

BUSQUEDA DE SITIO PARA UNA ESTACION ASTROFISICA
EN COLOMBIA: RESULTADOS PRELIMINARES

E. Brieva B.

Observatorio Astronómico
Universidad Nacional, Bogotá, Colombia

RESUMEN. Se presenta un análisis preliminar de las observaciones visuales de nubosidad obtenidas en cuatro lugares de los Andes colombianos, dentro del programa de búsqueda de sitio para una estación astrofísica que adelanta el Observatorio Astronómico Nacional. Se hace una comparación con un estudio independiente basado en fotografías de satélites. Los resultados muestran un mínimo de 130 noches despejadas y un máximo de 250 noches utilizables al año para el sitio denominado Otún en la Cordillera Central.

ABSTRACT. A preliminary analysis, concerning the site-testing campaign for an astrophysical station undertaken by the National Astronomical Observatory, is made on the basis of visual observations of night-time cloudiness made at four sites in the colombian Andes. Comparison with an independent study based on satellite images is made. Results show a minimum of 130 clear nights and a maximum of 250 useful nights per year at the site named Otún in the Central cordillera.

I. INTRODUCCION

Las condiciones de la observación astronómica han sido definidas, entre otros, por Stock (1964) como aquellos efectos por los cuales la atmósfera terrestre impone limitaciones a la observación astronómica. Un sitio para la ubicación de un Observatorio debe cumplir las siguientes condiciones:

- a) Buen número de noches despejadas por año.
- b) Turbulencia atmosférica mínima.
- c) Cielo oscuro.
- d) Extinción atmosférica baja, constante en el tiempo e independiente del azimut.
- e) Lejanía de áreas polucionadas y de fuentes de iluminación artificial.

En este trabajo se analizan observaciones de nubosidad nocturna hechas en dos zonas de los Andes colombianos, dentro del proyecto de búsqueda de sitio para una estación astrofísica que adelanta el Observatorio Astronómico Nacional.

A continuación se hace un resumen de la climatología del país, en seguida se presenta un estudio estadístico preliminar de las observaciones, se discute y finalmente se formulan las conclusiones.

II. CLIMATOLOGIA

Debido a la posición geográfica de Colombia, su clima corresponde al de la zona intertropical, caracterizado por dos épocas de lluvia determinadas por la culminación cenital del Sol, y dos épocas secas al año (Guhl 1975). La temperatura promedio para un lugar dado es prácticamente constante durante todo el año aunque pueden presentarse importantes fluctuaciones diurnas; la altura sobre el nivel del mar es el factor determinante en las variaciones de este parámetro, siendo su gradiente igual a -1°C por cada 184 metros de altura por regla general (Guhl 1975). En el país se presentan tres sistemas de circulación atmosférica: los vientos

alios del sureste y la zona intertropical de las calmas ecuatoriales que se distingue por vientos de carácter local con direcciones diversas e intensidad moderada.

Por otra parte, la circulación diurna, en forma de corrientes de convección, produce por el día una acumulación de nubes en las cimas de las montañas, mientras que por la noche el enfriamiento es causa del fenómeno opuesto y las cimas quedan libres de nubosidad.

La precipitación, en fin, alcanza un máximo hacia los 1500 metros de altura para luego disminuir progresivamente con ésta. Estas características climáticas pueden alterarse por factores locales, siendo el relieve el más notable.

Los factores anteriores, así como consideraciones de orden logístico y de lejanía de centros urbanos industrializados, llevaron a la escogencia de dos zonas: la primera situada en la Cordillera Oriental (zona 1) y la segunda en el Parque Natural de Los Nevados, Cordillera Central (zona 2); allí se instalaron puestos de observación visual de la nubosidad nocturna (Figura 1). Las características de las estaciones se consignan en la Tabla 1.

TABLA 1. Estaciones de observación visual de la nubosidad nocturna.

Estación	Latitud N	Longitud W	Altura m	Período de Observaciones
Cordillera oriental (zona 1)				
La Cueva	6°26'	72°19'	3800	Nov/79 - Agos/80
Marte	5°38'	73°32'	2000	Nov/79 - Agos/80
La Capilla	6°03'	72°55'	3650	Nov/79 - Feb /81
Cordillera central (zona 2)				
Otún	4°45'	75°25'	4000	Mayo/80 - Abril/81

III. ANALISIS DE LAS OBSERVACIONES

En cada estación el observador anota diariamente, en el formulario diseñado a propósito, el estado de nubosidad a las 8 p.m., las 12 de la noche, y las 4 a.m.

Los formularios se procesaron de la manera siguiente: (1) para cada observación se obtuvo el porcentaje de cielo despejado; (2) se tomó la mediana de los tres datos como medida de la tendencia de la noche; (3) se dió una calificación a la noche, entre 1 y 10, de acuerdo con el porcentaje del cielo despejado representado por la mediana (Tabla 2).

TABLA 2. Calificación C de la noche en función del porcentaje de cielo despejado.

Porcentaje	C
0 - 10	1
10 - 20	2
20 - 30	3
30 - 40	4
40 - 50	5
50 - 60	6
60 - 70	7
70 - 80	8
80 - 90	9
90 - 100	10

Se repitieron los dos últimos pasos pero tomando ahora el promedio ponderado de los tres datos como medida de la tendencia de la noche, para lo cual se le dió al dato de medianoche un peso 2 veces mayor que el asignado a los datos de comienzo y fin de la noche, conside-

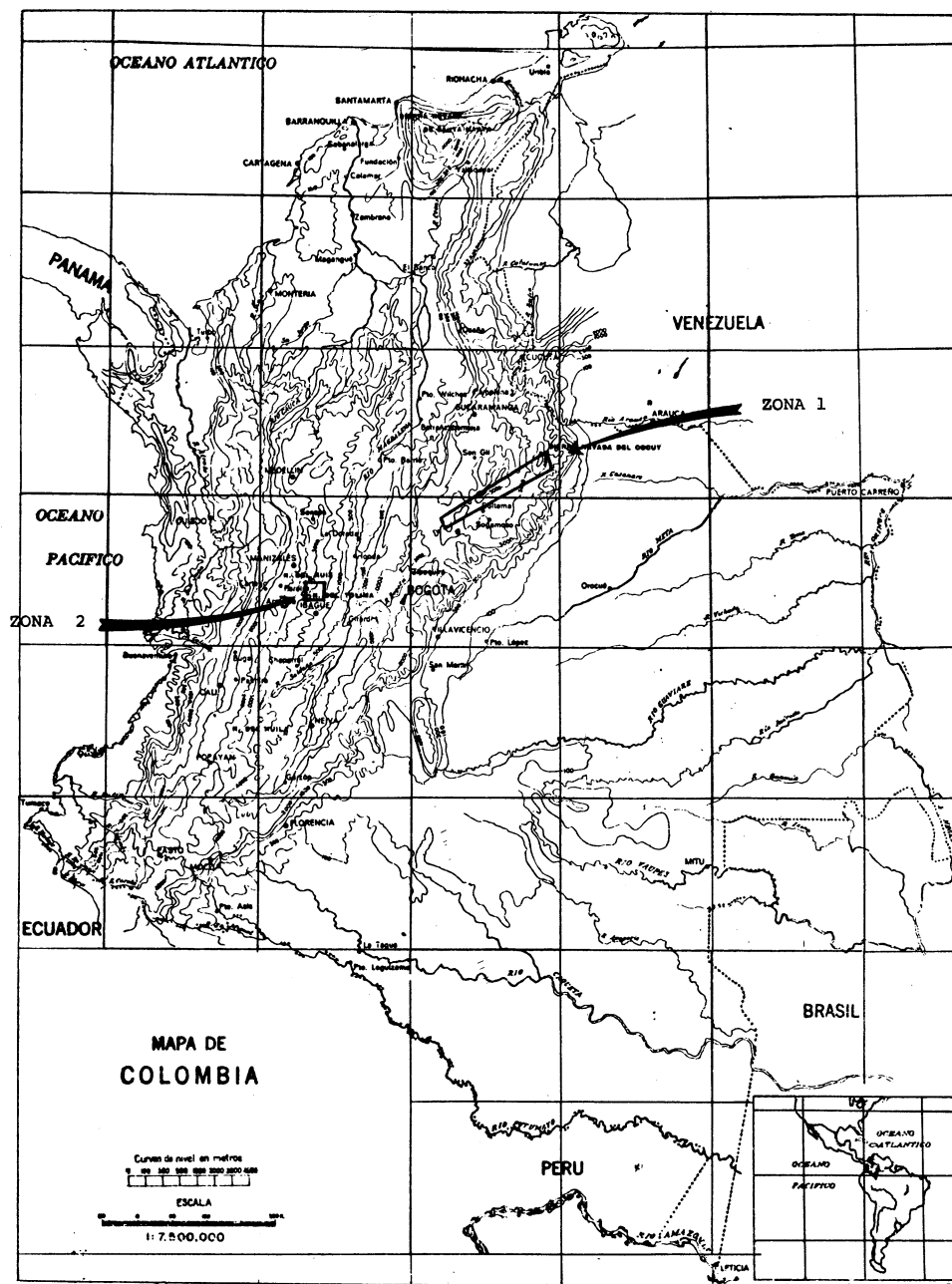


Figura 1 : Las zonas 1 y 2 se señalan en este mapa de Colombia.

rando que el dato central es representativo de lo que sucede de 10 p.m. a 2 a.m., o sea durante la mitad de la noche potencialmente útil para fines astronómicos. En las Figuras 2 y 3 se han dibujado histogramas -calificación vs. frecuencia porcentual- para las estaciones La Cueva, Marte, La Capilla de la zona 1, y para la estación Otún en la zona 2 (Parque de Los Nevados).

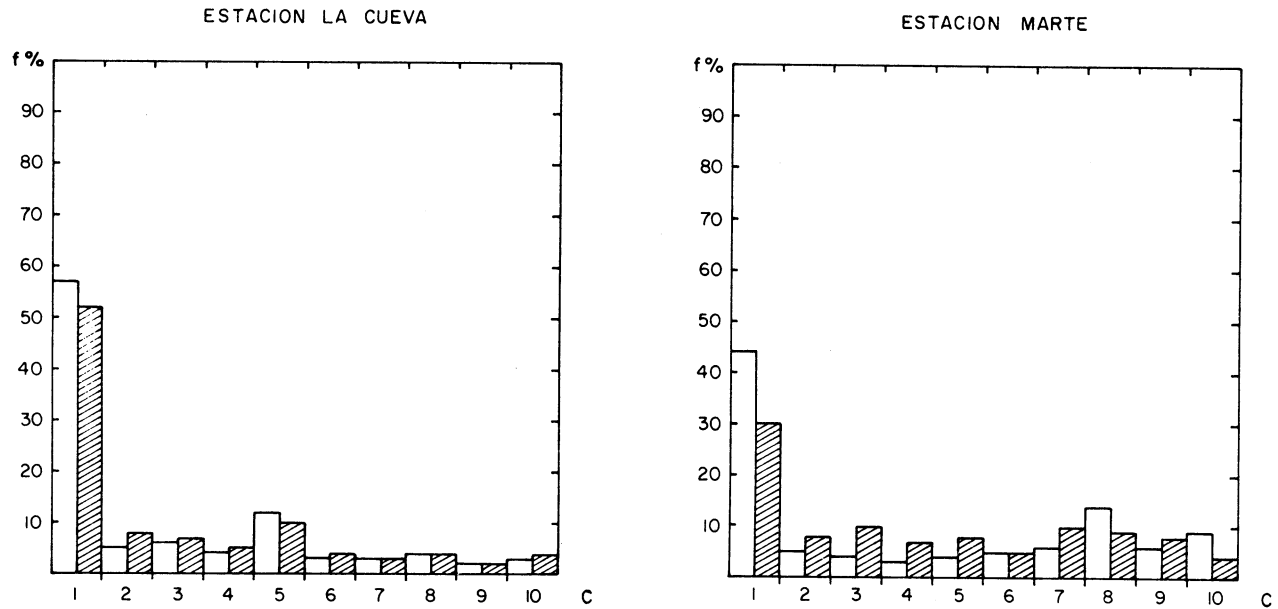


Fig. 2. Porcentaje de noches con calificación C. Las barras blancas corresponden al análisis hecho a partir de la mediana; las achuradas resultan del promedio ponderado.

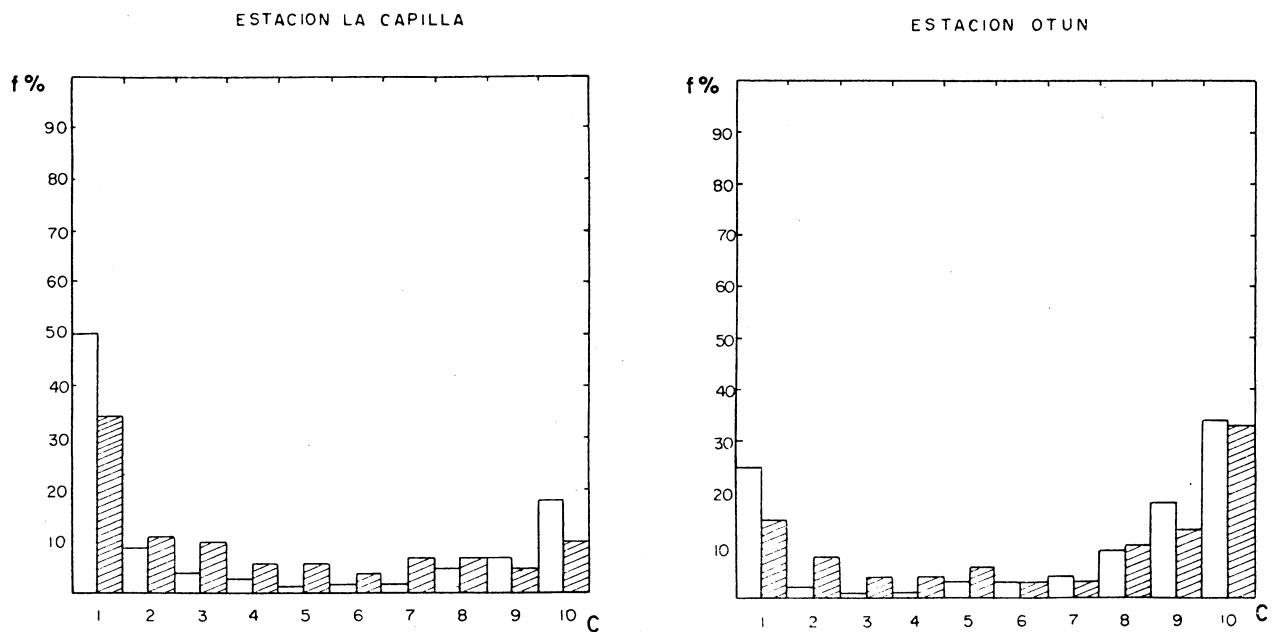


Fig. 3. Porcentaje de noches con calificación C. Las barras blancas corresponden al análisis hecho a partir de la mediana; las achuradas resultan del promedio ponderado.

En la Cueva se realizaron observaciones desde noviembre de 1979 hasta agosto de 1980. En Marte el programa se llevó a cabo desde noviembre de 1979 hasta agosto de 1980; no hubo observaciones en marzo de 1980. En La Capilla las observaciones se extendieron desde noviembre de 1979 hasta febrero de 1981; en febrero, marzo, septiembre y octubre de 1980 no hubo observaciones. En Otún el período de observaciones abarcó desde mayo de 1980 hasta abril de 1981, pero en los meses de agosto, septiembre, octubre y diciembre de 1980 no hubo observaciones. Las suspensiones se debieron a problemas en la financiación del programa.

IV. DISCUSION

Las Figuras 2 y 3 muestran en primer lugar que los resultados obtenidos a partir de la mediana y del promedio ponderado son compatibles; se obtiene la misma tendencia general a partir de cualquiera de los dos indicadores, aunque el promedio ponderado produce un histograma más suave. En segundo lugar el acuerdo es superior para las estaciones La Cueva y Otún, con discrepancias inferiores al 10%, mientras que para La Capilla y Marte la discrepancia es inferior al 15%. Se puede afirmar, por otra parte, que Otún tiene un mayor número de noches despejadas que las estaciones de la zona 1, lo que se explica porque la Cordillera Oriental es la primera barrera que encuentra la humedad procedente de las llanuras orientales del país. La zona 2 (Parque de Los Nevados) presenta mejores posibilidades en lo que a noches despejadas se refiere.

Definiendo noche despejada como aquella con $C > 8$ y noche utilizable aquella con $C > 6$ se obtienen los siguientes resultados para la estación Otún, situada en la zona más promisoría:

a) Considerando los datos brutos, es decir, sin extrapolar los meses en que no hubo observaciones, se cuentan 133 noches despejadas a partir del promedio ponderado (146 a partir de la mediana) y 150 noches utilizables a partir del promedio ponderado (162 a partir de la mediana). Así que se puede concluir que hay por lo menos 130 noches despejadas, aproximadamente, durante el período de observaciones (1 año).

b) A partir del histograma correspondiente de la Figura 3 resultan 206 noches despejadas al año, promediando el porcentaje calculado a partir de la mediana con el que da el promedio ponderado, y 248 utilizables, de modo que se puede esperar un máximo de 250 noches utilizables aproximadamente, número difícil de superar en el trópico húmedo.

Villegas (1979) realizó un estudio de nubosidad para la zona de Otún a partir de 144 fotografías del "Defense Meteorological Satellite Program", que cubrían 63 noches, entre septiembre de 1977 y septiembre de 1978. Sus resultados dan 104 noches buenas para la observación astronómica, 143 regulares y 115 inutilizables; sumando las buenas con las regulares de 249, cifra que coincide prácticamente con el estimativo de máximo número de noches utilizables encontrado arriba.

Por otra parte, con el fin de analizar si existe una tendencia de mayor o menor nubosidad en una determinada parte de la noche, se promedió el porcentaje de cielo despejado correspondiente a las 8 p.m. con el de media noche y se lo tomó como medida de la tendencia de la primera mitad de la noche; luego se calificó esta primera mitad de la noche de acuerdo con el criterio consignado en la Tabla 2. Análogamente se calificó la segunda mitad de la noche, a partir del promedio de los porcentajes de cielo despejado correspondientes a la media noche y a las 4 a.m. Los resultados para la estación Otún, dibujados en la Figura 4, no muestran diferencias significativas entre las dos mitades de la noche.

V. CONCLUSIONES

El análisis preliminar de las observaciones visuales de nubosidad nocturna realizadas en cuatro puntos de los Andes colombianos da un número de por lo menos 130 noches despejadas al año y no más de 250 noches utilizables para la estación Otún situada en el Parque Natural de Los Nevados, en la Cordillera Central, a 4000 metros de altura, resultado compatible con el obtenido a partir de fotografías de satélites mediante un estudio independiente.

Al comparar la primera mitad de la noche con la segunda mitad para la misma estación, se encuentra que no parece existir una tendencia de mayor o menor nubosidad en una determinada parte de la noche.

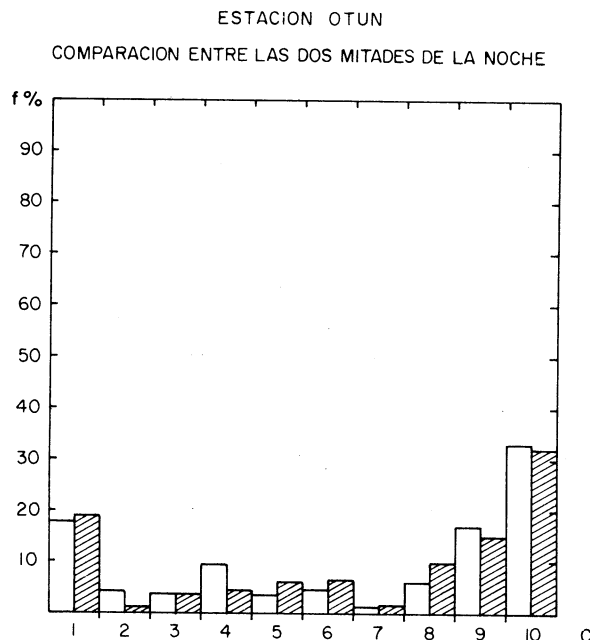


Fig. 4. Las barras blancas corresponden a la primera mitad de la noche y las achuradas a la segunda mitad.

Este trabajo se puede mejorar y completar buscando una transformación que simetrice la calificación de la noche; efectuando un análisis de normalidad para luego poder ajustar una distribución con la media y la desviación standard estimadas a partir de las observaciones, creando así un instrumento que permita estimar la probabilidad de ocurrencia de noches con una calificación menor o igual que un puntaje determinado. Por otra parte, se trabaja actualmente en la definición de un criterio diferente de calificación de la noche, a partir de un análisis cuidadoso de los formularios correspondientes, que permita tener en cuenta datos extremos que quedan disimulados por el empleo de la mediana o suavizados por el promedio ponderado.

Debe tenerse en cuenta finalmente que no se ha hecho ningún análisis sobre el tipo de nubes; la presencia de cirrus puede deteriorar un apreciable número de noches utilizables, de modo que este asunto deberá incluirse en las próximas campañas de prospección. Lo mismo puede decirse de la temperatura y la humedad, factores que inciden sobre la calidad de las observaciones astronómicas.

La inspección preliminar se ha extendido a otros lugares del Parque de Los Nevados, al norte, al sur y al extremo suroriental, donde se han encontrado condiciones meteorológicas más favorables; en esta zona, en el sitio denominado Las Delgaditas, se están realizando medidas de temperatura y humedad y se han iniciado estudios cuantitativos sobre la calidad de la imagen y la extinción atmosférica.

Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación de la Universidad Nacional de Colombia (CINDEC) y COLCIENCIAS. Agradezco a esta última entidad la ayuda que me permitió asistir a la Tercera Reunión Regional Latinoamericana de Astronomía. A los colegas Jorge Arias y William Cepeda del Observatorio Astronómico mi reconocimiento por su colaboración como co-investigadores en el proyecto, así como a Antonio Uribe, del Departamento de Matemáticas, por muchas discusiones fructíferas, y a Jürgen Stock, del CIDA de Venezuela, por sus atinadas observaciones.

REFERENCIAS

- Guhl, E. 1975, *Colombia: bosquejo de su geografía tropical, Capítulo IV*, Biblioteca Básica Colombiana (Bogotá: Imprenta Nacional).
- Stock, J. 1964, en *IAU Symposium No. 19, Le Choix des Sites d'Observatoires Astronomiques (Site Testing)* (Paris: Gauthiers-Villars), p. 35.
- Villegas, A. 1979, *Tropical Observatory Remote Site Survey using Satellite Data*, Master Thesis, University of Florida, no publicada.

Eduardo Brieva B.: Observatorio Nacional, Apartado 2584, Bogotá, Colombia.