

Variación temporal de la niebla en El Tofo-Chungungo, Región de Coquimbo, Chile* (1987-1995)

PILAR CERECEDA¹, ROBERT S. SCHEMENAUER², FLAVIA VELASQUEZ³

¹Instituto de Geografía Pontificia Universidad Católica de Chile

²Atmospheric Environment Service Environment, Canadá

³Proyectos Camanchaca-Chile International Development Research Centre (IDRC/CIID) y Atmospheric Environment Service, ambos de Canadá

RESUMEN

En este artículo se analiza la información sobre ocurrencia de niebla recolectada entre los años 1987 y 1995 en el cordón montañoso de El Tofo en la IV Región. Se discute la variación temporal de la niebla en relación a su comportamiento anual, estacional y mensual. Se estableció un promedio anual de 3 l/m²/día con una fluctuación notoria entre las estaciones. Las mayores captaciones de agua se registran en primavera y las menores, en invierno. Se detectó que hay periodos que presentan un comportamiento estable a lo largo de los años, como los recién mencionados y otros, muy inestables como los de verano.

SUMMARY

The information on the occurrence of fog in the years 1987-1995 in El Tofo, IV Region, is analyzed. The temporal variation of fogwater collection is discussed in relation to the yearly and monthly behaviour. An average of 3 L/m²/day was measured and the months of higher collection are spring, and the lowest, correspond to winter. It was determined that some periods have a regular behaviour along the years, like the months of spring and winter, and others, like January and February are irregular.

INTRODUCCION

Una de las interrogantes más frecuentes al momento de elaborar un proyecto de colección de agua de niebla es la que se refiere al tiempo mínimo de exploración y medición del potencial de captación de agua de la masa nubosa.

En estricto rigor, la respuesta debiera postular un mínimo de treinta años, tiempo establecido en forma convencional para caracterizar un clima determinado. El promedio de agua caída en los últimos tres decenios, en un lugar, define el "año normal" en precipitaciones; de igual forma se define la temperatura media anual en una estación meteorológica determinada. Cuando se cuantifica el número de días con niebla al año en una estación con mediciones visuales tres veces al día, también se recurre a un período suficientemente extenso que permita caracterizar el área desde ese punto de vista. Sin embargo, este tipo de mediciones visuales no son adecuadas para conocer el potencial de colección de agua de niebla, ya que sólo son indicativas de la frecuencia de ocurrencia del fenómeno y no entregan anteceden-

tes sobre su contenido líquido (Cereceda y Schemenauer, 1991).

Los proyectos de colección de agua de niebla son a corto plazo y generalmente de aplicación inmediata, de modo que no podría esperarse tan largo tiempo para tener la información requerida; por ello, normalmente se aconseja un monitoreo de al menos un año que permita conocer, en cierta medida, la estacionalidad y un orden de magnitud de la colección potencial.

ANTECEDENTES

Si bien las investigaciones científicas sobre el agua contenida en la niebla se remontan a principios de siglo (Marloth, en Sudáfrica en 1903), y hay un buen número de experiencias realizadas en las décadas de 1950 y 1960 en islas y costas de América y África (Schemenauer y Cereceda, 1991), los resultados no pueden ser comparados, puesto que en la mayoría de los casos no permiten derivar información sobre el potencial de colección de agua de las nieblas estudiadas.

* Proyecto Camanchaca Chile. IDRC.

Quizás el trabajo más sobresaliente es el de J. Olivier (1992), quien analiza el comportamiento espacial y temporal de la niebla en el desierto de Namibia, con una estadística de treinta años en algunos lugares, con la entrega de valiosos elementos y factores sobre el comportamiento a lo largo de los años 1954-1985; sin embargo, los datos están referidos a observaciones de visibilidad a mil metros, y por lo tanto no revelan el potencial de colección de agua, sino que es una excelente información sobre la ocurrencia del fenómeno de nieblas.

El mayor problema es la gran diversidad de instrumentos utilizados, los que por una parte no siempre satisfacen el propósito de cuantificar fehacientemente el contenido líquido posible de extraer de la niebla, y por otra no resisten comparación entre áreas geográficas (Schemenauer y Cereceda, 1994). Un segundo problema se relaciona con el hecho que la mayoría de las investigaciones han sido planteadas como experimentos de colección de agua más que de conocimiento del comportamiento temporal de la niebla, de manera que generalmente se encuentran antecedentes que sólo indican la colección de agua en un par de años, o en estudios prolongados se encuentran numerosos períodos sin información, o cambios de forma y/o tamaño de los instrumentos utilizados. Zuleta y Tapia (1980) hicieron una comparación según eficiencia de varios modelos de colectores utilizados en Antofagasta-Chile, pero debido a que la mayoría de los estudios son cortos y no continuados en el tiempo, no logran una estadística que entregue el comportamiento temporal de los 20 años de proyectos realizados en la zona.

Problemas similares se encontraron en el área de El Tofo en la Región de Coquimbo, donde los estudios científicos se iniciaron en 1980; varios sectores fueron estudiados y tres tipos de instrumentos se utilizaron a lo largo de los años; sólo a partir de 1987 hay continuidad en el área de medición y desde 1991 los monitoreos se hicieron con un neblinómetro estandarizado (SFC). Si bien esta información también tiene vacíos, se ha considerado interesante publicar los resultados obtenidos entre ese año y 1995, ya que probablemente constituye la estadística más prolongada de colección de agua de niebla en un lugar determinado.

En este artículo se entrega la variación temporal del potencial de colección de agua de niebla en El Tofo entre noviembre de 1987 y agosto de 1995.

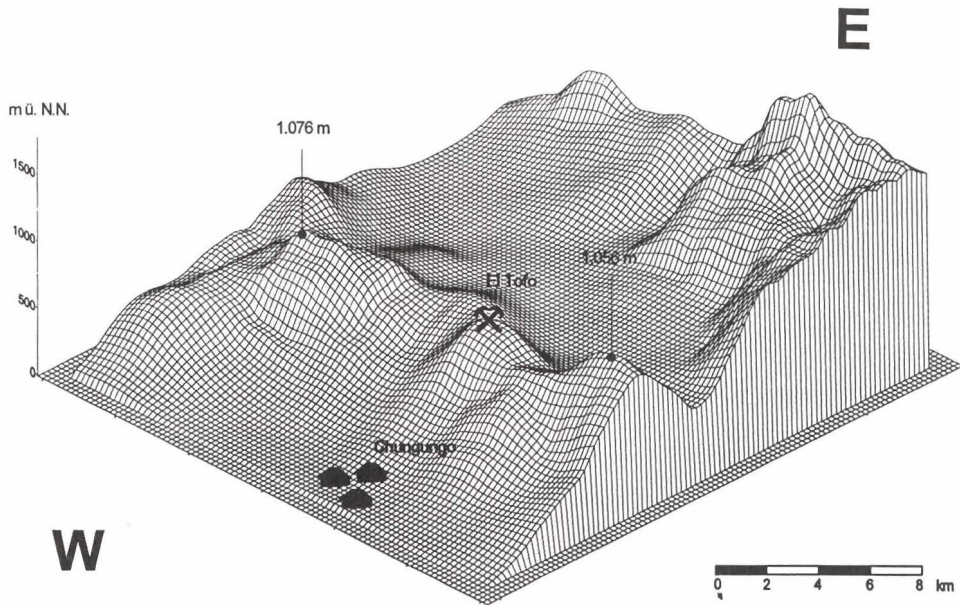
MATERIALES Y METODO

En 1987 se inició el proyecto Camanchaca-Chile en El Tofo, cuyo objetivo final fue el de abastecer de agua potable a la caleta de pescador

de Chungungo, ubicada a 60 km al norte de La Serena en la IV Región. Esta investigación, financiada por el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo de Canadá, tuvo en sus primeros años un fuerte componente científico, donde el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile estudió la nube estratocúmulo en forma exhaustiva con el fin de conocer su origen, dinámica y el contenido líquido de ella; el Instituto de Geografía de la Pontificia Universidad Católica de Chile investigó sobre el comportamiento espacial y temporal de la niebla, y la Corporación Nacional Forestal IV Región estuvo a cargo del diseño y construcción de atrapanieblas y el abastecimiento de agua para los 330 habitantes de Chungungo. Desde mayo de 1992 el poblado se abastece del agua de 75 atrapanieblas ubicados sobre los 700 m.s.n.m. (Schemenauer y Cereceda, 1994).

El área de estudio (29° 27' S-71° 18' W) se encuentra en un cordón serrano perteneciente a la cordillera de la Costa (figura 1); la cima de 810 m de El Tofo se encuentra al centro de un portezuelo mayor formado por las cimas Carmelita y Sarco, de aproximadamente 1.000 m de altitud (Schemenauer *et al.*, 1987). En la línea de cresta de esta serranía se ubicaron neblinómetros que permitieron definir las áreas de emplazamiento de los atrapanieblas que actualmente abastecen al poblado. Los antecedentes que se entregan en esta oportunidad están referidos a las mediciones que se realizaron desde 1987 hasta 1995 y permiten conocer el comportamiento anual, mensual y estacional de la niebla durante el período.

La información de noviembre de 1987 a febrero de 1991 fue proporcionada por el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile, y se registró automáticamente en una estación Campbell ubicada en la cima de El Tofo. Esta información fue obtenida en forma sucesiva de neblinómetros, atrapanieblas aislados y de la colección de agua de 35 atrapanieblas conectados a un medidor de flujo diseñado y construido en el Atmospheric Environment Service de Canadá. Esta última información fue cotejada con registros de neblinómetros ubicados en las proximidades de los atrapanieblas. La investigación de septiembre de 1991 a agosto de 1995 se realizó en base al neblinómetro estándar tipo pantalla de 1 m² de malla Raschel 35% de cobertura, ubicado a 2 m del suelo. Las especificaciones técnicas se pueden encontrar en Schemenauer y Cereceda, 1991. Se ubicaron 4 neblinómetros en la siguiente disposición: uno en la cima a 780 m.s.n.m (Cima), otro hacia el norte, en un pequeño portezuelo de 700 m de altitud ubicado en un rellano a 600 m de distancia de la cima (Rellano Portezuelo), y dos neblinómetros ubicados hacia el sur,



Entwurf: K. H. Otto
Kartographie: R. Plagge

Figura 1: Modelo digital en relieve (alrededores de Chungungo, El Tofo/Nordchi).
Datos: Carta terrestre 1: 250.000, Vallenar 2.800-7.030, IGM Santiago.

uno a 740 m próximo a la cima (Estanque), y otro a 700 m, distante 800 m de la cima (Parcela Forestal). El análisis mensual y anual se hizo en base al promedio de los resultados arrojados por los cuatro instrumentos, ya que las captaciones difieren según la microtopografía del lugar.

Las mayores limitantes en este trabajo están dadas por los vacíos de información producidos en los años 1988 (tres meses), 1991 (seis meses), 1992 (dos meses); y por el cambio de instrumental de medición.

RESULTADOS Y DISCUSION

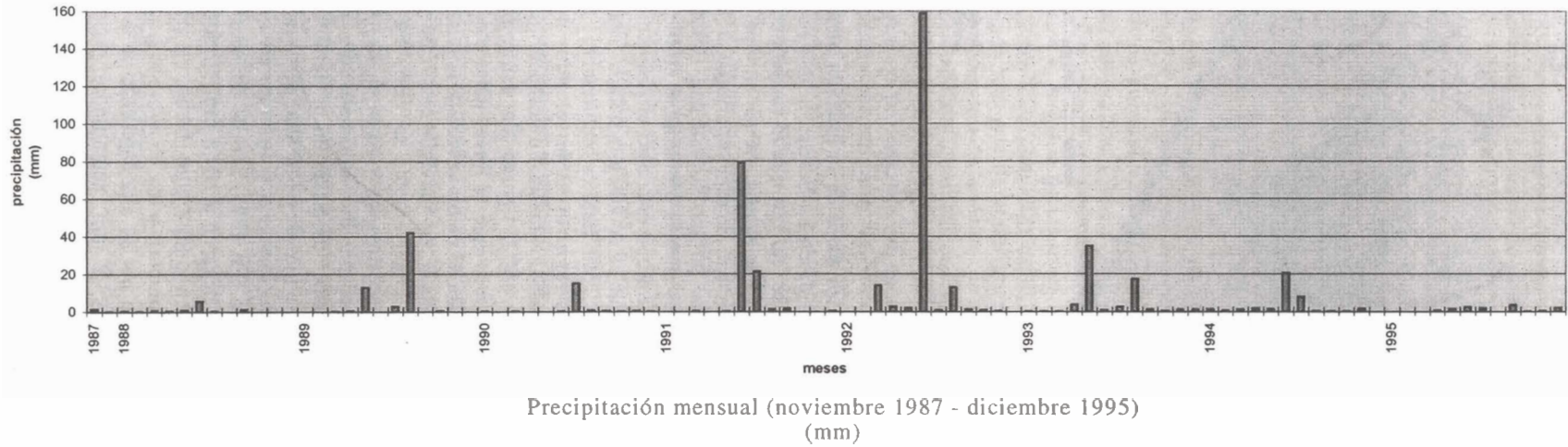
a) Relación lluvia-niebla

Se buscó una posible relación entre años lluviosos y años de abundancia de niebla, encontrándose una relación directa entre ambos períodos. Este análisis debe hacerse cuidadosamente, ya que las altas captaciones pueden deberse a las precipitaciones; por ello, los datos de precipitación fueron analizados y cotejados con los registros de niebla, de manera que ningún mes lluvioso forma parte del análisis que se entrega a continuación.

Las lluvias en la zona son de tipo frontal y se presentan con vientos del noroeste, de velocidades moderadas a fuertes y, por lo tanto, los neblímetros son eficientes para coleccionar esas lluvias.

Según los datos de la estación meteorológica de La Florida en La Serena, la mayoría de los años en que se realizaron estas mediciones fueron considerados de sequía, ya que sólo en 1992 las precipitaciones fueron superiores a los 190 mm, 1991 fue un año normal con 104 mm; y en los restantes años la pluviosidad no fue mayor de 65 mm, cifra que está bajo el promedio anual de la zona, que es de 100 mm para La Serena y 70 mm para El Tofo. Esto es importante porque significa que los registros están referidos principalmente a nieblas. Los meses lluviosos de junio y julio en 1991 y 1992, figuran sin datos, por lo que se puede decir que la lluvia tiene escasa influencia en la data de niebla colectada (figura 2).

Al hacer un paralelo entre niebla y precipitación, efectivamente se visualiza una relación entre año lluvioso y máxima captación. El año 1987 fue un año anormalmente húmedo, con 196,4 mm; los meses de noviembre y diciembre registran más de 6 l/m²/día, pero sin lluvia ya que sólo precipitó 1,5 y 0,2 mm en los meses respectivos. En 1991, año de abundante niebla, las lluvias llegaron a 104,8 mm, acumulándose 79,4 y 21,4 en junio y julio (fechas en que no se registró la niebla); y en el año 1992, que sobresale también por su alta captación de niebla, precipitaron 193,9 mm, acumulados prácticamente en el mes de junio con 158,7 mm (fecha en que tampoco se registró la colección de agua de niebla).



ANOS	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
1987	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.5	0.2	
1988	0.4	0.1	0.6	0.4	0.8	5.7	0.4	0	1.1	0	0	0	9.5
1989	0	0	0.2	0.5	12.9	-	2.8	42.1	0	0.4	0	0	58.9
1990	0.1	0	0.2	0	-	0.2	15.1	0.6	0.5	0.2	0.5	0.1	17.5
1991	0	0	0.5	0	0.2	79.4	21.4	1.31	1.8	0	0	0.4	104.8
1992	0	0	14	2.8	2.1	158.7	0.8	13.1	1.2	0.8	0.4	0	193.9
1993	0.1	0.2	0.2	3.7	34.9	0.9	2.6	17.4	1.2	0.4	1.2	1.2	64
1994	1.3	0.6	1.2	1.8	1.4	20.8	8	0.5	0.3	0.3	1.6	0	37.8
1995	-	0	0	0.6	1.4	2.5	1.8	0	3.5	0.2	0.5	2	12.5

Figura 2: Precipitación mensual de la Estación Meteorológica La Florida, La Serena (29° 55' S - 71° 12' W)

Debido a que los años de medición de niebla (1987-1995) son escasos, no nos atrevemos a ser categóricos en afirmar una relación directa, sólo hacemos la observación correspondiente y se deja constancia que los meses de mayor pluviosidad no entran en el análisis relacional.

b) El promedio anual

El promedio anual registrado entre 1988 y 1995 fue de 3,3 l/m²/día. Si no se cuentan los años 1991 y 1995, el promedio baja a 3. Como se puede ver en la figura 3, los años con más alta captación fueron 1991 y 1992, y el resto de ellos muestra promedios similares que se sitúan en torno a los 2,8 l/m²/día. Este antecedente es interesante, ya que aun cuando el promedio anual es bajo si se consideran los 75 atrapanieblas de 48 m² de superficie de intercepción, se obtiene que en el año se producen en promedio casi 4.000 m³ de agua de niebla que permite un consumo diario de 32 litros para cada habitante del pueblo de Chungungo. En Chile la dotación rural deseable es de 80 l/persona/día y el pueblo consumía antes de la llegada del sistema de nieblas, 14,6 l/persona/día (Cereceda *et al.*, 1992).

c) La variación máxima y mínima mensual

La figura 4 muestra la alta variación mensual a lo largo de los años; la desviación estándar es de 2,04 y no se observa un patrón claro de comportamiento. La mayor captación mensual se obtuvo en septiembre de 1991, con 10,9 l/m²/día, le

siguen noviembre de 1989 y octubre de 1992 con 8,5 y 8,3 l/m²/día respectivamente. Las captaciones más bajas fueron de 0,7 l/m²/día en septiembre de 1988, y 0,8 en los meses de junio y julio de los años 1988, 1994 y 1995. La moda de la captación mensual se sitúa entre los 2 y 3 l/m²/día.

Si se analizan estas cifras en función del abastecimiento de agua a Chungungo, se puede decir que en el mes de mayor captación (septiembre de 1991) se generaron casi 40.000 litros diarios; es decir, 1.177 m³ en dicho mes. A su vez, aquellos meses de baja presencia de niebla el abastecimiento descendió a 2.520 litros de agua diarios, o 75 m³ en el mes. En los meses de junio y julio reseñados, el abastecimiento per cápita fue 8,7 litros diarios. Esto significa que el pueblo debe tener otra fuente de abastecimiento, o almacenar el agua necesaria para los meses de escasez.

Analizando las estadísticas del Comité de Agua Potable del pueblo, en el mes de julio de 1993 se entregaron, en las 101 casas conectadas en esa fecha, 66 m³ de agua, en circunstancias que la producción registró más de 200 m³. La explicación entregada en esa oportunidad fue que en esa época del año los pescadores migraron a caletas de más al norte, donde había mayor abundancia de recursos marinos y por lo tanto la población disminuyó considerablemente.

d) La variación media mensual

Con respecto al comportamiento medio mensual en el período estudiado, la figura 5

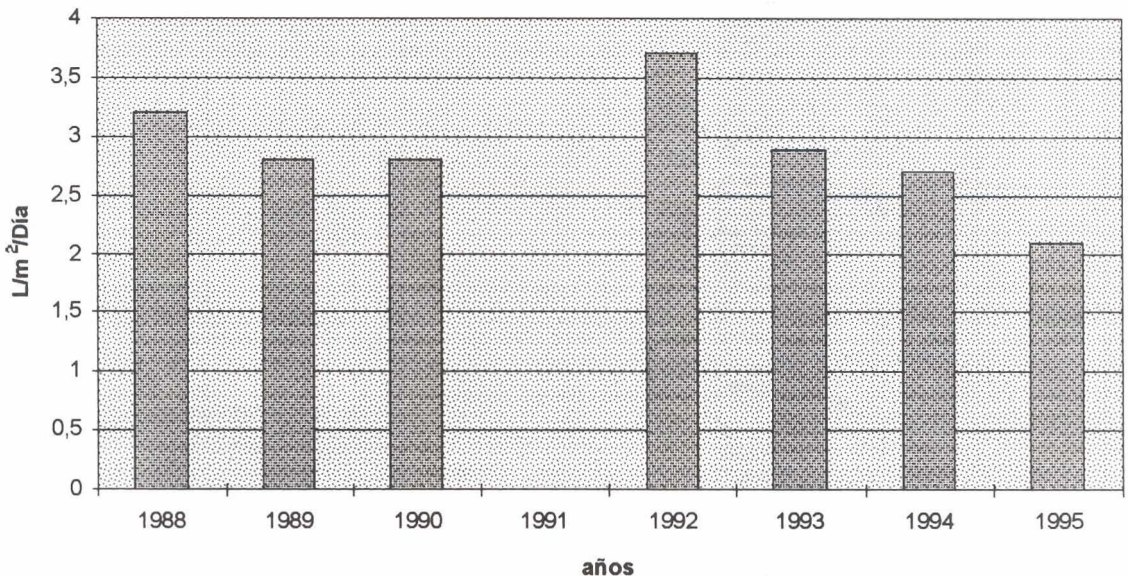
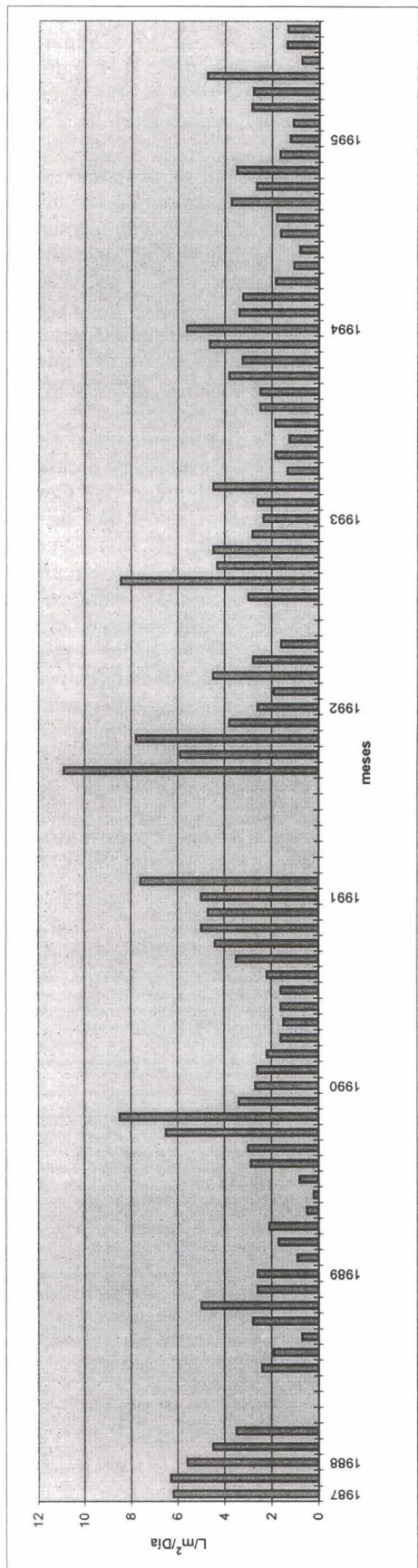


Figura 3: Colección de agua de niebla en El Tofo. Promedio anual (1988-1995)



ANOS	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	PROM
1987													
1988	5.6	4.5	3.5					1.9	0.7	2.8	5	2.6	3.2
1989	2.6	0.9	1.7	2.1	0.5	0.2	0.8	2.9	3	6.5	8.5	3.4	2.8
1990	2.7	2.6	2.2	1.6	1.5	1.6	1.6	2.2	3.5	4.4	5	4.7	2.8
1991	5	7.6							10.9	5.9	7.8	3.8	6.8
1992	2.6	1.9	4.5	2.8	1.6			2.9	8.3	4.5	4.8	3.1	3.7
1993	2.6	2.7	4.9	1.4	1.9	1.4	2	2.7	2.7	4.1	3.5	5	2.9
1994	6.2	3.7	3.4	2.1	1.1	0.8	1.7	1.9	3.8	2.6	3.5	1.7	2.7
1995	1.2	1	2.8	3	5.2	0.8	1.4	1.4					2.1

Figura 4: Colección de agua de niebla en El Tofo. Promedio mensual l/m²/día (noviembre 1987 - agosto 1995).

muestra el promedio mensual de todos los años estudiados (1987-1995). El año comienza con una captación regular para bajar hasta un mínimo en el mes de junio, para luego remontar en primavera y tener el máximo en noviembre.

Este comportamiento indica que entre abril y agosto la captación es baja, generada probablemente por la inversión térmica que se ubica a baja altitud, y corresponde a la época del año con menor fuerza de vientos, así, la masa nubosa se estanca bajo los 700 m sin poder sobrepasar el cordón montañoso. Esto fue claramente visualizado en las campañas de medición en esa época, en donde el "mar de nubes" se adosaba a las laderas de las montañas por largo tiempo. En consecuencia, las estaciones de mayor potencial de colección de agua de niebla en El Tofo durante el período monitoreado fue primavera y verano, y los de menor potencial, otoño e invierno.

Por otra parte, si se hiciese un análisis contabilizando lluvia y niebla, con el propósito de conocer el potencial de abastecimiento de agua potable, se podría esperar que en los meses deficitarios de junio y julio la colección total de agua aumentara, ya que son los meses lluviosos de la zona climática en que se encuentra inserta el área de estudio.

e) La variación interanual

Para mostrar la gran variación interanual se han graficado en la figura 6 los promedios men-

suales de los 4 SFC que tienen data completa durante los años 1990, 1993 y 1994. El primero de ellos muestra el patrón del período, similar al de la figura 5, en tanto que los otros años no coinciden en absoluto. Esto lleva a la conclusión de que el comportamiento interanual es muy errático y sólo se constatan las tendencias de las estaciones del año.

En la figura 7 se graficaron los registros mensuales del SFC ubicado en el rellano Portezuelo durante los años 1992 a 1995. Allí se constata que no hay meses que sean homogéneos, quizás los más parejos sean los invernales de baja captación. Las mayores diferencias se presentan en primavera y verano; por ejemplo, en el mes de enero, las variaciones se dan entre 3,1 en 1993, 5,7 en 1994, y 1,2 l/m²/día en 1995. Esta tendencia se revierte en el mes de marzo, cuando los valores oscilan entre 5,9 en 1993, 2,5 en 1994 y 3,9 en 1995. En resumen, es muy difícil predecir la colección de agua en los meses del año, sólo se pueden indicar tendencias en relación a la primavera que es época de abundancia; el invierno es de baja presencia de niebla, y ambas estaciones son relativamente estables. Los meses estivales de enero y febrero se presentan especialmente erráticos en cuanto a dicho fenómeno atmosférico.

Cabe hacer presente que este es un factor negativo para el manejo del recurso, ya que deben preverse estas situaciones y se debe contar con el sistema de almacenamiento de agua adecuado

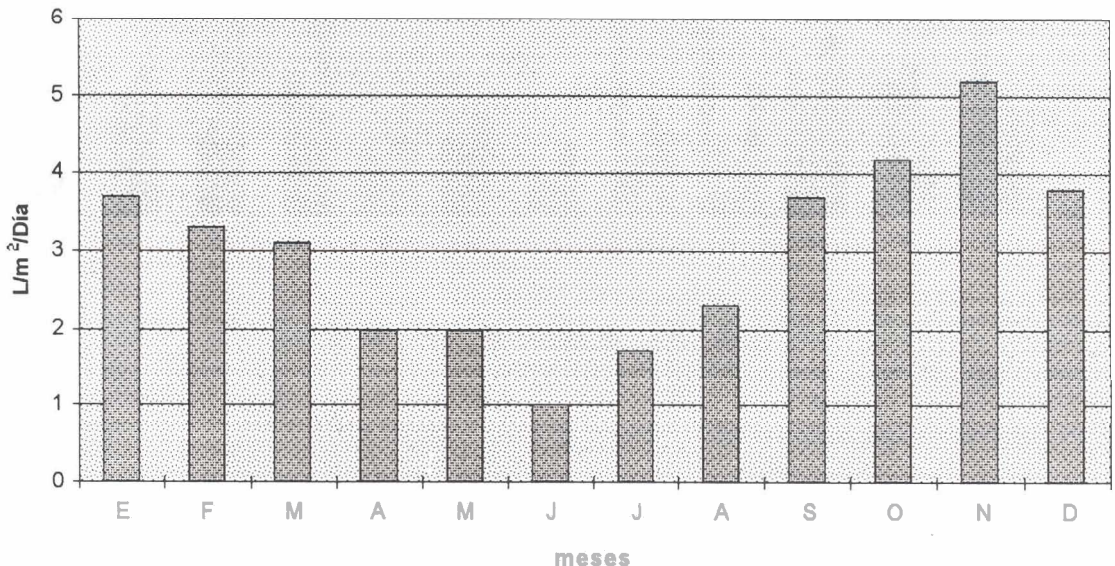


Figura 5: Colección de agua de niebla en El Tofo. Promedio mensual (noviembre 1987- agosto 1995).

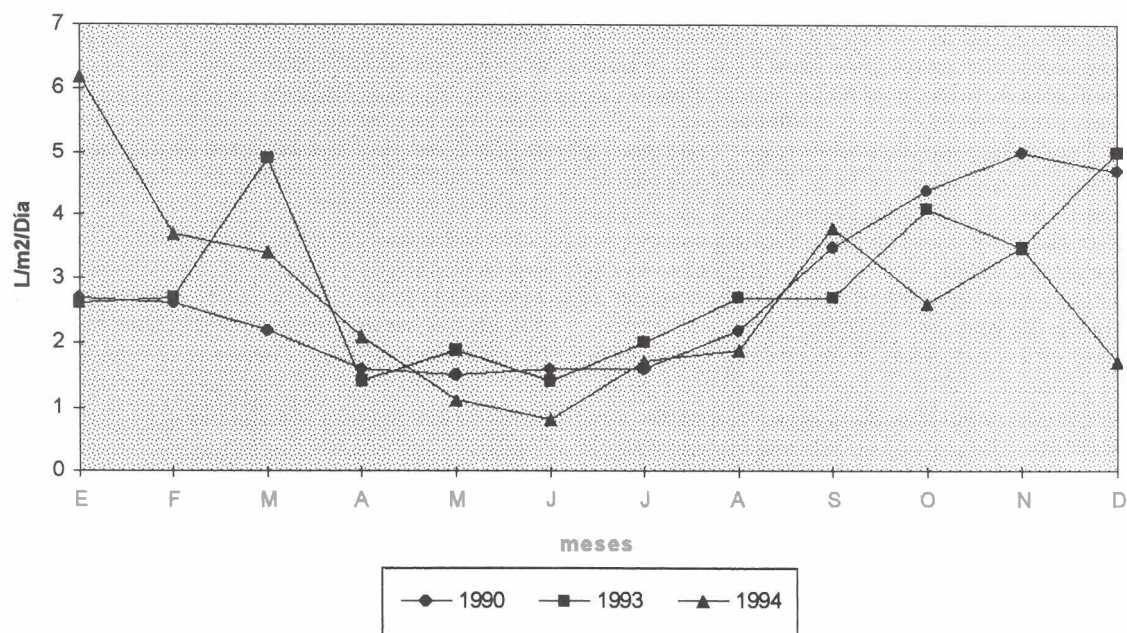


Figura 6: Colección de agua de niebla en El Tofo. Promedio mensual de los años 1990, 1993 y 1994.

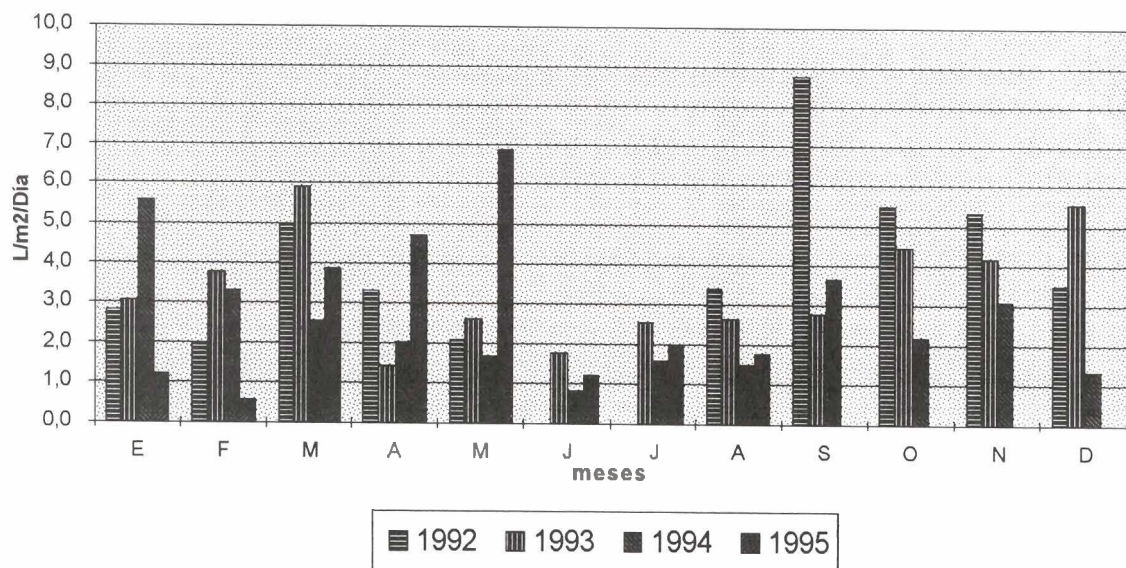


Figura 7: Colección de agua de niebla en rellano Portezuelo de El Tofo. Años 1992 a 1995.

para los períodos deficitarios, y considerar también alternativas de uso para los meses de abundancia. En los años en que el verano ha sido benéfico, CONAF IV Región ha habilitado una parcela para cultivos de hortalizas y flores que ha sido intensamente utilizada por los pobladores

de Chungungo: allí se han cultivado lechugas, pepinos, acelgas, maíz y flores, entre otros. Los pobladores de Chungungo comprenden que el suministro depende de las condiciones meteorológicas y, a pesar de ello, están orgullosos y satisfechos del abastecimiento actual indicando, en más

de un 90%, que ellos prefieren el nuevo sistema al del camión aljibe que les suministraba agua (Cereceda y Schemenauer, 1993).

CONCLUSIONES

En El Tofo se monitoreó el comportamiento temporal de la niebla desde noviembre de 1987 hasta agosto de 1995. De los antecedentes registrados se estableció un promedio anual de 3 l/m²/día. Se determinó la fluctuación estacional del período, donde los meses correspondientes a primavera y verano son de abundancia, y los de otoño e invierno tienen moderada colección de agua de niebla. Los mayores promedios mensuales oscilan entre los 8 y 10 l/m²/día y los menores, entre 0,7 y 1 l/m²/día. La desviación estándar es alta, tanto entre los meses del año como entre los años de registro. Se detectaron meses estables y meses inestables; entre los primeros están los de primavera e invierno, y representativos de los segundos son los meses de enero y febrero.

El proyecto de abastecimiento de agua al poblado de Chungungo se hizo en base a un promedio anual de 3 l/m²/día y se contempló la fluctuación diaria y mensual. El sistema fue conectado a un estanque de 100 m³ de capacidad. Además, el 80% de las viviendas cuenta con algún tipo de reservorio doméstico, que les permite contar con agua todo el año (encuesta realizada en mayo de 1997). Por otra parte, la Municipalidad de La Higuera subvenciona el suministro y abastece con sus camiones aljibes los períodos deficitarios. Los habitantes de Chungungo han expresado su satisfacción por el sistema en reiteradas oportunidades, especialmente por el hecho de contar con el suministro directamente en la vivienda y por la calidad del agua que reciben.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a CONAF IV Región, especialmente a los señores Juan Ossandón y Segundo Arancibia, por su paciente labor de toma de datos; al Dr. K.H. Otto, de Alemania, por la confección del levantamiento digital de terreno del área de estudio; a don Patricio Piñones, de Chungungo, por la información relacionada con el consumo de agua potable; a todos los ayudantes de investigación que participaron en este proyecto, y a Gonzalo Galaz y Héctor Hevia en la preparación de este artículo.

BIBLIOGRAFIA

- CERECEDA, P. Y R.S. SCHEMENAUER: "The occurrence of fog in Chile". *Journal of Applied Meteorology*, 30, Nº 8, 1097-1105, 1991.
- CERECEDA, P., R.S. SCHEMENAUER y M. SUIT: "An alternative water supply for Chilean coastal desert villages". *Intl. J. Water Resources Development*, 8, 53-59, 1992.
- CERECEDA, P. Y R.S. SCHEMENAUER: "La percepción de los consumidores de agua potable de las nieblas costeras de Chungungo, Chile". *Rev. Geográfica de Chile Terra Australis*, 38, 7-18, 1993 (publicada en 1995).
- SCHEMENAUER, R.S. Y P. CERECEDA: "Fog water collection in arid coastal locations". *Ambio*, 20, Nº 7, 303-308, 1991.
- SCHEMENAUER, R.S. Y P. CERECEDA: "A proposed standard fog collector for use in high elevation regions". *Journal of Applied Meteorology*, 33, 1313-1322, 1994.
- SCHEMENAUER, R.S. Y P. CERECEDA: "Fog collections role in water planning for developing countries". *Natural Resources Forum*, 18, 91-100, United Nations, New York, 1994.
- SCHEMENAUER, R.S., CERECEDA P. Y N. CARVAJAL: "Measurements of fog water deposition and its relationships to terrain features". *J. Climate and Applied Meteorology*, 26, 1285-1291, 1987.
- OLIVIER, J.: "Some spatial and temporal aspects of fog in the Namib". *SA GEOGRAAF*, 19 (1/2), 106-126. Abril 1992.
- ZULETA, R Y O. TAPIA: "20 años de Camanchacas y dos del proyecto Mejillones", documento de la Universidad del Norte de Antofagasta, Chile, 1980.