

## RECOMENDACIÓN UIT-R P.836-3

**Vapor de agua: densidad en la superficie y contenido de una columna de aire**

(Cuestión UIT-R 201/3)

(1992-1997-2001-2001)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que para calcular los efectos de la refracción y de la atenuación producida por los gases se necesita información sobre la densidad del vapor de agua en la atmósfera;
- b) que se necesita esa información para todos los emplazamientos de la Tierra y para todas las estaciones,

*recomienda*

**1** que se utilice la información de los Anexos 1 y 2 para los cálculos globales de los efectos de propagación que requieran una estimación de la densidad del vapor de agua en la superficie terrestre o del contenido total de vapor de agua de una columna de aire y de sus variaciones estacionales, siempre que no se disponga de datos locales más precisos.

## ANEXO 1

**1 Variación de la densidad de vapor de agua en la superficie**

El vapor de agua y el oxígeno de la atmósfera producen la absorción de las ondas milimétricas, especialmente en la región de las rayas de absorción (véase la Recomendación UIT-R P.676). La densidad del oxígeno atmosférico es relativamente constante, mientras que la del vapor de agua varía tanto con la situación geográfica como con el tiempo.

Los valores anuales de la densidad de vapor de agua en la superficie,  $\rho$  ( $\text{g}/\text{m}^3$ ), rebasados durante el 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30 y 50% del año se encuentran, en forma de mapas digitales, en la parte de la página web del UIT-R dedicada a la Comisión de Estudio 3 de Radiocomunicaciones, en los ficheros de datos SURF\_WVxx.TXT, donde xx = 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30 y 50. Los datos abarcan desde  $0^\circ$  a  $360^\circ$  en longitud y desde  $+90^\circ$  a  $-90^\circ$  en latitud, con una resolución de  $1,5^\circ$  en ambas. Estos datos deben usarse junto con los ficheros de datos ESALAT.TXT y ESALON.TXT que contienen, respectivamente, las latitudes y longitudes de los valores de la densidad de vapor de agua correspondientes (puntos de la cuadrícula) en los ficheros de datos SURF\_WVxx.TXT. Para un emplazamiento distinto de los puntos de la cuadrícula se puede calcular la densidad de vapor de agua en la superficie, en el emplazamiento deseado, efectuando una interpolación bilineal a partir de los valores de los cuatro puntos de la cuadrícula más cercanos, tal como se describe en la Recomendación UIT-R P.1144.

Obsérvese que los mapas digitales de la densidad de vapor de agua en la superficie contienen la expresión NaN (*Not-a-Number*) cuando, para una probabilidad de rebasamiento determinada, no existe un valor correspondiente de dicha densidad.

En las aplicaciones que requieran un valor anual medio, se debe usar la densidad de vapor de agua en la superficie terrestre para una probabilidad de rebasamiento anual del 50%, tal como se muestra en la Fig. 1.

Las Figs. 2 a 5 contienen los contornos medios estacionales de densidad de vapor de agua.

Para facilitar las consultas, en la Recomendación UIT-R P.453 se indican las relaciones entre la densidad de vapor de agua, la presión de vapor de agua y la humedad relativa.

FIGURA 1  
Densidad de vapor de agua en la superficie terrestre ( $\text{g/m}^3$ ) - rebasada durante el 50% del año

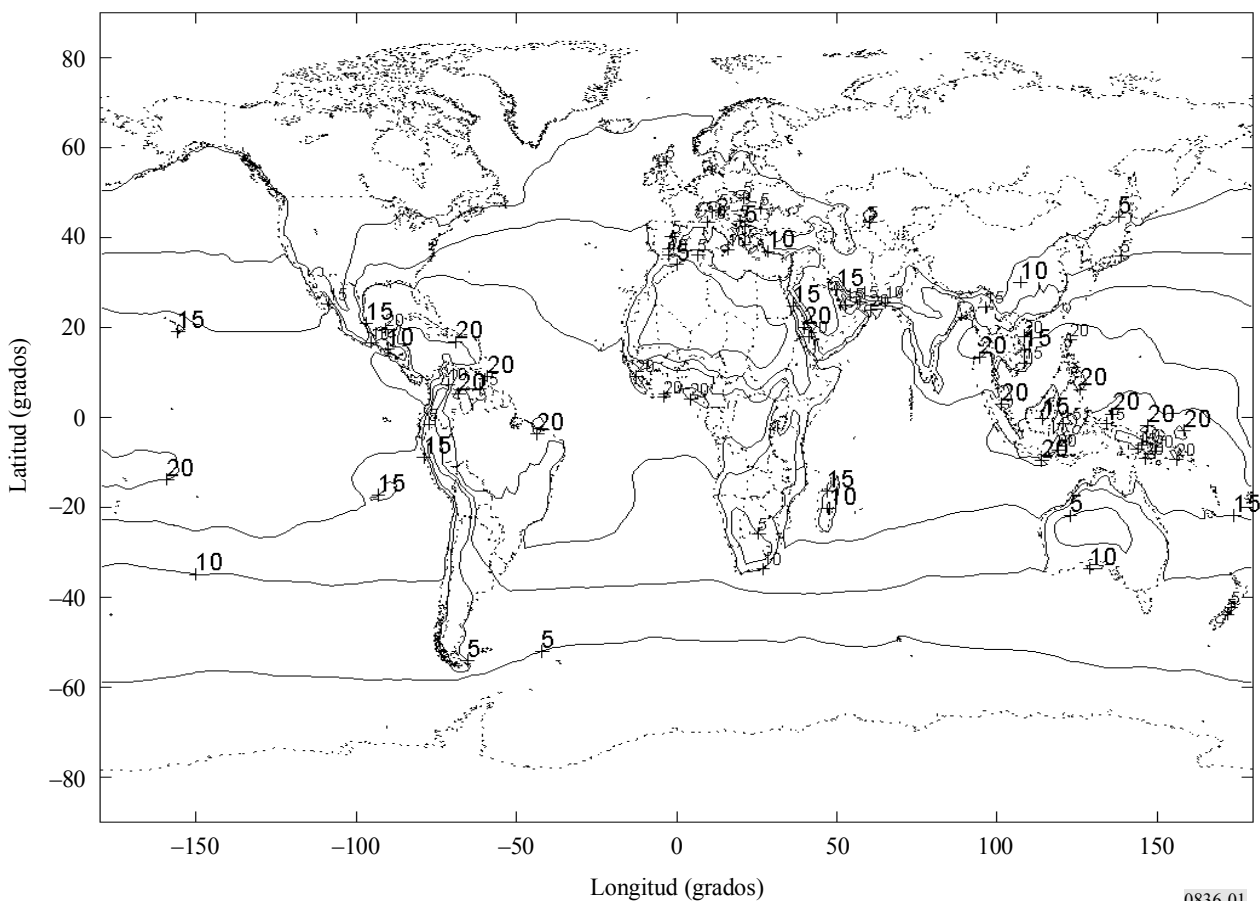


FIGURA 2  
Diciembre, enero y febrero: densidad de vapor de agua en la superficie terrestre ( $\text{g/m}^3$ )

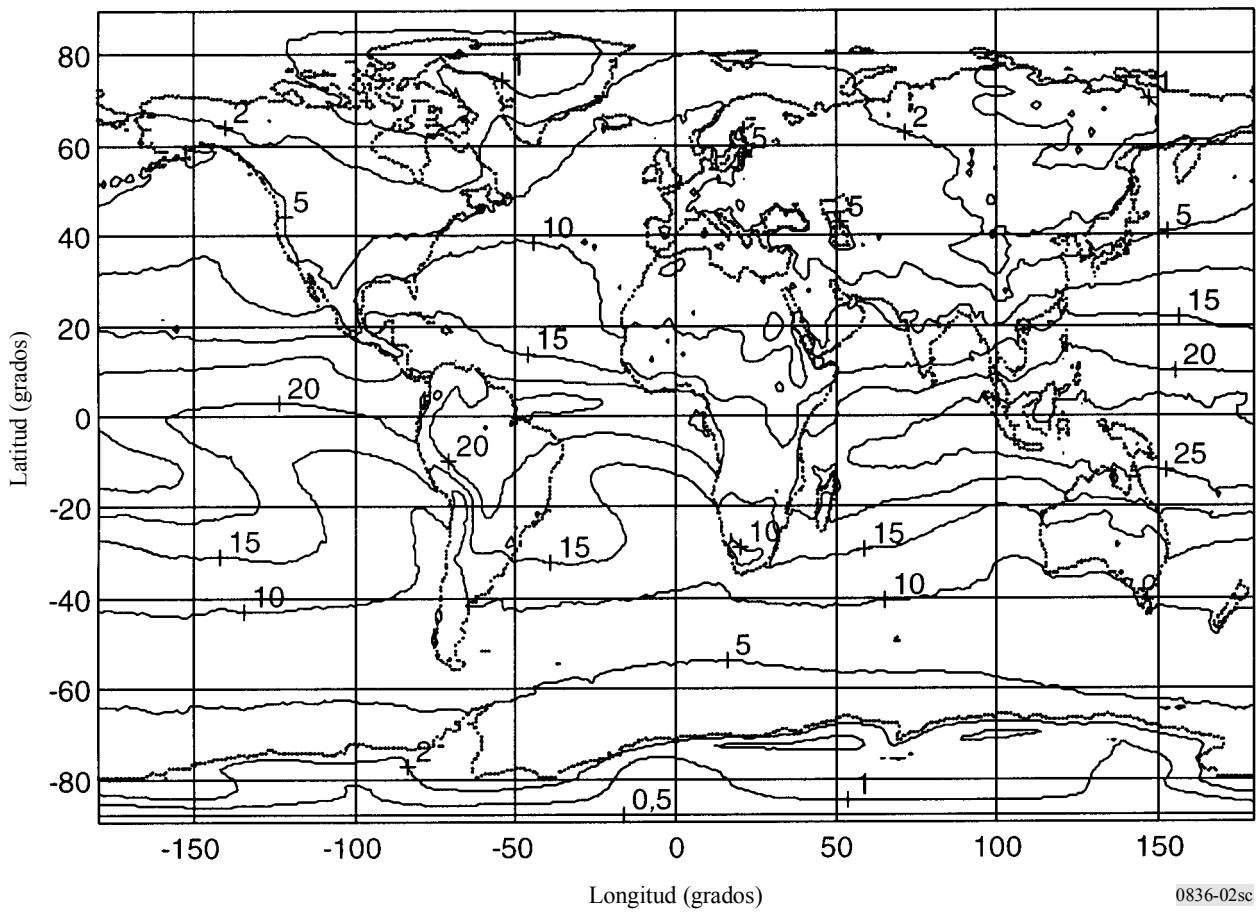


FIGURA 3  
Marzo, abril y mayo: densidad de vapor de agua en la superficie terrestre ( $\text{g/m}^3$ )

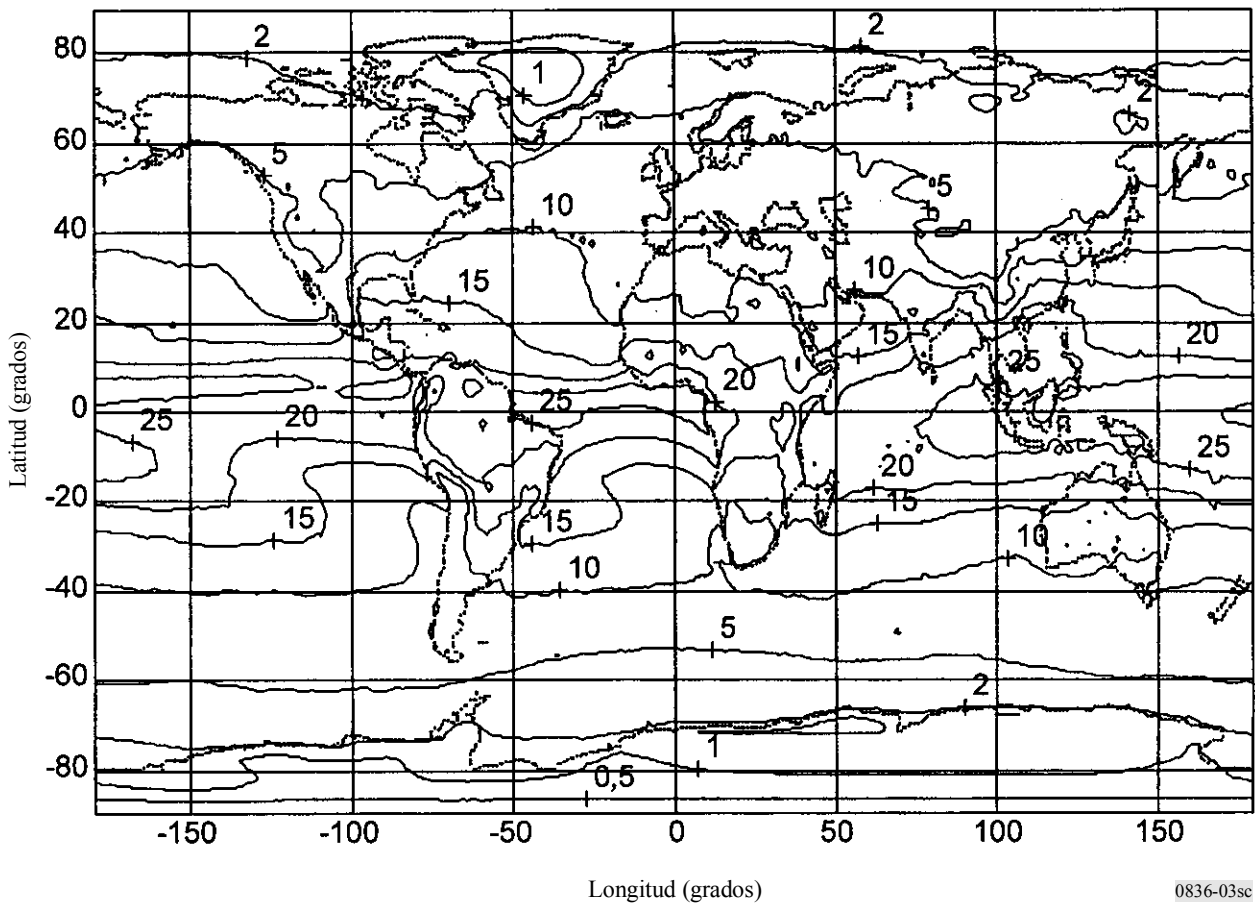
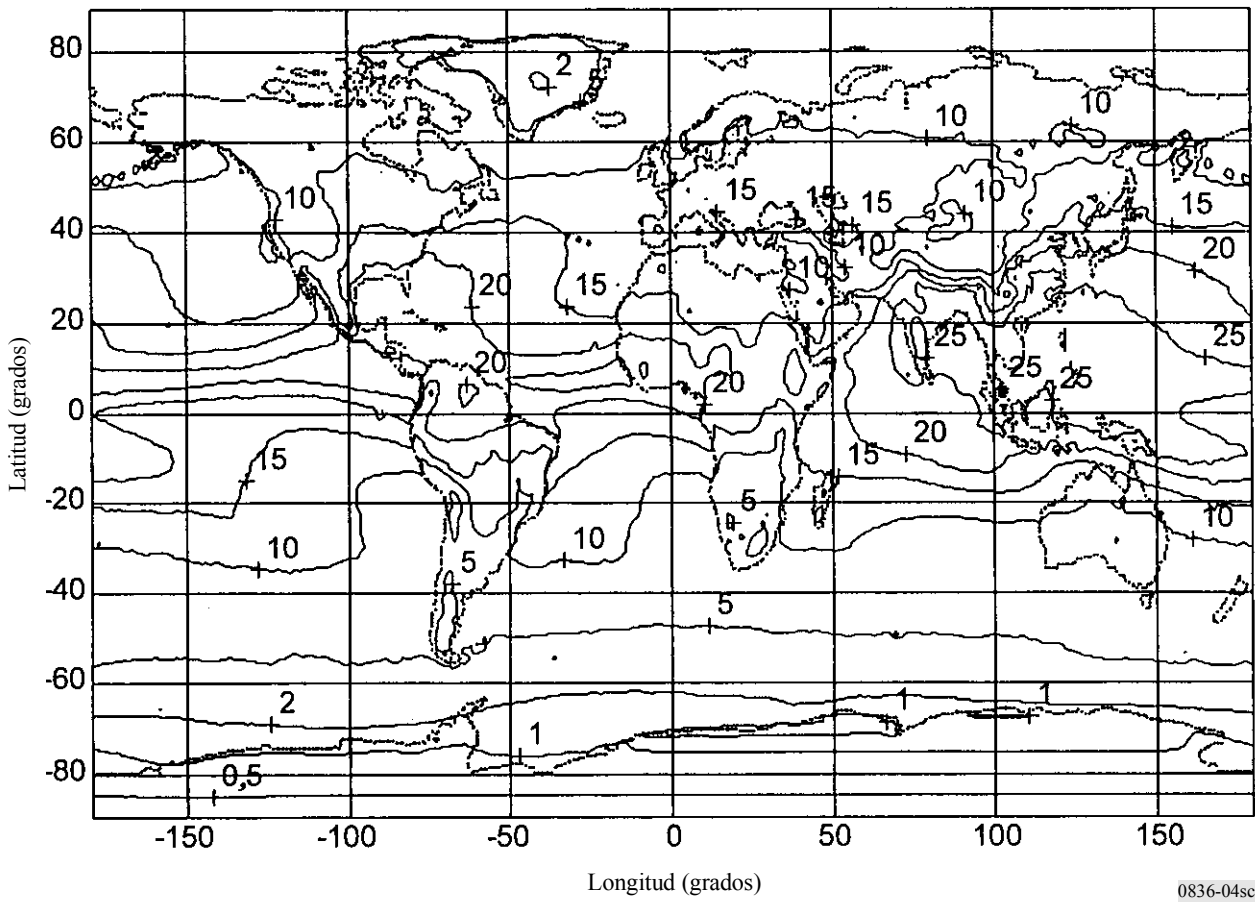


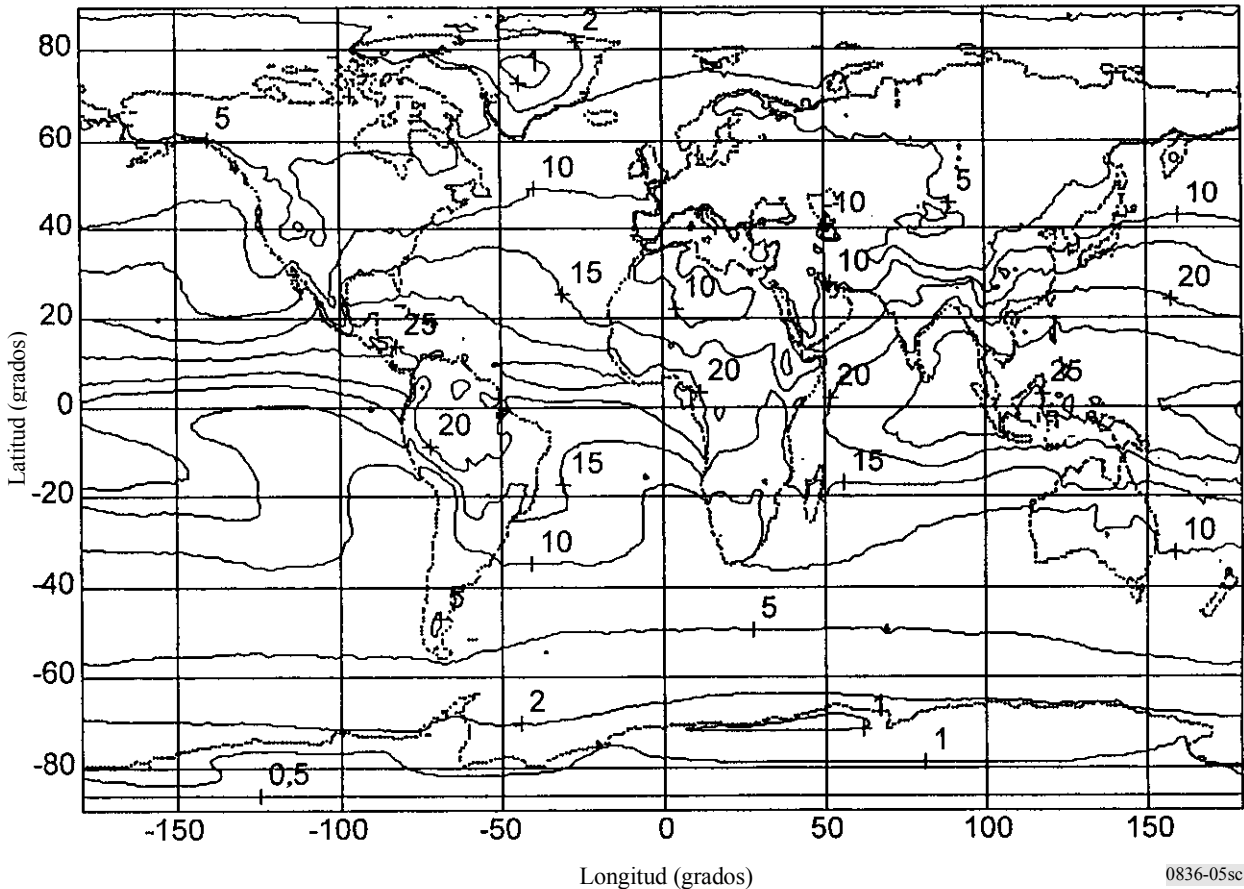
FIGURA 4  
Junio, julio y agosto: densidad de vapor de agua en la superficie terrestre (g/m<sup>3</sup>)



0836-04sc

FIGURA 5

Septiembre, octubre y noviembre: densidad de vapor de agua en la superficie terrestre ( $\text{g/m}^3$ )



0836-05sc

## ANEXO 2

### Contenido total de vapor de agua de la atmósfera

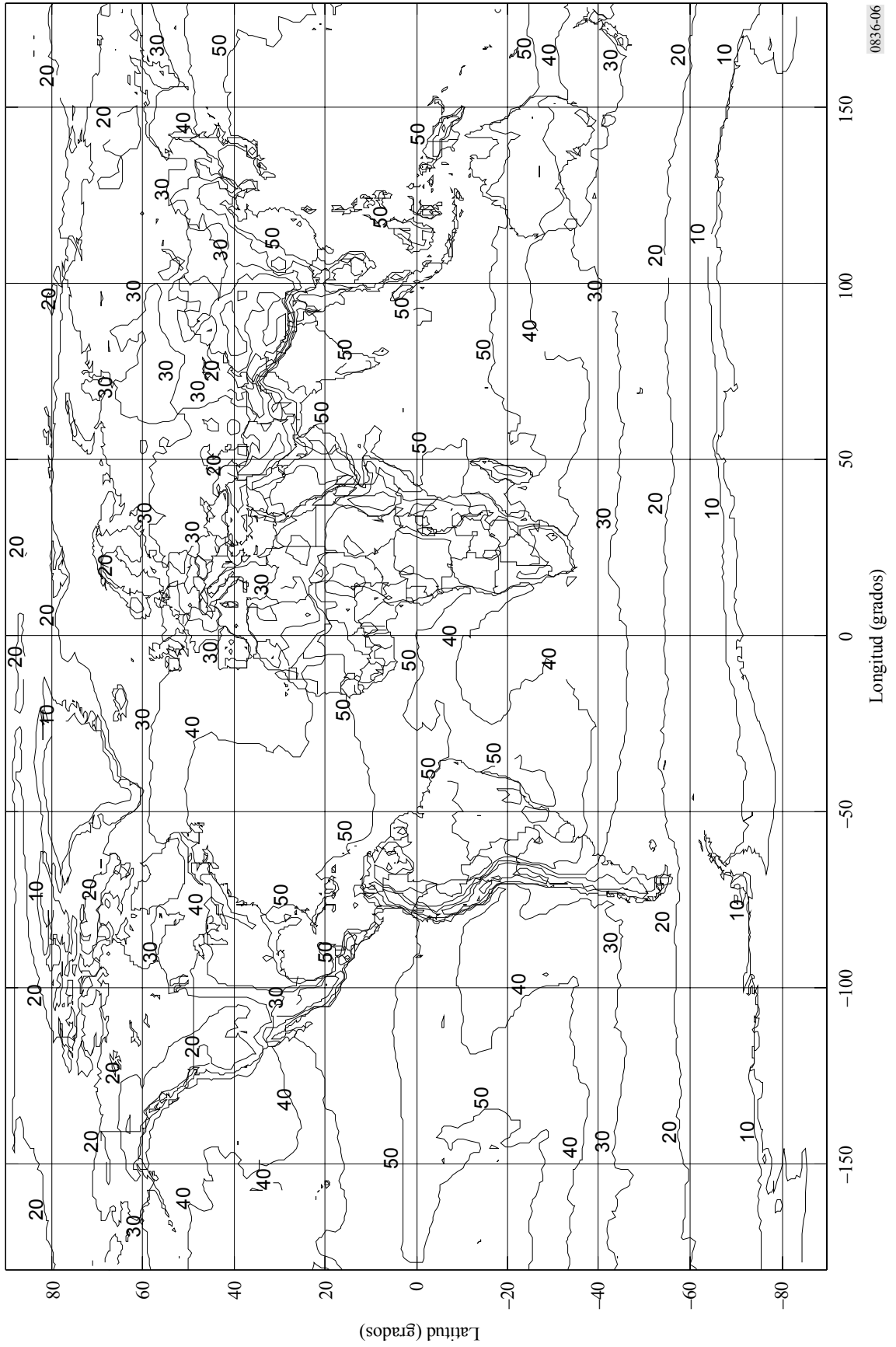
En el caso de ciertas aplicaciones, puede utilizarse el contenido total de vapor de agua en el trayecto, normalmente para calcular la longitud del trayecto en exceso y la atenuación ocasionadas por el vapor de agua atmosférico, suponiendo que esta última es proporcional al contenido total de vapor, con un coeficiente específico de absorción de masa.

El contenido total de vapor de agua, expresado en  $\text{kg/m}^2$  o, de forma equivalente, en mm de agua precipitable, puede obtenerse mediante sondeos efectuados con radiosondas, disponibles en una amplia escala espaciotemporal, aunque con una resolución temporal limitada y aplicados a trayectos cenitales, así como efectuando mediciones radiométricas en las frecuencias adecuadas directamente a lo largo del trayecto considerado.

#### 1 Mapas del contenido total de vapor de agua de una columna de aire

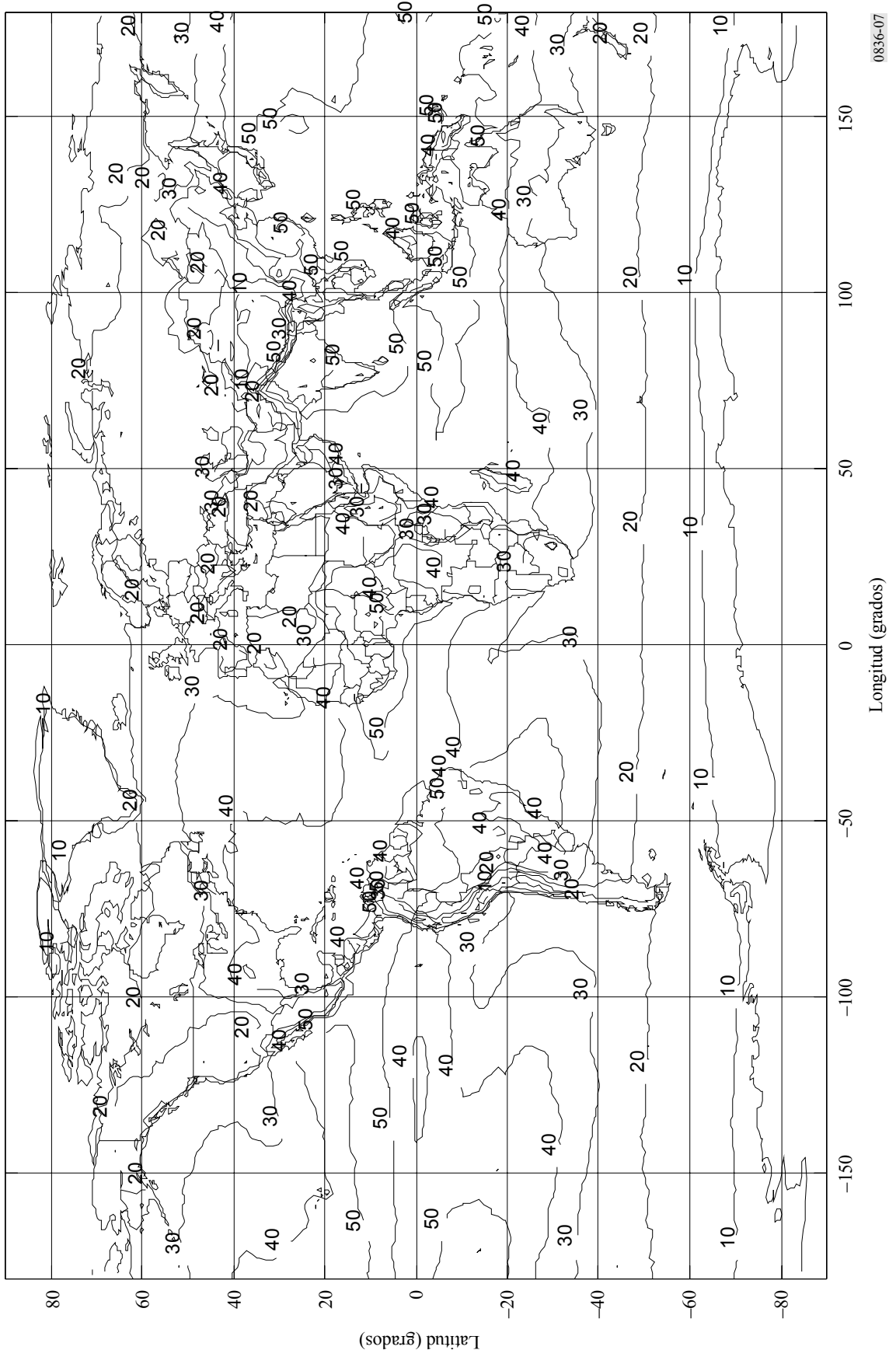
A falta de medidas locales, debería utilizarse el contenido total de vapor de agua de una columna de aire indicado en las Figs. 6 a 9, junto con los procedimientos de la Recomendación UIT-R P.676, para calcular la absorción de vapor de agua.

FIGURA 6  
Contenido de vapor de agua de una columna de agua de aire ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) rebasado durante el 1% del año



0836-06

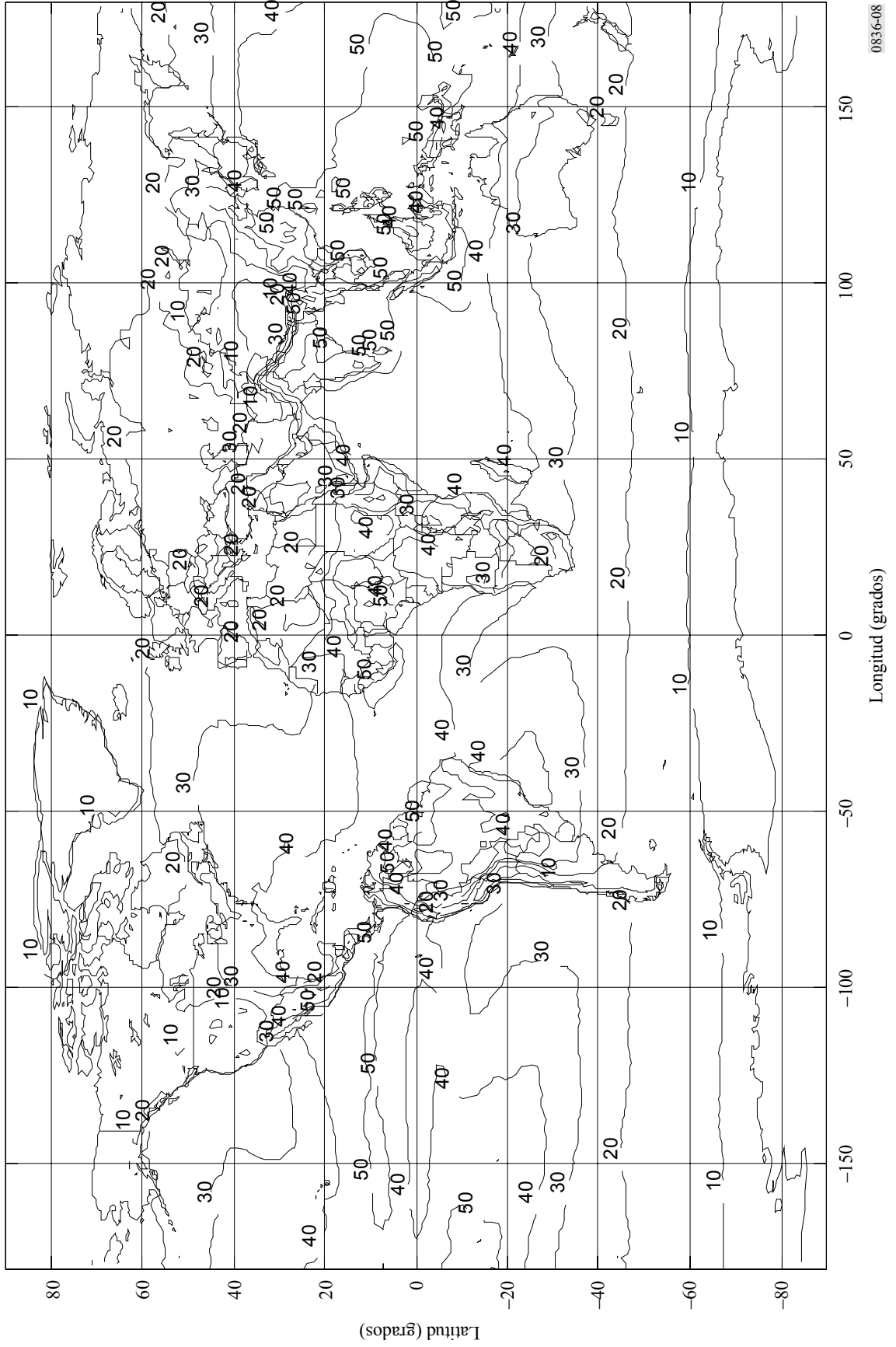
FIGURA 7  
Contenido de vapor de agua de una columna de aire ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) rebasado durante el 5% del año



0836-07

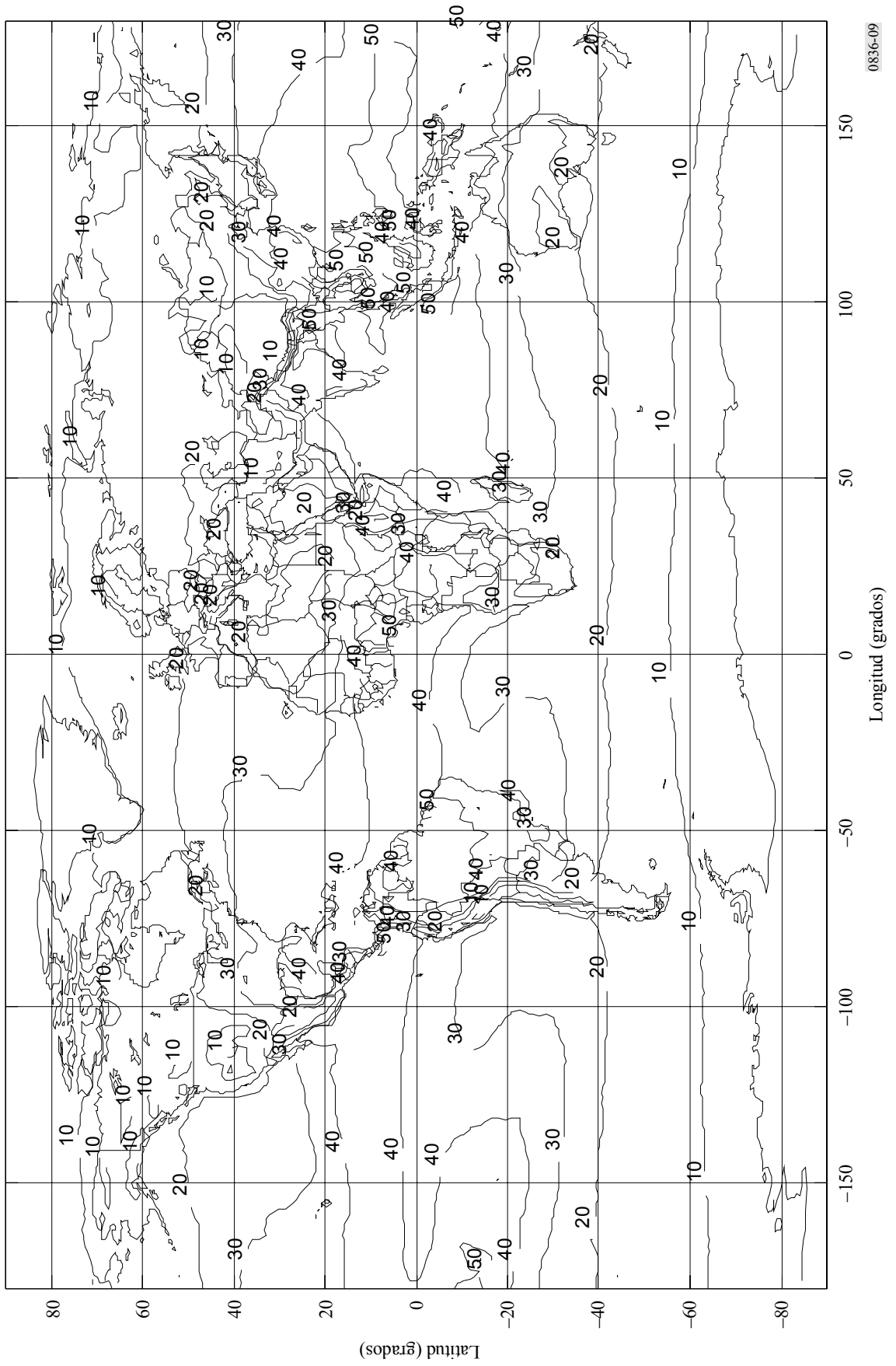


FIGURA 8  
Contenido de vapor de agua de una columna de agua de aire ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) rebasado durante el 10% del año



0836-08

FIGURA 9  
Contenido de vapor de agua de una columna de agua de aire ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) rebasado durante el 20% del año



0836-09

Los valores indicados en las figuras se expresan en  $\text{kg/m}^2$  para cuatro niveles de probabilidad de rebasamiento anual distintos. Los mapas se obtuvieron de dos años de datos con una resolución espacial de  $1,5^\circ$  en latitud y longitud. Los ficheros de datos (ESAWVCxx.TXT) que contienen estos datos así como los datos sobre niveles adicionales de probabilidad pueden solicitarse a la Oficina de Radiocomunicaciones de la UIT.

La cuadrícula de las latitudes de los ficheros de datos varía de  $+90^\circ$  N a  $-90^\circ$  S en incrementos de  $1,5^\circ$ ; la cuadrícula de las longitudes va de  $0^\circ$  a  $360^\circ$  en incrementos de  $1,5^\circ$ .

Para una localización diferente de los puntos de la cuadrícula, se calcula el contenido total de vapor de agua de una columna de aire en el emplazamiento deseado efectuando una interpolación bilineal a partir de los valores de los cuatro puntos de la cuadrícula más cercanos.

Para obtener el valor rebasado de una probabilidad diferente de las de los ficheros de datos, se lleva a cabo una interpolación semilogarítmica (logarítmica en cuanto a la probabilidad en porcentaje y lineal en cuanto al contenido de columna total).

## 2 Estimación del contenido total de vapor de agua a partir de mediciones radiométricas

La atenuación atmosférica en ausencia de lluvia puede expresarse como la suma de absorción de oxígeno y de dos términos proporcionales al contenido total de vapor de agua,  $V$ , y agua líquida,  $L$ , utilizando los coeficientes de absorción de masa adecuados,  $a_V$  y  $a_L$ , respectivamente.

Para un radiómetro de dos canales, que funciona en las frecuencias  $f_1$  y  $f_2$ , cabe formular las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} A_1 &= A_{o1} + a_{V1}V + a_{L1}L && \text{dB} \\ A_2 &= A_{o2} + a_{V2}V + a_{L2}L && \text{dB} \end{aligned} \tag{1}$$

o donde:

$A_1$  y  $A_2$ : atenuaciones radiométricas medidas en las dos frecuencias  $f_1$  y  $f_2$ , respectivamente, con arreglo al procedimiento indicado en la Recomendación UIT-R P.1322

$A_{oj}$ : atenuación debida al oxígeno

$V$  y  $L$ : contenidos totales de vapor de agua y agua líquida a lo largo del trayecto, respectivamente, (mm o  $\text{kg/m}^2$ )

$a_{Vj}$  y  $a_{Lj}$ : coeficientes de absorción de masa de vapor de agua y agua líquida en la frecuencia  $j$ .

El valor de  $A_{oj}$  puede calcularse, basándose en la Recomendación UIT-R P.676, así como el coeficiente de absorción de masa de vapor de agua,  $a_{Vj}$ , a la frecuencia deseada, que puede suponerse igual a la atenuación específica debida al vapor de agua,  $\gamma_w$ , indicada en dicha Recomendación, dividida por la densidad de vapor de agua,  $\rho$  ( $\text{g/m}^3$ ) a nivel de la superficie terrestre. El valor de  $a_{Lj}$  puede obtenerse recurriendo a la Fig. 1 de la Recomendación UIT-R P.840.

Deben escogerse adecuadamente los valores de  $f_1$  y  $f_2$ , de modo que las sensibilidades a la absorción de vapor de agua y al agua líquida sean diferentes. En general, cuanto mayor sea esta diferencia, mayor será la precisión de las estimaciones efectuadas. Se suelen escoger las rayas de 20,6 GHz ó 23,8 GHz como la frecuencia más baja, ya que tienen una elevada sensibilidad al vapor de agua. La frecuencia superior, que es más sensible al agua líquida, se escoge generalmente en la ventana de 31 a 36 GHz.

A continuación, puede resolverse la ecuación (1) obteniéndose el contenido total de vapor de agua,  $V$ . En lugar del contenido total de vapor de agua de una columna de aire calculado por radiosonda, el valor  $V$  se estima ahora directamente a lo largo del trayecto real. Asimismo, se obtiene una resolución temporal mucho mejor, lo que permite contar con información de la variabilidad a corto plazo del contenido total de vapor de agua.

Hay que destacar que la utilización del procedimiento antes mencionado para calcular  $L$ , puede ocasionar una considerable imprecisión en las mediciones, debido a que el correspondiente coeficiente de absorción de masa,  $a_{Lj}$ , depende en gran medida de la temperatura.

---