

Diferencias y similitudes de la niebla entre Iquique (Chile) y Mejía (Perú)

P. OSSES¹, P. CERECEDA¹, R.S. SCHEMENAUER²,
H. LARRAIN³, P. LAZARO⁴

Proyectos U.E. TS3-CT94-0324 y Fondecyt 19712480

RESUMEN

Desde 1995, en la costa de la provincia de Arequipa, próximo a la ciudad de Mollendo, se desarrolla un proyecto de aprovechamiento de niebla, y en las costas aledañas a Iquique se hace lo mismo desde 1997. Ambos proyectos tienen, entre sus variados resultados, información sobre colección de agua de niebla en una base mensual que permite comparar tanto los rendimientos como la dinámica espacial del fenómeno climático en ambos sectores. Se discuten las diversas variables que determinan en cada caso el comportamiento de la niebla y también se entregan datos que permiten comparar el potencial de colección de agua de niebla.

SUMMARY

Since 1995 in the coast of the province of Arequipa, near the city of Mollendo, a project for the use of fog is being developed, and the same is being done since 1997 in Iquique, Chile. Both projects have interesting information about fogwater collection in a monthly basis that permit the comparison of the yields between places and the spatial behaviour of this climatic phenomenon in both sectors. A discussion about the factors that determine in each case the yields is given.

Palabras claves: niebla, colección de agua de niebla, recursos hídricos no convencionales, atrapanieblas

INTRODUCCION

Este artículo entrega una comparación de los resultados del comportamiento espacial y temporal de la niebla obtenidos en los proyectos "Evaluación del uso de agua de niebla para la regeneración de ecosistemas áridos en los desiertos de Perú y Chile", financiado por la Unión Europea, y "Estudio comparativo sobre la niebla de la Pampa del Tamarugal y costa de Iquique: origen, dinámica y aporte a la vegetación", financiado por FONDECYT, Chile. Diversas variables determinan el comportamiento de la niebla en los dos casos, y los datos registrados permiten comparar el potencial de colección de agua de niebla ocurrida entre julio de 1997 y julio 1998.

Proyectos U.E. TS3-CT94-0324 y Fondecyt 1971248

Se analiza información del Sector Cuchillas próximo a Mejía, en Arequipa, y Punta Patache, cerca de Iquique. Hay algunas diferencias significativas en cuanto a los factores geográficos que determinan el comportamiento de la masa nubosa, y especialmente interesante es el desigual comportamiento temporal de la captación de agua en ambos sectores.

MATERIALES Y METODOS

En las dos investigaciones se hizo una selección de áreas de estudio según metodologías utilizadas por el equipo en diversos proyectos anteriores. Básicamente, consiste en un trabajo cartográfico y de terreno que determina variables de relieve, como son la presencia de montañas, altitud, geformas, distancia a la línea de costa, espacio para atrapanieblas, etc. (Schemenauer y Cereceda, 1994; Cereceda *et al.*, 1996).

La instrumentación usada en las áreas seleccionadas consiste básicamente en colectores

¹ Instituto de Geografía, P. Universidad Católica de Chile.

² Atmospheric Environment Canada, Environment Canada.

³ Instituto de Estudios de la Cultura y Tecnología Andina.

⁴ Arquitecto, Consultor en Investigaciones de Niebla.

estándar de 1 m² con malla Raschel de 35% de sombra y equipo de registro continuo marca Dachris Inc. (Schemenauer y Cereceda, 1994).

El análisis de los factores geográficos que definen las situaciones de comportamiento de la niebla está referido a estudios realizados en Perú (Schemenauer y Cereceda, 1993; Cereceda *et al.*, 1996, 1998), en Canarias (Marzol, 1996, 1998), en México (Mundo, 1995 y 1998), Sudáfrica (Olivier, 1991, 1998; Van Heerden *et al.*, 1998), Namibia (Mtuleni, 1998), Omán (Cereceda *et al.*, 1990; Alesh, 1998), Ecuador (Schemenauer y Cereceda, 1994) y en Chile (Espejo, 1993 y 1998, Cereceda *et al.*, 1997, 1998). En todos ellos se abordan uno o más factores determinantes de la dinámica de la niebla, y en la mayoría se discute el aspecto temporal y potencial de colección de agua como recurso renovable.

LAS AREAS DE ESTUDIO

El sector de Mejía (17° S-71°59'30" W), perteneciente a la provincia de Arequipa en Perú, está localizado en un cordón montañoso que forma parte de la serranía costera peruana, con altitudes variables que van desde los 400 m hasta cumbres que superan los 1.000 metros. El sector de Alto Patache (20°50' S-70°10' W), de la Región de Tarapacá en Chile, se encuentra ubicado en el borde de un megaacantilado de altitud variable entre 500 y 850 m, que conforma el límite occidental de la cordillera de la Costa, y cuya cumbre más próxima bordea los 1.500 m. En adelante, las áreas de estudio serán denominadas Patache y Mejía, aun cuando sus topónimos locales son varios por estar constituidas por cordones montañosos. Casi cuatro grados de latitud separan ambos lugares, emplazándose longitudinalmente muy próximos entre sí.

RESULTADOS

a) Factores a escala planetaria

En esta escala se analiza la formación de la nube estratocúmulo generada en el mar, y que avanza hacia el continente siempre limitada por una fuerte inversión térmica que le impide el desarrollo vertical. Asimismo, el régimen de vientos generado por los grandes centros de presión tiene su origen en este nivel de circulación e interacción océano-atmósfera.

Desde este punto de vista, que comprende globalmente al planeta, en relación con la circulación general en el hemisferio sur, se puede decir que el origen de las nieblas en ambos sectores es el mismo, ya que la presencia del Anticiclón del Pacífico Suroriental se deja sentir en toda su magnitud, junto con la influencia de la Corriente de Humboldt que bordea las costas peruano-chilenas; asimismo, los vientos alisios con sus componentes W, SW y S son los predominantes en este litoral sudamericano. Así, el proceso de inversión térmica definido por estos elementos es intenso y variable en el tiempo (Espejo, 1998). La regularidad eólica, especialmente en cuanto a dirección de vientos, es muy estable en ambos sectores. Debe recordarse que estas áreas están separadas por una distancia de 430 km en dirección norte-sur: de allí que los mecanismos que la rigen son compartidos por ambas.

Al analizar imágenes de satélite en días de niebla en ambas áreas de estudio, se puede constatar que la nube estratocúmulo se genera varios cientos de kilómetros al oeste en el Pacífico, más allá de la ubicación general de la Corriente de Humboldt, no pudiéndose por esta razón asociar el origen de la nube a ella; sin embargo, sí se puede inferir un reforzamiento de los procesos generadores de la niebla a la llegada de la masa nubosa al continente. Situaciones similares se encuentran en Namibia, Sudáfrica, Canarias y en California, que se emplazan en las costas occidentales de sus respectivos continentes y a latitudes también similares y donde las corrientes frías son muy potentes. Es interesante consignar al respecto que las nieblas costeras de Australia y del sur de México, generadas a partir de nubes estratocúmulos muy parecidas a las comentadas aquí, no se relacionan con circulación oceánica fría, aun cuando tienen comportamientos similares a los que se producen en la zona sudamericana (García, 1995).

b) Factores a escala regional

Los factores que juegan un rol determinante en la presencia de la niebla en este nivel regional están directamente relacionados con el relieve, el que, por una parte, implica que debe ser suficientemente alto o adecuado a la altitud en que se encuentra la nube estratocúmulo en su llegada al continente; y por otra, importa desde el punto de vista de la formación de centros de presión a nivel continental que definen los desplazamientos del viento en ese contexto.

Perú y Chile están vertebrados por la cordillera andina y sus relieves son muy similares. Los Andes, con sus empinadas laderas de más de 5.000 m, en esta parte del continente, intensifican la circulación de los vientos provenientes del mar.

Ambas áreas de estudio se encuentran en una cordillera costera bien definida, con altitudes superiores a los 1.000 metros, con un ancho variable próximo a los 30 km y con valles y quebradas interiores muy similares. La diferencia mayor está dada en Chile por la presencia de depresiones tectónicas, ocupadas por salares (Ver mapas 1 y 2).

Hacia el oriente, ambas áreas de estudio presentan extensas pampas interiores que forman planos inclinados de oriente a poniente, como son las de La Joya en Perú y Tamarugal en Chile. La Joya tiene mayor extensión E-W, superior a los 150 km, y Tamarugal es angosta, ya que frente a Patache no supera los 80 km. Desde este punto de vista, son superficies de recalentamiento que generan vientos térmicos muy potentes y de dirección constante a lo largo del año; estos se dan especialmente después de mediodía y hasta el atardecer.

Mejía tiene como accidente principal el valle del río Tambo, que en su curso medio es estrecho y encajonado, pero en su curso inferior presenta una amplia desembocadura que se desarrolla en una extensa planicie fluvio-marina, con algunos aterrazamientos laterales. Patache no presenta ningún rasgo similar en kilómetros a la distancia, ya que el río Loa se encuentra a más de 80 km al sur; el área chilena está en un cordón continuo, siendo el único rasgo destacable, desde el punto de vista del comportamiento de la niebla, la existencia de un corredor deprimido hacia el norte de Patache, que se inicia a los 500 m en el megacantilado y se adentra en las serranías hacia Tamarugal.

De acuerdo a estas consideraciones, ambos lugares estudiados presentan relieves aptos para la intercepción de la nube estratocúmulo, arrastrada por los vientos desde el mar hacia el continente, fenómeno que es intensificado por la presencia de ambas pampas. Sin embargo, el rasgo fluvial de Tambo es muy importante, ya que es la vía que altera la dinámica eólica, desviando poderosamente las masas de aire hacia el interior a través de su valle; esto implica que los cerros interiores más elevados tienen mayor presencia de niebla que aquellos que se encuentran enfrentando al mar en la dirección predominante de los vientos del sur. Aquí se conjugan elementos definitorios tales como altura de la inversión térmica y relieve de penetración.

c) Factores a escala local

Los relieves de tercer orden originados por la acción del mar y de las aguas lluvias son interesantes desde el punto de vista de la topografía costera que determina los efectos de rugosidad que alteran la trayectoria de los vientos a micro-escala.

Las planicies litorales son muy similares a lo largo de las costas peruanas y chilenas: algunas muy angostas que no superan el kilómetro de ancho, y otras más extensas que alcanzan los 10 kilómetros; en algunos sectores grandes acantilados caen directamente al mar. Las áreas de localización de las estaciones de medición son muy diferentes: en Mejía es abierta y extensa hacia el sur, donde se confunde con las planicies fluviales del Tambo, cubriendo una distancia superior a los 8 km; en Chile es muy angosta, no supera los 2 km, dejando la línea de costa muy próxima.

Uno de los aspectos que se han comenzado a analizar es una interesante hipótesis de trabajo y se refiere a la línea de costa. La nube estratocúmulo se refuerza en su contenido líquido por el efecto orográfico que producen las montañas y también en aquellos lugares donde hay surgencias de aguas frías; ambos fenómenos logran en definitiva un mayor enfriamiento de la masa de aire. Existe relación entre surgencias y forma de la costa, y las puntas son accidentes geográficos que alteran el comportamiento del viento en su unión entre la tierra y el mar, proceso que genera mayor desigualdad y, por lo tanto, más posibilidades de afloramientos de aguas profundas. Patache está localizado inmediatamente sobre un gran punta de 4 km en forma triangular que se adentra en el mar, y Mejía presenta una línea de costa pareja, con una saliente amplia, redondeada y poco pronunciada, como lo es Punta de Bombón, que define la desembocadura del Tambo.

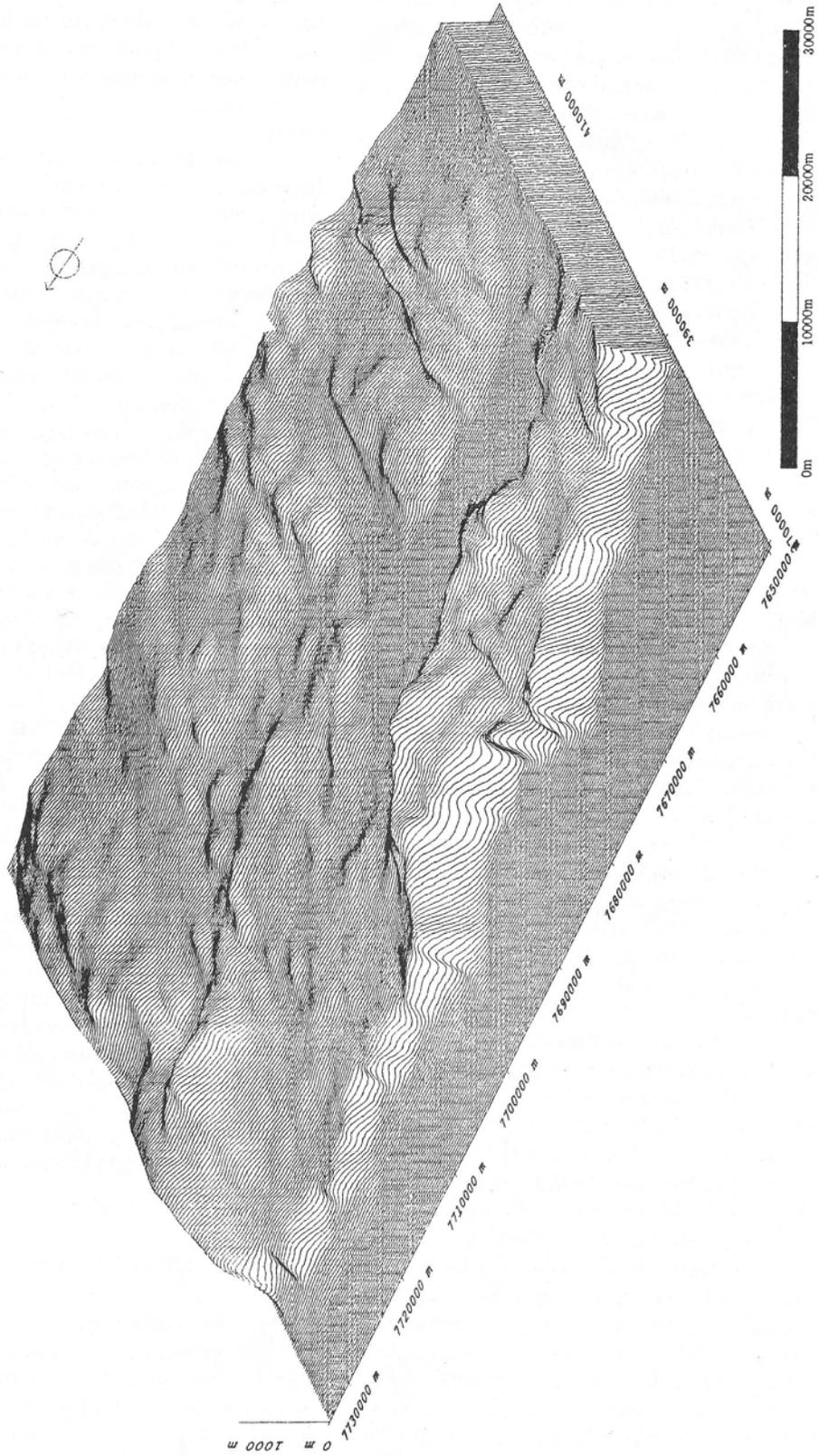
La topografía es diferente aunque ambas áreas están en una cordillera costera: en Patache la fisonomía es más bien de una planicie en altura; en cambio en Mejía los cerros conforman cumbres diferenciadas y separadas por profundos valles que condicionan la dirección de los vientos a ese nivel.

LA COLECCION DE AGUA DE NIEBLA

El proyecto de Iquique fue iniciado en julio de 1997 y el primer año de medición se completó en julio de 1998; por esto sólo se pueden hacer comparaciones en ese tiempo. El segundo semestre de 1997 y primeros meses de 1998 fue un período meteorológico fuertemente influenciado

MAPA 1

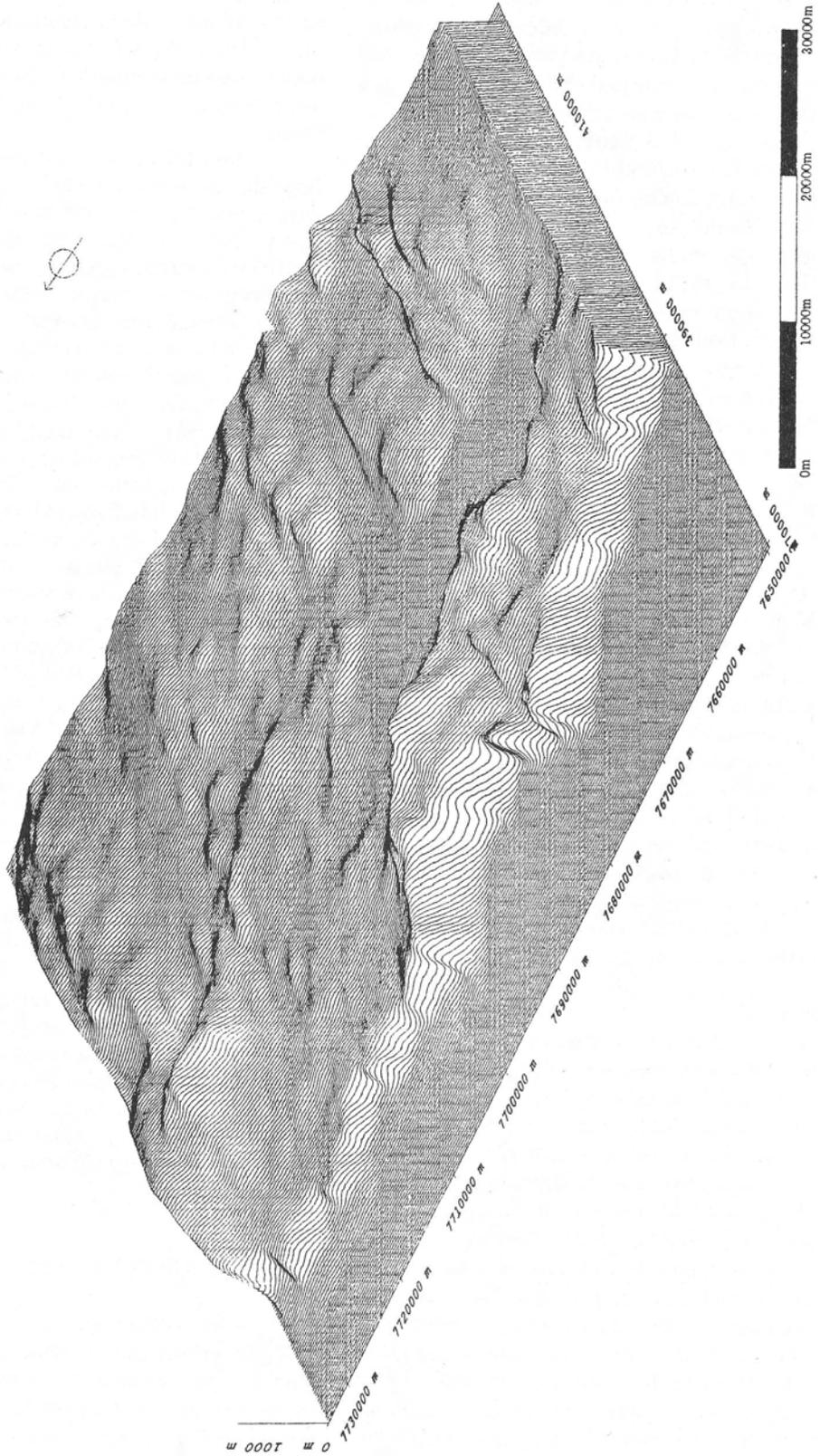
MODELO EN ELEVACION DEL TERRENO. PUNTA PETACHE (PAMPA DEL TAMARUGAL - CHILE).
VISTA DEL SUROESTE AL NORESTE



Elaborado por: Claudio Tesser Obregón

MAPA 2

MODELO EN ELEVACION DEL TERRENO. MEJIA (AREQUIPA - PERU).
VISTA DEL SUROESTE AL NORESTE



Elaborado por: Claudio Tesser Obregón

por el ciclo de El Niño, situación que hizo que los registros de colección de agua de niebla en Perú se elevaran considerablemente. Por ejemplo, en enero de 1996 y 1997, de un promedio de $1,5 \text{ L m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, se elevó en 1998 a $35,8 \text{ L m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

El promedio anual registrado en Patache entre el mes de julio de 1997 y julio de 1998 fue de 11,8 y el de Mejía de $16,3 \text{ L m}^{-2} \text{ día}^{-1}$. (Ver tabla y gráfico).

Tabla 1

Colección de agua de niebla en Mejía y Patache
Julio de 1997 a julio de 1998

Mes	Mejía	Patache
Agosto 1997	15,7	12,6
Septiembre	29,6	28,5
Octubre	32,7	12,1
Noviembre	14,6	10,2
Diciembre	21,8	18,1
Enero 1998	35,8	7,8
Febrero	15,3	
Marzo	8,8	7,6
Abril	2,9	5,3
Mayo	2,1	4,1
Junio	6,0	8,8
Julio	10,6	14,8
Promedio	16,3	11,8

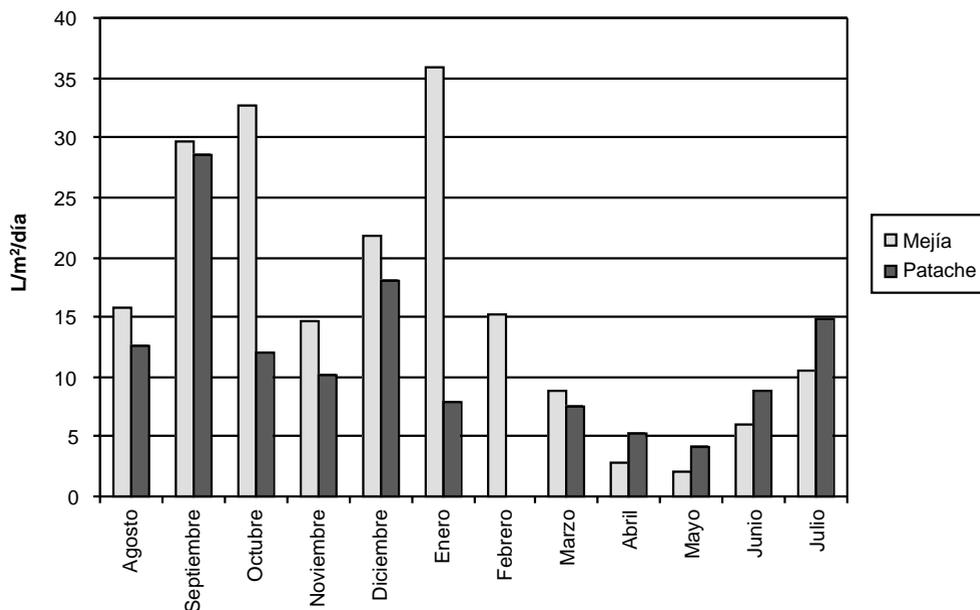
Entre agosto de 1997 y marzo de 1998, Mejía presenta rendimientos considerablemente superiores a los de Patache; en cambio a partir de abril, Patache tiene colectas mayores. Aquí se puede constatar la presencia de El Niño, ya que los meses estivales en Perú entre 1995 y 1997 tuvieron una colección de agua especialmente baja (Cereceda *et al.*, 1998). Las grandes diferencias de los meses de primavera y verano se deben a la presencia de lluvias y especialmente de lloviznas que se sucedieron en Perú. Fenómenos de lluvia y llovizna sólo se evidenciaron en tres oportunidades en Patache, en los meses de septiembre y octubre. Es interesante consignar aquí la gran estacionalidad que presenta la niebla en Perú, mientras que en Chile la tendencia es a una relativa homogeneidad, situación similar a la que se ha constatado en El Tofo, en la Región de Coquimbo (Cereceda *et al.*, 1997).

CONCLUSIONES

La presencia de niebla está condicionada por una serie de factores que actúan a distintas escalas. En las costas peruanas y chilenas rigen las mismas interacciones océano-atmósfera, debido a la Circulación General Planetaria definida por los grandes centros de presión y la dinámica oceánica. Sin embargo, se observan comportamientos muy

GRAFICO 1

CAPTACION MEJIA Y PATACHE
AGOSTO 1997-JULIO 1998



diferenciados, como la estacionalidad de la niebla, que podrían relacionarse con el desplazamiento del Anticiclón del Pacífico Suroriental. Mientras en Perú hay al menos 4 a 5 meses que presentan una disminución notoria y abrupta de colección de agua, en Chile la niebla se presenta constante a lo largo del año, con meses muy altos, tal como se ha constatado aquí en Iquique y también en El Tofo, IV Región (Cereceda *et al.*, 1997).

Los dos aspectos más destacables en cuanto a las diferencias que se evaluaron en ambos lugares se relacionan con el relieve, ya que mientras en Perú el rasgo definitorio para localizar el lugar de mejor potencial de niebla es el valle del río Tambo, en Chile es probable que guarde relación con la forma de la línea de costa y los vientos marinos predominantes que esculpen el microrelieve del acantilado. En efecto, en Patache, ubicado a una altitud adecuada sobre los 800 m, el viento es enfrentado directamente por un acantilado de pendiente pareja; en Mejía, el sector Cuchillas, que también se encuentra a una altitud similar, recibe los vientos canalizados por el río Tambo, los que son desviados en el angostamiento del valle producido por una serranía mayor. Es probable que el río aquí sea definitorio; en cambio que en Patache la punta de la línea de costa sea la causante de una surgencia que refuerza el proceso de advección.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos muy sinceramente a Martita Peña, a Luis Villegas por su paciente labor en terreno en Mejía, a Claudio Tesser por sus modelos digitales de terreno, a los alumnos P. Díaz, V. Hernández y G. Galaz por digitalizar mapas y hacer trabajos de terreno. A los alumnos que vivieron en el desierto duras jornadas, nuestros mayores agradecimientos: D. Avaca, F. Velásquez, H. Hevia, L. Fuentes, B. von Igl, R. Velásquez, C. Alvarado, G. Gutiérrez, X. Borojevic, J.L. García, E. Salazar, J. Silva, C. Leyton, C. Moreira, J. Bustamante, A. Campos, E. Cisternas, C. Suzuki, y M. Edwards y al geógrafo C. Correa

BIBLIOGRAFIA

ALESH, S.A. (1998): Work done on fog and fog collection in the Sultanate of Oman. En: *Conference on fog and fog collection*, 417-420, Vancouver, Canadá.
 CERECEDA, P., J.S. BARROS y R.S. SCHEMENAUER (1990): Las nieblas costeras de Chile y Omán: diferencias y similitudes. En: *Revista Geográfica Terra Australis*, 33, 49-60, Chile.

CERECEDA P. y R.S. SCHEMENAUER (1996): La niebla, un recurso hidrológico para el desarrollo de zonas con déficit hidrológico. En: *Clima y Agua*, 15-33, España.
 CERECEDA, P., R.S. SCHEMENAUER, P. OSSES y L. VILLEGAS (1996): La niebla, agua para regeneración de ecosistemas desérticos. En: *Seminario Forestación y Silvicultura en Zonas Áridas y Semiáridas*, INFOR, La Serena, Chile.
 CERECEDA, P., R.S. SCHEMENAUER, P. OSSES y L. VILLEGAS (1998): Evaluation of the use of fog water for regeneration of arid ecosystems. En: *Conference on fog and fog collection*, 461-463, Vancouver, Canadá.
 CERECEDA, P., R.S. SCHEMENAUER y M. SUIT (1993): Producción de agua de niebla en Perú. *Alios* 3, 63-74, España.
 CERECEDA, P., R.S. SCHEMENAUER y F. VELASQUEZ (1997): Variación temporal de la niebla en El Tofo-Chungungo, Región de Coquimbo, Chile. En: *Revista de Geografía Norte Grande*, 24, 191-193.
 ESPEJO, R. (1998): Coast fog water potential and its applications. En: *Conference on fog and fog collection*, 341-343, Vancouver, Canadá.
 GARCÍA, F., R. MONTAÑEZ (1995): Warm fog in Eastern Mexico: a case study. *Atmósfera*, 53-64, UNAM, México.
 MARZOL, V. P. DORTA y P. VALLADARES (1996): La captación de agua del mar de nubes en Tenerife. Método e instrumental. En: *Clima y agua: la gestión de un recurso climático*, 337-350. La Laguna, España
 MARZOL, V. y P. DORTA (1998): Evaluation of fog water collection in Anaga (Tenerife, Canary Island). En: *Conference on fog and fog collection*, 449-452, Vancouver, Canadá.
 MTULENI, V., JOH R. HENSCHER y MARY K. SEELY (1998): Evaluation of fog harvesting potential in Namibia. En: *Conference on fog and fog collection*, 179-182, Vancouver, Canadá.
 MUNDO, M. (1995): Colección de agua de niebla en el laboratorio. Informe del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Cuernavaca, México.
 MUNDO, M., P. MARTINEZ, A. FIGUEROA, J. MUCIÑO, R. BALLINAS (1998): Fog collection as a water source for small rural communities in Chiapas Mexico. En: *Conference on fog and fog collection*, 405-408, Vancouver, Canadá.
 OLIVIER, J. (1992): Some spatial and temporal aspects of fog in the Namib. *SA Geographer* 19, 106-126.
 OLIVIER, J. (1998): A high elevation fog water collection experiment in South Africa. En: *Conference on fog and fog collection*, 441-443, Vancouver, Canadá.
 SCHEMENAUER, R.S. y P. CERECEDA (1993): Meteorological conditions at a coastal fog collection site in Peru. *Atmósfera*, 6, 175-188, México.
 SCHEMENAUER R.S. y P. CERECEDA (1994): A proposed standard fog collector for use in high elevation regions. En: *Journal of Applied Meteorology*, vol 33, 1313-1322.
 SCHEMENAUER R. y P. CERECEDA (1994): Fog collection's role in water planning for developing countries. *Natural Resources Forum*, 18, 91-100, United Nations, New York.
 VAN HEERDEN, J., C. LOW y J. OLIVIER (1998): Meteorological features of orographic clouds along the Eastern escarpment of South Africa. En: *Conference on fog and fog collection*, 273-276, Vancouver, Canadá.