

REVISTA DE GEOGRAFÍA

Norte Grande

Revista de Geografía, Norte Grande
Pontificia Universidad Católica de Chile
hidalgo@geo.puc.cl
ISSN (Versión impresa): 0379-8682
CHILE

2005

Pablo Osses / Constanza Barría / Martín Farías / Pilar Cereceda
LA NUBE ESTRATOCÚMULO EN TARAPACÁ, CHILE. VALIDACIÓN DE IMÁGENES
GOES MEDIANTE OBSERVACIÓN EN TIEMPO REAL (17 AL 26 DE JULIO DEL
AÑO 2002)

Revista de Geografía, Norte Grande, julio, número 033
Pontificia Universidad Católica de Chile
Santiago, Chile
pp. 131-143

La nube estratocúmulo en Tarapacá, Chile. Validación de imágenes GOES mediante observación en tiempo real (17 al 26 de julio del año 2002)¹

PABLO OSSES², CONSTANZA BARRÍA³, MARTÍN FARÍAS², PILAR CERECEDA²

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue comparar, evaluar y validar los registros de comportamiento espacio-temporal de la nube estratocúmulo obtenidos mediante imágenes GOES, con observaciones realizadas en terreno entre las fechas 17 y 26 de Julio del año 2002 en parte del desierto costero de la I Región de Tarapacá. Entre los principales resultados está la similitud entre imágenes GOES y registro real en terreno, 92% y 79% para la tarde y madrugada respectivamente. Las observaciones fueron realizadas desde la cumbre de Cerro Carrasco, 20° 55' latitud sur -70° 05' longitud oeste, 1.596 m.s.n.m.

ABSTRACT

The main goal of the present study was, to compare, to evaluate and to validate the records of the behavior in time and space of the Stratocumulus cloud deck obtained from GOES images, with field observations done during July 17 to 26 in 2002. The main results show the similarities among GOES images and real time field records, 92% and 79% for the evening and night respectively. The observations were done from the summit of Cerro Carrasco, 20° 55' south and 70° 05' west, 1.596 m.a.s.l.

Palabras clave: Sensor remoto, validación en tiempo real, estratocúmulo

Key words: Remote sensing, real time validation, stratocumulus

En Chile y otras partes del mundo la niebla es considerada como un recurso hídrico para la población o para actividades de reforestación y conservación; por esto, se estudia como recurso hidrológico y además, como factor determinante en la presencia y regeneración de algunos ecosistemas de las zonas áridas y semiáridas. (Schemenauer y

Cereceda, 1994; Cereceda *et al.*, 2000; Osse *et al.*, 2000). Como recurso hidrológico, se ha probado con distintos niveles de éxito para abastecer de agua potable a pequeños poblados rurales, para agricultura, bebederos en predios ganaderos y reforestación (Marzol, 1994; Schemenauer y Cereceda, 1997; Osse *et al.*, 1998; Sabino, 1998).

¹ Proyecto FONDECYT N° 1010801 (Años 2001-2003).

² Instituto de Geografía. Pontificia Universidad Católica de Chile. E-mail: posses@uc.cl; mfarriass@uc.cl; dcereced@uc.cl

³ Licenciada en Geografía. Pontificia Universidad Católica de Chile. E-mail: mcbarria@uc.cl

En 1997 se inició una investigación interdisciplinaria en el desierto costero de la Primera Región de Tarapacá, específicamente entre Pisagua y la desembocadura del río Loa, comprendiendo la zona litoral, Cordillera de la Costa y Pampa del Tamarugal (Fondecyt 1971248 y 1010801). Estos trabajos tienen como objetivo principal conocer el origen de la niebla y su distribución, para lo cual es necesario estudiar el comportamiento espacio-temporal de los estratocúmulos. Estas nubes tienen implicancias en la formación y dinámica de la niebla, lo que es imprescindible para determinar el potencial de captación de agua y su importancia en los ecosistemas de oasis de niebla costera (Farrías *et al.*, 2002).

El presente estudio se inserta dentro de los proyectos Fondecyt antes mencionados, y utiliza el trabajo realizado por un grupo investigadores y alumnos del Instituto de Geografía UC (Osses *et al.*, 2005). Esta investigación pretende validar la utilización de imágenes obtenidas de los satélites GOES, para poder conocer la dinámica de la nube estratocúmulo sobre áreas reducidas, por ello se trabajó sobre una superficie de 6.000 km². En este contexto, se compararon y evaluaron los registros de la nube estratocúmulo obtenidos mediante imágenes GOES, con observaciones de terreno, ambos entre las fechas 17 y 26 de julio del año 2002 en parte del desierto costero de la I Región de Tarapacá.

Génesis del fenómeno

Las nubes estratocúmulos se caracterizan por ser nubes bajas cuya base se ubica, generalmente, a una altura de entre 500 y 2.000 m.s.n.m. En el área estudiada, la altitud que alcanza la nube está definida por la altura de la inversión térmica. La nube tiende a formarse en capas delgadas, pero puede alcanzar hasta cientos de kilómetros de extensión, lo que sucede frente a las costas del norte de Chile, donde pueden cubrir grandes áreas sobre el océano Pacífico (Cuadrat, 2000).

En Geofísica y Meteorología se ha logrado una definición de parámetros determinantes en la generación de nieblas costeras y se han analizado los factores de distribución espacial y temporal (Fuenzalida *et al.*, 1988; Marzol *et al.*, 1994; Olivier, 1997 y 1998; Espejo, 1998 y 2001). Especialmente importantes son los trabajos realizados de dinámica de vientos, surgencias costeras, inversión térmica y comportamiento de la niebla (Espejo *et al.*, 1993; 1998 y 2001). Junto a estos estudios, los diferentes tipos de niebla (radiación, orográfica y de advección) han sido parte de la investigación científica.

Cuando la nube estratocúmulo que se ha formado en el océano Pacífico tiene contacto con la superficie terrestre se origina el fenómeno de las nieblas localmente conocidas como "Camanchacas", que disminuye en parte la extrema aridez del desierto de Atacama, donde se han registrado solo 5 eventos de lluvia en los últimos 20 años. Este clima extremadamente árido está asociado a la estabilidad del Anticiclón del Pacífico Suroriental, un centro de alta presión que genera el constante descenso de masas de aire seco, lo cual inhibe la formación de nubes en los niveles medios y altos de la atmósfera. En este caso, la estabilidad atmosférica es intensa y la inversión térmica inhibe los movimientos verticales, aumentando las condiciones de sequedad (Cereceda *et al.*, 2001).

En el estudio de fenómenos dinámicos en el tiempo y el espacio como la niebla, las imágenes satelitales y específicamente para esta investigación, las imágenes GOES representan una herramienta fundamental, debido a la cobertura global y periódica de la superficie terrestre, su visión panorámica, información sobre regiones no visibles en el espectro y su formato digital que facilita su procesamiento e integración con otras fuentes de información geográfica (Farrías *et al.*, 2001).

Estudios de niebla utilizando Percepción Remota, han sido realizados por el Dr. Jörg Bendix (Instituto de Geografía, Universidad

de Bonn), quien además dirige un Grupo de Estudios de Niebla y Sensores Remotos creado a raíz de la Primera Conferencia Internacional de Niebla llevada a cabo en Vancouver en 1997. El ha realizado estudios en la región Alpina como el valle del río Po, mediante imágenes NOAA-AVHRR. Se determinaron mapas de extensión vertical de las nieblas; tope de nube en base a la combinación de radiosondeo y el modelo de elevación digital; visibilidad y contenido de agua, y discriminación entre nieblas de tipo advectivo y de radiación (Bendix y Bachman, 1993; Bendix, 2001).

Metodología

Las imágenes que se utilizaron en esta investigación fueron procesadas según la metodología desarrollada por Farías *et al.* (2001), que se basa en el procesamiento de las imágenes a través de algoritmos de discriminación de nubes bajas (estratocúmulos), clasificación de las categorías de nubes mediante umbrales espectrales y el método de detección de cambios.

Durante el periodo que comprende entre el 17 y 26 de julio del año 2002, se obtuvieron del satélite GOES diez imágenes diarias a distintas horas (3:10; 4:45; 7:45; 9:10; 13:45; 15:10; 16:45; 18:10; 19:45 y 21:10 hrs.), las cuales después de ser procesadas ilustraron la cobertura horizontal de nubes bajas en el área de estudio.

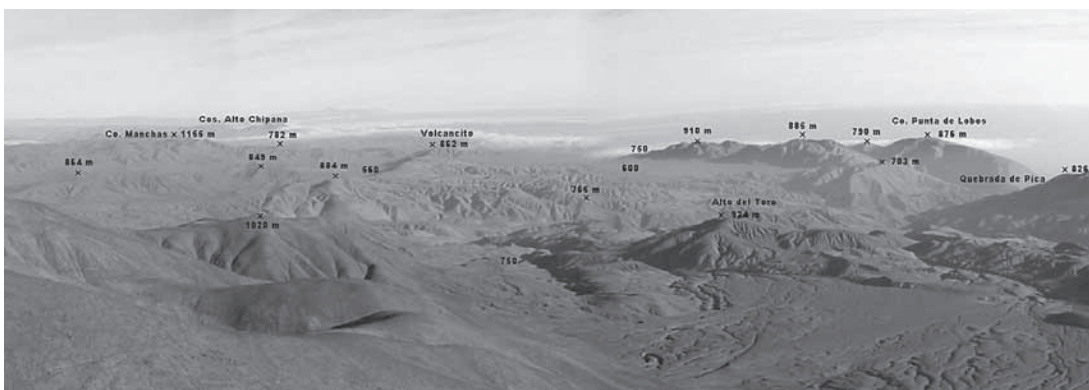
En la misma fecha se realizó una campaña de terreno, durante la cual se registró la ocurrencia de nubes estratocúmulos a las mismas horas que el satélite obtenía la información. Las observaciones, junto con mediciones de temperatura, velocidad y dirección del viento, se realizaron en dos sectores de Alto Patache a 450 y 800 m de altitud, donde se instalaron neblinómetros estándar (SFC-Standard Fog Collector) para obtener un monto diario de captación de agua de niebla. Una tercera estación, se localizó en Cerro Carrasco a 1592 m.s.n.m. desde donde se obtiene una visión panorámica del área de estudio; la captación de agua niebla se realizó solamente en Alto Pa-

tache dado que la estación de Cerro Carrasco no presenta nieblas. Las observaciones de superficie cubierta por estratocúmulos realizadas en terreno se llevaron a un SIG y se normalizaron con las imágenes GOES, dejándolas con el mismo sistema de referencia, tipo de cobertura, área de estudio e igual número de identificadores, estos últimos diferencian presencia o ausencia de nubes bajas, 1 y 0 respectivamente. Para llevar a cabo la observación visual de superficie cubierta por estratocúmulos se tomaron referencias toponímicas, altitudinales y de distancia del relieve visible desde la cumbre de Cerro Carrasco en condiciones de visibilidad total. Al observador se le equipó de cartillas plastificadas con esta información, de manera tal que pudiese comparar y determinar hasta dónde alcanza la presencia de nubes tanto en el eje vertical que corresponde al techo de la nube (mediante el contraste con altitud del relieve) como los ejes horizontales que corresponden a la extensión de la nube (mediante el contraste con los topónimos referidos y la distancia calculada a cada uno de ellos), un ejemplo de estas cartillas se puede ver en la figura N° 1, luego el observador pinta en un mapa escala 1:250.000 las superficies cubiertas y este es llevado a formato digital como se señaló anteriormente, ver figura N° 2.

Se calculó la superficie y frecuencia de estratocúmulos para los distintos días y horas en estudio, las cifras fueron llevadas a una planilla de cálculo y se analizaron visualmente las imágenes. Para conocer la coincidencia entre ambas imágenes, se realizó una tabulación cruzada, que consiste en la superposición de las imágenes y la combinación de sus identificadores, como se muestra en el cuadro N° 1.

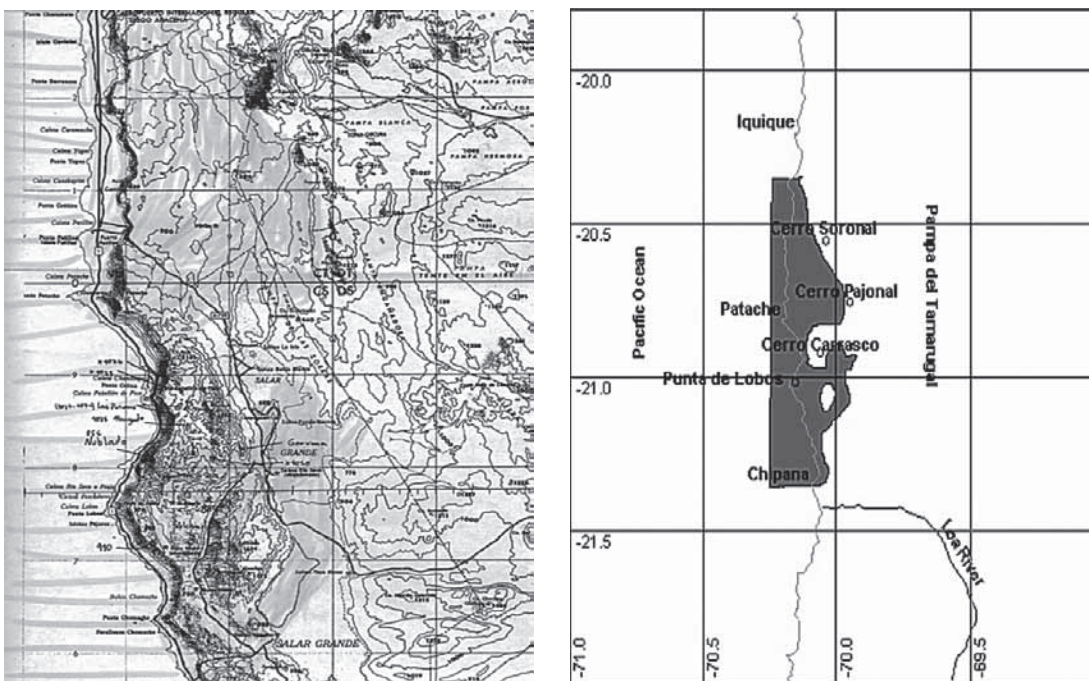
Existe coincidencia cuando las dos imágenes entregan la misma información, ya sea ausencia o presencia de nubes bajas. En cambio, cuando los dos identificadores se combinan no existe coincidencia entre las observaciones. Los resultados de las coincidencias se llevaron de igual forma a la planilla de cálculo, como también se graficaron en imágenes.

FIGURA N° 1
VISTA DESDE EL CERRO CARRASCO HACIA EL SUR-OESTE



Fuente: Fondecyt 1010801

FIGURA N° 2
REGISTRO DE TERRENO Y FORMATO DIGITAL



Fuente: Fondecyt 1010801

CUADRO N° 1
IDENTIFICADORES DE PRESENCIA Y AUSENCIA DE NUBE

ID	0	1
0	Ambas sin estratocúmulo (SC)	– Obs. Terreno sin SC – GOES con SC
1	– Obs. Terreno sin SC – GOES con SC	Ambas con estratocúmulo (SC)

Fuente: Fondecyt 1010801

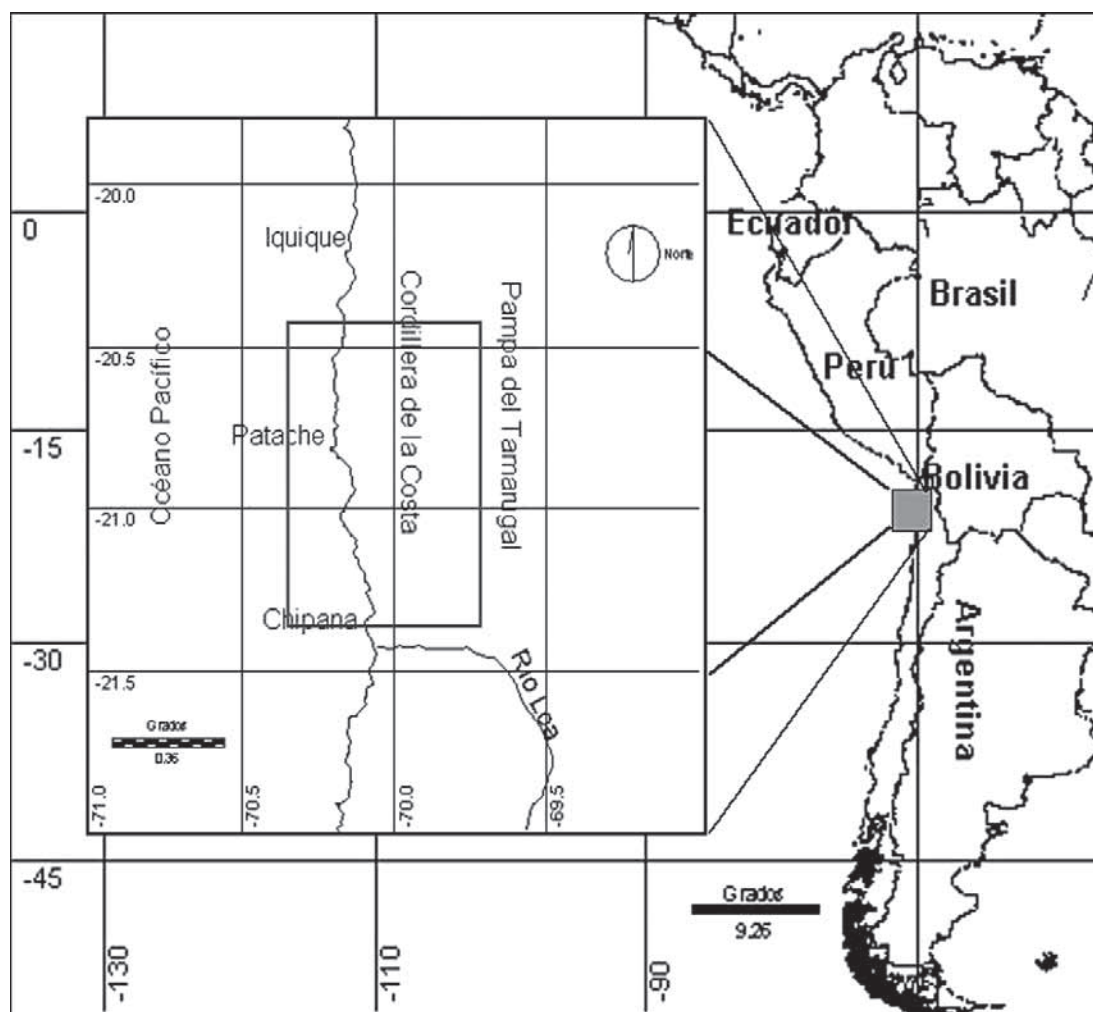
Entre las variables meteorológicas que fueron obtenidas en terreno, se realizaron correlaciones para conocer el grado de dependencia entre ellas, la de mayor relevancia se describe en los resultados.

Área de estudio

El área de estudio se localiza en el norte de Chile y corresponde al desierto occidental de la I Región de Tarapacá, cubriendo una superficie 57.000 km² (figura N° 3). Se identifican tres unidades fisiográficas, la primera es una estrecha planicie litoral que no alcanza más de 2 km de ancho. Hacia el oriente se encuentra el cordón montañoso

Cordillera de la Costa, que se inicia en un farellón que presenta altitudes entre 400 y 1.000 metros, con máximas que pueden llegar a más de 1.500 metros, como es el caso del Cerro Carrasco (1592 m.s.n.m.), que permite la constante intercepción del nivel de subsidencia atmosférica por parte del relieve. La cordillera es ancha, con 50 km en promedio. Al este de la Cordillera de la Costa se localiza la pampa del Tamarugal entre los 1.000 y 2.000 metros sobre el nivel del mar, que es considerada como la porción central del desierto de Atacama y se caracteriza por tener grandes variaciones térmicas entre el día y la noche (30°C de oscilación) y la ausencia casi total de precipitaciones.

FIGURA N° 3
ÁREA DE ESTUDIO I REGIÓN DE TARAPACÁ



Fuente: Cereceda et al., 2002.

Particularmente, la observación se realizó sobre un área de inferior extensión, dada la limitación visual natural, esta se encuentra señalada en la figura N° 3, siendo su superficie de 6.000 km² y su relieve básicamente montañoso. Esta área es suficientemente extensa como para poder trabajar de acuerdo a la resolución que tienen las imágenes GOES (1 píxel es de 4 x 4 km).

Resultados

Las curvas que se ilustran en la figura N° 4 representan el promedio de superficie continental y oceánica cubierta por estratocúmulos que muestran ambas imágenes. Claramente, su comportamiento es similar, alcanzando ambas curvas máximos y mínimos durante los mismos días, a excepción del día 26, durante el cual las observaciones en terreno detectaron mayor expansión de la nube, mientras que el GOES lo hizo el día 25.

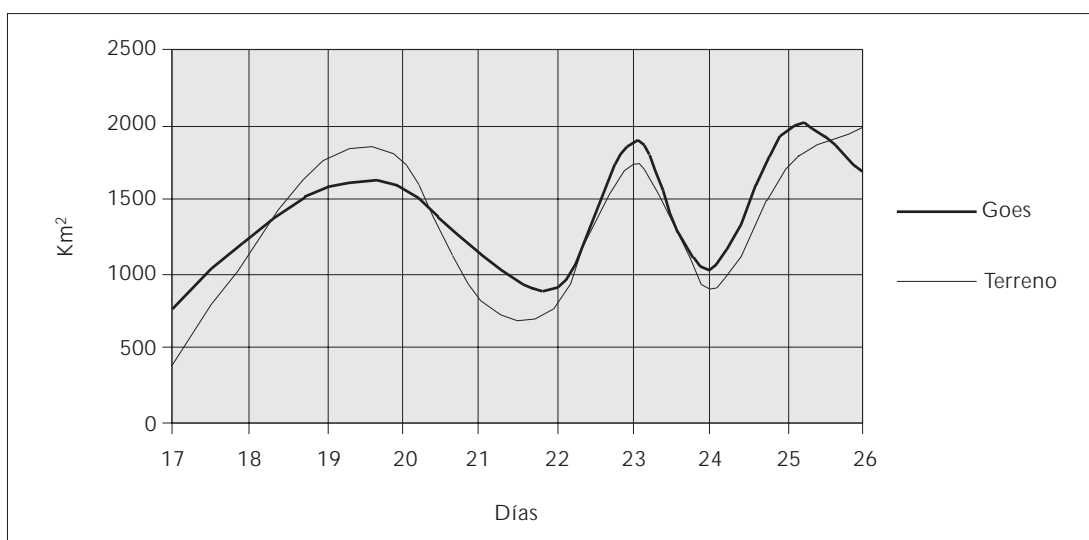
En promedio para el período completo, ambas herramientas muestran una cobertura nubosa sobre el 30% del área de estudio, pero las observaciones en terreno se alejan más de este valor y muestran mayor

amplitud que las imágenes satelitales. Por ejemplo, el día 17 fue el de menor expansión horizontal de la nube en ambos casos, pero en terreno se observó que había un 9% menos del área de estudio cubierta por nubes en contraste a las imágenes satelitales. Los días 22 y 24 se observa en terreno 2% y 5% menos de nubes que la cobertura obtenida mediante GOES.

Para los máximos de expansión sucede algo similar, pero menos marcado que en ausencia de estratocúmulos. Durante el día 23 se observó un 4% más de nubes en terreno que en las imágenes GOES, los días 19 y 20 el terreno superó en 3 puntos y durante el 26 no hubo diferencia prácticamente. Las observaciones en terreno son más oscilantes y presentan máximos y mínimos más acentuados que las imágenes satelitales, esta situación se presenta con mayor contraste cuando hay ausencia de nubes, en presencia de ellas los máximos se tienden a acercar.

Si bien ambas curvas (figura N° 4) muestran una expansión y contracción similar de la nube, ellos son promedios y no involucran la variable espacial. Para integrar

FIGURA N° 4
SUPERFICIE DE ESTRATOCÚMULO EN IMÁGENES GOES E IMÁGENES CON OBSERVACIONES EN TERRENO



Fuente: Fondecyt 1010801

esta variable en el análisis se realizó el cruce de ambas imágenes, cuyos resultados se muestran en el cuadro N° 2. Como se señaló anteriormente, la coincidencia entre las imágenes implica presencia como también ausencia de estratocúmulos, siempre que ambas imágenes muestren los mismos identificadores (ver cuadro N° 1).

Para el período total, la coincidencia promedio fue de 83,2%. El día 22 fue el que presentó una mayor coincidencia (90,6%), lo que indica que ambas imágenes detectaron presencia o ausencia de nubes en los mismos sectores. Corresponde este día al segundo con menor expansión de estratocúmulos, por lo que es de suponer que su alta coincidencia se debe más bien a la ausencia de nubes. Por el contrario, el día 19 presenta la menor coincidencia. Aunque no es el día con mayor cobertura de nubes, ellas se expandieron por casi el 40% del área de estudio, superando el promedio del período total (30%) por lo que se puede asociar la baja coincidencia con la alta expansión del manto nuboso. Al hacer una analogía entre la superficie cubierta de estratocúmulo y la coincidencia que mostraron las imágenes (cuadro N° 2), la correlación es de -62, lo que indica que en casi dos tercios de los casos la mayor expansión de la nube determina la menor coincidencia entre las dos herramientas utilizadas.

En la comparación espacial (figura N° 5) es posible distinguir los sectores donde se producen las discordancias y las coincidencias, los días 19 y 22 de julio. Hacia el interior del continente (al lado derecho de las imágenes) la coincidencia es del 100% (colores oscuros representan mayor coincidencia), debido a que en esta área hay siempre ausencia de nubes bajas, y los es-

tratocúmulos que logran atravesar la barrera orográfica de la costa se evaporan rápidamente producto de la alta insolación del desierto. Sobre la superficie oceánica sucede una situación similar, pero en este caso los altos porcentajes de coincidencia se deben a la presencia de una cobertura nubosa bastante persistente sobre la superficie oceánica.

El día 22 presentó un 20% de cobertura de nubes (menor al promedio del período, 30%) y su coincidencia supera el 90%, como se observa en el cuadro N° 2. Además las condiciones atmosféricas fueron favorablemente estables y el techo de la nube se situó a los 780 metros (el promedio para el período total es de 900 metros), lo que impidió al estratocúmulo traspasar la Cordillera de la Costa y así llegar al interior del continente.

Las diferencias se producen principalmente en la línea de costa, donde convergen los distintos factores topográficos y meteorológicos que determinan la permanencia de la nube en la franja costera y su posible avance hacia el interior.

Durante el día 19 se produjo una alta expansión de la nube sobre el continente, alcanzando la Pampa del Tamarugal. Por su parte, la altura del techo de la nube puede haber favorecido la penetración de la nube hacia el interior, ya que alcanzó durante el día un promedio de 990 m.s.n.m. En la figura N° 5 se puede observar claramente cómo disminuye la coincidencia en el interior del continente, producto de la presencia de nubes bajas, tal vez niebla de radiación, correspondiendo este día al de menor concordancia (76,6%). Al correlacionar las superficies de nubes bajas presentadas en

CUADRO N° 2
 COINCIDENCIA DE COBERTURA DE ESTRATOCÚMULO

Día	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Coincidencia (%)	86,6	87,0	76,6	85,6	89,1	90,6	82,4	78,8	81,1

Fuente: Fondecyt 1010801

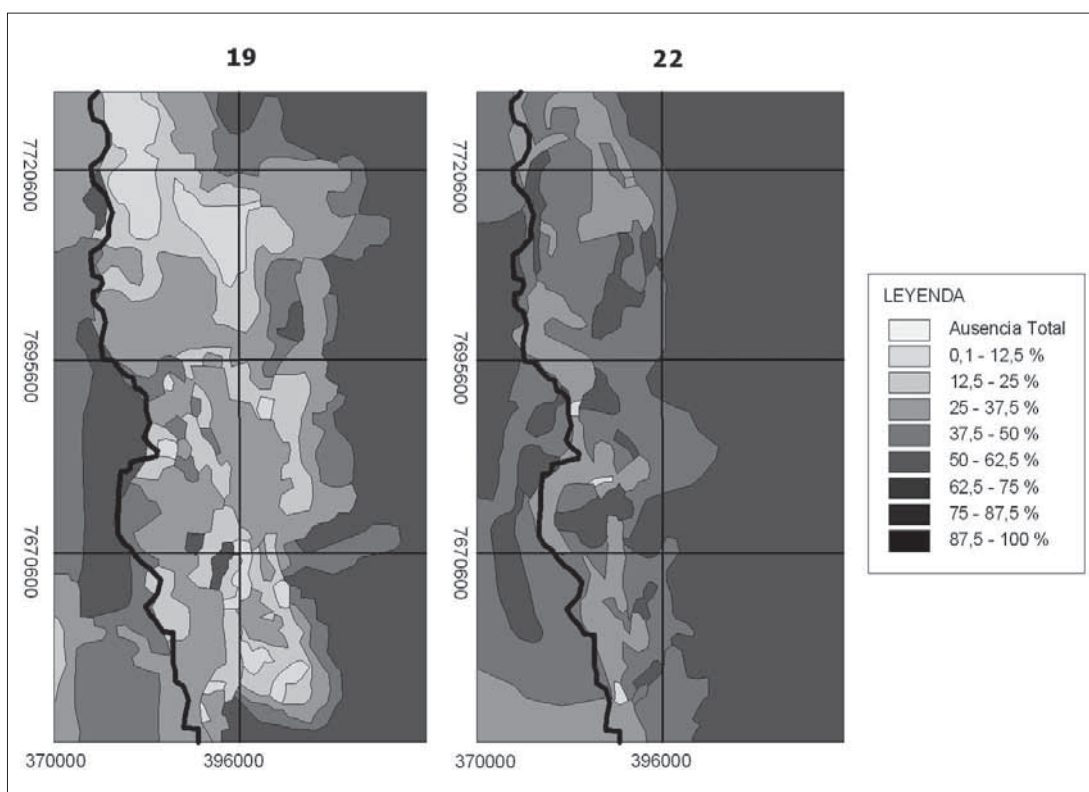
ambas imágenes para este día en particular, se obtuvo solo un 15, cifra que indica que hay escasa relación entre el comportamiento mostrado por ambas imágenes.

Las imágenes satelitales muestran, en general, una distribución uniforme de las nubes sobre el continente, una masa continua. En cambio, para el día 19, se observó una disparidad en la distribución de los estratocúmulos, se presentaron más bien como manchones de nubes, lo que indica que el patrón de distribución, la forma en que se distribuyen sobre el continente, son parámetros importantes a considerar para entender las distorsiones que se puedan generar en terreno al realizar las observaciones. Esto se traduce en la baja correlación obtenida (15), además de la alta frecuencia de discordancias que se presentan durante este día (Figura N° 5).

En cuanto a las discrepancias que se produjeron a las diferentes horas, se aprecia una clara disparidad entre los muestreos realizados con luz solar y los carentes de ella, como se señala en el cuadro N° 3.

La coincidencia durante la noche disminuye notablemente, en contraste con las de día. La campaña de terreno se realizó durante período de luna llena con el fin de contar con mayor iluminación nocturna, y así poder hacer las observaciones; sin embargo, no es posible para el observador registrar y tener la misma visión que durante el día. El satélite, en cambio, reconoce de igual forma la presencia de estratocúmulos durante el día y durante la noche, por su capacidad de registrar las imágenes terrestres en varias bandas espectrales.

FIGURA N° 5
FRECUENCIA DE COINCIDENCIA ENTRE IMÁGENES GOES Y OBSERVACIÓN DE TERRENO PARA LOS DÍAS 19 Y 22 DE JULIO 2002



CUADRO N° 3
COINCIDENCIA DÍA / NOCHE

	Día	Noche
Coincidencia (%)	92,2	79,5

Considerando: Día 13:45 a 16:45

Noche 19:45 a 7:45

Como muestra la figura N° 6, las imágenes con observaciones en terreno registraron mayor superficie de nubes a las 7:45 horas, mientras que el máximo de expansión en las imágenes GOES se presentó a las 3:10.

Durante las horas con menor cobertura nubosa ambas curvas se comportan de forma similar, con superficies de estratocúmulo que cubren el 13% del área de estudio a las 13:45 y a las 16:45 las nubes se extienden sobre un 17% del cuadrante.

Durante las horas carentes de luz solar y sobre todo aquellas en que las nubes bajas penetran más hacia el interior del continente, las imágenes satelitales y las observaciones realizadas en terreno registran diferentes coberturas de estratocúmulos.

A las 7:45 se presentó la mayor divergencia entre ambas herramientas, mientras

que el satélite advirtió un 29% de nubes sobre el área de estudio, el observador en terreno registró que la misma área estaba cubierta en un 47% por estratocúmulos, prácticamente la mitad del área en estudio. Lo mismo sucede a las 4:45, pero esta vez las imágenes GOES mostraron 52% del área cubierta por nubes, entre tanto, el observador registró solo 41%.

A escala horaria se identifican con mayor claridad las dificultades que tiene el observador de registrar correctamente la superficie de nubes bajas en el área. Por un lado, el lugar desde donde se registran los datos, Cerro Carrasco, presenta restricciones. A pesar de ser la cumbre más alta, se generan áreas en que el observador difícilmente podrá saber si hay o no presencia de estratocúmulo; y por lo tanto, se hace complejo para él inferir la información, como se ilustra en la figura N° 7.

FIGURA N° 6
SUPERFICIE DE ESTRATOCÚMULO A ESCALA HORARIA

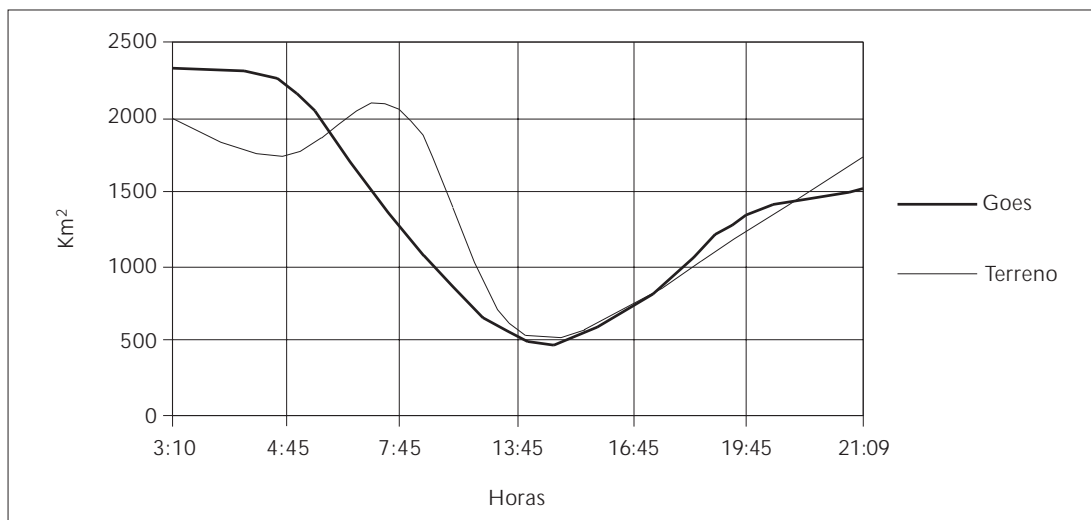
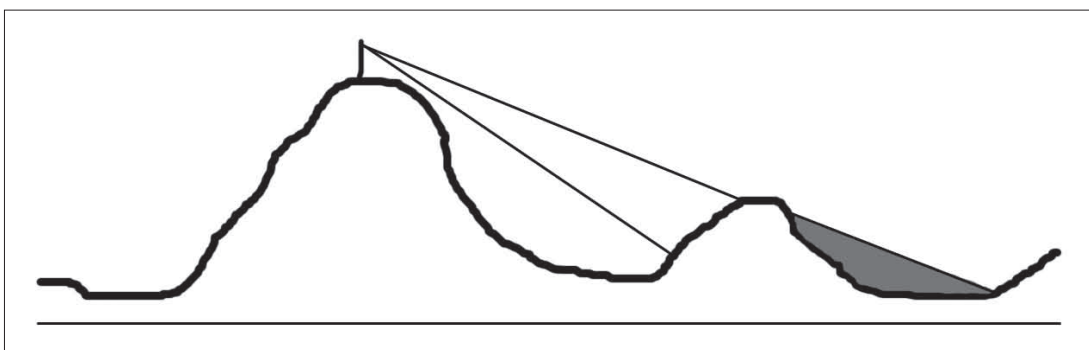


FIGURA N° 7
DIFICULTAD EN LA OBSERVACIÓN EN TERRENO



Otra forma de distorsión en la toma de datos se representa en la figura N° 8. Cuando las nubes bajas no se conforman en mantos uniformes, sino que se presentan en manchones de nubes, el observador no cuenta con un ángulo de observación suficientemente vertical como para discriminar hasta donde se extiende el estratocúmulo. En cambio, el satélite cuenta con la visión vertical del fenómeno. Esta situación se incrementa cuando el techo de la nube se encuentra a mayor altitud, debido a que el ángulo de observación se hace más horizontal.

Esta situación es la que se registró el día 19. Ambas imágenes mostraron diferencias en la extensión de la nube, identificándose una mayor superficie de estratocúmulos en terreno. En las imágenes GOES se aprecia la distribución en manchas de las nubes,

debido a su observación vertical desde la atmósfera a la superficie terrestre. En terreno, en cambio, el ángulo de observación fue más horizontal, lo que originó la distorsión en los límites de la cobertura nubosa (figura N° 9).

Se realizó una aproximación entre el comportamiento del techo observado de la nube estratocúmulo y la superficie cubierta por esta, con un resultado bastante significativo en la correlación entre las variables, superficie de estratocúmulo registrada en terreno y la altitud del techo observado de la nube. El resultado de esta operación estadística para el periodo fue de 77,8, la cual se considera aceptable. Lo anterior, indicaría que durante el periodo entre el 17 y 26 de julio del 2002, a medida que la altura del techo de la nube ascendió, ella abarcó una mayor superficie. Por el contra-

FIGURA N° 8
OBSERVACIÓN EN TERRENO

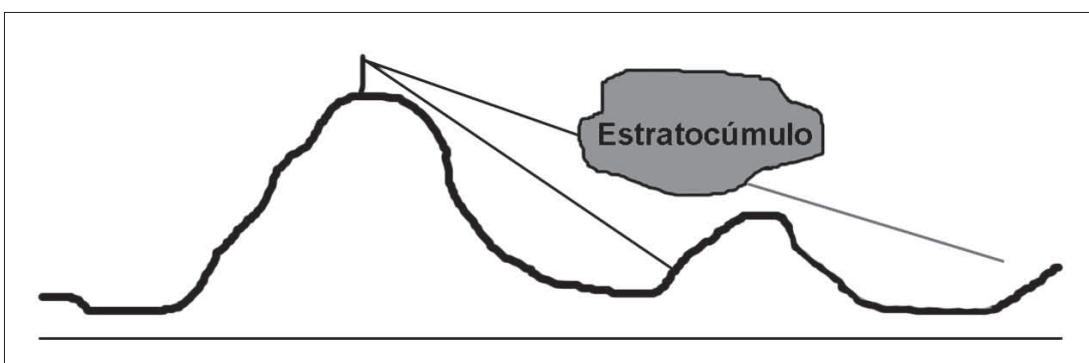
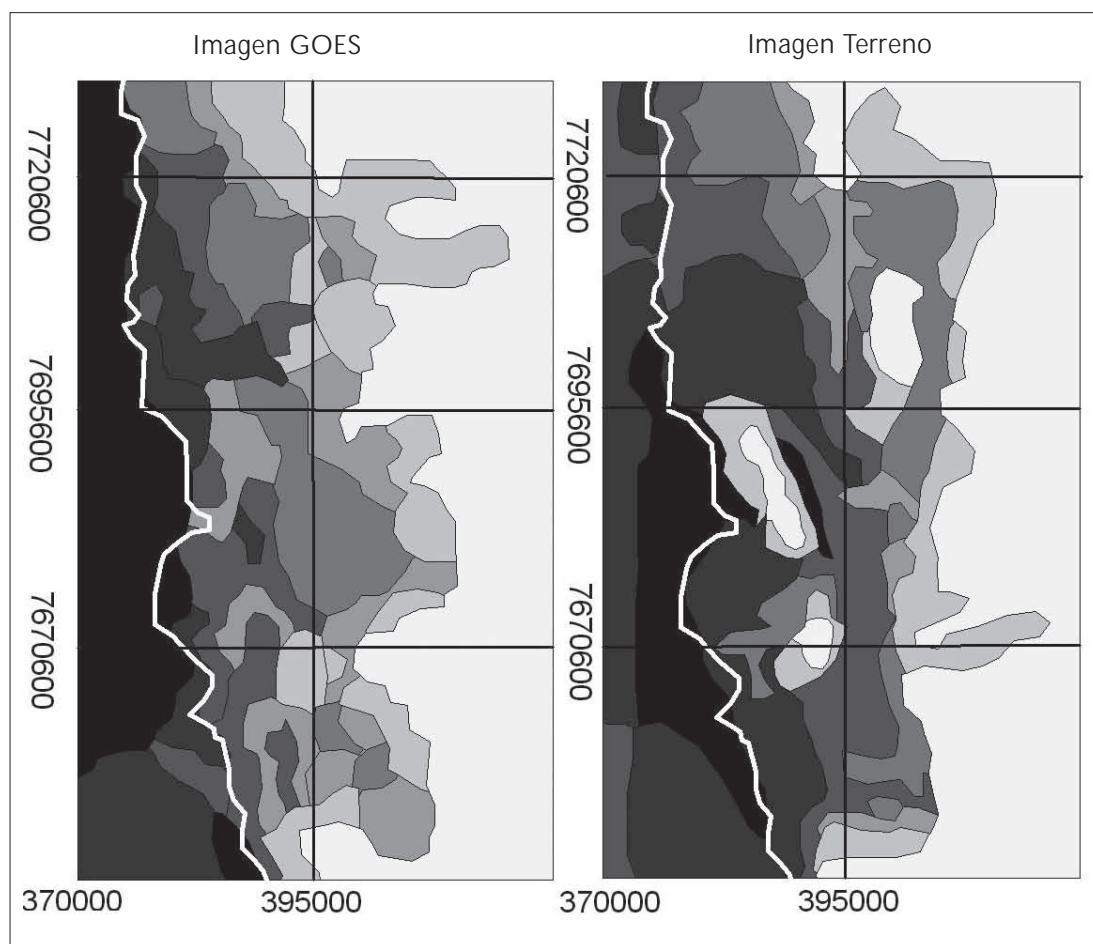


FIGURA N° 9
REGISTROS DÍA 19 DE JULIO 2002



Fuente: Fondecyt 1010801

rio, cuando el techo de la nube se situó a menores altitudes, la cobertura de estratocúmulos en el área de estudio también disminuyó. Los días 17 y 22 fueron los que presentaron menor cobertura de nubes; en este último, se registró un promedio en la altitud del techo de la nube de 780 m.s.n.m., inferior al promedio del período (900 m.s.n.m.), lo que habría determinado, en parte, la escasa cobertura nubosa. Se debe mencionar, en este caso, que dado que la nube proviene del oeste y se mueve en dirección este; es decir, desde mar hacia cordillera, se encuentra con un obstáculo vertical insalvable como es la Cordillera de la Costa, de aquí entonces que en la medida que el techo de la nube asciende en altitud, logra superar en algunos casos la

barrera orográfica y pasar hacia el interior del desierto, expresándose esta situación en una mayor extensión horizontal de la nube estratocúmulo.

Conclusiones

A través de este método de validación de imágenes satelitales en tiempo real, se demostró que es posible en el caso del GOES, conocer la extensión horizontal que alcanzan las nubes bajas en un determinado lugar; así como también su localización aproximada y eventuales ciclos diarios. Esto quedó en evidencia al obtener más de un 80% de coincidencia entre lo que registró el observador y la información procesada de GOES.

Durante las horas de la tarde, cuando la extensión del estratocúmulo es menor, la coincidencia entre las imágenes es de 92%, y ambas mostraban una cobertura de estratocúmulo del 15% del área de estudio. En cambio, en aquellas horas cuando la nube cubre una mayor extensión, la coincidencia entre imágenes fue de un 79%, presentándose las diferencias, principalmente, en la línea de costa y en los sectores más alejados del Cerro Carrasco.

Existe una mayor coincidencia entre ambas imágenes cuando no hay presencia de estratocúmulo; por lo tanto, las imágenes satelitales tienden a detectar mejor la ausencia de nubes que la presencia de ellas.

Dentro de las fortalezas que presentan las imágenes satelitales en el estudio de las nubes costeras hay que considerar la gran ventaja de contar con observaciones periódicas de áreas que muchas veces son muy difíciles de acceder, y más aún, tomar registros en terreno de la presencia o ausencia de nubes durante periodos más prolongados, labor poco factible de realizar en terreno.

Otro aspecto que queda para desarrollar en futuras investigaciones es lograr establecer un adecuado procedimiento para la determinación del contenido líquido de la nube estratocúmulo, con miras a la evaluación de esta como recurso hídrico en algunas zonas del planeta en que se presente dicha cobertura nubosa y, a su vez, exista escasez del recurso hídrico.

Bibliografía

BENDIX, J. & BACHMAN, M. Climatology of fog layers in the Alpine Region - A study based on AVHRR data. *6TH AVHRR Data User's Meeting*, 1993, p. 237-243.

BENDIX, J. A 10-year fog climatology of Germany and the Alpine region based on satellite data - preliminary results. *Proceedings of the Second International*

Conference on Fog and Fog Collection, 2001, p. 357-360.

CERECEDA, P.; LARRAÍN, H.; LÁZARO, P.; OSSES, P. y SCHEMENAUER, R. La niebla, agua potable para zonas rurales. *Revista Geográfica de Chile Terra Australis*, 2000, N° 45, p. 143-160.

CERECEDA, P. *et al.* La importancia de la niebla y de la lluvia en ecosistemas de oasis de niebla en el desierto costero de Tarapacá con especial énfasis en la vegetación y entomofauna. *Propuesta Proyecto Fondecyt N° 101081*, 2001.

CUADRAT, J. y PITA, F. *Climatología*. Madrid: Cátedra, 2000.

ESPEJO, R.; BURGOS, C.; ZULETA, R.; MARTÍNEZ, L.; CORREA, H. y GIODA, A. Balance teórico y experimental de captación de agua de los estratocúmulos costeros. *III Encuentro de Física*, 1993, p. 237-246.

ESPEJO, R. Coast fog water potential and its applications. *Proceedings of First International Conference of Fog and Fog Collection*, 1998, p. 341-343.

ESPEJO, R. Climatological and microbiological characteristics of the camanchaca phenomenon at Cerro Moreno, Antofagasta, Chile. *Proceedings of the Second International Conference on Fog and Fog Collection*, 2001, p. 463-466.

FARÍAS, M.; LAGOS, M.; CERECEDA, P.; LARRAÍN, H.; OSSES, P.; PINTO, R. y NÚÑEZ, R. Metodología para el análisis del comportamiento espacio-temporal de nubes estratocúmulos mediante percepción remota, con énfasis en su penetración en el desierto costero de Tarapacá. *XXII Congreso Nacional y VII Internacional de Geografía, Chile*, 2001, p. 35-43.

FARÍAS, M.; NÚÑEZ, R.; CERECEDA, P.; OSSES, P. y LARRAÍN, H. Análisis del comportamiento espacial y temporal de la nube estratocúmulo en el Norte Grande de

Chile durante el mes de agosto de 2001 mediante imágenes GOES. *VII Congreso Internacional de Ciencias de la Tierra*, 2002 (en CD).

FUENZALIDA, H.; RUTLLANT, J.; ACEITUNO, P. & VERGARA, J. On the coastal stratocumuli variability in Chile at 30°S, Project Camanchaca-Chile. *Meteorological Group Technical Report*, 1988, p. 1-88

MARZOL, M.; DORTA, P.; VALLADARES, P.; MORIN, P.; SÁNCHEZ, J. & ABREU, M. La captation de l'eau à Tenerife (iles Canaries). L'utilisation des brouillard. *Association Internationale de Climatologie*, 1994, Vol. 7, p. 83-91.

OLIVIER, J. Fog: a possible solution to rural water problems?. *South African Geographical Journal*, 1997, Vol. 79, p. 161-165.

OLIVIER, J. A high elevation fog water collection experiment in South Africa. *Proceedings of First International Conference of Fog and Fog Collection*, 1998, p. 441-444.

OSSES, P.; CERECEDA, P.; SCHEMENAUER, R.; LARRAÍN, H. y CORREA, C. Los atrapanieblas del

santuario del Padre Hurtado y sus proyecciones en el combarte a la desertificación. *Revista de Geografía Norte Grande*, 2000, N° 26, p. 61-67.

OSSES, P.; CERECEDA, P.; SCHEMENAUER, R.; LARRAÍN, H. y LÁZARO, P. Diferencias y similitudes de la niebla entre Iquique (Chile) y Mejía (Perú). *Revista de Geografía Norte Grande*, 1998, N° 25, p. 7-13.

OSSES, P.; FARÍAS, M.; NÚÑEZ, R.; CERECEDA, P. y LARRAÍN, H. Coastal Fog, Satellite Imagery, and Drinking Water: Student Fieldwork in the Atacama Desert. *Geocarto International*, 2005, Vol. 20, N° 1, p. 69-74.

SABINO, A. Fog water collection in Cape Verde Island: An alternative source of water for agriculture and domestic use. *Proceedings of First International Conference of Fog and Fog Collection*, 1998, p. 445-448.

SCHEMENAUER, R. & CERECEDA, P. Fog Collection. *Tiempo*, 1997, p. 17-21.

SCHEMENAUER, R. & CERECEDA, P. Fog collection's role in water planning for developing countries. *Natural resources forum ONU*, 1994, Vol. 18 (2), p. 91-100.