

# Agua Niebla<sup>de</sup>

Nuevas Tecnologías para el Desarrollo  
sustentable en Zonas Áridas y Semiáridas

EDITORES:

Pilar Cereceda • Pedro Hernández • Jorge Leiva • Juan de Dios Rivera

**Proyecto apoyado por CORFO:** "La Niebla una fuente alternativa de recursos hídricos en zonas semiáridas, con sistemas de captación altamente eficiente y usos no tradicionales". 2011 - 2014

**Institución Mandante:** Dirección General de Aguas

**Institución Ejecutora:** Consultora Profesional Agraria Sur

**Institución Coejecutora:** Pontificia Universidad Católica de Chile

**Revisión Periodística:** Pamela Ramírez R.

**Coordinación General:** Jorge Leiva V.

**Ejecutivo CORFO:** Francisco Jiménez C.

**Impresión:** Impresora La Discusión S. A.

**Tiraje:** 500 ejemplares

Í N D I C E

<b>Prólogo</b>	5
<b>Introducción</b>	7
<b>Capítulo I: Localización geográfica y recurso hídrico</b>	13
1.1 Conceptos Generales sobre la formación de niebla y tipos según origen	13
1.2 Breve Historia de los atrapanieblas	16
1.3 La niebla y los estudios geográficos	18
1.4 Identificación de lugares para la instalación de atrapanieblas	24
1.5 Corroboración de resultados: Estudio de Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)	32
1.6 Conclusiones	34
<b>Capítulo II: Instrumentación de los atrapanieblas</b>	37
2.1 Instrumentación: Propósito	37
2.2 Tipos de sensores para medir el agua disponible en un determinado lugar	38
2.3 Sensores para la medición del comportamiento de los atrapanieblas	44
2.4 Adquisición, almacenamiento y transmisión de datos	45
2.5 Conclusiones	47
<b>Capítulo III: Diseño y eficiencia de atrapanieblas</b>	49
3.1 Componentes de los atrapanieblas	49
3.2 Principio de operación y eficiencia de colección	50
3.3 Mallas para atrapanieblas	56
3.4 Análisis estructural	56
3.5 Diseños de atrapanieblas	60
3.6 Innovación para la optimización de los atrapanieblas	65
<b>Capítulo IV: Construcción, operación, inspección y mantenimiento de los atrapanieblas</b>	69
4.1 Compra de elementos y fabricación de piezas y partes	69
4.2 Acceso y transporte de materiales, piezas y partes	70
4.3 Montaje de atrapanieblas	74
4.4 Operación	86
4.5 Inspección	86
4.6 Mantenimiento	87
<b>Capítulo V: Uso del agua de niebla</b>	89
5.1 Antecedentes generales	89
5.2 Usos actuales y potenciales del agua de niebla	96
5.3 Experiencias en el uso del agua de niebla en Chile y el mundo	99
<b>Capítulo VI: Metas cuantitativas para la captación de niebla</b>	111
6.1 Desafíos: Cantidad de agua captable por los atrapanieblas	111
6.2 Precio de otras alternativas de agua potable	113
6.3 Metas cuantitativas para nuevos proyectos de captación de niebla	114
6.4 Efectos económicos de la acumulación, distribución y recursos humanos	118
6.5 Cambios en la factibilidad de nuevos proyectos en el futuro	120
6.6 Otras consideraciones socio-económicas y efectos	122
6.7 Conclusiones	123
<b>Reseña Autores</b>	131



## P R Ó L O G O



## La cosecha del futuro

No cabe duda que la escasez hídrica que afecta al país y particularmente a la Región de Coquimbo, es un fenómeno permanente y que no desaparecerá con una lluvia. La falta de agua es una condición con la cual los diversos sectores productivos de la zona deben comenzar a convivir, buscando soluciones creativas y de bajo costo.

La investigación y desarrollo de sistemas que cosechen el agua que trae la abundante niebla de las zonas costeras de la región se perfila como una de las soluciones más prometedoras, ello en cuanto pueden obtener grandes volúmenes de este vital elemento sin el costo energético que implican otras tecnologías.

La sequía está provocando transformaciones profundas. Tanto en las ciudades, como en las zonas rurales, la existencia cotidiana tal como la conocemos está en riesgo. El futuro de las actividades económicas y productivas en la región, como son la agricultura y la ganadería, pasa inexorablemente por la disponibilidad de agua.

Si no se cuenta hoy con respuestas para revertir este gran desafío es evidente que las oportunidades para los habitantes de esta zona se verán mermadas, incrementando aún más el salvaje abandono de la vida rural y la pérdida de identidad como territorio, lo que a la larga redundará en una disminución de la competitividad de nuestro país en su conjunto.

Bajo este contexto, el apoyo a este proyecto tiene un efecto multiplicador por lo promisorio de la tecnología desarrollada. No es difícil imaginar la existencia en las próximas décadas de grandes praderas de atrapanieblas en los cerros de la región, instalaciones que cosecharían el agua como pilar fundamental de nuestro desarrollo.

**Andrés Sánchez Araya**

*Director Regional*

*Dirección Regional de CORFO Coquimbo*



## I N T R O D U C C I Ó N

## Antecedentes del proyecto

Hace 50 años pocos sabían en Chile que la niebla podía ser un recurso de agua. Solo los habitantes de Antofagasta veían con estupor, cómo un gran aparato de casi dos pisos en la Universidad Católica del Norte colectaba muchísima agua. El inventor de este peculiar instrumento fue el profesor de esta universidad, Carlos Espinosa, quien es considerado el “padre de la camanchaca”.

Por esa misma época, en las Islas Canarias en España, también se hacían ensayos para la colecta de agua en paneles de gran tamaño. Ellos tenían la tradición de los aborígenes que recolectaban agua de niebla que goteaba de los árboles. En tanto, en el país africano de Cabo Verde, por esos años un agricultor plantó una hilera de agaves de los más grandes y en las mañanas iba a regar sus hortalizas y frutales plantados cercanos a sus ramas en forma bote, en las que juntaba suficiente agua. Todo se veía fascinante y entretenido, sin embargo, pocos creían que algún día podría ser un recurso hidrológico a gran escala.

En los años 80 del siglo pasado, el Instituto de Geografía de la Pontificia Universidad Católica de Chile inició una investigación científica para ubicar los lugares de mayor niebla y conocer cuánta agua se podía colectar. Esto se hizo en la IV Región de Coquimbo y, después de trabajar en Temblador, se inició una investigación en los cerros de la mina El Tofo. A los pies de estos cerros está la caleta de Chungungo que recibió agua de la mina de hierro de su cima, hasta que ésta cerró en 1973.

Con paciencia los investigadores iban mes a mes a medir sus colectas de agua, especialmente el Dr. Horacio Larraín, quien prontamente fue conocido como el “loco de la camanchaca” al igual que el resto del equipo. Fue en 1987 cuando se inició una investigación científica de alta calidad, gracias a la asesoría de profesionales del Ministerio de Medio Ambiente de Canadá, entre ellos el Dr. Robert S. Schemenauer, y con el financiamiento del Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID) de ese mismo país. Es así como se logró reconocer la potencialidad de la nube estratocúmulo que genera la niebla (globos sonda y monitoreo aéreo), se midieron numerosos lugares con instrumentos más sofisticados, se analizó la calidad del agua de la niebla, y se trabajó con la comunidad de Chungungo que a esa fecha recibía agua de un camión aljibe una vez a la semana. El agua se depositaba en tambores de 200 litros, de aquellos que se fabricaban para transportar aceite en ese tiempo.

El CIID puso como condición que inmediatamente se construyeran 70 atrapanieblas y que se dotara de agua a Chungungo. Esta difícil tarea fue encomendada a la Corpo-

ración Nacional Forestal, CONAF, de la IV Región, entidad que cumplió a cabalidad su tarea en un año. A fines de los 80, solo faltaba la cañería de 6 km de longitud, la que fue donada en 2002 por la Embajada de Canadá. En ese momento las 100 familias de Chungungo recibieron agua mediante un grifo en cada una de sus casas.

La gran hazaña de este episodio, fue atreverse a hacer un proyecto que demostró al mundo que el recurso de la niebla es factible y fácil de implementar. Lo encomiable del equipo CIID, Universidad de Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile y CONAF, es que fueron pioneros en suministrar agua de niebla en forma masiva, demostrando que es de buena calidad y constituye una solución para los pueblos alejados de fuentes de agua potable. En la década del 2000, el sistema de atrapanieblas dejó de operar por falta de mantención y fue desmantelado de a poco por la gente del lugar.

La pregunta que queda es ¿Por qué si fue tan exitoso el proyecto, éste no fue replicado en todas las caletas del norte de Chile? Fue conocido mundialmente, se hicieron cientos de reportajes y al menos, una veintena de películas extranjeras se filmaron en el pueblo. Se plantaron hortalizas y frutales, se hizo una planta para faenar pescado y una plaza con flores y árboles, además la comunidad empleó el agua en pequeñas unidades agrícolas y fueron forestadas superficies significativas con eucaliptus y especies nativas, los primeros para tener leña y los segundos para estudiar su recuperación.

La respuesta es compleja y tiene que ver con la organización de la administración del sistema completo y la falta de acuerdos de la comunidad (Nef, 2001, de la Lastra, 2002). Otro factor que también influye es que los atrapanieblas son caros en relación al agua que producen.

Lo importante es que después de esta iniciativa siguen apareciendo comunidades que construyen sus atrapanieblas para uso doméstico, para su ganado, otras para forestar. Esto ha ocurrido no tan sólo en Chile sino que en muchas partes del mundo y en los cinco continentes. De esta forma, se activaron numerosos proyectos, comenzando por la formación de la ONG canadiense FogQuest, que ha hecho una veintena de proyectos en países vulnerables y otros lugares donde se busca conjugar la innovación con el emprendimiento.

En resumen, está probado que el agua de niebla es un recurso efectivo, pero que tiene todavía limitaciones para su implementación amplia y masiva. La primera está en el diseño de una forma de organizar a los beneficiados para que operen y mantengan el sistema indefinidamente, que se resuelve con tecnologías blandas. La segunda limitación es que el costo por litro de agua producido todavía es elevado, lo que se resuelve con tecnologías duras. Este segundo desafío es el que tomó este proyecto, que estudia y desarrolla formas para hacer más eficiente en costo la tecnología de la cosecha de agua de niebla.



## El proyecto

Para utilizar el agua en forma masiva y ser más eficiente en la captación del agua de niebla, se requiere con urgencia pasar de la fase artesanal a una industrial. Hoy vemos más praderas de cientos de rotores eólicos, cada vez más grandes, generando energía eléctrica y que proliferan en todos los países del mundo.

Algo similar debiese suceder con los atrapanieblas. No se trata necesariamente de que hay que abandonar el sistema tradicional, porque eso lo puede hacer cualquier poblador emprendedor. Sin embargo, si se quiere tener una solución para el cambio climático que indica que la costa de Chile sufrirá una aguda escasez de precipitaciones, y ya que los ciclos de sequía son más largos, especialmente en el Norte Chico, hay que pasar a la fase siguiente que es trabajar en los atrapanieblas, darles mayor eficiencia, bajar los costos totales haciéndolos más resistentes y duraderos, así como amigables con el medio ambiente.

En línea con estos objetivos, lo anterior representa uno de los principales propósitos del proyecto presentado por la **Consultora Profesional Agraria Sur Ltda.**, al Concurso de Bienes Públicos<sup>1</sup> que conduce la Corporación de Fomento (CORFO) de la Región de Coquimbo.

Junto con lo mencionado, también se requiere conocer el potencial de colecta de agua, para estar seguros que hay un flujo constante de agua, conocer los lugares de mayor posibilidad de colectar la niebla y ubicar los sectores donde hay facilidades para la instalación de atrapanieblas, entre otros temas importantes.

El proyecto presentado se denomina “La niebla una fuente alternativa de recursos hídricos en zonas semiáridas, con sistemas de captación altamente eficiente y usos no tradicionales” (Desde ahora nombrado como Proyecto Atrapanieblas) y fue aprobado por un período total de 36 meses, comenzando a ejecutarse en octubre de 2011.

## Los pasos metodológicos y resultados del Proyecto Atrapanieblas

Aunque la mayoría de los pasos metodológicos se fueron llevando a cabo en forma simultánea, se hará un resumen de los principales hitos en este proyecto:

- 1) **Formación del equipo multidisciplinario:** La clave del éxito de este proyecto es la colaboración de diferentes investigadores y profesionales de diversas disciplinas, ingenieros agrónomos (especialistas en desarrollo y gestión de proyectos), ingenieros civiles (Ing. mecánica, eléctrica, materiales, estructural), geógrafos (especialistas en niebla y comunidades), diseño, construcción civil, entre otros.

<sup>1</sup> Las entidades participantes del proyecto postulado al Concurso de Bienes Públicos CORFO son: Consultora Profesional Agraria Sur Ltda., en calidad de ejecutor, Pontificia Universidad Católica de Chile, en calidad de co-ejecutor y la Dirección General de Aguas (DGA), en calidad de mandante.

- 2) **Selección de la comunidad a beneficiar:** Dentro de proyectos de este tipo, ésta es una de las labores más difíciles, pues se requiere que tenga continuidad en el tiempo y sea un referente en la zona donde se habilita el sistema. Además, la comunidad debe tener tierras donde haya niebla, siendo el caso de Majada Blanca. En este sentido, se debió evaluar si había potencial para hacer un ensayo agrícola experimental y viabilidad con los intereses comunitarios.
- 3) **Cuantificación del agua colectable en la Región de Coquimbo:** Se avanzó en la detección de la niebla mediante el conocimiento de la dinámica de la nube estratocúmulo que produce la camachaca y también en la forma en que ésta se comporta con el relieve. Esto se realizó con imágenes de satélites y diversas técnicas de procesamiento de la información digital, de tal manera que se construyó un Sistema de Información Geográfica que muestra los cordones montañosos de la Región de Coquimbo con buenas condiciones para aprovechar la niebla como recurso hidrológico. La cartografía presenta las serranías que tienen las mejores altitudes donde se forma la niebla, exposiciones a los vientos predominantes y pendientes susceptibles de ser utilizadas para la instalación de atrapanieblas.
- 4) **Selección de sitios con niebla:** Existe un protocolo que ha sido usado en numerosas oportunidades para este reconocimiento, el que una vez conocido el terreno de la comunidad escogida, fue necesario ubicar los sectores de mayor potencial de colecta de niebla. Otras consideraciones importantes fueron que el lugar debía tener camino, espacio para instalar los atrapanieblas y cuidar el medio ambiente. Se instalaron 5 neblinómetros estándar, los que fueron medidos semanalmente y cuya información dio la pauta para el lugar de la construcción de los aparatos colectores.
- 5) **Instrumentos:** Se definieron los instrumentos necesarios para la prospección de la niebla, además de neblinómetros, siendo instrumentos de registro continuo y de entrega de datos en tiempo real. Entre ellos, se diseñó y construyó un sistema para conocer el contenido líquido de la niebla. Este sistema instrumental no ha sido utilizado aún en los proyectos de niebla ni en Chile ni en el extranjero, pues normalmente se usa una estación meteorológica que refleja un amplio lugar. En este caso, por ser de bajo costo, se pueden tener en la cercanía a cada neblinómetro o atrapanieblas.
- 6) **Elección del lugar definitivo para el sistema de captación de agua de niebla:** Se debieron conjugar factores como niebla, espacio, cercanía a la comunidad, elección del área de plantación, tomando en cuenta la pendiente por donde bajaría el agua desde la cima neblinosa a la soleada pampa de Pan de Azúcar, pendiente, calcular el agua factible de colectar, entre otras consideraciones.
- 7) **Instalación de Atrapanieblas:** Uno de los aspectos que más labores requirió fue

el estudio, diseño y construcción de los atrapanieblas de gran tamaño, que se detalla en los capítulos III y IV. Normalmente, los atrapanieblas más usados en Chile han tenido una superficie de malla de 40 m<sup>2</sup>, ubicada en medio de dos postes, normalmente hechos de Eucaliptus, separados por 10 metros y con una altura que no supera los 6 metros desde el suelo. En el Proyecto Atrapanieblas se construyeron 3 atrapanieblas, cada uno de ellos con superficie de malla de 150 m<sup>2</sup>, usando postes metálicos de 9 metros de altura y distantes a 20 metros.

Aquí se requirieron cálculos estructurales, resistencia de las mallas, prueba de distintas mallas, diseños, construcción de los grandes aparatos con un grupo de trabajadores que debieron pernoctar en la cima del cerro, con constante supervisión del equipo técnico y además, mantener el matorral lo más inalterado posible y no hacer nuevas huellas, sino que usar las ya hechas por los baqueanos y motoqueros.

- 8) **Parcela de Experimentación:** En forma paralela a estas etapas, fue necesario diseñar y preparar una parcela demostrativa para el uso del agua generada. Para esto se establecieron especies de baja demanda hídrica: Acacia saligna como especie forrajera, Olivos y Viñas viníferas. La unidad demostrativa consideró una superficie de 2.500 m<sup>2</sup>, un estanque de acumulación de agua de 12 m<sup>3</sup> y un sistema de riego por goteo para cada una de las especies establecidas.

Cada una de estas etapas de la parcela de experimentación fue un desafío, ya que la niebla no está disponible en forma regular. Además, se sufrió una de las sequías más severas en décadas, de modo que el estanque de acumulación cumplió un rol esencial.

Lo importante, es que hoy se pueden ver los atrapanieblas funcionando y las plantas creciendo. En este sentido, se está consciente de que queda mucho por hacer, pero se trata del inicio de la etapa industrial de la colección de agua de niebla, donde cada pieza del atrapanieblas está calculada, tiene planos y es relativamente fácil de instalar. La prospección de la niebla demostró la importancia de contar con modelos de vientos antes de instalar los neblinómetros, además de una buena cantidad de observaciones que se irán trabajando a medida que se vaya haciendo masivo el uso de los sistemas de captación de nieblas.

## Presentación del Libro

Las páginas siguientes de este libro, se dividen en 6 capítulos, los cuales presentan los resultados relevantes del Proyecto Atrapanieblas, más diversos antecedentes de la experiencia acumulada por años por parte de los autores y miembros del equipo técnico que participó, así como también numerosa información secundaria proveniente de diversas fuentes.

Al momento de darle curso a este libro, el propósito central fue dar a conocer la importancia, potencialidades y factibilidad de usar el recurso agua de niebla en localidades costeras del norte del país. De esta manera, se presenta como un instrumento de fácil lectura, orientado tanto a profesionales, como a investigadores y sobretodo, potenciales usuarios de este recurso hídrico.

## Referencias

de la Lastra, C. (2002). *Report on the Fog-Collecting Project in Chungungo: Assessment of the Feasibility of Assuring its Sustainability*. Recuperado de <http://www.rexresearch.com/fog/chile.pdf>.

Nef, J., (2001). *An Assessment of the state of the fog-collection project in Chungungo, Chile*. Report to the Latin American and Caribbean Research Office (Montevideo) of the International development Research Centre (IDRC). Recuperado de <http://idl-bnc.idrc.ca/dspace/bitstream/10625/25941/1/118215.pdf>

## C A P Í T U L O I

## La Niebla: Localización geográfica y recurso hídrico

Pilar Cereceda T.

*Profesora Titular, ex Directora Centro del Desierto de Atacama,  
Pontificia Universidad Católica de Chile.*

El presente capítulo tiene por objeto entregar algunos conceptos generales del fenómeno atmosférico de la niebla y una breve historia de los atrapanieblas en el mundo y en Chile. En este sentido, analizaremos sus tipos, características físicas, e indicadores, así como métodos y técnicas para reconocer zonas con potencial de colecta de agua de camanchaca, nombre con que se conoce a la niebla costera del norte de Chile.

### 1.1 Conceptos generales sobre la formación de niebla y tipos según origen

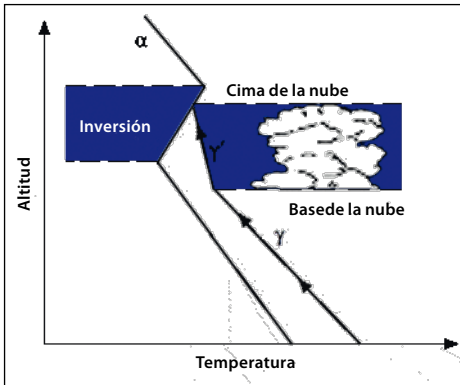
La **niebla o neblina** es un fenómeno geofísico y geográfico que se da en casi todos los ámbitos del mundo. En el territorio nacional, la niebla es frecuente en la costa y altas montañas andinas. Se define como una masa de aire compuesta por minúsculas gotitas de agua (1 a 40 micrones), las que por ser tan livianas no caen, sino que se mantienen suspendidas a merced del viento si se encuentran en la superficie de los continentes o de los océanos, mientras que si están en la atmósfera se denominan nubes. Hay numerosos tipos de niebla, pero aquí sólo se analizan aquellas que son un recurso hidrológico ya probado.



**Foto 1.1:** La niebla es una nube a ras de suelo. En este caso se forma en el océano y es interceptada por el relieve montañoso de Tarapacá, Chile (Pilar Cereceda).

Una de las causas de la formación de las nubes y niebla se debe a la presencia de anticiclones o centros de alta presión. El Anticiclón del Pacífico Suroriental está presente frente a las costas de Ecuador, Chile y Perú. Éste produce una inversión térmica por subsidencia, es decir, aire descendente desde la alta atmósfera que se calienta por

compresión (Ver Figura 1.1). Esto se debe al calentamiento adiabático de las capas intermedias de la atmósfera, provocado por el movimiento descendente de aire de los centros de alta presión.



**Fig 1.1:** Inversión de Subsidencia en altura (Climatología, Cuadrat y Pita, 1997).

Esta inversión no permite el desarrollo en altura de la nubosidad producida bajo ella, formando generalmente una nube estratocúmulos. Este fenómeno explica que cuando se mira la nubosidad desde un avión o montaña, ésta tiene superficie plana y penetra por los valles de los ríos (Cuadrat y Pita, 1997).



**Foto 1.2:** Nubes y niebla en Isla Gran Canaria (P. Cereceda).

La **niebla de advección** es muy común en los cordones costeros del norte. Se forma a partir de una nube estratocúmulos (Ver Foto 1.3) que se genera en el mar a cientos de kilómetros de la costa con una presencia prácticamente constante, pero variable en altitud, aproximadamente entre los 500 y 1.200 metros sobre el nivel del mar. Esta nube es desplazada por el viento desde el mar hacia el litoral y la cordillera de la Costa (advección). Allí es interceptada por las laderas y cimas de los farellones y cerros, transformándose en niebla, por lo cual se le define como una “nube a ras de suelo”.



**Foto 1.3:** Nube estratocúmulo y niebla en cerro Talinay, Región de Coquimbo (P. Cereceda).

La **niebla orográfica**, conocida también como “nube gorro de montaña” (“hill cap cloud”), es una nube frecuente que se manifiesta en las zonas montañosas del mundo. En Chile son típicas en las altas cumbres de Los Andes y en las serranías de la cordillera costera. Se produce a partir de una masa de aire húmeda, con mucho vapor de agua, proveniente del mar; la cual al enfrentar la ladera de barlovento de los cordones litorales, asciende y se enfría por dilatación, condensando dicho vapor de agua en pequeñas gotitas que forman la niebla. Al otro lado de estas serranías, en el sotavento, durante el día el calor del interior del lugar disipa la niebla al evaporar sus gotitas (Cereceda et al, 2002).



**Foto 1.4:** Nube y niebla orográfica en Santuario Padre Hurtado, IV Región (P. Cereceda).

En el Parque Nacional Fray Jorge, en la Región de Coquimbo, existen numerosos bosques entre los 500 y 700 metros sobre el nivel del mar. En la década de 1960, el científico Johan Kummerow calculó que el agua que recibía este bosque por interceptación de la niebla era alrededor de 1.000 milímetros anuales, similar a la precipitación promedio de la Región de la Araucanía, al sur de Chile. Esto contrastaba con los 100 milímetros anuales que ocurren en los alrededores del parque; por lo cual, era la acción de la niebla la que explicaba la existencia del bosque relicto de cientos de años que permanecía

con alto vigor (Kummerow, 1966). Además, la cantidad de agua dentro del bosque es tan abundante, que incluso es capaz de regar la vegetación bajo el nivel de la niebla.

## 1.2 Breve historia de los atrapanieblas

La niebla ha sido estudiada desde tiempos inmemoriales por sus consecuencias positivas y negativas, relacionadas al agua que forma asociaciones vegetacionales, a las catástrofes en las comunicaciones, a la contaminación de lluvias y nieblas ácidas, entre otras razones, que incluyen la producción de agua a partir de atrapanieblas.

La historia de la “cosecha” de agua de niebla no es nueva. En el siglo XVI en la isla El Hierro del archipiélago de las Islas Canarias, España, los cronistas cuentan que había un árbol, “el garoe”, que abastecía a la población autóctona con el agua que recolectaba de la niebla (Hernández, A. 1998). Esta técnica todavía se usaba en 1990 en la península arábiga, con dos olivos que entregaron durante el monzón de ese año, 1.000 litros de agua diarios (Frigerio, 1990).



Fig. 1.2: El árbol Garoe, pintado en el S. XVIII (Garoe, Hernández A.,1998).



Foto 1.5: Estanque en Sultanato de Omán, 1990 (P. Cereceda).

A inicios del siglo XX, el profesor alemán Marloth midió el agua que se podía coleccionar en Sudáfrica y publicó uno de los primeros artículos en un *journal* de ciencias sobre el tema. A mediados del mismo siglo, en islas de Hawai se hacían instrumentos para medir y utilizar el agua en zonas de niebla. Por ejemplo, en la isla de Lanai se plantaron cientos de araucarias en la línea de cumbres que intercepta la niebla, con el fin de atrapar su agua y recargar los acuíferos.





**Fotos 1.6 y 1.7:** Lanai, "la isla de las araucarias" que viven del agua de la niebla (P. Cereceda).

En el caso de Chile, a fines de la década de 1950 en Antofagasta, el profesor Carlos Espinosa, de la Universidad Católica del Norte, medía la niebla en los cerros cercanos a la ciudad. Desde esa época ha dedicado gran parte de su vida y de sus actividades de investigación a crear prototipos para coleccionar el agua; siendo sus instrumentos famosos en todo el mundo.



**Foto 1.8:** Macrodiamante diseñado por el Profesor Carlos Espinosa (P. Cereceda)

En 1980, el Instituto de Geografía de la Universidad Católica de Chile, inició estudios de Geografía de la Niebla en el norte de Coquimbo, en playa Temblador, caleta Chungungo y El Tofo. Allí se hicieron mediciones de la distribución espacial y temporal de la niebla; así como se cuantificaron los lugares de mejor colecta de agua en esa zona (Cereceda et al., 1997).



**Foto 1.9:** Niebla en el Portezuelo, El Tofo (P. Cereceda).



**Foto 1.10:** Portezuelo de El Tofo, con niebla advectiva pasando por atrapanieblas, 1992 (P. Cereceda).



Fotos 1.11, 1.12 y 1.13. Prof. H. Larraín y Don Segundo, cabrero residente, en El Tofo. Los dos primeros neblinómetros fueron utilizados en los inicios de las investigaciones de la niebla. El tercero es un "Standard Fog Collector", SFC, hoy usado ampliamente por los científicos especialistas en el tema. La foto 1.14, a la derecha, muestra un colector canadiense especialmente diseñado para determinar la calidad química del agua (P. Cereceda).

Tal como se mencionó anteriormente en la introducción, en 1987 el Centro Internacional de Investigaciones de Canadá (CIID), financió un proyecto donde se unieron la Universidad de Chile, la Universidad Católica de Chile y la Corporación Nacional Forestal, CONAF-Coquimbo, construyéndose 100 atrapanieblas en la comunidad de Chungungo.

El objetivo del proyecto fue dotar a cada una de las 90 casas del pueblo con grifos que les llevara agua directamente desde los atrapanieblas a su vivienda, objetivo que se cumplió ampliamente.

El Dr. Robert Schemenauer, del Ministerio de Medio Ambiente de Canadá, lideró estas investigaciones y organizó a los científicos de nubes, nieblas y rocío para juntarse e intercambiar los resultados de sus estudios en una Conferencia Internacional que comenzó en 1998 en Vancouver, Canadá, siendo su última versión (6ª conferencia) el 2013 en Yokohama, Japón. El Dr. Schemenauer actualmente es Presidente de la ONG Fogquest, una organización de caridad para los países que sufren escasez de agua; en la cual profesionales y estudiantes chilenos llevan a cabo tareas de terreno en los diferentes países asistidos ([www.fogquest.org](http://www.fogquest.org)).

### 1.3 La niebla y los estudios geográficos

Numerosas disciplinas científicas estudian la niebla. Entre las principales, están la geofísica, geoquímica y la meteorología. Los geógrafos trabajan la localización de la niebla, su comportamiento espacial y temporal y la cuantificación del agua colectable de ella, entre otros tópicos relacionados con comunidades rurales.

Actualmente, ingenieros, constructores y diseñadores se dedican a la creación de instrumentos de medición, de colectores de agua de gran tamaño y eficiencia (Investigación, Desarrollo e Innovación Tecnológica: I+D+i) y a formas de recolección y conduc-

ción del agua. Biólogos y biogeógrafos, ecólogos, agrónomos e ingenieros forestales estudian su relación con la vegetación en ecosistemas de niebla.

El equipo "Acquaniebla", del Centro del Desierto de Atacama de la Universidad Católica de Chile (CDA-UC), ha estado trabajando desde 1980 las variables geográficas que determinan la colecta de agua de niebla y ha publicado en numerosas revistas científicas sus resultados sobre las mediciones hechas en distintos lugares del mundo. Como resultado, ha definido tres niveles de análisis:

- A macro escala: se refiere a la circulación general de la atmósfera. Por ejemplo, centros de presión y corrientes marinas
- A meso escala: Que busca rasgos geomorfológicos, tales como cordones montañosos que interceptan las nubes y forman la niebla y corredores de penetración continental de niebla de advección.
- A micro escala: Donde la topografía es esencial para la localización de atrapanieblas, analizando pendientes, orientación de laderas a los vientos predominantes y rasgos locales que aumentan el potencial. La geomática es hoy una herramienta importante en el tema.

Tomando en consideración que el presente libro busca entregar herramientas para un público no especializado, que le permita iniciar y mantener proyectos de aprovechamiento de la niebla; se trabajarán los niveles necesarios para localizar y definir la colecta de agua.

### 1.3.1 Indicadores geográficos de presencia de niebla costera en Chile

Una serie de condiciones geográficas son cruciales para conocer los lugares donde la niebla está presente. La mayoría tiene que ver con la geomorfología y su relación con el viento. La niebla como recurso hídrico está presente fundamentalmente entre el litoral y cordillera de la Costa, extendiéndose desde el extremo norte y pudiendo llegar incluso hasta la Región del Biobío.

A continuación, se hace énfasis en los indicadores, métodos y técnicas que pueden

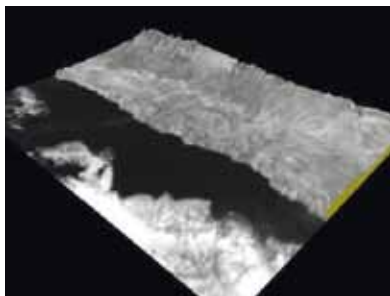


Fig. 1.3: Tarapacá con nube estratocúmulos en el mar. (M. Lagos y M. Farías, 2005).

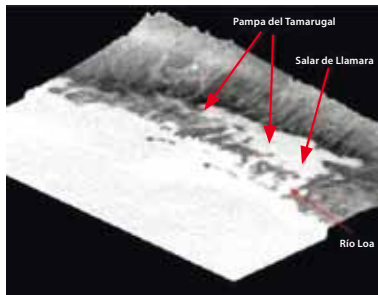


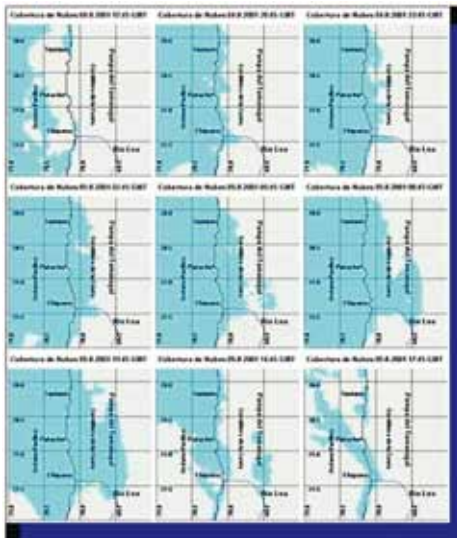
Fig. 1.4: El mismo lugar con nube penetrando hasta la Pampa del Tamarugal a través de corredores (M. Lagos y M. Farías, 2005).

ser utilizados, según los objetivos del usuario y sus conocimientos en herramientas modernas, como son los sensores remotos y los modelos de vientos.

### a. Presencia, frecuencia y recorrido de la nube estratocúmulo y formación de nubes orográficas.

Los indicadores sobre niebla de advección y orográfica se ha estudiado en Chile a través de imágenes de satélite como las presentadas en las figuras 1.3 y 1.4.

Con imágenes satelitales GOES de varios años del mismo lugar se puede conocer el comportamiento más usual de la nube estratocúmulo y también la frecuencia de la presencia de ella con resolución de 4 x 4 kilómetros.

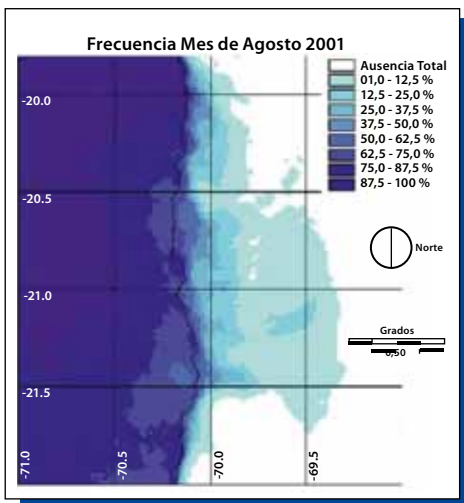


**Fig. 1.5:** Cobertura de nubes bajas (En azul) entrando desde el mar hacia el continente en Tarapacá. (Fariás et al., 2005. Modificado/acortado).

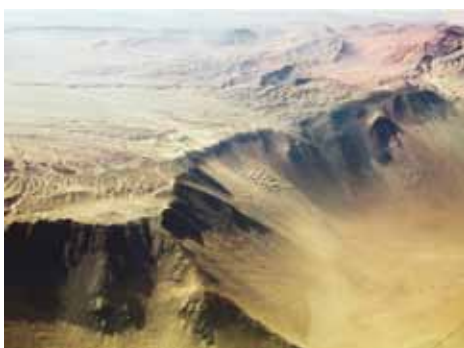
Observando la Figura 1.5, la superficie gris corresponde al terreno no cubierto por la nube y la superficie marcada con azul, corresponde al área cubierta por nubes. La línea negra ondulante que va de arriba a abajo representa la línea de la costa. Con respecto al comportamiento en un día típico de invierno, podemos ver en color azul la nubosidad que a las 17:45 GMT, correspondiente a las 13:45 hora local, está en el mar y solo hay nube orográfica en Iquique y Chipana (cerca de la desembocadura del río Loa). A las 16:45 hora local, comienza a penetrar por corredores entre montañas de la Cordillera de la Costa. Luego, a las 18:45 ya está llegando en algunos corredores a las cercanías de la Pampa del Tamarugal, mientras que a las 20:00 horas ya ha invadido la pampa, comportamiento similar a lo visto en las fotos satelitales presentadas anteriormente.

También es posible saber que durante agosto la frecuencia de presencia de nube estratocúmulo, da como resultado que el lugar con mayor porcentaje de permanencia

se localiza en Patache. Para saber si es niebla, es necesario calcular la altitud del techo de la nube en relación a la topografía, con un modelo de elevación digital de terreno que es lo que muestra el satélite GOES (Figura 1.6). El estudio de imágenes satelitales está siendo cada vez más perfeccionado y de menor costo.



**Fig. 1.6:** Frecuencia de presencia de nubes bajas en Tarapacá. En color azul oscuro mayor frecuencia de nube; se ve que el mar está cubierto casi permanentemente y que en la costa, hay sectores que están en el rango 87,5 a 100% (Farías et al., 2005).



**Foto 1.14:** Patache, lugar de alta presencia de niebla (A. Kirberg).

### b. Relieve: altitud, montañas y lomajes

Las nieblas advectivas y orográficas, que son las que interesan para extraer artificialmente su agua, en Chile las de mayor potencial de colecta se encuentran en altitudes superiores a los 500 metros. Por lo tanto, es necesario ubicar en el área de estudio los cordones montañosos que tengan la altitud suficiente para interceptar la nube estratocúmulo o producir la niebla orográfica.

De acuerdo a los estudios realizados entre junio de 1982 y marzo de 1983 en la ladera de los cerros Carmelita y El Tofo, desde los 300 metros hasta los 900 metros (ubicando

cada 100 metros un instrumento), se constató que los 800 metros en la cima de El Tofo es la mejor localización del área (Schemenauer et al., 1987). En el transecto del cerro Carmelita en los 900 metros fue otro buen lugar de captación, decayendo rápidamente desde los 500 metros hacia abajo (Cereceda et al,1997).

Con esta información y otras fuentes del equipo de la Universidad Católica de Chile no publicadas, se ha definido para la Región de Coquimbo que la zona de mayor captación se encuentra entre los 600 y 900 metros. Sin embargo, por haber sido hechas las mediciones en un año con la presencia del fenómeno de El Niño y que en años siguientes variaron los resultados, se optó por una condición conservadora y se dejó como área de mayor influencia de la nube estratocúmulo y de la niebla orográfica, el sector comprendido entre los 600 y 800 metros para el Norte Chico. En el caso del Norte Grande, la altitud de la niebla se encuentra entre los 700 y los 1.100 metros, siendo esta última la menor productora de agua (Cereceda et al., 2008b).

### *c. Orientación de las laderas del cordón montañoso a los vientos predominantes*

De acuerdo a los datos de Punta Tortuga en el puerto de Coquimbo, los vientos predominantes son del oeste y del suroeste. Sin embargo, el relieve es un gran determinante de la dirección de los vientos, los que se pueden canalizar a lo largo de un valle fluvial (Ej: Río Elqui), o ser interceptado y desviado por montañas. También está influido por micro-relieves como son por ejemplo, quebradas y portezuelos que tienden a acelerar la masa de aire que pasa por ellos, y por lo tanto, aumenta el viento y la dirección está rigida por la orientación de dicho rasgo topográfico.

Otra variable a considerar es la velocidad o fuerza del viento, factor que influye en el mayor o menor potencial de colección de agua de niebla. En líneas generales, esto se explica en que mientras exista más viento, más gotas de agua pasarán por la malla que intercepta la niebla, las que serán colectadas por dicha superficie. De allí que es importante tener en cuenta la topografía de los cordones montañosos y sus formas y pendientes. Las formas, como rellanos, es decir estribaciones o cordones de poca pendiente en su cima y largo trayecto que intercepta el paso de la nube, son de alto potencial de colecta, así como los valles o portezuelos entre cumbres, también serán buenos lugares para la instalación de atrapanieblas. Todas estas variables del viento son tienen relación con el tamaño de las gotas y de la malla que las intercepta, esta última crucial para la colecta de agua.

En relación con el relieve, es importante conocer las geoformas a barlovento y sotavento de una montaña. En las primeras, si un cerrillo obstaculiza el viento, no es favorable; en cambio, si al frente tiene una amplia y pareja terraza marina, será muy positivo. En las segundas, un valle, cuenca tectónica o depresión es bienvenida, porque actúa de centro de baja presión en relación al frío en la superficie del mar, por lo tanto, atrae las masas de aire o viento, el que aumenta su velocidad en la zona de colecta de agua de niebla.

#### d. Pendientes en los cordones montañosos

Las pendientes tienen gran importancia como variable determinante de la colecta de agua. En primer lugar, definen la trayectoria de los vientos, los que a su vez influyen en la llegada de la nubosidad a las montañas. En segundo lugar, determinan la factibilidad de instalar atrapanieblas en sus cumbres. Además, influyen en la accesibilidad a los lugares de alto potencial de agua de niebla, por lo tanto definen los costos.

El número de atrapanieblas que se puedan instalar en la ladera de un cerro estará limitado por las pendientes, las que en acantilados como el llamado farellón costero del norte de Chile, no son adecuados. Sin embargo, una pendiente de 15 a 30 grados puede ser favorable, porque permite instalar atrapanieblas a corta distancia y en paralelo sin interceptar los más bajos a los ubicados a mayor altura. Esto se puede apreciar en el caso de El Tofo, que incluso teniendo pendientes del orden de 20 a 40 grados, permitió instalar atrapanieblas unos detrás de otros, manteniendo las alturas correspondientes.



Foto 1.15: Atrapanieblas de El Tofo. Se construyeron en 1987 y su agua se llevó a Chungungo en 1992 (P. Cereceda).

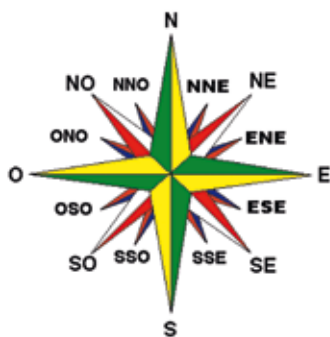


Fig. 1.7 y Tabla 1.1: La Rosa de los Vientos es un buen medio para indicar la orientación de atrapanieblas, pudiendo entregarse la información en siglas, denominación y grados.

1	NNE	Norte Noreste	22.50°
2	NE	Noreste	45.00°
3	ENE	Este Noreste	67.50°
4	E	Este	90.00°
5	ESE	Este Sudeste	112.50°
6	SE	Sudeste	135.00°
7	SSE	Sur Sudeste	157.00°
8	S	Sur	180.00°
9	SSW	Sur Sudoestes	202.50°
10	SW	Sudoeste	225.00°
11	WSW	Oeste Sudoeste	247.50°
12	W	Oeste	270.00°
13	WNW	Oeste Noroeste	292.50°
14	NW	Noroeste	315.00°
15	NNW	Norte Noroeste	337.50°
16	N	Norte	360.00° / 0°

### e. Distancia a la costa

Mientras más cerca de la costa esté un sitio, la nube estratocúmulo tiene menos tiempo y espacio para evaporar sus gotitas de agua condensadas en la atmósfera sobre la superficie del océano. Asimismo, mientras menos interceptación de cerros exista entre el mar y el interior, mayor potencial de colecta de agua habrá, ya que hay menor espacio para que ésta se evapore.

Un cerro aislado, de un eje orientado al oeste, con laderas con exposiciones al viento WNW y SW (Ver Tabla 1.1), y con una distancia al mar de unos 2 a 3 kilómetros de planicie litoral de unos 100 a 200 metros de altitud, sin ningún relieve menor que lo interrumpa, es ciertamente el relieve ideal para colectar agua de niebla. Es el caso de los cerros de Talinay y Fray Jorge, Cerro Grande en las cercanías de Peñablanca o cerros frente a la playa Totoralillo, en la Región de Coquimbo. Sin embargo, hay lugares de alta captación de agua de niebla que pueden estar distantes a 20 kilómetros del mar, pero que al tener un valle fluvial que asciende lentamente hasta los 700 – 800 metros de altitud y por donde se canaliza la nube, también tienen buen potencial, es el caso de cordón Cavilolén, en las cercanías de los Vilos.



**Foto 1.16:** Niebla advectiva en cuesta Cavilolén, que se canaliza por el estero Pupío, Los Vilos, Región de Coquimbo (P. Cereceda).

## 1.4 Identificación de lugares para la instalación de atrapanieblas

Una vez que se ha hecho el estudio teórico, cartográfico y de terreno, donde se han ubicado las mejores zonas de acuerdo a las variables analizadas, es importante obtener información de colecta de agua de niebla, hecha con métodos estandarizados durante



**Fotos 1.17 y 1.18:** SFC con medición manual en Patache (1997) y SFC con medición automática de agua (pluviómetro) y viento (veleta y anemómetro) en cerro frente a Totoralillo (2013). (P. Cereceda).

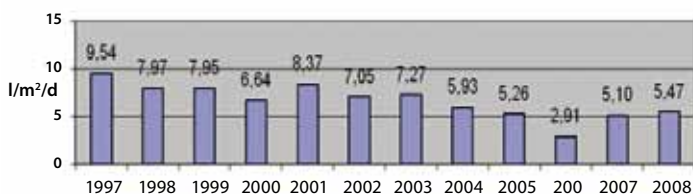


un período de tiempo adecuado y que pueda ser comparada con otras zonas ya registradas en Chile u otras partes del mundo.

El instrumento utilizado es el neblinómetro estándar o SFC, (Standard Fog Collector) con características y formas que deben mantenerse lo más fielmente posible. Las dimensiones son: un marco de doble malla Raschel de 35% de sombra, de 1 m<sup>2</sup> ubicado a partir de 2 metros del suelo (Schemenauer & Cereceda, 1994). Las mediciones pueden hacerse en forma manual y también a través de un pluviómetro y un instrumento de registro continuo (data logger). El ideal es agregar una veleta y un anemómetro para medir el viento, tal como será explicado en detalle en el capítulo 2.

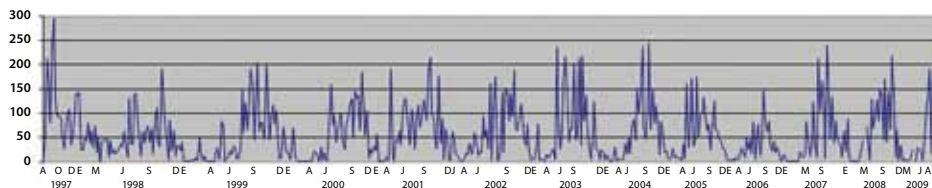
La información entregada por los SFC es de gran valor, ya que los datos se pueden analizar según distintos períodos: diario, mensual, estacional, anual. Esto permite reconocer las épocas de baja colecta, la homogeneidad o desigualdad entre años y con ello, se pueden planificar las actividades a realizar en los distintos lugares monitoreados. En países donde hay suficiente información sobre colecta de agua, como en Chile, la medición se puede hacer durante 6 meses o un año, siempre que no sea considerado anómalo, por ejemplo con presencia de El Niño (Figuras 1.8 y 1.9).

**Captación media Alto Patache  
1997 - 2008**



**Fig. 1.8:** Niebla en Patache 1997-2008 vía SFC (Cereceda et al, 2008a).

**Captación diaria Alto Patache Septiembre 1997 - Septiembre 2009**



**Fig. 1.9:** Niebla en Patache 1997-2009 diaria (Cereceda et al, 2008a).

Analizando la Tabla 1.2, se puede concluir que en uno de los lugares de más alto potencial de colección de agua de niebla, como Patache, se podría obtener con 100 atrapanieblas tradicionales de 40 m<sup>2</sup>, algo más de 30.000 m<sup>3</sup>/año, lo que significa un caudal de 0,13 l/s (Litros por segundo).

Aplicación de la información de colecta de agua en SFC					
Colección de agua en litros por día, promedio anual					
Lugar	SFC 1 m <sup>2</sup>	Colector 40 m <sup>2</sup>	20 colectores 800 m <sup>2</sup>	50 colectores 2.000 m <sup>2</sup>	100 Colectores 40.000 m <sup>2</sup>
Alto Patache	7.81	312	6.250	15.620	31.240
Cerro Guatalaya	0.93	37	740	1.860	3.720
Cerro Moreno	8.26	330	6.610	16.520	33.040
Paposo	3.36	134	2.690	6.720	13.440
Falda Verde	1.43	57	1.140	2.860	5.720
El Tofo	2.98	119	2.380	5.960	11.920

Tabla 1.2: Aplicación de la información de los SFC (Larraín et al, 2002. Modificado J.D. Rivera)

Si los atrapanieblas se industrializan, tal como se trabajó en el proyecto Corfo-Innova Bienes Públicos, Región de Coquimbo, y la eficiencia se logra aumentar, tanto por el diseño del nuevo prototipo, como por el tamaño y el tipo de malla interceptora, se podría esperar que el rendimiento de esos 100 atrapanieblas se dupliquen o tripliquen, y la cifra diaria de agua cosechada sería del orden de 0,4 l/s.

#### 1.4.1 Cuantificación de áreas con potencial de colecta de niebla mediante Sistema de Información Geográfica (SIG)

A continuación se presenta la cuantificación de áreas con potencial de colecta de niebla, a través del Sistema de Información Geográfica (SIG) en la Región de Coquimbo, y una estimación de posible rendimiento en la Región, información que se desprende de la investigación realizada en este proyecto.

Las variables geográficas que se utilizaron fueron las siguientes:

##### ¿Qué es un SIG?

Un SIG es un método en el cual mediante cartografía digital de distintas variables, se pueden unir entre ellas para crear unidades que cumplan un objetivo. Por ejemplo, con un mapa de enfermos de una comuna y la localización de consultorios, uno puede saber si están bien ubicados o si hay espacios vacíos.

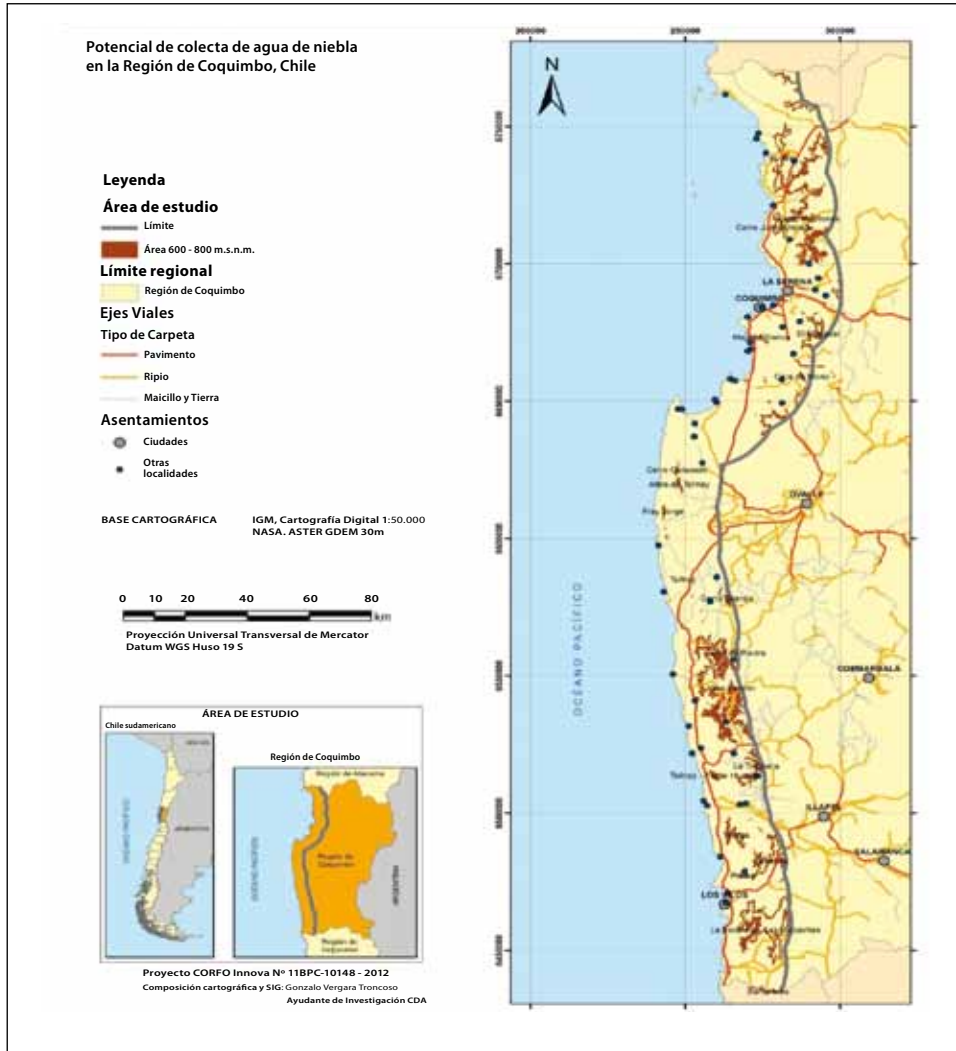
- Delimitación según altitud: Se escogió la altitud de 600 a 800 metros, pero el usuario del SIG puede buscar su predio y delimitar las altitudes de su preferencia. Por ejemplo, puede escoger altitudes entre 500 y 900 metros y luego medir, pudiendo encontrarse con sorpresas positivas. Kummerow midió en Fray Jorge, bajo la cota de 600 metros. Este rango permite cuantificar con seguridad las áreas que necesariamente tendrán niebla cuando se den las condiciones meteorológicas.
  
- Delimitación según exposición de ladera: En el polígono definido por área según altitud, se delimita la zona de exposición al oeste con sus variantes norte y sur; se cuantifica el área que expone a la orientación indicada.
  
- Delimitación de rangos de pendiente: Dentro del polígono definido que expone al oeste, se determinan las pendientes según rangos y se excluyen aquellos que imposibilitan la instalación de atrapanieblas. Este es un sistema muy general para definir el potencial de una región, pero puede significar la primera aproximación para comprender el flujo que es capaz de ser colectado con la metodología y tecnología tradicional.
  
- Distancia a la costa: Se hizo un buffer de 20 km, cifra que corresponde a los estudios hechos en la Región de Coquimbo.

Los productos obtenidos fueron los siguientes:

- Cartografía base: Contiene componentes físicos y humanos y delimita los cordones según la altitud señalada. Luego, se identificaron cerros y cordones montañosos con potencial de colecta de agua. Cada uno de ellos fue cartografiado de acuerdo a las variables o indicadores ya comentados. Los sectores se indican a través de 22 mapas correspondientes a cada área identificada con potencial de colecta de agua de niebla (ordenados por orden alfabético), las que en algunos casos han sido subdivididas para lograr un mayor detalle. Este orden se hizo para facilitar la búsqueda a los usuarios de la Región de Coquimbo que tienen propiedades en las serranías costeras.

Las cartas tienen los siguientes parámetros: Altitud entre 600 y 800 metros; orientación de laderas entre 180 y 360 grados; pendiente, sectores entre 0 y 15 grados, 15 y 30 grados y 30 y 60 grados; distancia a la costa, se hace un área de influencia de 20 km desde la línea de la costa (buffer).

A continuación se observa en las figuras 1.10 y 1.111<sup>2</sup> respectivamente, un mapa base con zonas montañosas y un ejemplo de cartografía de sectores identificados.



**Fig. 1.10:** Carta base que indica los cordones con potencial de colecta de agua de niebla y características geográficas básicas (G. Vergara)

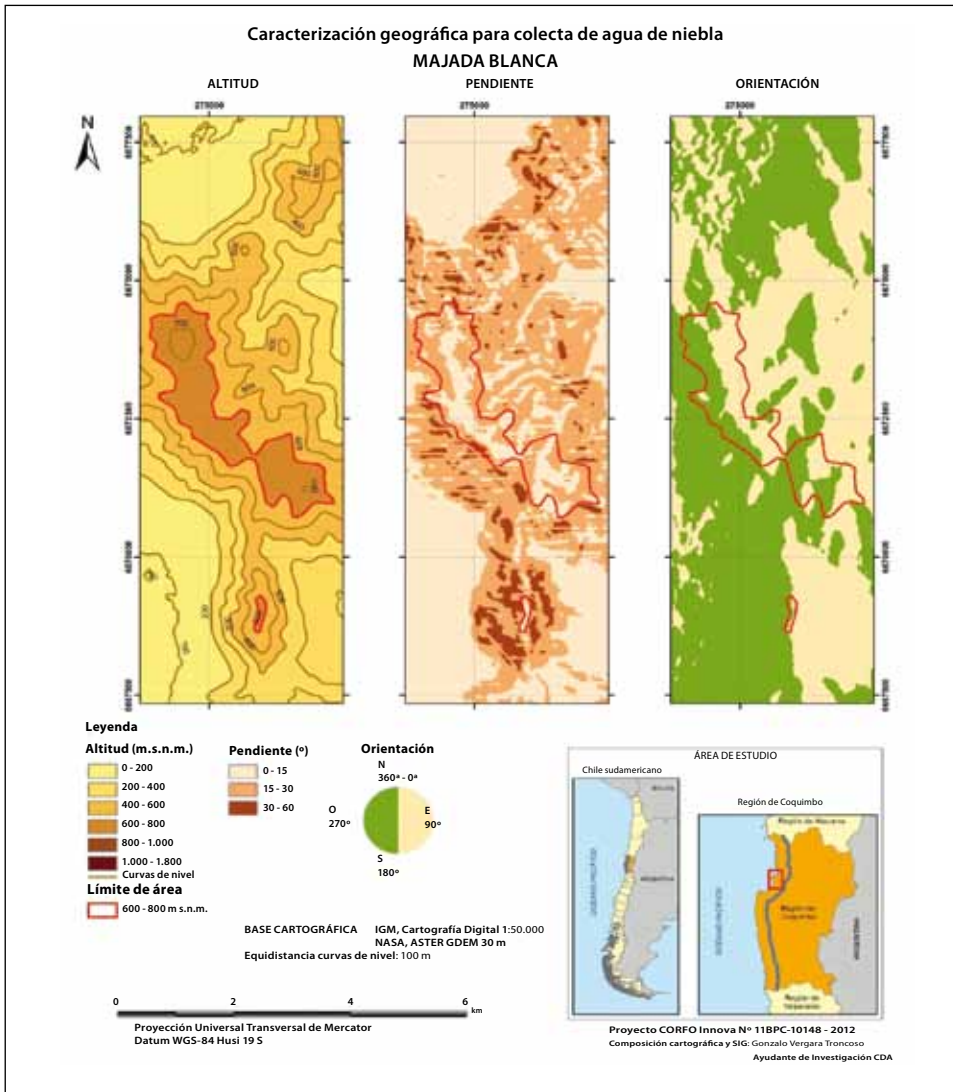


Fig. 1.11: Cartografía tipo que se utilizó para cada uno de los cordones seleccionados con sus antecedentes de altitud, pendiente y orientación. Con esta información se puede cuantificar la superficie en cada una de las variables mapeadas (G. Vergara).

### 1.4.2. Resultados de los sectores cartografiados según variables geográficas

Nombre	Área (ha)				
	0 a 180°	180 a 360°	Total	% 0 a 180°	% 180 a 360°
Altos de Talinay	285,27	243,07	528,33	54	46
Cara de Mono	193,32	149,67	342,99	56	44
Cavilón	2.197,98	2.415,64	4.613,62	48	52
Cerro de Piedra	114,26	382,90	497,15	23	77
Cerro Grande	403,40	474,80	878,20	46	54
Cerro Juan Soldado	898,31	788,03	1.686,34	53	47
Cerro Papilones	7.370,74	8.649,54	16.020,27	46	54
Cerro Quiscudo	159,37	143,11	302,48	53	47
Chincol	177,72	166,03	343,75	52	48
El Chaguar	1.499,54	1.563,09	3.062,63	49	51
El Tofo	2.185,53	1.801,87	3.987,39	55	45
Fray Jorge	168,23	174,73	342,96	49	51
La Escalera - Las Vizcachas	5.084,43	5.744,36	10.828,79	47	53
La Tinguera	1.421,90	1861,77	3.283,67	43	57
Mina de Oro	32,17	25,10	57,27	56	44
Piedra	140,35	128,09	268,43	52	48
San Fermín	10.405,77	12.918,56	23.324,33	45	55
Santa Inés	373,49	551,92	925,41	40	60
Talinay	42,77	54,86	97,63	44	56
Talinay - Padre Hurtado	327,65	297,20	624,85	52	48
Tórtola	1.188,69	1.203,24	2.391,93	50	50

**Tabla 1.3:** Superficie de las laderas aptas para coleccion de agua según orientación (Hectáreas y porcentajes). La altitud comprende las cotas desde 600 a 800 m s.n.m (G. Vergara para Proyecto Atrapanieblas).

Si se observa la Tabla 1.3, hay una gran diversidad de superficies de laderas aptas para la colecta de agua en las serranías. Éstas van desde casi 13.000 hectáreas en San Fermín a 25 hectáreas en Mina de Oro. Lo interesante es que todas ellas, sean grandes o pequeñas, constituyen un gran potencial. Hay que recordar que las áreas adecuadas son las que van de 180 a 360 grados Sur, Suroeste, Noroeste, Norte, pero cabe considerar que el ángulo de incidencia del viento es un factor importante al momento de localizar los atrapanieblas. También hay niebla en zonas algo más altas o más bajas de las cotas 600 a 800 metros. Esto debe ser medido con SFC.

Nombre	Áreas (ha)						
	0 - 15°	15 - 30°	30 - 60°	Total	% 0 - 15°	% 15 - 30°	% 30 - 60°
Altos de Talinay	278,17	243,57	6,59	528,33	52,65	46,10	1,25
Cara de Mono	91,13	206,13	45,74	342,99	26,57	60,10	13,34
Cavilolén	1.020,75	3.030,70	562,16	4.613,62	22,12	65,69	12,18
Cerro de Piedra	133,51	338,05	25,59	497,15	26,86	68,00	5,15
Cerro Grande	458,17	414,51	5,52	878,20	52,17	47,20	0,63
Cerro Juan Soldado	408,15	1.018,55	259,64	1.686,34	24,20	60,40	15,40
Cerro Papilones	7.283,50	7.386,92	1.349,85	16.020,27	45,46	46,11	8,43
Cerro Quiscudo	124,14	168,65	9,69	302,48	41,04	55,76	3,20
Chincol	156,28	181,18	6,29	343,75	45,46	52,71	1,83
El Chuagar	962,95	1.795,23	304,45	3.062,63	31,44	58,62	9,94
El Tofo	819,59	2.499,00	668,80	3.987,39	20,55	62,67	16,77
Fray Jorge	196,15	137,56	9,24	342,96	57,19	40,11	2,69
La Escalera - Las Vizcachas	3.647,27	6.004,77	1.176,74	10.828,79	33,68	55,45	10,87
La Tinguera	1.189,94	1.921,08	172,65	3.283,67	36,24	58,50	5,26
Mina de Oro	24,72	25,34	7,22	57,27	43,16	44,24	12,60
Piedra	106,84	147,33	14,26	268,43	39,80	54,89	5,31
San Fermín	12.183,44	10.465,26	675,62	23.324,33	52,23	44,87	2,90
Santa Inés	200,06	595,95	129,40	925,41	21,62	64,40	13,98
Talinay	23,75	63,06	10,82	97,63	24,33	64,59	11,08
Talinay - Padre Hurtado	204,92	373,94	45,99	624,85	32,79	59,84	7,36
Tórtola	680,76	1.523,81	187,37	2.391,93	28,46	63,71	7,83

Tabla 1.4: Superficie de las laderas según pendiente (hectáreas y porcentajes). La altitud comprende las cotas desde 600 a 800 m.s.n.m. (G. Vergara para Proyecto Atrapanieblas)

En la Tabla 1.4, se define que la mejor pendiente para la instalación de atrapanieblas es la de 0 a 15 grados, sobresaliendo nuevamente San Fermín y Papilones. Esta medición es importante, porque no necesariamente constituye un problema para los colectores, sino que es fundamental tener la información para conducir el agua donde se requiere y también para comprender la accesibilidad. Sin embargo, para instalar atrapanieblas se puede llegar al tramo 15 a 30 grados, sin mayores problemas, aspecto que aquí se toma en cuenta para los cálculos de agua potencialmente colectable.

### 1.4.3. Resultados de la Región de Coquimbo

El estudio de selección de lugares de la Región de Coquimbo con aptitud para la colección de agua mediante atrapanieblas, demostró que hay 22 cordones y cerros con potencial uso del recurso niebla a partir de los 600 metros de altitud.

Con el fin de hacer un cálculo conservador se determinó la superficie en aquellos cerros entre los 600 y 800 metros y con orientaciones de laderas hacia el oeste en sus variantes Sur y Norte (180 a 360 grados). El resultado fue un área de 39.740 hectáreas aptas para la instalación de atrapanieblas. En ellas, los lugares con exposición al Oeste y sus variantes y con excelente pendiente para un sistema de captación entregan un área de 36.439 hectáreas. Es importante reiterar que éste es un dato conservador, ya que la niebla puede llegar hasta los 900 y 1.000 metros sobre el nivel del mar, e incluso en Fray Jorge hay bosquetes de niebla a menos de 600 metros. Además, hay que reiterar que Kummerow hizo su experimento a los 540 metros.

## 1.5 Corroboración de resultados: Estudio de Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

Las imágenes satelitales corrientemente registran la luz visible y la radiación infrarroja que refleja la superficie de la tierra. Los índices de vegetación son combinaciones de estas dos bandas espectrales, cuya función es realzar su presencia en función de su respuesta espectral característica, discriminándola de otros elementos presentes en la superficie como el suelo y agua, y factores como el relieve y atmósfera (Chuvieco, 2002).

En efecto, la vegetación viva absorbe gran parte de la radiación en el espectro visible, que le sirve para la fotosíntesis y refleja gran parte de la radiación infrarroja que no le sirve. La respuesta espectral característica de la vegetación sana se debe, entre otros, a sus procesos fotosintéticos que varían dependiendo de su estado fenológico, situación hídrica y de radiación. Uno de los índices más utilizados, el cual se aplica en esta investigación, es el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), que tiene la cualidad de captar la actividad fotosintética de la vegetación y así permite interpretar la presencia y estado hídrico de ella (Farías et al., 2005)

En esta ocasión, se hizo un estudio especial a partir de la memoria de grado de Catalina Zumaeta (Zumaeta, 2009) y de ella se concluyó que los mejores años para comparar la vegetación en épocas húmeda y seca eran 2002 y 1996. Se trabajó la Región de Coquimbo, analizando el año seco (en relación al húmedo), con el fin de constatar que las áreas seleccionadas eran las correctas. La respuesta fue positiva como lo demuestran los mapas (Figura 1.12)<sup>3</sup>. Efectivamente el NDVI del año seco muestra actividad fotosintética en lugares donde debiera estar sin vegetación por la falta de lluvias, así como en sus alrededores (Análisis de Catalina Zumaeta, Geógrafa PUC).

Es importante tener en cuenta que la acción humana, como talas, ganadería, cultivos, entre otros, pueden ser engañosas en los resultados, de modo que los trabajos de terreno son vitales.

---

<sup>3</sup> Catalina Zumaeta, Geógrafa Pontificia Universidad Católica de Chile para Proyecto Atrapanieblas



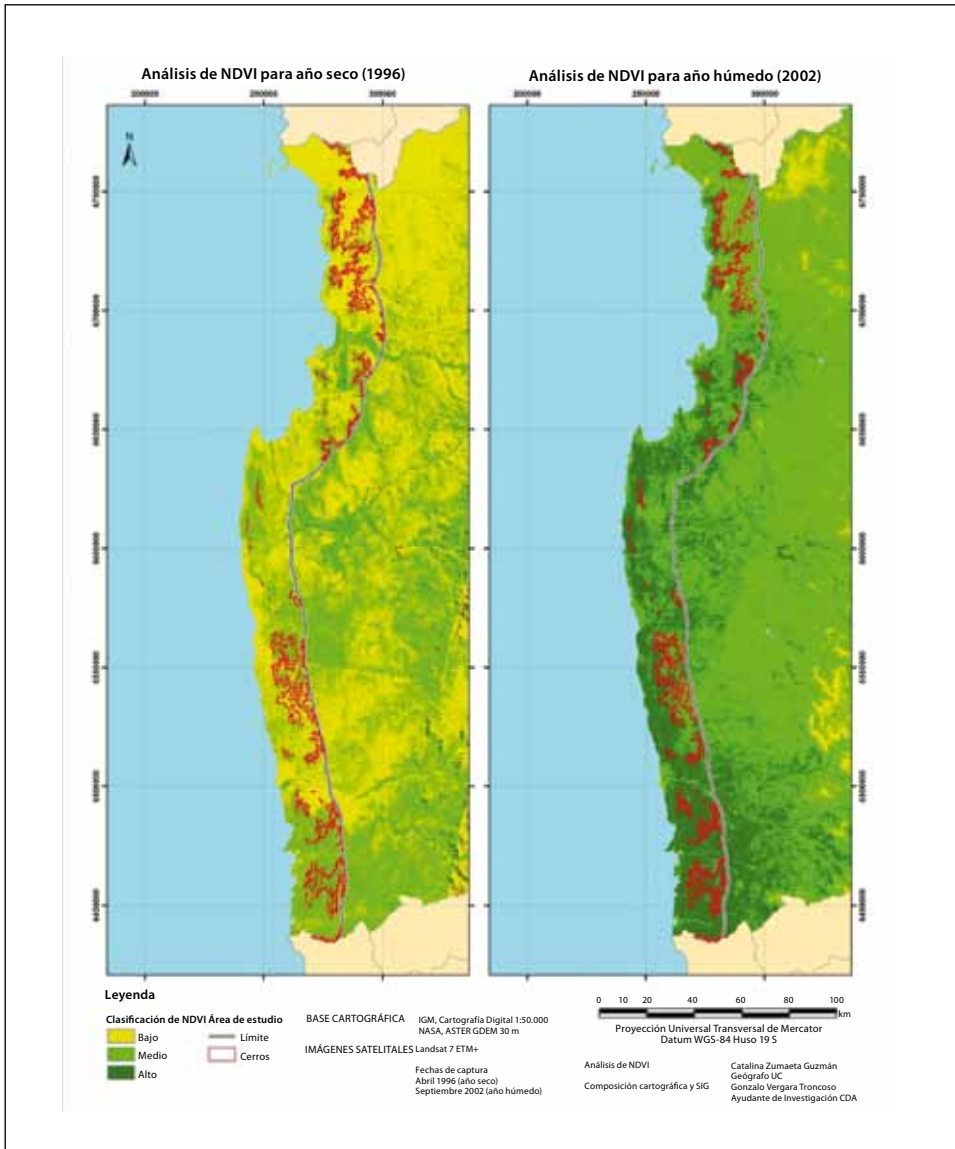


Fig. 1.12: Comparación entre el año “seco” o de escasa precipitación de 1996 y el año 2002 que fue alta pluviosidad (C. Zumaeta).

## 1.6 Conclusiones

La Región de Coquimbo tiene óptimas características geográficas para explotar el agua de la niebla. A través de los estudios que se han realizado en Chile, se ha podido demostrar científicamente que la niebla es un recurso hidrológico importante, incluso con un proyecto exitoso en una de sus caletas a fines del siglo XX.

Se cuenta con más de 40.000 hectáreas donde la niebla es frecuente y con una geografía que le permite instalar cientos y miles de atrapanieblas. Si en El Tofo se instalaron 100 atrapanieblas en alrededor de 4 hectáreas y diariamente se obtenían 12.000 litros por día, lo que para sus habitantes significaba un camión aljibe diario; en 40.000 hectáreas equivalen a 1.400 l/s. Es importante tener presente que esa cantidad equivale al caudal promedio del río Copiapó que fue de 1.900 l/s entre 2000 y 2011. Este es un cálculo muy conservador, ya que parte de una base plana para todos los lugares seleccionados de 3 l/m<sup>2</sup>/día, lo que puede ser mayor si se tienen datos de vientos y contenido líquido de agua (LWC).

Para dar un ejemplo, la Mina Candelaria, en la Región de Atacama, utiliza entre 300 y 500 l/s que le significan 270 millones de dólares, mientras que la Mina Michilla, ubicada en la Región de Antofagasta, requiere 75 l/s, equivalentes a 51 millones de dólares.

Estos cálculos generales, aproximados y en extremo conservadores, demuestran la importancia de continuar el diseño de metodologías apropiadas y de construir atrapanieblas. Un escenario donde ingenieros, constructores, diseñadores, especialistas en materiales (malla) y geógrafos logren llegar a un prototipo de máxima eficiencia y rendimiento. La aguda escasez de agua en nuestro país, hace imperioso formar equipos de innovación y desarrollo en este sentido.

## Referencias

- Cereceda, P., Schemenauer R.S. & F. Velásquez (1997). Variación temporal de la niebla en El Tofo-Chungungo, Región de Coquimbo, Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, 24, 103-111.
- Cereceda, P., Larraín, H., Osses, P., Schemenauer, R.S. Fariás M & M. Lagos (2002). Radiation, advective and orographic fog in the Tarapacá Region, Chile. *Atmospheric Research*, 64 (1-4), 261-271.
- Cereceda, P., Larraín, H., Osses, P., Fariás, M. & I. Egaña (2008a). Spatial and temporal behavior of fog and its relation to fog oases in the Atacama Desert, Chile. *Atmospheric Research*, 87 (3-4), 312-323.
- Cereceda, P., Larraín, H., Osses, P., Fariás, M. & I. Egaña (2008b). The climate of the coast and fog zone in the Atacama Desert of Tarapacá Region, Chile. *Atmospheric Research*, 87 (3-4), 301-311.
- Klemm, O., Schemenauer, R., Lummerich, A., Cereceda, P., Marzol, V., Corell, D., Fessehay, G.M., (2012). Fog as a fresh-water resource: Overview and perspectives. *Ambio*, 41, 221-234. doi:10.1007/s13280-012-0247-8
- Chuvieco, E. (2002). *Teledetección Ambiental: la observación de la Tierra desde el espacio*. Barcelona: Ariel.
- Cuadrat J.M. y M.F. Pita (1997). *Climatología*. Madrid: Ediciones Cátedra. 500 pp.

- Fariás M., Cereceda P., Osses P. & R. Núñez (2005). Comportamiento espacio-temporal de la nube estratocúmulos, productora de niebla en la costa del desierto de Atacama (21°S 70°W), durante un mes de invierno y otro de verano. *Investigaciones Geográficas*, UNAM (56), 43-67.
- Frigerio, G. (1990). Informe interno a Pontificia Universidad Católica de Chile, "Proyecto Omán" Instituto de Geografía PUC.
- Hernández A., (1998). Garoe, *Iconografía del árbol del agua*. Estudios Prehispánicos, Dirección General de Patrimonio Histórico, Gobierno de Canarias.
- Kummerow J. (1966). Aporte al conocimiento de las condiciones climáticas del Bosque de Fray Jorge. Boletín N° 24, Facultad de Agronomía, Universidad de Chile, 24 pp.
- Larrain H., Velásquez F., Cereceda P., Espejo R., Pinto R., Osses P. & Schemenauer R.S. (2002). Fog measurements at the site 'Falda Verde' North of Chañaral (Chile) compared with other North Chilean fog stations. *Atmospheric Research*, 64, 273-284. doi: 10.1016/S0169-8095(02)00098-4
- Schemenauer R.S. and Cereceda P. (1994). A proposed standard fog collector for use in high elevation regions. *Journal of Applied Meteorology*, 33 (11) 1113-1322.
- Schemenauer R.S., Cereceda P. and Carvajal, N. (1987.) Measurements of Fog Water Deposition and Their Relationships to Terrain Features. *Journal of climate and applied meteorology*, 2 (9) 1285-1291. doi: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450\(1987\)026<1285:MOFWDA>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450(1987)026<1285:MOFWDA>2.0.CO;2)
- Zumaeta, C. (2009). *Variabilidad espacio temporal de la vegetación en el semi-árido chileno: análisis de 22 años mediante imágenes NOAA AVHRR*. Seminario de grado. Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Chile.



C A P Í T U L O I I

Instrumentación en los atrapanieblas

Richard Le Boeuf

Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas,  
Universidad de los Andes

2.1 Instrumentación: Propósito

El propósito de utilizar la instrumentación es para mejorar la tasa de colección y/o reducir los costos de montar, operar y mantener los atrapanieblas. En particular, la instrumentación nos ayudará a:

- a. La selección de las ubicaciones óptimas de los atrapanieblas.
- b. La medición de eficiencia de colección de agua.
- c. La medición de las fuerzas del viento, ejercidas en atrapanieblas.
- d. La validación de modelos y simulación de viento y niebla.

Para lograr estos objetivos, es necesario medir datos cuantitativos con baja incertidumbre. Además, se necesitan datos distribuidos en un espacio con muestreos simultáneos en un largo periodo de tiempo.

Cuando hablamos de instrumentación, debemos considerar los sensores y sistemas para coleccionar y almacenar, o transmitir datos cuantitativos a la Internet (Figura 2.1). Los sensores transforman la información del ambiente en señales eléctricas, las cuales son transmitidas por Internet. El microcontrolador registra, almacena y transmite los

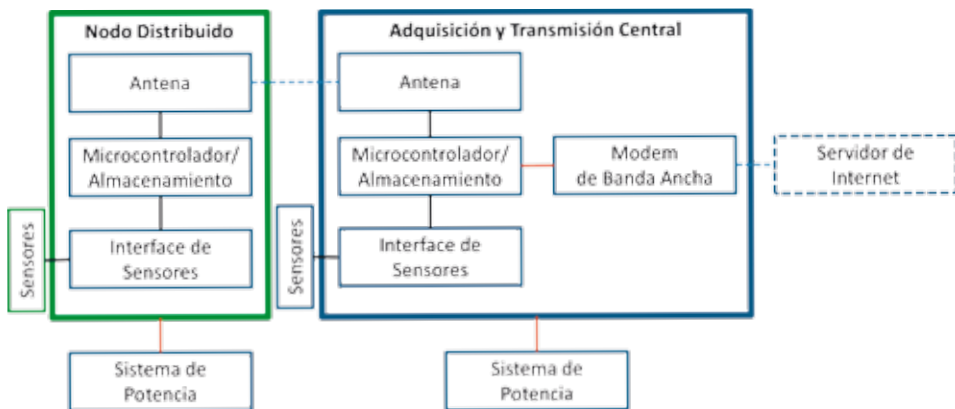


Fig. 2.1: Sistema de Instrumentación. El flujo de información va desde los sensores hacia el microcontrolador para almacenamiento o transmisión a la Internet (R. LeBoeuf).

datos de los sensores.

Tal como se explica en el Capítulo 1, para conocer el potencial de un lugar que ha sido definido con presencia frecuente de niebla, se requiere tener datos cuantitativos de los lugares identificados. Para ello se requieren mapas topográficos, de vegetación y altitud que indican donde está la niebla (Figuras 1.8 y 1.9, Capítulo 1). Asimismo, mapas de pendiente y orientación indican qué sitios que tienen niebla son adecuados para instalar los atrapanieblas.

## 2.2 Tipos de sensores para medir el agua disponible en un determinado lugar

### 2.2.1 Pluviómetro

Tradicionalmente, la selección de las ubicaciones de atrapanieblas tiene una base de mediciones de neblinómetros, como ilustran las fotos 1.17 y 1.18 del Capítulo 1. Un neblinómetro es un atrapanieblas pequeño que tiene un metro de malla, montado a 2 metros de altura. La acumulación de agua en un bidón es monitoreada cada una o dos semanas para determinar la cantidad de agua que podemos coleccionar con un atrapanieblas en un mismo lugar. Con las mediciones de varios neblinómetros distribuidos en un área, podemos definir los lugares óptimos para instalar los atrapanieblas. Además, es posible usar neblinómetros con distintas clases de mallas para la comparación del rendimiento de éstas (Foto 2.1).



Neblinómetros

**Foto 2.1:** Varios neblinómetros en un mismo ambiente permite comparar el rendimiento de las distintas mallas. Reserva Cerro Grande, Comunidad Agrícola de Peña Blanca, Región Coquimbo, Chile (R. leBoeuf)

El ideal es tener un registro continuo, lo que se obtiene con un pluviómetro montado en el neblinómetro entre la canaleta y el bidón para medir la acumulación de agua en tiempo real (Foto 2.2). El pluviómetro desagua al bidón para la verificación manual del volumen capturado (Foto 2.3). Además, los pluviómetros son usados para la medición de lluvia, de modo que se puede distinguir entre la acumulación de niebla y la acumulación de lluvia. En el pluviómetro, cuando una cuchara está llena, se vuelca, evacúa el agua y cambia un interruptor. La cantidad de agua recibida es registrada en

un contador o almacenada en un data logger o microcontrolador que puede transmitir la cantidad en forma remota. El volumen de agua acumulada se relaciona con el número de oscilaciones o volcamiento de la o las cucharas, correspondiendo generalmente cada oscilación a 5 centímetros cúbicos. Es así como, con conexión a un data logger o microcontrolador, podemos medir el flujo de agua y la hora en que ocurre.



Foto 2.2: Pluviómetro (<http://pronamic.com>)



Pluviómetro

Foto 2.3: Pluviómetro montado en neblinómetro. Majada Blanca (Proyecto Atrapanieblas).

### 2.2.2 Veleta

Además de un pluviómetro, es posible añadir una veleta al neblinómetro para determinar la dirección del viento cuando hay niebla (Foto 2.4). La punta de la veleta es un voltaje, que significa su orientación. Los atrapanieblas son orientados perpendicularmente a la dirección de la niebla para así optimizar el agua acumulada.



**Foto 2.4:** Veleta. Se usa un veleta para determinar la dirección del viento. Las atrapanieblas son orientadas perpendiculares a la dirección del viento para optimizar el agua acumulada. (<http://www.inspeed.com>).

### 2.2.3 Anemómetro

Muchas veces junto a la veleta se ubica un anemómetro para la medición del velocidad del viento con niebla (Foto 2.5). Al igual que el pluviómetro, el anemómetro enciende o apaga un interruptor por cada una o dos revoluciones. Esta medición es muy importante para el diseño de los atrapanieblas, de manera que la estructura pueda soportar las cargas de viento.



**Foto 2.5:** Anemómetro. Los atrapanieblas necesitan una estructura fuerte o lo suficientemente flexible para sobrevivir a las cargas de vientos (<http://www.inspeed.com>).



### 2.2.4 Sonda de flujo de agua líquida

Una alternativa para la medición del agua disponible en niebla es una sonda de flujo de agua líquida (Foto 2.6). Este nuevo instrumento tiene un circuito para calentar alambres a una temperatura fijada en relación a la temperatura del ambiente. Como se explica en el Recuadro 2.1, la potencia generada por el circuito para mantener la temperatura del alambre depende del contenido de agua líquida en la niebla, la velocidad de viento y las temperaturas del alambre y del ambiente (LeBoeuf, R. L.; Rivera, J.; De la Jara, E., 2014).



**Foto 2.6:** Prototipo de la sonda de flujo de agua líquida. Se usan alambres calientes para la medición del flujo de agua líquida en niebla. Reserva Cerro Grande, Comunidad Agrícola de Peña Blanca, Región Coquimbo, Chile (R. LeBoeuf).

Esta sonda de flujo fue diseñada, debido a que las que existen tienen varias desventajas en relación a la medición de niebla, siendo una de ellas su alto costo. Es así como los dispositivos por medición del contenido de agua líquida disponibles en el mercado cuestan un mínimo de 8 mil dólares cada uno y consumen del orden de 6 a 300 Watts. Como consecuencia de su alto costo y consumo de energía, su uso está restringido en redes de sensores. Además, el alto consumo de energía limita su uso en mediciones próximas a una fuente de alimentación tradicional o mediciones de corta duración.

En este sentido, existe la opción de producir un sensor basado en tierra, el cual es de bajo costo y bajo consumo de energía y que permite medir contenido de agua líquida (LWC) y velocidad de viento para el seguimiento de los procesos industriales y el medio ambiente. Debido a su bajo costo y bajo consumo de energía, el nuevo dispositivo sería adecuado para el despliegue de redes de sensores.

De esta manera, usando una red de sensores de este tipo podemos generar un mapa del flujo de agua de tal forma de saber dónde se debería instalar atrapanieblas para la mejor captación de agua. Además, podemos medir la eficiencia de captación de agua con la medición de flujo de agua. La eficiencia es el flujo de agua del neblinómetro o atrapaniebla dividido por el flujo de agua líquida en niebla que se dirige al colector (Recuadro 2.2).

### Recuadro 2.1: Medición de contenido de agua líquida en niebla usando alambres calientes

La balanza de potencia de un alambre caliente en niebla se muestra en la Figura 2.2. Podemos observar la potencia entrada por electricidad  $P_{elect}$ , salida por 1) conducción en los soportes,  $P_{cond}$ , 2) convección (calentar aire cerca del alambre),  $P_{conv}$ , y evaporación de gotas de niebla,  $P_{evap}$ . En forma de una ecuación, el balance de potencia del alambre caliente en equilibrio es:

$$P_{elect} = P_{evap} + P_{conv} + P_{cond}$$

Con calibración, podemos saber la potencia de conducción y convección. Por lo tanto, cuando medimos la potencia eléctrica, podemos determinar la potencia salida por evaporación que está relacionada al flujo de agua en niebla. Es decir, con esta potencia, podemos determinar el flujo de agua en niebla.

Las características del alambre dependen del ambiente y de la determinación de la sensibilidad y precisión de la sonda, como las siguientes:

- **Diámetro:** La eficiencia de acumulación de gotas de niebla en un alambre, depende de los diámetros del alambre, la gota y la velocidad de la gota. Para niebla con gotitas de 2 a 40 micrómetros de diámetro y velocidades típicas de niebla, necesitamos un alambre con diámetro cerca de 100 micrómetros.
- **Largo:** En nuestro caso, se fija el largo de alambre suficientemente alto como para tener un pequeño porcentaje de potencia eléctrica salida por conducción. Con un alambre de 5 centímetros de largo, alrededor del 5% de la potencia sale por el soporte.
- **Temperatura:** Si la temperatura de alambre en relación a la temperatura de aire es bastante baja, las gotitas no se pueden evaporar suficientemente rápido para evitar la saturación del alambre con agua. Una diferencia de 2°C es suficiente para evitar la saturación. Por otro lado, si la temperatura es demasiado alta, la sensibilidad de la sonda será baja. Por ejemplo, un cambio en el flujo de agua no puede cambiar mucho la potencia eléctrica.
- **Material:** El material del alambre también influye en la sensibilidad. Generalmente, en los materiales usados por sondas con alambres calientes se usa tungsteno o platino. El uso del platino se debe a su alta defensa contra la oxidación.

Con estas características, la sonda tiene una sensibilidad y precisión con las que es posible determinar el flujo de agua líquida en niebla con una incertidumbre de 2 a 17%, con velocidades en el rango de 2 a 8 metros por segundo y con contenido de agua líquida en el rango de 0.2 a 0.8 gramos por metro cúbico. (LeBoeuf, R.; Rivera, J.; De la Jara, E., 2014) La menor incertidumbre corresponde al mayor flujo de agua líquida, la cual es de interés en proyectos de atrapanieblas.

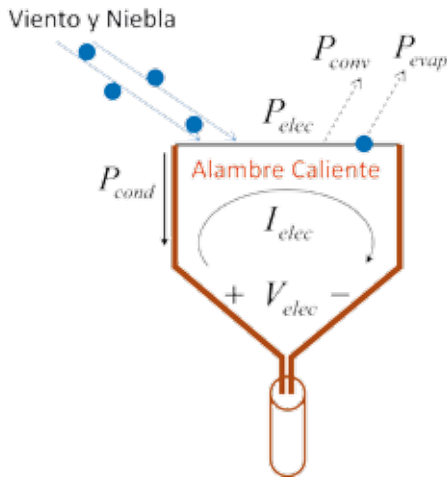


Fig. 2.2: La balanza de potencia de un alambre caliente (R. LeBoeuf)

### Recuadro 2.2: Medición de eficiencia de captación

La eficiencia es el flujo de agua del neblinómetro o atrapanieblas dividido por el flujo de agua líquida en niebla dirigida al colector.

La tasa de acumulación de agua, por el colector en volumen, por área de atrapanieblas, por tiempo (generalmente en litros por metro cuadrado por día), depende de las condiciones ambientales, el diseño de los atrapanieblas y la orientación en relación al viento. La definición de la eficiencia de captación de niebla ( $N_{capt}$ ) es el flujo de agua líquida capturada ( $C_{capt}$ ) dividido por el flujo disponible ( $C_{disp}$ ) dirigido hacia el atrapanieblas desde lejos. Esta relación se muestra en la ecuación y también en la figura 2.3.

$$\eta_{capt} = \frac{C_{capt}}{C_{disp}}$$

Usando mediciones delante y detrás de un atrapanieblas, Schemenauer & Joe (1989) observaron que la eficiencia de captación es aproximadamente de un 20%. Con análisis aerodinámico, Rivera (2011) concluyó que la eficiencia máxima debería de ser de alrededor de un 30%.

Finalmente, por la tasa de acumulación promedio anual típica de 5 a 8 litros por metro cuadrado por día y una eficiencia del 20%, el flujo de agua disponible debería estar en el rango de 25 a 40 litros por metro cuadrado por día.

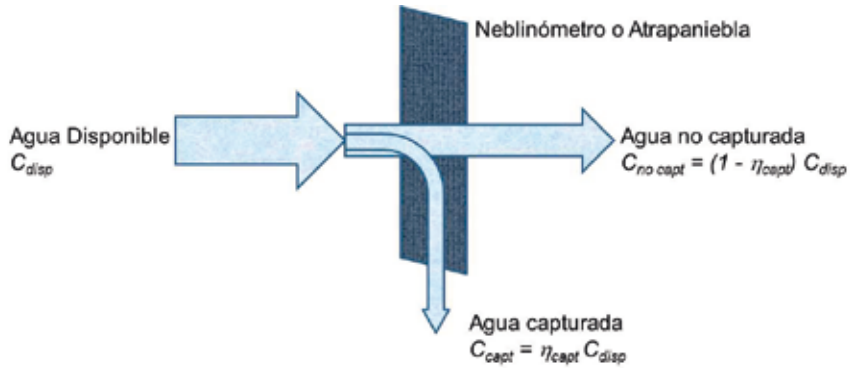


Fig. 2.3: Eficiencia de captación de agua de niebla (R. LeBoeuf)

## 2.3 Sensores para la medición del comportamiento de los atrapanieblas

### 2.3.1 Medidor de Flujo (*Tipping Bucket*)

El medidor de flujo, Tipping Bucket, es un tipo de flujómetro (Foto 2.7), que equivale a un pluviómetro grande, para la medición automatizada de flujos de agua colectados por atrapanieblas. Cuando el medidor de flujo vuelca drenajes, un interruptor se cambia. Las veces que se activa el interruptor, indica la cantidad de agua captada por el atrapanieblas. Con un microcontrolador o data logger, podemos medir el flujo de agua y a la hora que ocurre.



Foto 2.7: Medidor de flujo (Tipping Bucket). El agua de atrapaniebla entra arriba por el tubo. Cuando la "cuchara doble" está llena en un lado, se gira para drenar y empezar a llenar en el otro lado. Una cuenta de giros indica la acumulación de agua por el atrapaniebla. (Foto R. LeBoeuf, diseño Nazareno Carvajal).

### 2.3.2 Celdas de cargas

En el proceso de diseño de atrapanieblas es importante conocer las cargas de viento. Éstas se refieren al esfuerzo resultante de la presión del viento en la superficie del atrapanieblas (ver Capítulo III para más detalle sobre presión y fuerza de viento en atrapanieblas). Hay modelos teóricos, pero hay beneficios en tener mediciones de las fuerzas para verificarlos. Para medir las fuerzas, podemos usar celdas de cargas en los cables (Figura 2.4). La salida de la celda de carga es un voltaje que es proporcional a la fuerza en el cable. Con mediciones de las fuerzas en todos los cables y la geometría conocida, podemos determinar la fuerza del viento en la atrapaniebla.

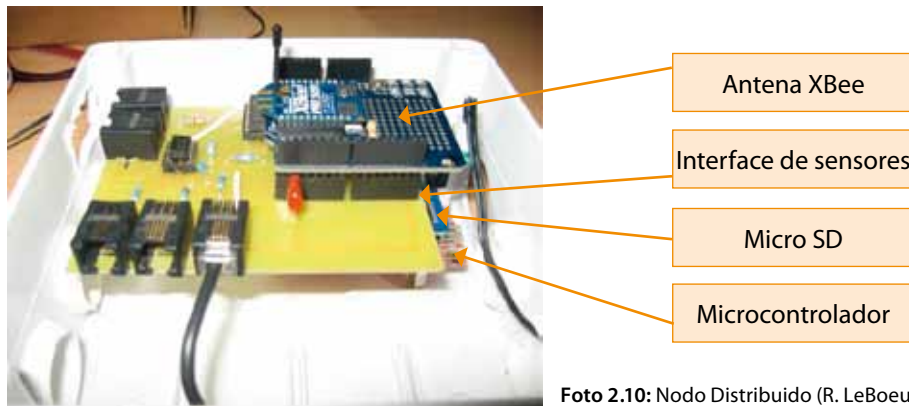


**Foto 2.8:** Celda de carga. La deflexión de celda de carga producirá un voltaje de salida proporcional a la fuerza de tensión en el dispositivo (<http://www.coventryscale.co.uk/load-cells>).

## 2.4 Adquisición, almacenamiento y transmisión de datos

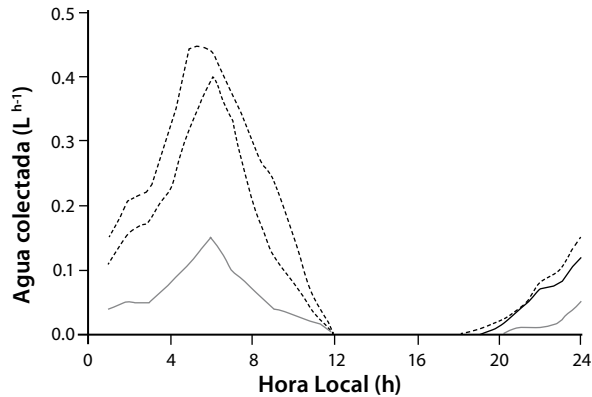
Hay muchos sistemas que constituyen opciones para la adquisición, almacenamiento y transmisión de datos, teniendo todos ellos un microcontrolador y una memoria. Los más sofisticados pueden transmitir datos en una red de sensores local y, últimamente, al Internet vía celular o satélite banda ancha (ver Figura 2.1).

Para máxima flexibilidad, en el presente proyecto, construimos sistemas de los componentes separados en tarjetas de desarrollo con pocas placas de circuitos impresos por encargo. El ejemplo que observamos en la Foto 2.8 muestra un sistema con dos sistemas distribuidos y un sistema central. Los datos que han sido colectados por los nodos distribuidos, son almacenados localmente y transmitidos al nodo central para almacenar ahí y transmitir vía Internet. Generalmente, cada segundo se toman muestras y cada 10 minutos el sistema almacena y transmite la fecha, tiempo y promedios, máximos y mínimos de lo egresado desde los sensores.



### 2.4.1 Procesamiento de datos

Los datos son procesados para lograr visualizarlos y entenderlos. Por ejemplo, podemos graficar la cantidad de agua líquida colectada en promedio por un neblinómetro por hora (Figura 2.5). Tal como muestra la figura, el agua colectada demuestra un ciclo diurno. La niebla empieza a las 18 horas en la noche y termina a las 12 del mediodía.



**Fig. 2.4:** Ciclo diario promedio de captación de agua en Majada Blanca en tres lugares, Verano 2011 – 2012 (Simón Leiva, Proyecto Atrapanieblas). El lugar con más niebla captada es la mejor ubicación para atrapanieblas y fue usada en nuestro proyecto para la instalación de atrapanieblas (Ver Capítulo 4 para detalles de la instalación).

## 2.5 Conclusiones

Para bajar los costos de instalación de atrapanieblas es necesario mejorar la tasa de captación de agua y reducir los costos de los atrapanieblas. A través del uso de los diversos instrumentos presentados, es posible encontrar las ubicaciones que tienen el mejor flujo de agua de niebla para mejorar la captación de agua. Además, la instrumentación permite recabar datos que se pueden usar para desarrollar diseños de atrapanieblas más eficientes y con costos muchos más bajos.

## Referencias

LeBoeuf, R. L.; Rivera, J.; De la Jara, E. (2014). An economical dual hot-wire liquid water flux probe design. *Atmospheric Research*, En prensa. doi: 10.1016/j.atmosres.2014.02.013.





## C A P Í T U L O   I I I

## Diseño y eficiencia de atrapanieblas

**Juan de Dios Rivera A.**

*Centro del Desierto de Atacama, Escuela de Ingeniería  
Pontificia Universidad Católica de Chile*

**Robert Holmes L.**

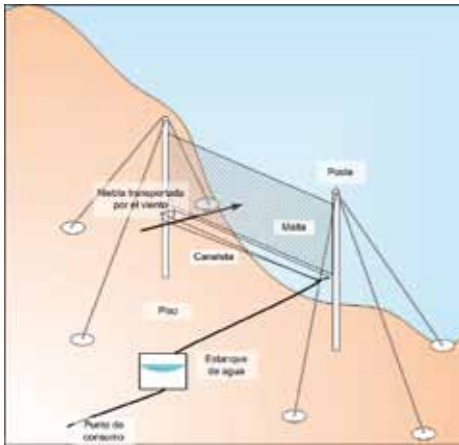
*Centro del Desierto de Atacama, Escuela de Diseño  
Pontificia Universidad Católica de Chile*

Uno de los elementos esenciales para la cosecha de agua de niebla es el atrapanieblas. Este es el equipo encargado de capturar y juntar las gotitas de agua de la niebla, dejando el agua colectada disponible para ser almacenada y utilizada. Es indispensable conocer bien los atrapanieblas para lograr un buen diseño, instalación y operación de ellos. En este capítulo veremos primero sus componentes, luego estudiaremos el principio de operación y los factores que afectan la eficiencia de colección, que depende fundamentalmente de la malla y de cómo ésta se instale, siendo este aspecto muy importante en el costo final del agua colectada. Luego, presentaremos las mallas que corrientemente se usan, haciendo énfasis en la eficiencia, materiales, duración y costo. Posteriormente, hablaremos de los aspectos estructurales, que tienen que ver con la duración de la instalación, ya que se ha observado que muchos atrapanieblas son destruidos por los temporales de viento. Finalmente, veremos los distintos diseños de atrapanieblas, que tratan de compatibilizar en conjunto los aspectos de eficiencia, resistencia y costo.

### 3.1 Componentes de los atrapanieblas

Un Sistema de Captación de Agua de Niebla (SCAN) está compuesto por atrapanieblas, un sistema de conducción del agua a los estanques de almacenamiento y un sistema de conducción desde estos estanques hasta el o los lugares de consumo, como ilustra la Figura 3.1. El almacenamiento de agua es necesario, porque la niebla es intermitente y los períodos de niebla normalmente no coinciden con las necesidades de consumo. El almacenamiento puede ser de corto plazo, para suplir las diferencias entre captación de agua y consumo en ciclos de una semana o un mes, o de largo plazo, considerando el ciclo anual.

El atrapanieblas, a su vez, consiste en una malla que atrapa las gotitas de agua de niebla, una estructura que la soporta y una canaleta en la parte inferior de la malla, hacia la cual el agua escurre por gravedad. Cada una de estas partes presenta problemas de



**Fig. 3.1:** Sistema de Captación de Agua de Niebla (SCAN). El atrapanieblas está formado por una estructura soportante de postes y cables, una malla y una canaleta para recibir el agua que escurre por gravedad. El sistema de conducción de agua al estanque de almacenamiento está constituido por la cañería que va desde la canaleta al estanque de almacenamiento de agua. El sistema de conducción al punto de consumo está constituido por una cañería que va desde el estanque de almacenamiento al punto de consumo. Cada poste necesita sólo dos cables convenientemente ubicados, el tercero (del medio) es redundante. Sin embargo, la mayoría de los atrapanieblas se instalan con tres cables por ignorancia, o por desear la redundancia (J. D. Rivera, Proyecto Atrapanieblas).

diseño y eficiencia que deben estudiarse. Además, cambios en el diseño de una parte implican cambios en el diseño de las otras.

### 3.2 Principio de operación y eficiencia de colección

La eficiencia de colección es un factor de importancia, que también influye en el costo del agua cosechada. Esta se define como la fracción del agua que contiene la niebla que llega al estanque de almacenamiento. La eficiencia de colección se puede descomponer en otras tres eficiencias: *la eficiencia aerodinámica*, *la eficiencia de deposición* y *la eficiencia de drenado* (Rivera, 2011).

Para entender la *eficiencia aerodinámica* de colección hay que tener en cuenta que la malla es una obstrucción para el flujo de la niebla. Por lo tanto, parte del flujo pasará por los alrededores de la malla, como ilustra la Figura 5. La fracción de niebla que pasa a través de la malla depende de su permeabilidad, que es función inversa del coeficiente o porcentaje de sombra<sup>4</sup>,  $s$ , y de las características del tejido de la malla. También depende de la presión del viento sobre ella, que es la fuerza que hace que la niebla pase a través de la malla. Por otro lado, la cantidad de gotitas de agua que chocan con los filamentos de la malla es función directa de la fracción de sombra. Luego, es fácil ver que existe una fracción de sombra óptima para cada malla: si es muy grande pasará muy poca niebla, si es muy chica, pocas gotas chocarán con los filamentos. En resumen, la eficiencia aerodinámica depende mucho del coeficiente de sombra  $s$  para una malla determinada.

Un gráfico típico de la eficiencia aerodinámica versus el coeficiente de sombra se muestra en la Figura 3.3. Es concebible aumentar la permeabilidad de la malla me-

<sup>4</sup> El porcentaje de sombra es la fracción porcentual del área que cubren los filamentos de la malla. Se usa esta característica en lugar de la porosidad, que es el complemento, porque es la forma corriente de designar las mallas Raschel, que son las más usadas en atrapanieblas. Las mallas Raschel se fabrican principalmente para proporcionar sombra.

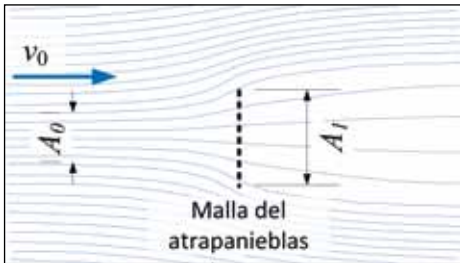


Fig. 3.2: Flujo de niebla de velocidad  $V_0$  que se dirige hacia el atrapanieblas; parte del flujo se desvía y pasa por los alrededores. El área  $A_0$  corresponde al flujo de niebla que pasa a través de la malla;  $A_0$  corresponde al área efectiva de la malla del atrapanieblas. La razón de áreas  $A_0/A_1$  representa la fracción del flujo no perturbado que efectivamente llega a la malla (J. D. Rivera, Proyecto Atrapanieblas).

dianete un diseño aerodinámico cuidadoso del tejido y de sus filamentos, con lo que se podría aumentar la eficiencia máxima de colección. La presión del viento sobre la malla también se puede modificar ligeramente cambiando su razón de aspecto y convexidad. La razón de aspecto es el cociente entre el largo y el alto de la malla.

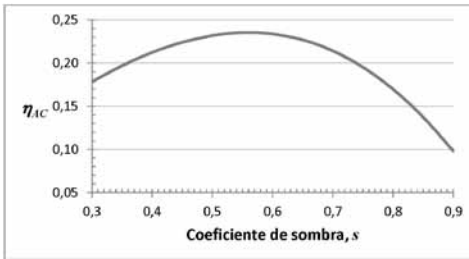
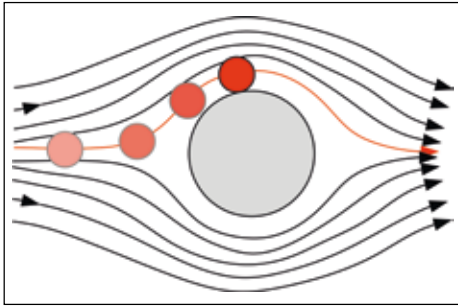


Fig. 3.3: Eficiencia aerodinámica de una malla de filamentos de sección circular en función del coeficiente de sombra (Rivera, 2011).

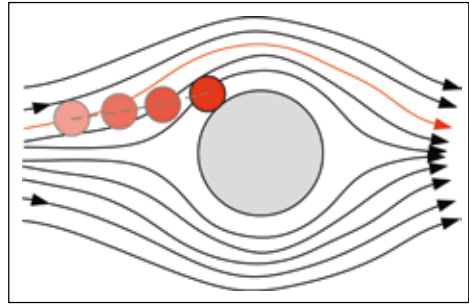
La **eficiencia de deposición** toma en cuenta que las gotitas tienden a seguir las líneas de flujo del aire y van a tratar de pasar por los costados de los filamentos. Si una gotita sigue perfectamente las líneas de flujo, pero esta última pasa a una distancia de la superficie del filamento menor que el radio de la gotita, ella chocará y se depositará, como muestra la Figura 3.4 a. Esto se llama deposición por intercepción. Las gotitas tienen una densidad casi mil veces mayor que el aire, y si su tamaño y velocidad son suficientemente grandes comparado con la curvatura de la línea de flujo en la que se encuentra inicialmente, no la podrá seguir, continuando en una trayectoria más recta y, eventualmente, chocando con el filamento, como muestra la Figura 3.4 b. Ese mecanismo se llama deposición inercial.

Estos dos mecanismos de captura son más efectivos si el diámetro del filamento es del orden del tamaño de las gotitas, que tienen entre 1 y 20  $\mu\text{m}$  de diámetro. Por lo tanto, conviene que la malla tenga los filamentos lo más delgados posible. Sin embargo, hay dos limitaciones importantes para el grosor de los filamentos. La más obvia es que al disminuir su diámetro para un mismo coeficiente de sombra, también dismi-

5 Un micrómetro,  $\mu\text{m}$ , es la milésima parte de un milímetro.



a) La gotita (en rojo) sigue la línea de flujo roja pero choca con el filamento (en gris) porque su radio es mayor que la distancia entre la línea de flujo y el obstáculo.



b) La gotita (en rojo) no es capaz de seguir la línea de flujo roja por inercia y choca con el filamento (en gris)

**Fig. 3.4:** Deposición de gotitas (a) por intercepción y (b) por inercia. Mientras menor sea el diámetro del filamento, mayor será la eficiencia de deposición (J. D. Rivera, Proyecto Atrapanieblas).

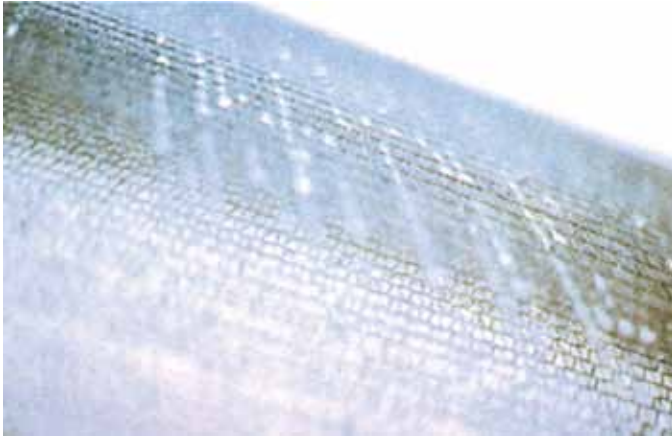
nuye la resistencia mecánica de la malla. La segunda limitación es que, conservando constante el coeficiente de sombra, al disminuir el diámetro de los filamentos también disminuye el tamaño de las aberturas entre ellos.

El problema que esto último presenta es que llega un momento en que estas aberturas empiezan a ser bloqueadas por gotas de agua que las cubren por tensión superficial, como muestra la Foto 3.1. Este efecto ha sido estudiado por Park et al. (2013) quienes demuestran que el problema se reduce con superficies hidrófobas (repelentes del agua) y con baja histéresis en el ángulo de mojado (diferencia entre el ángulo de mojado cuando la gota avanza y cuando retrocede).



**Foto 3.1:** Mallas de acero inoxidable y Raschel con gotas de agua que cubren parcialmente las aberturas, bloqueando el flujo de niebla. Peñablanca (Chile), Julio de 2013 (María Tou y John Freidah).

Finalmente, la **eficiencia de drenado** se define como la razón entre el agua que llega al estanque de almacenamiento y la que se ha depositado en la malla. Las pérdidas se producen por arrastre de gotas por el viento, agua que se desprende de la malla y cae fuera de la canaleta, como muestra la Foto 3.2, y filtraciones o desborde de la canaleta. La eficiencia de drenado también mejora con baja histéresis en el ángulo de mojado (Park et al., 2013).



**Foto 3.2:** Malla Raschel combada con agua que chorrea por efecto de la gravedad y su gran curvatura (Gischler, 1991).

---

El diseño del sistema de almacenamiento de agua no ha sido objeto de investigación por el momento. Sin embargo, hay varios aspectos que se debe estudiar, como la optimización del volumen (ver Recuadro 3.1), la evaporación y posibles efectos en la calidad del agua.

### Recuadro 3.1: Dimensionamiento óptimo de la capacidad de almacenamiento de agua

El dimensionamiento de la capacidad de almacenamiento de agua depende de la sincronización del ciclo de consumo de agua con el de producción. Por ejemplo, si la máxima producción de niebla se encuentra entre octubre y diciembre, que corresponde a los meses de riego de algunos cultivos, habrá que almacenar agua sólo para absorber las fluctuaciones diarias o semanales de agua colectada. También depende de la superficie de atrapanieblas instalada en relación al consumo. Por ejemplo, si se tiene una gran superficie de atrapanieblas, habrá que almacenar agua sólo para los días en que no haya niebla. Pero si la superficie es poca, habrá que almacenar agua durante los meses con mucha niebla para los meses con poca niebla.

Para ilustrar este concepto consideremos un sistema de riego de un cultivo agrícola que tiene los consumos indicados por la línea roja de la Figura 3.5. La misma figura muestra la producción hipotética de agua de 50 atrapanieblas de 150 m<sup>2</sup> cada uno (línea azul). Si ponemos un almacenamiento de agua con capacidad máxima de 1.000 m<sup>3</sup>, en el mes de agosto éste se rebalsará y se perderán 400 m<sup>3</sup> (línea morada). Con esta capacidad se puede suministrar toda el agua necesaria para el riego durante el año completo. Una capacidad de almacenamiento menor dejaría un déficit de agua en marzo. Sin embargo, el mismo resultado podría obtenerse con menos atrapanieblas y mayor capacidad de almacenamiento, como se ilustra en la Figura 3.6, en cuyo caso prácticamente no se pierde agua. Lo importante es cuál de las dos alternativas tiene menor costo total, considerando el costo de construir y operar los atrapanieblas y el sistema de almacenamiento de agua en conjunto.

Estas dos alternativas presentadas no son las únicas. En efecto, existen muchas combinaciones de número de atrapanieblas y capacidad de almacenamiento que satisfacen el consumo de agua, pero a distintos costos. La solución óptima es la alternativa que da el menor costo total, y dependerá del costo relativo de incrementar el número de atrapanieblas en comparación con el correspondiente a aumentar la capacidad de almacenamiento. Sin embargo, también hay que incluir el concepto de costo de falla, es decir, cual es el costo de que en un momento determinado falle el agua por disminución de la niebla. Si ese costo es muy alto, convendrá tener más atrapanieblas y mayor capacidad de almacenamiento de lo que corresponde al óptimo sin considerar el costo de falla.



Fig. 3.5: Abastecimiento de agua para riego con 50 atrapanieblas de 150 m<sup>2</sup> cada uno y con almacenamiento de agua de 1.000 m<sup>3</sup> de capacidad.

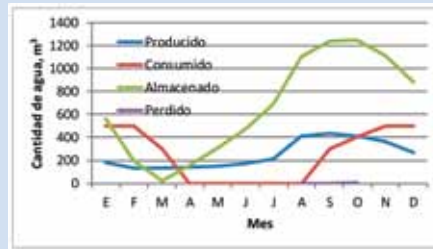


Fig. 3.6: Abastecimiento de agua para riego con 40 atrapanieblas de 150 m<sup>2</sup> cada uno y con almacenamiento de agua de 1.250 m<sup>3</sup> de capacidad.

**Recuadro 3.2: Modelo de eficiencia de colección**

La eficiencia de colección ( $\eta_{col}$ ) se compone de la eficiencia aerodinámica ( $\eta_{AC}$ ), la eficiencia de deposición ( $\eta_{dep}$ ) y la eficiencia de drenado ( $\eta_{dr}$ ) (Rivera, 2011):

$$\eta_{col} = \eta_{AC} \eta_{dep} \eta_{dr} \tag{1}$$

La eficiencia aerodinámica de colección y la de deposición se pueden calcular como sigue:

$$\eta_{AC} = \frac{s}{1 + \sqrt{C_0/C_d}} \quad \eta_{dep} = \left[ \frac{St}{St + \pi/2} \right] \tag{2}$$

Donde  $s$  es el coeficiente, o porcentaje, de sombra,  $C_0$  es el coeficiente de caída de presión de un flujo de aire que atraviesa la malla, que aumenta con  $s$ , y  $C_d$  es el coeficiente de arrastre de una superficie no permeable de las mismas dimensiones que la malla, que representa la fuerza que el viento ejerce sobre esta superficie impermeable;  $St$  es el número de Stokes, que representa la respuesta inercial de la gotita que se encuentra con un filamento de la malla:

$$St = \frac{\rho_g d_g^2 v_l}{9 d_f \mu_a} \tag{3}$$

Donde  $\rho_g$  y  $d_g$  son la densidad y el diámetro de la gota de agua, respectivamente,  $v_l$  es la velocidad del viento que pasa por la malla,  $d_f$  es el diámetro de los filamentos de la malla y  $\mu_a$  es la viscosidad del aire. El coeficiente de caída de presión debe ser medido para cada malla en particular. Aunque existen correlaciones empíricas entre este coeficiente  $C_0$  y  $s$ , hay dudas sobre su aplicabilidad a las mallas plásticas en general, ya que su tejido es más complicado. Por otro lado, el coeficiente de sombra también debe ser medido por un método apropiado ya que la información de los fabricantes es sólo aproximada.

### 3.3 Mallas para atrapanieblas

Las mallas para atrapanieblas pueden estar hechas de cualquier material que resista la intemperie, especialmente la radiación solar. Lo que más se ha usado hasta la fecha es la malla Raschel fabricada con cintas de polietileno de aproximadamente 2 milímetros de ancho y algunas décimas de milímetro de espesor. Sin embargo, existe una gran variedad de mallas plásticas que pueden ser apropiadas. En general, mallas de monofilamento cilíndrico son mejores que las de cintas (como la Raschel típica) porque tienen un mejor comportamiento aerodinámico y son más resistentes.

El coeficiente o porcentaje de sombra es la característica más relevante de la malla. Si este coeficiente es muy grande (malla muy tupida) poca niebla pasará a través de ella y la captura de agua será baja. Si es muy chico, pocas gotitas de niebla chocarán con los filamentos y la captura también será baja. El modelo teórico representado en la Figura 3.3 muestra que la mayor eficiencia se obtiene con un coeficiente de sombra del orden de 55%; sin embargo, para mallas con filamentos con forma de cinta (malla Raschel típica), el óptimo probablemente está más cerca de 50%. Por otro lado, hay que notar que entre 49% y 62% de sombra hay muy poca diferencia en la eficiencia, del orden de 1%.

El diámetro del filamento de la malla es importante, ya que afecta la eficiencia de deposición de las gotitas de niebla y la eficiencia de drenado. Los filamentos más delgados favorecen la deposición de las gotitas (ver Figura 3.4), pero aumentan el bloqueo de las aperturas entre filamentos (ver Foto 3.1). El diámetro óptimo del filamento es el más pequeño que no produce bloqueo de las aperturas, y depende de las propiedades de mojado del material de la malla (Park et al. 2013). Para el polietileno corriente, el diámetro óptimo es del orden de 1 milímetro.

El material de la malla tiene gran importancia en el costo de la instalación, su duración y también en la eficiencia de colección de agua. Para que la malla sea durable, el material tiene que resistir los efectos del Sol, del viento y de la corrosión. Con distintos plásticos se producen mallas muy baratas, pero deben llevar un tratamiento especial que los proteja de la radiación ultravioleta (UV) del sol. Prácticamente todos los plásticos resisten bien la corrosión de la niebla que, habitualmente en Chile, es ácida. También hay mallas metálicas, que resisten muy bien el sol y el viento, pero suelen corroerse rápidamente, a menos que sean de acero inoxidable o aleaciones de cobre (latón o bronce); ambos materiales son caros. Las mallas de aluminio y de acero cincado o pintado tienen poca duración.

### 3.4 Análisis estructural

La estructura soportante debe resistir el peso propio de la malla saturada de agua, las fuerzas ejercidas por el viento y eventuales cargas producidas por las personas durante el montaje, mantención o reparación del atrapanieblas. De todas estas cargas, la más severa es la fuerza del viento. En efecto, muchas estructuras fallan cuando sobrevienen temporales con vientos muy fuertes, que se producen cada cierto número de años. Con



un apropiado diseño estructural y construyendo según especificaciones de ingeniería, es posible tener estructuras que soporten los vientos probables en periodos de 10, 50 o 100 años. Sin embargo, mientras más resistente la estructura, mayor es su costo.

Hay dos tipos de estructuras básicas que se han usado: una consistente en marcos rígidos a los cuales se fija la malla, y otra con una tenso-estructura formada por postes rígidos y cables flexibles (ver Fig. 3.7). En general las tenso-estructuras son más eficientes en el uso de material y, por lo tanto, más económicas. Sin embargo, en algunos casos la estructura rígida puede ser más conveniente. La tenso-estructura es probablemente el tipo más corrientemente usado, aunque también hay combinaciones entre tenso-estructuras y estructuras rígidas. En particular, las tenso-estructuras son las que usamos en el CDA-UC y también las recomienda la ONG FogQuest (FogQuest, 2014).

Otros elementos de diseño que pueden usarse para proteger la estructura de los grandes vientos son los fusibles mecánicos y sistemas de descarga de viento. Estos son elementos que ante un gran viento ceden o se rompen, aliviando las cargas. Una vez terminado el temporal, el fusible se repara con bajo costo, recuperando la funcionalidad del atrapanieblas. No hay diseños estándar de fusibles mecánicos. Los sistemas de alivio o descarga del viento permiten que el ángulo en que la malla enfrenta el viento cambie, aliviando su presión. La idea es que la misma fuerza del viento venza un resorte o la fuerza de la gravedad, haciendo que la malla se ponga más paralela al viento. Estos nuevos conceptos no han sido probados aún en forma sistemática, y tampoco existen diseños estándar.

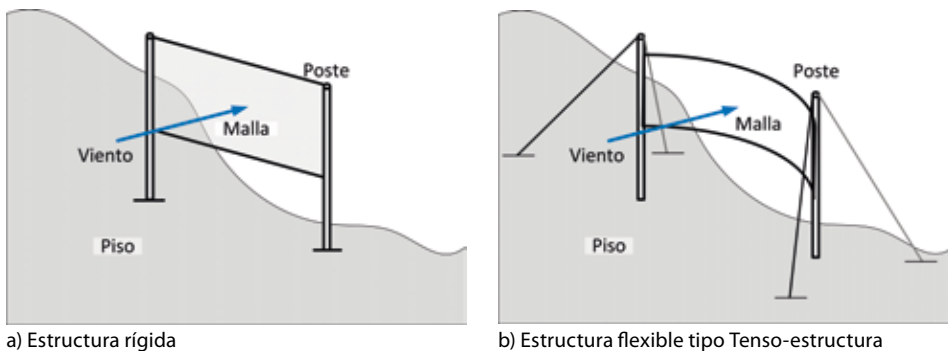


Fig. 3.7: La estructura soportante de un atrapanieblas puede ser rígida (a) o flexible (b)

La presión del viento en temporales puede romper la malla, aunque resista la estructura, siendo esto lo más corriente. Si la malla es barata y fácil de reparar o reponer, se puede considerar como un fusible mecánico que protege la estructura. No obstante, las mallas corrientemente usadas son muy resistentes si se instalan bien. Por ejemplo, la malla Raschel soporta una fuerza de más de  $2,5 \text{ N/mm}^6$  en el sentido de la fibra prin-

<sup>6</sup> La medida de fuerza estándar es el Newton, abreviado como "N". La resistencia de la malla se expresa como una fuerza por unidad de ancho de ella, en milímetros.

cial (dirección de tejido o longitudinal), es decir, un trozo de esta malla de 1 metro de ancho puede sostener un peso de más de 255 kilos. Sin embargo, en la dirección perpendicular, o transversal, soporta aproximadamente 0,5 N/mm; es decir, un trozo de 1 metro de ancho sostiene sólo 50 kilos de peso. Por esta razón, es mejor instalar la malla con la dirección longitudinal alineada con la menor dimensión del atrapanieblas.

Típicamente los atrapanieblas tienen un ancho mayor que el alto, por lo que conviene instalar la malla Raschel con la dirección longitudinal en posición vertical, tal como se ve en el panel de la derecha en la Foto 3.1.

### **Recuadro 3.3: Modelo simple de cálculo de resistencia de la malla**

El modelo de cálculo de la fuerza del viento sobre la malla tiene dos partes. La primera determina la presión del viento sobre la malla en función de su velocidad, y la segunda encuentra la fuerza que estira la malla y que equilibra la presión del viento. Una aproximación a la presión del viento sobre una superficie porosa fue encontrada por Giannoulis et al. (2012) y se expresa en la ecuación 4:

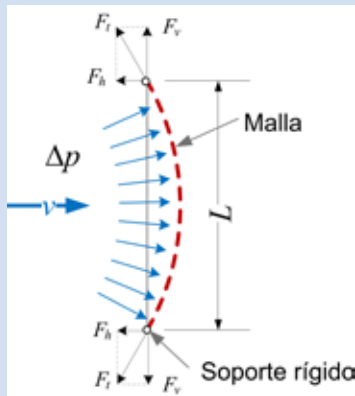
$$\Delta p = \frac{F_w}{A} = s \cdot C_d \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (4)$$

Donde  $\Delta p$  es la presión relativa que el viento ejerce sobre la superficie de la malla,  $F_w$  es la fuerza total que soporta la malla en la dirección del viento (horizontal),  $A$  es el área proyectada de la malla,  $s$  es el coeficiente de sombra de la malla,  $C_d$  es el coeficiente de arrastre,  $\rho$  es la densidad del aire y  $v$  es la velocidad del viento. La presión del viento y la descomposición de fuerzas en los bordes de la malla se muestran en la Figura 3.8 suponiendo una estructura soportante perfectamente rígida y un modelo en dos dimensiones.

La fuerza  $F_t$  que muestra la Figura 3.8 es la fuerza de tracción que soporta la malla y que, eventualmente, la romperá. Para calcular esta fuerza hay que estimar la curvatura de la malla, la que depende de la deformación del material. Esta última se obtiene con un ensayo de tracción, que entrega la relación entre la fuerza que se ejerce sobre la malla y su estiramiento, de donde se obtiene el módulo de elasticidad, además de entregar la fuerza máxima que soporta al romperse.

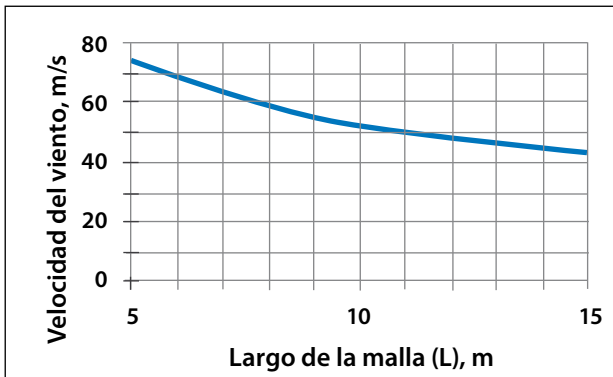
Con toda esta información se puede derivar la ecuación 5 descrita a continuación, la cual entrega la velocidad del viento ( $v_{\max}$ ) que rompe una malla Raschel de 35% de sombra puesta en dos capas (Rivera and López-García, 2014), donde  $L$  es la distancia entre las barras del marco rígido que soporta la malla (Ver Figura 3.8).

$$v_{\max} = \frac{167}{\sqrt{L}} \quad (5)$$



**Fig: 3.8:** Presión del viento y descomposición de fuerzas en los bordes de la malla, donde ésta se fija a la estructura rígida. Modelo bidimensional.

En la Figura 3.9, que muestra el gráfico de la ecuación (5), se aprecia que la malla Raschel 35% de sombra doble soportaría vientos extremadamente fuertes incluso para una separación de 15 metros entre los soportes. Sin embargo, en la práctica se observa que se rompe con vientos mucho más débiles. Esta inconsistencia probablemente se



**Fig: 3.9:** Máxima velocidad del viento que soporta una malla Raschel 35% en dos capas en función de su largo (Distancia entre soportes), correspondiente a la ecuación (5).

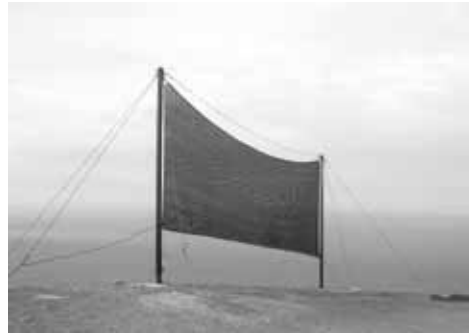
debe a que existen puntos de concentración de tensiones en la fijación de la malla, a que la acción del viento es dinámica y el análisis mostrado es estático. Además, hay que sumar que la velocidad del viento que se reporta es un promedio de 5 o más minutos, y no considera las ráfagas de viento que pueden ser mucho más intensas que el promedio (Holmes et al., 2014). Estos son factores que todavía hay que investigar.

## 3.5 Diseños de atrapanieblas

### 3.5.1 Morfología de los atrapanieblas

#### a. Definiciones estructurales

Como se dijo anteriormente, los atrapanieblas se pueden clasificar entre aquellos con un soporte estructural de marco rígido o aquellos soportes basados en tenso-estructuras. En los atrapanieblas con soportes de marco rígido, la superficie de colección está tensada, ya sea mediante una fijación continua, o en una secuencia de puntos de fijación a un bastidor rígido unido a dos postes, o en algunos casos directamente a los postes y a vigas horizontales (superior e inferior) unidas a los postes. En los atrapanieblas con soporte de tenso-estructura, solo los postes verticales son elementos rígidos y todos los demás elementos son cables y malla tensados.



**Fotos 3.3 y 3.4:** De izquierda a derecha, atrapanieblas con estructura de marco rígido en Peñablanca, Chile (R. Holmes) y con tenso-estructura en Alto Patache, Chile (P. Cereceda)

#### b. Atrapanieblas bidimensionales

La mayoría de los atrapanieblas instalados en diversos lugares del mundo están basados en estructuras bidimensionales, que consisten en una superficie de colección (malla Raschel u otra), enmarcada o tensada entre dos postes, de manera que se ubique perpendicularmente con respecto a la dirección del viento. Estos modelos varían en cuanto a dimensiones y materialidad en las soluciones de empotramiento al suelo y sistema de fijación de la malla.

Estas soluciones son simples y económicas pero presentan problemas de roturas de la malla y de estabilidad estructural frente a los fuertes vientos que están presentes en los lugares de emplazamiento. También está en estudio hasta dónde se puede mejorar el rendimiento de captación de agua de niebla manteniendo esta condición de bidimensionalidad.



**Foto 3.5:** Atrapaniebla bidimensional  
Majada Blanca, Chile (Proyecto Atrapanieblas).

### c. Atrapanieblas tridimensionales

Los atrapanieblas tridimensionales son menos comunes y aunque hay algunos que se ofrecen comercialmente, la mayoría están asociados a proyectos experimentales que plantean soluciones de innovación para optimizar el rendimiento de la colección de agua y, en algunos casos, optimizar la estabilidad estructural frente a los fuertes vientos. Éstos aún requieren de una verificación más precisa de sus resultados.

Algunos de los atrapanieblas tridimensionales están diseñados para ser instalados en lugares con nieblas multidireccionales, para lo cual ofrecen varios frentes con superficies de colección del agua de niebla, como es el caso del atrapanieblas Macrodiamante (Foto 3.6). Sin embargo hay poca información sobre la eficiencia real de estos modelos.

En otros casos como el atrapanieblas DYSDERA, se presenta solo un frente de exposición al viento y a la superficie de colección vertical plana se incorporan planos de colección ubicuos con lo cual se busca una mayor eficiencia en la colección de agua (Foto 3.7).

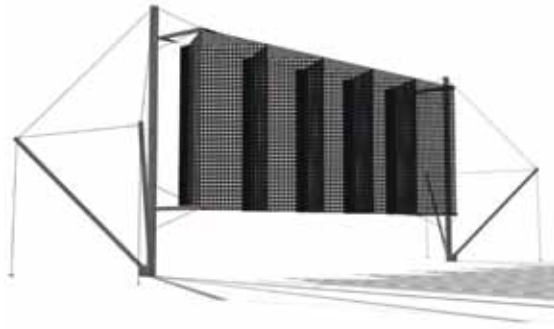


**Foto 3.6:** Macrodiamante (Carlos Espinoza, Antofagasta, Chile)



**Foto 3.7:** DYSDERA (Carlos Sánchez Recio, Islas Canarias, España)

Uno de los últimos atrapaniebla experimentales que se ha desarrollado es el Colector de Agua de Niebla Embudo Modular Aditivo (CAN-EMA) sobre el cual se ha realizado un estudio de su comportamiento aerodinámico y de eficiencia de colección mediante modelos matemáticos con lo cual se obtiene una primera verificación de sus atributos (Figura 3.10).



**Fig. 3.10:** Colector de Agua de Niebla, Embudo Modular Aditivo (CAN-EMA) Proyecto Centro del Desierto de Atacama, PUC (Robert Holmes).

### 3.5.2 Efectos del viento sobre las mallas y estructuras de soporte embolsamiento

El combado, o embolsamiento, es una deformación de la superficie plana de captación (malla) como consecuencia de la deformación plástica y elástica generada por la presión del viento (Foto 3.8). Para esta forma parabólica inducida, el coeficiente de arrastre aumenta, como también aumenta la presión del viento, y como consecuencia de ello, también aumentan las tensiones en el material de la malla (fibras). Por otro lado, según el Recuadro 3.3, la eficiencia de colección de agua también debiera aumentar por el mayor coeficiente de arrastre. Sin embargo hemos observado que en algunas ocasiones en la parte inferior de la superficie curvada, el agua gotea, cayendo fuera del dispositivo de colección. Como conclusión, el fenómeno de embolsamiento puede ser beneficioso para la colección de agua, siempre que no haya pérdida por goteo, ni una disminución significativa de la superficie frontal al viento por el aumento de la curvatura catenaria superior e inferior, ni deformaciones permanentes de la malla.

El embolsamiento aumenta en proporción a la distancia entre el punto central de la malla y su soporte perimetral. Este embolsamiento también decrece cuando la rigidez de la malla y su soporte son mayores. Esto significa que para mayores superficies y menor rigidez de la malla y su soporte, la curvatura del embolsamiento será mayor. Esta curvatura se puede cuantificar según la fórmula  $C = 1/R$ , donde  $R$  es el radio de la curva en la zona de mayor deformación de la malla.



**Foto 3.8:** Deformación de la superficie de colección por embolsamiento debido a la presión del viento. A una misma presión del viento, las deformaciones pueden variar según la resistencia a la deformación plástica o elástica de las fibras o por desplazamientos de las fibras en la retícula de la malla (Proyecto Atrapanieblas).

### 3.5.3 Ruptura de malla

#### a. Ruptura por concentración de tensiones en los puntos de fijación de la malla

En la mayoría de los casos la malla está fijada a un bastidor rígido o a un marco de cables tensados. La fijación se puede generar por una secuencia de puntos discretos o como una fijación continua. En el primer caso, existe una concentración de tensiones en esos puntos, mientras que en el caso de la fijación continua las tensiones se distribuyen homogéneamente. Estas tensiones son directamente proporcionales a la distancia entre los puntos de fijación y dependen del factor de concentración de tensiones y del tipo de fijación utilizada. La ruptura inicial de la malla se produce en las zonas inmediatas de la fijación y se expanden progresivamente en su vecindario. Este fenómeno aumenta según la naturaleza cíclica de las fuerzas inducidas por el viento.

#### b. Ruptura por tensiones en la malla constituida por un material heterogéneo

Este tipo de ruptura depende de la característica isotrópica o anisotrópica<sup>7</sup> del tejido de la malla y/o por debilidades de la fibra. Si consideramos la configuración anisotrópica de la malla es posible predecir que la ruptura ocurrirá en la dirección paralela a la fibra más resistente. En una malla con tejido isotrópico la ruptura sucede en cualquier sector que presente una debilidad del material y es impredecible el lugar donde ocurrirá.

<sup>7</sup> Un material se llama isotrópico cuando sus propiedades no cambian con la dirección en la que se midan. Un material anisotrópico, en cambio, tiene propiedades distintas según la dirección. Por ejemplo, una tabla de madera es anisotrópica porque se parte más fácilmente en la dirección paralela a las fibras que en la dirección perpendicular a ellas.



**Foto 3.9:** La presión del viento puede generar una concentración de tensiones en las zonas de fijación, iniciando la ruptura de la malla (Proyecto Atrapanieblas).



**Foto 3.10:** La ruptura también se puede iniciar en zonas alejadas de las fijaciones y sus características dependerán del comportamiento anisotrópico de la malla (Proyecto Atrapanieblas).

### c. Ruptura extensa de la malla

La ruptura extensa corresponde a un proceso de desintegración de la malla por la falla de sus fibras y de la estructura de su tejido. Esta ruptura extensa tiene su origen en las áreas de concentración de tensiones o en áreas impredecibles debido a su condición anisotrópica. También esta ruptura puede suceder por roce de la malla contra otros elementos del sistema.

En estos casos la ruptura extensa de la malla actúa como un fusible extremo, liberando la presión que actúa sobre la estructura portante y, por lo tanto, salvándola de su destrucción.



**Foto 3.12:** La presión del viento puede generar una ruptura extensa de la malla cuando las fuerzas exceden la resistencia a la tracción de las fibras. Esta ruptura generalmente se inicia en zonas localizadas, pero a partir de ahí se activa un proceso progresivo de desintegración de la malla. (R. Holmes)



### 3.5.4 Destrucción de la estructura

Cuando la malla es suficientemente resistente frente a la presión del viento, la fuerza es transmitida a la estructura portante, la cual puede fallar en los componentes más débiles, como ser las uniones. Si esta estructura puede resistir las tensiones derivadas desde la malla, habrá una concentración de éstas en el empalme de los postes con la base y la estructura puede colapsar como una unidad monolítica.



**Foto 3.13:** Cuando la malla resiste la presión del viento, ésta es transmitida hacia los componentes de la estructura de soporte, generando la destrucción parcial o total del sistema (R. Holmes).

## 3.6 Innovación para la optimización de los atrapanieblas

En el desarrollo de nuevos modelos de atrapanieblas, la especulación creativa abre nuevas fronteras para la innovación de los atrapanieblas. Esta innovación tiene como principal objetivo la optimización en los aspectos funcionales, productivos, económicos y sustentables de los atrapanieblas.

Para avanzar en esta dirección, hay una actividad permanente en diversos centros de investigación a nivel mundial, focalizada en el desarrollo experimental y de verificaciones de los nuevos aportes propuestos. En este contexto, se ha podido determinar un conjunto de factores de diseño que permiten comprender y desarrollar los atrapanieblas como un sistema integral altamente eficiente.

### 3.6.1 Factores de Diseño

A continuación se mencionan los diversos factores funcionales de diseño a considerar, los cuales permiten obtener un producto altamente eficiente:

#### a. Eficiencia de colección de agua

Para optimizar la eficiencia en la colección de agua hay que considerar los factores de diseño relacionados con los fenómenos aerodinámicos del viento y la manera de coleccionar las gotas de agua que son transportadas por éste.

Lo primero es el diseño de los patrones del tejido de la malla que tiene directa rela-

ción con la *eficiencia aerodinámica, la eficiencia de deposición y la eficiencia de drenado*, como se ha expuesto anteriormente en el punto 3.2.

Lo segundo, tiene que ver con la posición de la superficie de esta malla en relación a la dirección del viento. Este factor de configuración espacial ofrece diversas posibilidades de aumentar la cantidad de superficie de malla en relación a una misma superficie frontal del viento. Por otro lado, cuando la posición de la malla es oblicua con respecto de la dirección del viento, se disminuye la proyección de los poros, haciendo más eficiente la colección.

Por último, las soluciones de diseño para la conducción y acopio del agua colectada tienen una importante incidencia en la eficiencia de colección, por cuanto puede ayudar a disminuir mermas por derrames y filtraciones y también evitar la polución del agua colectada.

### **b. Estabilidad estructural**

La presión del viento sobre la malla de colección es muy relevante para la colección de agua de la niebla, y esto implica un gran desafío para su estabilidad estructural. Estos atrapanieblas están expuestos a eventos de vientos ocasionales muy fuertes y que pueden causar un gran daño, ya sea en la malla o en su soporte estructural.

Este desafío se puede enfrentar por medio de una estrategia integral de diseño que considere incorporar sistemas de alivio de presión en la superficie de colección y un sistema de soporte estructural eficiente que permita resistir los esfuerzos generados por la presión del viento sobre la malla.

Además del sistema estructural elegido, es necesario considerar el tipo de materiales más adecuados para su construcción, considerando no solo su resistencia, sino que también su exposición a agentes climáticos que generan oxidación, deterioro por rayos UV, hongos y otros.

Por último, la estabilidad estructural también está condicionada por el tipo de fundaciones o empotramiento del soporte estructural que dependen entre otros factores, a las características del suelo (composición y homogeneidad del material, compactación).

### **c. Variaciones de escala del atrapanieblas**

En cuanto mayor sea la superficie de colección (malla) más agua se puede colectar. Sin embargo, las dimensiones de los atrapanieblas están predeterminadas por el drenaje de agua y por la resistencia, factibilidad constructiva y costo de la estructura de soporte. Por lo tanto, uno de los desafíos para lograr mayores superficies es el diseño de esta estructura.

Hay dos estrategias de diseño recomendables para aumentar las escalas de los atrapanieblas. Una es el incremento de la superficie de la malla que tiene como condicionante las restricciones estructurales, económicas y de instalación de su soporte y la otra, un sistema aditivo de unidades modulares auto-estructuradas, que se van agregando para lograr un incremento de la superficie de colección. Como ejemplo para el primer caso, es-

tán los atrapanieblas planos tradicionales (Foto 3.5) y para el segundo caso está el ejemplo del “macro-diamante” (Foto 3.6) como concepto de unidades aditivas.

### 3.6.2 Factores de producción, transporte, instalación y mantención

Estos factores se mencionan brevemente en esta sección, y serán tratados más profundamente en el Capítulo IV.

#### a. Factibilidad productiva

Un buen diseño de atrapanieblas debe considerar la factibilidad productiva, que debe reconocer cuáles son los recursos humanos calificados, los materiales y las tecnologías productivas y los componentes manufacturados estandarizados disponibles. La integración de estos factores es indispensable para la optimización del proceso productivo del atrapanieblas.

#### b. Factibilidad de transporte, instalación y mantención

Generalmente los lugares donde se instalan los atrapanieblas son de difícil acceso, por lo tanto, hay que diseñar un sistema de componentes que se puedan transportar e instalar con un mínimo de apoyo logístico como vehículos menores, animales o simplemente a mano.

Para dar solución a estas restricciones, el diseño debe considerar dimensiones y peso posibles de trasladar y manipular, además de un sistema de montaje fácil de ejecutar con la menor infraestructura de apoyo posible.

En cuanto a la mantención, para mantener operativo el sistema, hay que considerar un diseño que permita realizar reparaciones o reemplazo de componentes de un modo fácil y efectivo, sin necesidad de mano de obra calificada, con herramientas básicas disponibles y con accesibilidad a materiales para reparaciones o reposición.

### 3.6.3 Factores de sustentabilidad

#### a. Economía de recursos materiales y energía

Un buen diseño de atrapanieblas debe considerar los factores de sustentabilidad relacionados con la economía de los recursos materiales y energía que están involucrados en los procesos productivos, de transporte, instalación y mantención.

Para instalaciones mayores, este producto deberá ser evaluado y validado en cuanto a la huella de carbono.

#### b. Interacción con los procesos naturales

La instalación y operación de los atrapanieblas deben evitar la contaminación ambiental, y no interferir con los procesos naturales del sector, como las cadenas vitales de vegetales y animales, los micro-organismos del suelo y del aire.

### c. Intervenciones en el paisaje

Entre los factores de sustentabilidad, el paisaje requiere una especial atención tanto por su condición de patrimonio natural, como por su presencia geográfico-cultural en la identidad regional.

El camino de acceso al lugar de instalación del atrapanieblas, así como el despeje y adecuación de la zona de su instalación, implican generalmente alteraciones en la topografía del lugar. Estas se deben realizar con el mínimo impacto. Por otro lado, al disponer de una nueva fuente de provisión de agua, es muy probable que aparezca nueva vegetación y la convergencia de animales en busca de su consumo.

Esta dinámica de cambios del paisaje es aceptable en la medida que no pierda su condición armónica con el entorno. Hay que considerar que el atrapanieblas se constituye en un nuevo elemento del paisaje y por lo tanto su diseño debe responder a esta situación, tanto funcional como paisajística.

### Referencias

FogQuest (Sin fecha). FogQuest: Sustainable *Water Solutions*. Recuperado de [www.fogquest.org](http://www.fogquest.org).

Giannoulis, A., Stathopoulos, T., Briassoulis, D. & Mistriotis, A. (2012). Wind loading on vertical panels with different permeabilities. *Journal of Wind Engineering and Ind. Aerodynamics*, 107-108, 1–16. doi: 10.1016/j.jweia.2012.02.014

Gischler, C., (1991). *The Missing Link in a Production Chain, Vertical obstacles to catch Camanchaca*. Montevideo: ROSTLAC-UNESCO.

Holmes, R., Rivera, J.D., & de la Jara, E. (2014). Large Fog Collectors: New Strategies for Collection Efficiency and Structural Response to Wind Pressure. *Atmospheric Research*. doi 10.1016/j.atmosres.2014.06.005.

Park, K-C., Chhatre, S.S., Srinivasan, S., Cohen, R.E. & McKinley, G.H. (2013). Optimal Design of Permeable Fiber Network Structures for Fog Harvesting. *Langmuir* 29 (43), 13269-13277. doi: 10.1021/la402409f

Rivera, J.D. (2011). Aerodynamic collection efficiency of fog water collectors. *Atmospheric Research*, 102, 335–342. doi:10.1016/j.atmosres.2011.08.005.

Rivera, J.D., Lopez-García, D. (2014). Mechanical characteristics of Raschel mesh and their application to the design of large fog collectors. *Atmospheric Research*. doi: 10.1016/j.atmosres.2014.06.011

## C A P Í T U L O I V

**Construcción, operación, inspección y mantenimiento de atrapanieblas****Juan de Dios Rivera A.***Centro del Desierto de Atacama, Escuela de Ingeniería  
Pontificia Universidad Católica de Chile***Pedro Hernández P.***Consultora Agraria Sur Ltda.*

La construcción y montaje de atrapanieblas es una etapa que debe ser cuidadosamente planificada. Para minimizar los costos, normalmente es conveniente comprar o mandar a hacer las partes del atrapanieblas a distintos lugares, de acuerdo a la especialidad de los talleres. Por ejemplo, en un taller pueden hacer muy bien y a bajo costo cualquier trabajo con tubos, mientras que en el caso de uno donde no trabajan con tubos, pueden hacer con ventajas trabajos de torno y soldadura. El poner las partes y piezas necesarias en el terreno donde se montarán los atrapanieblas también requiere de planificación y una logística especial, ya que normalmente los accesos al terreno no son buenos. Finalmente, como el trabajo en terreno se hace en condiciones más difíciles que en un taller, hay que maximizar el trabajo de taller y minimizar el de terreno.

La operación, inspección y mantenimiento de los atrapanieblas es vital para que estos duren muchos años de servicio ininterrumpido. Muchos proyectos de cosecha de agua de niebla fracasan, justamente porque descuidan este aspecto.

Estos temas y otros relacionados son tratados en el presente capítulo. Primero se cubre el tema de la compra de materiales y fabricación de piezas y partes, muy importante para minimizar el trabajo en terreno. Luego se trata el problema del traslado de estos elementos al sitio del montaje, que normalmente se complica por la falta de caminos, para pasar al tema del montaje. Posteriormente, en tres secciones interdependientes, se ve los aspectos de operación, inspección y mantenimiento.

**4.1 Compra de elementos y fabricación de piezas y partes**

La compra de elementos, como mallas, cables, cuerdas, grapas, guardacabos, grilletes, entre otros, es crucial para tener como resultado un buen producto, ya que hay que asegurar que sean de buena calidad, de las dimensiones adecuadas y del menor costo. Siempre es bueno cotizar con distintos proveedores para comparar precio, calidad y servicio. En particular, hay que comparar proveedores locales con los de las grandes ciudades. En general los segundos tienen mayor disponibilidad de materiales y menores precios, pero hay que agregarle el costo del transporte adicional requerido.

El material del que están hechos los elementos, partes y piezas es un factor muy importante. Todos los elementos de plástico, cuya base puede ser polietileno, PVC u otros, deben estar protegidos de la radiación ultravioleta (UV), con algún aditivo. En el caso de los elementos de acero al carbono, como cables, guardacabos, grilletes, etc., deben ir cincados (o galvanizados) y comprobar que el recubrimiento de cinc sea parejo, liso y sin poros, debe “verse” bien. El acero al carbono pintado no tiene tan buen comportamiento, porque la pintura tiende a desprenderse con el tiempo, mientras que el acero inoxidable es el material óptimo de utilizar, pero es de mayor costo. El cobre y sus aleaciones (latón y bronce) también tienen buena duración, pero normalmente son mucho más caros que las otras alternativas. El aluminio no es recomendable, ya que no resiste bien los ambientes salinos o ácidos.

La fabricación de piezas y partes debe ser realizada por talleres o maestranzas calificadas. En general conviene fabricar y montar todo lo posible en taller y no en terreno, ya que en terreno el trabajo es más lento, de peor calidad y más caro. La principal limitación al trabajo en taller radica en el máximo tamaño de las partes que se puede transportar a terreno, lo que a su vez depende de las vías de acceso al lugar donde se montarán los atrapanieblas. Es importante contar con buenos dibujos o planos de construcción para evitar malos entendidos y errores en las piezas. Al retirar las piezas y partes del taller hay que verificar que cumplan con las dimensiones y especificaciones de los planos. Si se fabrican en talleres distintas partes y piezas que luego se deben juntar, es particularmente importante verificar que las medidas sean correctas y que calzan unas con otras. Esta verificación debe hacerse lo más temprano posible y, en todo caso, antes de llevar todo al sitio de montaje del atrapanieblas. Los maestros usan el término “presentar las partes”, que significa verificar que estas partes se unan bien entre sí.

## 4.2 Acceso y transporte de materiales, piezas y partes

### 4.2.1 Partes y piezas a trasladar

Tomando en cuenta los atrapanieblas de 150 m<sup>2</sup> (9 metros de altura por 20 metros de ancho y la malla a 1,5 metros del suelo) del Proyecto Atrapanieblas, se requiere de transportar postes (6 piezas de 3 metros c/u), uniones para los postes (2 cabezas, 6 uniones de poste, 2 bases y 2 rótulas), 4 fierros de anclaje, cable (225 metros), malla (160 m<sup>2</sup>), canaleta (21 metros de manguera de drenaje y de manga), fierros de anclaje (4 fierros), elementos que se muestran en la Figura 4.1. Adicionalmente se requiere trasladar accesorios menores, como broches para malla, cable para instalación de canaleta, grampas, guardacabos, alambre, entre otros.



**Fig. 4.1:** Parte y piezas para construcción de atrapanieblas. (Proyecto Atrapanieblas)

Adicionalmente a los componentes propios del atrapanieblas, otros elementos a transportar son agua, cemento, gravilla y piedras o en su defecto hormigón preparado, esto para la realización de los anclajes (Figura 4.1). También se requiere el transporte de equipos menores, como betonera, generador eléctrico, andamios, cuerdas, entre otras herramientas. Las características de estos materiales obligan a realizar el transporte a través de vehículos de carga desde el lugar de adquisición de estos elementos, al de montaje de atrapanieblas.

Finalmente, dado que ciertos lugares presentan una importante lejanía de los centros urbanos, el personal que instalará la infraestructura deberá acampar en el lugar, para lo cual será necesario transportar elementos para la pernoctación (Carpas, etc.), como también para el abastecimiento de alimentos y agua.

Para este tipo de infraestructura se requiere al menos 4 operarios y una semana de trabajo por atrapanieblas.

#### 4.2.2 Accesibilidad a los lugares de montaje.

Tal como se menciona en el Capítulo 1, en Chile los montajes de los atrapanieblas se desarrollan en los cerros de la Cordillera de la Costa, sobre los 500 metros de altitud, con el objeto de aprovechar la niebla que se produce en éstos. En general, los sitios presentan una baja accesibilidad, debido a que tienen caminos particulares de tierra con una baja mantención (Foto 4.1), o huellas realizadas por el tránsito de animales menores (Foto 4.2). Para estas condiciones se requiere de vehículos motorizados altos que puedan desplazarse por los caminos de estos sectores y otro tipo de maquinaria para acceder a través de las huellas.



**Fotos 4.1 y 4.2:** La primera muestra un camino de tierra de baja accesibilidad y la segunda una huella trazada por el transporte de animales menores (Mapa Google Earth – Proyecto Atrapanieblas).

### 4.2.3 Transporte de materiales

Un aspecto fundamental para el transporte de materiales es planificar adecuadamente el lugar donde se instalarán los atrapanieblas. Ante esto, se debe realizar una revisión exhaustiva de los lugares potenciales, primero con el apoyo de mapas (Google Earth es de gran ayuda), identificando los caminos y accesos, para posteriormente realizar una visita de terreno, determinando las posibles rutas y finalmente seleccionando el lugar que posea la mayor proporción de camino con acceso para vehículos motorizados.



En algunos casos, cuando no sea factible poder contar con toda la accesibilidad necesaria para el ascenso de vehículos motorizados, se tendrá que recurrir a utilizar maquinaria especializada de transporte como *mini-dumper* (Fotos 4.3 y 4.4), los cuales tienen un buen desenvolvimiento en transporte de materiales sobre “huellas” de camino. La otra posibilidad, es contar con un *mini-bulldozer* (Foto 4.5), que pueda hacer un camino para el acceso de vehículo motorizado, como una camioneta 4x4.



**Fotos 4.3 y 4.4:** Maquinaria especializada mini-dumper. (<http://www.tradecounter-direct.com> – Proyecto Atrapanieblas)

**Foto 4.5:** Ejemplo de mini-bulldozer para abrir camino (<http://tractor.en.made-in-china.com>)

Finalmente, un aspecto relevante a considerar es la reducida visibilidad que se produce los días en que hay presencia de niebla, por lo cual es necesario extremar las medidas de seguridad.

### 4.3 Montaje de atrapanieblas

#### 4.3.1 Características del atrapanieblas

Como ha sido mencionado anteriormente, el atrapanieblas del Proyecto Atrapanieblas presenta dimensiones de 9 metros de altura por 20 metros de ancho, lo que entrega una superficie de 150 m<sup>2</sup> útiles para la cosecha de agua (Figura 4.2).

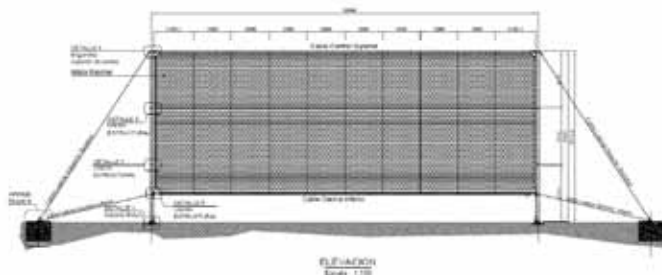


Fig. 4.2: Características del atrapanieblas (Proyecto Atrapanieblas)

#### 4.3.2 Fases del Montaje de atrapanieblas

En el montaje del atrapanieblas se pueden distinguir las siguientes fases: Selección del lugar para el montaje, marcado de puntos de instalación de atrapanieblas, ejecución de anclajes e instalación de rótula, conexión de cables y pintado de postes, levantamiento de estructura, instalación y levantamiento de malla, instalación de canaleta receptora de agua, y finalmente instalación de estanques, cañerías y válvulas. A continuación se describe cada una de estas fases.

##### a. Selección del lugar para montaje

En general se deben preferir lugares limpios de vegetación, sin rocas, con el objeto de realizar la menor intervención al entorno y evitar esfuerzos de despeje. En cuanto al lugar se pueden seleccionar sitios planos o hasta con una pendiente de 25% entre los postes del atrapanieblas. También se debe considerar la dirección de la niebla preponderante en el lugar, debiéndose posicionar el atrapanieblas en forma perpendicular a ésta. Más detalles se especifican en el Capítulo I.

##### b. Marcado de puntos de instalación atrapanieblas

Una vez seleccionado el lugar se procede a marcar donde se instalará la infraestructura. A partir de las dimensiones señaladas en el plano, tal como indica la Figura 4.3, se marcan los 4 lugares de anclaje, en rojo en la figura, y los 2 lugares donde se posicionarán los postes, en verde en la figura. El marcado en terreno, se realiza utilizando cinta de medir y pintacal.

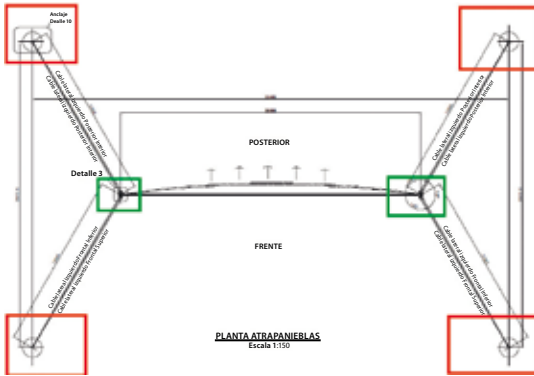


Fig. 4.3: Puntos de instalación del atrapanieblas (Proyecto Atrapanieblas).

### c. Ejecución de anclajes e instalación de rótula.

Para la instalación de los anclajes (Foto 4.6), se deben construir 4 hoyos (Foto 4.7) de dimensiones de 1,3 x 1,3 x 1,0 metros de profundidad, donde se inserta el fierro de anclaje (Foto 4.8).



Fotos 4.6, 4.7 y 4.8: Anclaje e instalación de rótulas. (Proyecto Atrapanieblas).

En general, dado que no se conocen las características del terreno, es recomendable la utilización de taladros manuales (Foto 4.9) para la ejecución de los hoyos. Para la preparación del hormigón, es indispensable usar una betonera portátil (Foto 4.10). Además, dado que en estas zonas normalmente no existe electricidad, es necesario el uso de generadores eléctricos (Foto 4.11).



Fotos 4.9, 4.10 y 4.11: De izquierda a derecha, taladro manual, betonera portátil y generador eléctrico (<http://www.dewalt.cl/> - <http://www.ciam.cl/> - <http://www.ingequipos.cl/>)

Preparados los anclajes se procede al montaje del apoyo de la rótula (Foto 4.12), la cual sostendrá el poste del atrapanieblas, para lo cual se debe cavar un hoyo de 60x60x60 cm, el cual se rellena con hormigón, insertándose la rótula en el cemento (Foto 4.13). Esta rótula es la que sostendrá al poste del atrapanieblas, la cual deberá ser engrasada para un adecuado trabajo de esta pieza con la base (Foto 4.14).



Fotos 4.12 (Inferior), 4.13 (Superior izquierda) y 4.14 (Superior derecha): Montaje del apoyo de rótula (Proyecto Atrapanieblas).

#### d. Conexión de cables y pintado de postes

El siguiente paso es la unión de los cables laterales, horizontales y verticales, con las piezas 1 y 2 del atrapanieblas, tal como muestra la Figura 4.4, para lo cual se utilizan grampas y guardacabos galvanizados (Foto 4.15). Normalmente hay que usar distintos tipos de llaves asegurando el torque recomendado por el fabricante (Foto 4.16). También en esta fase, dado que se ha privilegiado el uso de tubos de acero al carbono para los postes sin protección ante las condiciones ambientales de alta humedad, se procede a pintarlos con anticorrosivo de acuerdo a las especificaciones del fabricante.

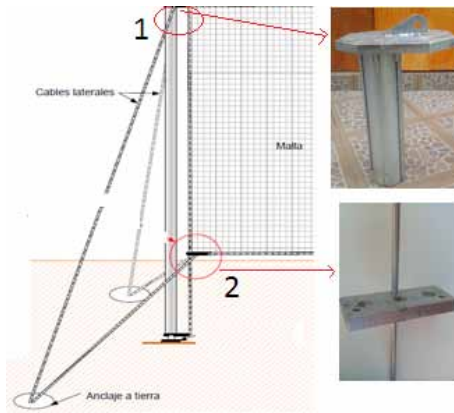


Fig. 4.4: Unión de cables, horizontales y verticales, con las piezas 1 y 2 del atrapanieblas (Proyecto Atrapanieblas)

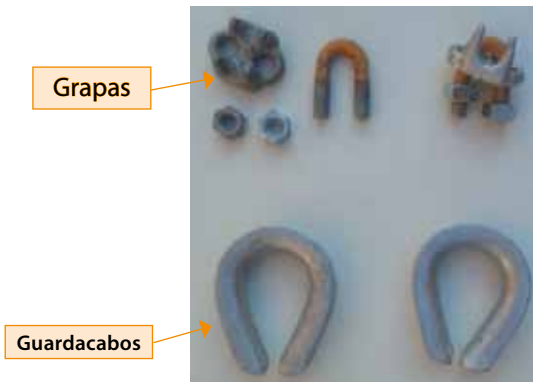


Foto 4.15: Grapas y guardacabos galvanizados (Proyecto Atrapanieblas).



Foto 4.16: Uso de llaves (Proyecto Atrapanieblas).

### e. Levantamiento de estructura

En esta fase, se procede a levantar los postes y a realizar las conexiones de los cables laterales con los anclajes y el cable central superior entre los postes, elementos que sostendrán la estructura del atrapanieblas (Figura 4.5).

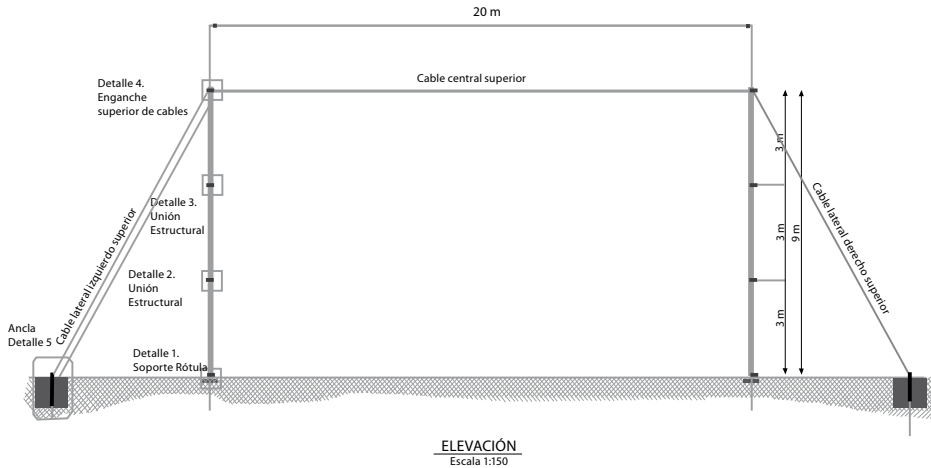


Fig. 4. 5: Levantamiento de atrapanieblas (Proyecto Atrapanieblas).

Dada las dimensiones del atrapanieblas, éste requiere de una estructura auxiliar para su montaje, como son los andamios, estructura que debe ser adecuadamente sostenida al piso, a través de cables auxiliares y bases soportantes.

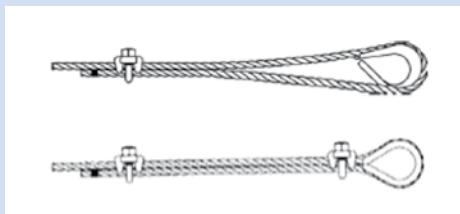
El trabajo en altura obliga a la utilización de elementos de seguridad (Foto 4.17) para quienes trabajarán en el levantamiento de las piezas. Una vez montados los andamios, viene el ascenso y colocación de los postes y uniones que constituirán el atrapanieblas (Foto 4.18). Finalizado el levantamiento, se procede a unir los cables laterales con los anclajes y el cable central superior. Luego, se realiza la tensión de cables, la cual se desarrollaba manualmente con el apoyo de tecles, para posteriormente colocar las respectivas grapas y guardacabos (Foto 4.19). La instalación de las grapas debe hacerse de acuerdo a las especificaciones del fabricante, resumidas en el Recuadro 4.1.

**Recuadro 4.1: Especificaciones de grapas y su montaje en los extremos del cable**

Tamaño Cable y grapa (plg.)	Nº Mínimo de Grapas	Cantidad de Cable a Doblar en Pulgadas	Torque en Lbs.-Pie
1/8	2	3-1/4	4.5
3/16	2	3-3/4	7.5
1/4	2	4-3/4	15
5/16	2	5-1/4	30
3/8	2	6-1/2	45
7/16	2	7	65
1/2	3	11-1/2	65

**Tabla 4.1:** Número de grapas, extensión de la terminación de los extremos y torque necesario en las tuercas de las grapas

1. Consultar la Tabla 1 al seguir estas instrucciones. Doblar hacia atrás la cantidad de cable especificada, desde el guardacabo u ojo. Colocar la primera grapa a una distancia equivalente a la base de la grapa desde el extremo muerto del cable. Aplicar el tornillo "U" sobre el extremo muerto del cable, el extremo vivo descansa en la base. Apretar las tuercas uniformemente con torquímetro, alternando de una a la otra hasta lograr el torque recomendado.
2. Cuando se requieren dos grapas, aplicar la segunda grapa lo más cerca posible del guardacabo. Apretar las tuercas alternando el torque recomendado con torquímetro. Cuando se requieren más de dos grapas, colocar la segunda grapa lo más cerca posible del guardacabo u ojo. A continuación gire las tuercas de la segunda grapa, pero no las apriete. Proceder al paso 3.
3. Cuando se requieren tres o más grapas, espaciar las grapas adicionales a la misma distancia entre las dos primeras, tensar el cable flojo, apretar uniformemente las tuercas en cada tornillo U, alternando de una tuerca a la otra hasta lograr el torque recomendado con torquímetro.



**Fig. 4.6 y 4.7:** Detalle de instalación de grapas y guardacabo en el extremo del cable de acero.



Fotos 4.17, 4.18 y 4.19: De izq. a der., Elementos de seguridad; ascenso y colocación de postes y uniones; colocación de grampas y guardacabos. (Proyecto Atrapanieblas).

### f. Instalación y levantamiento de malla

Terminada la fase de levantamiento de la estructura, es posible iniciar la colocación de la malla, la cual va montada en una estructura de cables (Figura 4.5). Todo el trabajo de ensamblaje de la malla se realiza a nivel del suelo, antes de subir la malla.

El primer paso corresponde a la instalación de la malla en los cables. Dada la mayor durabilidad y resistencia, se recomienda la utilización de mallas realizadas con tejido de Polietileno Alta Densidad (Foto 4.20), las cuales de acuerdo a las especificaciones de los fabricantes, pueden durar hasta 7 años a la intemperie.

Para la sujeción de las mallas a los cables, se utiliza alambre y broches rectangulares (Foto 4.21), los cuales son instalados de acuerdo a recomendaciones del fabricante (Foto 4.22). El resultado final óptimo, se muestra en la Foto 4.23.



Fotos 4.20, 4.21, 4.22 y 4.23: De izq. a der., Malla Polietileno Alta Densidad; Broche rectangular; Instalación de alambre y broches. Abajo, resultado de la instalación (Proyecto Atrapanieblas).



Terminado el proceso de instalación de la malla a los cables, el siguiente paso es izarla. Para esta operación se debe preparar el cable superior, colocando en uno de los extremos un "Candado Pera" (Foto 4.24), al cual posteriormente se le introduce el cordel que permitirá el ascenso de la malla, con la ayuda de una polea que se instala en uno de los orificios de la cabeza del poste (Foto 4.25), para posteriormente levantar la malla (Foto 4.26).



Fotos 4.24 y 4.25: De izq. a der., "Candado Pera" y polea a instalar en uno de los orificios de la cabeza del poste (Proyecto Atrapanieblas).



Foto 4.26: Levantamiento de malla (Proyecto Atrapanieblas).

Una vez que la malla está en la parte superior, se procede a fijarla con un grillete (Foto 4.27) y las respectivas grampas, quedando el amarre tal como se presenta en la Foto 4.28. Este sistema posteriormente permite el izado y bajada de la malla sin desarmar la estructura del atrapanieblas. Terminada esta fase se procede a desarmar la estructura de los andamios (Foto 4.29).



**Foto 4.27:** Fijación con grillete (Proyecto Atrapanieblas).



**Foto 4.28:** Amarre de malla (Proyecto Atrapanieblas).



**Foto 4.29:** Una vez concluido el proceso de instalación de malla, se procede a desarmar la estructura de andamios. (Proyecto Atrapanieblas).

### g. Instalación de canaleta receptora de agua

La canaleta está formada por una manguera de alta resistencia (Foto 4.30) de 4 pulgadas, comercialmente llamadas mangueras de bombero, la cual se parte para abrirla. Este diseño la hace muy flexible, de modo que se adapta a la curvatura que tome la malla. Para que el agua escurra sin dificultad, la canaleta debe quedar con una pendiente de al menos 5% entre postes. Para sostener la canaleta, se le insertan broches en los que se introducen dos cables que van sujetos a la estructura soportante (Foto 4.31). Para mantener abierta la canaleta se utiliza una manguera de drenaje de 4 pulgadas.



Foto 4.30: Elementos de una canaleta (Proyecto Atrapanieblas).

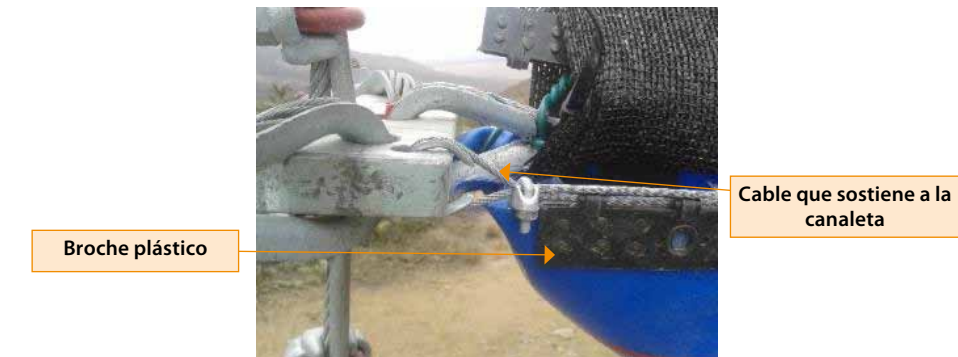


Foto 4.31: Estructura soportante de la canaleta (Proyecto Atrapanieblas).

### h. Instalación de estanques, cañerías y válvulas

A partir de los usos que se le dará al agua de niebla, se debe definir la instalación de los diferentes componentes del sistema, tanto para riego agrícola o de agua para consumo.

En lo que respecta al uso agrícola, en la Región de Coquimbo, la zona de cosecha de agua de niebla difiere de donde ésta será utilizada, ya que las condiciones climáticas imperantes en las cumbres de los cerros son deficientes para la agricultura, por lo cual los cultivos deben desarrollarse en las partes bajas de estos. Situación similar se da para el caso del agua para consumo, ya que los habitantes en general se encuentran cercanos a caletas o a pequeños villorrios en las partes bajas del litoral. En el ámbito forestal, esta condición no necesariamente ocurre, ya que esta actividad es posible desarrollarla en las partes altas de los cerros.

Atendiendo la necesidad, tanto agrícola como de agua para consumo, se hace indispensable trasladar el agua a grandes distancias y con desniveles importantes. A modo de ejemplo, en el sistema de riego agrícola que se muestra en la Figura 4.8, correspondiente al proyecto de atrapanieblas de Majada Blanca (Coquimbo), el agua debe ser trasladada una distancia de 2,6 kilómetros desde su producción al lugar de uso, y con un desnivel de cota de aproximadamente 500 metros, aspectos que requieren ser considerados en el diseño del sistema.



Fig 4.8 Sistema de riego agrícola en Majada Blanca (Mapa Google Earth)

En cuanto a las consideraciones que deben tenerse en cuenta, a parte de las corrientes que se utilizan en el diseño de sistemas de agua para consumo o riego agrícola (Tamaño de la población objetivo, tipo de cultivo, volumen potencial de captación, dotación mínima, cota, caudal, entre otras), se pueden mencionar las siguientes, que tienen estricta relación con las condiciones geográficas donde se desarrolla este tipo de proyecto.

#### • **Matriz de conducción y su trazado**

Aunque existen distintos softwares que permiten optimizar la ruta de la matriz, la vegetación existente, algunos eventos como rocas, piedras sueltas, zonas de apareamiento de animales, pequeñas quebradas que en períodos de precipitaciones importantes pueden romper la matriz, entre otros, hacen que la ruta final en su trazado requiere de numerosas visitas a terreno, las que deben en general desarrollarse a pie, ya que en muchos sectores no existen caminos y son intransitables para animales de transportes por su elevada pendiente.

También se debe considerar en el diseño, que no ocurra el ingreso accidental de elementos extraños a la matriz que pueden obstruirla, como por ejemplo, insectos (Abejas), pequeñas piedras probablemente trasladadas por los pájaros, entre otros elementos, los cuales son captados en la canaleta receptora de agua del atrapanieblas y luego por el agua introducida a la matriz.

Otro aspecto fundamental a tomar en cuenta en el diseño son los reductores de presión (Válvulas), dada las altas diferencias de cota existentes en terreno. También los materiales de la matriz deben resistir las presiones que se dan en su interior. A esto se suma, si está superficial, debe ser capaz de resistir el pisoteo de los animales.

Finalmente, es necesario considerar en la matriz algún tipo de filtro o estanque decantador, que permita reducir la cantidad de polvo que los atrapanieblas captan, especialmente en los días que no existe niebla, partículas que posteriormente cuando vuelve a ocurrir el proceso son trasladadas a la matriz de conducción, lo que potencialmente afecta a la conducción y a la turbiedad del agua.

#### • **Estanques**

Con relación a este elemento, se requiere idealmente que los estanques sean cerrados, ya que aunque el sector esté cercado, impidiendo el paso de la ganadería; existe una importante microfauna en estas zonas, la cual en períodos de nulas precipitaciones, recurren a estos reservorios, provocándoles su muerte por inanición.

Otro aspecto a considerar es el tamaño del estanque, dada la variabilidad de producción de agua a partir de la niebla, para obtener una mayor seguridad de disponibilidad se requerirá de un estanque de mayor tamaño lo que obliga a mayores costos (ver Recuadro 3.1).

## 4.4 Operación

Los atrapanieblas están diseñados de tal forma que su operación no requiera la intervención de personas (Fotos 4.32 y 4.33).



Fotos 4.32 y 4.33: Atrapanieblas montados en Majada Blanca, IV Región (Proyecto Atrapanieblas).

Como fue abordado en el Capítulo 2, referente a instrumentación, para determinar la correcta operación de los atrapanieblas, se debe poseer un sistema de medición de éstos, ya que pueden dar rendimientos de colecta de agua por debajo de lo diseñado. Para esto se utiliza por un lado un neblinómetro, para identificar la potencialidad de captura de niebla del lugar, además de un flujómetro que establezca la cantidad de agua que es capaz de capturar el atrapanieblas.

Si la estructura no es capaz de colectar lo estipulado, deberá verificarse si la estructura quedó montada en forma perpendicular a la dirección preponderante del viento, si la malla quedó adecuadamente tensa, entre otros aspectos. Para más detalles, referirse al Capítulo II.

## 4.5 Inspección

Cuando hemos instalado recientemente un atrapanieblas, lo recomendable es realizar visitas semanales, con el objetivo de detectar tempranamente las siguientes anomalías:

- Posibles fallas en la instalación de las estructuras, asociadas a potenciales problemas con los anclajes, ya que pueden colapsar ante vientos de gran envergadura cuando la mezcla de hormigón utilizada no fue la especificada.
- Tensión no adecuada de los cables, que hacen que la estructura no trabaje en forma pareja.
- Grapas con torque inadecuado, que hacen que parte de la estructura puede soltarse o caer.
- Malla con escasa tensión, lo que puede provocar importantes pérdidas de agua fuera de la canaleta.

- Roturas de las mallas, especialmente en las uniones con los broches.

Una vez corregidas estas posibles anomalías, las inspecciones pueden ir distanciándose con el tiempo, pero de todas formas, se recomienda hacerlas al menos una vez al mes. Asimismo, durante estas inspecciones se debe aprovechar de levantar la información sobre el agua obtenida por el atrapanieblas.

#### 4.6 Mantenimiento

El mantenimiento está asociado a los daños que provocan las condiciones climáticas sobre el atrapanieblas, como son los fuertes vientos que pueden dañar la malla, la pérdida de tensión de los cables, la entrada de óxido en los postes, entre otros.

Algunas mantenciones exigen ascender a la estructura, para lo cual es necesario contar con sistemas que permitan alcanzar la parte superior del atrapanieblas con seguridad para el operador. Una alternativa es usar peldaños portátiles que se afirman a los postes (Foto 4.34), los cuales pueden montarse y desmontarse en los postes (Foto 4.35), pudiendo ascender el personal con elementos de seguridad correspondientes, tales como arnés y cuerda de seguridad (Foto 4.36).



Fotos 4.34, 4.35 y 4.36, en sentido de reloj: Peldaños portátiles pueden ser montados a los postes para ascender con seguridad a la parte superior del atrapanieblas. (Proyecto Atrapanieblas).





## C A P Í T U L O V

### Usos del agua de niebla

**Jorge Leiva V.**  
*Consultora Agraria Sur Ltda.*

**Pedro Hernández P.**  
*Consultora Agraria Sur Ltda.*

El presente capítulo tiene el objetivo de establecer los potenciales usos del agua de niebla, para lo cual se realiza una estimación que permita cuantificar la capacidad que tiene la región de Coquimbo en la generación de agua a partir de su captación mediante el uso de atrapanieblas. Para esto, se toma como base la tecnología actualmente existente, antecedentes del proyecto Atrapanieblas, así como de estudios anteriores.

Para ilustrar el uso de agua de niebla, se destacan algunas experiencias en Chile y en el mundo. También se proponen usos futuros del agua, especialmente en el ámbito agrícola del Norte Chico, donde se presentará una propuesta en base a especies agrícolas y forestales que podrían tener perspectivas comerciales usando agua de niebla, dado sus bajos requerimientos hídricos y su adaptación a las condiciones agroecológicas de la zona.

### 5.1 Antecedentes generales

#### 5.1.1 Características del agua de niebla para su uso productivo.

Como se ha expuesto en el Capítulo II, los atrapanieblas podrían generar a nivel regional con la tecnología que hoy existe, un máximo 1,4 m<sup>3</sup>/s de recursos hídricos, lo que podría abastecer aproximadamente un 4% de la demanda de agua de toda la región o cubrir casi el 100% de las sus necesidades de agua potable.

Para analizar con detención esta idea, la Tabla 5.1 aporta datos sobre las demandas del recurso hídrico en la región de Coquimbo:

Sector	Demanda (m <sup>3</sup> /seg)
Agropecuario	27,2
Agua Potable	1,5
Industrial	0,3
Minero	1,8
Energía	1,3
Forestal	0,0
Turismo	0,0
Caudal ecológico	3,4
Otros	0,6
TOTAL	36,0

**Tabla 5.1:** Requerimientos del recurso hídrico por sector, IV Región (DGA, Estudio de la demanda actual de los usos consuntivos del agua IV Región, 2007).

Observando la tabla, se advierte que por lejos el sector agropecuario es el que demanda la mayor cantidad de agua (75% del total). Por ello, a modo de estimación y considerando que en la región se riega un total de 75.713 hectáreas (Censo Agropecuario y Forestal, 2007), con el agua captada por atrapanieblas (1,4 m<sup>3</sup>/s) podrían regarse al menos 3.898 hectáreas<sup>8</sup>, asumiendo que se usan los mismos cultivos, métodos y eficiencia de riego.

En nuestro país, el uso del agua alcanza 4.710 m<sup>3</sup>/s, de los cuales el 89% corresponde a los usos no consuntivos y 11% a usos consuntivos (Ayala, 2010). En este sentido, el riego representa el 73% de las extracciones a nivel nacional, utilizando para regar 1,1 millones de hectáreas que se localizan casi completamente entre las regiones IV a X (INE, 2007). El uso doméstico equivale a un 6% de las extracciones y se utiliza para abastecer al 99,8% de la población urbana y rural concentrada. Los usos mineros e industriales representan el 9 y 12%, respectivamente, de las extracciones totales (Ayala, 2010).

Tomando en cuenta la captación de agua por atrapanieblas, ésta en cada temporada presenta variaciones, encontrando para el Tofo, en la comuna de la Higuera, Región de Coquimbo, períodos de cosecha de 5,86 l/m<sup>2</sup>/día a valores de 2,1 l/m<sup>2</sup>/día (Tabla 5.2). También de esta tabla se desprende que un m<sup>2</sup> de atrapanieblas recolectaría al año, el equivalente a una precipitación anual de 1.179 milímetros.

Una importante característica que presenta la niebla, si la comparamos con las precipitaciones de una estación meteorológica costera, encontramos que su variabilidad anual es menor que el agua procedente de lluvia (Tabla 5.2), lo que permite planificar más adecuadamente, por ejemplo, los cultivos a desarrollar en la zona costera de secano e introducir cultivos de requerimientos hídricos más estables durante diferentes períodos, como podemos observar en la siguiente tabla:

Promedio anual El Tofo		
Año	Promedio Anual de agua recolectada por niebla en (l/m <sup>2</sup> /día)	Precipitación media anual La Serena (Florida) (mm)
1988	3,09	10
1989	2,72	57
1990	2,80	140
1991	5,86	118
1992	3,70	180
1993	2,91	68
1994	2,67	34
1995	2,10	13
Promedio 1988-95	3,23	77,26
Desviación Estándar	1,2	62,5
% Desviación sobre el promedio	36%	81%

**Tabla 5.2:** Comparación de la variabilidad anual en la generación de agua captada por atrapanieblas y por precipitaciones. (Variación temporal de la niebla en El Tofo-Chungungo, IV Región, 1987-1995).

8 (1,4 m<sup>3</sup>/ha \* 75.713 ha) /27,2 m<sup>3</sup>/ha

En cuanto a la variación mensual de la niebla, es posible observar que su captura es inversamente proporcional a la lluvia, ya que las precipitaciones se concentran entre marzo a septiembre con peak en junio. En cambio, la cosecha de agua de niebla se concentra entre septiembre y marzo, con peak en noviembre, relación que se presenta en la Figura 5.1. Por lo tanto, estas fuentes son complementarias y le permiten al sistema reducir su incertidumbre, especialmente a la agricultura de secano, debido a la menor variabilidad mensual que presenta la niebla.

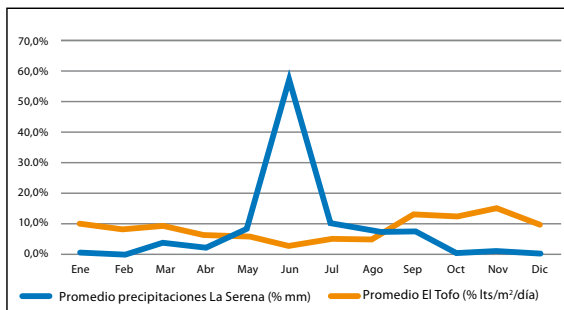


Fig. 5.1: Comparación en la generación de agua por precipitaciones y por niebla

Otras de las características de la niebla, y que fue abordado con mayor profundidad en el Capítulo II, es que presenta variabilidad a la altura que se colecta. A su vez, la niebla presenta variabilidad diaria en su disponibilidad. Por un lado, existen días de alta disponibilidad (14 l/m<sup>2</sup>/día), como períodos de nula disponibilidad, la cual puede ser de un día o máximos de 15 días, de acuerdo a la información levantada en Majada Blanca, situación que obliga necesariamente a disponer de sistema de almacenaje para su uso (Figura 5.2).

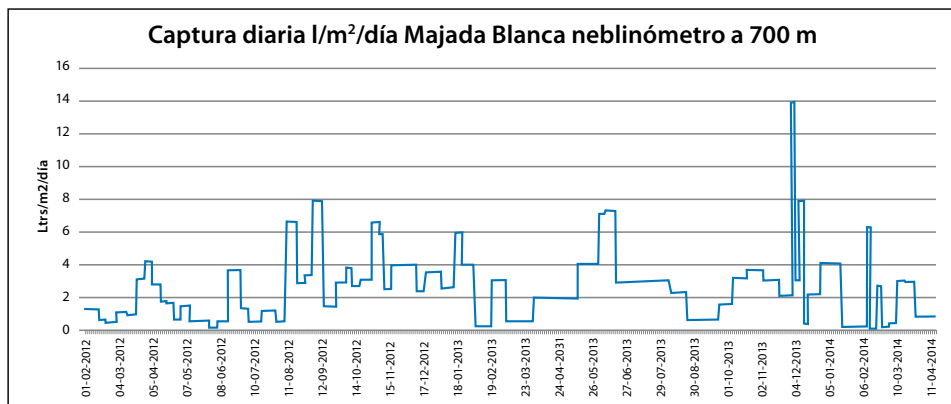


Figura 5.2: Evolución de la captura de agua a través de la temporada.

Una característica importante del agua de niebla para sus usos productivos, es lo que respecta a su calidad para bebida de consumo humano. A partir del estudio realizado en El Tofo (Cereceda y Schemenauer, 1992) en los parámetros monitoreados en un instrumento de teflón con cuerdas, diseñado especialmente para tomar muestras de la niebla, limpio de polvo y en dos muestras, se encontró que todos los parámetros analizados cumplían los requisitos de la norma de calidad de agua potable (NCH 409) a excepción del pH, el cual muestra niveles de acidez fuera de la norma. Esto concuerda con mediciones realizadas en Alto Patache por Sträter en 2009 (Moritz R. 2010), donde se encontraron niveles de pH de 3,3, siendo los rangos aceptados por la norma chilena de 6,5 a 8,5, mientras que los rangos recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) oscilan entre 6,5 a 9,5.

Se debe considerar que el vapor de agua en la atmosfera tiene un pH natural de 5,6 causado por su equilibrio con el CO<sub>2</sub> atmosférico. Sin embargo, el pH de la niebla y de nubes bajas pueden ser menor que ese valor, debido a las emisiones de aerosoles por acción del hombre o por emisiones de fuentes naturales como polvo o dimetilsulfitos (DMS) de los océanos.

De acuerdo a la tesis "*Fog as a Drinking Water Resource*" ("Niebla como una Fuente de Agua Bebibible") de O. Klemm (2012), el pH ácido no afecta directamente a la salud humana, de hecho, los frutos cítricos tienen niveles de pH inferiores a 3. No obstante, sí afecta indirectamente al facilitar la proliferación de determinadas clases de microflora, alterar la composición química de compuestos que pueda contener el agua y ser más corrosivo en las tuberías metálicas que trasladan el agua. Por otra parte, también se señala que el tenor ácido del agua se puede corregir con compuestos alcalinos o filtros que contengan estos compuestos, siendo el más económico y práctico el Carbonato de Calcio (Scharnke, M., 2010).

Otro de los factores que pueden incidir en la calidad de agua, es que cuando la malla se expone a períodos sin niebla surgen elementos atrapados por la malla junto al polvo, aumentando los niveles de diversos elementos, de los cuales, algunos pueden superar la norma. Por lo tanto, se hace obligatorio para el uso de agua potable, la limpieza de los atrapanieblas en períodos de ausencia de niebla. De lo contrario, se debe contar con un reservorio que permita la decantación de los elementos o filtros que permitan retener las partículas o realizar procesos químicos que disminuyan los componentes que exceden la norma.

En cuanto a la calidad microbiológica del agua captada, está dentro de los parámetros de la NCh 409. Sin embargo, se debe tener presente que es obligatorio aplicar un nivel de cloro residual en el agua que impida el desarrollo de la microflora.

Es por estas razones expuestas, que cuando se quiera captar agua a través de atrapanieblas para el consumo humano, debe medirse su calidad previamente a su consumo.

Con lo que respecta a la norma de riego (NCH 1333), el agua cumple todos los pa-

rámetros, además el pH ligeramente ácido es beneficioso para muchos cultivos, especialmente en la zona norte del país donde los suelos son alcalinos. Sin embargo, es recomendable tener precauciones con cultivos que son muy sensibles a la acidez en caso que los niveles encontrados sean muy bajos. La siguiente tabla muestra la composición de tres muestras de agua y su comparación con la norma de calidad de agua para la bebida (NCH 409).

Elemento analizado	NCh 409 Calidad Agua Potable	Muestra de agua de niebla tomada de un neblinómetro limpio capturando agua		Muestra de agua tomada de un colector expuesto a 25 hrs de un día despejado
		Muestra 1	Muestra 2	
pH	6,5-8,5	5,18	5,66	5,03
Cianuro (CN)	0,2	No muestreado	No muestreado	No muestreado
Cloruro (CL)	400	0,58	1,61	42,9
Flúor (F)	1.5	No muestreado	No muestreado	No muestreado
Mercurio (Hg)	0,001	No muestreado	No muestreado	No muestreado
Arsénico (As)	0.01	<0,01	<0,01	0,0169
Cadmio (Cd)	0.01	<0,005	<0,005	0,0013
Cobre (Cu)	1	No muestreado	No muestreado	No muestreado
Cromo (Cr-IV)	0.05	<0,001	<0,001	0,0025
Hierro (Fe)	0,3	<0,05	<0,05	0,052
Magnesio (Mg)	125	0,03	0,05	2,8
Manganeso (Mn)	0.1	0,0032	0,005	0,0497
Amonio (NH3)	0.25	No muestreado	No muestreado	No muestreado
Nitrito (NO2)	1	No muestreado	No muestreado	No muestreado
Nitrato (NO3)	50	0,048	0,25	5,9
Plomo (Pb)	0.05	<0,005	<0,005	0,0033
Selenio (Se)	0.01	No muestreado	No muestreado	No muestreado
Zinc (Zn)	5	No muestreado	No muestreado	No muestreado

**Tabla 5.3:** Contenidos de distintos elementos en muestreos de agua captada por atrapanieblas en la localidad del Tofo, Comuna de La Higuera.

### 5.1.2 Caracterización de lugares y actividades productivas donde se produce y cosecha niebla.

Como fue señalado en el Capítulo II, la niebla con mayor capacidad de producir agua se encuentra en el borde costero entre los 600 y 900 metros sobre el nivel del mar y en una extensión de 20 kilómetros desde poniente al oriente. El siguiente gráfico muestra un corte transversal de poniente a oriente, donde se visualiza un corte transversal que representa el relieve desde mar a cordillera. La zona del recuadro rojo corresponde al área de captación de la niebla y lugares con mayor probabilidad para su uso. También la flecha azul muestra el lugar de mayor captación de agua que normalmente se ubica en los sectores más elevados de la Cordillera de la Costa.

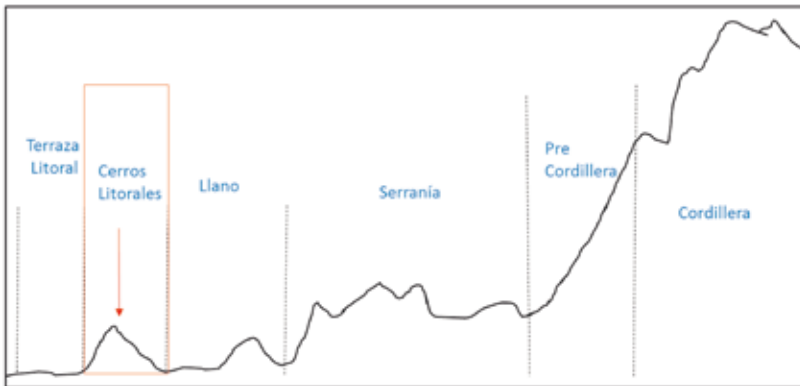


Figura 5.3: Corte transversal que describe el relieve en la Región de Coquimbo.

En esta área del recuadro rojo, es posible encontrar una serie de actividades productivas en pequeños asentamientos rurales, menores de 100 habitantes que dedican a la actividad agropecuaria de secano, pesquera artesanal, minería y el turismo entre otras.

### 5.1.3 Principales usos del agua de niebla en la región de Coquimbo

En la región de Coquimbo el agua hoy es usada, y es potencialmente usable, en distintas actividades económicas, especialmente en las del tipo pecuario, agrícolas, turísticas, así como la pesca artesanal, minería, forestación y/o reforestación.

Con relación a la actividad agropecuaria, en el área de mayor captación de niebla, se ubican un porcentaje importante de comunidades agrícolas, las cuales se dedican principalmente a la explotación del ganado caprino. En general, este tipo de ganado se alimenta del estrato herbáceo, constituyendo éste el principal recurso forrajero de fines de invierno y primavera en los años de precipitación normal, pero es escaso y de menor valor en verano, otoño y durante todo el año en períodos de sequía.

El estrato leñoso se caracteriza por su mejor regularidad dentro del año, puesto que su disponibilidad y calidad están menos ligadas a las variaciones estacionales que las del estrato herbáceo. Por consiguiente, el ramoneo efectuado por el ganado constituye un elemento que uniforma la disponibilidad de forraje y un complemento nutritivo importante del estrato herbáceo cuando éste se seca. Las condiciones anteriormente expuestas hacen que la producción lechera del ganado sea más bien escasa, reduciéndose la masa ganadera de forma sustancial en los períodos de extrema sequía.

Con relación a la actividad agrícola del área, y debido a los bajos niveles de precipitación, su alta irregularidad y mala distribución establece una escasez de cultivos permanentes, tales como alfalfas y frutales en superficies muy limitadas (menos de 0,25 hectáreas), con producción eventual de cultivos anuales en años lluviosos y pequeños cultivos de hortalizas.

Por lo tanto, las escasas precipitaciones hacen que estas zonas asociadas a comunidades agrícolas desarrollen principalmente una actividad agropecuaria de subsistencia.

El turismo que se desarrolla en la zona asociado a la zona de presencia de niebla, se concentra en espacios de alta biodiversidad como el Parque Nacional Fray Jorge, Isla Damas en la comuna de La Higuera, entre otros.

Asimismo, en esta zona se ha desarrollado una actividad asociada a la pesca artesanal, la cual involucra a 15 caletas rurales, de las 30 que posee la región. Estas caletas están principalmente orientadas a la extracción de los recursos bentónicos, como el loco (*Conchalepas conchalepas*) y lapa (*Fissurella* spp.). Se suma a lo anterior, una importante extracción del recurso alga.

Por otra parte, el creciente interés por el turismo con fines especiales les ha posibilitado a los pescadores artesanales una diversificación productiva. Tal es el caso de lo que hoy sucede en las caletas de Punta Choros y Los Hornos, las que están situadas en una zona de avistamiento de delfines, ballenas y pingüinos. Aquí los pescadores artesanales han habilitado embarcaciones para llevar turistas a las zonas de avistamiento. En cuanto a la dotación de servicios básicos e infraestructura de las caletas rurales, este aspecto es disímil, ya que mientras existen caletas con una importante cantidad y calidad de servicios e infraestructura; otras, al estar emplazadas en terrenos particulares de terceros o en litigio, no cuentan con infraestructura de agua potable, la cual tiene que ser traída en camiones aljibes.

Otros de los sectores que se ha desarrollado en esta área, tiene que ver con la minería, asociada actualmente a la minería artesanal, existiendo un total de 23 faenas de un total de 1289 que posee la región de acuerdo al Sernageomin. Estas faenas están principalmente dedicadas a la extracción de oro, cobre y carbonato de calcio y, en general, no poseen servicios básicos, siendo obtenidos los requerimientos de agua potable de pequeñas norias o con el desplazamiento de ella desde otras zonas de la región. Probablemente esta situación de minería artesanal se modifique en el mediano plazo, ya

que actualmente se encuentran en proceso de evaluación algunos proyectos mineros de gran envergadura que intervendrán en esta zona.

Finalmente, la actividad forestal tiene un muy escaso desarrollo en esta área. Sin embargo, ha tenido un importante actividad las plantaciones de arbustos como el atriplex spp y la acacia saligna, los cuales tienen un fin de recuperación de suelos y forrajero.

A modo de conclusión, las actividades económicas asociadas a los sectores rurales donde es posible la cosecha de niebla, presentan en la actualidad un bajo desarrollo económico, ante lo cual, claramente una limitante es la escasa presencia de recursos hídricos en la zona.

## 5.2 Usos actuales y potenciales del agua de niebla

### 5.2.1 Usuarios

Los usos que puede tener el agua de niebla son múltiples, entre ellos:

- Usos Agrícolas.
- Usos mineros.
- Agua para uso doméstico, de bebida y otros.
- Bebederos para animales.
- Uso agroindustrial o como materia prima para otros productos.
- Usos turísticos y recreacionales.
- Otros, como recuperación de la flora natural.

La mayor parte de los potenciales beneficiarios del uso de agua de niebla se podrían encontrar en la zona costera del Norte Grande y Norte Chico, ya que en estas áreas se generan las mayores cantidades de niebla, y a la vez, corresponde a aquellas donde se puede obtener de la niebla un mayor contenido de agua líquida.

El uso del agua de atrapanieblas les permitiría a estos potenciales usuarios el poder aumentar sus superficies cultivables, así como la productividad de su ganado caprino o ampliar su universo de actividades a la actividad turística.

### 5.2.2 Potenciales del aporte del agua de niebla en especies agrícolas y forestales

En la presente sección, presentamos una propuesta en base a especies agrícolas y forestales que podrían tener perspectivas comerciales usando agua de niebla, dado sus bajos requerimientos hídricos y su adaptación a las condiciones agroecológicas de la zona. Las especies propuestas se caracterizan por:

- Tener menor necesidad de requerimientos hídricos y mayor capacidad para soportar el estrés hídrico.
- Capacidad generar productos con alto valor agregado, introducirse en nichos de



mercados con alto valor y/o recuperar áreas degradadas.

- Adaptación a las condiciones agroecológicas del secano interior del norte chico.

Con relación a la capacidad de las especies por soportar el estrés hídrico, se puede sostener que hay importantes diferencias entre las especies cultivadas, ya sea por su morfología, fisiología, exploración radical y otras adaptaciones. También uno de los índices que evidencia su aptitud al estrés hídrico es la capacidad de extraer desde el suelo, en base a la fracción de agotamiento del agua útil que contiene el suelo. En este sentido, el contenido de agua aprovechable por las plantas en el suelo se encuentra entre Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente.

Por ejemplo, mientras que para una planta de remolacha puede permitirse agotar el suelo hasta el nivel del 50% de su agua útil, para una cebolla lo ideal sería no bajar del 30% del agua útil. En el caso anterior, la remolacha tiene una mayor capacidad de aprovechar el agua o extraerla. En general, las especies frutales de hoja caduca tienen más capacidad de extraer agua que los cultivos hortícolas, mientras que para especies frutales de hoja perenne, como paltos, bordean el 30% o limoneros con un 25%.

De las especies frutales más resistentes a la sequía, podemos mencionar a la vid con un 55% (WWF, 2009). La vid, gracias a su sistema radical que le permite explorar un gran volumen de suelo, posee una alta resistencia a la sequía (Ferreira, R., et al., 2010). En todo caso, los valores anteriores son sólo referenciales, dado que cada especie tiene un período fenológico donde es más sensible o resistente al estrés hídrico.

A modo de propuesta, se presentan las especies con menores requerimientos hídricos para ser establecidas en la zona:

#### **a. Especies frutales de interés comercial**

De las especies frutales que están ampliamente distribuidas en la Región de Coquimbo y que además de tener bajos requerimientos hídricos, son conocidas y están adaptadas a la región se encuentran: Viñas viníferas, Tunas, Olivos, Copao (*Eulychnia iquiquensis*), Almendro, Pistacho entre otras.

#### **b. Especies frutales con proyecciones**

La Universidad de Chile a través del Centro de Estudios de Zonas Áridas, propone prospectar en Chile e introducir desde el extranjero, germoplasma de variedades de 6 especies frutales de bajo requerimiento hídrico y alto valor en mercados nicho para que sean establecidas en zonas con dificultades de obtención de agua para riego. Ellas son: Higuera, Granado, Palma datilera, Pitahaya y Tamarillo.

#### **c. Hortalizas**

Las hortalizas constituyen un grupo de especies que al aire libre consumen altas

cantidades de agua, sin embargo, son cultivos de alta intensidad y rápida rotación. La propuesta incluye establecer distintas especies hortícolas de hojas y cultivadas en invernaderos, dado que en tales condiciones sus requerimientos hídricos se reducen.

Existe un estudio de caso de la evaluación del uso de atrapanieblas para invernadero en la localidad de Peña Blanca usando agua de niebla en cultivos intensivos hortícolas y flores en invernaderos. Tal estudio fue realizado por el departamento de Recursos Hídricos de la Universidad de Concepción y el patrocinio de la Comisión Nacional de Riego (Comisión Nacional de Riego y Universidad de Concepción, 2010). Si bien se efectuó un estudio teórico, técnico-económico y ambiental, se concluyó que se recomienda realizar programas destinados al fomento de la construcción de sistemas de captación de agua mediante el uso de atrapanieblas, y la capacitación de las comunidades agrícolas para la operación y mantención de estos sistemas.

#### d. Especies aromáticas, ornamentales y medicinales de bajo requerimiento hídrico.

Se incluyen especies que son muy valoradas como ornamentales, por tener principios activos medicinales y a la vez capacidad de adaptación a climas áridos o semiáridos: *Salvia officinalis* L., *Lavandula dentata* L., *L. lanata* Boiss., *L. stoechas* L., *Thymus zygis* L., *T. baeticus* Boiss., entre otras (Corell, M., García, M.C. & Cermeño, P., 2008)

#### e. Especies arbóreas

En relación al desarrollo de especies arbóreas con el uso de atrapanieblas en las zonas costeras, estudios desarrollados, como el “Estudio Reforestación para la expansión de los bosquetes de Olivillo en el Parque Fray Jorge” (Hernández, I. & Vita, A., 2004), concluyen que en el Olivillo, Petrillo y Canelo se observan promisorios resultados, permitiendo el desarrollo de plantaciones de enriquecimiento en estas áreas. Otras potenciales especies que se podrían extender en estas áreas, dado sus bajos requerimientos hídricos, son las presentadas en la Tabla 5.4.

Especie	Requerimiento anual mm
Bollén	400-800
Maitén	100-300
Peumo	400-800
Olivillo	400-800

Tabla 5.4: Requerimientos hídricos anuales por especies nativas. (<http://www.chileflora.com>)

En la introducción de nuevas especies forestales en zonas costeras con el uso de atrapanieblas, CONAF desarrolló una importante experiencia entre los años 1991 y 1993 (Canto W., Cerda, J., Peña, A., Medina, R., Ossandón, R., 2002), en la comuna de La Higuera, donde probaron, las especies forestales *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus*

*globulus*, *Eucalyptus gomphocephala*, *Casuarina equisetifolia*, *Acacia saligna*, entre otras. Aunque los autores señalan que se requiere avanzar en futuras investigaciones, concluyen que todas las especies seleccionadas fueron apropiadas, de acuerdo a los criterios experimentales descritos, lo cual abre posibilidades de desarrollo de éstas y otras especies en la zona. A continuación se destacará más a fondo la experiencia de La Higuera.

### 5.3 Experiencias en el uso del agua de niebla en Chile y el mundo

En la presente sección se destacarán algunas de las experiencias de Chile y el mundo que han utilizado agua de niebla, vinculados al uso, ya sea como bebidas, usos domésticos u otros usos productivos. Si bien, existen numerosos países<sup>9</sup> que han experimentado y establecido atrapanieblas, existen muy pocos registros de uso del agua en actividades productivas que generen negocios. De hecho, el agua generada a partir de la niebla se concentra fundamentalmente al uso doméstico, supliendo la necesidad de agua para el consumo y uso humano y animal.

En segundo lugar, se ha usado en unidades experimentales muy pequeñas, donde se han regado diversas especies agrícolas y forestales para generar diversos productos de autoconsumo, tales como cultivos hortícolas.

En tercer lugar se ha usado para la recuperación de la flora original, y en muy pocos casos, en el uso productivo que busque generar una actividad comercial utilizando agua de niebla como materia prima.

Una situación generalizada es la dificultad por mantener las estructuras de atrapanieblas a través del tiempo, es por ello que constantemente están surgiendo iniciativas y otras van quedando abandonadas. Es así como se constata una situación paradójica al vislumbrarse una alta valoración de los beneficios por la obtención del agua por parte de los usuarios, y a la vez, la dificultad en la mantención de las estructuras de captación y conducción del agua a través del tiempo.

#### 5.3.1 Experiencias destacadas en Chile

##### • Proyectos de Atrapanieblas de CONAF

La Corporación Nacional Forestal, CONAF inició su acercamiento al tema de captación de agua de niebla en la década del 70, en el Parque Nacional Fray Jorge. Posteriormente, continuó como contraparte técnica en dos proyectos de investigación sobre las neblinas, ejecutados en El Tofo y financiados con el Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR). En una forestación de 70 hectáreas con arbustos forrajeros, en la Comunidad Agrícola Lorenzo Araya, se instalaron en 1997, 5 neblinómetros para determinar los lugares de máxima captación. A continuación se instaló un atrapanieblas de 48 m<sup>2</sup>

<sup>9</sup> Arabia, Australia, Chile, Colombia, Croacia, Ecuador, Eritrea, Guatemala, Haití, Honduras, Israel, Jordania, México, Namibia, Nepal, Perú, República Dominicana, Sudafrica, Venezuela, Yemen

y se construyó un abrevadero para abastecer de agua al ganado caprino. El excedente se utilizó en el riego de tunaletas.

En 1998 se realiza una intervención en el Parque Nacional Fray Jorge, cuyo objetivo fue recuperar el bosque. Se instalaron 10 atrapanieblas de 48 m<sup>2</sup> cada una, lo que permitió el riego normal de un ensayo de repoblamiento con plantas de Olivillo, Petrillo y Canelo. Se obtuvo una sobrevivencia de 98,3 % en Olivillo, 59,7 % en Petrillo y 26,7 % para Canelo. Una vez realizada la reforestación se mantuvo operativo el regadío hasta permitir que el crecimiento de las plantas llegara a una altura suficiente para que pudieran seguir autoabasteciéndose de la niebla. Una vez cumplido este objetivo, se dejaron de usar estas estructuras y en la actualidad, no están operativas.

En el sector Talinay del Parque Nacional Fray Jorge, en 2006 se realizó una reforestación con la especie Vautro (*Baccharis vernalis*) que actúa como especie nodriza. El riego se efectuó a partir de un atrapanieblas de 48 m<sup>2</sup>. Los resultados de sobrevivencia en Vautro alcanzaron al 73%. Una vez consolidada esta especie, se instalaron bajo su dosel, ejemplares de Olivillo y Canelo. (Waldo Canto, CONAF, Información Personal)

- **Chungungo, Comuna de La Higuera.**

A partir de 1987, una serie de instituciones, como el Centro Internacional de Investigaciones de Canadá (CIID), financiaron un proyecto donde la Universidad de Chile estudió la nube estratocúmulos y la información meteorológica en El Tofo, Región de Coquimbo. La Universidad Católica de Chile, hizo la selección de sitios para atrapanieblas e investigó sus factores geográficos, mientras que CONAF-Coquimbo, implementó 75 atrapanieblas, ampliando más tarde este número a 100, todos ellos instalados en el cerro "El Tofo". De esta forma, para 1992 se había implementado una red hidráulica de 6 kilómetros que consideraba un sistema de aducción, desde los atrapanieblas a un estanque de 100 m<sup>3</sup>, además de un filtro y sistema de red de distribución de agua para el uso doméstico en 90 casas del pueblo de Chungungo. Todo lo anterior, diseñado de acuerdo a las especificaciones de la empresa de agua potable del lugar.

Con la llegada del agua, el pueblo prosperó, hizo cultivos de ostras, fienó el pescado en una planta especialmente construida para ello, hizo una forestación de diversas especies para tener leña para el invierno y para ensayar especies locales y exóticas. Además, CONAF habilitó dos hectáreas para que las familias tuvieran sus huertos familiares. Entre 1994 y 1997 era normal llegar al pueblo y encontrar a las mujeres y niños cosechando Lechugas, Tomates, Choclos y flores. A los pocos años había plaza con alumbrado público, jardines prácticamente en todas las casas, aves de corral y muchos animales domésticos y de trabajo.

El sistema entregó en promedio 15.000 litros de agua diarios durante 10 años (Schemenauer, R., & Cereceda, P., 1992). Lamentablemente, no pudo mantenerse a través del tiempo, ya que la mantención del sistema de captación y la red de agua significaba mantener coordinadas y organizadas una serie de entidades, tales como: el sindicato

de pescadores, el comité de agua potable, las instituciones regionales que supervisan los sistemas de dotación a centros urbanos y rurales. Finalmente el sistema fue desapareciendo y en la medida que la municipalidad dotó al pueblo con un sistema desalinizador de agua de mar (osmosis inversa), tal sistema tomó alrededor de 10 años en ser operacional con una inversión sobre 2 millones de dólares y fue inaugurado en el año 2005.

Desde la perspectiva de lo técnico, se obtuvieron importantes logros en el desarrollo de la tecnología de captación de nieblas. En este sentido, se logró un diseño mejorado, que disminuyó la probabilidad de siniestro parcial o total, la reducción del costo de inversión inicial y reparación y, con ello, la disminución del tiempo de construcción y costo de mano de obra asociados. Por otra parte, permitió identificar lugares de mejor captación de agua en función de las distintas épocas del año, de tal manera de complementar la producción de agua del sistema inicial y lograr un abastecimiento de mayor regularidad a través del año.

En el ámbito de la repoblación de la vegetación, se realizaron dos parcelas demostrativas, convenientemente cercadas para el poblamiento de especies forestales de 1,5 y 4,2 hectáreas. En ellas, se utilizaron especies que debían ser capaces de habitar zonas con características bioclimáticas y edáficas similares al sitio de los ensayos y que a su vez, tuvieran potencial de uso forrajero o dendroenergético. Las especies utilizadas fueron siete en total, tres del género *Eucalyptus*, y una de los géneros *Casuarina*, *Acacia*, *Prosopis* y *Atriplex*. Los ensayos demostraron que las plantas regadas obtuvieron muy buenos niveles de prendimiento al cabo del segundo año, prácticamente desde el 70% al 100% según la especie y parcela demostrativa, mientras que las no regadas obtuvieron prendimientos más bajos y con mayor dispersión del orden del 20% al 80%. Dado el corto período de las evaluaciones, no fue posible obtener indicadores de la viabilidad y/o conveniencia económica de la forestación en estos sectores.

Este proyecto de atrapanieblas sirvió como ejemplo a numerosas comunidades del mundo. Esta experiencia fue conocida por medio de al menos 20 películas en los principales canales de televisión del mundo, 100 artículos de diarios y revistas de renombre internacional y lo más importante es que logró exportar su sistema de atrapanieblas aproximadamente a 30 países del mundo dado que fue la primera vez se inició en Chile y en el mundo, el abastecimiento de un pueblo con agua potable de la recolección de la niebla en 1992.

#### • **Comunidad Agrícola de Peña Blanca, Comuna de Ovalle**

El proyecto “Cosecha de Aguas por Medio de Atrapanieblas en Peña Blanca” fue realizado con apoyo técnico de la Universidad Católica de Chile y la Federación Nacional de Agua Potable Rural (FENAPRU), la cual se orienta a mejorar el acceso al agua y conservación sustentable de los ecosistemas, mediante la transferencia de tecnologías sustentables y el empoderamiento ciudadano.

La comunidad agrícola de Peña Blanca optó por desarrollar una experiencia asociativa con atrapanieblas, considerándola una alternativa económica y limpia para la obtención de agua, captando la camanchaca proveniente del mar que se levanta por las tardes en el Cerro Grande de la comuna de Ovalle.

Los atrapanieblas empezaron a generar agua desde el año 2006. Hoy, existen 24 de ellos que tienen un formato de 2,85 x 2,95 metros, con una superficie total de captación de 200 metros cuadrados aproximadamente, y una capacidad de captación de agua promedio anual de 4,5 a 5 m<sup>2</sup>/día, lo que equivale a alrededor de 330.000 litros al año. Además, la comunidad dispone de sistemas de 8 estanques de 2.000 litros que permiten el almacenamiento de agua.



Foto 5.1.: Atrapanieblas de la localidad de Peña Blanca (Nicolás Schneider).

Asimismo, la dotación de agua ha sido usada para el mejoramiento del acceso y alimentación de ganado, así como para la reforestación de un área experimental de media hectárea con especies forestales, Olivillos, Petrillos y Quillayes, más la recuperación de la vegetación nativa. El presidente de la comunidad, don Daniel Rojas, señaló que los resultados de la reforestación han sido muy exitosos, mientras que su asesor Nicolás Schneider, expresó que se ha logrado reforestar y proteger una superficie de 100 hectáreas aproximadamente. Con relación al uso doméstico del agua, aún no se ha podido concretar, ya que los sectores habitados se encuentran a una distancia lejana, de entre 6 a 7 kilómetros de los atrapanieblas.

- **Producción de Cerveza “Atrapaniebla”, Peña Blanca**

Con aguas obtenidas de los atrapanieblas de Peña Blanca se inició en 2011 la primera producción de cerveza artesanal a nivel mundial de este tipo. Corresponde a una iniciativa liderada por los hermanos Carcuro y con el apoyo de CORFO-INNOVA y la Comunidad Agrícola Peña Blanca. Se trata de un producto que está siendo reconocido por su calidad y características distintivas, el cual ha ido en forma constante aumentando su nivel de producción y mejoras tecnológicas.

Actualmente, disponen de dos centros de producción: uno de ellos en La Serena y el otro en la Comunidad Agrícola Peña Blanca. En ambos centros se produce la cerveza denominada “Atrapaniebla”, la cual está patentada, y su nivel de producción a mayo del 2014 alcanzaba a 6.000 botellas de 330 c.c. mensuales.



Fotos 5.2 y 5.3: Producción de Cerveza con agua de niebla (Miguel Carcuro).

- **Comunidad Agrícola de Majada Blanca, Comuna de Coquimbo**

En el marco del proyecto “La niebla una fuente alternativa de recursos hídricos”, se estableció durante 2013 una parcela demostrativa de 0,25 hectáreas en el sector de Pan de Azúcar, comuna de Coquimbo.



Foto 5.4.: Vista parcial terrenos de la Comunidad Agrícola de Majada Blanca (Proyecto Atrapanieblas).

En este lugar, se establecieron tres atrapanieblas de 153 m<sup>2</sup> cada uno, los cuales han tenido una colecta promedio diaria de 2,5 litros por m<sup>2</sup> de malla, es decir, se obtiene un promedio de 1.150 litros diarios o 420.000 litros anuales. El agua capturada se almacena en un estanque de 12.000 litros y es usada para regar una parcela demostrativa con *Acacia saligna*, olivos y vides.

Dado que se trata de una experiencia muy reciente, aún no se dispone de información que permita evaluar el comportamiento de las especies establecidas, sin embargo todo indica que será factible no solamente cultivar con éxito las especies establecidas, sino que también muchas otras.



**Foto 5.5:** Viñas establecidas en parcela demostrativa de Maja Blanca regadas con agua de niebla (J. Leiva, Proyecto Atrapanieblas).

#### • Santuario Padre Hurtado, Comuna de Canela

En 1999, en el Cerro Talinay, comuna de Canela, Chile Central, se instalaron 10 grandes colectores de niebla durante un período de cinco años. Los colectores proporcionaron cerca de 1500 litros de agua al día, a través de una tubería de 3.5 kilómetros, al Santuario del Padre Alberto Hurtado situado en el kilómetro 275 de la Ruta 5 Norte. Este proyecto fue financiado en gran parte por la familia Baehr, familia filántropa de Canadá, y fue inaugurado en octubre de 1999.

El agua de los colectores fue enviada a un depósito de 35 m<sup>3</sup> cerca del santuario y fue utilizada para el hogar del vigilante, los jardines del lugar, y los cuartos de baño usados por varios millares de visitantes cada mes.

Los colectores de niebla solucionaron con éxito las necesidades diarias del agua del santuario, funcionando el sistema en óptimas condiciones hasta 2004, mientras el encargado del santuario, el padre Brevis, permaneció en Canela. Sin embargo, el padre Brevis fue trasladado a otro país y toda la labor que se estaba desarrollando quedó interrumpida.



Actualmente, el sistema de atrapanieblas está deteriorado e inoperable. No obstante, en el lugar donde estaban los atrapanieblas, aún existe una arboleda que se generó con el sistema y que se mantiene gracias a la niebla y al secretario de la comunidad agrícola Los Tomés, quien va al lugar en forma permanente y se encarga de trasplantar las nuevas plantas para seguir formando el bosque en la cima.

La percepción que existe en esta comunidad agrícola, es que debiera instalarse nuevamente el antiguo sistema de los atrapanieblas. Esto con el objetivo principal de destinar el agua recolectada a llenar abrevaderos para los animales, reforestar y regar vegetación para así obtener recursos forrajeros (Aránguiz, G. et al., 2009)

#### • Falda Verde Comuna de Chañaral

En 2007, en la Región de Atacama, en Falda Verde, a 5 kilómetros de Chañaral, alrededor de 20 comuneros establecieron atrapanieblas, construcciones conformadas en sus extremos por dos palos de eucaliptos de seis metros de altura y en su centro por una malla de invernadero o Raschel. Previo al establecimiento de estos atrapanieblas, el Instituto de Geografía de la Universidad Católica de Chile había realizado los estudios de niebla desde 1998.

Esta agrupación recibió diversos apoyos de varios profesionales e instituciones, lo que les permitió establecer 9 atrapanieblas, los cuales generan entre 500 a 750 litros diarios de agua.

El agua obtenida de la niebla, además del uso doméstico, se ha destinado para el riego de una especie de aloe vera presente en el lugar, así como también se han realizado pruebas con cultivos hortícolas en invernaderos. Igualmente, se han establecido diferentes especies, tales como Tomates, Zapallos Italianos, Papas, Choclos, Claveles, Palmeras, Ttunas, Olivos, todos con positivos resultados.



**Foto 5.5:** Plantación de Aloe Vera en Desierto de Atacama, Falda Verde cerca de Chañaral. (Atrapanieblas de Atacama, s.f.).

- **Alto Patache en Región de Atacama**

Alto Patache corresponde a una localidad ubicada a 13 kilómetros al sur de Iquique, cuyas características geográficas generan la formación de un oasis natural de niebla, dado que existen montañas costeras que sobrepasan los 700 metros sobre el nivel de mar. En dicha localidad, el Centro del Desierto de Atacama de la Universidad Católica de Chile administran una superficie superior a 1.100 hectáreas desde 1997.

Se trata de un área protegida, la cual está destinada a la investigación, habiéndose encontrado en este lugar, más de 54 especies vegetales, entre las que se encuentran *Nolana sedifolia*, conocida comúnmente como suspiro, *Nolana intonsa*, *Atriplex taltalensis*, *Solanum (tomatillo)*, *Frankenia chilensis*, *Astromelia lutea* y muchas otras.

Los objetivos del centro son estudiar y proteger la biodiversidad y las potencialidades de la niebla. En este lugar, están analizando las posibilidades de distribuir agua a una caleta que está debajo de los cerros, llamada Chanavaya. A pesar de ser una gran idea, hasta ahora no ha sido fácil masificarla. En parte, porque ha costado organizar a los pescadores y pequeños mineros (pirquineros) para que hagan el mantenimiento de los equipos y por otro lado, los pobladores no tienen los recursos necesarios para pagar la inversión inicial.

### 5.3.2 Experiencias destacadas en otros países

- **Islas Canarias**

En Islas Canarias, España, existe una experiencia de uso agua de niebla embotellada. El agua de niebla se obtiene en Gran Canaria a una altura de 1.600 metros y el sistema está formado por captadores ecológicos patentados, fabricados con fibra de vidrio y con forma de prisma. Estos dispositivos capturan la niebla y las gotas de agua que se forman, se precipitan hacia a un decantador, y posteriormente se conducen y almacenan en depósitos especiales.

El sistema tridimensional hace que sea efectivo, sea cual sea la dirección del viento que empuja la niebla. En este sentido, el viento juega un papel importante, ya que su velocidad condiciona que pase una mayor cantidad de metros cúbicos de niebla a través de los dispositivos, y por tanto, se incrementa la obtención de agua.

En el marco de este proyecto, se creó la empresa Aguas de Niebla de Canarias SL, cuyos emprendedores pretenden recuperar la inversión realizada ampliando el catálogo de denominación de aguas, glaciares, icebergs, lluvia, así como del fondo de los mares, de niebla, entre otros.

El agua obtenida podría haber estado presente en el mercado antes, de no haber sido por los permisos medioambientales y sanitarios, ya que al no ser una actividad habitual existían vacíos y cuestiones legales sobre este nuevo recurso hídrico que se han debido resolver en el camino.

De momento, se han puesto en marcha 30 captadores, con los que se recogerá el agua de niebla "Alisios", que es como se llama la marca, y se embotellará en botellas de plástico de medio y 1 litro. La comercialización del agua embotellada de niebla se espera poderla iniciar a partir de octubre de 2014.

- **Lomas de Atiquipa, provincia de Arequipa, Perú**

En Perú se han trabajado diversas experiencias en usos de agua de niebla, ya sea con fines de investigación, domésticos, agrícolas y ecológicos. Sin embargo, uno de los más importantes es la realizada en las lomas de Atiquipa, en la provincia de Arequipa (Espinoza, V., 2013)

Éste corresponde a un sector extenso de lomas que albergan unas 350 especies de plantas, de las cuales 44 son endémicas a este ambiente. Se trata también del bosque de lomas mejor preservado de Perú, compuesto principalmente por los árboles nativos arrayán (*Myrcianthes ferreyrae*) y tara (*Caesalpinia spinosa*).

La experiencia se ejecutó entre 2002 y 2006 y consideró un programa integral de apoyo para la reforestación de áreas degradadas. Así, el principal problema que buscó abordar el proyecto fue detener el ritmo de degradación del ecosistema de lomas, atacando sus causas y modificando conductas y actitudes de los pobladores locales. La población local es pobre y altamente dependiente de los recursos que le proporciona el ecosistema de lomas, tales como leña, forraje para ganado, agua para los olivos. En este sentido, el plantear restricciones de acceso o uso de estos recursos, resultó una tarea ardua y compleja, dado que la comunidad había perdido toda la consideración tradicional de manejo y control que tuvieron los antiguos pobladores.

El proyecto contó con la participación de entidades gubernamentales, ambientales y de investigación (Mendoza, V., 2013). Se realizaron capacitaciones en manejos silviculturales autosustentables, programas de fortalecimiento de la comunidad y a la vez, se construyeron 28 atrapanieblas, con un total de 1.344 m<sup>3</sup> de captación, 4 estanques de almacenamiento de agua, 5 módulos de reforestación con cercos de protección, en los que se instalaron 322 hectáreas de *Caesalpinia spinosa*, 8 hectáreas de *Myrcianthes ferreyrae* y 20 hectáreas de *Acacia macracantha*. Además se establecieron áreas de manejo silvicultural de 200 hectáreas.

Al finalizar el proyecto, se realizó una evaluación final a cargo del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD, (Llosa, G., 2006). El reporte de evaluación liderado por Gonzalo Llosa en diciembre de 2006, señaló que al finalizar el proyecto, 250 hectáreas de la Comunidad de Atiquipa quedaron consolidadas como área de conservación estricta. Existe un inventario de fauna de vertebrados casi concluido, con 27 especies de mamíferos, 72 de aves, ocho de reptiles y un pez. Igualmente, se identificó una nueva especie de alacrán (arácnido), endémico de las lomas de Atiquipa: *Orobothriurus atiquipa*.

Además, concluido este proceso, la comunidad contaba con un programa de vigilancia en marcha que incluía acciones de mantenimiento, control de accesos y recolección de datos de fauna. Se alcanzaron 375 hectáreas delimitadas, cercadas y reforestadas, de las 400 programadas. A esto se suma, el haber logrado 690 hectáreas de pastos naturales cercados, cuando lo programado eran 400 hectáreas.

## Referencias

- Aránguiz, G., Morales, F, Nieto, J. & Silva, G. (2009). *Diseño generativo aplicación en sistemas de atrapanieblas en el norte de Chile*. (Seminario de Diseño Computacional II, 2009). Recuperado de [https://www.u-cursos.cl/fau/2010/1/DIT-503/1/material\\_docente/bajar?id\\_material=453794](https://www.u-cursos.cl/fau/2010/1/DIT-503/1/material_docente/bajar?id_material=453794)
- Atrapanieblas de Atacama (s.f.). *Escasez del agua*. Recuperado de <http://atrapanieblasatacama.jimdo.com/escases-del-agua/>
- Canto, W., Cerda, J., Peña, A., Medina, R., & Ossandón, J. (1993): Informe Final Coastal Fog Application IDRC Proyecto N° 90. Informe técnico final de proyecto Camanchas
- Cereceda, P., & Schemenauer, R.S., (1992). The quality of fog water for domestic and agricultural use in Chile. *Journal of applied meteorology*, 31, 275–290. doi: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450\(1992\)031<0275:TQOFWC>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450(1992)031<0275:TQOFWC>2.0.CO;2)
- Cereceda, P., Schemenauer, R. S., & Velásquez, F. (1997). Variación temporal de la niebla en El Tofo-Chungungo, Región de Coquimbo, Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, 24, 103–111. Recuperado de [http://www.icp.puc.cl/html/revista/PDF/RGNG\\_N24/Art\\_13.pdf](http://www.icp.puc.cl/html/revista/PDF/RGNG_N24/Art_13.pdf)
- Comisión Nacional de Riego & Universidad de Concepción (2010) *Evaluación del Uso de Atrapanieblas para Invernaderos en Cuenca Costera de la Región de Coquimbo: Caso Estudio Diagnóstico de Fuentes de Agua no Convencionales en el Regadío Inter-Regional*. Recuperado de [http://bibliotecadigital.ciren.cl/gsdlexterna/collect/estudios/index/assoc/HASH8a16.dir/CNR-0227\\_2.pdf](http://bibliotecadigital.ciren.cl/gsdlexterna/collect/estudios/index/assoc/HASH8a16.dir/CNR-0227_2.pdf)
- Corell, M., García, M.C. & Cermeño, P. (2008). Eficiencia en el uso del agua de dos especies del género *Salvia*. *Actas de Horticultura n° 52. Innovación y futuro en la jardinería. I Simposio Iberoamericano- IV Jornadas Ibéricas de Horticultura Ornamental. Pontevedra (España)*. Recuperado de <http://www.sech.info/ACTAS/index.php?d=main>
- Espinoza, V., (2013, Junio) *Manejo Ecosistémico de Lomas Costeras, una experiencia exitosa aplicada en Atiquipa, Perú*. Presentación en Tercer Congreso Latinoamericano de IUFRO, San José Costa Rica.
- Klemm, O., Schemenauer, R., Lummerich, A., Cereceda, P., Marzol, V., Corell, D., Fessehay, G.M., (2012). Fog as a fresh-water resource: Overview and perspectives. *Ambio*, 41, 221–234. doi:10.1007/s13280-012-0247-8
- Ferreira, R., Selles, G., Burgos, L., Villagra, P., Sepúlveda, P. & Lemus, G. (2010) Manejo de riego en frutales en condiciones de restricción hídrica. *Boletín INIA (214)*. Recuperado de [http://www.inapiprojecta.cl/605/articles-1669\\_recurso\\_1.pdf](http://www.inapiprojecta.cl/605/articles-1669_recurso_1.pdf)
- Llosa, G. (2006). *Evaluación Final Independiente Del Proyecto Lomas De Atiquipa*. Programa De Naciones Unidas Para El Desarrollo, Proyecto Per/01/G35 Fondo Mundial Para El Ambiente. Recuperado de <http://www.scribd.com/doc/229296897/Inf-Evaluacion-Ampliado-00014397-ATIQUIPA>
- Núñez, A., (2013) Atrapanieblas pueden absorber hasta 700 litros de agua en Chañaral. *Soy Copiapó*. Recuperado de <http://www.soychile.cl/copiapo/sociedad/2013/05/20/175209/Atrapa-niebla-pueden-absorber-hasta-700-litros-de-agua-en-Chanaral.aspx>
- Schemenauer, R. S., & Cereceda, P. (1994). A proposed standard fog collector for use in high elevation re-

gions. *Journal of Applied Meteorology*, 33, 1313–1322. doi:10.1175/1520-0450(1994)033<1313:APSFCE>2.0.CO;2

WWF España (2009) *Manual de buenas prácticas de riego: Propuestas de WWW para un uso eficiente del agua en la agricultura*. Recuperado de [http://awsassets.wwf.es/downloads/buenas\\_practicas\\_de\\_riego.pdf](http://awsassets.wwf.es/downloads/buenas_practicas_de_riego.pdf).



## C A P Í T U L O V I

**Desafíos: Metas cuantitativas para la captación de niebla****Emilio de la Jara H.***Escuela de Ingeniería**Pontificia Universidad Católica de Chile***Richard Le Boeuf***Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas,**Universidad de los Andes*

La captación de agua de niebla es una novedosa y sustentable fuente de agua potable en zonas semi-desérticas en el mundo, la cual aún tiene desafíos importantes que superar para poder convertirse en una fuente principal de agua potable. Uno de los desafíos más importantes de la captación de niebla, ya sea para proyectos con enfoque social o comercial, es que el costo de obtener agua potable sea competitivo económicamente con otras fuentes alternativas de agua potable. Para que esto sea posible, se pueden realizar una serie de preguntas con un enfoque cuantitativo, de manera de establecer la competitividad de la niebla como una fuente de agua potable económicamente viable.

Este enfoque cuantitativo pretende responder a las siguientes preguntas:

- ¿Cuánta agua es capaz de captar un proyecto de atrapanieblas?
- ¿Cuál es el precio de otras alternativas de agua potable?
- ¿Cuáles serían las metas cuantitativas para que la colección de niebla sea económicamente competitiva a otras alternativas?
- ¿Cuáles son los efectos económicos de la acumulación, distribución y recursos humanos?
- ¿Cuál es la factibilidad económica de desarrollar nuevos proyectos de captación de niebla?
- ¿Existen otras consideraciones que afecten la viabilidad económica?

En el presente capítulo se pretende responder estas preguntas para poder realizar un análisis cuantitativo y establecer la viabilidad de la captación de niebla como fuente de agua potable frente a las alternativas actuales. Para más detalles, revisar Le Boeuf y de la Jara (2014).

**6.1 Cantidad de agua captable por los atrapanieblas**

El flujo de captación de agua captado por un atrapanieblas, generalmente se mide en litros por día en promedio anual (lo cual abreviaremos como l/día/m<sup>2</sup>). Esta cantidad

depende de las condiciones climáticas, el diseño del atrapanieblas, su lugar de instalación y su orientación. Para estimar la cantidad de niebla captada por un atrapanieblas, se debe estimar qué porcentaje capta el atrapanieblas del total de agua presente en la niebla. La eficiencia de colección ( $\eta$ ) se define como el flujo de agua captado por el atrapanieblas ( $C$ ), dividido por el flujo de agua disponible ( $C_{\text{avail}}$ ) que pasaría por el área del atrapanieblas si éste no estuviese.

$$\eta = \frac{C}{C_{\text{avail}}} \quad (1)$$

Usando mediciones de la cantidad de agua contenida en la niebla, antes y después del atrapanieblas, Schemenauer & Joe (1989), midieron que la eficiencia de un gran atrapanieblas rondaba el 20%, a pesar que la cantidad de gotas que ellos calcularon que llegaban al colector era alrededor del 55%. A partir de modelos matemáticos de mecánica de fluidos, Rivera (2011) concluyó que el máximo teórico de la eficiencia de un atrapanieblas convencional (malla plana perpendicular al flujo de niebla) es de un 30%.

A partir de la cantidad de agua niebla recolectada por un atrapanieblas estándar de medición (SFC), se puede estimar en el promedio anual del flujo de agua recolectado de la niebla en un lugar en particular. Larráin et al. (2012) reportaron tasas promedio de captación entre 1,4 a 8,3 l/día/m<sup>2</sup>. Las mediciones promedio obtenidas fueron aproximadamente 5 l/día/m<sup>2</sup>. Asumiendo que la eficiencia de captación del atrapanieblas que se utilizó es de un 20%, un atrapanieblas "optimizado" debería tener del orden de un 6% más de eficiencia, por lo que podría captar un 50% más del agua que está captando 8 l/día/m<sup>2</sup> como máximo (en promedio año). Debido a esto, lugares con tasas de colección de 8 l/día/m<sup>2</sup> podrían captar del orden de 12 l/día/m<sup>2</sup> con un atrapanieblas optimizado.

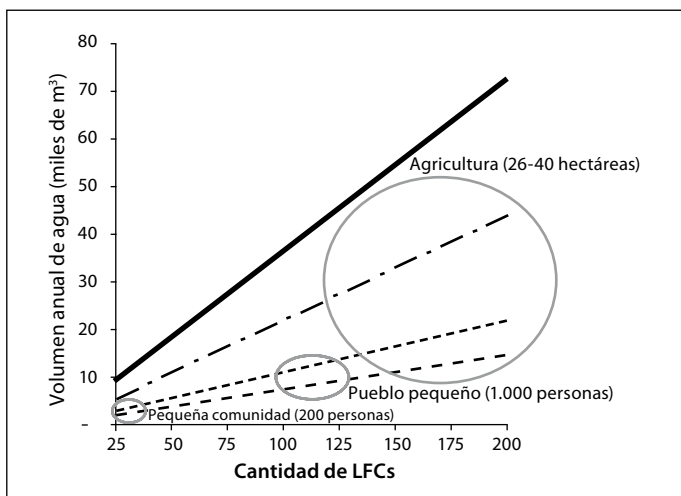
Dadas las tasas de recolección promedio (entre 5 y 8 l/día/m<sup>2</sup> promedio anual) y las eficiencias de captación de niebla (entre 20% y 30%) se puede deducir que el del flujo de niebla que pasa en un metro cuadrado sin atrapanieblas es de entre 25-40 l/día/m<sup>2</sup>, por lo que el análisis cuantitativo se hará entre los rangos de captación entre 5 y 40 l/día/m<sup>2</sup> como límite máximo (40 l/día/m<sup>2</sup> implicaría captar todo el flujo de niebla).

Actualmente, existen varios tipos de configuraciones geométricas de atrapanieblas y proyectos con distinta cantidad de éstos instalados para la captación de agua de niebla. Para simplificar los análisis cuantitativos, usaremos como base para los cálculos, atrapanieblas de 4 metros de alto por 10 metros de largo, los cuales abreviaremos como LFC (del inglés Large Fog Collector). El análisis tomará en cuenta un amplio rango de cantidad de atrapanieblas, pero se destacan 3 en particular: 25, 100 y 250 LFC (i.e. áreas de 1.000, 4.000 y 8.000 m<sup>2</sup> respectivamente). Un proyecto de 25 LFCs, es suficien-



te para abastecer (en promedio) a una villa de 100 personas usando 50 l/día (Gleick, 1996). Un proyecto de 100 LFC es equivalente al proyecto realizado en el cerro El Tofo, en la región de Coquimbo (Chile), el cual abasteció de agua potable a la caleta Chungungo entre las décadas del 1980 y 1990. El caso de 200 LFC equivale a 27 atrapanieblas muy grandes, como los instalados en Majada Blanca, región de Coquimbo, Chile para el Proyecto Atrapanieblas.

Un proyecto de gran escala (100-200 LFCs) podría proveer entre 5.000 y 41.000 m<sup>3</sup> anuales, pudiendo irrigar varios tipos de cultivos, por ejemplo: 42 hectáreas de almendros y 26 hectáreas de cítricos (estos últimos requerirían menos que 4.100 m<sup>3</sup> anuales). En la siguiente figura se pueden apreciar distintas aplicaciones prácticas para la cantidad de agua estimada que distintos proyectos de atrapanieblas pueden captar.



**Fig. 6.1:** Cantidad de agua captada (eje vertical) en un año por proyectos de atrapanieblas con distinta cantidad de LFCs de 40m<sup>2</sup> de área (eje horizontal). En los círculos se muestran los rangos de cada una de las aplicaciones prácticas que se estima que los proyectos podrían abastecer de agua potable. (E. de la Jara, Proyecto Atrapanieblas).

## 6.2 Precio de otras alternativas de agua potable

El valor económico del agua potable que se obtiene de niebla, en un lugar en particular, está dado por el precio de mercado de las alternativas disponibles de agua en ese lugar. Los precios cobrados por el agua potable distribuida en camiones aljibe, en seis ciudades en la Región de Atacama en el 2011 rondaron entre 1,96 a 3,06 USD/m<sup>3</sup> <sup>10</sup> ("Informe de Gestión", 2011). En base a este rango, para el análisis cuantitativo se utilizó un rango de precios entre 2 y 3 USD/m<sup>3</sup>. Para que la captación de agua de niebla sea viable sólo en términos económicos, un nuevo proyecto de captación debe ser capaz

<sup>10</sup> Dólares por metro cúbico

de producir agua potable a un costo menor que el precio de mercado actual del agua, el cual claramente desprecia el costo hundido por los subsidios gubernamentales para realizar aquella producción de agua (inversiones de bombeo, purificación, entre otros). El análisis realizado en esta sección se enfoca sólo en analizar las metas cuantitativas para que la colección de niebla sea elegida por sobre el método de abastecimiento actual, sin tomar en cuenta otros efectos, tales como la calidad del agua, disponibilidad del recurso o la comparación con otras fuentes de agua subterránea que pudiesen existir. Tampoco se comparará la captación de niebla con la desalinización de gran escala, debido a que la escala de los flujos de agua potable producidos es muy disímil. Por ejemplo, una planta de desalinización de agua de mar que produce 3,3 l/s se compara a 15 km de LFC de la tecnología actual.

### 6.3 Metas cuantitativas para nuevos proyectos de captación de niebla

El uso de los atrapanieblas ha tenido dificultades de ser extendido mundialmente, en parte por su competitividad económica frente a otras alternativas. Domen et al. (2014) concluyen que la captación de niebla no es competitiva como fuente de agua potable para uso doméstico en el norte de California, Estados Unidos, debido a su poca cantidad de agua captada, comparado por el alto consumo en esa área. Gandhidasan y Abualhamayel (2012) analizaron el costo del agua de 66 LFCs (2.640m<sup>2</sup>) en Arabia Saudita, basados en el costo de 2 LFCs que construyeron. A pesar de esto, la comparación del costo del agua en Arabia Saudita no fue reportada debido a que los subsidios de agua desalinizada y los costos de reparto en camiones aljibe son desconocidos por los autores. Basado en las condiciones de niebla de Lima, Perú, y usando datos de atrapanieblas con nuevos diseños, Lummerich y Tiedemann (2011), concluyen que la captación de niebla está a punto de convertirse en una opción económica de agua potable para ese lugar.

Desde el primer proyecto de captación de niebla reportado en Chile en 1957 (Gischler, 1991), los proyectos de captación de niebla se han sustentado en donaciones, subsidios privados y/o subsidios gubernamentales. Este tipo de proyectos se consideran exitosos cuando el costo de operación es menor que la alternativa de agua potable, la cual suele ser agua de camiones aljibe en el caso de las caletas en el norte de Chile. Una de las principales causas del fracaso de estos proyectos (por ejemplo, El Tofo) es debido a la falta de apoyo local en el monitoreo y mantención de los atrapanieblas, los cuales debido a las condiciones climáticas y la baja mantención, terminan finalmente inutilizables.

Para poder establecer el potencial económico de la captación de niebla, para que pueda ser considerada como una fuente viable de agua potable, se pretenden abordar las siguientes metas cuantitativas que describimos a continuación.

- Costo máximo por área del atrapanieblas.

- Precio máximo del agua potable (con y sin subsidios).
- Mínimo de tasa de captación promedio.
- Mínimo de tasa de eficiencia de captación.

Todas estas metas se basan en análisis financieros estándar para la evaluación económica de proyectos, basadas en el concepto del valor del dinero en el tiempo. Una vez establecidas estas metas, se discuten algunas consideraciones socio-económicas y conclusiones generales.

### 6.3.1 Máximo costo por unidad de área del atrapanieblas

El costo promedio máximo por unidad de área de atrapanieblas, que incluye todos los costos de la estructura, malla, instalación y transporte, es una variable a estimar para determinar la viabilidad económica de un proyecto bajo distintos costos de construcción.

Para calcular esta variable se requieren ciertos supuestos de costos. Según el estudio de Klemm et al. (2012), los costos de monitoreo y mantenimiento se estiman en alrededor de \$5.000 dólares al año para 25 LFCs, los cuales se desglosan en un costo fijo de \$1.000 dólares al año por proyecto, más un costo de \$160 dólares por LFC (USD/LFC). En el mismo estudio se estimaron los costos fijos iniciales de un proyecto, los cuales fueron estimados en \$32.550 dólares, los cuales incluyen:

- Análisis de las condiciones climáticas.
- Estudio en terreno con anemómetros.
- Análisis de la provisión actual de agua potable.
- Análisis de iones metales pesados y bacterias en el agua.
- Mediciones en terreno con SFCs.
- Gastos de ONGs locales.
- Logística.
- Desarrollo de estructura financiera.

El costo máximo por unidad de área, despreciando los costos de recursos humanos de la instalación (Típicamente donado a los proyectos por voluntarios) se muestra en la Figura 6.2 a continuación. Estas estimaciones se realizaron para precios del agua de entre 2 y 3 USD/m<sup>3</sup> y para una tasa de captación de entre 5 y 40 l/día/m<sup>2</sup> (Promedio año). Los costos de un LFC de 40m<sup>2</sup> oscilan entre los \$1.000 y \$1.500 dólares por LFC, sin incluir los costos de acumulación, distribución y recursos humanos utilizados en el proceso de captación de niebla. Basado en estos datos proporcionados por estudios anteriores, se deduce que para los atrapanieblas actuales el costo por unidad de área oscila entre 25-38 USD/m<sup>3</sup>. Para tales costos de construcción, se requeriría una tasa de colección de entre 7-16 l/día/m<sup>2</sup> para un proyecto de 100-200 LFCs. El costo por unidad

de área necesario para que un proyecto de 200 LFCs sea económicamente viable para una tasa de colección de 5 l/día/m<sup>2</sup> es de 5 USD/m<sup>2</sup> <sup>11</sup>.

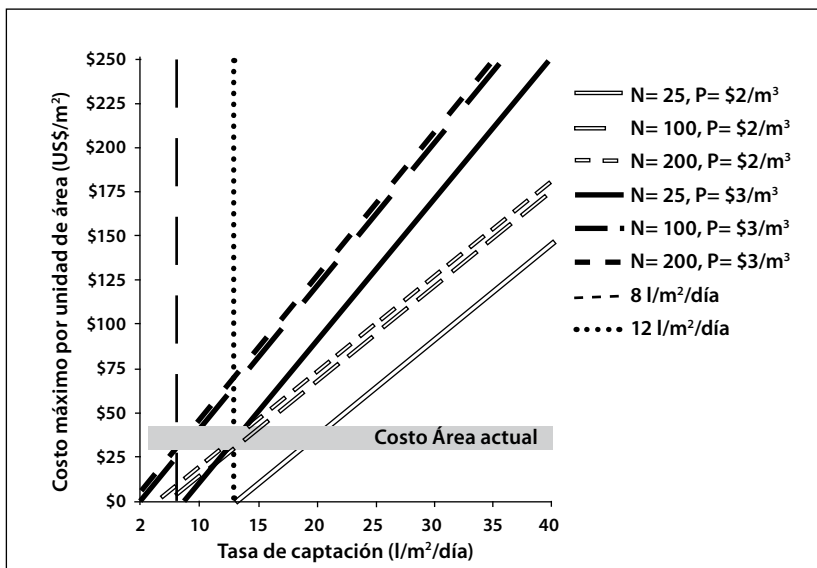
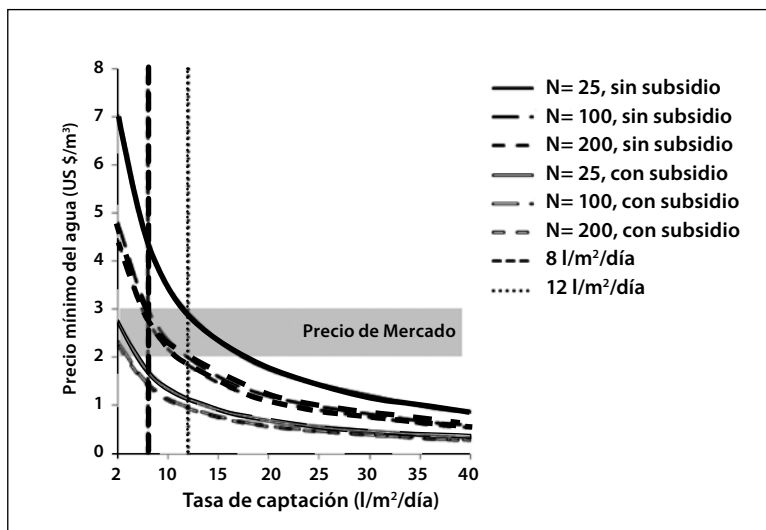


Fig. 6.2: Costo máximo por unidad de área de malla para un proyecto con una duración de 10 años y 6% de costo del capital. Aumentando el número de atrapanieblas (N) o el precio del agua (P), se incrementa el costo por unidad de área de colección admisible para lograr la viabilidad económica de un proyecto. La zona destacada en gris, muestra el rango de costo por unidad de área de un proyecto con costo inicial entre 1.000 y 1.500 USD/LFC (E. de la Jara Proyecto Atrapanieblas).

### 6.3.2 Precio mínimo del agua potable (con y sin subsidios)

El mínimo precio que debería ser pagado por el agua captada a partir de la niebla debe generar ingresos netos suficientes como para compensar los costos de realizar el proyecto. A partir de subsidios o donaciones que pagaran los costos iniciales del proyecto, la ganancia neta del proyecto, a un determinado precio, debe ser suficiente para pagar los costos operativos de éste. En caso que no existiesen estos subsidios o donaciones, los ingresos netos deben compensar (en valor presente) los costos totales del proyecto. En la Figura 6.3 se resumen los resultados del mínimo precio a pagar por el agua en proyectos con y sin subsidio. Para los cálculos se utilizaron los mismos supuestos que la sección anterior (6.3.1.).

<sup>11</sup> Dólares por metro cuadrado

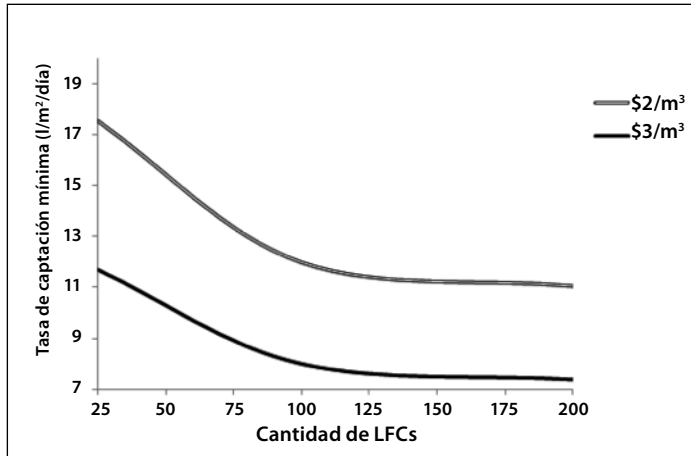


**Fig. 6.3:** Precio mínimo a pagar por el agua (USD/m<sup>3</sup>) para un proyecto de 10 años de vida útil y un 6% de costo de capital, para distintas tasas de captación (l/día/m<sup>2</sup>). Los resultados de los proyectos sin subsidio tienen un costo inicial de 1.000 USD/LFC. Al aumentar el número de atrapanieblas (N) o el nivel de subsidio, disminuyen el precio mínimo a pagar (P) necesario para que el proyecto sea económicamente viable. La zona achurada (gris) corresponde al rango de precios de mercado entre 2-3 USD/m<sup>3</sup> (E. de la Jara Proyecto Atrapanieblas).

Para precios menores que el mínimo que muestran las curvas en la figura 6.3, la ganancia por el agua no compensarían los gastos del proyecto en el tiempo. Para tasas de colección entre 5-12 l/día/m<sup>2</sup>, el precio mínimo a pagar por el agua sería entre 1,1-2,7 USD/m<sup>3</sup> para un proyecto de 25 LFCs, mientras que el precio mínimo sería de 1-2,3 dólares para un proyecto entre 100-100 LFCs. De acuerdo a estos resultados, dados los precios de mercado de entre 2-3 USD/m<sup>3</sup>, un proyecto con tasas usuales de colección (entre 5-8 l/día/m<sup>2</sup>), debe ser subsidiado para tener retorno sobre las ventas positivo (el retorno sobre la venta corresponde al ingreso neto dividido por ventas). En el caso de concesionar las operaciones de monitoreo y mantenimiento, a cambio del retorno por ventas del agua, el voluntariado necesario para estas labores puede ser reemplazado.

### 6.3.3 Mínimo de tasa de captación promedio de los atrapanieblas

Dados los precios de mercado ¿Cuáles son las tasas de captación necesarias para lograr un proyecto económicamente viable? En la Figura 6.4 se muestran las distintas combinaciones de tasas de captación versus número de LFCs para el rango de precios de mercado actual (entre 2-3 USD/m<sup>3</sup>).



**Fig. 6.4:** Tasa de colección (l/día/m<sup>2</sup>) mínima para la viabilidad económica de un proyecto de 10 años de vida útil, un 6% de costo de capital y un costo de 1.000 USD/LFC. Aumentando el número de atrapanieblas (N) o el precio del agua (P), decrece la tasa de colección mínima para la viabilidad económica (E. de la Jara Proyecto Atrapanieblas).

Para las estimaciones de tasas de captación mínima, el agua producida por el proyecto al rango de precio de mercado debe pagar los costos del proyecto, lo cual no incluyen los costos de la tierra, recursos humanos, distribución y tratamiento de agua.

#### 6.3.4 Mínimo de eficiencia de captación

Tal como se explicó en la sub-sección donde calculamos el máximo de agua captable de la niebla, la eficiencia de captación se define como la cantidad de agua captada, dividido por la cantidad total de agua que pasaría por el área del atrapanieblas si éste no estuviese. El valor de la eficiencia de captación, afecta la cantidad de agua captada por unidad de área del atrapanieblas, por ende la cantidad de agua captada por cada atrapanieblas, y por ende la cantidad de ingresos que se generarían por la venta del agua.

En la figura 6.5 se puede notar que al aumentar el número de atrapanieblas (N), el precio del agua (P) o el flujo disponible de agua (Cavail), la eficiencia de captación mínima del atrapanieblas disminuye.

#### 6.4 Efectos económicos de la acumulación, distribución y recursos humanos

En la sección anterior, se realizaron análisis cuantitativos descartando algunos de los costos más importantes de un proyecto de captación de niebla: la acumulación, distribución y recursos humanos. En esta sección se estima el efecto que tienen estos costos para ciertos valores reportados por distintos autores.

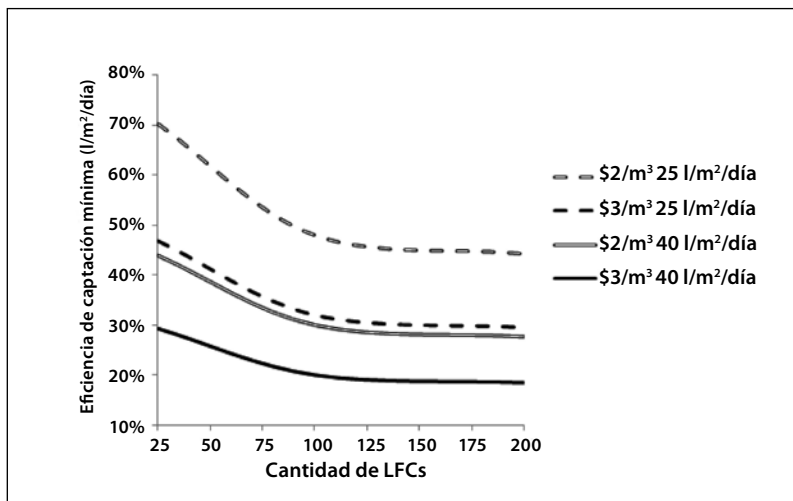


Fig. 6.5: Eficiencia de captación (%) mínima para lograr la viabilidad económica de un proyecto de 10 años de vida útil, 6% de costo de capital y 1.000 USD/LFC. (E. de la Jara, Proyecto Atrapanieblas.

Los costos de acumulación y distribución, son muy específicos para cada lugar de instalación. En el estudio de Klemm et al, (2012) se reportaron costos de materiales para distribución (cañerías), acumulación (estanques) y transporte de \$75.000 dólares para un área equivalente a 25 LFCs. Dado este valor, los costos iniciales por cada LFC aumentarían en un factor de 2 a 3, lo que haría que la viabilidad económica sea aún más difícil de lograr.

En el caso de los costos de recursos humanos para el desarrollo y construcción del proyecto decrecen, debido al hecho que generalmente son donados. A pesar de lo que ha ocurrido históricamente, el costo de recursos humanos podría ser eventualmente pagado por una empresa privada. Debido a que no se encontraron referencias que reporten el costo de los recursos humanos comprometidos en el desarrollo de proyectos de niebla, se hicieron las siguientes estimaciones: 500 horas de estudios de expertos a \$75 dólares la hora, basado en remuneraciones anuales de \$100.000 dólares con un 50% de gastos generales (\$37.500 dólares en total); 80 horas de trabajo de técnicos a \$2,5 dólares por hora, basado en el salario mínimo en Chile, lo que daría un total de \$200 USD/LFC, dadas las estimaciones de tiempo realizadas por la ONG Fog-Quest.

La Tabla 6.1 a continuación, muestra una comparación de las metas cuantitativas comparando el caso base (sólo costos de construcción) con distintos casos, incluyendo los costos de acumulación, distribución y recursos humanos.

	Caso Base	Caso base más distribución y almacenamiento	Caso Base más recursos humanos	Caso base más distribución, almacenamiento y recursos humanos
Costo máximo por unidad de área (m <sup>2</sup> )	\$ 24,41	\$ 24,41	\$ 19,72	\$ 19,72
Precio mínimo del agua sin subsidio (USD/m <sup>3</sup> )	\$ 3,03	\$ 5,12	\$ 3,57	\$ 5,66
Tasa de captación mínima (L/m <sup>2</sup> /día)	8	14	10	15
Eficiencia mínima de captación (%)	20%	34%	24%	38%

**Tabla 6.1:** Comparación de las metas cuantitativas (ver sección 6.3) para distintos casos de costos. El precio del agua usado para los cálculos es de 3 USD/m<sup>3</sup>, tasa de captación de 8 L/m<sup>2</sup>/día promedio año, flujo de niebla disponible de 40 L/m<sup>2</sup>/día, costo fijo de mantenimiento de 1.000 USD y 160 USD/LFC. (E. de la Jara, Proyecto Atrapanieblas).

## 6.5 Cambios en la factibilidad de nuevos proyectos en el futuro

Existen varios motivos que pueden incidir en el éxito o fracaso de nuevos proyectos de captación de niebla que pueden ser factibles en el futuro, tales como la mejora del conocimiento actual de los atrapanieblas, la mejora en su tecnología y su prospección geográfica, al igual que otros efectos que inciden en los modelos de negocio a ejecutar por posibles empresas privadas.

Históricamente existen varios estudios en Chile que han demostrado que la captación de agua de niebla puede ser usada como una fuente de agua potable en zonas costeras áridas y semi-áridas, como se expuso anteriormente en el Capítulo 5. Por tanto, seguirá siendo una fuente de agua en el futuro si todas las condiciones económicas, sociales y tecnológicas se mantienen o mejoran.

En particular, en la zona árida de la región de Tarapacá, entre los 19 y 21 grados de Latitud Sur, la niebla es un recurso muy abundante en montañas de la cordillera de la costa en un rango de alturas entre los 650 y 1.200 m.s.n.m<sup>12</sup>, logrando oasis con vegetación excepcional si se considera que están cercanas al desierto más árido del mundo. En las zonas semi-áridas, entre los 35 y 40 grados de Latitud Sur, la niebla también suele ser frecuente a alturas de alrededor de 850 m.s.n.m. La gran altura a la cual se puede captar este recurso hídrico, otorga la gran ventaja que el agua potable obtenida de la niebla puede ser llevada a poblaciones costeras a partir de gravedad, por ende, sin la necesidad del costo de bombeo o transporte para llevarla al lugar.

<sup>12</sup> Metros sobre el nivel del mar



Actualmente en la comunidad científica internacional, existen muchos estudios con el objetivo de cambiar el futuro de la captación de niebla. Por un lado, algunos se refieren a aumentar la eficiencia de captación de agua de los atrapanieblas, basados en la optimización de su geometría y propiedades superficiales de la malla (Andrews, Eccles, Schofield, & Badyal, 2011; De la Jara, 2011; Lorenceau, Clanet, & Quéré, 2004; Park, Chhatre, Srinivasan, Cohen, & McKinley, 2013; Piroird, Clanet, Lorenceau, & Quéré, 2009). Además, existen otros estudios que pretenden bajar el costo de construcción de los atrapanieblas, lo que incide en un menor costo de agua por cada monto de dinero invertido en la construcción de los dispositivos (Cermak & Bendix, 2008; Imteaz, Al-hassan, Shanableh, & Naser, 2011; Kahinda & Taigbenu, 2011; Katata et al., 2008; Zhou & Du, 2010).

Por otro lado, existen variados estudios científicos preocupados de mejorar la capacidad de selección de los sitios donde instalar los atrapanieblas para obtener la mayor cantidad de agua posible (Cereceda et al., 2002; Cereceda, Larraín, Osses, Farías, & Egaña, 2008b; Farías, Cereceda, Osses, & Núñez, 2005; Gultepe et al., 2007; Hiatt, Fernández, & Potter, 2012). Estos grupos de investigación mejoran la selección de sitio a partir de simulaciones numéricas y del estudio de la correlación de variables meteorológicas como base predictiva de la densidad de niebla, a partir de datos satelitales y de terreno.

Respecto de la instrumentación para mediciones en terreno de la niebla, existen también prometedores avances que van en la línea de abaratar costos. Tras el uso tradicional de atrapanieblas “estándar”, se está avanzando a nuevos instrumentos de medición, a partir de sensorización e instrumentación inalámbrica de bajo costo, entrando así en una nueva etapa de la selección de sitios, a partir de mediciones más completas y precisas (LeBoeuf, Rivera, & de la Jara, 2014). Para más detalles sobre instrumentación, revisar el Capítulo 2.

Adicional a los factores económicos y tecnológicos, existen factores no-económicos cruciales para el éxito de proyectos de captación de niebla. Un ejemplo histórico, revisado en el Capítulo 5, es el caso del proyecto del cerro “El Tofo”, que abasteció de agua potable a alrededor de 100 casas en la caleta Chungungo. De la Lastra (2002) reportó una serie de factores que incidieron en el fracaso del proyecto luego de casi una década de operación, como por ejemplo:

- El comité local no comprendía la tecnología
- La comunidad nunca asumió la responsabilidad del mantenimiento de los atrapanieblas.
- Los beneficiarios del agua nunca estuvieron dispuestos a pagar por el agua.
- Los componentes de los atrapanieblas fueron robados.

Estos factores deben ser considerados para cuando se desarrolle un modelo de negocio para el desarrollo de una posible empresa privada que se pueda dedicar a la captación y venta de agua de niebla.

Adicional a los factores sociales, un problema muy común que enfrentan los proyectos de captación de niebla, es la destrucción de los dispositivos por medio de tormentas de viento. Por este motivo, en el futuro se deberá solucionar los problemas de robustez y/o adaptación a condiciones de viento extremas para asegurar la vida de los dispositivos. Actualmente, investigadores en Chile están desarrollando nuevos sistemas para la mayor adaptación de las estructuras para vientos con velocidades excepcionales que pueden afectar a la estructura (Holmes, Rivera & de la Jara, 2014).

## 6.6 Otras consideraciones socio-económicas y efectos

Las metas cuantitativas discutidas en la sección 6.3 fueron analizadas y discutidas bajo un enfoque financiero, pero existen otras consideraciones no financieras muy importantes a tomar en cuenta, efectos beneficiosos de la captación de la niebla tales como:

- Mejora en la salud e higiene de las comunidades al evitar camiones aljibes y estancamiento de agua potable.
- Desarrollo económico a partir de productos de nicho (horticultura, cerveza, otros).
- Reforestación.
- Educación ambiental.
- Reducción de tiempo en la búsqueda de agua potable a fuentes lejanas, lo cual afecta típicamente a mujeres y niños de la comunidad.
- Reducción del consumo y contaminación del combustible usado en camiones de reparto de agua potable.
- Desarrollo y crecimiento de comunidades que lleven a una mejor calidad de vida.

La captación de niebla puede funcionar en lugares donde el abastecimiento convencional nunca estará disponible, debido a problemas de acceso o a lo pequeña que es la comunidad, lo cual incide en que grandes plantas privadas de desalinización no serían económicamente factibles. En este sentido, para las comunidades pequeñas del norte de Chile, la captación de niebla puede tener un gran efecto. Dada la experiencia que existe de proyectos anteriores, el análisis de factibilidad de cada proyecto debe incluir de manera comprensiva y simultánea todos los efectos económicos, técnicos y sociales.

Otro efecto importante a considerar para las metas cuantitativas, son los subsidios que reciben las empresas de agua potable en el norte de Chile para financiar los costos iniciales de su operación. Usualmente, éstas poseen variados subsidios para la ampliación de cañerías para distribución de agua potable, tratamiento y otros gastos de manera parcial (mantención, honorarios, asuntos legales, seguros, entre otros). En caso que las condiciones de subsidio de empresas de agua potable se aplicasen a alguna empresa privada que se quiera dedicar a la captación de niebla, las metas cuantitativas expuestas en la sección 6.3 serían relajadas.

## 6.7 Conclusiones

A partir de lo expuesto en este capítulo, pueden desprenderse varias conclusiones expuesta a continuación:

Bajo la tecnología actual de atrapanieblas, el volumen de agua captable es suficiente para varias aplicaciones prácticas (Véase sub-sección 6.1.).

Los proyectos de gran escala, por ejemplo entre 100 y 200 LFCs de 40 m<sup>2</sup>, poseen beneficios de economías de escalas. Para obtener un proyecto económicamente viable, al aumentar la escala se producen los siguientes efectos:

- Aumenta el costo admisible por unidad de área de la malla (Figura 6.2.)
- Disminuye el precio admisible del agua (Figura 6.3.)
- Disminuye el flujo admisible de captación de niebla (Figura 6.4.)
- Disminuye la eficiencia de captación admisible (Figura 6.5.)

Para que sitios típicos del norte de Chile puedan tener proyectos con factibilidad económica, los costos iniciales por unidad de área de malla deben bajar, o alternatively el flujo de captación de niebla debe aumentar (Figura 6.2.).

Cuando los costos iniciales se toman en cuenta, dados los flujos de captación típicos, por ejemplo 5-8 l/m<sup>2</sup>/día, el costo equivalente en el tiempo del agua de niebla es mayor que el precio de mercado actual de agua (Figura 6.3.).

Si el costo de los proyectos actuales se mantiene sin cambios, se requeriría un aumento significativo en el flujo de captación o eficiencia de los atrapanieblas para obtener un proyecto económicamente viable.

El flujo de captación de niebla necesario para la viabilidad económica aumentaría en un 20% en proyectos de 100-200 LFCs, en caso que los costos de honorarios para construir el sistema no fuesen donados o subsidiados.

Debido a todos los otros beneficios asociados a la captación de niebla, bajo la tecnología actual, proyectos de captación de niebla subsidiados para pequeñas comunidades en el norte, sin duda tendrían sentido económico, social y ambiental.

A no ser que el precio de la fuente alternativa de agua potable aumente de manera significativa, se requiere mejorar todos los procesos relacionados con la captación de niebla, desde la selección de sitios, análisis en terreno, hasta el diseño de nuevos atrapanieblas más duraderos y de bajo costo para poder tener un proyecto privado económicamente viable. Es por esto que se espera que en el futuro, las nuevas tecnologías de prospección y captación de niebla puedan permitir la captación de agua potable de niebla a escala industrial, respetando el medio ambiente y obteniendo una nueva fuente de agua para zonas áridas que tanto la necesitan.

## Referencias

- Abdul-Wahab, S. A., Al-Damkhi, A. M., Al-Hinai, H., Al-Najar, K. A., & Al-Kalbani, M. S. (2010). Total fog and rainwater collection in the Dhofar region of the Sultanate of Oman during the monsoon season. *Water International*, 35, 100–109. doi:10.1080/02508060903502984
- Abdul-Wahab, S. A., & Lea, V. (2008). Reviewing fog water collection worldwide and in Oman. *International Journal of Environmental Studies*, 65, 487–500. doi:10.1080/00207230802149983
- Al-hassan, G. A. (2009). Fog water collection evaluation in Asir Region–Saudi Arabia. *Water Resources Management*, 23, 2805–2813. doi:10.1007/s11269-009-9410-9
- Al-Jayyousi, O. R., & Mohsen, M. S. (1999). Evaluation of fog collection in Jordan. *CIWEM and Water and Environment Journal*, 13, 195–199. doi:10.1111/j.1747-6593.1999.tb01034.x
- Andrews, H. G., Eccles, E. A., Schofield, W. C. E., & Badyal, J. P. S. (2011). Three-dimensional hierarchical structures for fog harvesting. *Langmuir*, 27, 3798–3802. doi:10.1021/la2000014
- Banco Mundial, Departamento de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, Región para América Latina y el Caribe (2001). *Chile: diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos*. Recuperado de [http://www.riolontue.cl/admin/actas/e0394e965a\\_Diagnostico\\_Bco\\_Mundial\\_Chile-GRH\\_Resumen\\_Ejecutivo.pdf](http://www.riolontue.cl/admin/actas/e0394e965a_Diagnostico_Bco_Mundial_Chile-GRH_Resumen_Ejecutivo.pdf)
- Cereceda, P., & Schemenauer, R. S. (1991). The occurrence of fog in Chile. *Journal of Applied Meteorology*, 30, 1097–1105. doi:10.1175/1520-0450(1991)030<1097:TOOFIC>2.0.CO;2
- Cereceda, P., Larrain, H., Osses, P., Fariás, M., & Egaña, I. (2008a). The climate of the coast and fog zone in the Tarapacá Region, Atacama Desert, Chile. *Atmospheric Research*, 87, 301–311. doi:10.1016/j.atmosres.2007.11.011
- Cereceda, P., Larrain, H., Osses, P., Fariás, M., & Egaña, I. (2008b). The spatial and temporal variability of fog and its relation to fog oases in the Atacama Desert, Chile. *Atmospheric Research*, 87, 312–323. doi:10.1016/j.atmosres.2007.11.012
- Cereceda, P., Osses, P., Larrain, H., Fariás, M., Lagos, M., Pinto, R., & Schemenauer, R. S. (2002). Advective, orographic and radiation fog in the Tarapacá region, Chile. *Atmospheric Research*, 64, 261–271. doi:10.1016/S0169-8095(02)00097-2
- Cereceda, P., Schemenauer, R. S., & Suit, M. (1992). An alternative water supply for Chilean coastal desert villages. *International Journal of Water Resources Development*, 8, 53–59. doi:10.1080/07900629208722533
- Cereceda, P., Schemenauer, R. S., & Valencia, R. (1992). Posibilidades de abastecimiento de agua de niebla en la Región de Antofagasta, Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, 19, 3–14. Recuperado de [http://www.geo.puc.cl/html/revista/PDF/RGNG\\_N19/art01.pdf](http://www.geo.puc.cl/html/revista/PDF/RGNG_N19/art01.pdf)
- Cereceda, P., Schemenauer, R. S., & Velásquez, F. (1997). Variación temporal de la niebla en El Tofo-Chungungo, Región de Coquimbo, Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, 24, 103–111. Recuperado de [http://www.icp.puc.cl/html/revista/PDF/RGNG\\_N24/Art\\_13.pdf](http://www.icp.puc.cl/html/revista/PDF/RGNG_N24/Art_13.pdf)
- Cermak, J., & Bendix, J. (2008). A novel approach to fog/low stratus detection using Meteosat 8 data. *Atmospheric Research*, 87, 279–292. doi:10.1016/j.atmosres.2007.11.009
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2012). *La economía del cambio climático en Chile*. Recuperado de [http://www.eclac.cl/publicaciones/xml/0/47220/La\\_economia\\_del\\_cambio\\_climatico\\_en\\_Chile\\_Completo.pdf](http://www.eclac.cl/publicaciones/xml/0/47220/La_economia_del_cambio_climatico_en_Chile_Completo.pdf)
- Con camiones aljibe buscan paliar los efectos de la sequía (2011, 28 Octubre). *Diario El Día*. Recuperado de <http://diarioeldia.cl/articulo/camiones-aljibe-buscan-paliar-efectos-sequia>

- Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) Innova Chile (2011). *La niebla, una fuente alternativa de recursos hídricos en las zonas semiáridas, con sistemas de captación altamente eficientes y usos no tradicionales*. Recuperado de <http://www.proyectoatrapaniebla.com/>
- Davtalab, R., Salamat, A., & Oji, R. (2013). Water harvesting from fog and air humidity in the warm. *Irrigation and Drainage*, 62 (3), 245–378. doi: 10.1002/ird.1720
- De la Jara, E. (2012). *Modelación computacional del impacto de gotas de niebla en fibras cilíndricas*. Tesis de Magíster Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago Chile.
- De la Lastra, C. (2002). *Report on the fog-collecting project in Chungungo: Assessment of the feasibility of assuring its sustainability*. International Development Research Centre (IDRC), Ottawa, Ontario, Canada. Recuperado de <http://www.rexresearch.com/fog/chile.pdf>
- Domen, J. K., Stringfellow, W. T., Camarillo, M. K., & Gulati, S. (2014). Fog water as an alternative and sustainable water resource. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 16, 235–249. doi:10.1007/s10098-013-0645-z
- Estrela, M. J., Valiente, J. A., Corell, D., & Millán, M. M. (2008). Fog collection in the western Mediterranean basin (Valencia region, Spain). *Atmospheric Research*, 87, 324–337. doi:10.1016/j.atmosres.2007.11.013
- Estrela, M. J., Valiente, J. A., Corell, D., Fuentes, D., & Valdecantos, A. (2009). Prospective use of collected fog water in the restoration of degraded burned areas under dry Mediterranean conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149, 1896–1906. doi:10.1016/j.agrformet.2009.06.016
- Farías, M., Cereceda, P., Osses, P., & Núñez, R. (2005). Comportamiento espacio-temporal de la nube estratocúmulo, productora de niebla en la costa del desierto de Atacama (21° lat. S., 70° long. W.), durante un mes de invierno y otro de verano. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 56, 43–61. Recuperado de <http://www.revistas.unam.mx/index.php/rig/article/download/30096/27973>
- FogQuest (Sin fecha). What are the costs for a fog collection project?. Recuperado de [http://www.fogquest.org/?page\\_id=9](http://www.fogquest.org/?page_id=9)
- FogQuest (2009). *Chile – El Tofo / Chungungo 1987 – 2002*. Recuperado de [http://www.fogquest.org/?page\\_id=671](http://www.fogquest.org/?page_id=671)
- Gandhidasan, P., & Abualhamayel, H. I. (2007). Fog collection as a source of fresh water supply in the Kingdom of Saudi Arabia. *Water and Environment Journal*, 21, 19–25. doi:10.1111/j.1747-6593.2006.00041.x
- Gandhidasan, P., & Abualhamayel, H. I. (2012). Exploring Fog Water Harvesting Potential and Quality in the Asir Region, Kingdom of Saudi Arabia. *Pure and Applied Geophysics*, 169, 1019–1036. doi:10.1007/s00024-011-0341-z
- Gischler, C. (1991). *The missing link in a production chain, vertical obstacles to catch amanchaca*. ROSTLAC-UNESCO, Montevideo – Uruguay, ISBN 92-9089-019-7.
- Gleick, P. H. (1996). Basic water requirements for human activities: Meeting basic needs. *Water International*, 21, 83–92. doi:10.1080/02508069608686494
- Gulpepe, I., Tardif, R., Michaelides, S. C., Cermak, J., Bott, A., Bendix, J., Cober, S.G. (2007). Fog research: A review of past achievements and future perspectives. *Pure and Applied Geophysics*, 164, 1121–1159. doi:10.1007/s00024-007-0211-x
- Haylock, M. R., Peterson, T. C., Alves, L. M., Ambrizzi, T., Anunciação, Y. M. T., Baez, J., Vincent, L.A. (2006). Trends in total and extreme South American rainfall in 1960–2000 and links with sea surface temperature. *Journal of Climate*, 19, 1490–1512. doi:10.1175/JCLI3695.1

- Hiatt, C., Fernández, D., & Potter, C. (2012). Measurements of fog water deposition on the California Central Coast. *Atmospheric and Climate Sciences*, 2, 525–531. doi:10.4236/acs.2012.24047
- Howard, G., & Bartram, J. (2003). *Domestic Water Quantity, Service Level and Health*. Geneva: World Health Organization. Recuperado de [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/diseases/WSH03.02.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/WSH03.02.pdf)
- Imteaz, M. A., Al-hassan, G., Shanableh, A., & Naser, J. (2011). Development of a mathematical model for the quantification of fog-collection. *Resources, Conservation and Recycling*, 57, 10–14. doi: 10.1016/j.resconrec.2011.09.014
- Instituto Nacional de Estadísticas, (2003). *Chile: estimaciones y proyecciones de población por sexo y edad, regiones, 1990–2020 urbana rural*. Recuperado de [http://www.inec.cl/canales/chile\\_estadistico/demografia\\_y\\_vitales/proyecciones/Informes/Microsoft%20Word%20-%20InforReg\\_UR.pdf](http://www.inec.cl/canales/chile_estadistico/demografia_y_vitales/proyecciones/Informes/Microsoft%20Word%20-%20InforReg_UR.pdf)
- Water International 17. Descargado por [Pontificia Universidad Católica de Chile] el 08:34 25 Junio 2014
- Kahinda, J. M., & Taigbenu, A. E. (2011). Rainwater harvesting in South Africa: Challenges and opportunities. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 36, 968–976. doi:10.1016/j.pce.2011.08.011
- Katata, G., Nagai, H., Wrzesinsky, T., Klemm, O., Eugster, W., & Burkard, R. (2008). Development of a land surface model including cloud water deposition on vegetation. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47, 2129–2146. doi:10.1175/2008JAMC1758.1
- Klemm, O., Schemenauer, R., Lummerich, A., Cereceda, P., Marzol, V., Corell, D., Fessehay, G.M., (2012). Fog as a fresh-water resource: Overview and perspectives. *Ambio* 41, 221–234. doi:10.1007/s13280-012-0247-8
- Larraín, H., Velásquez, F., Cereceda, P., Espejo, R., Pinto, R., Osses, P., & Schemenauer, R. S. (2002). Fog measurements at the site Falda Verde north of Chañaral compared with other fog stations of Chile. *Atmospheric Research*, 64, 273–284. doi:10.1016/S0169-8095(02)00098-4
- LeBoeuf, R. L., Rivera, J., & de la Jara, E. (2014). An economical dual hot-wire liquid water flux probe design. *Atmospheric Research*, *In press*. doi:10.1016/j.atmosres.2014.02.013
- Lekouch, I., Lekouch, K., Muselli, M., Mongruel, A., Kabbachi, B., & Beysens, D. (2012). Rooftop dew, fog and rain collection in southwest Morocco and predictive dew modeling using neural networks. *Journal of Hydrology*, 448–449, 60–72. doi:10.1016/j.jhydrol.2012.04.004
- Lorenceanu, É., Clanet, C., & Quéré, D. (2004). Capturing drops with a thin fiber. *Journal of Colloid and Interface Science*, 279, 192–197. doi:10.1016/j.jcis.2004.06.054
- Louw, C., van Heerden, J., & Olivier, J. (1998). The South African fog-water collection experiment: Meteorological features associated with water collection along the eastern escarpment of South Africa. *Water SA*, 24, 269–280. Reecuperado de [http://www.wrc.org.za/Knowledge%20Hub%20Documents/Water%20SA%20Journals/Manuscripts/1998/04/WaterSA\\_1998\\_04\\_oct98\\_p269.pdf](http://www.wrc.org.za/Knowledge%20Hub%20Documents/Water%20SA%20Journals/Manuscripts/1998/04/WaterSA_1998_04_oct98_p269.pdf)
- Luego de 10 años de desarrollo se inaugura planta de osmosis inversa en Chungungo (2005, 5 Julio). *Diario El Día*. Recuperado de <http://diarioeldia.cl/articulo/luego-10-anos-desarrollo-se-inaugura-plantaosmosis-inversa-chungungo>
- Lummerich, A., & Tiedemann, K. J. (2011). Fog water harvesting on the verge of economic competitiveness. *Erdkunde*, 65, 305–306. doi:10.3112/erdkunde.2011.03.07
- Marzol, M. V. (2002). Fog water collection in a rural park in the Canary Islands (Spain). *Atmospheric Research*, 64, 239–250. doi:10.1016/S0169-8095(02)00095-9
- Marzol, M. V. (2008). Temporal characteristics and fog water collection during summer in Tenerife (Canary Islands, Spain). *Atmospheric Research*, 87, 352–361. doi:10.1016/j.atmosres.2007.11.019

- Marzol, M. V., & Sánchez, J. L. (2008). Fog water harvesting in Ifni, Morocco. An Assessment of Potential and Demand. *Die Erde*, 139, 97–119. Recuperado de <http://homepage.agrl.ethz.ch/eugsterw/publications/fog/06-Marzol-097-119.pdf>
- Medina, C. (2013). Conoce a Cervecería Atrapaniebla, productores de “la primera cerveza” en base a agua de niebla [Meet Cervecería Atrapaniebla, producers of the first fog water based beer]. *Diario El Observador*, Chile. Recuperado de <http://www.elobservador.cl/noticia/emprendimiento-regional/conoce-cerveceria-atrapaniebla-productores-de-la-primera-cerveza-en->
- Minería Andes Iron (2013). Dominga reutilizará el agua de la camanchaca para reforestar. Recuperado de <http://www.conocedominga.cl/casade-la-niebla/>
- Miranda, J. (2013). Sequía en Coquimbo: extienden zona de catástrofe a 15 comunas. *Televisión Nacional de Chile*. Recuperado de <http://www.24horas.cl/nacional/sequia-en-coquimbo-extienden-zona-de-catastrofe-15-comunas-489078>
- Municipalidad de Ovalle adjudicó más camiones aljibes para enfrentar la sequía (2011, October 25). *Diario El Observador*. Recuperado de <http://www.elobservador.cl/noticia/sociedad/municipalidad-deovalle-adjudico-mas-camiones-aljibes-para-enfrentar-la-sequia>
- Neary, D. G., & Garcia-Chevesich, P. (2008). Climate change impacts on municipal, mining, and agricultural water supplies in Chile. *Hydrology and Water Resources in Arizona and the Southwest, Proceedings of the 2008 Meetings: Hydrology Section Arizona-Nevada Academy of Science*, 38, 53–57. Recuperado de [http://www.fs.fed.us/rm/pubs\\_other/rmrs\\_2008\\_neary\\_d002.pdf](http://www.fs.fed.us/rm/pubs_other/rmrs_2008_neary_d002.pdf)
- Olivier, J. (2002). Fog-water harvesting along the West Coast of South Africa: A feasibility study. *Water SA*, 28, 349–360. Recuperado de <http://www.ajol.info/index.php/wsa/article/download/4908/6935510.4314/wsa.v28i4.4908>
- Olivier, J., & de Rautenbach, C. J. (2002). The implementation of fog water collection systems in South Africa. *Atmospheric Research*, 64, 227–238. doi: 10.1016/S0169-8095(02)00094-7
- Osses, P., Schemenauer, R. S., Cereceda, P., Larraín, H., & Correa, C. (2000). Los atrapanieblas del Santuario del Padre Hurtado y sus proyecciones en el combate a la desertificación. *Revista de Geografía Norte Grande*, 27, 61–67. Recuperado de [http://www.geo.puc.cl/html/revista/PDF/RGNG\\_N27/art07.pdf](http://www.geo.puc.cl/html/revista/PDF/RGNG_N27/art07.pdf)
- Painter, J. (2009, 23 Mayo). Chile faces climate change challenge (Chile enfrenta desafíos del cambio climático). *BBC News*. Recuperado de <http://news.bbc.co.uk/2/hi/8058080.stm>
- Park, K. -C., Chhatre, S. S., Srinivasan, S., Cohen, R. E., & McKinley, G. H. (2013). Optimal design of permeable fiber network structures for fog harvesting. *Langmuir*, 29, 13269–13277. doi:10.1021/la402409f
- Piroird, K., Clanet, C., Lorenceau, É., & Quéré, D. (2009). Drops impacting inclined fibers. *Journal of Colloid and Interface Science*, 334, 70–74. doi: 10.1016/j.jcis.2009.03.004
- Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO para Latinoamérica y el Caribe (2007). *Zonation of Water Regimes in Latin America and the Caribbean from a climatic point of view, focusing on vulnerable areas*. Recuperado de <http://www.unesco.org.uy/phi/biblioteca/archive/files/4380e0335358cb0c7225c569e4233fcf.pdf>
- Quintana, J., & Aceituno, P. (2006). Trends and interdecadal variability of rainfall in Chile. *Proceedings of 8 ICSHMO, Foz do Iguaçu, Brazil, 24–28 April, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais*. Recuperado de <http://www.dgf.uchile.cl/ACT19/COMUNICACIONES/Congresos/371-372.pdf>
- Rivera, J. (2011). Aerodynamic collection efficiency of fog water collectors. *Atmospheric Research*, 102, 335–342. doi: 10.1016/j.atmosres.2011.08.005

- Roco, L. (2013, 13 November). Sectores Rurales en Sequía: Ovalle, Combarbalá y Monte Patria son las comunas más críticas en cuanto a agua potable. *Tiempo*. Recuperado de [http://www.semanariotiempo.cl/wp-content/plugins/page-flip-image-gallery/popup.php?book\\_id=222](http://www.semanariotiempo.cl/wp-content/plugins/page-flip-image-gallery/popup.php?book_id=222)
- Rojas, J. (2013). Plantas de Osmosis Reversa. *Diario El Día*. Recuperado de [http://diarioeldia.cl/sites/default/files/infografia\\_mapa\\_apr\\_osmosis\\_bn\\_1.pdf](http://diarioeldia.cl/sites/default/files/infografia_mapa_apr_osmosis_bn_1.pdf)
- Schemenauer, R. S., & Cereceda, P. (1991). Fog-water collection in arid coastal locations. *Ambio*, 20, 303–308. Recuperado de <http://www.jstor.org/stable/4313850>
- Schemenauer, R. S., & Cereceda, P. (1992). The quality of fog water collected for domestic and agricultural use in Chile. *Journal of Applied Meteorology*, 31, 275–290. doi:10.1175/1520-0450(1992)031<0275:TQOFWC>2.0.CO;2
- Schemenauer, R. S., & Cereceda, P. (1994a). A proposed standard fog collector for use in high elevation regions. *Journal of Applied Meteorology*, 33, 1313–1322. doi:10.1175/1520-0450(1994)033<1313:APSFCE>2.0.CO;2
- Schemenauer, R. S., & Cereceda, P. (1994b). Fog collection's role in water planning for developing countries. *Natural Resources Forum*, 18, 91–100. doi:10.1111/j.1477-8947.1994.tb00879.x
- Schemenauer, R. S., & Cereceda, P. (1994c). The role of wind in rainwater catchment and fog collection. *Water International*, 19, 70–76. doi:10.1080/02508069408686203
- Schemenauer, R. S., Cereceda, P., & Carvajal, N. (1987). Measurements of fog water deposition and their relationships to terrain features. *Climate and Applied Meteorology*, 26, 1286–1291. doi:10.1175/1520-0450(1987)0262.0.CO;2
- Schemenauer, R. S., Cereceda, P., & Osses, P. (2005). *Fog water collection manual*. Ontario: FogQuest.
- Schemenauer, R. S., Fuenzalida, H., & Cereceda, P. (1988). A neglected water resource: The Camanchaca of South America. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 69, 138–147. doi:10.1175/1520-0477(1988)069<0138:ANWRTC>2.0.CO;2
- Schemenauer, R. S., & Joe, P. I. (1989). The collection efficiency of a massive fog collector. *Atmospheric Research*, 24, 53–69. doi:10.1016/0169-8095(89)90036-7
- Servicio de Cooperación Técnica, SERCOTEC (2013) *Cerveza Atrapanieblay Valo, Sistemas eléctricos integrados: Empresas regionales con un sello juvenil*. Recuperado de <http://www.sercotec.cl/Qui%C3%A9nesSomos/Noticias/CervezaAtrapanieblayValo%E2%80%9CSistemasel%C3%A9ctricosi.aspx#/0>
- Shanyengana, E. S., Henschel, J. R., Seely, M. K., & Sanderson, R. D. (2002). Exploring fog as a supplementary water source in Namibia. *Atmospheric Research*, 64, 251–259. doi:10.1016/S0169-8095(02)00096-0
- Superintendencia de Servicios Sanitarios (2011). *Informe de gestión del sector sanitario 2011*. Recuperado de [http://www.siss.gob.cl/577/articles-9434\\_recurso\\_1.pdf](http://www.siss.gob.cl/577/articles-9434_recurso_1.pdf)
- University of California Cooperative Extension (2007). *Sample costs to establish an orange orchard and produce oranges, San Joaquin Valley South – 2007*. Recuperado de <http://coststudies.ucdavis.edu/files/orangevs07.pdf>
- University of California Cooperative Extension (2010). *Sample costs to establish an orchard and produce lemons, San Joaquin Valley South – 2010*. Recuperado de <http://coststudies.ucdavis.edu/files/lemonvs10.pdf>
- University of California Cooperative Extension (2012). *Sample Costs to Establish an Orchard and Produce Almonds, Sacramento Valley – 2012*. Recuperado de <http://coststudies.ucdavis.edu/files/AlmondSprinkleSV2012.pdf>



- Villarroel, C. (2012). *Asociaciones comunitarias de agua potable rural en Chile: diagnóstico y desafíos*. Recuperado de [http://www.chilesustentable.net/wp-content/uploads/2013/03/asociaciones\\_comunitarias\\_de\\_agua\\_potable\\_rural\\_en\\_chile\\_2012.pdf](http://www.chilesustentable.net/wp-content/uploads/2013/03/asociaciones_comunitarias_de_agua_potable_rural_en_chile_2012.pdf)
- Wilcox, K. (2013). Researchers Improve the Efficiency of Fog Harvesting. *Civil Engineering*. Recuperado de <http://www.asce.org/CEMagazine/ArticleNs.aspx?id=23622328090>
- Zhou, B., & Du, J. (2010). Fog Prediction from a Multiscale Mesoscale Ensemble Prediction System. *Weather and Forecasting*, 25, 303–322. doi:10.1175/2009WAF2222289.1



## RESEÑA AUTORES

**JUAN DE DIOS RIVERA AGÜERO**

**Profesión:** Ingeniero Civil Mecánico. PhD.  
**Institución:** Pontificia Universidad Católica de Chile  
**Contribución al proyecto Atrapanieblas:** Investigador  
**Correo electrónico:** jrivera@puc.ing.cl



Ha trabajado durante los últimos años en el estudio de los fundamentos de los atrapanieblas, desarrollando teorías que permiten entender los factores que afectan la eficiencia de captación del agua de niebla. En forma paralela ha desarrollado diseños prácticos de atra-

panieblas, los que se han instalado exitosamente en varios sitios. Finalmente, también ha contribuido al desarrollo de métodos de medición de variables relevantes a la captación de agua de niebla, lo que permite perfeccionar los sistemas.

**JORGE LEIVA VALENZUELA**

**Profesión:** Ingeniero Agrónomo Enólogo. Pontificia Universidad Católica de Chile  
**Institución:** Agraria Sur Ltda.  
**Contribución al proyecto Atrapanieblas:** Director proyecto  
**Correo electrónico:** jorgeleiva@agrariasur.cl



Su desempeño profesional ha estado relacionado con el desarrollo rural a través de la dirección, formulación y ejecución de numerosos proyectos del área agropecua-

ria y en especial de proyectos vitivinícolas en diversas regiones del País por más de 25 años. Desde el año 2000 integra el comité directivo de Agraria Sur Ltda.

## PEDRO HERNÁNDEZ PÉREZ

**Profesión:** Ingeniero Agrónomo. Pontificia Universidad Católica de Chile y MBA Universidad Adolfo Ibáñez

**Institución:** Agraria Sur Ltda.

**Contribución al proyecto Atrapanieblas:** Jefe proyecto

**Correo electrónico:** phernandezperez@gmail.com



Asesor privado en recursos hídricos y proyectos agropecuarios. Su área de especialización es la gestión y formulación de proyectos de innovación.

Durante los tres años del proyecto se especializó en el área de montajes de atrapanieblas y utilización de recursos hídricos.

## PILAR CERECEDA TRONCOSO

**Profesión:** Geógrafa PhD. Pontificia Universidad Católica de Chile

**Institución:** Pontificia Universidad Católica de Chile y Centro del Desierto de Atacama.

**Contribución al Proyecto Atrapanieblas:** Investigadora

**Correo electrónico:** dcereced@vtr.net



Sus áreas de especialización son la climatología, biogeografía y educación ambiental. Su desempeño profesional ha estado ligado al estudio de la niebla, dirigiendo más de una veintena de proyectos científicos nacionales y extranjeros sobre éste tema en Chile, Perú, Ecua-

dor, México, Canadá, en el Sultanato de Omán, Namibia y otros lugares del mundo. Ha publicado más de 30 libros sobre Geografía de Chile, más de 50 trabajos científicos y un número similar en Anales de congresos y conferencias internacionales.