

EL POTENCIAL HIDRICO DE LOS *STRATOCUMULUS* SUBTROPICALES. EL CASO DE CANARIAS Y MARRUECOS

M^a Victoria Marzol Jaén ⁽¹⁾ y José Luis Sánchez Megía ⁽²⁾

⁽¹⁾ Universidad de La Laguna. Departamento de Geografía. 38071 La Laguna. mmarzol@ull.es

⁽²⁾ Centro Meteorológico Territorial en Canarias Occidental. San Sebastián, 77. 38071 Santa Cruz de Tenerife. sanchezmegia@inm.es

INTRODUCCIÓN

Los *Stratocumulus* son un género de nubes que, por su formación próxima a la superficie terrestre, inferior a 1.500 metros de altura, tienen temperaturas positivas y en su composición predominan las gotitas o gotículas de agua, y en el mejor de los casos gotas de lluvia. En ciertas regiones de la Tierra su formación está en relación a una estructura anómala de las capas bajas de la atmósfera, generada por una inversión térmica de subsidencia entre los 1.000 y 1.500 metros de altitud, que comprime el aire desde la parte superior e impide el desarrollo vertical de la nubosidad estratiforme. Es el caso del litoral occidental de los países situados en latitud subtropical como Marruecos, Namibia y Sudáfrica en el Atlántico, la costa californiana y chilena en el Pacífico o el litoral suroeste del continente australiano. Esas regiones, además de una inversión de subsidencia persistente, están bajo los efectos de corrientes oceánicas de carácter frío que intensifican esa ruptura del gradiente térmico vertical por la base y que aportan grandes cantidades de vapor de agua para la formación de las gotas de nube. Las islas Canarias, al igual que las de Cabo Verde, forman parte de esos territorios aunque su carácter insular les imprime unos rasgos climáticos y geográficos específicos que matizan los efectos de esa nubosidad.

A pesar de ser nubes constituidas fundamentalmente por gotas de agua, en raras ocasiones dan lugar a lluvias porque el diámetro de las gotas es tan reducido que no pueden caer a la superficie de manera convencional y se quedan en el interior de la nube a merced del viento. Este es el motivo por el que todas esas regiones constituyen los mayores desiertos del mundo, no en el sentido de sus dimensiones sino en el de su intensidad dada las escasas lluvias que reciben. El clima dominante es el de un desierto nuboso, con una precipitación anual inferior a 100 mm o incluso menos, tal como ocurre en la costa norte de Chile (Iquique tiene 15,0 mm de media anual), y con una humedad relativa alta, sobre todo durante el verano (superior al 70% en el estío). Las temperaturas son moderadas incluso en verano y la insolación reducida debido a la frecuente

nubosidad estratiforme. Otro rasgo que caracteriza al clima de esas regiones es el elevado número de días con niebla, sobre todo en verano (Marzol, 2004, 2007). En esta ocasión, son nieblas de advección fruto del contacto del *Stratocumulus* con los relieves continentales e insulares.

OBJETIVO, METODO Y ÁREAS DE ESTUDIO

El objetivo de este artículo es presentar los resultados que atestiguan que es posible obtener de manera artificial parte del contenido líquido de las nubes estratocumuliformes. Se trata de una tecnología de bajo coste y accesible para su aplicación en territorios con escasos medios económicos y alejados de los sistemas de distribución del agua potable. El agua obtenida por este sistema no es la solución a su falta en lugares donde hay un elevado consumo de la misma pero sí lo es para comunidades rurales pequeñas que no tienen acceso al agua potable.



Fig. 1.- Modificaciones del banco de *Stratocumulus* por el relieve de las islas atlánticas y la costa marroquí.

Los *Stratocumulus* estudiados son los generados por el anticiclón de las Azores, que en su avance hacia el sur afectan a las islas de Madeira y Canarias (mar de nubes), al litoral de Marruecos (*tagut* en bereber) y, finalmente, a las islas de Cabo Verde.



Fig. 2.- Mar de nubes retenido en su trayectoria atlántica por la altitud de la isla de Tenerife y comprimido en su desarrollo vertical por la inversión térmica alrededor de 1.200 metros de altitud.

En Canarias, la investigación de la captación del agua del mar de nubes se realiza desde 1993 en varios sectores de la isla de Tenerife (Teno, El Gaitero y Anaga) situados a diferentes altitudes y distancia de la línea de costa, con el fin de establecer la potencialidad de esa nubosidad en su base, la cima y el sector central. En Marruecos se trabaja desde junio de 2006 en colaboración con la Fundación Si Hmad Derhem (Casablanca). Los lugares elegidos son la costa de Sidi Ifni, a la misma latitud que Canarias, y Boutmezguida, situado a 30 km hacia el interior, al SE de Sidi Ifni y a 1.225 m de altitud.

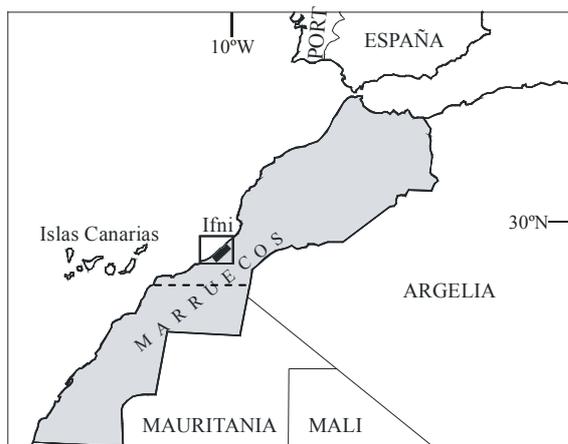


Fig. 3.- Áreas de experimentación en la obtención artificial del agua de la nubosidad estratiforme en Canarias y Marruecos.

El agua obtenida en Tenerife se destina a usos forestales (reforestación de especies autóctonas en el

bosque de la laurisilva), a bebederos para el ganado caprino, al mantenimiento de agua en una casa forestal y a rellenar depósitos de agua en el bosque para casos de incendios. En el caso de Marruecos, los dos lugares en los que se investiga tienen un alto interés biológico y ecológico por la diversidad de especies vegetales representativas de la flora de la Macaronesia (*Echium plantagineum*, *Euphorbia regis-jubae*, *Senecio antheuphorbium*, etc.) y en el segundo, Boutmezguida, además, vive una población dispersa de 1.000 personas dedicada a la agricultura marginal por la pobreza de los suelos y la escasa pluviosidad, a la apicultura y a la ganadería (unas 6.000 cabezas de ganado). Todas estas actividades tienen una gran dependencia del agua, un recurso cada vez más escaso y que condiciona la vida de la población local. En esta zona la disponibilidad de agua facilitaría la vida a la población, sobre todo la de las mujeres y los niños ya que son los encargados de ir a buscar el agua a los pozos; también ayudaría a fijar los asentamientos rurales y reduciría el éxodo de la población a las ciudades.

Los métodos e instrumentación utilizados han sido ensayados anteriormente con éxito en otros países (Chile, México, Costa Rica, Namibia, Kenia, Sultanato de Omán, etc.). En una primera fase se investiga la eficacia de captación del agua del *stratocumulus* y se designan los lugares más adecuados; para ello se utiliza el Standard Fog Collector (SFC) según el modelo de Schemenauer y Cereceda (1994) y el Quarter Fog Collector (QFC) según modelo de Marzol (2002). El SFC y el QFC son pantallas de polipropileno de 1 m² y 1/4 m² respectivamente, instaladas perpendicular al viento dominante, que de forma artificial atrapan las gotas del *Stratocumulus*, imitando al papel de las hojas de los árboles sobre las que se depositan las gotas de esta nubosidad cuando entra en contacto con el relieve.



Fig. 4.- Modelos de SFC y QFC utilizados en el estudio

Además, en el caso de Tenerife, se dispone de estaciones meteorológicas automáticas SEAC que registran la temperatura, humedad, precipitación, dirección y velocidad del viento a escala

diezminutaria, a las que se añade la posibilidad de cuantificar, con la misma escala temporal, la cantidad de agua recogida por los SFCs y QFCs.



Fig. 5.- Captanieblas de 12 m² instalada en el NW de Tenerife con la que se recolecta agua del mar de nubes

En una segunda fase, de carácter aplicada, una vez conocidas las necesidades de agua dulce del lugar y confirmada la viabilidad del aprovechamiento de la nubosidad, se construyen captanieblas de mayor tamaño (Large Fog Collectors, LFC) y tanques de almacenamiento del agua así como el sistema de canalización y distribución (Schemenauer & Joe, 1989). En Tenerife se ha desarrollado esa fase aplicada al construir cuatro pantallas de 12 m² con las que se obtiene agua que se utiliza en una casa forestal y en la reforestación de especies endémicas en el Parque Rural de Teno, en el NW de Tenerife (fig. 5 y 6).

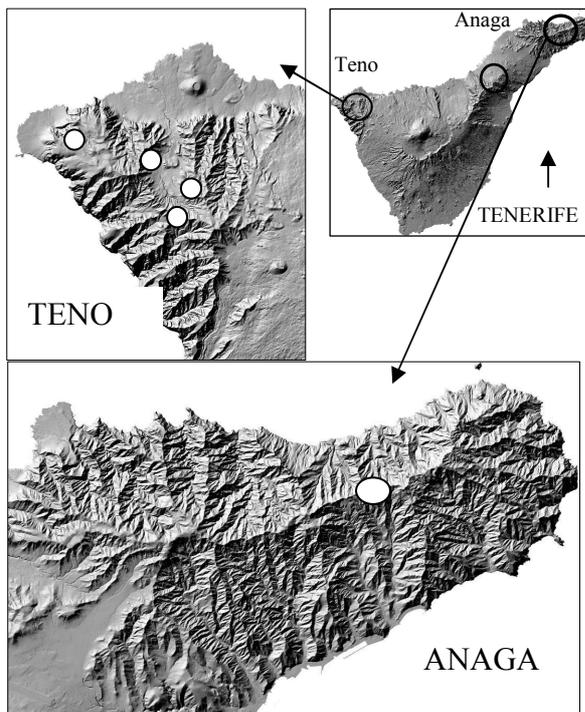


Fig. 6.- Áreas de experimentación en la isla de Tenerife

En el caso de Marruecos, después de año y medio de experimentación, se opta por continuar los trabajos sólo en Boutmezguida por dos motivos: una mejor eficacia de captación de agua y una mayor necesidad de agua de la población local que justifican pasar a la aplicación del sistema.

La orografía, topografía y altitud de los lugares, junto con la distancia al mar, son condicionantes geográficos locales de gran importancia en la evolución y trayectoria de la nubosidad. Por ese motivo es vital que en la primera fase de la investigación se analice con detenimiento la dinámica de los vientos en relación con la optimización de la captación artificial del agua de las nubes para determinar cual es la dirección óptima que deben tener las pantallas.

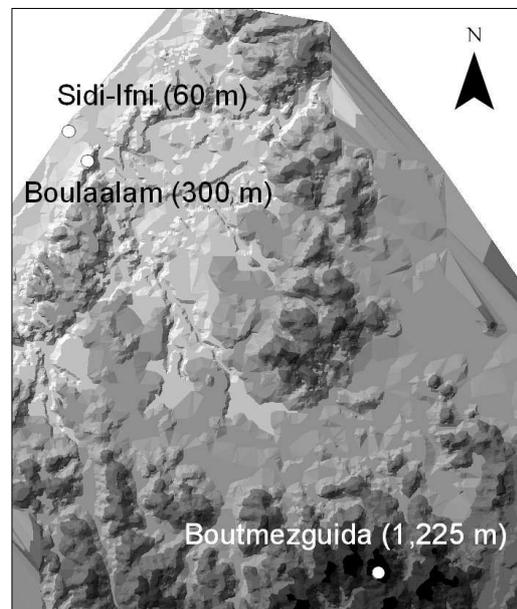


Fig. 7.- Lugares de experimentación en Marruecos

RESULTADOS

En Tenerife los mejores resultados se obtienen en el NE de la isla, en las cumbres de Anaga, a 864 m de altitud y a 4 km de la costa, con un promedio de 3,5 litros/m²/día. Conforme nos alejamos del litoral y ascendemos en altitud disminuye la eficacia de captación. Por el contrario, en Marruecos el promedio mayor se obtiene a 30 km de la costa atlántica, con 7,1 l/m²/día, y no en la costa, a una altitud de 300 metros, donde la media es sólo de 1,9 l/m²/día (tabla 1). La justificación de esta diferencia está en la escasa altitud del relieve litoral, entre 300 y 350 metros, que no es suficiente para detener la capa de *Stratocumulus*.

En Tenerife, la recolección artificial del agua del mar de nubes tiene una clara variación *estacional*, es

mayor en verano –del orden de 9,0 l/m²/día- que en invierno –inferior a 1,0 l/m²/día-, y *diaria* porque es más frecuente en las horas nocturnas (en el 50% de los días del año y hasta el 80% en los días de verano) que al mediodía (en menos del 20% de los días). En la figura 8 se observa cómo el modelo de la eficacia horaria de captación de agua del mar de nubes en Tenerife se repite tanto en verano (junio) como en invierno (febrero), si bien la captación es mucho más frecuente y se obtiene mayor cantidad de agua por este sistema en los meses estivales que en los invernales.

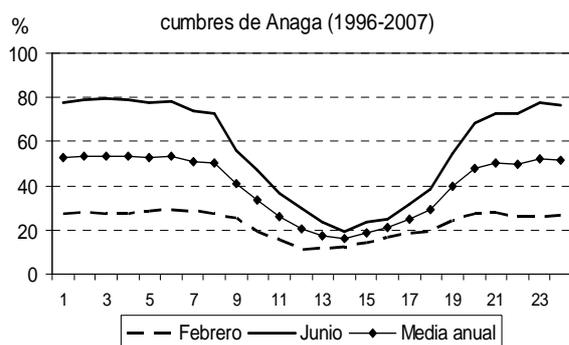


Fig. 8.- Distribución horaria de la captación de agua del mar de nubes en el NE de Tenerife.

En Marruecos los promedios diarios más elevados no coinciden en la costa y el interior (tabla 1); mientras que en la primera son en verano, en el segundo se consiguen en primavera y comienzos del verano.

Tabla 1. Promedios diarios de agua captada artificialmente de los *Stratocumulus* en Tenerife y Marruecos

Estaciones	TENERIFE	MARRUECOS	
	ANAGA	BOULAALAM	BOUTMEZGUIDA
Meses	l/m ²	l/m ²	l/m ²
Enero	0.4	0.5	3.4
Febrero	0.6	1.7	9.1
Marzo	1.4	1.2	3.7
Abril	2.8	1.3	20.3
Mayo	3.4	1.2	9.9
Junio	7.6	3.4	17.2
Julio	9.9	5.7	0
Agosto	9.2	2.6	3.5
Septiembre	4.7	2.3	6.1
Octubre	1.2	0.7	3
Noviembre	0.6	1.4	4.3
Diciembre	0.3	0.6	4.2
AÑO	3.5	1.9	7.1

La ausencia de captación de agua en el mes de julio en Boutmezguida, a 1.225 metros de altitud, se explica por el predominio de vientos secos desde el Sahara (*Cherguis*) que impiden el avance de la nubosidad desde el Atlántico hasta ese lugar.

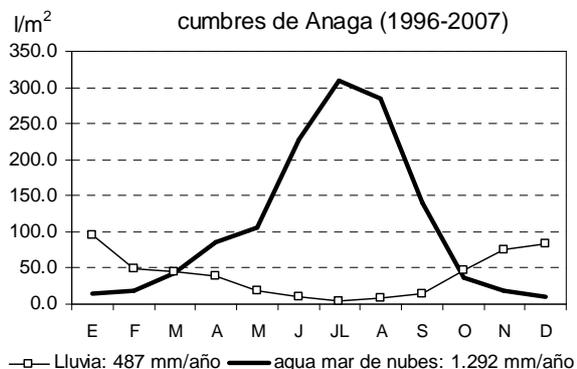


Fig. 9.- Promedios mensuales de la precipitación y del agua captada del mar de nubes en el NE de Tenerife

Al comparar el volumen de agua colectada en sentido vertical por el pluviómetro (lluvia convencional) y en sentido horizontal por las pantallas proveniente exclusivamente de la niebla se observa, en primer lugar, que la diferencia de medida entre ambos sistemas es de 2,6 veces más en la malla que en el pluviómetro; esos valores significan que la vegetación a esa altitud recibe más agua por este sistema que a través de la lluvia. En segundo lugar, hay que destacar el enorme valor ecológico de ese recurso porque su abundancia en los meses secos, hasta 300 l/m² en julio, cuando se produce un stress hídrico de la vegetación debido a la ausencia de lluvias.

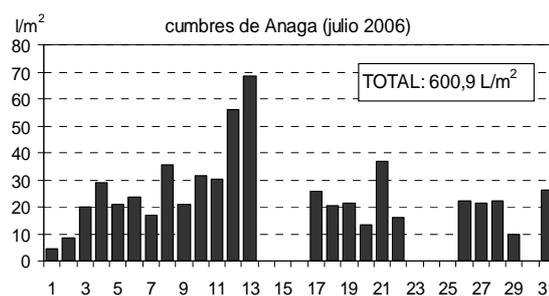


Fig. 10.- Cantidades diarias de agua recolectada sólo de la niebla en julio de 2006 en Anaga

Lo ocurrido en el mes de julio de 2006 es un ejemplo de la dinámica de la captación de agua de la nubosidad a través de este sistema artificial durante el verano. En este mes no se produjo precipitación alguna y, sin embargo, se colectaron 600,9 litros/m²; en casi todos los días hubo niebla en el NE de

Tenerife y se llegó a obtener hasta 70 l/m² en un solo día.

La calidad físico-química del agua colectada es uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta en la investigación de la viabilidad de este sistema de abastecimiento puesto que el agua obtenida va a ser utilizada por personas y animales. Para ello se han realizado varios análisis químicos del agua en las dos áreas de estudio tinerfeñas, de las que se presentan los resultados de dos fechas concretas en la tabla 2. Se han medido el pH, cloruros, sulfatos, carbonatos, sodio, potasio, calcio, magnesio, etc. y en todos los casos tanto el Laboratorio de Control y Calidad de Aguas AGENER como el Laboratorio SEMALL de la universidad de La Laguna confirman que el agua es potable y aconsejan su mezcla con aguas de peor calidad por su escaso contenido en minerales.

Tabla 2. Valores obtenidos del análisis químico del agua del mar de nubes realizado en dos fechas en Tenerife.

PARAMETROS	TENO	ANAGA
	07/07/2002	25/04/2006
pH en laboratorio	6,95	6,30
sólidos en suspensión		1,02
conductividad	53,00	52,60
Dureza	25,00	6,40
Sodio	5,80	3,66
Potasio	0,50	3,68
Calcio	0,00	1,04
Magnesio	0,50	0,93
Cloruro	13,90	13,41
Sulfato	2,80	3,13
Nitrato		0,03
Nitrito		0,07
Fluoruro		0,26
Fosfato		0,08
Carbonato		0,00
Bicarbonato	14,60	6,59
Aptitud	APTA	APTA

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos hasta el momento avalan la viabilidad de colectar de forma artificial parte del contenido líquido de las nubes estratocumuliformes

que los vientos alisios del anticiclón de las Azores transportan por el Atlántico hasta las islas Canarias y la costa de Marruecos. El uso de este agua debe ser considerado siempre como un recurso suplementario al obtenido de las precipitaciones, nunca como el sustituto de las mismas en regiones áridas y desérticas.

La estacionalidad clara que posee este recurso le añade un valor ecológico inestimable porque está más presente y es más importante en el momento más seco del año, el verano, cuando no existe aporte hídrico significativo de la precipitación.

REFERENCIAS

- Cereceda, P. & Schemenauer, R. (1996) La niebla: recurso para el desarrollo sustentable de zonas con déficit hidrológico. En Marzol, M^a V.; Dorta, P.; Valladares, P. (Eds.) *Clima y agua: la gestión de un recurso climático*. Tabapress. Madrid, 25-33.
- Marzol, M^a V. & Valladares, P. (1998) Evaluation of fog water collection in Anaga (Tenerife, Canary Islands) *Ist internacional Conference on fog and fog collection*. Vancouver (Canada), 449-452.
- Marzol, M^a V. (2002) Fog water collection in a rural park in the Canary Islands (Spain). *Atmospheric Research*, 64, 239-250.
- Marzol, M^a V. (2003) *La captación del agua de la niebla en la isla de Tenerife*. CajaCanarias. Santa Cruz de Tenerife.
- Marzol, M^a V.; Alaeddine, A.; Sánchez Megía, J.L.; Derhem, A. (2007) Evaluation of Fog Collection in Ifni, Morocco. *Fourth International Conference On Fog, Fog Collection and Dew*. Chile, p. 387-390.
- Marzol, M^a V. (2008) Temporal characteristics and fog water collection during summer in Tenerife (Canary Islands, Spain). *Atmospheric Research*, 87, 352-361.
- Marzol, M^o V. & Sánchez Megía, J.L. (en prensa) Fog Water Harvesting in Ifni, Morocco. An assessment of potential and demand. *Die Erde*.
- Schemenauer, R. & Joe, P. (1989) The collection efficiency of massive fog collector. *Atmospheric Research*, 24, 53-69.
- Schemenauer, R. & Cereceda, P. (1994) A proposed standard fog collector for use in high-elevation regions. *Journal of Applied Meteorology*, 33 (11), 1313-1322.