



MÁSTER EN INGENIERÍA DEL
AGUA

E.U. POLITÉCNICA

U. SEVILLA.



www.aguapedia.net

MASTER EN INGENIERÍA DEL AGUA
UNIVERSIDAD DE SEVILLA

ESTUDIO SOBRE LA CAPTACIÓN PASIVA DE AGUA DE NIEBLA Y SU APLICABILIDAD

David Simón Martos

Curso 2007 - 2009



CONTENIDO

0. INTRODUCCIÓN	4
1. OBJETO Y OBJETIVOS	6
2. EL PROBLEMA	7
2.1 Disponibilidad	8
2.2 Accesibilidad	9
2.3 No discriminación	10
2.4 Participación	11
3. LA NATURALEZA COMO BASE TÉCNICA.....	12
4. CONDICIONES GEOGRÁFICAS	16
4.1 Necesidad de agua y técnicas disponibles.....	16
4.2 La niebla.....	18
4.2.1 Características principales de la niebla.....	19
4.2.2 Génesis de la niebla	19
4.2.3 Tipos de nieblas	22
4.3 Condiciones geográficas y meteorológicas	30
5. LA TÉCNICA	33
5.1 Descripción general	33
5.2 Diseño del sistema de captación	35
5.3 Materiales posibles.....	37
5.4.1 La Malla captadora	37
5.4.2 Los soportes.....	40
5.4.3 Las conducciones	41
5.4.4 Los depósitos de almacenamiento	41
5.5 Agua obtenida	41
5.5.1 Calidad	41
5.5.2 Cantidad.....	42



5.5.3 Usos	42
6. EXPERIENCIAS PREVIAS SOBRE CAPTACIÓN PASIVA DE NIEBLA.....	43
6.1 Chile	44
6.1.1 El Tofo	45
6.1.2 El Parque Nacional del Bosque de Fray Jorge.....	51
6.1.2 El Santuario de Padre Hurtado	54
6.1.3 Falda verde	55
6.1.4 Iquique.....	57
6.2 Latinoamérica	58
6.3 África.....	60
6.4 Asia	63
6.5 Islas Canarias	66
6.6 Comunidad Valenciana.....	72
7. DATOS OBTENIDOS.....	79
8. CONDICIONES DE APLICABILIDAD DE LA TÉCNICA	81
8.1 Ubicación	81
8.2 Demanda	81
8.3 Autoconstrucción y autogestión.....	82
9. MANUAL DE AUTOCONSTRUCCIÓN	83
9.1 Autoconstrucción del soporte	84
9.2 Autoconstrucción de la malla	85
9.3 Autoconstrucción de la canaleta	86
9.4 Autoconstrucción del sistema de recogida	87
10. VENTAJAS Y DESVENTAJAS	88
11. CONCLUSIONES.....	90
12. DOCUMENTACIÓN GRÁFICA.....	94
13. FUENTES DE DATOS	95



0. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el acceso al agua en calidad y cantidad se ha convertido en uno de los ejes de actuación principales a la hora de desarrollar actuaciones en zonas donde falta este recurso. No sólo se trata de actuaciones de cooperación internacional, si no de actuaciones a nivel local, proyectados, ejecutados y desarrollados por los propios habitantes de la comunidad.

Desde la INGENIERÍA DEL AGUA SOSTENIBLE, se pretende dar solución a los problemas de disponibilidad de agua, en cantidad y calidad, así como al saneamiento de las aguas residuales, desde una perspectiva PRÁCTICA, APLICABLE Y DE BAJO COSTE.

En zonas especialmente desérticas, tales como el desierto de Atacama en Chile; el ingenio humano sale a la luz para poder obtener una fuente de suministro hídrico que ofrezca ciertas garantías.

Es así, como, a partir de la observación de los PROCESOS NATURALES, se pudo apreciar cómo la vegetación crecía en zonas cercana a la costa, encaradas al mar, mientras al otro lado de las colinas, amanecía el árido desierto de Atacama, la zona más árida del planeta.

A partir de ese momento, y tras averiguar que la obtención de agua por parte de las plantas se realizaba a través del agua de la niebla, el potencial humano se dispuso al servicio del conocimiento de técnicas apropiadas, adaptadas a los procesos naturales.

Es entonces cuando se plantean los primeros intentos científicos de captación de agua de niebla.

Sin embargo, siglos atrás, ya se conocían ciertos árboles ubicados en lugares muy concretos, donde la condensación del agua sobre las hojas permitía a las comunidades abastecerse de agua.

Se plantea en este proyecto, el estudio de la APLICABILIDAD DE LA CAPTACIÓN PASIVA DEL AGUA DE NIEBLA, como fuente de suministro seguro, sostenible, autoconstruible, y que recoga las inquietudes y necesidades de la población objeto.

Esta puede ser una solución al ABASTECIMIENTO EN DETERMINADAS ZONAS, pero la única. Siempre cabe plantear la solución a un problema de forma integrada, agrupando las diferentes técnicas que mejor se adapten al contexto sociogeográfico.



Así mismo, tal y como se desarrolla en el presente documento, el agua de niebla puede ser una fuente de agua para el regadío de especies vegetales, permitiendo así una mejora de las condiciones de reforestación y o de alimentación.

Es por lo tanto importante desarrollar adecuadamente la técnica de la captación de agua de niebla considerando:

- Necesidades hídricas de la zona
- Posibilidades hídricas y sociales de la zona
- Materiales posibles
- Capital humano posibles
- Autoconstrucción
- Autogestión
- Implicación de las comunidades
- Sostenibilidad a medio y largo plazo
- Seguridad de abastecimiento
- Resultados reales y necesidades de mejora

La captación de agua de niebla se presenta como una técnica no agresiva, adaptable a numerosas situaciones, y cuyos resultados son realmente sorprendentes, dada especialmente la peculiaridad de los procesos de generación de niebla.



1. OBJETO Y OBJETIVOS

En el presente documento, se desarrollan una serie de conceptos, ideas y criterios para LA APLICABILIDAD DE LA CAPTACIÓN DE AGUA DE NIEBLA.

El **objeto** principal del proyecto es DAR LA POSIBILIDAD DE ACCESO AL AGUA en determinadas zonas donde se den unas condiciones específicas, OFRECIENDO EL CONOCIMIENTO que se dispone sobre CAPTACIÓN DE AGUA DE NIEBLA.

Los **objetivos** que se pretenden alcanzar con este estudio son:

- Ofrecer una solución POSIBLE, PRÁCTICA Y APLICABLE al problema del abastecimiento de agua en DETERMINADAS LOCALIZACIONES donde se haya presencias regulares de niebla.
- Proponer unas premisas básicas sobre la captación de agua de niebla, que permitan la aplicabilidad de la técnica en diferentes situaciones.
- Establecer unas condiciones mínimas de aplicabilidad de la captación de agua de niebla.
- Ilustrar el desarrollo de la técnica mediante el estudio de la experiencias disponibles sobre captación de agua de niebla.
- Ampliar el abanico de posibilidades constructivas de los equipos de captación de agua de niebla, para posibilitar su aplicación en localizaciones concretas haciendo uso de los materiales disponibles.
- Ofrecer una técnica de bajo coste para abastecimiento de agua, evitando las limitaciones habituales de consumo eléctrico, ayudas externas, gestión externa, etc.
- Desarrollar los parámetros de autoconstrucción y autogestión necesarios para el éxito de la utilización de esta técnica.
- Estudiar la capacidad real del sistema para abastecer a pequeñas poblaciones, considerando la dotación necesaria para permitir una vida digna y saludable.



2. EL PROBLEMA

Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU), en los inicios del siglo XXI existen en el planeta al menos 1.100 millones de personas (casi el 20% de la población mundial) que carecen de acceso al agua potable y 2.600 millones (el 40% de la población) que no disponen de servicios adecuados de saneamiento.

El agua contaminada ocasiona la mayoría (casi el 80%) de las muertes en los países en vía de desarrollo; más de 200 millones de niños mueren cada año por consumirla o por las denominadas enfermedades hídricas, causadas por vectores que dependen del agua.

Esta situación no es nueva; los datos absolutos han permanecido prácticamente constantes desde mediados del siglo pasado, a pesar del importante esfuerzo inversor realizado y de las numerosas iniciativas que se han emprendido a nivel nacional e internacional. De hecho, uno de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) asumidos por la ONU en 2.002 se refiere, precisamente, a reducir a la mitad, en 2.015 la proporción de personas que en 1.990 carecían de los servicios de agua y saneamiento (la ONU se planteó conseguir el acceso universal a los servicios de abastecimiento y saneamiento durante la década 1981-1990 (Década Internacional del Agua Potable y del Saneamiento Ambiental); es obvio que el objetivo planteado no se consiguió.

En este contexto, es importante llamar la atención de que, en caso de cumplirse los ODM, en 2.015 aún habrá 794 millones de personas sin acceso al agua y 1.800 millones que no dispongan de sistemas de saneamiento adecuados.

Es, sin duda, este escenario de permanente déficit relacionado con el acceso al agua potable, junto con el desarrollo conceptual de los derechos humanos lo que, históricamente, motivó la consideración de la problemática del abastecimiento básico como un derecho humano.

Efectivamente, si bien es cierto que inicialmente los acuerdos relativos a los derechos humanos se refirieron fundamentalmente a cuestiones políticas y morales, con posterioridad el ámbito que han ido abarcando se ha ampliado hasta contemplar aspectos relacionados con el bienestar humano, incluyendo derechos relacionados con el medio ambiente, las condiciones sociales y el acceso a los recursos naturales.

El agua que es como un recurso natural limitado y un bien público fundamental para la vida y la salud. El derecho humano al agua es indispensable para vivir dignamente y es condición previa para la realización de otros derechos humanos.



El derecho al agua incluye la que se destina a los siguientes usos:

- Usos personales y domésticos: Son los que tienen la prioridad máxima y comprenden:
 - a) Consumo humano: Se refiere al agua destinada a bebidas y alimentos.
 - b) Saneamiento: Asociado a la evacuación de excretas humanas; el agua es necesaria dondequiera que se adopten medios de evacuación por el agua.
 - c) Colada: Lavado de la ropa de la familia.
 - d) Preparación de los alimentos: Incluye la higiene alimentaria y la preparación de los alimentos ya sea que el agua se incorpore a éstos o entre en contacto con éstos.
 - e) Higiene personal y doméstica.
- Usos vinculados con la producción de alimentos, siempre que la producción agrícola esté destinada a evitar el hambre, a garantizar una alimentación adecuada (derecho a la alimentación), pero no cuando se trate de explotaciones agrícolas como negocio.
- Usos vinculados a garantizar el derecho a la salud: abastecimiento de establecimientos de salud y otros usos destinados a evitar enfermedades.

Se puede definir al derecho humano al agua como el derecho a disponer de agua suficiente, salubre, aceptable, accesible, y asequible para el uso personal y doméstico. Esta definición resalta tres elementos fundamentales del derecho al agua: disponibilidad, accesibilidad y calidad; también se hace referencia a otros aspectos relevantes como son la no discriminación, la participación y el acceso a la información.

En lo que sigue se precisan todos estos aspectos.

2.1 Disponibilidad

Debe existir una fuente de agua que provea la cantidad suficiente para satisfacer los diferentes usos de una comunidad.

La disponibilidad del recurso debe ser continua en el tiempo, teniendo en cuenta, para ello, eventuales desconexiones por impagos y cortes de suministro frecuentes debidos a averías.

Además, es necesario tener en cuenta la calidad del agua, por lo que se debe exigir que sea salubre y aceptable en su aspecto, color y olor. En ningún caso debe contener sustancias de cualquier tipo que representen un peligro para la salud de las personas; en este sentido es exigible que el agua cumpla con normas oficiales de calidad y que esté sometida a controles periódicos; con carácter general, son recomendables las guías que ha preparado sobre este



tema la Organización Mundial de la Salud (OMS) y que son de aplicación generalizada tanto en países desarrollados como en desarrollo.

No hay criterios únicos sobre la cantidad mínima de agua a garantizar; la OMS propone que el límite mínimo para consumo, cocina e higiene son 20 litros por persona y día (lpd); sin embargo, esta cantidad está asociada con peligros a la salud y la cifra más recomendada son 50 lpd, que está justificada en la siguiente tabla:

Cantidades de agua recomendada para diversos usos personales y domésticos	
DESTINO	DOTACIÓN (l/persona/día)
Bebida (Valor mínimo para la vida en condiciones climáticas moderadas y asociado a una actividad vital media)	5
Servicios saneamiento	20
Higiene	15
Preparación de alimentos (se excluye el cultivo de alimentos)	10
TOTAL	50

Planteando una dotación de 10 l/persona/día suministrada por medios autoconstruibles y autogestionables se considera un buen punto de partida.

Aun con dotaciones de 50 litros por persona y día, resulta que cerca de 2.200 millones de personas en el mundo no alcanzan la disponibilidad de agua asociada a este umbral.

2.2 Accesibilidad

Se acepta que el agua es accesible físicamente cuando tanto el recurso como las instalaciones y servicios de agua están al alcance de todos, incluso de los sectores más pobres y marginados sin discriminación alguna, en cada hogar, institución educativa o lugar de trabajo o en sus cercanías inmediatas. La seguridad física no debe verse amenazada durante el trayecto que las personas tengan que realizar para acceder a los servicios e instalaciones de agua. Además, la accesibilidad comprende el derecho de solicitar, recibir y difundir información sobre las cuestiones del agua.

A continuación se reflejan los niveles generalmente aceptados en relación con la accesibilidad física al agua y que definen distintos niveles de servicio que, dependiendo de las condiciones sociales, económicas y culturales de las comunidades, pueden ser satisfactorios para acceder al agua.



Nivel de servicio e implicaciones para la sociedad			
NIVEL DE SERVICIO	MEDICIÓN DEL ACCESO	NECESIDADES SATISFECHAS	NIVEL DE IMPACTO PARA LA SALUD
Sin acceso. Cantidad recogida a menudo inferior a 5 lpd	Más de 1 km o 30 minutos de tiempo total de recogida	No se puede asegurar el consumo. La higiene no es posible, a no ser que se practique en la fuente	Muy alto
Acceso básico. La cantidad media recogida probablemente no exceda los 20 lpd	Entre 100 m y 1 km o entre 5 y 30 minutos de tiempo total de recogida	El consumo debería estar asegurado. Es posible el lavado de manos y la higiene básica de los alimentos; la colada y el baño resultan difíciles de asegurar, a no ser que realicen en la fuente	Alto
Acceso intermedio. La cantidad recogida está en torno a los 50 lpd	Agua distribuida mediante un grifo en el lugar o en un radio o 100 metros o 5 minutos de tiempo total de recogida	Consumo asegurado. Toda la higiene básica personal y de los alimentos está asegurada, al igual que la colada y el baño.	Bajo
Acceso optimo. La cantidad de recogida media es de 100 lpd	Agua subministrada de forma continua a través de múltiples grifos	Todas las necesidades cubiertas	Muy bajo

2.3 No discriminación

Se refiere a que no puedan acceder al derecho al agua sectores marginales, comunidades indígenas, mujeres, niños, etc.

En muchos asentamientos humanos no es posible acceder al agua porque la propiedad de los terrenos ni de las viviendas está formalizada; en estos casos es necesario arbitrar medidas para que esta circunstancia no sea un factor limitante para que se acceda al agua y al saneamiento. En definitiva, debe asegurarse la cobertura de los servicios de agua y saneamiento a pesar de que la propiedad de las viviendas no esté formalizada.



2.4 Participación

Debe ser posible influir en la toma de decisiones relacionadas con el acceso al agua en todas las facetas, desde la etapa de definición de las soluciones técnicas que permitan el acceso al agua hasta las relacionadas con el mantenimiento y gestión de los sistemas de los sistemas de abastecimiento.

Especial énfasis hay que hacer en los niveles de servicio de los sistemas de agua que asuman las comunidades, ya que éstos están muy relacionados con la sostenibilidad de los mismos en la medida en que son las propias comunidades las que deben garantizar la gestión, mantenimiento y conservación de las infraestructuras y equipos, además de los propios recursos hídricos.





3. LA NATURALEZA COMO BASE TÉCNICA

La ingeniería del agua sienta sus bases sobre los conceptos físico-químicos y biológicos, obtenidos a partir de muchos años de experiencia humana y a partir principalmente de la observación de la naturaleza y de los procesos que constituyen su ciclo biológico.

Existen zonas geográficas caracterizadas por una extrema aridez, donde emerge vegetación hidrófila. Es el caso por ejemplo del desierto de Atacama en Chile, donde un cordón de vegetación crece paralelamente a la línea de la costa, dejando al oeste una extensa superficie de desierto.

Este tipo de peculiaridades incide en el pensamiento analítico y obliga a buscar una explicación a este tipo de fenómenos.

La presencia de vegetación hidrófila está asociada a la presencia de agua. Esta presencia de agua puede atribuirse a la existencia de aguas subterráneas, de escorrentías pluviales, o, en el caso que nos ocupa, a la presencia del agua de la niebla.

El estudio de la ingeniería del agua es crítico y analítico y debe potenciar la búsqueda de fuentes de recurso hídrico. Con esta filosofía, se presenta la niebla como un recurso hídrico potencial, sobre todo en aquellos lugares áridos donde la obtención de agua sea un factor limitante del desarrollo humano.

Así pues, la **precipitación horizontal**, como se conoce al agua de niebla es un recurso hídrico cuya potencial aplicación dependerá de cada zona de estudio.

La observación de la naturaleza de la zona de estudio, donde la propia **vegetación** se concierte en el primer **captador de agua de niebla**, nos permitirá analizar las posibilidades reales de aprovechamiento de este recurso hídrico.

Así mismo, incluso en lugares con períodos estacionales de lluvia, la captación de agua de niebla se ofrece como una técnica complementaria para la obtención de una fuente de agua de calidad y que puede contribuir a la obtención de una fuente de suministro de agua también en cantidad.

El conocimiento de la existencia, utilidad de éstas neblinas y de sus efectos probablemente data de a lo menos 5.000 años, ya que asentamientos humanos, tanto del litoral de Sur América como del interior del Continente, implementaron formas de utilización, recolectando



el agua tanto desde la vegetación arbórea como de fuentes excavadas a los pies de los cerros costeros hasta donde se filtraba el agua después de chocar las nubes con ellos.

Así, desde principios del siglo pasado, varios investigadores, al observar el comportamiento de éstas nubes y sus efectos en los ecosistemas áridos, se abocaron a estudiar la factibilidad de establecer sistemas artificiales de intercepción de esta agua atmosférica, con el propósito inicial de reproducir estos ecosistemas naturales.

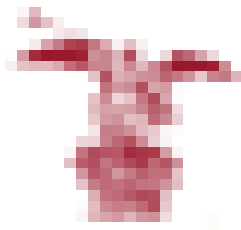
Hace 30 años, el meteorólogo canadiense Robert Schemenauer se paró a pensar en cómo era posible que sobreviviera la vegetación selvática de algunas zonas del mundo donde apenas llovía. Y se dio cuenta de que lo hacía gracias a los bancos de niebla. A imagen y semejanza de la naturaleza, diseñó unas mallas de hilo capaces de recoger el agua de la niebla y abastecer a poblaciones enteras.

En circunstancias en que aumenta la preocupación sobre la desertificación, sale a la luz el enorme potencial hídrico que suelen aportar las hoy llamadas precipitaciones horizontales u ocultas y una de las cuales, la niebla, paradójicamente, se encuentra presente en las regiones de más bajas precipitaciones del globo como son los desiertos de Atacama, Namibia, Península Arábig, Archipiélagos de Canarias y Cabo Verde, etcétera, con precipitaciones que oscilan entre los 1 a 15 mm anuales, caso extremo del desierto de Atacama, islas de bajo relieve como Lanzarote, Sal, Mayo que apenas alcanzan los 140 -150 mm anuales y en las cuales se hace agricultura combinando otras precipitaciones ocultas: rocío y humedad atmosférica.

Estas experiencias suponen un ejemplo de aplicación de las posibilidades hídricas a partir de la observación de la Naturaleza de una localización geográfica determinada

Increíblemente, en muchas de las regiones indicadas se superan los valores de la precipitación media mundial que se estima en alrededor de 900 mm anuales, aunque no se registren con los pluviómetros convencionales. De manera especial, los forestales tendrán en el futuro la responsabilidad de devolver en lo posible las antiguas condiciones naturales de muchas regiones hoy devastadas en un 90% por roturaciones irresponsables del hombre.

Sin embargo, no se puede dejar de mencionar algunas referencias históricas sobre la presencia milagrosa de bosques en medio de zonas de pluviometría baja o moderada y sin que aparentemente hubiera nada del conocimiento humano que lo pudiera justificar. Valga de ejemplo, la conocida descripción que daba Fray Bartolomé de Las Casas, reportero de Colón en sus viajes a América, al pasar frente a la Isla de El Hierro, sobre la presencia de un árbol que siempre tenía una nubecilla en su copa de la que chorreaba el agua que los naturales conducían a albercas desde donde bebían hombres y animales, salvándose durante las sequías



extremas que azotaban esas regiones. Describía el fenómeno del *Garoé*, árbol que captaba la niebla con su follaje y que fuera descuajado por un vendaval en el año 1610.



La búsqueda de explicaciones a este fenómeno u otros similares por ingenieros forestales, hidrólogos, agrónomos, etc. que permitieran justificar una vegetación como la laurisilva con



necesidades hídricas de 1.000 o más mm anuales en un medio en que apenas se llegaba a 500 mm; la extracción de enormes caudales de agua de pozos y galerías, cuyos volúmenes no podían justificarse con los métodos convencionales de cálculo: lluvia, escorrentía, evapotranspiración, etc. en las Islas Canarias, son inquietudes de las que dejaron trazas los ingenieros forestales Ceballos y Ortuño en Tenerife y Nogales en Gran Canaria.

Se encuentran rastros en la civilización Inca de la presencia de árboles como los aguacates, guayabos, etc. en lo que hoy se conoce como Lomas de Lachay hace algunos milenios, destruidos por prácticas agrícolas y pastoriles inadecuadas a partir del siglo XVI. Es la conocida como *Pampa del Taramugal*, en medio del desierto más seco del mundo, Atacama, que se extiende a lo largo de las costas de Chile y Perú, donde sólo quedan algunos vestigios de la densa vegetación que sostuvo.

Igualmente, en las Islas de Cabo Verde, casi no quedaron vestigios de vegetación mientras que los documentos encontrados nos hablan de las antiguas exportaciones de *purgueiras*, es decir, plantas de ricino que cubrían gran parte del Archipiélago y que fueron utilizadas para la producción de carburantes.

Antes de proseguir, diremos que las **precipitaciones ocultas** son todos aquellos aportes de agua al suelo o a las plantas que no pueden ser medidos con instrumentos convencionales, como por ejemplo: un pluviómetro. Por lo tanto y en orden de importancia para nosotros son: la niebla, el rocío, las heladas y la humedad atmosférica.

En sus aplicaciones, además de las forestales, la niebla tiene también otras importantísimas, como el abastecimiento de agua potable a núcleos familiares, pequeñas poblaciones, horticultura y fruticultura de subsistencia, creación de manantiales, alimentación de acuíferos, etc.

Se puede asegurar que las posibilidades de aplicación de este fenómeno a la agricultura, su utilización para recuperar vastas regiones deforestadas por el hombre y mejorar la calidad de vida de muchos asentamientos humanos que viven con enormes carencias, facilitándoles agua potable a bajo costo y para el riego de huertos de subsistencia, sólo con la aplicación de técnicas muy simples y a su alcance, es perfectamente factible. Nuestro deber como ingenieros e hidrólogos es divulgar estas técnicas entre la población rural, máxime cuando están inspiradas en la propia naturaleza.



4. CONDICIONES GEOGRÁFICAS

4.1 Necesidad de agua y técnicas disponibles

Las condiciones geográficas siempre han limitado o beneficiado las posibilidades de desarrollo humano de las comunidades.

Como primer paso, la elección del asentamiento en la etapa de desarrollo sedentario, estaba condicionado por la presencia de buenas tierras de cultivo, de cercanía a ríos o mares, como fuentes de alimento, por la seguridad frente a posibles conflictos bélicos y por la DISPONIBILIDAD DE AGUA.

En muchas ocasiones, los asentamientos humanos se establecen como resultado de diferentes dinámicas históricas, y el lugar donde se desarrollan carece de todos los elementos esenciales que condicionan la base de la pirámide evolutiva.

Así pues, existen zonas donde el acceso al recurso hídrico es realmente difícil. Tanto en calidad como en cantidad.

Esta necesidad para obtener agua, en cantidad y calidad, para el desarrollo de una comunidad, implica el estudio de la zona de asentamiento, para conocer las posibilidades hídricas reales que ofrece la localización.

Así pues, las condiciones geográficas determinan qué posibilidades de obtención de agua existen.

Incluso en zonas áridas donde a priori se puede constatar una falta de agua, existen vías o técnicas para la obtención de agua, que se adaptan a la problemática localizada de cada caso.

Estas condiciones geográficas y meteorológicas ofrecen al ser humano unas condiciones iniciales de trabajo en el mundo de la Ingeniería del Agua. A partir de estas condiciones, se trata por lo tanto de desarrollar técnicas que permitan la obtención del recurso hídrico.

Una de las partes más importantes de la identificación de técnicas es la mencionada observación de la naturaleza. Observar qué ejemplos nos ofrece el entorno y estudiar su aplicabilidad para la obtención de agua, mediante el desarrollo del conocimiento científico.



Por lo tanto, una vez identificados los condicionantes y limitantes geográficos y meteorológicos, y una vez estudiado el abanico de posibilidades técnicas para la obtención de agua, se trata de SELECCIONAR LA TÉCNICA APROPIADA.

Las necesidades y problemas que encontramos en países en vías de desarrollo son muy diferentes a los que presentan los países desarrollados. Consecuentemente, las soluciones para ambos escenarios van a ser también muy diferentes. Por esa razón, en un país en desarrollo no podemos automáticamente usar una tecnología que ha sido originalmente desarrollada para un país desarrollado. Esto ha sido un error tradicional en muchos programas de desarrollo y hace referencia de manera directa al concepto de tecnología apropiada.

Decimos que una tecnología es apropiada si tiene en cuenta las necesidades e intereses de los usuarios finales para los que esa tecnología va dirigida. En otras palabras, va más allá de la tecnología en sí misma y considera factores tanto humanos, sociales como económicos. Las características más importantes que deben ser intrínsecas a una tecnología apropiada en una zona rural aislada:

- Tiene que ser robusta y sencilla de usar, ya que los usuarios van a ser poco cualificados y no van a contar con el apoyo continuado de asesores preparados.
- Tiene que requerir poco o ningún mantenimiento de técnicos especializados, ya que estos van a estar lejos y va a resultar caro y difícil atraerlos para la resolución de los problemas.
- Debe ser de bajo consumo.
- No debe ser cara de desplegar, y a demás debe tener costes de operación muy bajos o nulos.

Para la obtención de agua en cantidad y calidad, la elección de una solución, técnica o tecnología APROPIADA o ADECUADA depende de:

- Los condicionantes socioeconómicos
- Los condicionantes geográficos (y meteorológicos)
- Los condicionantes ambientales

A partir de estas premisas, los condicionantes geográficos están asociados en este estudio a la PRESENCIA DE NIEBLA.



Por lo tanto, una solución al problema de suministro de agua, podría ser la captación pasiva de agua de niebla. Pero esta técnica será apropiada siempre y cuando se cumplan las siguientes premisas:

- Se deben dar las condiciones adecuadas como para que haya presencia de niebla con cierta regularidad, de forma que se permita tener un abastecimiento lo más seguro y constante posible.
- En localizaciones donde existen otras técnicas más viables y eficaces, el planteamiento de la captación de agua de niebla puede no resultar interesante. Por ejemplo, en zonas con abundante niebla, pero también abundante agua subterránea.
- Así mismo, puede ser una solución complementaria a otras técnicas. Es una técnica que permite captar tanto agua de niebla como agua de lluvia, pero claro está, en con la misma eficiencia en el caso de la lluvia.
- La solución no debe plantearse como única y final, se trata de una contribución a solucionar el problema hídrico de una localización. Pero debe ser una técnica complementaria y no excluyente.

4.2 La niebla

La niebla es un fenómeno meteorológico caracterizado por disponer de un considerable contenido en agua.

A nivel de Ingeniería del Agua Posible, nos interesa extraer el potencial de la niebla como fuente de suministro de un agua de calidad y de cantidad, en función del uso para el que se destine el agua.

Así pues, antes de desarrollar la técnica desarrollada para la captación pasiva de agua de niebla, es esencial conocer el comportamiento de la niebla.

El conocimiento de la niebla y de sus principios teóricos, nos permitirá, junto con el trabajo de campo, definir:

- Las condiciones geográficas y meteorológicas necesarias para que se produzca una niebla adecuada como para poder aprovechar su contenido hídrico.
- Qué tipo de niebla nos permitirá proyectar una captación pasiva.

Así pues, a continuación se estudia el comportamiento de la niebla y su relación con la CAPTACIÓN PASIVA DE AGUA DE NIEBLA.



4.2.1 Características principales de la niebla

La niebla consiste en *diminutas gotas de agua suspendidas en la atmósfera, formando una nube en contacto con la superficie de la tierra* (Organización Meteorológica Mundial, 1996).

Tradicionalmente la niebla ha ido asociada a un descenso de la visibilidad y muchas de las definiciones que aparecen en la literatura se basan en ese factor. Así, la niebla se puede definir como *la suspensión en la atmósfera de gotas de agua muy pequeñas que reducen la visibilidad horizontal a menos de 1 kilómetro de distancia*. Si la visibilidad oscila entre 1 y 4 kilómetros, se considera *neblina*, y si es superior a ese umbral, se dice que es *bruma*.

La principal diferencia entre la niebla y las nubes es que mientras la primera se forma sobre la superficie de la tierra o del mar, las segundas aparecen en altitud por los movimientos ascendentes del aire. Así, es posible definir la niebla *como una nube en contacto con el suelo*. Es importante incluir esta definición, ya que en muchos casos este tipo de nieblas es el que da origen a las mayores captaciones de agua de niebla, tal y como ocurre en las Islas Canarias. De este modo, en zonas de costa que presentan cadenas montañosas perpendiculares a los flujos de viento dominantes, como ocurre en la isla canaria de Tenerife, el desplazamiento de nubes bajas o estratocúmulos desde el mar hacia la costa puede provocar el contacto entre la nube y las montañas, diciéndose en este caso que existe niebla en ese lugar, habiéndose constatado como un nuevo recurso hídrico en la isla de Tenerife.

La cantidad de agua contenida en un metro cúbico de aire húmedo varía desde los 3 g/m³ en las nubes de tormenta, hasta los 0,05 g/m³ en nubes poco densas, mientras que en la niebla este valor varía entre **0,22 y 0,73 g/m³**. El tamaño de las gotitas de agua que forman la niebla es menor que las que forman las nubes. El diámetro de las gotas de lluvia oscila entre 5 mm de las lluvias más intensas hasta los 0,04 mm de las lloviznas, mientras que en la niebla este valor varía entre 1 y 40 µm. Ello hace que en la niebla, al ser las gotitas tan pequeñas, queden suspendidas en el aire, provocando lo que se conoce como *precipitación horizontal*.

CARACTERÍSTICAS DE LAS GOTAS DE AGUA DE LAS NUBES			
LLUVIA LLOVIZNA NIEBLA			
Diámetro de las gotas	0,5-5 mm	0,04-0,5 mm	1-40 µm
Velocidad de caída	2-9 m/s	2-5 m/s	< 5 cm/s

4.2.2 Génesis de la niebla



Los dos factores imprescindibles para que se produzca la niebla son, en primer lugar, la saturación del vapor de agua atmosférico hasta alcanzar la condensación y, en segundo lugar, la presencia de núcleos de condensación en el aire que provoquen la condensación del vapor de agua sobre ellos. A continuación se describen ambos factores Fundamentales.

CONDENSACIÓN DEL VAPOR DE AGUA ATMOSFÉRICO

La niebla, al igual que las nubes, se forman por condensación del vapor de agua atmosférico. El cambio de estado del agua de gas a líquido depende fundamentalmente de la temperatura, humedad y presión del aire. Así, la condensación del agua y, por tanto, la formación de la niebla, se puede producir cuando:

- Desciende la temperatura del aire, hasta que el vapor de agua existente alcanza la temperatura del punto de rocío y condensa.
- Aumenta el contenido de humedad en el aire, provocando la saturación del aire y, por tanto, la condensación del vapor de agua existente.
- Desciende la presión atmosférica sin suministro de calor, por ejemplo, en un ascenso adiabático del aire, lo que provoca un descenso de la temperatura del aire por su expansión, hasta que se produce la saturación y condensación del vapor.

El parámetro más importante que se da en la atmósfera a la hora de la formación de nieblas y nubes es el descenso en la temperatura del aire: cuando la masa de aire se enfría por debajo de su punto de rocío, se satura y el vapor que contiene se transforma en líquido.

Los mecanismos más importantes de este enfriamiento en la atmósfera pueden ser varios:

- Por mezcla de dos masas de aire a distinta temperatura, lo que puede llegar a provocar la saturación de una de las masas de aire a la nueva temperatura, produciendo niebla o nubes en ella.
- Por contacto de una masa de aire húmedo sobre una superficie fría. En este caso, la pérdida de calor por radiación de la superficie fría enfría el aire inmediatamente superior y si se alcanza la saturación, el vapor de agua contenido en la masa de aire se condensa formando rocío, escarcha o niebla.
- Por la expansión adiabática de grandes masas de aire. Así, una masa de aire que es forzada a ascender, al sufrir una presión cada vez menor con la altura, aumenta su volumen y en consecuencia, disminuye su temperatura, lo que puede provocar la saturación del aire y por tanto, la formación de nieblas o nubes.



El otro mecanismo habitual que origina la condensación del vapor de agua atmosférico es el aumento de la humedad del aire. Así, cuando una masa de aire frío y relativamente seco se sitúa encima de una masa de agua más caliente, el agua tiende a evaporarse, produciéndose la saturación de la masa de aire y la formación de niebla o neblina.

NÚCLEOS DE CONDENSACIÓN

Como ya se ha explicado, el vapor de agua cambia de estado fundamentalmente cuando el aire se enfría por debajo de la temperatura del punto de rocío, pasando en ese momento el excedente de vapor al estado líquido (excepto cuando la temperatura es inferior a 0 °C, lo que provoca que el agua pase directamente a hielo) o cuando existe un aporte suficiente de humedad que sature el ambiente. Sin embargo, para que esta condensación se produzca, el otro factor imprescindible es la presencia de unos "soportes" donde se "adhieran" las moléculas de agua hasta formar las gotas, los conocidos como *núcleos de condensación*. De lo contrario, el aire se sobresatura, es decir, alcanza humedades relativas superiores al 100 % sin que se alcance la fase líquida.

Los *núcleos de condensación* son partículas higroscópicas muy pequeñas (microscópicas), que, al absorber la humedad, inician sobre ellas el proceso de condensación, convirtiéndose en gotículas donde queda, finalmente, disuelta la propia sustancia.

Se ha visto en laboratorio, en atmósferas completamente *limpias*, sin partículas en suspensión y con presencia exclusiva de vapor de agua, que el vapor de agua, a pesar de poder estar sobresaturado, no llega a condensar. Por tanto, es necesaria la presencia de una superficie ajena al aire que haga de soporte para la condensación. Esta superficie puede ser el suelo, como ocurre cuando se forma el rocío o la escarcha. En el aire, esta superficie la forman los núcleos de condensación.

Los principales y más abundantes núcleos de condensación son las partículas de sal, de origen marino, generadas por la rotura de las burbujas de la espuma de mar, y las partículas procedentes de combustiones, ya sean de incendios, erupciones volcánicas, actividad industrial, etc.

El tamaño de los núcleos de condensación es muy variable y oscila desde los que tienen 0,01 μm de radio, cuya efectividad es escasa porque requieren altos niveles de sobresaturación, hasta los que alcanzan los 10 μm , que escasean en el aire porque se mantienen poco tiempo en él. Del conjunto los más activos son los de 0,1 a 1 μm .

En función a su tamaño, los núcleos de condensación se dividen en tres tipos:



1. Núcleos de Aitken: son sustancias con un radio inferior a $0,2 \mu\text{m}$, que reciben el nombre en honor al científico británico que demostró su existencia en 1.880. Se forman principalmente en procesos de combustión, tanto naturales como antrópicos, provocando por tanto una presencia elevada en atmósferas urbanas contaminadas. Su concentración promedio suele ser muy elevada, oscilando entre las 1.000 y 10.000 unidades por centímetro cúbico de aire.
2. Núcleos grandes: su radio varía entre $0,2$ y $1 \mu\text{m}$. Están compuestos fundamentalmente por sulfatos y su concentración oscila entre una y mil unidades por centímetro cúbico de aire.
3. Núcleos gigantes: su radio es mayor que $1 \mu\text{m}$. Están formados fundamentalmente por partículas de sal de agua marina generadas por la explosión de las burbujas de sal marina y su concentración no supera las 10 unidades por centímetro cúbico de aire.

La concentración de los núcleos de condensación depende fundamentalmente de la localización geográfica y de la altitud. Así, en áreas muy pobladas y con elevados índices de contaminación, su concentración es muy alta, mientras que sobre los océanos o en las áreas rurales, su concentración es menor. También se ha observado que la presencia de núcleos de condensación disminuye con la altitud tanto más rápidamente cuanto mayor sea su tamaño.

4.2.3 Tipos de nieblas

Como ya se ha visto, los mecanismos fundamentales para que el vapor de agua presente en el aire condense, aparte de la presencia necesaria de núcleos de condensación, son el enfriamiento del aire por debajo de su temperatura de saturación y el aumento del contenido de humedad del aire debido a la evaporación. Una vez la niebla se ha formado, deben mantenerse las condiciones que la originaron para que la niebla no se disipe, es decir, debe mantenerse el enfriamiento del aire o la evaporación y mezcla de vapor de agua.

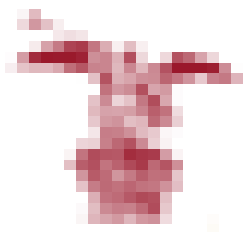
En relación a la génesis de la niebla, podría hacerse la siguiente clasificación:

- 1) nieblas originadas por enfriamiento, y
- 2) nieblas originadas por evaporación.

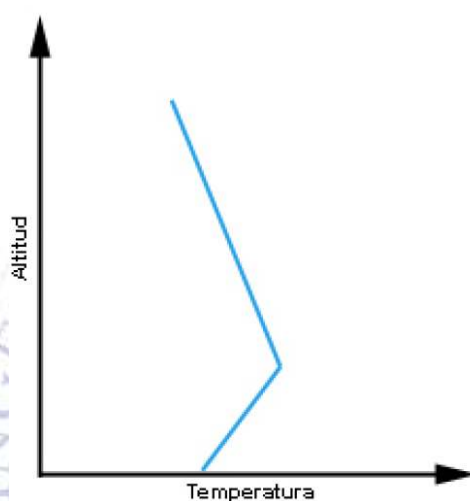
Ambos tipos de niebla se explican a continuación.

NIEBLAS ORIGINADAS POR EL ENFRIAMIENTO DEL AIRE

Las nieblas producidas por el descenso de la temperatura del aire hasta alcanzar la saturación, se pueden dividir en los siguientes tipos:



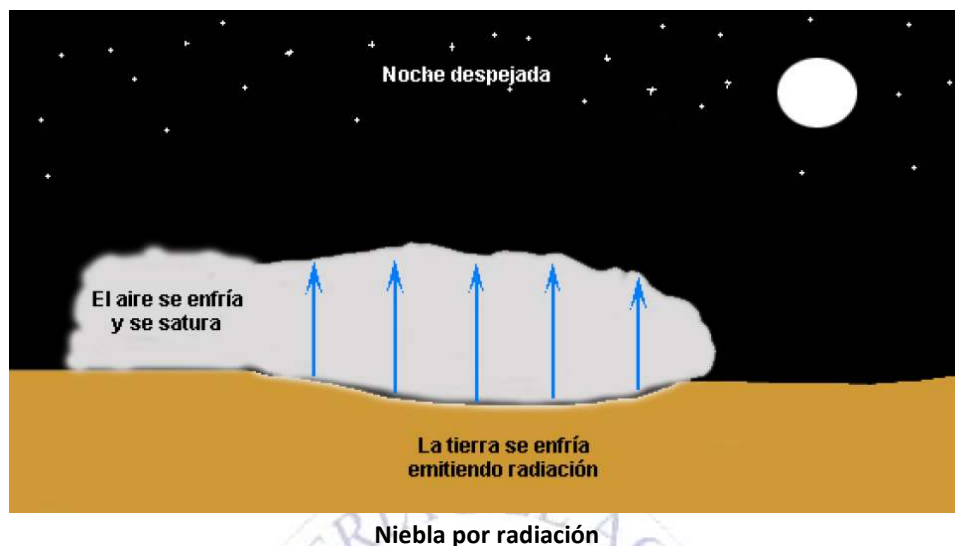
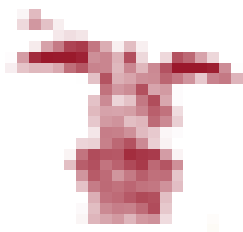
Nieblas de radiación: Se producen en invierno en situaciones anticiclónicas, en noches despejadas y presencia de viento débil. En estas condiciones, durante la noche, se produce una pérdida de calor del suelo por irradiación infrarroja terrestre, enfriando el aire en contacto con él y originando una inversión de la temperatura en superficie.



Inversión térmica en superficie: relación entre la temperatura y la altitud

Este descenso de la temperatura del suelo puede provocar la saturación del aire inmediatamente superior a la superficie, hasta alcanzar el punto de rocío y, por tanto, la formación en primer lugar de rocío o escarcha, si la temperatura es inferior a cero grados, y de niebla si el enfriamiento se transmite a las capas superiores de la masa de aire.

La presencia de viento débil, entre 3 y 10 km/h, es necesaria para la formación de la niebla, ya que provoca la mezcla por turbulencia con las capas superiores de aire. Velocidades superiores de viento provocan la mezcla del aire con capas superiores más secas y, por tanto, disipan la niebla.

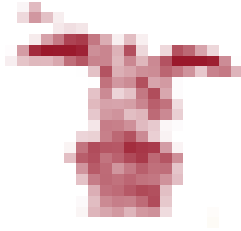


Es habitual, en noches frías de otoño e invierno, que el aire frío, más denso, se acumule en las zonas deprimidas (cubetas y valles interiores), prosiguiendo de este modo su enfriamiento por irradiación, hasta alcanzar la saturación, formando bancos de niebla.

Al amanecer, el suelo comienza a calentarse debido a la radiación solar incidente, transmitiendo su calor a la masa de aire saturada situada sobre él, por lo que este aumento de la temperatura provoca que la niebla se disipe lentamente desde abajo hacia arriba, diciéndose en esos casos que la niebla "se levanta". La niebla empieza a disiparse desde las capas inferiores pegadas al suelo y se va extendiendo lentamente hacia las capas superiores.

Desde el punto de vista de una posible captación de este tipo de niebla, cabe destacar que se trata de un fenómeno *estático* y apenas presenta movimiento horizontal, por lo que su recolección precisa de sistemas *activos* que conduzcan la niebla hacia su interior, captándola posteriormente. Como ya se verá más adelante, en las regiones de costa, como es la Comunidad Valenciana, los estudios sobre captación de agua de niebla han ido encaminados a la utilización de sistemas *pasivos* de niebla, aprovechando la frecuente presencia de nieblas que presentan movimiento horizontal.

Este tipo de sistemas tiene la ventaja que, por lo general, suelen ser más sencillos que los captadores *activos* y no requieren de complicados sistemas mecánicos o electrónicos que conduzcan la niebla hacia su interior, sino que es su propio movimiento horizontal quien conduce al agua condensada a través de los captadores *pasivos*.

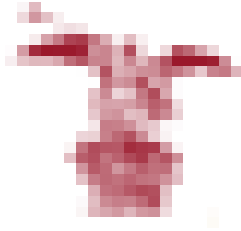


Nieblas de advección: La niebla de advección es la más frecuente en las zonas de costa. Ocurre cuando una masa de aire cálida se desplaza horizontalmente sobre una superficie fría, ya sea tierra o agua, de modo que la masa de aire transfiere su calor a la superficie fría, enfriándose y si la temperatura supera el punto de rocío, se produce la formación de la niebla advectiva.



Niebla por advección

Una velocidad de viento moderada, en torno a 25-35 km/h, es favorable para la formación de la niebla de advección. Si la velocidad es más alta, las nubes tenderán a formarse después de que la niebla por advección se aclare, formándose una capa de estratos bajos o estratocúmulos.



Este tipo de nieblas es muy frecuente que se produzcan en el mar, cuando el aire cálido fluye sobre un área de aguas frías, tal y como suele ocurrir habitualmente en la bahía de San Francisco durante los meses de verano.

Allí en verano, los vientos húmedos y cálidos del océano Pacífico son empujados por las brisas del oeste hacia las frías aguas de la costa, por lo que las masas de aire advectadas ceden calor y, si su temperatura llega hasta el punto de rocío, se produce la niebla por advección.

Por lo general, cuando la niebla se desplaza hacia la costa, al estar la superficie del suelo más caliente, la niebla se disipa y da lugar a la aparición de nubes bajas sobre la costa.





Hay que destacar que este tipo de nieblas las cuales se producen cuando el viento es moderado y disipa la niebla en las capas inferiores, dando lugar a nubes en forma de estrato en las capas bajas de la atmósfera, es el más ampliamente estudiado para su captación y aprovechamiento en zonas costeras.

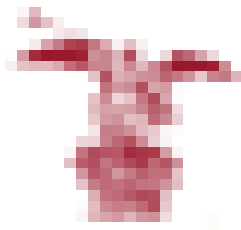
Este tipo de nieblas se forma muchas veces a cientos de kilómetros de la costa, es empujado por los vientos hacia tierra e intercepta con las cadenas montañosas de la costa, formando persistentes nieblas de advección.

En estudios realizados en Chile, la capa de estratos choca sobre las cadenas montañosas a una altura que varía entre los 400 y los 1.100 m, y tiene un espesor que oscila entre los 300 y 400 m, que dependerá de la existencia en altura de una capa de inversión térmica que impida su desarrollo en altura.

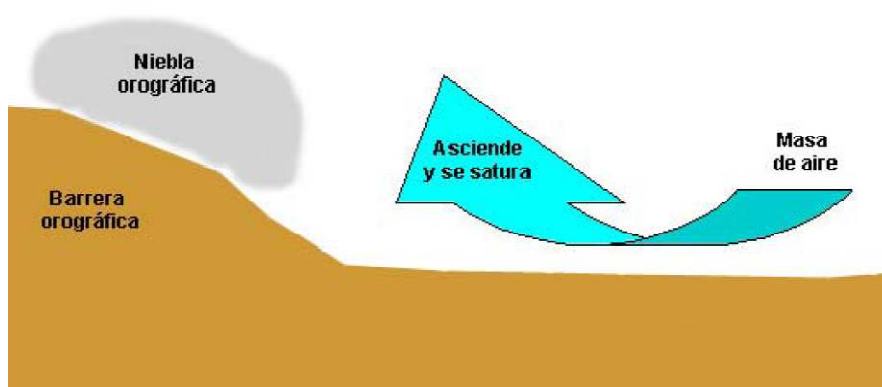
En las Islas Canarias es frecuente también que nubes bajas generadas sobre el océano Atlántico y arrastradas por los vientos alisios de componente nordeste producidos por el anticiclón de Azores, lleguen a las islas y choquen con las cumbres de las montañas de la costa. Este tipo de nubes es conocido en las Islas Canarias como "mar de nubes", debido a su gran extensión horizontal y escaso desarrollo vertical, a causa de la inversión térmica a cotas que oscilan entre 800 y 1.800 m de altitud, que hace de "tapadera" para el crecimiento vertical de las nubes, lo que le da una apariencia de "manta" más o menos densa que cubre el cielo canario.

Investigaciones de la Universidad de La Laguna en Tenerife, encabezados por la doctora María Victoria Marzol, han estudiado este tipo de niebla en las Islas Canarias, especialmente en la isla de Tenerife, desde 1.993, habiendo constatado que este tipo de nubes tiene la posibilidad de chocar contra las montañas de las islas a una altura que varía entre los 500 y los 1.800 m.

Desde el punto de vista de una posible recolección, cabe resaltar que este tipo de niebla tiene la ventaja sobre las nieblas de radiación, que se trata de una niebla en movimiento, ya que es empujada por los vientos hacia la costa, por lo que puede ser interceptada por sistemas *pasivos* de niebla, tal y como hacen los árboles y plantas en la naturaleza. Así, cuando la niebla atraviesa un árbol a cierta velocidad, las hojas y ramas del mismo interceptan pequeñas gotas de agua, precipitando posteriormente sobre el suelo y sirviendo de recurso hídrico para la planta. Los captadores de niebla más utilizados en la literatura se basan en este principio. Se trata de captadores *pasivos* que imitan a la vegetación y cuando la niebla o las nubes los atraviesan, captan el agua.



Nieblas orográficas: como su nombre indica, las nieblas orográficas aparecen cuando una masa de aire frío y con un contenido en humedad inicial elevado, es forzada a ascender por una barrera orográfica (montaña, ladera, etc.). En el ascenso, el aire se expande y se enfría adiabáticamente. Si se alcanza el punto de rocío, el vapor de agua de la masa de aire condensa, dando lugar a la formación de la niebla.

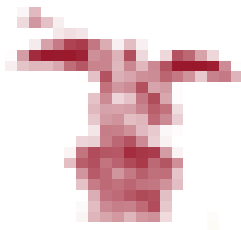


Formación de nieblas orográficas

No son necesarias grandes elevaciones para que se den este tipo de nieblas, de forma que para que se produzca el enfriamiento expansional pueden ser suficientes áreas de pendiente suave. Por ello, a este tipo de nieblas también se le conoce como *nieblas de ladera*. En Estados Unidos se ha llegado a constatar enfriamientos adiabáticos de 13º C en vientos ascendentes que van desde el río Mississippi hacia las Montañas Rocosas. En estos casos, cuando la diferencia entre la temperatura del aire y la del punto de rocío es menos de 13º C, se produce la niebla orográfica.

Los factores que influyen en la formación de la niebla orográfica son los siguientes:

- La presencia de *upwellings* en el mar: Se denomina *upwelling* cuando existe un movimiento ascendente lento de las aguas profundas hacia capas superiores del mar o el océano. El *upwelling* es importante en la meteorología de costa, ya que gran parte de los estratos y nieblas de costa se forman sobre esta agua fría. El *upwelling* ocurre por la combinación de la fuerza del viento y el efecto de la rotación de la tierra, que provocan en zonas de costa el transporte de las aguas profundas, más frías, a capas más altas, enfriando por tanto el mar cercano a la costa.
- Existencia de montañas soleadas
- La altitud



- La forma del relieve y de la línea de costa

Debe añadirse como condicionantes favorables para la formación de nieblas orográficas, la presencia de vientos moderados, entorno a 25-35 km/h que impulsen las masas de aire hacia cotas superiores y una humedad relativa alta de la masa de aire.

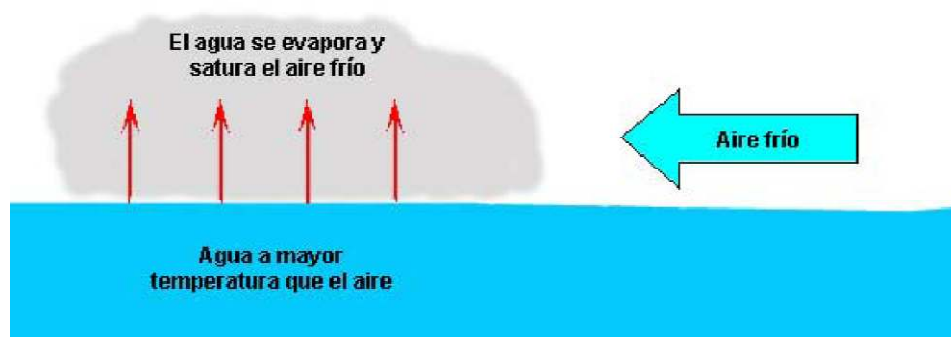
Este tipo de nieblas es posible distinguirla en montañas de costa, cuando aparece la niebla en las cimas, mientras que el resto del área aparece despejado y soleado, lo que sugiere la presencia de niebla orográfica.

NIEBLAS ORIGINADAS POR LA EVAPORACIÓN Y MEZCLA DE VAPOR DE AGUA

Las nieblas producidas por un incremento del vapor de agua en el aire hasta alcanzar la saturación, se pueden dividir en los siguientes tipos:

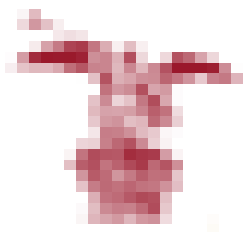
Nieblas de evaporación: también conocidas como *nieblas de vapor* debido a su aspecto vaporoso o humeante, constituyen un fenómeno frecuente en los lagos y corrientes oceánicas cálidas, al pasar aire frío por encima de ellos.

Así, cuando una masa de aire fría se desplaza sobre una superficie líquida más cálida, se produce una evaporación desde el agua hacia la insaturada masa de aire. El vapor se eleva y se encuentra con aire más frío, por lo que se condensa y se eleva con el aire que está siendo calentado en las capas inferiores. De esta manera, el incremento de vapor de agua en el aire puede provocar que éste se sature, formándose la niebla por evaporación.



Formación de las nieblas de evaporación

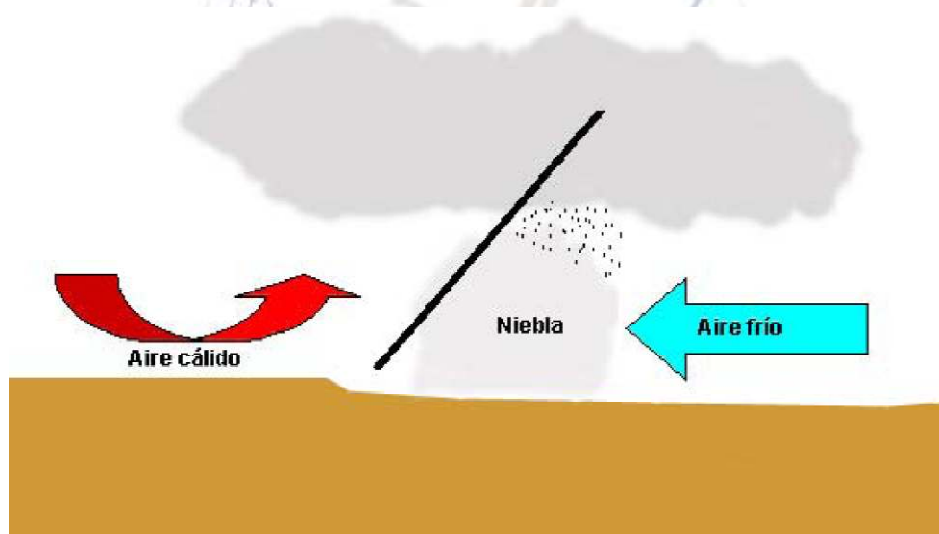
Es común ver este tipo de nieblas en latitudes altas en mañanas de otoño, cuando masas de aire frío se desplazan sobre las aguas de lagos o mares todavía calientes del verano. La misma



situación puede presentarse en áreas polares, cuando el aire se mueve desde superficies heladas hacia mar abierto, relativamente más cálido.

Por ello, a esta niebla también se le conozca como *humo del mar Ártico*. También es posible observar este fenómeno en lugares en los que emanan aguas térmicas, donde al agua caliente que brota de la tierra se evapora al contacto con el aire más frío, formando nieblas de vapor. O también cuando ha llovido es posible encontrar el gradiente térmico necesario para que se produzcan unos "fleclos" de aire saturado, aunque por lo general no suelen ser importantes.

Nieblas frontales: en un frente, cuando dos masas de aire se encuentran, el aire frío forma una cuña que fuerza a ascender al aire más cálido. El aire que asciende se enfría y puede provocar la formación de nubes y la precipitación. La precipitación que cae desde una masa de aire cálido localizada en altura puede saturar el aire más frío situado debajo y provocar la formación de la niebla frontal. El resultado es una zona de gotas de agua condensada que van desde el suelo hasta las nubes.



Formación de las nieblas de frontales

4.3 Condiciones geográficas y meteorológicas

Para la captación pasiva de agua de niebla se requiere además de la presencia de niebla, que esta niebla se desplace.



Tal y como se desarrolla en los apartados anteriores, las nieblas que ofrecen mayores posibilidades como fuente de agua son las NIEBLAS POR ADVECCIÓN. Además, las nieblas orográficas son también interesantes.

Las nieblas de advección ofrecen amplias posibilidades de captación de agua por diversos motivos:

- Se trata de nieblas originadas en el mar que entran en contacto con una superficie fría, bien sea la superficie de la tierra, o bien una masa fría de agua (cuya niebla puede alcanzar también cotas altas de superficie). Por lo tanto, la niebla alcanza zonas continentales, por lo que es factible su recolección. En el caso de nieblas que permanezcan en el mar, esta técnica no es viable.
- Desde el punto de vista de una posible recolección, cabe resaltar que este tipo de niebla tiene la ventaja sobre las nieblas de radiación, que se trata de una niebla en movimiento, ya que es empujada por los vientos hacia la costa, por lo que puede ser interceptada por sistemas *pasivos* de niebla, tal y como hacen los árboles y plantas en la naturaleza.
- Al originarse en el mar, cabe esperar que el contenido de agua de la masa de niebla sea mayor.

Para que se den las condiciones adecuadas para originar las nieblas por advección y se proceda a su captación, es necesario que:

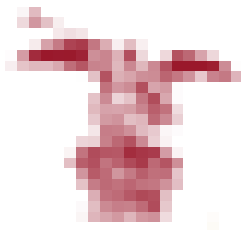
- Sea una zona costera o una zona cercana al río.
- Una velocidad de viento moderada, en torno a 25-35 km/h, es favorable para la formación de la niebla de advección. Si la velocidad es más alta, las nubes tenderán a formarse después de que la niebla por advección se aclare, formándose una capa de estratos bajos o estratocúmulos.
- Haya presencia de vientos aliseos, o vientos calientes que puedan entrar en contacto con otras superficies frías.
- Exista una zona continental donde la niebla acabe incidiendo y donde se produzca la condensación del agua contenida en la niebla. Es también el caso de las nieblas orográficas.

Es importante recalcar que la captación de agua de niebla es especialmente interesante en aquellos lugares donde la obtención de agua esté limitada, tanto por condicionantes ambientales y geográficos, como por condicionantes sociopolíticos.



Además, en zonas con una marcada estacionalidad de lluvias, estas nieblas pueden ser una gran solución para la época seca. Su captación permite además, la captación de agua de lluvia con el mismo sistema en época de lluvias.





5. LA TÉCNICA

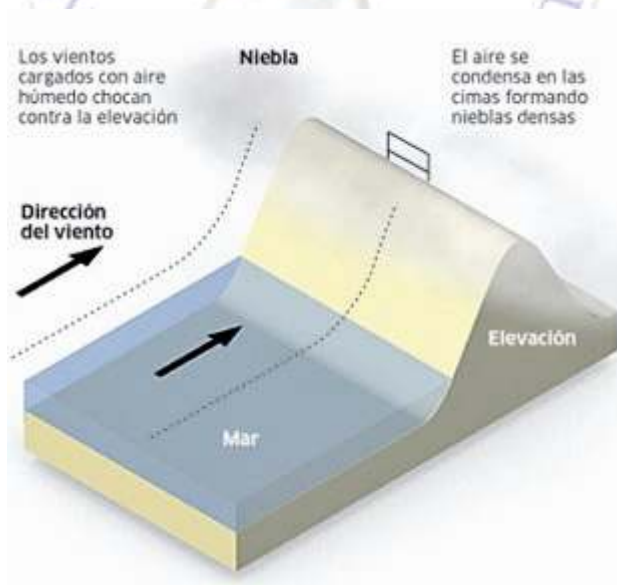
5.1 Descripción general

La captación PASIVA del agua de niebla depende fundamentalmente de que la zona esté preparada para acoger la técnica, lo cual implica que:

- La niebla formada debe ser arrastrada por el viento.
- Las condiciones orográficas deben permitir la captación de la misma
- Las condiciones técnicas y territoriales han de posibilitar su almacenamiento y transporte.

El término PASIVA corresponde con el tipo de captación, dado que la instalación es fija, y la niebla es la que atraviesa la misma. Se puede plantear una captación ACTIVA para nieblas estáticas, pero no es, por el momento, ni técnica ni económicamente sostenible.

A continuación se adjunta un esquema de la formación de la niebla tipo que permite la CAPTACIÓN PASIVA DEL AGUA DE NIEBLA.



Fuente: Álvaro Baliño

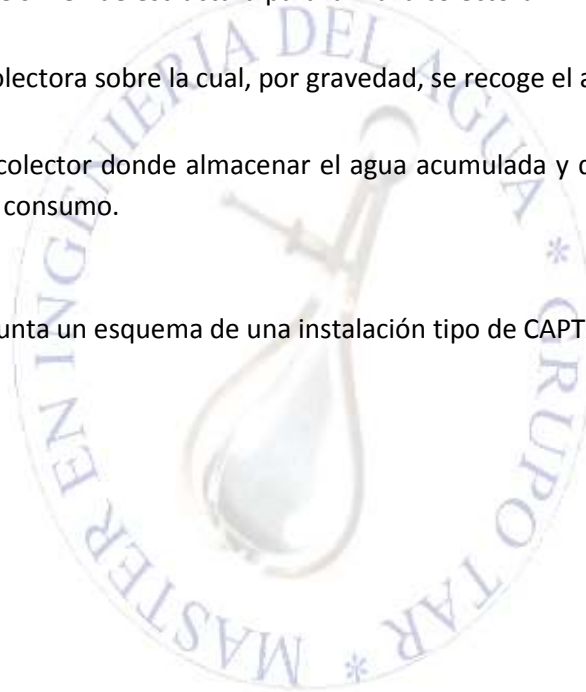


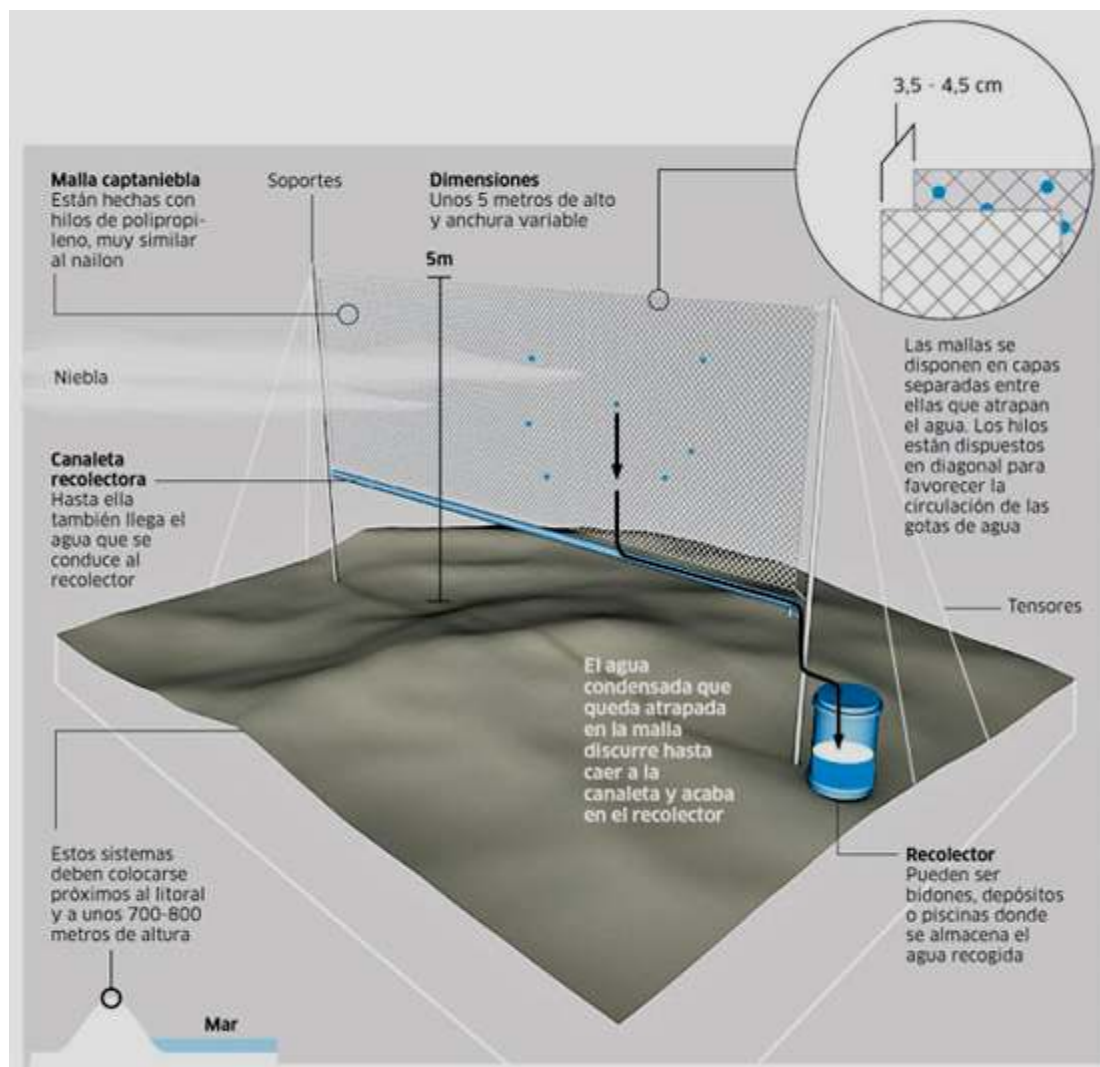
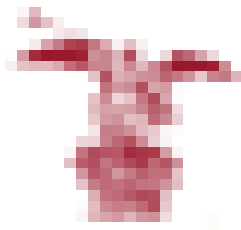
Así pues, los atrapanieblas se instalan en perpendicular a la dirección de los vientos predominantes.

La técnica de captación del agua de niebla se realiza a través de CAPTADORES DE NIEBLA o ATRAPANIEBLAS. Estos sistemas consisten en:

- Una malla colectora con una luz determinada, que deja pasar la niebla y sobre la cual condensan el contenido en agua de la misma. La MALLA CAPTANIELA están hechas con hilos de polipropileno, similares al nylon; pero pueden utilizarse otros materiales.
- Unos soportes que sirven de estructura para la malla colectora.
- Una canaleta recolectora sobre la cual, por gravedad, se recoge el agua condensada.
- Un depósito o recolector donde almacenar el agua acumulada y desde la cual se canaliza hasta el punto de consumo.

A continuación se adjunta un esquema de una instalación tipo de CAPTACIÓN PASIVA DE AGUA DE NIEBLA.





Fuente: Álvaro Baliño

5.2 Diseño del sistema de captación

Para la instalación de un sistema de captación de agua de nieblas se deben considerar dos fases:

- Prospección de nieblas con neblinómetros
- Diseño del atrapanieblas (o captadores pasivos de nieblas)



Prospección de Nieblas

Consiste en determinar el o los puntos geográficos en los cuales se puede captar el mayor volumen de agua con una malla Raschel de 35% de sombra expuesta a la dirección preferencial de avance de la niebla en un período de tiempo.

Estos puntos se determinan instalando en el terreno los denominados "**Neblinómetros**", que consisten en un bastidor o marco de hierro de 1,0 m x 1,0 m el que sostiene una malla Raschel, tersa, capaz de interceptar y condensar la humedad de la niebla, transformándola en gotas. Este aparato cuenta, además, con un sistema de recepción de gotas y un estanque o tambor para la acumulación del agua, elemento que permite su medición periódica.

Normalmente en un estudio de esta naturaleza se mide: la dirección preferencial y velocidad del viento: horaria, diaria, semanal, mensual, anual y estacional y la dirección preferencial de la niebla con mayor potencial hídrico con su frecuencia relativa horaria, semanal, mensual, anual y estacional.

El análisis final de esas variables permite determinar el potencial de captura de agua desde la niebla expresada en cm^3 de agua captada / m^2 de malla / día.

Se ubican varios neblinómetros a diversas alturas en el sector de interés (laderas, portezuelos, lomas suaves y frontones escarpados), conformando en lo posible una disposición en red. En estos puntos, es relevante la cota topográfica y dirección de los mismos aparatos con respecto al viento predominante.

La investigación propiamente tal consiste en una rigurosa medición y registro, cada tres días como promedio, del agua acumulada en los recipiente de los neblinómetros, información que permite conocer la variación temporal de la niebla tanto respecto de la estación del año como respecto del potencial de la niebla en los distintos puntos de medición.

Dependiendo de la densidad de aparatos de medición que se instalen en terreno, tiempo de medición y los valores que se obtengan, se pueden generar mapas o isolíneas de captación.

El diseño del captador pasivo de agua de niebla (atrapanieblas)

Básicamente, uno de los diseños más utilizados es una estructura conformada por dos **postes** verticales, separados 10 a 12 m que soportan una estructura de cables sobre la cual se cuelga una **malla** RASCHEL (propileno resistente a los rayos UV) de 12 m de largo por 4 m de ancho, en doble paño, todo el sistema soportado y tensionado con **cables** al suelo.



A medida que la niebla pasa a través de la red se condensa en los hilos de la misma, formando gotas de agua de gran tamaño que se deslizan por gravedad hacia la parte inferior de la malla donde son recogidas por **canaletas**.

A partir de ahí el agua fluye a través de **tuberías** que la conducen a depósitos de almacenamiento.

Igual como las plantas u otros elementos que captan agua, los atrapanieblas están diseñados para que al pasar la masa nubosa por ellos, dichas gotas queden atrapadas en la malla que los compone.

La tecnología para su construcción ha variado con el tiempo. Los primeros 6 atrapanieblas se construyeron con el sistema tradicional que consiste en enrollar la malla al poste para luego fijarla.

Sin embargo, este sistema no es capaz de soportar grandes temporales, se rompe la malla y cae el poste. Considerando esto, FogQuest (organización no gubernamental) elaboró un nuevo sistema. Se trata de una malla que se puede descolgar, quedando independiente estructura y malla. Esto permite que en caso de temporal la malla se pueda sacar. Además, se trata de un sistema transportable, ya que los postes no se entierran a profundidad como en un principio.

5.3 Materiales posibles

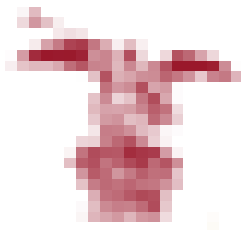
Para la construcción de los atrapanieblas se pueden emplear diversos materiales. La Ingeniería del Agua Sostenible se basa en el empleo de materiales autóctonos de la zona, adecuados, que permitan un correcto diseño, así como un apropiado mantenimiento.

Por ello, para cada una de las partes del atrapanieblas, se exponen los materiales a emplear más habituales, así como algunas de las alternativas.

5.4.1 La Malla captadora

La malla más comúnmente empleada es la malla Rachel, de polipropileno o de nylon.

Los últimos experimentos que se tiene constancia han ido encaminados a encontrar mallas y estructuras capaces de soportar tormentas. Para ello, han comparado distintos tipos de malla



(la malla Raschel utilizada en Chile, la malla de polipropileno de una empresa americana, Kimre Inc., USA y una malla plástica utilizada en invernaderos con un recubrimiento metálico denominada Aluminet), habiendo constatado la malla Aluminet de 40 % de cobertura como la óptima, ya que es la más eficiente en cuanto a recolección de agua (recoge 10-50 % más de agua que la malla Raschel) y presenta una buena resistencia a las tormentas de arena.

En esta investigación se usaron dos tipos diferentes de malla, de estructura semejante, pero con diferente densidad. Una de ellas se adquirió en Chile, de tipo Raschel, con un coeficiente de cobertura del 35 % y es la propuesta por Schemenauer y Cereceda como estándar

La malla chilena, con una cobertura del 35 %, es un 13 % más eficaz que la malla local del 60 % de cobertura.

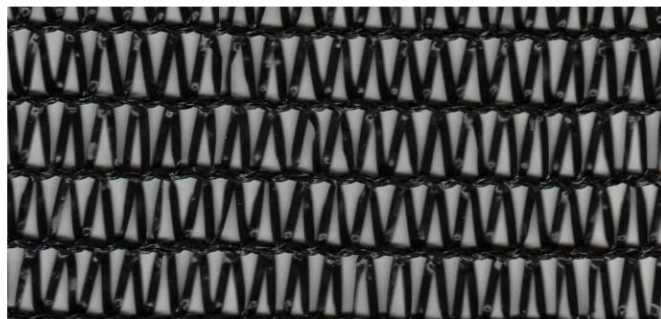
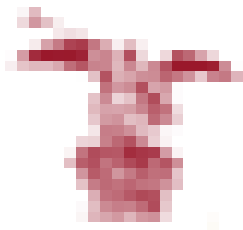
En aquellos lugares donde no se tenga acceso a este tipo de mallas, se puede seleccionar cualquier material que cumpla las siguientes características:

- Deje pasar la luz suficiente como para permitir la circulación de la niebla.
- Sea de un material resistente.
- Permita la condensación del agua sobre la malla.
- No altere las condiciones físicoquímicas del agua captada.

El polipropileno es el material ideal para este tipo de sistemas. Es un material de fácil obtención, dado que se utiliza en diferentes ámbitos.

Se emplea para hacer opaca una zona de trabajo:





O bien para materiales de uso habitual en algunas zonas:



E incluso en instalaciones agrícolas





Otros materiales que se pueden emplear para la condensación de agua son:

- Sacos de rafia (polipropileno laminado) acondicionados.
- Plástico de invernaderos (como el del Canal Abierto de Saneamiento), manipulado para establecer una forma de malla.
- Tiendas de campaña desechadas.
- Mosquiteras manipuladas.
- Telas o trapos (como opción menos eficiente)

5.4.2 Los soportes

Los soportes del conjunto pueden ser de muy diversos tipos, siempre que proporcionen las necesidades estructurales adecuadas.

En principio, una buena estructura con propiedades adecuadas estaría formada por soportes de acero inoxidable, dadas las condiciones húmedas de trabajo.

La función de los soportes es:

- Permitir la ubicación en elevado, y en la dirección perpendicular a la dirección del viento predominante, de la malla captadora.
- Resistir el empuje de vientos de altas velocidades.
- Servir además de soporte para las primeras fases del sistema de transporte del agua.

Otros materiales que se pueden emplear son:

- Bambú tratado.
- Los propios árboles de la zona.
- Postes de madera.
- Postes de acero galvanizado.
- Cualquier otro material resistente y estructural, y de fácil acceso en la zona de aplicación.



5.4.3 Las conducciones

Para el diseño de las conducciones y de la canaleta, se pueden emplear materiales tales como:

- Mangueras de goma
- Tejas
- Uniones de plástico (embudos)
- Etc

5.4.4 Los depósitos de almacenamiento

Los depósitos de almacenamiento pueden ser de diferentes tipos. En general, los más prácticos son los bidones de plástico o, con un presupuesto mayor, los depósitos de resina de poliéster.

Pero, siguiendo la filosofía de Ingeniería del Agua Posible, se pueden plantear otros depósitos tales como:

- Depósitos de piedras
- Depósitos de ladrillos de adobe (que estén siempre llenos, para evitar la desestructuración de las paredes)
- Etc

5.5 Agua obtenida

5.5.1 Calidad

El agua que se obtiene de los atrapanieblas no es agua destilada. Ya que las nubes se conforman a partir de núcleos minerales que atraen las gotas de agua, la niebla contiene un importante nivel de minerales, pese a que en las zonas costeras se conforma con el agua evaporada desde el mar, por lo que el nivel de sal es muy bajo.

Se trata de un agua similar al agua de lluvia, por lo tanto, las aplicaciones son similares.

Aunque es potable, es conveniente clorarla si se almacena en estanques y se destina a consumo humano.

En todo caso es mejor evitar la cloración.



Las precauciones y estudios respecto de los minerales en suspensión se deben considerar cuando existen industrias emisoras de gases a la atmósfera, situadas entre los atrapanieblas y el origen de la niebla. Además, como la malla también capta polvo, se recomienda que cuando se sucede un periodo muy amplio sin niebla, la primera "cosecha" no se destine al consumo porque probablemente sea agua turbia.

5.5.2 Cantidad

En el siguiente apartado se desarrollan las diferentes experiencias que se dispone sobre captación de agua de lluvia. En todo caso, se puede afirmar que la cantidad obtenida oscila entre los 4 l/m²/día para sistemas que se pueden considerar eficientes, y 8 4 l/m²/día para sistemas muy eficientes.

5.5.3 Usos

Para muchos usos caseros, la calidad del agua no precisa ser la de "apta para el **consumo** humano". Nos referimos al empleo en la lavadora, el lavavajillas, la limpieza de la casa, la cisterna del inodoro y el **riego** en general. En estos casos el agua de lluvia puede reemplazar perfectamente al agua potable. Además al ser un agua muy blanda nos proporciona un ahorro considerable de detergentes y jabones.

Pero incluso más allá de estas indicaciones, el agua de lluvia se ha empleado históricamente para lavarse, beber y cocinar directamente con ella. Hoy día los criterios son un poco más restrictivos y no suele aconsejarse el empleo directo del agua de lluvia para estos usos. Pero es relativamente fácil adaptarla para poder disponer de ella como única fuente de agua si así se desea, con todas las garantías sanitarias que se requieren. En este caso, sí se deben tomar una serie de precauciones e instalar unos sistemas complementarios de depuración del agua sencillos, pero con controles absolutamente estrictos.

Así mismo, uno de los destinos más importante de la captación de agua de lluvia puede ser la reforestación de zonas áridas y así la lucha contra la desertificación.



6. EXPERIENCIAS PREVIAS SOBRE CAPTACIÓN PASIVA DE NIEBLA

Las experiencias sobre la captación de agua de niebla son muy variadas, especialmente en cuanto a la localización de las mismas. Sin embargo, cobra especial importancia los diferentes ensayos y proyectos llevados a cabo en el desierto de Chile, en Atacama, la zona más seca del mundo.

Es muy difícil fijar el momento en que comenzaron las investigaciones sobre la captación pasiva de agua de niebla y su posterior aprovechamiento. Desde finales del siglo XIX en Crimea y a principios del siglo XX en Sudáfrica, existen trabajos que han tratado de aprovechar este nuevo recurso.

Hace 30 años, el meteorólogo canadiense Robert Schemenauer se paró a pensar en cómo era posible que sobreviviera la vegetación selvática de algunas zonas del mundo donde apenas llovía. Y se dio cuenta de que lo hacía gracias a los bancos de niebla. A imagen y semejanza de la naturaleza, diseñó unas mallas de hilo capaces de recoger el agua de la niebla y abastecer a poblaciones enteras.

En la actualidad, hay pueblos en el altiplano suramericano cuyo único aporte de agua procede de la recogida de la niebla gracias a estas mallas hechas con hilos de polipropileno que se colocan entre sí a una distancia de entre 35 y 45 milímetros, la óptima para que la nube deje agua al impactar contra la malla. Las redes están sujetas a un marco metálico hueco por el que se desplaza el agua.

El Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAM), ubicado en Valencia, está llevando a cabo dos proyectos que se centran en conseguir agua de niebla para llenar las cubas de las que se nutren los helicópteros antiincendios.

Canarias es el lugar pionero en España en la utilización de esta técnica. Comenzó a utilizarse en el Parque Rural de Teno (Tenerife), donde el agua ha servido, entre otros usos, para la reforestación de los bosques de laurisilva y monte verde endémicas de las islas. En este sentido, la catedrática de Geografía Física de la Universidad de La Laguna, María Victoria Marzol, recibió en 2004 el premio Agustín de Bethencourt por instalar un sistema artificial pionero en la captación de agua del mar de nubes de Canarias.

La experta afirma que, con este procedimiento, se ha conseguido obtener hasta siete litros de agua al día, sobre todo en verano: *En el archipiélago se obtiene tres veces más agua de la*



niebla que de la lluvia. De hecho, a lo largo del año caen menos de 500 l/m², mientras que con la niebla se logran 2.600 litros. En Canarias también existen proyectos de investigación como el de Anaga, donde se han instalado dos pantallas de 12 metros cuadrados que captan 7,5 litros por metros cuadrado al día, es decir, unos 90 litros de agua al día.

Pero sin duda, todas estas investigaciones tiene un inicio común, en 1987, cuando se inició con éxito el proyecto de aprovechamiento de agua de niebla en la antigua explotación minera de El Tofo en Chile. Las investigaciones de este tipo tomaron un nuevo rumbo, adoptándose una metodología y una tecnología nuevas que han servido como modelo para las investigaciones realizadas en otros lugares del mundo.

Aunque, evidentemente, este sistema no supone la estrategia única para solucionar los problemas de abastecimiento de una sociedad que consume en torno a 200 o 250 litros de agua al día, la técnica de captación de agua de nieblas es un recurso potencialmente interesante y se podría evaluar en algunos lugares, porque los resultados son excelentes y la instalación no es cara.

6.1 Chile

En el desierto de Atacama, en Chile, se dan las condiciones más áridas de todo el planeta. Esta escasez de lluvia hace de esta región de Chile uno de los escenarios más desafiantes para la búsqueda de alternativas hídricas sostenibles. En este sentido, dadas las condiciones geográficas de la zona, y la cercanía al mar, se produce una niebla cuyo potencial hídrico adquiere una notable importancia.

En los inicios del desarrollo de la técnica, los avances más importantes en el conocimiento de la niebla y en su utilización como recurso natural renovable se dieron en Chile. En la actualidad, se siguen desarrollando.

En la costa del norte de Chile es habitual la presencia de las nieblas de advección procedentes del océano Pacífico (conocida en Chile como *la camanchaca*). Las nubes que se forman sobre el océano Pacífico son transportadas por los vientos hacia las cadenas montañosas de la costa chilena, formando persistentes nieblas de advección, a una altura que comprende los 400 y 1.100 metros de altitud.

La habitual presencia del anticiclón del Pacífico Sur al oeste de la costa chilena produce una fuerte subsidencia que genera una capa de inversión térmica sobre la costa, que provoca la formación de nubes de escaso desarrollo vertical.



La frecuente aparición de las nieblas de advección, las buenas condiciones topográficas, con una cordillera montañosa cercana a la costa que intercepta los estratos procedentes del Pacífico y la extrema aridez que presentan algunas zonas del norte de Chile, donde se encuentra el desierto de Atacama, despertó el interés de numerosos investigadores chilenos por encontrar la forma de poder aprovechar el recurso hídrico que supone la niebla.

Las primeras investigaciones datan de los años 60 del siglo pasado, cuando investigadores de la Universidad Católica del Norte diseñaron un aparato destinado a captar agua contenida en las nieblas o *camanchacas*, de forma cilíndrica (0,7 m de diámetro y 2 m de alto), compuesto por 1.300 monofilamentos de perlón de 0,5 mm de diámetro y que se instaló en la cordillera de la costa norte de Chile, llegándose a recoger un promedio de 3,9 l/m²/día o el experimento llevado a cabo en Morro Moreno, con un captador poliédrico de más de 10 m de altura, puesto es marcha entre 1979 y 1984 en la misma zona por investigadores de la mencionada universidad.

A partir de entonces, se han desarrollado numerosas experiencias, algunas de las cuales se desarrollan brevemente a continuación:

6.1.1 El Tofo

En el Tofo tuvo lugar una experiencia que destaca como una de las más importantes, por la novedad que supuso y por el éxito tanto de la investigación como de la fase de aplicación.

El proyecto consistió en la evaluación de las posibilidades de abastecer de agua de niebla a una pequeña población de pescadores denominada *Chungungo*, situada a los pies de la colina donde se desarrolló la investigación.

En el cordón del Tofo se dan las condiciones para la formación de camanchaca. Además, a los pies de él, existe este pequeño poblado de pescadores, Chungungo. Éste tenía aproximadamente 440 habitantes permanentes, llegando a un máximo de algo más de 1.000 durante el verano. Cuando se cerró la faena minera en El Tofo, la caleta de Chungungo quedó sin abastecimiento de agua, debiendo sus habitantes recurrir a camiones cisterna que traían agua de más de 60 km de distancia.

Hasta 1992, los habitantes de Chungungo, consumían un promedio de 14 litros de agua por persona al día y su coste era de 8 \$US el m³ de agua. A modo de comparación, el promedio de consumo para la población de las ciudades chilenas es de 300 litros de agua al día por habitante, con un coste inferior a un dólar el metro cúbico. Esta situación es similar en las



ciudades canadienses, mientras que en el mundo rural los estándares diarios se aproximan a 80 litros de agua por persona y en zonas áridas este valor disminuye a menos de 50 litros diarios.

En el caso de Chungungo, la distribución de agua se hacía mediante un camión aljibe que acudía una o dos veces por semana. El agua se guardaba en cada casa en depósitos metálicos de 200 litros de capacidad y las condiciones de higiene eran precarias. Como la comunidad no disponía de los recursos necesarios, el consumo era fuertemente subsidiado por la Municipalidad de La Higuera. En 1985 sólo dos casas tenían letrina, el resto no contaba con ningún sistema sanitario y muchas veces la compra de agua estaba supeditada a la capacidad de almacenamiento que tenía cada familia.

A partir de 1992, la población de esta localidad y el Municipio optaron por cubrir sus necesidades de agua potable mediante 48 atrapanieblas, instalados en la cima del cerro de la mina de El Tofo (780 metros), cada uno de ellos con una superficie de 48 m² de malla Raschel.

En 1998 se instalaron 25 colectores adicionales y una tubería de 6,2 km que llegaba hasta el pueblo de Chungungo. El sistema se completó con la construcción de un depósito de almacenamiento de agua de 100 m³ y una red de distribución a 106 casas.

Durante los primeros años de funcionamiento se duplicó la oferta de agua per capita. Actualmente, el agua es colectada por 91 atrapanieblas y conducida por medio de una tubería de 6 km a un sistema de estanques de casi 160 m³ de capacidad, desde donde se distribuye a cada casa. Si la colecta, distribución y almacenamiento de agua funcionan en condiciones normales, llegan a la caleta unos 14.000 litros al día en promedio, o expresado en forma mensual, 420 metros cúbicos, lo que equivale al viaje de 42 camiones cisterna de 10.000 litros de capacidad cada uno. Este cálculo se obtiene a partir del promedio de captación de 3,2 l/m²/día, obtenido por los registros de los neblinómetros instalados desde 1987 hasta 1994 en El Tofo.

Este proyecto significó una notable mejora en la calidad de vida de los habitantes de Chungungo, que pasaron de tener un consumo medio de 14 l/habitante/día de agua suministrada por camiones, a 33 l/habitante/día desde la implantación del sistema de captación de nieblas. La calidad del agua recogida por los primeros captadores instalados fue analizada en los primeros pasos de la investigación, considerándose aceptable para consumo humano.

El rendimiento promedio de estos atrapanieblas es de entre 2 y 6 l/m²/día, con un promedio anual de cerca de 3,2 l/m²/día.



Sin embargo, tras 15 años de buenos resultados, la rotura progresiva de las mallas de los colectores debido al viento y la ausencia de mantenimiento de los equipos derivado de los problemas en la gestión del proyecto entre los usuarios, ha provocado que desde 2002 el sistema esté estropeado y requiera una reparación, habiendo vuelto el pueblo de Chungungo a ser abastecido de agua a través de camiones cisterna.

En el caso de los atrapanieblas no se involucró directamente a la población en la gestación del proyecto, lo que impidió que ésta se sintiera responsable por él. Esto puede estar también relacionado con la baja autoestima de la comunidad, que sitúa la capacidad para resolver sus problemas fuera de ella y no en sí misma.

La disponibilidad del agua de niebla pareciera bastar para aplacar la sed y realizar algunas labores domésticas, pero no para desarrollar el potencial de emprendimiento individual y colectivo. Cuando se hace el balance del funcionamiento de los Comités de Agua Potable Rural que se han organizado en distintas localidades de Chile, se constata que esta situación es extensiva a la mayoría de ellas, donde normalmente la población se queja del término de la ayuda externa y los encargados y sus respectivos comités viven situaciones críticas.

Se construyó un depósito de 100 m³ de capacidad cerca de Chungungo y una tubería para bajar el agua capturada en los atrapanieblas al estanque. En este depósito se acumula, filtra y trata lo captado. El exceso de agua, tanto la no consumida como la usada para lavar los filtros, se emplea en una pequeña huerta de alrededor de 0,3 Ha de superficie. En condiciones normales, queda demostrado que el pueblo de Chungungo se puede abastecer en forma total del agua de los atrapanieblas. Durante la mayor parte del año los habitantes tenían excedentes que les permiten regar unos pocos árboles.

Los éxitos logrados en esta investigación y en otras realizadas posteriormente tanto en Chile como en otros países, llevó a los investigadores principales de esta experiencia, el Dr. Robert Schemenauer, del Departamento de Medio Ambiente de Canadá y Director Ejecutivo de FogQuest (organización no gubernamental canadiense dedicada a planificar e implementar proyectos de abastecimiento de agua para comunidades rurales en países en vías de desarrollo) y la profesora Dña. Pilar Cereceda, de la Pontificia Universidad Católica de Chile, a desarrollar un colector de niebla que ha servido de modelo en muchas investigaciones posteriores. El colector propuesto es de tipo pantalla y se denomina en la literatura científica como **Standard Fog Collector (SFC)**.

Consiste en un marco metálico de 1 x 1 m de superficie y de 1 cm de espesor, que se recubre con una malla de polipropileno denominada Raschel y originaria de Chile, de doble capa y con un porcentaje de cobertura del 35 %. El marco es soportado por 2 postes verticales de aproximadamente 5 cm de diámetro cada uno, debidamente anclados en el terreno y



separados alrededor de 1 m entre si, a una altura de 2 metros sobre el suelo. En la parte inferior del marco metálico existe una canaleta inclinada que recoge el agua que se condensa en la malla y cae por gravedad, y es conducida hasta un depósito.

El SFC debe ser orientado perpendicularmente a la dirección de los vientos dominantes que transportan el agua de niebla. Se estima que el coste medio aproximado del SFC es de 78 euros.



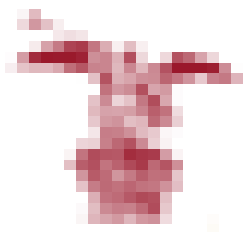
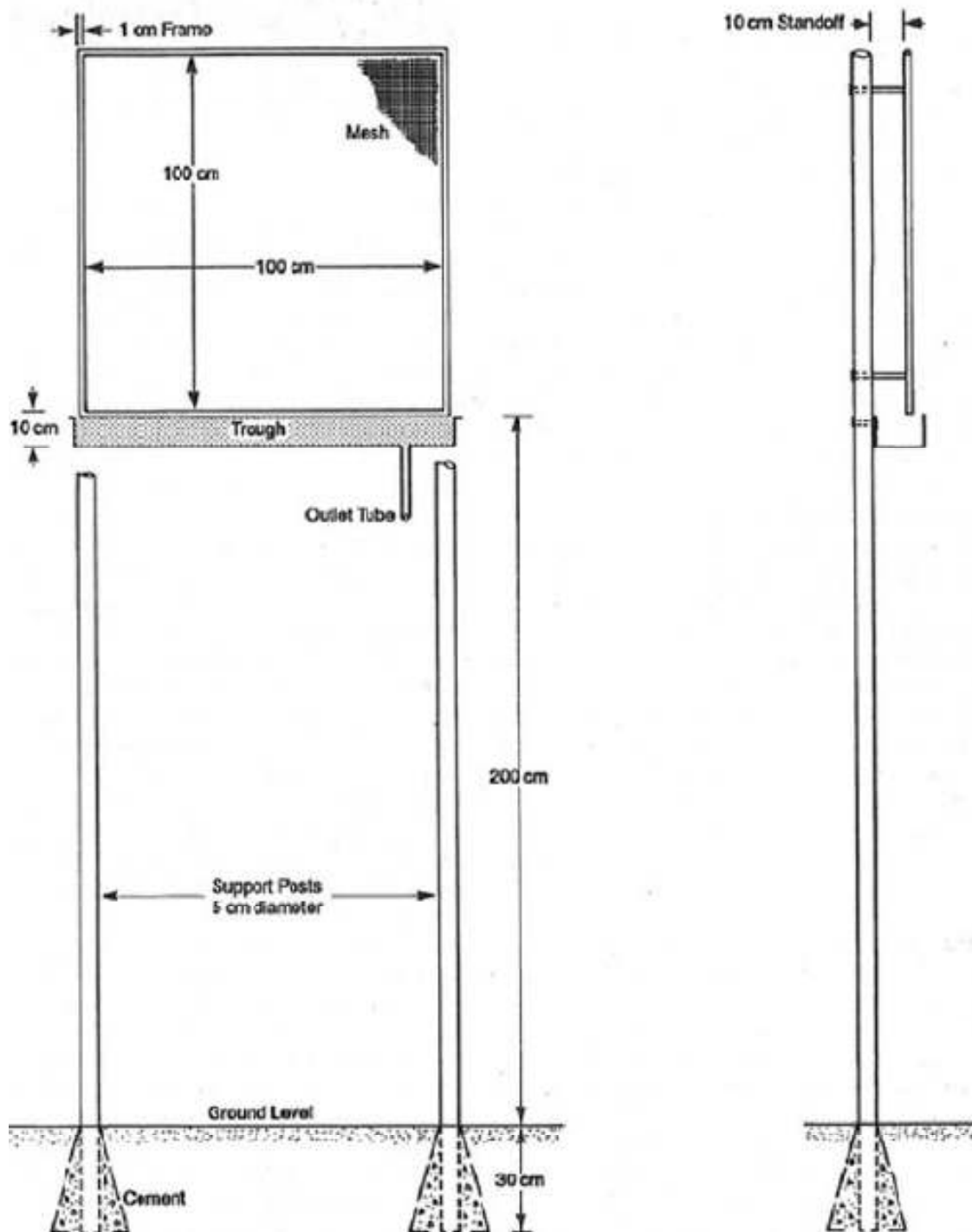
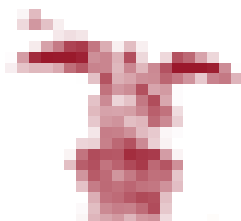


Foto del Estándar Fog Collector (SFC)



Esquema del SFC



Tras el éxito logrado con el proyecto El Tofo, numerosos proyectos se llevaron a cabo en la costa norte de Chile, varios de los cuales han pasado con éxito de la fase de investigación a la fase de aplicación, suministrando agua a pequeñas poblaciones para consumo, riego agrícola, reforestaciones, etc. Destacan los proyectos llevados a cabo en los siguientes emplazamientos:

6.1.2 El Parque Nacional del Bosque de Fray Jorge

El Parque Nacional Bosque Fray Jorge (IV Región de Chile), está situado en plena zona desértica costera del Norte de Chile y se caracteriza por la existencia de 80 ha de un bosque hidrófilo, característico de las zonas húmedas del sur del país.

Este bosque sobrevive gracias al significativo aporte de agua de las nieblas costeras. En la década de los años 1980 hubo un significativo deterioro de este bosque, principalmente por la acción del hombre. Se calculó una regresión del bosque en tres hectáreas por año.

Entonces se inició un proyecto de investigación y reforestación, por un periodo de cuatro años, el cual entregaría bases científicas para revertir el proceso de deterioro y recuperar las características del bosque previniendo así su desaparición. Uno de los estudios de ese proyecto fue el riego de las plantaciones de reforestación con agua de niebla captada artificialmente con un sistema de atrapanieblas.

Este Parque Nacional está influenciado notablemente por los vientos suaves del sur y suroeste que penetran hacia el continente, debido principalmente al Anticiclón del Pacífico. Estos vientos, recorren extensos espacios oceánicos, cargándose de humedad y al ponerse en contacto con el frío océano la humedad condensa dando origen a abundantes nubes del tipo estratiformes.

Por otra parte, la inversión térmica, producida por la fricción entre las masas de aire frío ascendente y los vientos alisios, impone un techo al desarrollo vertical de estos estratos nubosos. Así mismo, los cerros costeros tienen la altura apropiada para interceptar la nube dando origen a períodos persistentes de niebla. Estas neblinas costeras son las ya mencionadas *camanchaca*.

A partir de la observación de la naturaleza, entre las actividades experimentales, se consideró la reforestación de las cumbres norte del Parque Natural del Bosque Fray Jorge mediante la instalación de una Sistema de Captación de Agua de Niebla.



Con esta agua se pretendía el riego de plantaciones de Olivillos, Petrillos y Canelos. Esto motivó el desarrollo del proyecto *Nieblas*, desarrollado para la medición inicial del potencial hídrico de la niebla en el sector norte del Parque Nacional Fray Jorge y en segundo lugar, para abastecer de agua de forma segura para las referidas plantaciones con un sistema de atrapanieblas.

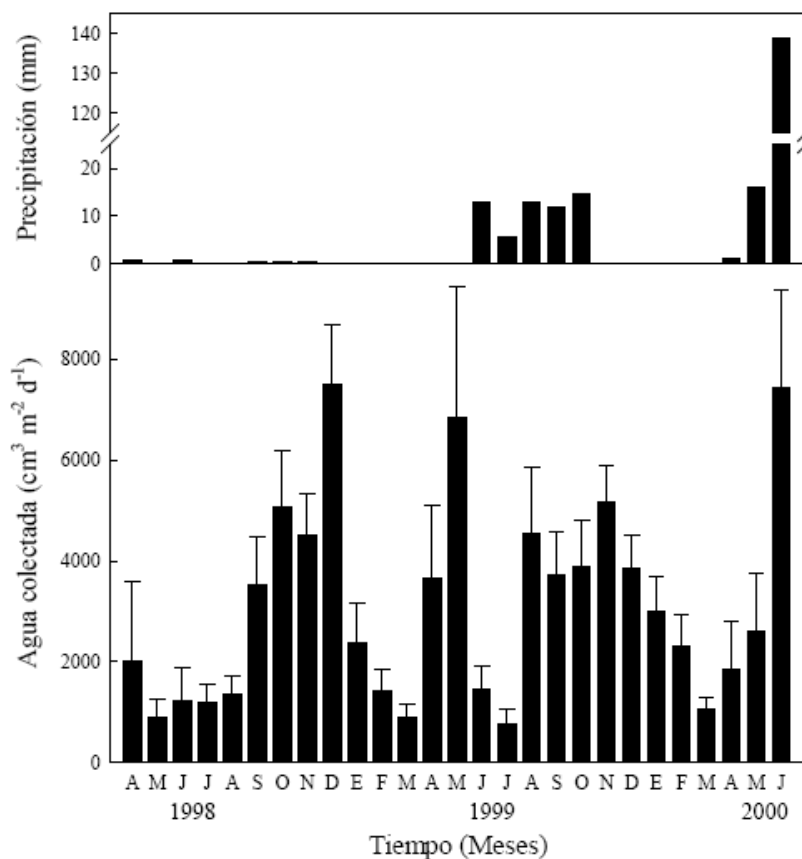
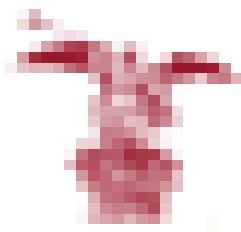
El referido proyecto tuvo los siguientes objetivos:

- a) Medición del potencial hídrico susceptible de ser captado de la niebla en el sector norte del P. N. Bosque Fray Jorge.
- b) Establecer un sistema de captación de niebla que permita abastecer de agua las faenas de reforestación.
- c) Diseñar una red hidráulica, considerando depósitos y sistemas de riego, que permita el normal abastecimiento de agua a las plantaciones.

Para la instalación de un sistema de captación de agua de nieblas se consideraron dos fases:

1. La prospección de nieblas con neblinómetros y
2. La construcción, operación y mantenimiento del atrapanieblas.

En el siguiente gráfico se detallan los resultados y mediciones obtenidos tanto de precipitación como de captación de agua en el neblinómetro:



En el gráfico primero se indican los datos de precipitación mensual, mientras que en el gráfico inferior, se muestra el promedio diario mensual de agua de niebla colectada en el P.N. Bosque Fray Jorge.

Tal y como se observa, el aporte de agua de niebla llega en algunos casos a alcanzar la cifra de $7,5 \text{ l/m}^2/\text{día}$, en meses donde no hay precipitación, por lo que el agua colectada es exclusivamente agua de niebla.

Dada la regularidad de la niebla, ventaja frente a la discontinuidad de la lluvia en la zona, se puede concluir que en el Parque Nacional, el aporte de agua de niebla se convertía en una fuente continua, con un moderado caudal.

Definidos los mejores puntos para la captación, según lo indicado por la prospección con los neblinómetros, se construyeron 5 atrapanieblas, de 96 m^2 cada uno, en el mes de agosto de 1998. Todos estos atrapanieblas fueron instalados aguas arriba de las futuras plantaciones, de tal forma de permitir el riego por gravedad de las mismas. Para la conducción y almacenamiento del agua captada, se construyó una red hidráulica constituida por 2.000 m de



manguera de 1,25 pulgadas y enterrada a 40 centímetros de la superficie conformando una red que une los atrapanieblas y 5 depósitos de agua con una capacidad de almacenamiento de 8.500 litros.

Se controló el volumen de agua captada, cada cinco días, según la capacidad colmada de los depósitos en el período entre el 12 de enero de 1999 y el 27 de marzo de 1999. El rendimiento promedio de estos atrapanieblas durante el periodo fue de $1,1 \text{ l/m}^2\text{día}$, valor que representan un 75% del rendimiento obtenido por los neblinómetros para el mismo período.

Mediciones posteriores del agua colectada con los atrapanieblas ofrecieron una media aproximada de $3 \text{ l/m}^2\text{día}$, valor levemente inferior al promedio general de los neblinómetros ($3 \pm 526 \text{ l/m}^2\text{día}$). En consecuencia, considerando un sistema de captación de neblina conformado por 5 atrapanieblas, con un área total de captación de 480 m^2 , la capacidad Total de captación promedio del sistema de atrapanieblas es cercana a los 1.500 litros de agua / día. El sistema de atrapanieblas de Fray Jorge continua en operación hasta la fecha, abasteciendo de agua al sistema de riego de las plantaciones.

6.1.2 El Santuario de Padre Hurtado

Durante 1.999 se construyó un sistema de captación de agua de niebla para dotar de agua potable el Santuario del Padre Hurtado cerca de la Carretera Panamericana Norte, en Chile. Este sistema de 10 atrapanieblas y 400 m^2 de superficie de malla produce un promedio 2.000 litros de agua al día, haciendo posible el uso en riego de jardines, baños, uso domestico y quedando aún un excedente importante que hace pensar en nuevas utilizaciones como granja modelo, bebederos para el ganado o cultivo en invernaderos. Asimismo se piensa en la difusión de esta tecnología mediante un programa de capacitación en tecnología de captación de agua de niebla y su utilización.

La propuesta inicial fue instalar un sistema de 10 atrapanieblas y un depósito, el que daría suficiente agua para las necesidades mínimas del santuario (en base a los $2 \text{ l/m}^2\text{día}$).

Se comenzó con un estudio geográfico para ubicar el sector más adecuado para la instalación de los atrapanieblas. Para ello, se analizaron variables de pendiente, orientación de laderas, relieve a sotavento y barlovento, cercanía al santuario, topografía para la instalación de la cañería, espacio para la ubicación de los colectores, cobertura de vegetación y dirección de vientos predominantes.

Con estos antecedentes, se procedió a instalar 3 neblinómetros (SFC) y de acuerdo al protocolo de Schemenauer y Cereceda (1994) se registraron los antecedentes necesarios para la definición del área de atrapanieblas. Así se llegó a la conclusión que era necesario ubicarlos en dos sectores diferenciados por altitud, previendo la baja de la inversión térmica en invierno que determina que la niebla se presente a menor altura, próxima a los 600 m. Así entonces, se ubicaron seis atrapanieblas a los 780 m, y cuatro a los 650 m. de altitud.



Se hizo un nuevo diseño de atrapanieblas con el fin de abaratar costos y lograr mejores condiciones de protección y resistencia en períodos de fuertes vientos. Estos colectores consisten en una malla Raschel de 35% de sombra de 10 m x 4 m (40 m²) sujeta por dos postes de eucaliptos y elevadas a 2 m del suelo. La cañería, de polietileno de 2" es de 3,5 km y llega a un depósito de 40 m³ de capacidad, excavado en el suelo y cubierto por una geomembrana ubicada a 300 m de distancia y 20 m de altura sobre el santuario.

Los costes totales del sistema fueron de aproximadamente 27.300 \$US. Estos incluyen los costes del estudio de prospección (estudio geográfico y medición con SFC en terreno), la instalación de los 10 atrapanieblas, las cañerías y el depósito de acumulación.

El estudio de prospección del sitio óptimo para la instalación de los 10 atrapanieblas se hizo entre abril y agosto, llegándose a la conclusión que en la cima hay al menos cinco sectores con buen potencial para la colección de agua de niebla. El resultado mencionado daba una producción de 5,4 l/m²/día.

De acuerdo a la producción estimada, el rendimiento estimado medio de los 10 atrapanieblas es de .160 litros diarios. Algunos días puede no haber neblina y por tanto, la recolección de agua es nula. En cambio, durante otros días con neblina, se pueden recoger más de 15.000 litros si se extrapolan los datos de máximas colecciones de El Tofo. En la práctica, algo similar sucedió, ya que el depósito de 40 m³ se llenó en sólo 5 días, de modo que el rendimiento de los 10 atrapanieblas en ese período fue de 8.000 litros diarios, en promedio.

6.1.3 Falda verde

Otro de los casos importantes de estudio se sitúa en Falda Verde, donde se aplicó un proyecto en el que el agua recolectada por el sistema de captadores de niebla se suministra para abastecer invernaderos, tras haber realizado un estudio preliminar en el que se recolectaron 1,43 l/m²/día.

Cuando el impacto ambiental sobre la bahía de Chañaral comenzó a afectar a la pesca artesanal, los pescadores se vieron en la necesidad de buscar una actividad alternativa que les permitiera contar con un ingreso seguro y sostenible en el tiempo. Así pues, desde el año 1998 se trabaja en la captación de agua con atrapanieblas, encontrando una nueva fuente de ingresos derivados de los beneficios de contar con agua en pleno desierto.

La instalación se basa en colectores de niebla estándar de 1 m² de malla Raschel (o *de kiwi*) ubicados a 2 metros del suelo.

Uno de los factores más relevantes del proyecto de Falda Verde es la autogestión. Fue una iniciativa nacida y gestionada por los propios pescadores, y por tal razón, ellos fueron los



primeros interesados en mantener y ampliar el proyecto así como en buscar nuevas fuentes de ingreso asociadas al uso de agua.

Obtenidos los datos iniciales de investigación (flujo diario, mensual, anual), y con la asesoría de la Municipalidad de Chañaral y participantes de Servicio País, los pescadores comenzaron a desarrollar el proyecto y a buscar fondos. Con los antecedentes en mano presentaron el proyecto a la Embajada de Australia, lo que les permitió construir 6 atrapanieblas, con un total de 264 m², instalar más de un kilómetro de tuberías y un depósito de fibra de vidrio para almacenar los más de 1.000 litros diarios de agua que consiguen con el sistema.

La idea inicial, de ir reemplazando lentamente la pesca artesanal por otra actividad, se materializó con la plantación de aloe vera y tomates en invernadero. El agua captada les permite mantener estos cultivos e incluso muchas veces reemplaza al camión cisterna que abastece a Chañaral y sus alrededores.

La localidad donde se desarrolló el proyecto se ubica en el camino al Parque Nacional Pan de Azúcar, lo que les permite ofrecer agua a los turistas y además convertir Falda Verde en un nuevo punto de atracción, con un flujo de visitantes ya determinado y permanente.

La construcción de los 6 primeros atrapanieblas fue la primera etapa del proyecto. La segunda comenzó en el año 2.005, con la instalación de 4 nuevos atrapanieblas, esta vez donados por la ONG canadiense FogQuest, especializada en asistir a los países en desarrollo en sus problemas de agua.

Diariamente en Falda Verde se produce 1 m³ de agua, con un promedio anual de 3 l/m²/día. La intensidad de captación varía de acuerdo con la temporada, siendo la de invierno-primavera la más productiva, con 10 litros por metro cuadrado promedio. En la temporada de verano-otoño la captación disminuye a 2 días. Toda el agua cosechada se almacena en 2 depósitos de 5 m³ y una piscina de 30 m³.

En proyecto está la construcción de 6 nuevos atrapanieblas y la plantación 700 nuevas matas de aloe vera. Por lo tanto, el aumento en la captación se ve compensado con las nuevas plantas que deberán ser regadas, lo que no impide que los sistemas de almacenamiento deban ampliarse.

El agua captada en Falda Verde, a diferencia de la captada en proyectos como el que alguna vez existió en Chungungo, es privada y por ende existe un compromiso e interés aun mayor por mantener el sistema. No hay un interés político o electoral asociado al abastecimiento de agua.



6.1.4 Iquique

En una zona caracterizada por extrema aridez y una ocupación mínima en parte debida a esta situación, se encontraron resultados sorprendentes con medias anuales de $8 \text{ l/m}^2/\text{día}$ en altitudes cercanas a los 850 metros en el sector de Alto Patache, vientos predominantes del sur y suroeste conducen esta humedad hacia las partes más altas del acantilado costero siendo estos sectores los que concentran la niebla, mientras que hacia sotavento sorprende la rapidez con que desaparece dando origen a un espacio de extrema aridez.

En este sector litoral son algunos corredores este-oeste los que facilitan la conducción de los vientos costeros hacia el interior seco y caliente.

A través del estudio financiado por Fondecyt (1971248) sobre comportamiento de la niebla en la provincia de Iquique, se pudo avanzar en el conocimiento teórico del origen y dinámica de los distintos tipos de niebla, así como de las técnicas de selección de sitios con alto potencial de colección de agua.

Producto de estos adelantos científicos, se pudo hacer una prospección eficiente y en corto tiempo en cerro Talinay de Huentelauquén. Uno de los logros más notables fue el haber encontrado en la costa al sur de la ciudad de Iquique, el lugar con mayor potencial de niebla registrado en el país.

Las óptimas condiciones geográficas permiten que en Alto Patache (frente a la punta del mismo nombre) entre julio de 1.997 y diciembre de 1.999 se haya obtenido un promedio de casi $8 \text{ l/m}^2/\text{día}$. Es interesante consignar aquí que entre julio de 1997 y julio de 1998, el promedio anual fue de $11,8 \text{ l/m}^2/\text{día}$, habiéndose registrado en el mes de septiembre (año de El Niño) $28,5 \text{ l/m}^2/\text{día}$. Colecciones de este tipo dan mayor rentabilidad a los proyectos de captación de agua de niebla.

Es destacable como desde 1.987 se realizan estudios en Chile para aprovechar el recurso de la niebla y como existen lugares en el norte del país con un gran potencial de recolección, como Alto Patache o Cerro Moreno, cuyos estudios preliminares han permitido observar que podrían recogerse promedios en torno a los $8 \text{ l/m}^2/\text{día}$, valores muy superiores a otros emplazamientos donde ya se han instalado con éxito sistemas de captación de agua de niebla, como Paposo, El Tofo o Falda Verde.

A continuación se adjunta una tabla con los valores obtenidos en algunas de las experiencias de Chile:



PROYECTO	ALTITUD (m)	PERÍODO DE ESTUDIO	MESES DE ESTUDIO	RECOLECCIÓN (l/m ² /día)
Alto Patache	850	1997-2001	49	7,81
Cerro Guatalaya	1050	1997-2001	49	0,93
Cerro Moreno	1150	1999-2001	21	8,26
Paposo	750	1999-2001	25	3,36
Falda Verde	600	1998-2000	23	1,43
El Tofo	760	1987-1998	83	2,98

6.2 Latinoamérica

Perú fue el primer país sudamericano que comenzó a seguir los pasos iniciados por Chile, cuando en 1990, la Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional, subvencionó los fondos necesarios para realizar un estudio sobre el potencial de agua de niebla en Cerro Orara, a 35 km al norte de la capital peruana Lima, en un lugar a 3,5 km de la costa y a 430 metros de altitud. Los resultados experimentales mostraron un promedio de recolección de agua de niebla de 8,5 l/m²/día, lo que llevó a dos compañías privadas a la construcción de dos sistemas de abastecimiento de agua a partir de la recolección de agua de niebla, uno de ellos, en un colegio cercano a Lima, con un sistema de 1 200 m² de malla de recolección, y otro, en un parque al norte de Lima, con 500 m² de malla, utilizado con fines forestales.

De entre todos los proyectos llevados a cabo en Perú, destaca el proyecto financiado por la Unión Europea, dentro del programa "Science and Technology for Developing Countries", entre 1995 y 1998, en el que intervinieron 5 universidades: la Universidad de Pádova y la Universidad de Florencia de Italia, la Universidad Paul Savatier de Francia, la Universidad Nacional de San Agustín de Perú y la Pontificia Universidad Católica de Chile. El principal objetivo de este proyecto era evaluar el potencial del agua de niebla como soporte para la reforestación forestal de un área desértica de la costa sur de Perú, en la provincia de Arequipa.

En la parte experimental se seleccionaron 12 emplazamientos diferentes, con altitudes comprendidas entre 350 y 850 m, en donde se instalaron colectores de nieblas basados en el SFC. La fase experimental determinó un potencial de agua de niebla en algunos de los emplazamientos seleccionados que variaba entre 4,6 y 5,8 l/m²/día, por lo que tras el primer año de evaluación, se construyeron 20 colectores de niebla de 48 m² de superficie (12 x 4 m) cada uno, que se instalaron en la cumbre Lomo Cuchillas, a 850 m de altitud, lo que supuso una producción anual en torno a 2 000 m³. El agua recolectada era almacenada en dos depósitos con capacidad para almacenar 400 m³ cada uno y utilizada en el riego por goteo de seis parcelas experimentales en donde se cultivan diferentes especies vegetales.



Se llevó a cabo un proyecto en Ecuador para el suministro de agua a la población a partir de la recolección pasiva de agua de niebla. Entre 1.995 y 1.997, 11 colectores de niebla de tipo pantalla, basados en el SFC, fueron instalados en una planicie situada a 3.700 m de altitud, como fase previa para evaluar la posibilidad de implantar un sistema de captación que suministrase agua de niebla a una pequeña comunidad indígena de 200 habitantes denominada Pachamama Grande.

Se recogió en promedio, unos 4 l/m²/día. Los buenos resultados hicieron que se pusiera en práctica un sistema de 40 captadores de niebla de 50 m² de superficie y un depósito de almacenamiento de 80 m³ de capacidad, que sirvió como suministro de agua para la población.

Actualmente, debido a los fuertes vientos de la zona que derribaron algunos de los captadores y a la poca implicación de la población en su reparación, el sistema ha sido abandonado.

En Guatemala, desde diciembre de 2.003 hasta febrero de 2.005, se llevó a cabo un proyecto de recolección de agua de niebla en la cuenca del lago Atitlan, una región situada en la parte centro - sur del país, a 100 km de la costa del océano Pacífico.

La zona de estudio fue un sistema volcánico complejo, con una altitud máxima de 3.557 m correspondientes al volcán Atitlan, donde era habitual la presencia de densa niebla. El proyecto contó con la instalación de 13 colectores de niebla SFC que seguían los estándares propuestos por Schemenauer, habiéndose obtenido unos valores de recolección medios que alcanzaron los 6,51 l/m²/día en los lugares más altos.

En la actualidad, a pesar de los buenos resultados obtenidos, el proyecto se ha dado por concluido por los problemas con la población local.

En otros países latinoamericanos en donde se está evaluando la posibilidad de implantar un sistema de abastecimiento de agua de niebla y que se encuentran en fase experimental son:

- Colombia, donde se han registrado recolecciones promedio de 1,4 l/m²/día en el Desierto de Guajira.
- República Dominicana, en donde se han registrado promedios de recolección de 3,58 l/m²/día en 6 meses de estudio.
- México, donde se han registrado promedios bastante bajos en el estado de Chiapas, en torno a 0,5 l/m²/día.



6.3 África

Otro de los países que ha podido poner en práctica con éxito un proyecto encaminado a recoger agua de niebla para suministro de la población ha sido Sudáfrica. La fase experimental de este proyecto se inició en 1994 y fue llevada a cabo por investigadores de la Universidad del Norte y la Universidad de Pretoria.

Los objetivos principales perseguidos en los comienzos de su investigación fueron la identificación de áreas con altos potenciales en la recolección de niebla y la evaluación de las características espaciales y temporales de la niebla, construyéndose para ello colectores de niebla experimentales que instalaron en diferentes áreas del país.

Se seleccionaron dos zonas para llevar a cabo el experimento: la primera se situó en la costa oeste del país, al norte de Ciudad del Cabo, una zona montañosa y próxima al mar, bañada por el océano Atlántico, donde se investigó en 5 emplazamientos diferentes, y la segunda situada en el extremo nordeste del país, en la Provincia del Norte, una zona bañada por el océano Índico, en donde se realizaron experimentos en 4 lugares diferentes.

Los resultados más positivos de esta investigación se dieron en los emplazamientos situados al nordeste del país. Los 4 lugares seleccionados para realizar los experimentos se hallaban a unas altitudes comprendidas entre 1.302 y 1.903 m. Los colectores instalados fueron de tipo pantalla, de 1 m² de superficie, elevados 1 m sobre el suelo y orientados perpendicularmente a la dirección de los vientos dominantes.

Se probaron 4 tipos distintos de malla, incluyendo la malla chilena tipo Raschel utilizada en el proyecto de El Tofo (Chile), resultando la mejor la malla de polipropileno importada de Kimre Inc., USA. El agua recolectada por la malla era conducida a través de una canaleta a un pluviómetro de balancín conectado a un sistema de adquisición de datos. A su vez, este sistema registraba los datos de un pluviómetro, un termómetro, una veleta y un anemómetro, por lo que se obtuvo información meteorológica completa de cada emplazamiento.

Cabe destacar los resultados obtenidos en uno de los cuatro emplazamientos estudiados, el situado en el monte Pypkop (Woodbush, Tzaneen), a 1.903 m de altitud. Desde octubre de 1.994 hasta marzo de 1.996, el total de agua recogida por el colector, incluyendo niebla y lluvia, fue de 14,4 l/m²/día, con máximos diarios superiores a los 20 l/m² en los meses de diciembre y enero.



Tras los buenos resultados obtenidos y debido a los grandes problemas de agua que padece gran parte de Sudáfrica, fundamentalmente por problemas de contaminación de las aguas tanto superficiales como subterráneas, en 1999 se pusieron en práctica dos sistemas de captación de agua de niebla en otros tantos emplazamientos distintos.

Uno de ellos se instaló en la costa oeste del país, en la localidad de Lepelfontein, un pueblo de 200 habitantes, a 5 km de la costa atlántica y a 70 km de Ciudad del Cabo, situado a los pies de una colina de 200 m de altitud.

El segundo de los proyectos se situó en la parte nordeste del país, en la Provincia del Norte, en una escuela primaria de Soutpansberg (Tshanowa Junior Primary School). Esta escuela está situada en la cima de una montaña a 1.004 m de altitud, y en ella conviven 128 niños y 4 profesores.

En ambos lugares se instalaron colectores de niebla basados en los utilizados en El Tofo (Chile), que consistían en 3 postes de madera de 6 m de alto, separados 9 m entre sí. Los postes estaban unidos por una malla de 9 x 4 m (36 m^2 de superficie x 2 trozos de malla = 72 m^2), con una cobertura del 30 %.

El agua recogida por la malla era conducida primero a un filtro de arena y tras pasar por un pluviómetro de balancín conectado a un sistema de registro de datos, posteriormente a un tanque de almacenamiento de 10 m^3 .

Los resultados obtenidos hasta la fecha han sido satisfactorios en los dos proyectos que se han puesto en funcionamiento. En Lepelfontein, en la costa oeste del país, desde junio de 2.000 hasta septiembre de 2.001 se recogieron valores promedio que oscilan entre los $5,3 \text{ l/m}^2/\text{día}$ en el periodo comprendido entre el 1 de junio de 2.000 y el 12 de septiembre de 2.000, y los $5,9 \text{ l/m}^2/\text{día}$ entre 13 de septiembre de 2000 y el 3 de septiembre de 2001, estimándose una contribución de la niebla que supuso el 88 % del total del agua recolectada.

En cambio, en el proyecto establecido en Provincia del Norte, en la costa este del país, desde el 5 de marzo de 1.999 hasta abril de 2.001, se han recolectado una media de $2 \text{ l/m}^2/\text{día}$, con una contribución estimada de la niebla del 25 % del total. En este último proyecto el agua se consume regularmente desde el día que se puso en marcha la instalación por el colectivo de la escuela.

Es destacable la incidencia diurna de los episodios de recolección de agua, habiéndose constatado que las máximas recolecciones se daban en horas nocturnas, entre las 2 y las 9 a.m.. También se ha detectado una influencia positiva de las brisas marinas de la costa oeste en la formación de las nieblas recolectadas en el proyecto de Lepelfontein.



Los análisis químicos y biológicos también permitieron ver que en ambos proyectos el agua recolectada era apta para consumo humano, de acuerdo con los estándares de calidad establecidos por la Organización Mundial de la Salud.

Namibia es otro país africano bañado por el océano Atlántico que ha realizado y hecho público estudios encaminados al aprovechamiento del agua de niebla. Desde 1.996 investigadores de la Fundación para la Investigación del Desierto de Namibia y de la UNESCO trabajan para poner en práctica un sistema de abastecimiento de agua procedente de la niebla que palie las enormes necesidades de agua que existen en el país, donde el 97 % de la superficie se considera de ambiente hiperárido a árido.

Alrededor de 1.996, se realizaron experimentos en el Desierto Central de Namibia, donde se instalaron 14 colectores de niebla de tipo pantalla SFC que seguían los estándares propuestos por Schemenauer, en 3 lugares diferentes: Swartbank, Klipneus, Souttrivier. Los resultados obtenidos mostraron una considerable variación estacional, con 6 meses al año (desde agosto hasta enero) con valores promedio de recolección de agua por los colectores de niebla superiores a $2 \text{ l/m}^2/\text{día}$, con presencia de niebla el 45 % de los días y otros 6 meses (de febrero a julio) con valores inferiores a $0,5 \text{ l/m}^2/\text{día}$ y presencia de niebla el 15 % de los días.

Los resultados obtenidos muestran que el agua procedente de la niebla puede ser una fuente de agua complementaria a los recursos tradicionales en pequeñas poblaciones rurales.

Además, los análisis químicos realizados en uno de los 3 emplazamientos (Souttrivier) mostraron que, a pesar de la contaminación por la arena del desierto, al agua recolectada cumple los estándares de calidad propuestos tanto por la legislación de Namibia como por la Organización Mundial de la Salud.

Sin embargo, el principal problema que existe en Namibia para poder instalar con éxito colectores de niebla capaces de suministrar agua a la población, son las tormentas de arena que suelen ocurrir en los meses de invierno, que traen vientos del este con velocidades entre 86 y 115 km/h, que provocan la rotura mecánica de los colectores y mallas.

Los últimos experimentos que se tiene constancia han ido encaminados a encontrar mallas y estructuras capaces de soportar estas tormentas. Para ello, han comparado distintos tipos de malla (la malla Raschel utilizada en Chile, la malla de polipropileno de Kimre Inc., USA y una malla plástica utilizada en invernaderos con un recubrimiento metálico denominada Aluminet),



habiendo constatado la malla Aluminet de 40 % de cobertura como la óptima, ya que es la más eficiente en cuanto a recolección de agua (recoge 10-50 % más de agua que la malla Raschel) y presenta una buena resistencia a las tormentas de arena.

La reducción de la superficie de exposición de la malla de 48 m² a 24 m² y el refuerzo mecánico de las estructuras también ha mejorado el aguante físico de los colectores.

Desde 1962 se llevan a cabo experimentos en las Islas de Cabo Verde evaluando la potencialidad del agua de niebla como nuevo recurso hídrico. Posteriormente a esa fecha se siguió trabajando, poniéndose en práctica desde 1.987 3 proyectos de investigación sobre la captación de la niebla.

A pesar de que los resultados fueron buenos, con valores promedio en torno a los 11,5 l/m²/día en los registros obtenidos en monte Verde, a 600 m de altitud y a 4 km de la costa, los proyectos operacionales que se han intentado poner en práctica no han tenido éxito debido fundamentalmente a la escasa implicación de la Administración.

En Eritrea, la organización no gubernamental canadiense FogQuest lleva trabajando desde 2.005, evaluando la niebla como nuevo recurso hídrico mediante su captación por métodos pasivos. Los resultados hasta la fecha han sido muy positivos, con valores cercanos a 8 l/m²/día en los mejores emplazamientos durante los 3 meses húmedos (de enero a marzo).

6.4 Asia

En Asia también se han puesto en práctica proyectos operacionales de suministro de agua mediante la captación de niebla por métodos pasivos.

En la República de Yemen, la organización no gubernamental canadiense FogQuest lleva trabajando desde 2002 en dos emplazamientos en diferentes zonas del país, habiendo logrado poner en práctica uno de ellos en el noroeste del país, concretamente en la gobernación de Hajja, en un área conocida como Mabijan.

La fase experimental se inició en diciembre de 2.002 con la construcción de 26 colectores de tipo pantalla de 1 m² de superficie, basados en el SFC. La malla utilizada fue adquirida en Arabia Saudí y tenía unas características similares a la malla Raschel, aunque un mayor



coeficiente de cobertura, entre 45-50 %. Los colectores fueron instalados en 19 emplazamientos diferentes, a una altitud comprendida entre 1.650 y 2.840 m de altitud y se probaron distintas orientaciones de la malla.

El trabajo de campo duró desde diciembre de 2.002 hasta marzo de 2.003, abarcando la estación climatológica más seca del país, y obteniéndose unos promedios de captación en los mejores emplazamientos en torno a 4,5 l/m²/día.

Tras los buenos resultados obtenidos en la fase experimental, en enero de 2.004 se decidió poner en práctica un proyecto operacional que suministrara agua de niebla a pequeños asentamientos de agricultores y granjeros del área de Mabijan. Para ello, se construyeron 25 colectores de niebla de tipo pantalla de 40 m² de superficie, lo que supuso un total de 1.000 m² de superficie de exposición.

El agua era conducida a través de tuberías a tanques de 1 m³ unidos a cada colector y posteriormente a sistemas tradicionales de almacenamiento enterrados en el suelo. En la actualidad el proyecto sigue en marcha, ofreciendo buenos resultados a la población.

Tras los buenos resultados obtenidos en Hajja, en 2.004, FogQuest inició un nuevo proyecto de evaluación de la potencialidad del agua de niebla como recurso hídrico en otra región de la República de Yemen, concretamente en la gobernación de Sadaa, al norte del país.

La fase experimental comenzó con la instalación de 10 colectores de tipo pantalla de 1 m² de superficie, basados en el SFC, en 8 emplazamientos diferentes, con altitudes comprendidas entre 1.980 y 2.700 m. La fase experimental se llevó a cabo desde enero hasta marzo de 2.004, coincidiendo con la estación seca, obteniéndose unos valores promedio cercanos a 9,5 l/m²/día en los mejores emplazamientos estudiados.

En 1.997, instituciones canadienses y nepalíes decidieron poner en marcha un estudio sobre la captación pasiva de agua de niebla en Nepal. Los estudios preliminares permitieron obtener datos de niebla en 6 emplazamientos diferentes, con altitudes comprendidas entre 2.000 y 3.500 m, utilizándose 16 colectores de niebla de tipo pantalla de 1 m² de superficie, basados en el SFC y dos tipos diferentes de malla, una de origen indio, con un porcentaje de cobertura del 50 %, y otra de origen chileno, la malla Raschel, con un 35 % de porcentaje de cobertura.

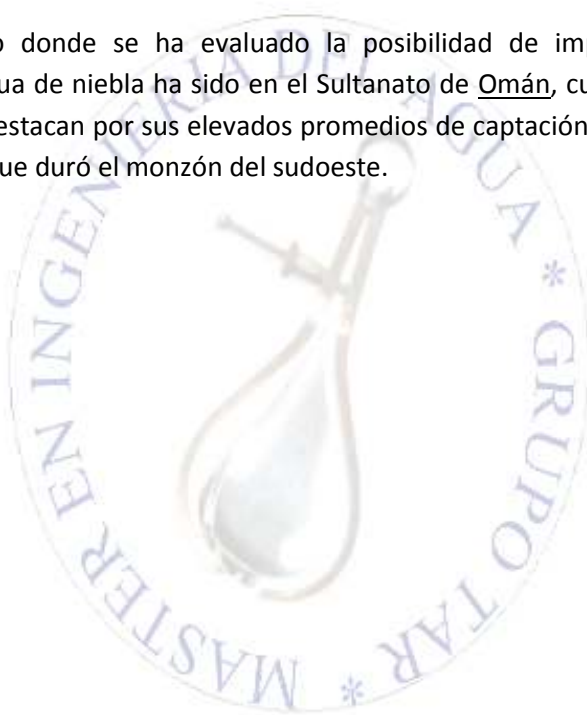
Los resultados de estos estudios experimentales permitieron observar una clara componente estacional en la presencia de niebla en Nepal, alcanzándose los mayores registros en los meses de monzón (de mayo a septiembre), con valores que incluso superaron los 40 l/m²/día en algunos meses, como en Agosto de 2000 en la estación de Megma (Ilam), mientras que en la



estación seca (de octubre a abril), los valores promedio en la mayoría de emplazamientos no superaban $1 \text{ l/m}^2/\text{día}$.

Tras los buenos resultados obtenidos en la fase experimental, se decidió poner en práctica un proyecto operacional en 2001, con el objetivo de suministrar agua a una pequeña población de 75 habitantes en Danda Bazar (Dhankuta). Para ello se construyeron 7 colectores de niebla de tipo pantalla, de 40 m^2 de superficie de recepción cada uno ($10 \times 4 \text{ m}$) y un depósito de almacenamiento de 100 m^3 , lo que permite suministrar anualmente unos $20 \text{ l/habitante/día}$ de agua.

En otro país asiático donde se ha evaluado la posibilidad de implantar un sistema de abastecimiento de agua de niebla ha sido en el Sultanato de Omán, cuyos estudios realizados entre 1.989 y 1.990 destacan por sus elevados promedios de captación, en torno a $30 \text{ l/m}^2/\text{día}$ durante los 3 meses que duró el monzón del sudoeste.





6.5 Islas Canarias

En los países del sur de Europa, donde los problemas de falta de agua son más frecuentes, se está empezando a estudiar la niebla como nuevo recurso hídrico. Los primeros estudios en Europa que tenían como objetivo el aprovechamiento potencial del agua de niebla se iniciaron en España, concretamente en las Islas Canarias.

También se conocen estudios realizados en Croacia, donde el Servicio Meteorológico e Hidrológico nacional ha incorporado a una de las estaciones meteorológicas que tiene distribuidas por el país, a 1.594 m de altitud, un colector de niebla de tipo pantalla, de 1 m² de superficie, basado en el SFC, habiendo obtenido unos resultados muy positivos en determinados meses del año (27,8 l/m² el día 8 de octubre de 2003).

También en Portugal, concretamente en las Islas de Madeira, se están evaluando lugares por encima de los 1.000 m de altitud, aunque todavía no se conocen los resultados de la experiencia.

Las Islas Canarias, debido a su característico régimen climático, de muy escasas precipitaciones y larga sequía estival, ha tenido a lo largo de la historia una gran necesidad y preocupación de encontrar fuentes alternativas de agua, por lo que ha sido pionera en España en el estudio del aprovechamiento del agua de niebla.

Los primeros estudios científicos en las islas datan de 1.948, cuando el investigador D.Tadeo Casañas llegó a recoger 14 l/minuto en horas nocturnas, utilizando captadores naturales como fueron 14 brezos (*Erica arborea*) y conduciendo el agua recolectada a través de una superficie inclinada hacia un depósito enterrado. Y esa misma idea ha sido utilizada por la Viceconsejería de Medio Ambiente del Gobierno Canario para proporcionar agua a diversas fuentes públicas de las islas, utilizando árboles para capturar el agua, cuyo goteo va a parar a una superficie cementada y con cierta inclinación, distribuyéndose el agua por gravedad a fuentes situadas aguas abajo.

Después de Casañas, a lo largo de la segunda mitad del siglo XX, diversos investigadores han realizado estudios en las islas, tratando de conocer el potencial de agua de niebla, fundamentalmente en el ámbito forestal.

Pero es a partir de 1.993, cuando la Universidad de La Laguna (Tenerife), a través de la investigadora Dra. María Victoria Marzol Jaén, empieza una exitosa investigación en la isla de Tenerife sobre la captación y aprovechamiento del agua de niebla, que ha llevado



a su aplicabilidad actual en el Parque Rural de Teno.

Desde 1993, las investigaciones de la Dra. Marzol se han dividido en 3 etapas y han sido analizadas 6 áreas de la isla de Tenerife, con altitudes comprendidas entre 664 y 1.742 metros sobre el nivel del mar.

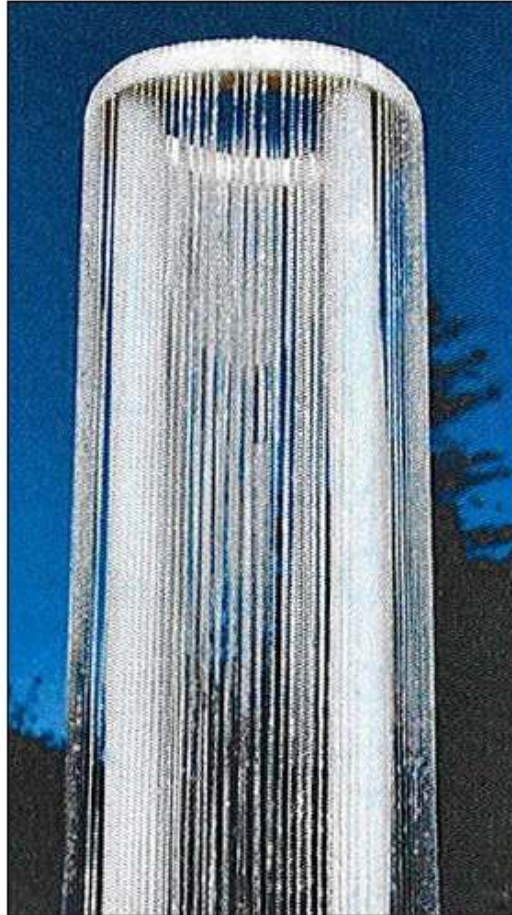
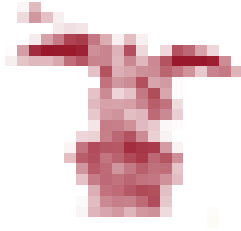
En la primera de las etapas, realizada entre 1.993 y 1.994, se eligió un emplazamiento situado a 1.400 m de altitud, en la parte oriental de la dorsal que recorre de sudoeste a nordeste la isla de Tenerife, denominado *Las Lagunetas*. Se trataba de un sitio llano, despejado y sin árboles que impidiesen la entrada de la niebla y abierto a los vientos de norte. Los objetivos marcados en esta primera etapa de la investigación fueron: medir el agua de niebla de lluvia; comparar diferentes captadores de niebla y determinar los ciclos diarios y anuales de la niebla.

En el ensayo se utilizaron diferentes tipos de colectores, todos ellos cilíndricos, forrados con diferentes tipos de mallas y materiales (acero inoxidable, plástico, teflón, hierro galvanizado y alambre plastificado), colocados sobre pluviógrafos para poder establecer intensidades horarias de captación.

También se instaló una estación meteorológica automática que registraba valores de temperatura y humedad cada 10 minutos, y un pluviómetro.

El prototipo forrado con hilos de teflón dispuestos verticalmente resultó el más eficaz, ya que su estructura favorecía el deslizamiento por gravedad de las gotas condensadas. Durante la campaña que duró 13 meses, se recolectaron 3.576 l/m² de agua en el colector de hilos de teflón en todo el periodo, sin distinguir si procedía de niebla o de lluvia, mientras que el pluviómetro instalado tan sólo se registró 841 mm de lluvia.

Otra de las conclusiones a las que llegaron fue la gran importancia de la niebla en los meses estivales, ya que en esos meses no se registró lluvia, por lo que toda el agua contabilizada fue niebla, registrándose volúmenes considerables.



Colector de agua de niebla cilíndrico, forrado con hilos de teflón.

La segunda etapa de la investigación se inició en 1.995 y se eligieron 4 nuevos emplazamientos de la isla de Tenerife, que fueron los siguientes:

- *Erjos*: situado a 1.010 m de altitud, al noroeste de la isla, a 5,9 km de distancia al mar, con una orientación del captador favorable a los vientos de nordeste (45°).
- *El Gaitero*: situado a 1.747 m de altitud, en la parte oriental de la línea de cumbres de la dorsal de Tenerife, que recorre la isla de sudoeste a nordeste, a 6,6 km de distancia al mar, con una orientación del captador favorable a los vientos de norte - noroeste (350°).
- *El Púlpito*: situado a 664 m de altitud, al nordeste de la isla, a 5,7 km de distancia al mar, con una orientación del captador favorable a los vientos de norte – noroeste (340°).



- *Casas de la Cumbre de Anaga*: situado a 842 m de altitud, al nordeste de la isla, a 4 km de distancia al mar, con una orientación del captador favorable a los vientos de norte - noroeste (345º).

Los objetivos perseguidos en esta segunda etapa fueron evaluar las características y comportamientos de la niebla, y evaluar su potencial hídrico. Para ello, esta vez se utilizaron captadores de niebla cuadrados, tipo pantalla de superficie 1 x 1 m, basados en el SFC.

En esta fase de la investigación se usaron dos tipos diferentes de malla, de estructura semejante, pero con diferente densidad. Una de ellas se adquirió en Chile, de tipo Raschel, con un coeficiente de cobertura del 35 % y es la propuesta por Schemenauer y Cereceda como estándar, mientras que la segunda era de origen local, con un porcentaje de cobertura del 65%.

Ambas mallas se instalaron en capa doble. Con el fin de comparar el comportamiento de los dos tipos de mallas seleccionados, se instalaron pantallas por pares en dos de los lugares seleccionados. A su vez, se instalaron dos estaciones meteorológicas automáticas que registraban datos cada diez minutos de temperatura, humedad relativa, precipitación y velocidad y dirección de viento.

El agua recogida por los colectores iba a parar a unos pluviómetros conectados a las estaciones meteorológicas, permitiendo de este modo disponer de los valores climáticos y del agua de niebla recolectada con la misma escala temporal.

Los captadores de niebla de esta segunda etapa se instalaron en 1.996 y tres de los cuatro han seguido funcionando hasta la actualidad. De la información extraída hasta la fecha de dichos captadores, se sacan varias conclusiones:

1. La frecuencia de la niebla no es homogénea en toda la isla de Tenerife, siendo mucho más frecuente en el nordeste que en el noroeste de la isla, debido fundamentalmente a que esta parte de la isla se encuentra mejor expuesta a la entrada de la niebla y a su mayor proximidad al mar.
2. La máxima frecuencia de la niebla ocurre en horas nocturnas y las mínimas a mediodía.
3. Los meses con mayor frecuencia de niebla son los estivales en las estaciones por debajo de 900 m de altitud, mientras que en el resto son los de primavera e invierno.



4. Los factores más importantes que intervienen en la eficacia de la recolección de agua de niebla son una adecuada altitud, la proximidad al mar y una buena orientación a la entrada de vientos.

La malla chilena, con una cobertura del 35 %, es un 13 % más eficaz que la malla local del 60 % de cobertura.

El promedio anual de agua recolectada por un captador SFC en el mejor de los cuatro emplazamientos estudiados, sin distinguir si es niebla o es lluvia, fue de 2.046 l/m², lo que supuso casi cinco veces y media mayor que la lluvia registrada en el mismo periodo.

En todos los casos el agua recolectada por el captador de niebla fue mayor que en el pluviómetro.

A continuación se adjunta una tabla con la relación de agua obtenida en las estaciones experimentales. Se relaciona el agua total que se obtuvo con los SFC, de 35% de cobertura, respecto al agua de lluvia contemplada en el pluviómetro.

Estación de medida	El Gaitero	Erjos	Cumbres de Anaga	El Pulpito
Nº de meses de estudio	62	75	76	33
TOTAL de agua en SFC (l/m ²)	6.363	3.572	14.464	1.582
Total de agua de lluvia (mm)	1.675	3.133	2.693	1.282
MEDIA ANUAL de SFS (l/m ²)	909	508	2.046	395
Media anual de lluvia	239	444	384	320
Relación agua SFC/agua de lluvia	3,8	1,1	5,4	1,2



Las máximas captaciones diarias y horarias de agua exclusivamente de niebla fueron de 62,5 l/m²/día y 6,7 l/m²/hora, ambos valores ocurridos en las Cumbres de Anaga.

La calidad del agua de niebla recolectada fue buena, ya que según la normativa española de agua potable, ninguno de los elementos hallados en los análisis químicos superó los límites establecidos, aunque se recomendaba su mezcla con aguas con una mayor concentración salina que compensase su escasez, considerándose un agua aceptable para fines forestales y agrícolas..

La tercera etapa de la investigación se inició en el año 2000 y se realizó en la Parque Rural de Teno, al noroeste de la isla de Tenerife. El objetivo final de esta fase consistió en, a partir de una primera fase experimental, recoger agua de niebla para su uso en la casa forestal del Parque y para el riego en actividades de reforestación. Por tanto, esta última etapa, que se está llevando a cabo hasta la actualidad, resultó ser la de aplicación de los resultados obtenidos en las etapas previas.

El primer año y medio de esta tercera etapa de investigación fue experimental, con el objetivo de determinar los mejores emplazamientos del Parque para la recolección del agua de niebla. Para ello, se instalaron 28 captadores de niebla tipo pantalla, de tamaño 0,5 x 0,5 m, lo que supuso una superficie de 0,25 m² frente a 1 m² del SFC, denominados *Quarter Fog Collector* (QFC), ya que su superficie es la cuarta parte que el SFC.

Este tipo de colector redujo costes con respecto a colectores de mayor superficie, por lo que se pudieron instalar más colectores, y resultaron más fáciles de montar y desmontar, ya que no requerían cimentación para su sujeción. La malla utilizada fue de origen local, con un 60 % de cobertura, instalándose en capa sencilla. Los captadores se distribuyeron a lo largo del Parque en función de las necesidades de agua establecidas, instalándose a diferentes altitudes, orientaciones y distancias a la costa.

Para completar el experimento, se instalaron 4 SFCs, dos de ellos como parejas de pantallas de otros tantos QFCs para establecer la relación de captación entre ellos en función de la superficie de exposición, 5 pluviómetros, 2 estaciones meteorológicas automáticas, una de ellas registraba datos horarios de temperatura y humedad relativa y la otra datos de temperatura. La velocidad y dirección de viento se determinó mediante sensores instalados en dos SFCs.

La fase experimental constató valores de agua recogida por los colectores de niebla entre 4,1 y 5,5 l/m²/día en los mejores emplazamientos de una de las zonas estudiadas del Parque. Cabe destacar los máximos valores de agua registrados por los captadores durante el periodo de



estudio, que fueron de 55 l/m²/día y 3,6 l/m²/hora en el sector alto del Parque, y 86 l/m²/día en el bajo.

A su vez, también se observó que los momentos de mayor recogida se daban entre las 18-19 horas y las 23 horas, con los mínimos registros a mediodía. Los buenos resultados obtenidos en la fase experimental sirvieron para determinar los mejores emplazamientos y, en función de las necesidades del Parque, en el año 2002 se instalaron 4 captadores de niebla de 12 m² de superficie, que recogen el agua para el uso de una casa forestal, para el riego necesario en la reforestación que se lleva en una de las partes del Parque y como suministro para un abrevadero para pájaros.

La malla utilizada tiene una cobertura del 40 % y es de origen israelí, ya que no se encontró malla local de más de 4 m de largo, y se ha colocado en doble capa. Los colectores han sido montados sobre dos postes de teléfono y se ha empleado material inoxidable que, a pesar de ser más caro, alarga la vida útil de los captadores, que se estima de 3 años para la malla y de 10 para la instalación.

6.6 Comunidad Valenciana

Los únicos experimentos conocidos en la Península Ibérica que han tratado de cuantificar el agua de niebla fueron realizados en Cataluña, concretamente en el Montseny, y en la Comunidad Valenciana.

En Catalunya, el investigador, Florencio Rey, utilizó un captador de 0,50 x 0,50 cm, forrado con malla de 35 % de cobertura, llegando a recoger 4 litros en un día.

En cuanto a la Comunidad Valenciana, recientemente se realizó un estudio sobre captación de agua de niebla, a través del Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo.

Para la selección del emplazamiento seleccionado se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Las opiniones del personal del Departamento de Meteorología y Climatología de la Fundación CEAM, acostumbrados a analizar los mecanismos y condiciones meteorológicas de la Comunidad Valenciana, y de los guardas y vigilantes forestales de la Generalitat Valenciana, cuya labor les lleva a estar en contacto directo con el terreno diariamente.
- Las recomendaciones geográficas realizadas por Schemenauer a la hora de seleccionar un emplazamiento para implantar un sistema pasivo de captación de agua de niebla.



- La consulta de los mapas topográficos de la Comunidad Valenciana y el trabajo de campo realizado para reconocer los emplazamientos seleccionados, descartando aquellos en los que la microtopografía indicaba dificultad de accesibilidad, presencia de obstáculos, ocupaciones, propiedades privadas, etc.
- Las posibilidades de poder establecer en un futuro un sistema de captación de niebla, cuya agua puede ser utilizada con fines de reforestación de zonas degradadas.

Finalmente el emplazamiento seleccionado fue el monte Montgó, en el término municipal de Dénia, en la comarca de la Marina Alta, provincia de Alicante.

Este monte cumple la mayoría de las recomendaciones efectuadas por Schemenauer en cuanto a las características óptimas para localizar un captador de niebla, ya que se trata de una montaña cercana al mar, sin obstáculos que impidan la entrada de los vientos marítimos y con altura suficiente para interceptar las nubes y producir nieblas orográficas.

Además, los responsables del Parque Natural afirmaron ver con frecuencia una capa de nubes cubriendo la cima del Montgó. Su instalación se realizó en julio de 2.003.

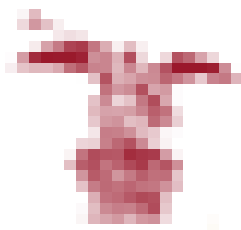
Para realizar la investigación se diseñó y construyó un captador de agua de niebla, ya que no existen en el mercado sensores de este tipo. El modelo diseñado y construido artesanalmente se basó en el modelo de Falconer y Falconer (1980), conocido como colector ASRC (*Atmospheric Science Research Center*).

Consiste en un cilindro, de 26 cm de diámetro y 46 cm de altura, formado por 5 filas concéntricas de hilos de nylon de 0,8 mm de diámetro cada uno. En total, 1 000 hilos de nylon orientados verticalmente y unidos por 2 discos de poliamida, formando una malla con una superficie efectiva de recolección de 0,12 m² (0,46 x 0,26 m).

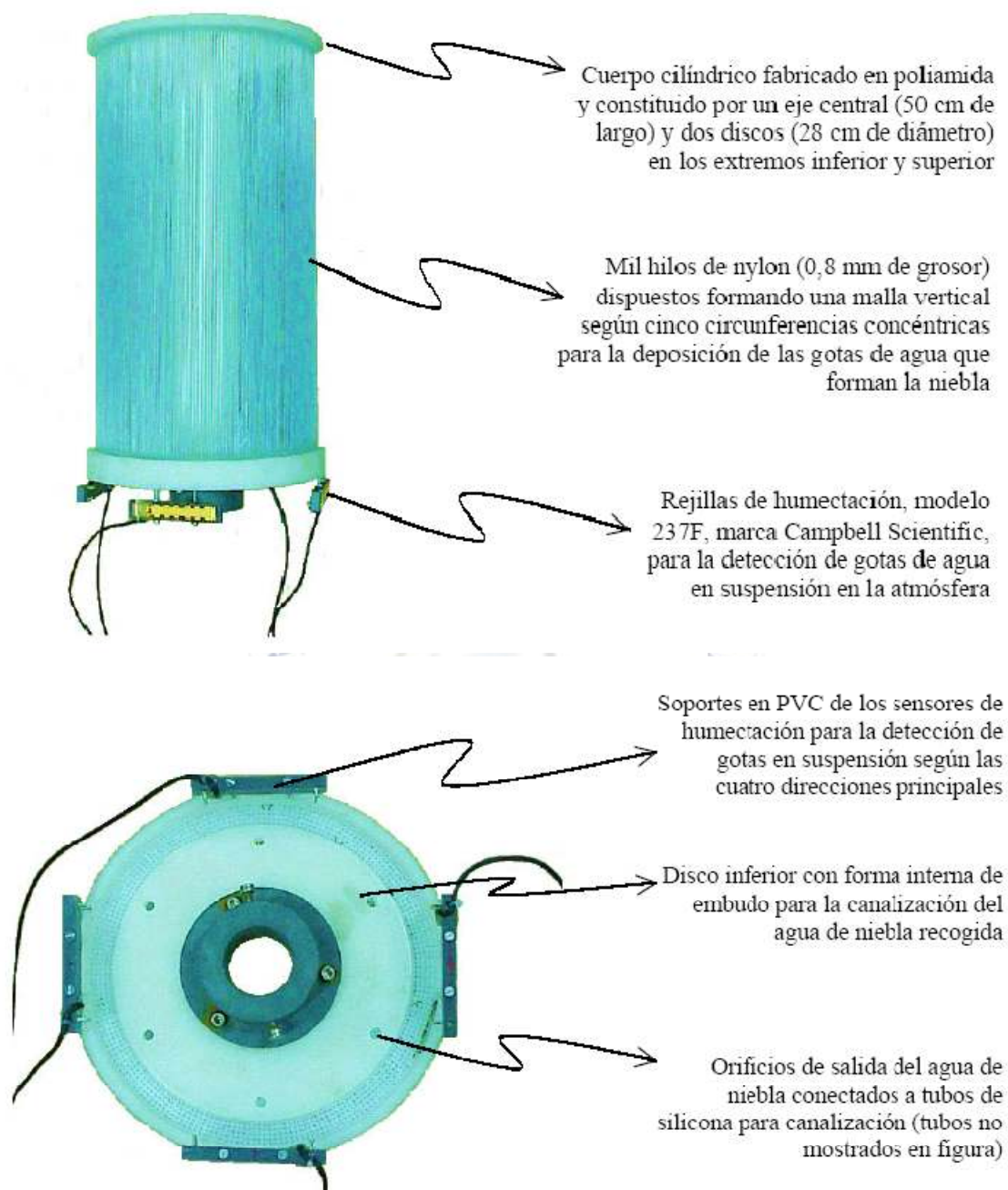
El coste de los materiales necesarios para la construcción del sensor fue de unos 112 euros y su construcción requiere una dedicación aproximada de unas 60 horas de una persona.

Se eligió un modelo de colector de niebla de tipo cilíndrico en lugar de una de tipo pantalla, debido a que el primer tipo de sensor es omnidireccional y presenta una exposición uniforme a los vientos de todas las direcciones, independientemente de la orientación en que se instale.

Por el contrario, los colectores de niebla de tipo pantalla, para que su eficacia de captación sea máxima, se deben instalar perpendicularmente a la dirección de los vientos dominantes, siendo más adecuada su colocación en los emplazamientos en donde está bien documentado la dirección dominante del viento o donde, por las características geográficas del terreno, se pueda suponer con seguridad cuál va a ser esta dirección.



La determinación de las direcciones de viento óptimas para la instalación de un sistema de captación de niebla, es más adecuada con un el sistema cilíndrico.





El volumen total de agua recogida por el captador de niebla fue de 3.203 l/m^2 , lo que supone un promedio diario de $10,7 \text{ l/m}^2/\text{día}$, en los 301 días de los que se dispone de datos. El volumen de lluvia registrada fue de 1.146 mm , con un promedio diario de $3,3 \text{ mm/día}$, en los 354 días de registros de precipitación.

La comparación entre la niebla y la lluvia recolectada es relevante para resaltar la importancia que tiene la primera como *input* del sistema hidrológico, comparándose con otro *input*, la lluvia.

El mes de mayor captación de agua de niebla fue diciembre, con un volumen de 1.017 l/m^2 y un promedio de $32,8 \text{ l/m}^2/\text{día}$, coincidiendo a su vez con la mayor recogida de lluvia.

En la mayoría de los meses, tanto el volumen como el promedio diario de niebla recolectada fue mayor que el de lluvia. Sobresalen especialmente los registros obtenidos en los meses de junio a septiembre. En dichos meses, el volumen total de lluvia registrada fue de 37 mm , mientras que se contabilizaron un total 520 l/m^2 de niebla. Es importante este dato ya que, teniendo en cuenta que se trata de unos meses tradicionalmente secos y calurosos, recoger agua de niebla durante ese periodo puede ser un *input* importante en trabajos de reforestación.

En el Montgó puede observarse un claro ciclo diario, con presencia de niebla superiores al 20 % de los días desde las 22 horas hasta las 8 horas del día siguiente y un descenso de su frecuencia en las horas centrales del día. Las máximas frecuencias se dan desde la 1 hasta las 6 de la mañana, con frecuencias diarias superiores al 25 %. Los mínimos valores se presentan entre las 11 y las 15 horas, con valores en torno al 14 %. A partir de ese momento, la niebla se hace cada vez más frecuente, coincidiendo con la llegada de las horas nocturnas del día.

Sobre el captador de agua de niebla diseñado y utilizado, las consideraciones más importantes a destacar son las siguientes:

- El captador de niebla se mostró como un sistema sólido a la hora de recolectar agua de niebla en campo.
- Los materiales utilizados para su construcción se mantuvieron en perfectas condiciones y no se detectaron roturas ni deformaciones del sensor durante el periodo de estudio.
- El principal inconveniente residió en lo laborioso que resultó su construcción, en la que se invierten aproximadamente unas 60 horas de una persona. Sin embargo, el coste de los materiales utilizados fue bajo.



- El sensor diseñado se mostró como un instrumento eficaz en la captación de agua de niebla. El volumen total de agua capturada, incluyendo niebla y lluvia, fue de 3.203 l/m², lo que supuso un promedio diario de 10,7 l/m²/día.

La comparación de los volúmenes obtenidos en el monte Montgó, con los valores originados en otros lugares del mundo en donde se han puesto en marcha con éxito proyectos de aprovechamiento del agua de niebla, hace pensar que el lugar estudiado presenta un alto potencial como nueva fuente de agua, en el caso de que se decidiese implantar un sistema de captación pasivo de agua de niebla.

El mes de mayor recolección de agua de niebla fue diciembre, en donde se registraron aproximadamente 1.000 l/m², seguido de marzo, abril y mayo, en todos ellos con valores por encima de los 300 l/m². Los meses comprendidos entre junio y septiembre, a pesar de haber tenido una recolección de niebla menor en términos absolutos que los meses citados anteriormente, presentaron las mayores diferencias entre la niebla y la lluvia en términos relativos, siendo la niebla notablemente mayor en todo el periodo.

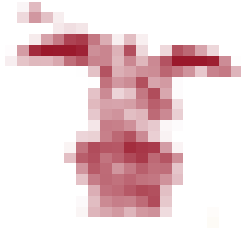
Este dato fue importante a la hora de planificar un proyecto de restauración forestal, ya que en zonas como la Comunidad Valenciana, con un clima característico que presenta una precipitación estival escasa, un aporte de agua adicional en este periodo puede resultar clave para que la reforestación se produzca con éxito.

El análisis de la frecuencia mensual de niebla y/o lluvia en el monte Montgó, muestra que en la mayoría de los meses estudiados, la niebla apareció en más del 40 % de los días, normalmente acompañada de lluvia. Los meses en donde la niebla aparece sola con más frecuencia son mayo, julio y agosto, en donde su presencia sin la lluvia ha ocurrido aproximadamente el 30 % de los días estudiados.

La niebla es más habitual en las horas nocturnas que en las diurnas, se constató su presencia en aproximadamente el 25 % de los días estudiados durante el intervalo que transcurre entre la 1 y las 6 de la mañana.

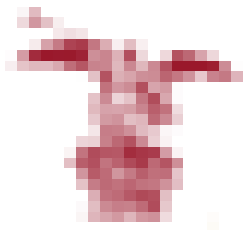
Es necesaria la presencia de viento para que se produzca la recolección de niebla mediante un captador pasivo como el diseñado en el Montgó. La captura de niebla en momentos de calma (vientos con una velocidad de viento inferior a 1,7 km/h) fue prácticamente despreciable. Por tanto, la niebla debe ser empujada por el viento hacia el captador para que se produzca la recolección.

A la hora de instalar un captador de niebla plano como el utilizado en otras experiencias desarrolladas en otros lugares del mundo, es fundamental valorar el régimen de vientos del



lugar en los momentos en los que se ha producido captación de niebla y realizar la orientación del sistema en función de las direcciones de viento que proporcionen las mayores captaciones. El régimen de vientos del monte Montgó, varía en función de la época del año, por lo que la orientación del sistema de captación de tipo pantalla debería hacerse en función de los objetivos finales que se deseen dar al recurso obtenido.







7. DATOS OBTENIDOS

A modo de síntesis de todas la experiencias descritas anteriormente, y que muestran las posibilidades reales de captación de agua de niebla, se adjunta la siguiente tabla con los datos obtenidos de las citadas experiencias:

País	Localización	Captación promedio de agua de niebla (l/m ² /día)
Chile	Cerro Moreno	8,26
Chile	El Tofo	2,98
Chile	Parque Nacional del Bosque de Fray Jorge	3
Chile	Santuario de Padre Hurtado	5,4
Chile	Falda Verde	1,43
Chile	Iquique (Alto Patache)	7,81
Perú	Cerro Orara	4,6 – 5,8
Ecuador	Comunidad Pachamama Grande	4
Guatemala	Lago Atitlan	6,51
Colombia	Desierto de Guajira	1,4
República Dominicana	-	3,58
México	Chiapas	0,5
Sudáfrica	Ciudad del Cabo	14,4 (incluye lluvia)
Sudáfrica	Lepelfontein	5,3 – 5,9 (88% agua de niebla)
Sudáfrica	Soutpansberg	2 (25% agua de niebla)
Namibia	Swartbank, Klipneus, Soutrivier	0,5 - 2
Islas de Cabo Verde	-	11,5
Eritrea	-	8
República de Yemen	Hajja	9,5
Nepal	-	1 (estación seca) 40 (Monzón)
Omán	-	30 (Monzón)
Croacia	-	< 27,8
España	Islas Canarias (El Gaitero)	1,8
España	Islas Canarias (Erjos)	0,2



MÁSTER EN INGENIERÍA DEL AGUA

E.U. POLITÉCNICA

U. SEVILLA.



www.aguapedia.net

País	Localización	Captación promedio de agua de niebla ($\text{l/m}^2/\text{día}$)
España	Islas Canarias (Cumbres de Anaga)	4,5
España	Islas Canarias (El pulpito)	0,2
España	Islas Canarias (Parque Rural de Teno)	4,1 – 5,5
España	Alicante (El Montgó)	5,6





8. CONDICIONES DE APLICABILIDAD DE LA TÉCNICA

8.1 Ubicación

Las recomendaciones geográficas realizadas por Schemenauer a la hora de seleccionar un emplazamiento para implantar un sistema pasivo de captación de agua de niebla, que son las siguientes:

- La presencia de vientos persistentes de una misma dirección y la existencia de cadenas montañosas cercanas a la costa capaces de interceptar las nubes bajas impulsadas por esos vientos y orientadas perpendicularmente a la dirección de los vientos dominantes.
- Altitudes entre 400 y 1.000 metros sobre el nivel del mar.
- La distancia hasta la costa debe ser la menor posible, siendo los emplazamientos ideales los que se encuentran a menos de 5 km del mar, aunque también se consideran con posibilidades las áreas separadas 25 km de la costa.
- Espacio suficiente para poder instalar el colector de niebla.
- La ausencia de obstáculos en el relieve próximo (montañas, picos, etc.) que desvíen la trayectoria de los vientos e impidan que la niebla intercepte con el emplazamiento seleccionado.
- Las crestas de cadenas montañosas suelen ser óptimas para la captación de la niebla, aunque se deben evitar los lugares con presencia de pendientes muy pronunciadas que favorecen la componente vertical del viento, dificultando la recolección de la niebla.

8.2 Demanda

Para que la técnica sea aplicable es imprescindible la IMPLICACIÓN DE LA POBLACIÓN OBJETO, dadas las enormes posibilidades de autoconstrucción y de autogestión de la técnica.

Así mismo, la demanda hídrica que puede satisfacer este sistema es limitada. A partir de los datos anteriores, podemos concluir que el rango de valores obtenidos está entre 2 y 10 litros/m²/día. Sin embargo, los valores más lógicos y que hacen aplicable la tecnología son a partir de 4 l/m²/día.

En todo caso, allá donde haya necesidad de agua, aunque esta tecnología no ofrezca grandes caudales, sí que es una técnica muy interesante como complemento.



Por lo tanto, como ejemplo, para una familia de 4 habitantes, estableciendo una dotación de 50 l/hab/día, se necesita un caudal de 200 litros al día.

Suponiendo un rendimiento del captador de agua de niebla de 4 litros/m²/día, los metros cuadrados necesarios de malla captadora serían:

$$\text{Superficie de malla} = 200 \text{ l/día} : 4 \text{ l/m}^2/\text{día} = 50 \text{ metros cuadrados}$$

Conociendo que las experiencias con captadores de 24 m² han resultado muy interesantes, para el abastecimiento de la familia, con una dotación mínima, se requieren 2 atrapanieblas aproximadamente.

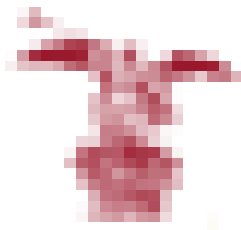
Hay que destacar, que este sistema, a pequeña escala, se ofrece como una medida complementaria. En el caso de aumentar la escala del proyecto, sí que puede convertirse en una experiencia principal, tal y como se describe en las experiencias previas.

8.3 Autoconstrucción y autogestión

Para que la instalación sea aplicable, se propone la autoconstrucción de la misma, mediante los materiales más adecuados disponibles cada localización. De este modo, los costes serían mínimos, tanto los de instalación como los de mantenimiento.

Así pues, la autoconstrucción permitiría aumentar la aplicabilidad de la técnica de captación en la medida en que:

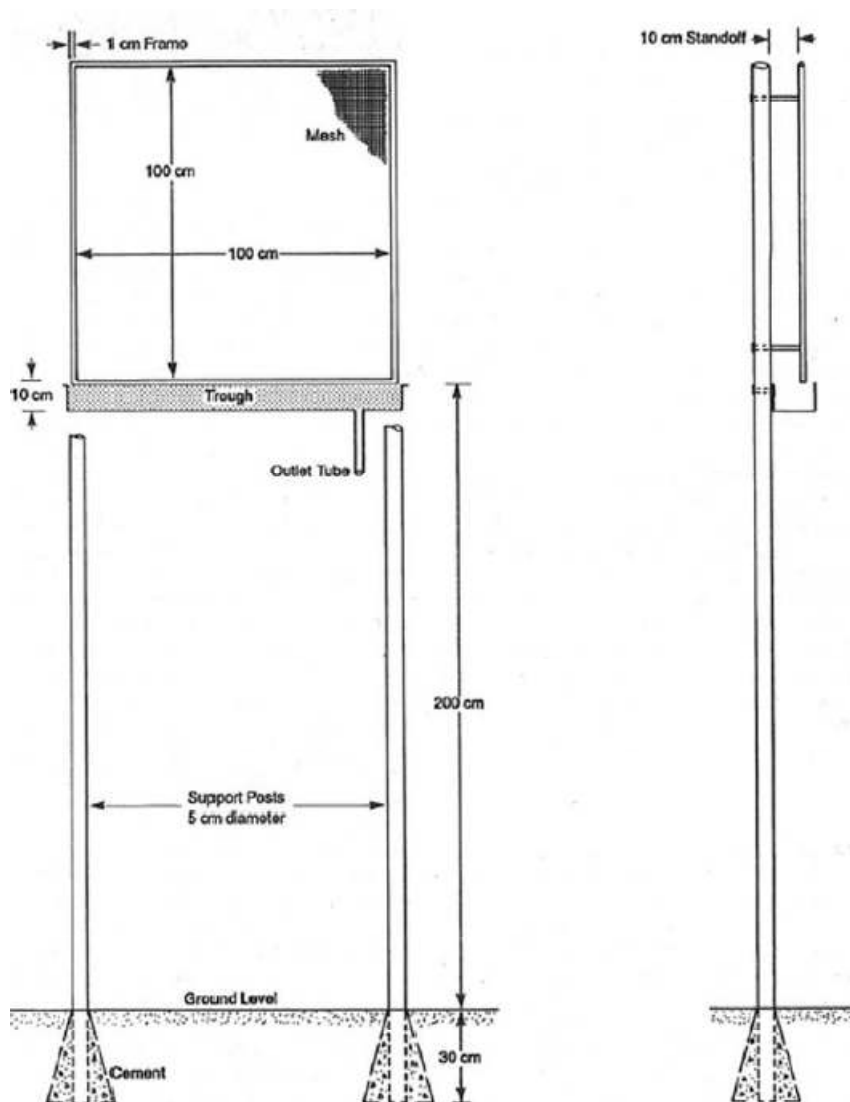
- Los materiales a emplear son los disponibles, reduciendo así costes y dependencia de agentes externos.
- Los actores implicados, la población objeto del proyecto, serán los ejecutores del mismo, aprendiendo y compartiendo conocimiento, y diseñando así sus propios sistemas de captación, pudiendo posteriormente ofrecer un mantenimiento optimizado, a partir del conocimiento generado.

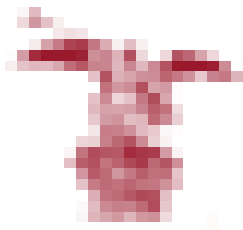


9. MANUAL DE AUTOCONSTRUCCIÓN

A continuación se desarrolla el Manual de Autoconstrucción de un Captador Pasivo de Agua de niebla.

La manera de construir el neblinómetro y el captador es similar, únicamente cambiarán las dimensiones de los mismo. Para el manual se considera la autoconstrucción del Estándar Fog Collector, es decir, del neblinómetro.





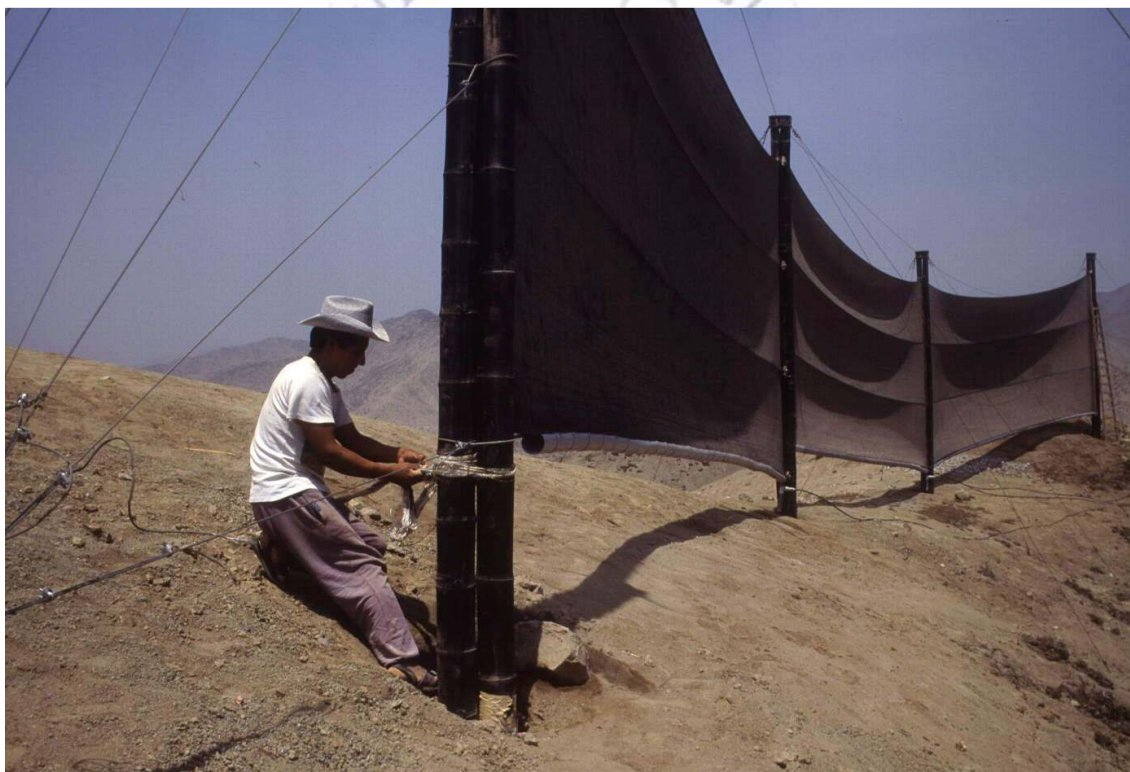
9.1 Autoconstrucción del soporte

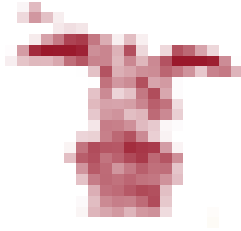
Primeramente se procede a la elección del material más adecuado, en función de las posibilidades técnicas y económicas de la zona.

Se debe realizar una excavación para apuntalar los soportes, independientemente del material. Si se dispone de material de obra, se puede construir una zapata para la base de los mismos, o bien instalarlos sobre bloques o piedras.

El refuerzo de la base se puede realizar a base de piedras.

Los soportes se apuntalan también con cables o cuerdas que los sujeten a puntos fijos del entorno.





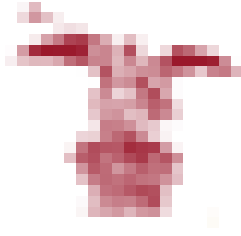
9.2 Autoconstrucción de la malla

La malla puede ser de diferentes materiales, pero debe ser resistente y permitir la condensación del agua de la niebla.

La malla se ata a los soportes. Otra de las opciones es disponerla en un marco, el cual se acopla a los soportes.

La tensión de la malla no debe ser la adecuada como para minimizar el movimiento de la malla, y así evitar la pérdida de gotas por el viento. Así mismo, una malla con una elevada tensión puede romperse más fácilmente.



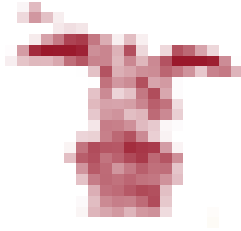


9.3 Autoconstrucción de la canaleta

Será el colector del agua condensada en la malla. Se instala de sobre la base de la malla. Este colector puede ser de sección circular, de sección rectangular, etc. Lo importante es que se ajuste lo máximo a la malla, para evitar la entrada de polvo e impurezas.

Se dispondrá con una pendiente mínima de 1% hacia el colector de salida.





9.4 Autoconstrucción del sistema de recogida

Será el colector del agua condensada en la malla. Se instala sobre la base de la malla. Este colector puede ser uno de estos sistemas:

Salida de la canaleta + conexión a depósito + depósito de acumulación

Salida de la canaleta + distribución + conexión a depósito + depósito de acumulación

El depósito se debe situar a una cota menor a la de todo el sistema, y la entrada debe ser superior.





10. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

A continuación se tabulan las ventajas y desventajas de la técnica descrita:

VENTAJAS
Es una técnica que no depende de grandes inversiones.
Es de fácil instalación y manejo y de BAJO COSTO
Permite la AUTOCONSTRUCCIÓN
Permite la AUTOGESTIÓN
Aplicable a nivel unifamiliar
No requiere de grandes inversiones
Gran variabilidad
Construcción modular
No tiene porqué consumir electricidad
Rendimientos viables para soluciones determinadas
Posible complemento a otras soluciones
En algunos casos se consigue más agua que con los sistemas de captación de agua de lluvia
Permite además captar el agua de lluvia



DESVENTAJAS

Elevadas exigencias geográficas

Discontinuidad de la niebla

Reducción del rendimiento a determinadas velocidades de viento

Requiere la presencia de un viento suave

La calidad del agua obtenida puede obligar a realizar un tratamiento adicional

Vulnerable frente a determinados fenómenos meteorológicos





11. CONCLUSIONES

Tras el estudio realizado sobre la aplicabilidad de la captación pasiva de agua de niebla, como conclusión general se puede afirmar que:

La captación pasiva de agua de niebla es un sistema que permite la obtención de una fuente adicional de agua, de forma sostenible, y con un elevado potencial de autoconstrucción y autogestión.

- Hace 30 años, el meteorólogo canadiense Robert Schemenauer se paró a pensar en cómo era posible que sobreviviera la vegetación selvática de algunas zonas del mundo donde apenas llovía. Y se dio cuenta de que lo hacía gracias a los bancos de niebla. A imagen y semejanza de la naturaleza, diseñó unas mallas de hilo capaces de recoger el agua de la niebla y abastecer a poblaciones enteras. Es una técnica que parte DE LA OBSERVACIÓN DE LA NATURALEZA y del estudio de TÉCNICAS ANTIGUAS.
- Es una técnica que no depende de grandes inversiones.
- Es de fácil instalación y manejo y permite la AUTOCONSTRUCCIÓN Y LA AUTOGESTIÓN.
- Es una técnica que no se asocia a grandes inversiones, por lo que es aplicable a nivel unifamiliar.
- Ofrece un gran abanico de posibilidades de construcción a partir de materiales alternativos.
- La escala de aplicación es muy variable, abarcando desde modelos unifamiliares, hasta instalaciones de más dimensión.
- No requiere el empleo el consumo de electricidad, dado que los sistemas se instalan en cotas elevadas, por lo que el transporte y almacenamiento del recurso puede realizarse por gravedad.
- En el caso de los atrapanieblas, estos permiten captar un recurso de agua potencial, que hoy se usa casi exclusivamente en forma natural. En los lugares donde se dan las



condiciones adecuadas, el obtener agua a partir de las neblinas naturales o camanchacas es un método técnica y económicamente viable para obtención de agua.

- El método es aplicable en cordones montañosos cercanos a la costa que cierren valles interiores expuestos a alta radiación. Los captanieblas deben ubicarse en el frente donde llega la camanchaca y en portezuelos que canalizan la niebla hacia el valle posterior.
- Los rendimientos esperables se sitúan de 2 a 10 l/m²/día.
- Los trabajos ya realizados demuestran de que el captar agua de las neblinas es viable. Sin embargo también han habido fracasos en este tema. Varias veces no se ha respetado las consideraciones generales para captar esta neblina dinámica y no se ha captado lo esperado o bien el agua ha estado contaminada con sales. Esto último ha ocurrido en las costas del Perú donde las neblinas de muy baja altura se contaminan con sal proveniente del mar.
- Por otro lado existe aún trabajo por realizar para determinar tanto cual es la "carga" en agua recolectable de estas neblinas y cual es la geometría óptima de los captanieblas.
- Pierde efectividad con velocidades de viento más altas. La geometría tridimensional utilizada en los trabajos de la Universidad Católica del Norte favorecen la captación en cualquier dirección, así como el recuperar agua que de otra forma se perdería, pero tiende a costos mayores por metro cuadrado de área de captación.
- Con la niebla se dispone de un recurso de agua que apenas ha sido utilizado y puede ser una excelente solución para abastecer lugares que de otra forma tendrían penuria total de este vital elemento.
- Es imprescindible la IMPLICACIÓN DE LA POBLACIÓN OBJETO, para permitir la AUTOCONSTRUCCIÓN Y LA AUTOGESTIÓN.
- En muchos de los lugares estudiados, se consigue más agua que en sistema de captación de agua de lluvia, incluso en zonas de clima Mediterráneo, que no son tan secos como las zonas áridas estudiadas.
- Es imprescindible realizar un estudio previo para evaluar la viabilidad de la instalación así como la orientación adecuada.
- Evidentemente, este sistema no supone la estrategia única para solucionar los problemas de abastecimiento de una sociedad que consume en torno a 200 o 250 litros de agua al



día. Sin embargo, la técnica de captación de agua de nieblas es un recurso potencialmente interesante y se podría evaluar en algunos lugares, porque los resultados son excelentes y la instalación no es cara, y permiten alcanzar niveles de dotación mínimos, establecidos por la OMS.

- El principal factor limitante es la situación orográfica y geográfica, que tiene que ser allá donde exista la formación de nieblas de advección.
- El sistema de atrapanieblas es capaz de generar “nueva agua” y es simple, de bajo costo y de fácil construcción y mantención
- A pesar de ello no se han multiplicado las experiencias en la costa norte de Chile, una zona que sí que presente las condiciones adecuadas. Las explicaciones son varias, las más generalizadas corresponden a la dificultad de la población para acoger tecnologías no tradicionales y el desconocimiento de los trabajos y procedimientos.
- La malla utilizada debe tener una cobertura del 35-40 % y de doble capa.
- La vida útil de los captadores, se estima de 3 años para la malla y de 10 para la instalación, en instalaciones de polipropileno para la malla y acero inoxidable para los soportes.
- Las recomendaciones geográficas realizadas por Schemenauer a la hora de seleccionar un emplazamiento para implantar un sistema pasivo de captación de agua de niebla, que son las siguientes:
 - La presencia de vientos persistentes de una misma dirección y la existencia de cadenas montañosas cercanas a la costa capaces de interceptar las nubes bajas impulsadas por esos vientos y orientadas perpendicularmente a la dirección de los vientos dominantes.
 - Altitudes entre 400 y 1.000 metros sobre el nivel del mar.
 - La distancia hasta la costa debe ser la menor posible, siendo los emplazamientos ideales los que se encuentran a menos de 5 km del mar, aunque también se consideran con posibilidades las áreas separadas 25 km de la costa.
 - Espacio suficiente para poder instalar el colector de niebla.
 - La ausencia de obstáculos en el relieve próximo (montañas, picos, etc.) que desvíen la trayectoria de los vientos e impidan que la niebla intercepte con el emplazamiento seleccionado.
 - Las crestas de cadenas montañosas suelen ser óptimas para la captación de la niebla, aunque se deben evitar los lugares con presencia de pendientes muy



pronunciadas que favorecen la componente vertical del viento, dificultando la recolección de la niebla.

- La reducción de la superficie de exposición de la malla de 48 m² a 24 m² y el refuerzo mecánico de las estructuras también ha mejorado el aguante físico de los colectores.
- El principal problema que existe en zonas como Namibia para poder instalar con éxito colectores de niebla capaces de suministrar agua a la población, son las tormentas de arena que suelen ocurrir en los meses de invierno, que traen vientos del este con velocidades entre 86 y 115 km/h, que provocan la rotura mecánica de los colectores y mallas.





12. DOCUMENTACIÓN GRÁFICA

VEASE DOCUMENTOS ANEXOS





13. FUENTES DE DATOS

- Historia Natural del Parque Nacional Bosque Fray Jorge (F.A. Squeo, J.R. Gutiérrez & I.R. Hernández, Eds.) Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, Chile (2004) 16: 281 -292
- Los atrapanieblas, tecnología alternativa para el desarrollo rural sustentable Pilar Cereceda
- LOS ATRAPANIEBLAS DEL SANTUARIO DEL PADRE HURTADO Y SUS PROYECCIONES EN EL COMBATE A LA DESERTIFICACIÓN Pablo Osses, Robert S. Schemenauer, Pilar Cereceda, Horacio Larrain y Cristóbal Correa
- <http://www.ecofriend.org/entry/water-conservation-made-easy-with-the-latest-fog-and-dew-collectors/>
- MARZOL
- FogQuest
- Cuarta Conferencia Internacional de Niebla, Captación de Niebla y Rocío.
- Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo