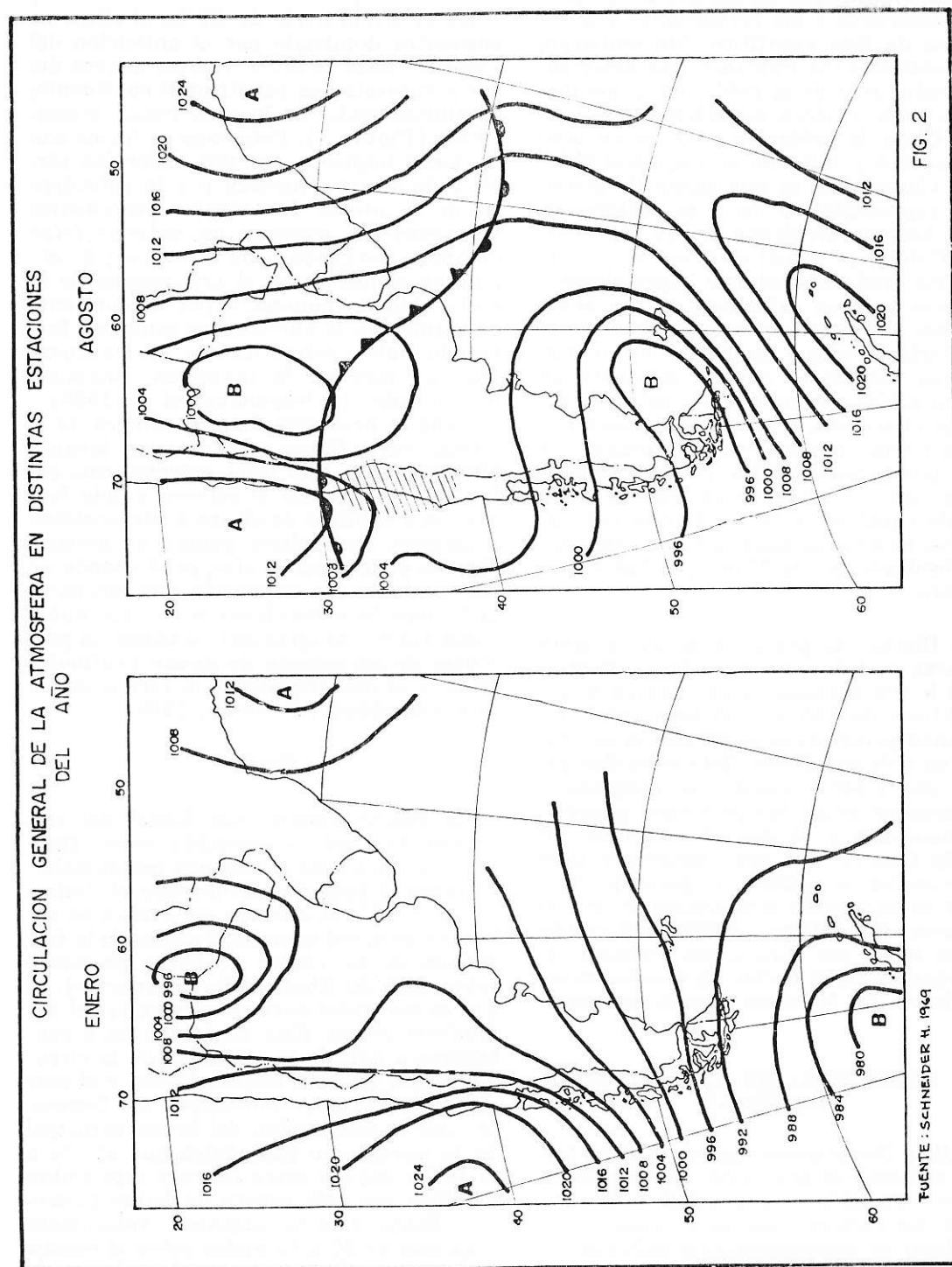
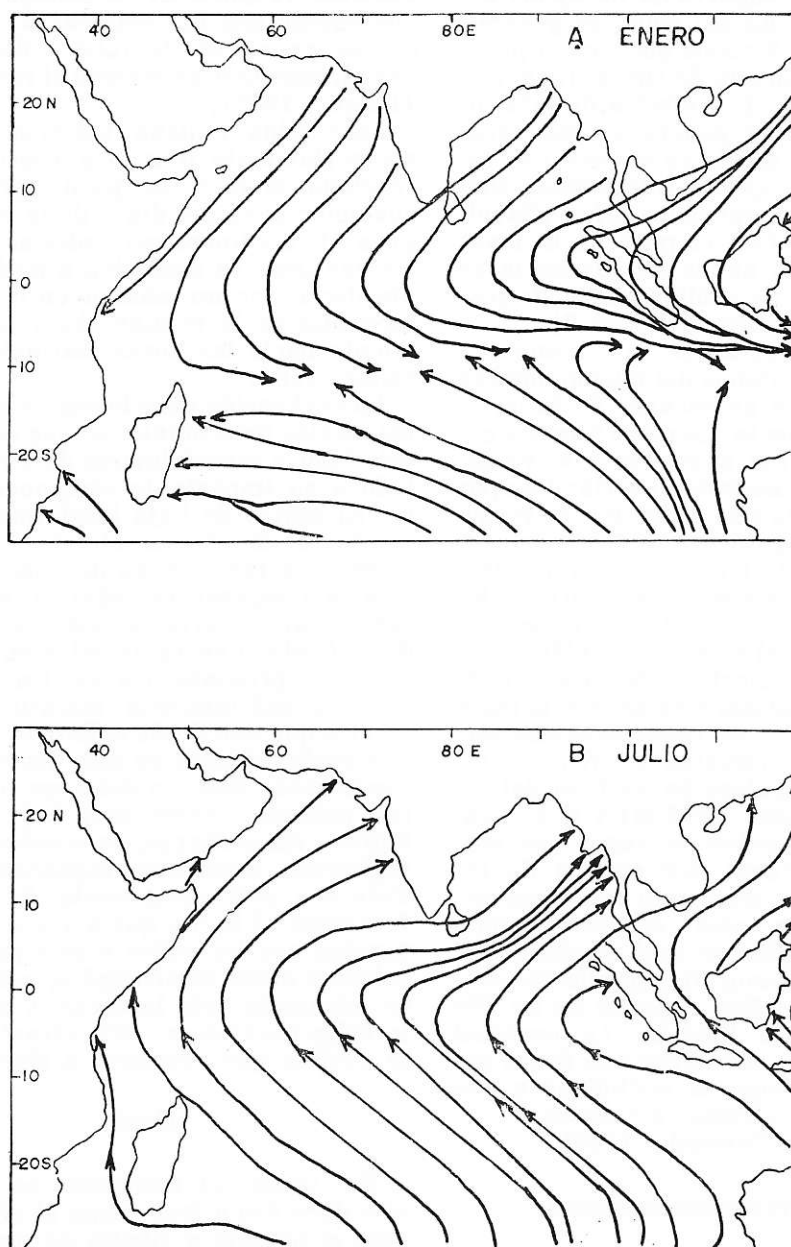


Figura 2.



Fuente: HASTENRATH, S. 1989

Figura 3. Vientos predominantes en distintas estaciones del año en Omán,

débil circulación superficial de aguas del monzón noreste. Es así como se generan corrientes de 2 a 3 nudos que corren paralelas a la costa sureste de Omán (Stanley-Price et al, 1988). Por efectos de esta corriente estacional se genera, en las cercanías de la costa donde se encuentren cabeceras de playa que la intercepten, surgencias de aguas profundas frías (Savidge et al, 1988). Con el paso de la masa de aire sobre las aguas de surgencia se producen bancos de neblina que se desplazan hacia el continente (Figura 3).

La costa de Dhofar se ve circunscrita por la red de montañas del mismo nombre que, partiendo de un escarpe de falla, se elevan abruptamente. La masa húmeda entra en contacto con el relieve y se ve entonces obligada a ascender, enfriándose por expansión, lo que incentiva la forma 18° C), mientras dure este fenómeno esta nube está dado por una inversión térmica de altura, la que se encuentra habitualmente sobre los 1.500 m, y se genera por el roce entre el viento geostrófico, con una componente Norte a Noroeste, y de características cálidas y secas, con la masa de aire monzónica de características térmicas opuestas (Badros y Whitcombe, 1989). Dada la extensión vertical del estrato nuboso (sobre 1.000 m) y la alta capacidad de contención de vapor que presenta (temperaturas por encima de los 18° C), mientras dure este fenómeno estacional conocido como "*khareef*" (otoño en árabe) la región se verá afectada por lloviznas y en algunos días por lluvias suaves. En las montañas, a partir de los 200 m además de la llovizna (y eventual lluvia) es posible encontrar una densa neblina, que disminuye la visibilidad a menos de 20 m en algunas ocasiones. (Schemenauer y Cereceda, 1989).

2. Su variación temporal

Chile

En Chile se producen las neblinas de advección y orográficas durante todo el año, con variaciones estacionales que presentan intensificación del fenómeno en primavera y disminución en otoño. Es probable que la explicación se encuentre en la dinámica oceánica y en la circulación general de la atmósfera, determinada por el desplazamiento zonal del anticiclón del

Pacífico (Figura 2), a semejanza de lo que sucede con las neblinas de Perú, las que se presentan de julio a diciembre y prácticamente desaparecen el resto del año (Pulgar, 1987).

La neblina chilena también tiene un comportamiento diurno y nocturno diferenciado, si bien se puede presentar a cualquier hora del día o de la noche (Figura 4). En líneas generales se puede decir que tiene su aparición a mediodía y al atardecer, con un máximo en la captación alrededor de la medianoche y un decrecimiento hacia las horas matinales (Fuenzalida, 1989).

La explicación debe buscarse en los vientos locales predominantes que cambian de velocidad y especialmente de dirección debido a su importante componente térmico. El centro de baja local, que atrae los vientos desde el mar al interior del continente, se forma poco después de producida la temperatura máxima, en los bolsones sedimentarios allende la cordillera de la Costa o en su interior en las zonas donde se presenta maciza. En cambio, el máximo enfriamiento matutino produce vientos que van desde el Este hacia el mar. Por venir del interior seco, los vientos con componente Este no debieran presentarse con neblina o tener muy bajo contenido líquido; sin embargo, en ocasiones, se han registrado excelentes captaciones en El Tofo con esta componente. Se debe este fenómeno al hecho que a veces la neblina penetra por los valles y se reparte en los bolsones antes mencionados, permaneciendo estancada toda la noche, y al iniciarse la brisa tierra-mar, ésta arrastra consigo la neblina que comienza a elevarse.

Omán

En Omán, el fenómeno es estacional, sólo dura dos a tres meses al año, iniciándose el período a finales de junio y finalizando aproximadamente a mediados de septiembre.

La explicación está en la circulación monzónica, donde las direcciones del viento cambian desde Sur y Suroeste en verano, a Norte y Este en invierno (Figura 3). Durante estos tres meses el estrato nuboso se presenta de forma casi continua. Son escasas las ocasiones en que la nube se "quiebra" y normalmente están asociadas a formaciones mayores de nubosidad

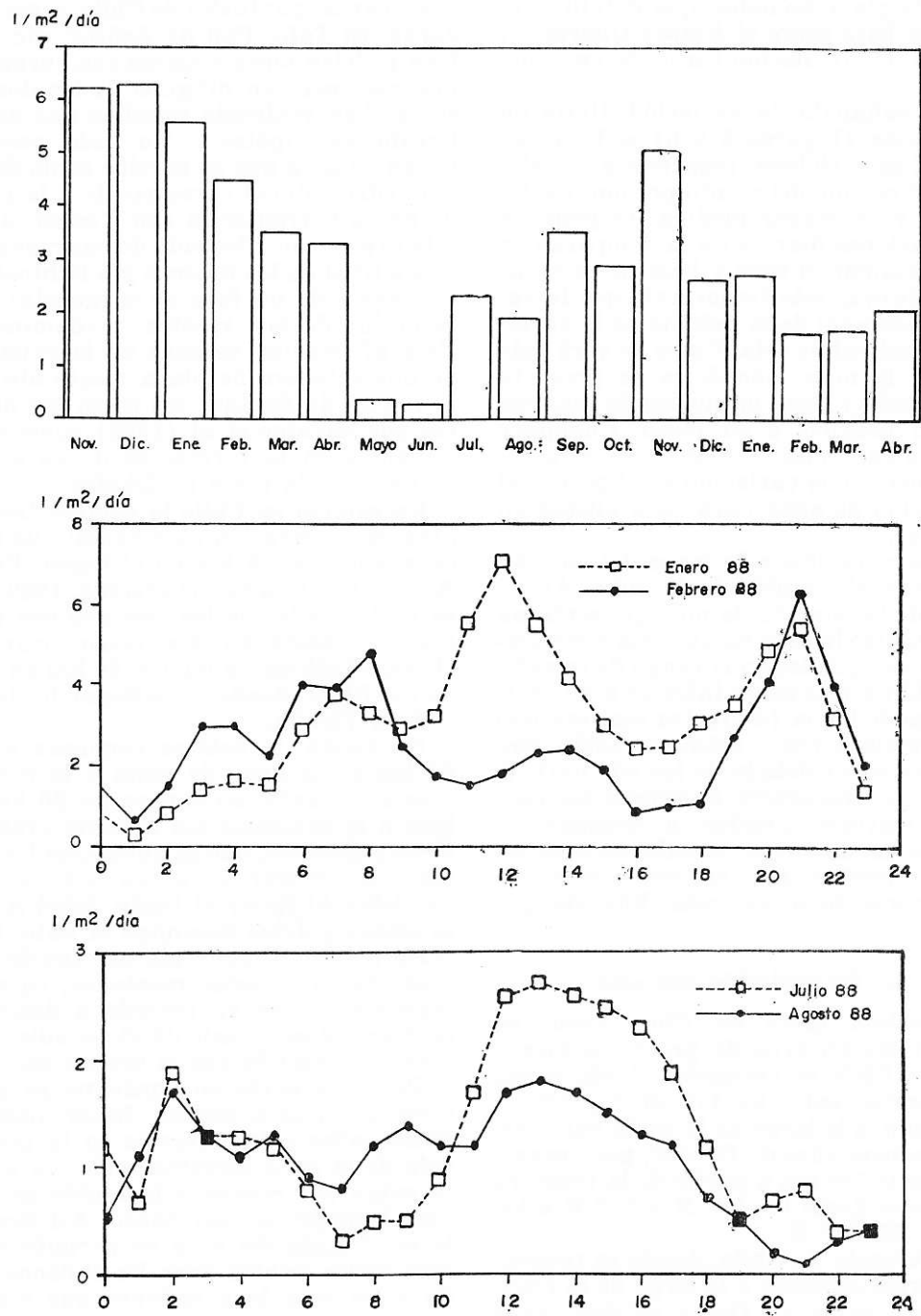


Figura 4. Variación temporal de la niebla en Chile.
(Fuenzalida et al., 1989)

sobre Etiopía y Somalia, que debilitan el centro de baja sobre el *Empty Quarter* y, por ende, la circulación Suroeste en general,

En el sultanato, la variación diaria en la captación (Figuras 5 y 6) si bien, como en el caso chileno, responde a la velocidad y dirección del viento predominante, también y en mayor medida, responde a las variaciones diarias de la temperatura que determinan el tope y base de la nube. De esta forma, más importante que la variación temporal de la neblina es la variación altitudinal de ésta. Como se verá más adelante, la nube monzónica se presenta estratificada y tiene un núcleo de máxima densidad próximo a su techo. Cualquier variación en el piso o techo, producirá necesariamente una variación en el potencial de colección de agua para cada altitud en particular.

Lo que sí cambia a lo largo del monzón es el contenido líquido de la nube. Al comienzo de la estación, la nube presenta un alto contenido líquido ya que está compuesta junto con gúttulas en el rango de tamaño de la neblina (diámetro inferior a 40 μm), por gotas de lluvia (diámetro mayor a 500 μm) y llovizna (cuyo diámetro está sobre los 40 μm y por debajo de los 500 μm). A medida que transcurre el tiempo las partículas mayores tienden a desaparecer mientras las de menor tamaño se mantienen o aumentan. Así, entonces, se puede afirmar que julio es más húmedo que agosto.

3. Su variación espacial

La neblina, tanto en Chile como en Omán, tiene un área de presencia localizada. En Chile se encuentra desde Arica a Valparaíso, entre los 17° 30' S y 32° S; y en Omán, a lo largo de la costa suroeste, sobre las montañas de Dhofar, por aproximadamente 140 km a partir de la frontera con Yemen desde los 17° N y 53° E a los 18° N y 55° 20' E.

A diferencia de Chile, donde se presenta de forma continua a lo largo de la franja costera norte, en Omán existen áreas donde no se presenta; la explicación de la variación se busca en la presencia de surgencias de aguas profundas frías, fenómeno que intensificaría y determinaría su manifestación, y en la orientación y altitud del relieve que disiparía la formación de neblina. La mayor presencia de nebli-

nas en áreas puntuales de Chile, como Fray Jorge, El Tofo, Pan de Azúcar, etc. también podrían tener relación con surgencias marinas, pero en ninguno de los dos países se han realizado estudios que acrediten dichas hipótesis. En todo caso, en Omán, el área que se percibe como de mayor potencialidad corresponde a la región de Sarfait, fronteriza con Yemen, debido a la exposición adecuada de sus montañas, a la altitud de las mismas y a la hipotética existencia de un foco de surgencias en el recorrido de los vientos predominantes. Esta afirmación se basa en la existencia de una cabecera de playa viento abajo de la región de Sarfait, así como las descritas por Savidge et al (1988) como determinantes en la formación de surgencias marinas en la costa de Dhofar.

En cambio en Chile la neblina tiene un área de penetración continental que ha sido medida en 25 km en el tramo Pan de Azúcar-Las Bombas (Cereceda, 1989); pero en los valles de los ríos andinos puede penetrar hasta 40 km como ocurre en Huasco-Vallenar, e incluso 60 km en el valle del Elqui, donde suele llegar hasta más allá de Vicuña.

En Omán, la neblina comienza a unos 60 km de la línea de costa y la penetración continental no supera los 30 km, debido a la presencia del desierto arábigo o *Empty Quarter*, que se ubica tras las montañas de Dhofar conocidas localmente como Jebel Al Qamr al Oeste, Jebel A Qara al centro y Jebel Samnhan al Este. El estrato nuboso se proyecta no más de 2 km a sotavento de estas montañas, ya que al traspasarlas, se ve forzado a descender, contrayéndose y calentándose adiabáticamente, lo cual fuerza la disipación.

Por otra parte en Omán no se puede, como en el caso chileno, hacer distinción entre valles e interfluvios en la penetración de la nube estratocúmulo, ya que ésta cubre por completo la región como un todo homogéneo muy denso. Así también, la morfología del área no permite distinguir valles de ríos como los chilenos, siendo éstos más bien cañones que disectan las formaciones kársticas que componen las montañas de Dhofar.

4. Su composición y variación altitudinal

Como ya se ha esbozado, la composición del *khareef* es distinta de las camanchacas chilenas.

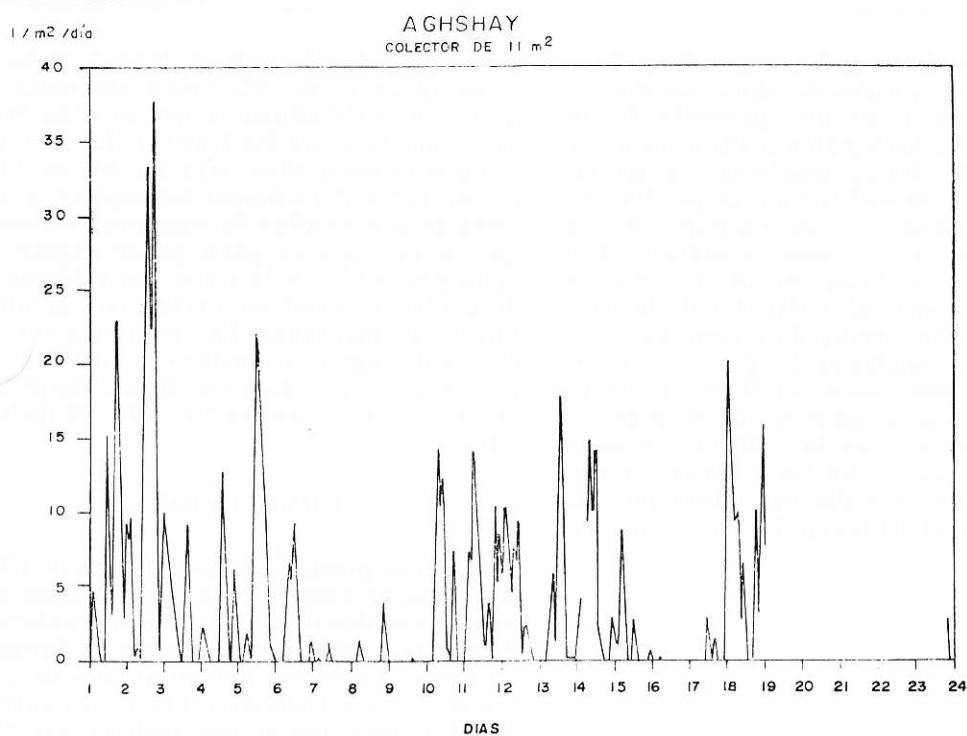


Figura 5. Captación diaria de agua atmosférica en Aghshay, Omán.

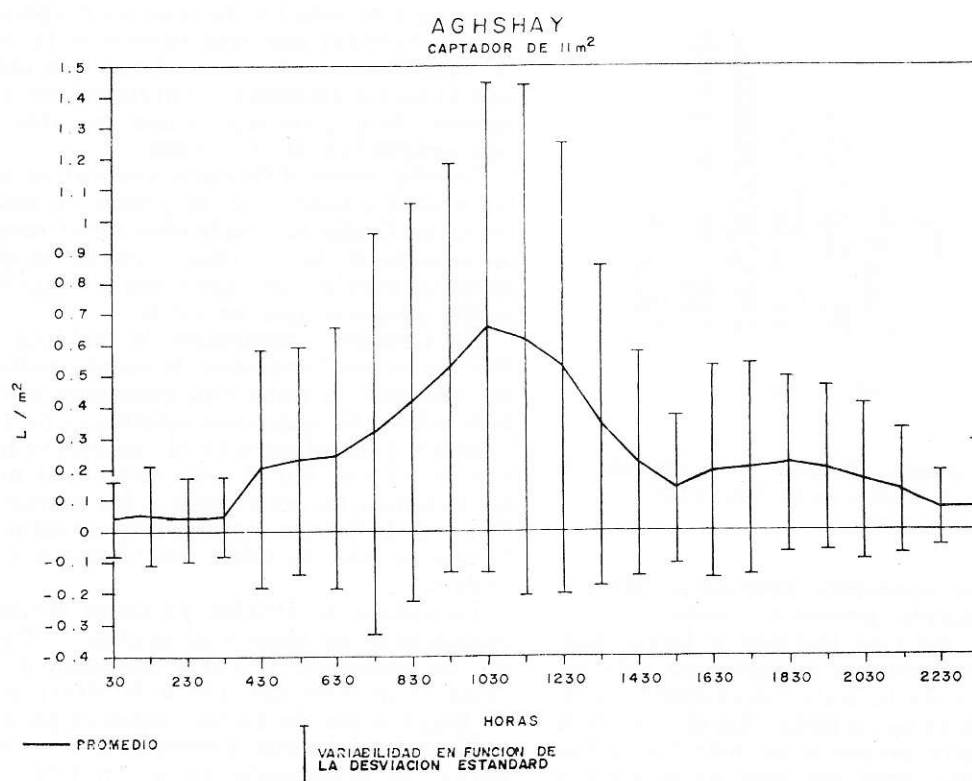


Figura 6. Captación horaria de agua atmosférica en Aghshay, Omán.

La *camanchaca* está compuesta principalmente por gúttulas de agua con diámetros menores a 40 μm , presentando un máximo entre los 8 y 16 μm (Schemenauer y Joe, 1989). Excepcionalmente y asociado a frentes de mal tiempo es posible encontrar llovizna o garúa. La nube chilena se encuentra frecuentemente entre los 500 y 1000 m, variando en altitud en respuesta a las variaciones altitudinales de la base de la inversión térmica de altura. Las captaciones registradas en El Tofo y en otras localidades medidas en el Norte de Chile, sustentan la idea que el núcleo de máxima captación estaría en los 700 m con volúmenes que promedian los 6 litros por metro cuadrado de malla captadora por día ($1 \text{ lt}/\text{m}^2/\text{día}$) (Figura 7) Schemenauer, 1988).

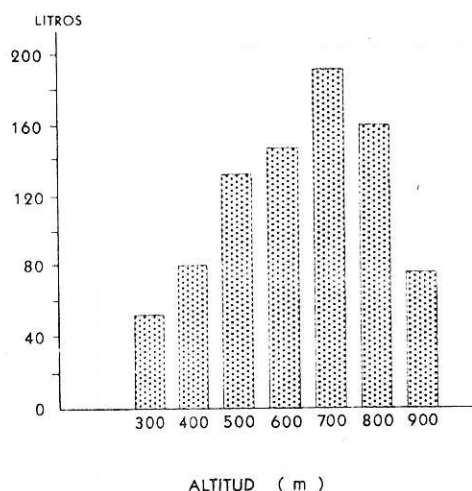


Figura 7. Variación altitudinal de la captación de agua de neblina en El Tofo, Chile.

La nube monzónica además de las gúttulas de niebla, presenta constantemente partículas del tipo llovizna y lluvia suave. La precipitación adquiere su máximo en la base de la nube, decreciendo gradualmente hacia su techo. En el caso de la neblina, ésta presenta su máximo contenido líquido cerca del tope de la nube y decrece levemente hacia su base. La am-

plitud de la banda nubosa (piso y techo), como ya se mencionó, están asociadas a la inversión de altura, la que se sitúa frecuentemente sobre los 1.500 m. La base de la nube se encuentra bajo los 400 m. Estas altitudes determinan su espesor, y en vista de la necesidad de encontrar relieves que la intercepten para poder captar el agua contenida en la nube, los volúmenes de captación también varían con la altitud de las montañas. Las máximas captaciones de agua atmosférica (neblina + precipitación) se han registrado entre los 600 y 950 m y varían entre 20 y $80 \text{ lts}/\text{m}^2/\text{día}$.

CONCLUSION

Como se puede ver, las neblinas de Chile y Dhofar responden a circulaciones atmosféricas distintas, pero sus mecanismos físicos son semejantes. Ambas se forman en ámbitos costeros debido al paso de una masa cálida y húmeda sobre aguas superficiales frías, por lo que podrían ser clasificadas como neblinas de advección oceánicas. Por otro lado, en los dos casos la masa de aire está limitada en su desplazamiento vertical por una inversión térmica de altura y relieves costeros que obligan al aire a ascender y enfriarse por expansión, lo que incorpora una variable de tipo orográfico al fenómeno.

Resalta, como diferencia sustantiva entre ambas situaciones, la presencia constante en Omán de partículas en el rango de tamaño de la llovizna y lluvia, lo que permite niveles de captación sustancialmente mayores que en Chile.

En términos espaciales la neblina de Dhofar es un fenómeno de escala reducida, teniendo la nube una extensión calculada a base de imágenes sateliticas de $140 \times 80 \text{ km}$, y se adentra en el continente menos de 30 km. En el caso chileno, si bien las neblinas se restringen a los primeros 25 km de la franja costera, latitudinalmente abarca más de 1.800 km (Arica a Valparaíso).

La región de Dhofar presenta mejores condiciones en cuanto al contenido líquido, sin embargo, la corta duración de la estación de neblinas (60 a 80 días) puede llegar a ser un factor negativo para la utilización del agua acumulada. Sin embargo, la producción anual en Chile de acuerdo a los promedios actuales es de

1.500 lts.m²/año, y en Omán, considerando datos registrados en los lugares de mayor potencial, la producción anual ascendería a montos del orden de 3.000 a 5.000 lts/m²/año (Schemenauer y Cereceda, 1990).

En Chile, para el caso de El Tofo, los estudios han demostrado que el agua de neblina es una alternativa rentable para el suministro de agua potable para la población del lugar. También los experimentos en reforestación en el área de El Tofo han sido del mayor éxito. En el caso de Omán, debido a la necesidad de acumular el agua para un largo período del año, si se la quiere utilizar más allá de la estación del monzón, deberá contar con sistemas de acumulación. También puede ser interesante su adopción para la irriga-

ción de parcelas de reintroducción de cultivos locales estacionales de alta rentabilidad como es el rubro frutícola, de grandes expectativas si a ello se suma tecnología moderna, como el riego por goteo y el empleo de polietileno. La reforestación es interesante desde el punto de vista ecológico y también como medio de recarga de los acuíferos.

AGRADECIMIENTO

Los autores desean agradecer a H. E. Mohammed Bin Faraj Al Ghassani, Secretario General del Comité de Planificación de la Región Sur de Omán, y al Dr. Robert Whitcombe, por las facilidades brindadas para estudiar el fenómeno de nieblas.

BIBLIOGRAFIA

- BARROS, JUANSE y WHITCOMBE, ROBERT (1969). Fog and Rainwater Collection in the Southern Region: 1989 Research Programme. Draft Report to the Technical Secretariat of the Planning Committee for Development and Environment in the Southern Region, Sultanate of Oman, pp: 160.
- CERECEDA T. PILAR (1989). Las Nieblas Costeras como Recurso Hidrológico. En Rev. Geográfica de Chile, Terra Australis, 31:29-33.
- CERECEDA T. PILAR (1989). La Distribución de la Niebla en Chile. En Rev. de Geografía Norte Grande, 16, 43-49.
- CERECEDA T. PILAR (1989). Camanchaca —Chile Project 1987— 1989. Final Technical Report. IDRC Project N° 3-p-86-1008-02.
- CERECEDA T. PILAR, M. SUIT y R. SCHEMENAUER (1990). Water Consumption in Chilean Coastal Villages. Submitted to Water International.
- FUENZALIDA, HUMBERTO; J. RUTLLANDT; P. ACEITUNO y J. VERGARA (1988). On the Coastal Stratocumuli Variability in Chile at 30° S. Project Camanchaca-Chile, Meteorological Group Technical Report 01-88, April 1988, Santiago, Chile.
- FUENZALIDA, H.; J. RUTLLAND; P. ACEITUNO y J. VERGARA (1989). Camanchaca-Chile Project IDRC N° 3-p-86-1008-02. Final P. Technical Report.
- HASTENRATH, STEFAN (1989). The Monsoonal Regimes of Upper-Hydrospheric Structure in the Tropical India Ocean. En Atmosphere-Ocean 27 (3) 478-507.
- PULGAR V. JAVIER (1987). Geografía del Perú. Editorial Peisa. Novena Edición. Lima, Perú.
- SCHNEIDER, HANS (1969). El Clima del Norte Chico. Universidad de Chile, Depto. de Geografía.

- SAVIDGE G., A. J. ELLIOT y L. M. L. HUBBARD (1988). Report of the Oceanographic Survey of the Sultanate of Oman Coast. August, 1987. Queen's University of Belfast, Marine Biological Station. Report to the Council for the Conservation of the Environment and Water Resources, Muscat, Sultanate of Oman.
- SCHEMENAUER, ROBERT; FUENZALIDA, H. y P. CERECEDA (1988). A Neglected Water Resource: The Camanchaca of South America. Bull. Am. Met. Soc., Vol. 69, Nº 2.
- SCHEMENAUER, R. y P. JOE (1988). The Collection Efficiency of a Massive Fog Collector. Atmos. Res. 24:53-69.
- SCHEMENAUER, R. y CERECEDA, P. (1989). An Investigation of the Feasibility of Monsoon Fog and Drizzle Water Collection in the Dhofar region of Southern Oman. A joint Report to the Planning Committee for Development and Environment in the Southern Region, Sultanate of Oman.
- SCHEMENAUER, R. y CERECEDA, P. (1990). Comments on the 1990 Dhofar Khareef Project. A Joint Report to the P. C. D. E. S. R. of Oman and COWiconsult.
- STANLEY-PRICE, M. R. AL HARTHY, A. H. y R. P. WHITCOMBE (1988). Fog Moisture and its Ecological Effects in Oman. In Arid Lands: Today and Tomorrow. Proc. of an International Research and development Conf., Tucson, Arizona, USA. October 1985:69-88.