

PENETRACIÓN CONTINENTAL DE LA NIEBLA DE ADVECCIÓN EN TARAPACÁ, CHILE¹

P. Cereceda²
H. Larrain³
P. Osses²
P. Lázaro⁴
R. Pinto⁵
R.S. Schemenauer⁶

INTRODUCCIÓN

La niebla ha sido ampliamente estudiada en las últimas décadas debido su importancia como factor de riesgo en los transportes, por su calidad química en las llamadas nieblas ácidas y últimamente como recurso hidrológico para uso doméstico, agricultura y forestación. Desde el punto de vista geográfico, conocer la distribución espacial y temporal de la niebla y los factores que la determinan es crucial al momento de analizarla en función de la importancia señalada.

La niebla se estudia desde varios puntos de vista: físico, químico, climatológico, de pronóstico, modelamiento, percepción remota, biogeográfico, ecológico, entre otros. En 1998 se realizó la Primera Conferencia Internacional de Niebla y Colección de Agua de Niebla que se llevó a cabo en Vancouver, Canadá. A ella asistieron 160 delegados y se expusieron un total de 125 ponencias de los más diversos enfoques. Desde esa fecha se han publicado 5 números de Fog Newsletter, documento que llega en forma regular a casi mil especialistas en la materia. En julio 2001 se realizará la Segunda Conferencia Mundial en New Foundland, Canadá.

En mayo de 1999, una pesquisa realizada por los editores de Fog Newsletter dieron cuenta de 47 sitios de experimentación en 19 países, los que estaban en esa fecha vigentes y con mediciones regulares. La mayoría de ellos en Europa y Norte América con miras a estudio de contaminación a través de la química de sus aguas, deposición e interacción con la vegetación. Un número considerable de ellos estaban dedicados a la colección de agua de niebla con el fin de usarla como recurso hidrológico; estos proyectos se llevan a cabo especialmente en el Tercer Mundo.

Chile es pionero en el uso de agua de niebla. Chungungo, un pueblo de la IV Región de más de 500 habitantes, desde 1992 satisface sus necesidades de agua potable mediante 90 atrapanieblas; colectas de agua similares se hacen en el parque nacional Fray Jorge, en Paposo y en la Ermita del Padre Hurtado en Huentelauquén. En este momento se preparan proyectos para Chañaral, y la costa de Tarapacá. La geógrafa Dra. Jana Olivier de Sudáfrica tiene una larga trayectoria de estudios sobre el tema y en la actualidad tiene en operación atrapanieblas que abastecen un colegio de zonas áridas y proyectos para otros pueblos que sufren escasez de agua potable. La Dra. Victoria Marzol, geógrafa de Canarias ha trabajado intensamente en el reconocimiento de los factores de distribución de niebla y colecta de agua. En la actualidad ha instalado 21 colectores de niebla de 50 cm x 50 cm en diferentes rasgos del relieve en el Parque Rural Teno entre 600 y 1.340 m.s.n.m. Además, se han instalado allí doce atrapanieblas con fines hidrológicos y ecológicos. Proyectos operacionales funcionan en Perú, Ecuador, Cabo Verde, República Dominicana, Nepal y México, entre otros países (Cereceda y Schemenauer, 1996).

La costa árida y semiárida chilena presenta climas BWn y BSn según la clasificación de Köppen, ambos caracterizados por los nublados frecuentes. En efecto las condiciones geográficas de anticiclón, circulación de los alisios, océano frío y relieve, determinan una muy baja pluviosidad que se traduce en la presencia de un desierto extremo y de un semidesierto en el norte del país. Sin embargo una nubosidad del tipo estrato cúmulo es frecuente en la costa. Esta nube que se forma en el océano y avanza hacia el continente es interceptada por la cordillera de la costa, formando así la niebla costera o camanchaca. Si bien hay abundantes recursos pesqueros y mineros, los asentamiento rurales son muy escasos, principalmente debido a la escasez de fuentes de agua. En general, la población vive en las grandes y populosas ciudades y en centros mineros. Las caletas de pescadores artesanales son muy escasas en las primeras dos regiones del

¹ Proyecto Fondecyt 1971248

² Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Chile

³ Universidad Arturo Prat, Instituto de Estudios de Cultura y Tecnología andina

⁴ Arquitecto, Gobierno Regional de Tarapacá

⁵ Bióloga

⁶ Atmospheric Environment Service, Canada

llamado Norte Grande y aumentan en las regiones III y IV del Norte Chico, aunque la tendencia general actual es la migración campo-ciudad.

En Tarapacá en la franja litoral de 150 km comprendida entre la ciudad de Iquique y el límite regional, en el río Loa, sólo hay 6 caletas y el número de habitantes no supera los 600; el agua es provista por la Municipalidad de Iquique en forma semanal mediante un camión aljibe con todos los problemas que el sistema conlleva.

En la Pampa del Tamarugal se han realizado numerosos estudios en el bosque relicto para comprender las fuentes de alimentación de los tamarugos, chañares y algarrobos. Estos árboles xerófitos existen en un medio, donde las precipitaciones no superan los 5 mm anuales como promedio. Durante muchos años, se postuló que éstos se abastecían de la niebla que en las noches de invierno cubría la zona. Actualmente esa teoría se discute fuertemente, sin embargo, nunca se ha medido el potencial de colección de agua de esta camanchaca, sólo se han registrado los número de días con niebla en el año en campañas estacionales.

Entre los años 1997 y 2000 se desarrolló un proyecto de investigación financiado por Fondecyt cuyo objetivo principal fue conocer el comportamiento de la niebla de advección en cuanto a su origen y posibilidades de penetración en la cordillera de la Costa y su eventual llegada a la Pampa del Tamarugal. Asimismo, se realizó un pequeño estudio de la niebla de radiación en dicha pampa. Especialmente interesante fueron los resultados sobre el potencial de colecta de agua en la costa para fines prácticos, ya que se detectó el lugar de mayor potencial de colecta de agua en Chile. En esta ponencia se entregan los resultados sobre los corredores de penetración de niebla del área estudiada.

AREA DE ESTUDIO

Se encuentra en la Primera Región de Tarapacá, en la comuna de Iquique, específicamente entre la localidad de Junín por el norte y la desembocadura del río Loa por el sur ($19^{\circ}30'S - 21^{\circ}30'S$). El área comprende la planicie litoral, el mega acantilado, la cordillera de la Costa y la Pampa del Tamarugal en la Depresión Intermedia. La planicie litoral se presenta angosta, con un ancho promedio de dos kilómetros, el acantilado tiene altitudes que oscilan entre los 500 y 1.000 m.s.n.m. y la cordillera costera es maciza (ancho promedio 30 km) y alta, presenta cumbre de más de 1.500 m, algunos salares como Soronal, Gloria y el más importante de todos, el Salar Grande. Numerosas quebradas se desarrollan en esta zona montañosa, algunas llegan hasta la misma costa, y otras son interiores conectadas a las depresiones y salares. La Pampa del Tamarugal es una depresión tectónica rellena con los materiales aluviales provenientes de la cordillera andina; posee características de meseta, ya que está enmarcada entre las cotas 400 y 1.500 m. Se presenta plana, inclinada hacia el SW y en la zona de contacto con la cordillera de la Costa se encuentran salares como los de Pintados y Llamara.

La superficie del área de estudio es del orden de 10.000 km². La zona más poblada es la ciudad de Iquique y su anexo en Alto Hospicio, en total reúnen a más de 300.000 personas. Como se dijo, la zona rural está representada por seis caletas de pescadores con no más de 600 habitantes. En la Pampa del Tamarugal se encuentran los pueblos de Huara y Pozo Almonte. La actividad principal en la zona rural es la minería y la pesca artesanal.

METODOLOGÍA

La metodología empleada consistió en primer lugar en una lectura e interpretación de cartas topográficas donde se analizaron los sistemas del relieve en función de lineamientos transversales que sirviesen de corredores para los vientos que transportan la niebla. Asimismo, de acuerdo a una serie de variables antes estudiadas en proyectos de nieblas costeras (Schemenauer y Cereceda, 1994), se definieron los sectores litorales con mayor potencial de presencia de niebla. Se hizo un modelo digital de terreno en SIG Arc Info (Cereceda et al., 1998) y se realizó un modelo de vientos en uno de los corredores delimitado cartográficamente (Hevia, 1999). Mediante un recorrido preliminar del área de estudio se corroboraron los corredores mediante la detección de vegetación, principalmente oasis de tillandsias. Estos corredores conectan la costa con la Pampa del Tamarugal.

Durante cuatro años, entre julio de 1997 y octubre de 2000, se midió colección de agua de niebla en un sector costero: en Alto Patache ubicado a 850 m al borde del acantilado, y en cerro Guatalaya, ubicado en la cordillera de la Costa a más de 20 km del borde costero. Este registro continuo no había sido propuesto en el proyecto original, pero debido a que la información obtenida fue especialmente interesante en 1997 (promedio 17 L/m²/día). Las mediciones se hicieron con un colector de agua de niebla estándar SFC (Schemenauer y

Cereceda, 1993), medidas semanalmente en forma ininterrumpida; en los momentos de toma de datos, se tomaron datos de viento y temperatura.

En los cuatro corredores detectados se realizaron dos campañas de medición anual, una en invierno y otra en verano durante los años 1997, 1998 y 1999. El trabajo se hizo con un equipo de ayudantes de la Pontificia Universidad Católica de Chile, quienes levantaron tres estaciones de medición en cada corredor en los siguientes sectores: uno en la costa, otra en la zona intermedia y otro en la Pampa del Tamarugal. De ese modo, se pretendía monitorear la masa de aire desplazada por el viento a lo largo del corredor. La localización de las estaciones se hizo con la ayuda de instrumentos GPS y cada sector estuvo equipado con un neblinómetro SFC, anemómetro, veleta, termómetro seco y húmedo). La colección del agua de niebla y el viento se registró en un data logger marca Dachris, la información fue llevada a planillas y procesada con estadísticas simples en Excel. Se procuró medir en las siguientes horas del día y noche: AM 02, 06, 10 PM 14, 18 y 22.

La metodología propuesta en el proyecto original que contemplaba hacer 12 estaciones cada año (3 en cada uno de los 4 corredores) fue modificada en el segundo año para concentrarse en invierno en las mediciones de la Pampa del Tamarugal, y en el tercero, se concentró toda la actividad de verano en un sólo corredor.

RESULTADOS

A través del análisis cartográfico se detectaron los sectores costeros de mayor potencialidad para la colección de agua de niebla en la costa (Salazar, 1998). Este ejercicio fue importante para definir los corredores a estudiar, ya que aquellos que se inician con mayor niebla, tienen más posibilidades de avanzar sin disiparse. Los sitios más relevantes fueron los siguientes: cordones Pisagua-Junín, Mejillones del Norte, sector Caleta Buena, Punta Gruesa, Punta Patache, Pabellón de Pica, Punta Lobos, Punta Blanca y Guanillos-Chipana. En general se caracterizan por presentar cordones con orientación al oeste y suroeste con cumbres próximas a los 1.000-1.200 m; con sectores bajos en sus extremos (500-700 m); cercanos a la costa (máximo 5 km); con relieve circundante propicio, es decir una depresión a sotavento que da mayor velocidad a los vientos mar – tierra y un relieve libre de obstáculos a barlovento; con presencia de oasis de vegetación de niebla; y en varios de ellas presencia de poblamiento antiguo testimoniado por restos arqueológicos.

Los corredores más interesantes detectados en los análisis cartográfico y de fotointerpretación fueron los siguientes: a) Junín – Zapiga, b) Alto Hospicio – Humberstone, c) Punta Gruesa – Pozo Almonte, d) Patache – La Tirana y e) Guanillos/Chipana – Salar de Llamara. Las características más sobresalientes son las siguientes: el acantilado se presenta más bajo (500 – 600 m) que su promedio altitudinal de modo que la masa de aire tiene un acceso directo desde el mar hacia el interior; se configura en forma de planicie ondulada de un ancho promedio de alrededor de 5 a 10 km limitada por estribaciones cordilleranas E-W; algunas depresiones como salares o serranías transversales interrumpen el paisaje del corredor. Las primeras, colaboran en succionar el viento costero, y las segundas interrumpen el flujo eólico. En estas últimas se encontraron campos de tillandsias cuando su altitud superaba los 900-1.000 metros. En general la trayectoria de los corredores no es absolutamente lineal, sino que a veces el corredor sufre desviaciones, sin embargo logran conectarse con la Pampa del Tamarugal. En general, desde la costa al interior, la disposición de éstos es SW-NE. El más angosto es el de Junín – Zapiga que no alcanza a tener 30 km prácticamente en línea recta en cuya desembocadura en Zapiga se encuentra uno de los sectores del bosque de tamarugos más vigoroso. El más largo es el que se sitúa entre Patache y La Tirana, y en una dimensión intermedia está Chipana-Llamara. Las mayores cumbres se encuentran hacia el sector oriental de la cordillera costera, de allí que en numerosos casos, las altas serranías se constituyen en poderosos obstáculos para la penetración continental de dicha niebla.

Claramente hay una disipación de la niebla a medida que ésta penetra en la cordillera de la Costa. El calentamiento de la superficie evapora las gotas de agua que la componen y normalmente le permite llegar a unos pocos kilómetros tierra adentro. Se requieren condiciones de temperatura especial para que logre llegar a la Pampa del Tamarugal, en general, este fenómeno se produce en las horas de la tarde o en las noches cuando se produce el enfriamiento nocturno. En las mañanas invernales, cuando todavía hay condiciones térmicas para mantener el flujo de niebla, los vientos mar-tierra “vienen de regreso” y la dirección es de E-W. En varias ocasiones se pudo visualizar que la niebla avanzaba desde la Pampa hacia la costa, pero en general con poco contenido líquido a juzgar por las colecciones de agua registradas.

En la Pampa del Tamarugal se trabajó la hipótesis sobre el origen radiativo de la niebla. La presencia de niebla en dicha pampa puede deberse a que ésta es una niebla de radiación, o a la penetración continental de la niebla advectiva de la costa, o a la combinación de ambas posibilidades. La niebla de radiación se

produce en los meses invernales, cuando las temperaturas nocturnas bajan a cifras cercanas a los 0°C. De allí que es en esta época del año cuando se esperaría encontrar dicha niebla. No así, en verano, cuando las temperaturas mínimas diarias son más altas (del orden de 12°C), y la explicación de la presencia de niebla debiera estar más relacionada con la penetración de niebla advectiva.

Obviamente, la colección de agua en la costa es considerablemente mayor que la de las zonas interiores. En el sector costero de Punta Patache, se registró en el período 1997-2000 un promedio de casi 10 L/m²/día. Claramente el año 1997 clasificado como de Fenómeno de El Niño, fue el año en que el invierno y primavera arrojó las mayores colecciones de agua de todo el período. A modo de ejemplo se entregan los siguientes datos: en 1997, de agosto a octubre tuvo un promedio de captación de 17.3 L/m²/día; noviembre, diciembre de 1997 y enero de 1998, el promedio fue de 11.5 L/m²/día. En 1998 el trimestre febrero-abril bajó a 5.6 y luego en mayo-julio subió a 8.9 L/m²/día.

En el sector intermedio situado en la cordillera de la Costa en el Cerro Guatalaya, los promedios en los mismos años, no llegó a 2 L/m²/día, siendo también 1997, el mejor período de colección de agua de niebla. En algunas semanas se lograron promedios diarios superiores a los 2 L/m²/día (incluso en algunas semanas superó los 4 litros), pero en el período total escasamente se aproxima a 1 L/m²/día.

En la Pampa del Tamarugal no se pudo medir en forma sistemática durante los 4 años, sino que entre el 1° de mayo de 1999 y el 6 de marzo de 2000 se instaló un colector SFC para ser medido semanalmente. Sin embargo, debido a que la niebla tiene bajo contenido líquido y las gotas que la componen son demasiado pequeñas, el agua no escurre por la malla del instrumento, sino que se evapora rápidamente, de modo que se debió hacer además un monitoreo visual. En ese período de diez meses hubo diez días en total con niebla y sólo en cuatro de ellos se colectó agua en el SFC, en el primer evento de un día, se obtuvo 100 cc y en el segundo evento de tres días, 650 cc, la mayoría de ellos ocurrieron en los meses de invierno entre junio y agosto.

Se entregarán también en esta oportunidad los resultados de una transecta estudiada en el corredor Guanillos/Chipana y Salar de Llamara en la Depresión Intermedia. Las mediciones se hicieron en la costa, en el sector intermedio y en la pampa entre los días 13 y 15 de enero de 1998. En ese período hubo niebla sólo en la costa, pero los datos meteorológicos reflejan las condiciones de continentalidad y de costa. En el invierno de ese mismo año, si hubo niebla en Llamara del 4 al 12 de agosto del mismo año.

Las temperaturas de verano muestran una clara diferenciación entre la costa y el interior, la oscilación térmica del período en la proximidades del acantilado costero fueron de 6°C (15-22°C), en el sector intermedio 7°C (15-22°C) y en el salar, 19° C(11-30°C). Se demuestra así la influencia marina en el sector intermedio. Las mayores temperaturas pampinas se dan entre las 13 y las 14 horas, comenzando un calentamiento rápido a partir de las 9 horas. En el invierno de 1998, las oscilaciones del período fueron mayores, en la costa fueron de 13°C y en la pampa llegó a 28° (-1°C y 27°C). El enfriamiento nocturno y el calentamiento diurno es notorio en la pampa (Galaz, 1998).

La humedad relativa tiene un comportamiento similar, en la costa se presenta siempre sobre los 80%, en el sector intermedio comienza un descenso de ella fuerte a partir de las 12 horas hasta las 15, llegando en las noches a 100%. En la pampa, en las noches, la humedad es muy alta, próxima a los 90%, incluso en las madrugadas llegó a 100%, pero a mediodía desciende la humedad a valores cercanos a 40%. En invierno, en la costa, el comportamiento se mantiene sobre los 85%, es más errático y más horas con 100% (niebla). En la pampa hubo en los primeros 4 días de medición (4-8 agosto 1998), humedad relativa alta en las primeras horas de la madrugada (en torno al 100%) y bajando durante el día.

En cuanto a la velocidad del viento en las estaciones, en la costa en verano no excedieron los 4 m/s con períodos de calma entre las 21 horas y las 12 del día siguiente. La pampa presentó velocidades máximas en torno a los 10 m/s en torno a las 16 horas y permanece el viento hasta las 22 horas. El sector con mayor velocidad de viento se encontró en el sector intermedio que sobrepasaron los 15 m/s alrededor de las 18 horas. Es interesante la forma en que fluctúa la fuerza del viento a lo largo del día. Las direcciones de viento presentan uniformidad en verano en las horas del día en torno a los 270° (W) típicas de las brisas mar-tierra. En las noches hubo calma por lo cual no se pudo constatar el viento del E en este período. En invierno, la dirección claramente varía de día y noche de acuerdo el calentamiento diferenciado del océano y del continente.

CONCLUSIONES

Se ha intentado conocer el comportamiento de la niebla en la Región de Tarapacá, en relación a su penetración continental. Se detectaron 9 sectores de mayor potencial de presencia y colecta de agua de niebla en la costa. Se midió sistemáticamente en uno de ellos (Patache) entre 1997 y 2000 llegando a un promedio cercano a los 10 L/m²/día. Se detectaron 5 corredores de penetración, concluyéndose que el que ofrece las mejores condiciones para el desplazamiento de la niebla se encuentra entre Chipana y Llamara. Con los datos obtenidos no se puede corroborar el origen de la niebla en este corredor, pero es posible argumentar una hipótesis sobre el origen radiativo en la pampa junto con una posible llegada de niebla advectiva desde la costa. Asimismo, se detectó a una distancia de 20 km en el corredor Alto Hospicio – Humberstone, en el cerro Guatalaya una enorme disminución de la colecta de agua de niebla, la que arrojó un promedio en torno a 1 L/m²/día.

Para mejorar la metodología empleada, por la enorme superficie del área de estudio y las características estacionales de la niebla, se debiera complementar con análisis de imágenes de satélite (GOES/NOAA) y estaciones de registros meteorológicos continuos. Sin embargo, los estudios de la vegetación pueden ser excelentes indicadores de presencia y potencial de colecta de agua de la niebla.

BIBLIOGRAFÍA

- Cereceda P. y Schemenauer, 1996. "La niebla, recurso para el desarrollo sustentable de zonas con déficit hidrológico" en *Clima y Agua, la gestión de un recurso climático*. Marzol M^a V., Dorta P y P. Valladares editores. La Laguna, Canarias, España.
- Galaz G. 1998. "Análisis temporal del comportamiento de las nieblas costeras y su influencia hacia la Pampa del Tamarugal. Región de Tarapacá, Chile. Seminario para optar al grado académico de licenciado en Geografía, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Hevia, H. 1999. "La influencia de la topografía sobre los campos de vientos de superficie y su relación con la niebla en la zona costera de la Primera Región, Tarapacá: aproximación a través de la modelación numérica" Seminario para optar al grado académico de licenciado en Geografía. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Salazar, E. 1998. "Estudio de la localización de sitios con potencial de captación de agua de niebla en el Norte Grande de Chile" Seminario para optar al grado académico de licenciado en Geografía. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Schemenauer R.S. y P. Cereceda, 1994. "Fog collection's role in water planning for developing countries" Natural Resources Forum (Revista ONU), Vol 18 (2) 91-100
- Schemenauer R.S. y P. Cereceda, 1993. "A standard fog collector for use in high elevation regions" en Journal of Applied Meteorology
- Schemenauer, R.S. y P. Cereceda, 1991. "Fog water collection in arid coastal location" AMBIO (Royal Swedish Academy of Science), Vol. 20 # 7, 303-308