

Informe Técnico CAY 1987-5

Parametros atmosfiricos medidos y determinados
en el C.A.Y. desde marzo 1982 hasta junio 1987

P. Planesas, L.A. Delgado,
M. Serra, F. Pirez Murano,
M.P. Zugasti

INDICE

INTRODUCCION

1. VALORES MEDIDOS

1. Temperatura
2. Recorrido del viento
3. Evaporacion
4. Precipitacion
5. Nubosidad
6. Humedad relativa

2. PARAMETROS DETERMINADOS

1. Cantidad de agua precipitable, w
2. Relacion entre w y la temperatura ambiente
3. Opacidad debida al vapor de agua a 45 GHz
4. Relacion entre la evaporacion y otros parametros
5. Constante de refraccion atmosferica (en microondas)

ANEKO: La atmssfera standard

TABLAS Y FIGURAS

INTRODUCCION

Habiendose cumplido cinco años de la puesta en marcha de la Estación Meteorológica (n: 3217) en el Centro Astronómico de Yebes, se dispone de una cantidad de datos suficiente para llevar a cabo un análisis estadístico cuyos resultados pueden ser significativos.

Se han obtenido valores medios mensuales de una serie de parámetros medidos (temperatura, humedad relativa, evaporación, ...), así como de sus oscilaciones del día a la noche. A partir de algunos de ellos se han determinado otros parámetros, tal como la cantidad de agua precipitable contenida en la atmósfera.

Estos valores caracterizan la atmósfera neutra y permiten determinar los efectos que ésta produce sobre las radiaciones a longitudes de onda milimétricas (refracción, absorción). En un caso ideal, la atmósfera debe ser caracterizada antes y durante cada observación radioastronómica. En la práctica esta operación se realiza pocas veces (por el tiempo que exige, la necesidad de disponer de nitrógeno líquido), por lo que el disponer de valores medios representativos resulta de gran interés.

1. VALORES MEDIDOS

Se dispone de la variación a lo largo de cada día de la temperatura y la humedad relativa, así como de valores diarios de la evaporación, la precipitación y el recorrido del viento (medidos a las 8 o las 9 de la mañana) desde marzo de 1982. La mayor parte de estos datos han sido tomados por L. A. Delgado, con la colaboración de J. Pastor, G. Sánchez y, ocasionalmente, de otros miembros del CAY. En enero de 1985 empezamos a tomar nota, además, de la nebulosidad existente aproximadamente a media mañana. El mes más reciente cuyos datos han sido considerados ha sido junio de 1987.

Presentamos los datos en forma de tablas. La estructura de éstas es la siguiente. Para cada mes se dan los valores promedio de un cierto parámetro para cada uno de los años en que se dispone de datos. Por M y D se designan el valor medio y la desviación típica de los datos correspondiente a cada mes. Por "M total" y "D total" se designan el valor medio y la desviación correspondiente al conjunto de los 12 meses.

1.1 Temperatura

Se dispone de la variación de la temperatura a lo largo del día registrada en papel, de los valores de la temperatura máxima y mínima diarias así como de los valores de la temperatura seca y húmeda (de un sicrometro) para un cierto instante (las 8 o las 9 de la mañana). En este trabajo sólo hemos considerado las temperaturas máxima y mínima, que nos han permitido calcular, para cada día, una temperatura media y la oscilación habida. Los promedios mensuales de estos valores pueden encontrarse en las tablas 1 y 2 respectivamente.

La temperatura más baja de cada año se ha dado en distintos meses (entre enero y marzo) y se encuentra entre -10 y -7 OC. La temperatura más alta se ha dado siempre en el mes de julio y se encuentra entre 34 y 37 OC. La temperatura media ronda cada año los 20 OC durante 4 meses (junio a setiembre) y ronda los 5 OC desde diciembre a marzo. La temperatura media anual es de 13 OC.

Los meses más calurosos presentan asimismo las mayores oscilaciones de temperatura del día a la noche (alrededor de 14 OC) mientras que en invierno la oscilación es del orden de unos 7 OC.

En las figuras 1 y 2 se muestran los valores promedio mensual tanto de la temperatura media como de la oscilación diaria media, unidos por una curva suave. Las curvas discontinuas unen los puntos correspondientes a la suma y la resta de una desviación típica (1 sigma) a dichos valores promedio. (Esta estructura se mantiene en la mayoría de las figuras de este informe.)

1.2 Recorrido del viento

En la tabla 3 se presenta la velocidad promedio del viento, u , para cada mes en unidades de km/h. Se ha obtenido dividiendo el recorrido total en km por el número de días del mes y por 24 horas. Como puede comprobarse, no hay una gran diferencia de unos meses a otros: varía entre 10 y 14 km/h.

En la figura 3 se puede observar claramente que casi todos los valores son compatibles, dentro de su barra de desviación, con el valor medio $u = 11.5$ km/h.

1.3 Evaporación

La evaporación de una columna de agua es alta en los meses de verano, especialmente en julio (unos 7 mm/día), y casi nula en invierno (~ 1 mm/día desde noviembre hasta febrero). El promedio anual es de 3.0 mm/día, lo que se

traduce en una evaporacion total de unos 1100 mm (o litros/m²). Vianse la tabla 4 y la figura 4.

1.4 Precipitacion

En la tabla 5 se encuentra el valor de los litros de agua recogidos cada mes. Aun cuando la cantidad de lluvia recogida al cabo de cada ayo se encuentra alrededor de los 420 litros/m², no se han encontrado regularidades en cuanto a los litros recogidos en cada uno de los meses. Una excepcion es, quizas, el mes de abril, en el que se han recogido entre 45 y 80 l/m² cada uno de los ayos.

En la figura 5 se presenta la distribucion de la precipitacion para cada uno de los ayos considerados. Se observa claramente una gran dispersion en dicha distribucion. Obsirvese que en 1985 hubo 3 meses seguidos sin lluvia. En la figura 6 se muestra la precipitacion total habida en cada uno de los ayos. La dispersion de los valores representados no llega al 20% del valor medio.

1.5 Nubosidad

Estas medidas se iniciaron a principios de 1985, por lo que los resultados no son significativos. Por otra parte, se trata de estimaciones subjetivas de lo cubierto que esta el cielo (segun el baremo: nada, un cuarto del cielo, la mitad, tres cuartos, completamente). Los valores se estan tomando aproximadamente a las 12 de la maqana. Vianse la tabla 6 y la figura 7.

1.6 Humedad relativa

Los datos referentes a la humedad relativa han sido extraidos de las graficas de su variacion diaria obtenidas con el higrgrafo. Mediante inspeccion visual, se han dado dos valores por semana; uno de ellos corresponde a un promedio de la humedad maxima de cada uno de los dias (humedad nocturna) y otro a un promedio de los valores mnimos (humedad diurna). Se han considerado datos desde enero de 1982 a diciembre de 1986. Estos valores han sido promediados para cada mes y se han extraido asm el valor medio de la humedad y la oscilacion de ista (aunque no se trata de una oscilacion maxima como ocurrma en el caso de la temperatura).

La humedad relativa media varia a lo largo del ayo entre el 45 y el 75%, con una variacion del dia a la noche de aproximadamente el 40%, lo que claramente muestra la gran dependancia de la humedad relativa con la temperatura ambiente. Por esta causa, la humedad relativa es mnima en verano y maxima en invierno. Casi todos los veranos llegan

a alcanzarse humedades relativas tan pequeñas como el 20% y, en días excepcionales, del 15% (julio 1984, agosto 1987). Sin embargo, como veremos más adelante, es precisamente en verano cuando hay mayor cantidad de agua en la atmósfera.

En las tablas 7 y 8 se presentan el valor medio y la oscilación media de la humedad relativa mes a mes en tanto por ciento. Los valores medios mensuales se representan en las figuras 8 y 9, en una misma escala.

2. PARAMETROS_DETERMINADOS

2.1 Cantidad_de_agua_precipitable

La presión parcial del vapor de agua para el aire saturado, e_s , puede obtenerse a partir de la ecuación de Clausius-Clapeyron. R.K. Crane (1976, en "Methods of Experimental Physics", vol 12B, pag. 187) ha mostrado que puede aproximarse por

$$e_s = 6.105 \left(\frac{T}{273} \right)^{-5.31} 25.22 (T-273)/T \text{ mbar}$$

con una precisión del orden de 0.4% para temperaturas: $240 < T < 300$ K (entre -30 y +30 °C). En tal ecuación queda patente la fuerte dependencia de la presión de saturación e_s con la temperatura absoluta T.

La presión parcial del vapor de agua, e , viene dada aproximadamente por

$$e = U e_s \text{ mbar}$$

donde U es la humedad relativa (expresada en tanto por uno). A partir de este valor se puede obtener la densidad del vapor de agua en la atmósfera partiendo de la ecuación de los gases perfectos

$$\rho = 217 \frac{e \text{ (mbar)}}{T \text{ (K)}} \text{ g/m}^3$$

Dado que disponemos de los valores medios de T y U correspondientes al día y a la noche para cada mes, hemos calculado la densidad en ambos casos. Los pares de valores obtenidos concuerdan dentro del 10%. (Véase la figura 10.) Teniendo en cuenta que las desviaciones de los valores de e determinados son de este orden, vemos que el valor de la densidad de vapor de agua en general se mantiene constante del día a la noche, como era de esperar. Todos estos valores se encuentran en la tabla 9.

Los valores medios mensuales de ρ varían entre 4 y 10 g/m³ y se han representado en la figura 11. El valor medio anual de la densidad de vapor de agua es: $\rho = 7.1 \text{ g/m}^3$.

La radiación proveniente de las radiofuentes en el rango milimétrico es atenuada por la atmósfera debido a la presencia de oxígeno y del vapor de agua. Mientras que la abundancia de aquél puede considerarse prácticamente constante, la del vapor de agua es muy variable, como acabamos de ver. La magnitud que se necesita para estimar (y corregir) tal atenuación es la cantidad de vapor de agua que se encuentra por encima del observador.

Se sabe que el contenido en vapor de agua decrece con la altura de una forma prácticamente exponencial (en promedio), hallándose la mitad de dicho vapor por debajo de los primeros 1.5 km. Para la determinación de la cantidad de agua precipitable, w , consideraremos que el vapor de agua tiene una distribución exponencial con la altura (en un día despejado) con una escala $H_0 = 2 \text{ km}$ ($= 1.5/\ln 2$). Por encima de una altura z tendremos:

$$w = \frac{1}{10 \text{ g/m}^3} \int_z^\infty \rho(h) dh \quad \text{siendo} \quad \rho(h) = \rho(0) e^{-h/H_0}$$

Si expresamos H_0 y z en km y ρ en g/m³, obtenemos w en mm (= litros/m²) según:

$$w \text{ (mm)} = \rho_0 H_0 e^{-z/H_0} = \rho(z) \cdot H_0$$

Para el Observatorio de Yebes es $z=0.7 \text{ km}$, luego $H_0 \exp(-z/H_0) = 1.28$. El hecho de cambiar H_0 por otro valor tiene como consecuencia el variar el factor 1.28 en el mismo sentido.

La cantidad w toma un valor medio de 7 mm, siendo máximo en verano y mínimo en invierno. Véase la tabla 10 y la figura 12.

Los valores de w así obtenidos concuerdan bastante bien con los determinados para este mismo lugar mediante un higrómetro infrarrojo y radiosondeos (Martín-Pintado, Gómez González, Barcia: 1981, Infrared Physics 21, 117).

2.2 Relación entre w y la temperatura ambiente

En la figura 13 se muestra el valor de la cantidad de agua precipitable (w) en función de la temperatura media del mes correspondiente. Las barras indican la dispersión de ambos valores. El ajuste de una recta da como resultado:

$$w = (4.410.3) + (0.3510.02) t \quad \text{mm, con } r^2 = 0.972$$

donde t es la temperatura ambiente en OC.

PRECAUCION: No se trata de la temperatura en cada instante, sino de la temperatura media del mes que se considere; como ya hemos visto, la temperatura t varia en mas de 10 OC del dia a la noche y, sin embargo, w puede permanecer constante.

Esta ecuacion es similar a la obtenida por Martmn-Pintado (1979, Tesis de licenciatura, U. Complutense), pero el termino independiente obtenido por nosotros es mayor. Sin duda ello es debido a que hemos tenido en cuenta todos los dias del ayo, incluyendo dias nublados y con lluvia.

2.3 Opacidad_debida_al_vapor_de_agua_para_v ~ 45 GHz

La opacidad debida al vapor de agua es una funcion lineal de w, para el rango de frecuencias entre 30 y 100 GHz y para valores w < 16 mm, segun han mostrado Martmn-Pintado y Fernandez (1986, Boletmn del O.A.M. 11, 33). Para frecuencias, v, entre 40 y 50 GHz se ha deducido de los datos anteriores la relacion

$$= \frac{(5 w + 3) (v - 25)}{40000}$$

(Planesas, 1987, Informe tecnico CAY 1987-6). Para la frecuencia v = 49 GHz se obtiene, en promedio:

de diciembre a marzo:	= 0.021
abril y noviembre:	= 0.025
mayo y octubre:	= 0.030
de junio a setiembre:	= 0.038

2.4 Relacion_entre_la_evaporacion_y_otros_parametros

La ley de Dalton establece que la velocidad de evaporacion, E, del agua contenida en un recipiente debe ser proporcional a la diferencia entre la presion parcial de saturacion del aire y la presion parcial existente:

$$E = k (e_s - e)$$

En la practica, el coeficiente de proporcionalidad depende de la presion, la velocidad y recorrido del viento y otros factores de difmcil determinacion.

Dado que nuestros datos corresponden a promedios en intervalos de un mes, que hemos comprobado que el recorrido del viento en el emplazamiento del Observatorio de Yebes es casi constante a lo largo del ayo (apartado 1.2) y que sabemos que las variaciones de la presion media no son

grandes, se puede esperar que un ajuste del tipo

$$E = k (1-U) e (T)$$

tenga un coeficiente de correlacion elevado. Realizado tal ajuste (ver la figura 14) hemos obtenido para el factor de proporcionalidad el valor

$$k = 0.418 \pm 0.013 \quad , \quad \text{con } r^2 = 0.967$$

Barry y Chorley (1980, en "Atmosfera, tiempo y clima" ed. Omega, pag. 75) dan para esta aproximacion aerodinamica de la determinacion de la evaporacion una ecuacion similar, pero en ella introducen la velocidad del viento, u , como factor directamente proporcional

$$E = k' u (e - e_s)$$

Realizando este ajuste hemos obtenido para el factor de proporcionalidad el valor

$$k' = 0.0078 \pm 0.0006 \quad , \quad \text{con } r^2 = 0.790$$

Vemos que el ajuste mejora ligeramente cuando se introduce el efecto del viento.

2.5 Constante de refraccion atmosferica (en microondas)

El incremento de la elevacion, h , a la que va a ser observada una fuente emisora que se encuentre realmente a una elevacion h viene dado por

$$h = (n - 1) \cot h \quad (\text{en radianes})$$

donde n es el indice de refraccion de la atmosfera en la superficie terrestre a la frecuencia de observacion. En el caso de las microondas, en primera aproximacion resulta ser

$$h (") \approx \cot h$$

Para obtener mayor precision se utiliza la ecuacion de Smith-Weintraub (viase, p. ej., "Methods of Experimental Physics" vol. 12B, pag. 67)

$$h (") = \frac{16.0}{T} \left(p + 4810 \frac{e}{T} \right) \cot h$$

donde p es la presion total (la del aire seco mas la del vapor del agua, e) expresada en milibares.

Para una presión constante de 900 mbar (aproximadamente la que se obtiene para el Observatorio de Yeves a partir de la atmósfera standard, véase el anexo) se obtienen valores para el coeficiente que varían entre 58" (en invierno) y 61" (en verano).

Mediante los datos de radiosondeos utilizados por Fernandez (1986, Tesis de Licenciatura, U. Complutense) hemos determinado la constante de refracción para varios años, lo que puede verse en la tabla II. En ella se observa que los valores de la constante de refracción atmosférica se hallan siempre cerca del valor medio 59.0", no mostrando ninguna variación particular a lo largo del año.

$$R = 8.3144 \times 10^7 \text{ erg mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$\frac{gM}{R} = 34.14 \text{ K/km}$$

Anexo: La_atmosfera_standard

Se supone que la atmosfera seca obedece la ecuacion de los gases perfectos

$$\rho = \frac{M}{R} \frac{p}{T}$$

y la ecuacion de equilibrio hidrostatico

$$dp = -g \rho dz$$

La troposfera presenta un gradiente de temperaturas de unos -5 K/km inicialmente, hasta alcanzar los -7 K/km, en su parte mas elevada (para $z \sim 10$ a 12 km).

Si definimos la atmosfera standar como aquella para la que a nivel del mar se tiene

$$\begin{aligned} T_0 &= 288.16 \text{ K} = 15 \text{ }^\circ\text{C} \\ p_0 &= 1013.25 \text{ mbar} \end{aligned}$$

lo que implica una densidad del aire $\rho = 1.22$ g/litro, y para la que existe un gradiente medio de temperaturas de -6 K/km

$$T_\phi = T_0 - 6 z$$

resulta una distribucion de presion y de densidad del aire seco de la forma

$$\begin{aligned} p &= 1013 \left(1 - \frac{z}{48.0} \right)^{5.7} \text{ mbar} \\ &= 1.22 \left(1 - \frac{z}{48.0} \right)^{4.7} \text{ g/l} \end{aligned}$$

Para la altura del Observatorio de Yebes sobre el nivel del mar ($z=0.9$ km) resultan los valores standard

$$\begin{aligned} T &= 283 \text{ K} = 10 \text{ }^\circ\text{C} \\ p &= 909 \text{ mbar} \\ \rho &= 1.12 \text{ g/litro} = 1.12 \cdot 10^3 \text{ g/m}^3 \end{aligned}$$

Obsirvese que el valor de la temperatura esta muy proximo al valor medio anual medido en el propio Observatorio.

Cantidades_medias_(periodo_1982-87)

Temperatura media	:	12.8	OC
Oscilacion de la temp.	:	11.8	OC
Velocidad del viento	:	11.5	km/h
Precipitacion anual	:	420	l/m2
Evaporacion diaria	:	3.0	mm
Nubosidad (mediodia)	:	30	%
Humedad relativa	:	61	%
Densidad vapor de agua	:	6.9	gr/m3
Cantidad de agua prec.	:	8.9	mm

= 3.2 m/s

Medias_mensuales_(periodo_1982-87)

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Temp med	3.9	5.1	7.8	10.0	13.4	19.6	23.9	21.8	19.7	14.2	8.6	5.4
Osc temp	9.7	9.5	11.8	11.8	12.3	14.3	15.4	14.6	13.8	11.8	8.3	9.0
V viento	10.6	12.0	13.9	13.0	12.1	11.2	11.0	11.3	9.9	10.1	11.1	11.3
Evapora	0.9	1.2	2.4	2.6	3.0	4.6	6.9	5.4	4.1	2.4	1.0	0.9
Nubosidad	40.0	55.0	35.0	42.5	30.0	17.5	15.0	7.5	22.5	27.5	35.0	27.5
Humedad r.	74.0	69.0	62.0	62.0	60.0	54.0	44.0	49.0	53.0	60.0	74.0	72.0
Den vapor	4.7	4.7	5.1	5.8	7.0	9.2	9.6	9.5	9.0	7.3	6.4	5.0
Cant agua	6.0	6.0	6.5	7.4	9.0	11.8	12.3	12.2	11.5	9.3	8.2	6.4

Tabla 1

Promedio mensual de la temperatura media diaria, en OC

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
82			7.8	11.1	15.2	19.3	22.6	22.2	18.0	12.2	8.0	5.1
83	5.9	3.8	10.0	9.4	12.5	20.7	23.7	20.7	21.1	15.2	10.5	6.1
84	3.7	5.0	5.2	12.5	9.2	17.5	23.8	21.0	18.5	13.2	8.4	5.7
85	2.1	7.8	6.8	11.1	12.4	19.6	24.2	23.1	22.1	15.9	7.5	5.5
86	3.9	3.7	7.9	7.0	16.4	20.3	23.8	22.2	19.0	14.3	8.5	4.6
87	4.0	5.3	9.2	11.8	14.6	19.7						
M	3.9	5.1	7.8	10.0	13.4	19.6	23.9	21.8	19.7	14.2	8.6	5.4
D	1.1	1.3	1.5	1.8	2.3	1.0	0.4	1.0	1.0	1.2	1.0	0.7
				M total		12.8						
				D total		6.8						

Tabla 2

Promedio mensual de la oscilacion diaria de la temperatura, en OC

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	D	N	D
82			12.4	13.0	13.9	12.5	14.4	14.2	13.0	10.3	8.4	8.2
83	13.3	10.5	13.4	11.5	11.7	15.1	14.9	12.8	14.3	12.8	6.3	9.2
84	8.2	10.7	10.2	12.5	9.2	13.0	15.7	15.0	14.3	11.7	7.5	8.0
85	8.7	8.6	11.6	11.8	11.6	13.4	15.0	16.0	15.6	13.4	8.8	8.5
86	8.9	8.2	11.7	10.1	13.2	15.3	16.2	14.5	12.0	10.6	10.7	10.6
87	9.2	9.6	11.7	11.7	14.1	14.5						
M	9.7	9.5	11.8	11.8	12.3	14.3	15.4	14.6	13.8	11.8	8.3	9.0
D	1.4	1.0	0.9	0.8	1.6	1.0	0.8	1.1	1.1	1.1	1.2	1.0

M total 11.8
D total 2.2

Tabla 3

Promedio mensual de la velocidad del viento, en km/h

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
82			13.3	11.6	10.5	9.2	10.5	10.7	9.6	10.9	10.9	12.0
83	7.2	9.3	13.0	15.6	13.6	12.0	10.1	11.5	8.2	10.3	7.0	11.2
84	10.0	13.5	14.2	10.3	13.5	10.6	10.5	11.1	11.3	10.4	13.4	13.7
85	10.8	11.9	17.9	13.8	10.3	10.3	11.5	11.5	10.2	9.9	14.0	10.5
86	13.2	12.5	12.2	14.2	11.8	13.0	12.4	11.8	10.1	9.1	10.4	9.2
87	11.6	12.7	12.6	12.5	12.9	12.2						
M	10.6	12.0	13.9	13.0	12.1	11.2	11.0	11.3	9.9	10.1	11.1	11.3
D	1.7	1.4	1.8	1.7	1.3	1.3	0.8	0.3	1.0	0.6	2.4	1.5

M total 11.5

D total 1.0

Tabla 4

Promedio mensual de la evaporación media diaria, en mm

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	T
82			2.9	2.7	3.2	3.9	6.3	4.6	3.0	1.8	0.8	0.8	
83	1.6	1.1	3.0	3.1	3.5	6.1	7.3	4.1	5.0	3.2	0.8	1.1	3.3
84	0.8	2.1	1.6	2.9	1.6	3.5	7.8	5.2	4.6	2.4	0.8	1.0	2.9
85	0.5	1.2	2.2	2.4	2.5	4.0	6.4	6.6	4.8	3.1	1.2	0.8	3.0
86	0.9	0.8	2.0	1.7	3.9	5.5	6.6	6.6	3.0	1.6	1.4	0.8	2.9
87	0.9	0.9	2.4	2.5	3.2	4.9							
H	0.9	1.2	2.4	2.6	3.0	4.6	6.9	5.4	4.1	2.4	1.0	0.9	
D	0.3	0.4	0.4	0.4	0.7	0.9	0.5	1.0	0.3	0.6	0.3	0.1	
					M total	3.0							
					D total	1.8							

Tabla 5

Precipitacion mensual, en mm (o litros/m2)

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N
82	0.0	11.4	17.1	48.5	46.7	59.8	37.9	8.4	44.0	27.4	78.9
83	21.6	31.2	2.5	63.4	20.7	28.0	3.1	72.8	1.0	13.3	79.9
84	76.0	53.3	75.7	45.1	108.9	53.3	0.0	5.8	8.5	39.0	168.9
85	16.4	101.9	14.7	64.9	44.8	23.1	6.7	0.0	0.0	0.0	48.0
86	121.9	74.4	18.4	68.8	14.1	0.8	6.9	21.7	51.4	54.9	26.0
87			6.5	77.9	30.2	10.7					

Total anual

82	(381)
83	340.6
84	554.6
85	413.7
86	411.5

M total	420.3
D total	72.1

Tabla 6
 Promedio mensual de la nubosidad diaria, en % de cielo cubierto

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
85	37	52	40	37	50	20	15	2	7	15	50	35
84	40	37	25	45	30	10	12	12	37	43	20	20
87	40	55	40	47	10	27	20					
M	37	55	35	43	30	19	16	7	22	29	35	28

M total 31
 D total 10

Tabla 7

Promedio mensual de la humedad relativa media diaria, en %

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
87	86	68	63	63	61	57	44	51	56	68	78	74
88	61	70	56	63	63	52	48	62	57	57	81	76
84	77	59	64	55	61	53	40	49	42	55	75	71
85	71	70	60	61	57	55	42	40	48	50	68	65
86	74	78	69	68	57	54	47	45	61	70	66	72
M	74	69	62	62	60	54	44	49	53	60	74	72
D	8	6	4	4	3	3	3	7	7	8	6	8
					M total	61						
					D total	7						

Tabla 8

Promedio mensual de la oscilacion diaria de la humedad relativa, en %

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
82	22	47	45	46	53	47	34	48	45	47	36	38
83	51	44	50	50	49	40	35	45	46	42	31	32
84	34	45	39	36	48	39	36	44	37	41	36	38
85	39	41	44	41	45	40	34	33	39	36	33	37
86	34	33	47	38	39	43	31	37	48	45	38	39
M	36	42	45	42	46	42	34	41	43	42	34	36
D	9	5	4	5	5	4	1	5	4	4	2	2
					M total	40						
					D total	4						

Tabla 9

Densidad de vapor de agua (en g/m³)
calculada a partir de valores promedio

	diurna	nocturna	oscilacion diaria	media
Enero	4.9	4.2	0.7	4.7
Febrero	4.5	4.5	0.0	4.7
Marzo	4.7	4.7	0.0	5.1
Abril	5.6	5.3	0.3	5.8
Mayo	6.3	6.6	-0.3	7.0
Junio	8.4	8.3	0.1	9.2
Julio	9.0	8.5	0.5	9.6
Agosto	8.3	8.7	-0.4	9.5
Septiembre	8.0	8.4	-0.4	9.0
Octubre	6.7	6.8	0.1	7.3
Noviembre	6.4	6.0	0.4	6.4
Diciembre	5.1	4.6	0.5	5.0
		M total	6.9	
		D total	0.0	

Tabla 10

Cantidad de agua precipitable media, en mm

Enero	6.0
Febrero	6.0
Marzo	6.5
Abril	7.4
Mayo	9.0
Junio	11.8
Julio	12.3
Agosto	12.2
Septiembre	11.5
Octubre	9.3
Noviembre	8.3
Diciembre	6.4
Promedio	8.9

Tabla 11

Valores de la constante de refracción atmosférica, en "

	1977	1978	1982	1983	promedio
enero	59.011.5	58.511.6			58.710.3
febrero	60.011.8	58.812.0	59.211.8		59.310.5
marzo	58.212.0	57.911.8	57.912.1		58.010.2
abril	58.412.1	58.511.7	57.712.2		58.210.4
mayo	58.612.0	58.912.1	58.012.7		58.510.4
junio	59.611.8	59.911.9	58.812.8		59.410.5
julio	59.912.1	57.012.2	58.512.3		58.511.2
agosto	59.012.2	57.412.5	58.912.6		58.410.7
septiembre	59.612.7	57.912.5	59.912.7		59.110.9
octubre	61.211.8	58.611.8	59.511.4	59.311.9	59.611.0
noviembre	59.511.6	59.511.9		61.011.6	60.010.7
diciembre	60.511.7	59.511.9			60.010.5
MID	59.410.9	58.510.9			59.010.7

Promedio 59"