

## RECOMENDACIÓN UIT-R P.836-2

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

(Cuestión UIT-R 201/3)

(1992-1997-2001)

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 de columna de vapor de agua total y de sus variaciones estacionales, siempre que no se disponga de datos locales más precisos.

## ANEXO 1

**1 Variación de la densidad del 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 no lo es.

Las Figs. 1 a 5 contienen los contornos estacionales y anuales de densidad del vapor de agua,  $\rho$  (conocida también como humedad absoluta).

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

La parte del sitio Web del UIT-R dedicada a la Comisión de Estudio 3 de Radiocomunicaciones puede facilitar representaciones digitales de los mapas.

FIGURA 1  
Densidad anual del vapor de agua en la superficie terrestre (g/m<sup>3</sup>)

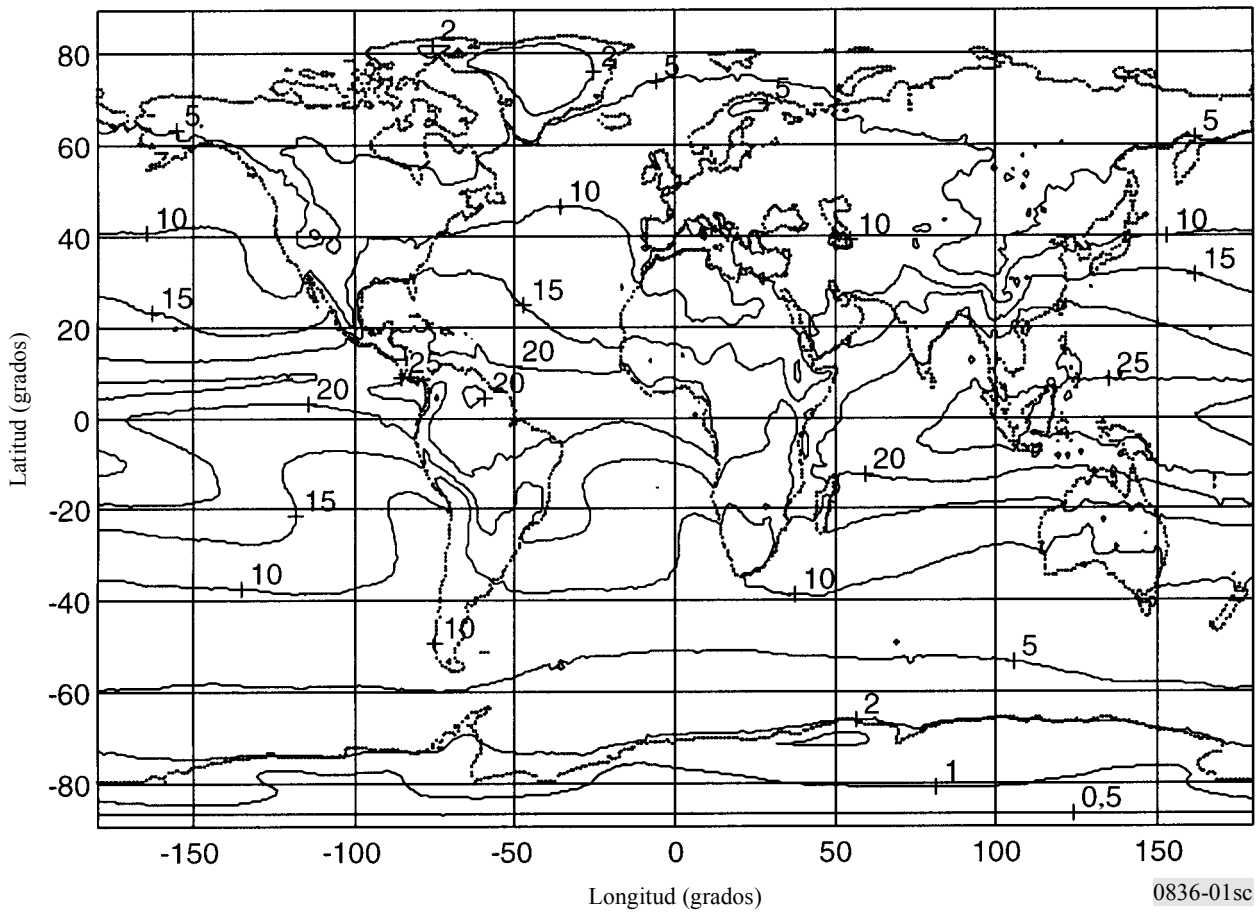
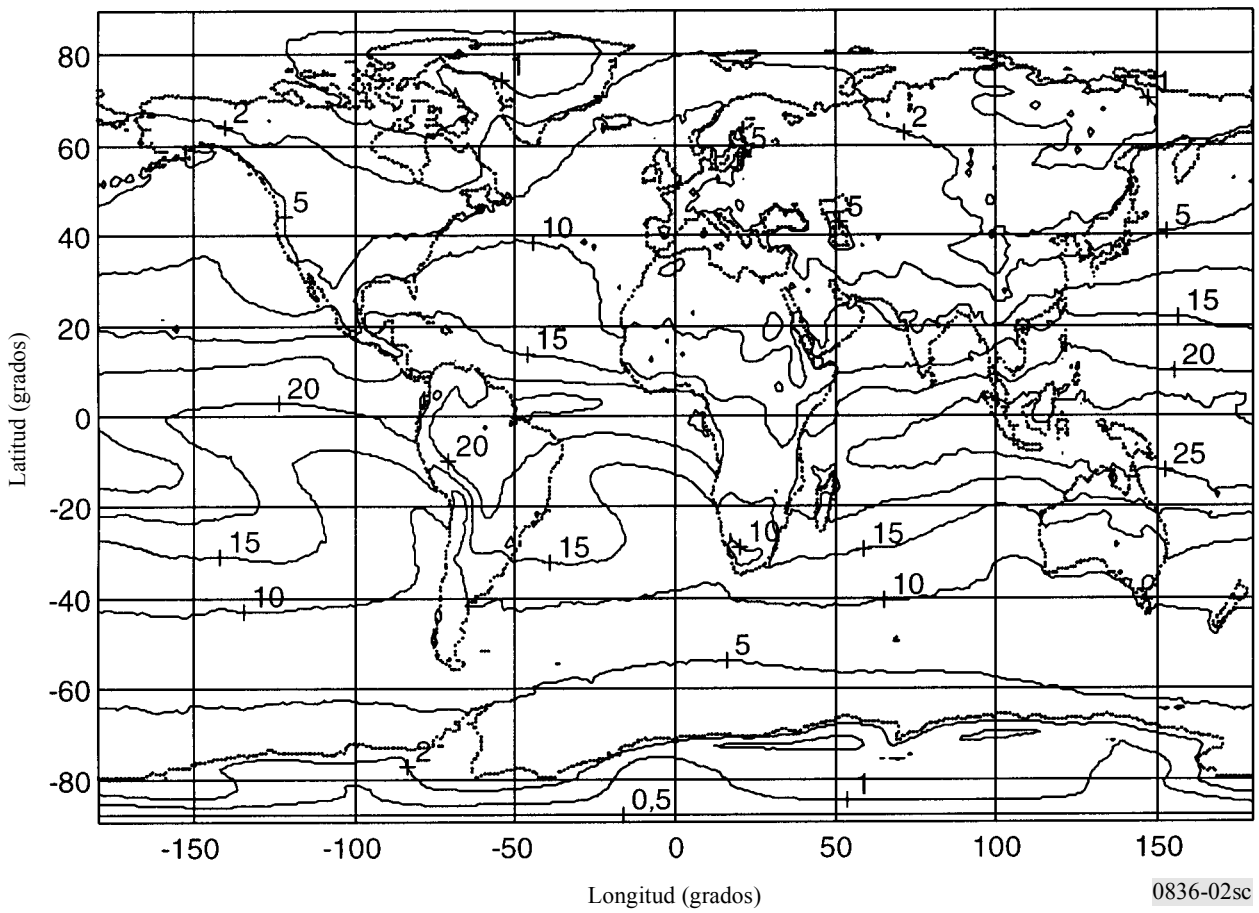


FIGURA 2  
Diciembre, enero y febrero: densidad del vapor de agua en la superficie terrestre (g/m<sup>3</sup>)



0836-02sc

FIGURA 3  
Marzo, abril y mayo: densidad del vapor de agua en la superficie terrestre (g/m<sup>3</sup>)

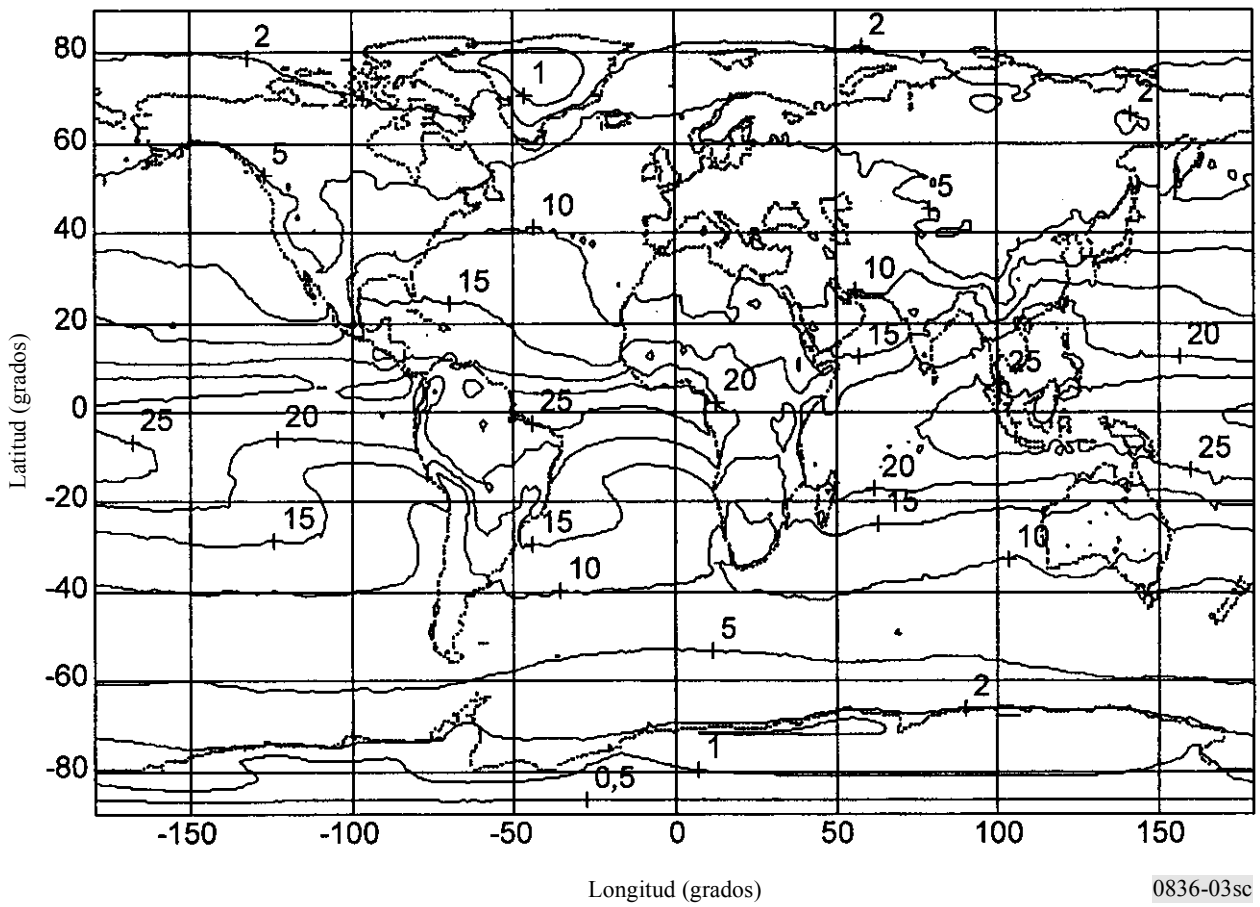


FIGURA 4  
Junio, julio y agosto: densidad del vapor de agua en la superficie terrestre (g/m<sup>3</sup>)

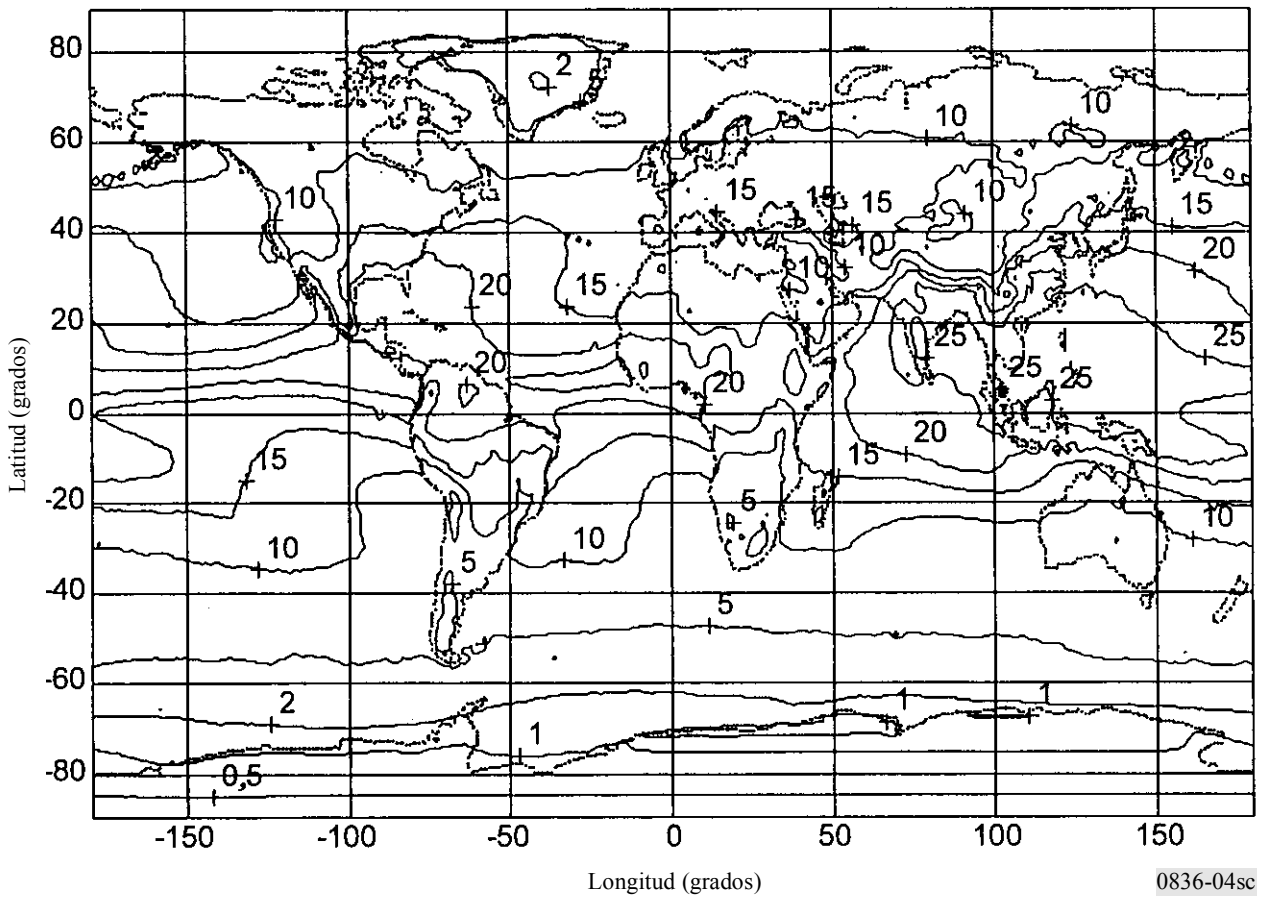
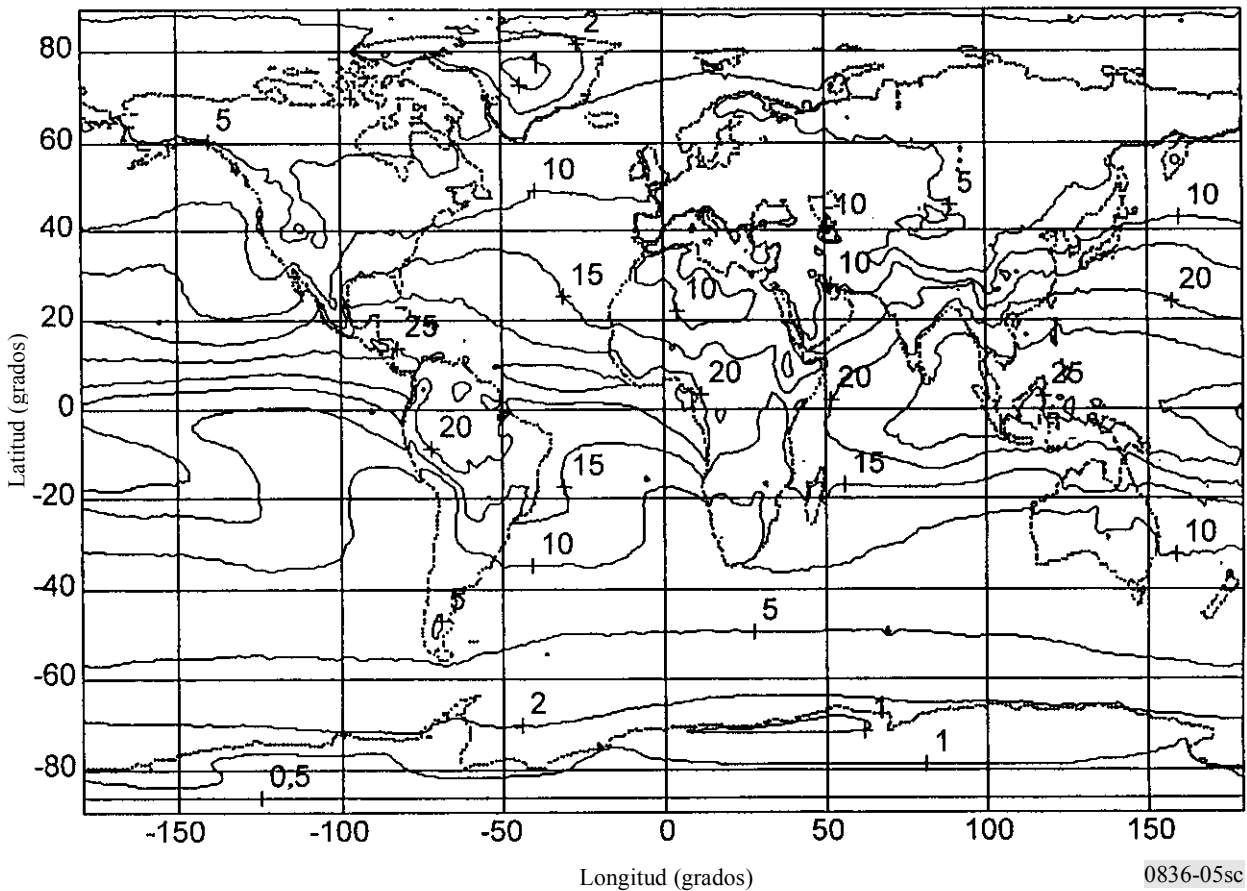


FIGURA 5

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

## ANEXO 2

**Contenido total de vapor de agua de la atmósfera**

En el caso de ciertas aplicaciones, puede utilizarse típicamente el contenido total de vapor de agua para calcular el exceso de longitud del trayecto y la atenuación ocasionados 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 precipitación, puede obtenerse mediante sondeos efectuados con radiosondas, disponibles en una amplia escala espaciotemporal, aunque con limitaciones en términos de resolución temporal y de su aplicación a trayectos cenitales, así como efectuando mediciones radiométricas en las frecuencias adecuadas directamente a lo largo del trayecto considerado.

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

A falta de medidas locales, debería utilizarse el contenido de columna de vapor de agua total 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.

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, calcular el contenido de columna total en la posición deseada efectuando una interpolación bilineal en 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, utilizar una interpolación semilogarítmica (logarítmica en cuanto a la probabilidad en porcentaje y lineal en cuanto al contenido de columna total).

## 2 Cálculo del contenido total de vapor de agua basado en 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,  $L$ , como indican los correspondientes coeficientes de absorción de masa,  $a_V$  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:

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

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,  $a_{Vj}$ , en 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.

FIGURA 6  
Vapor de agua (kg/m<sup>2</sup>) rebasado durante el 1% del año

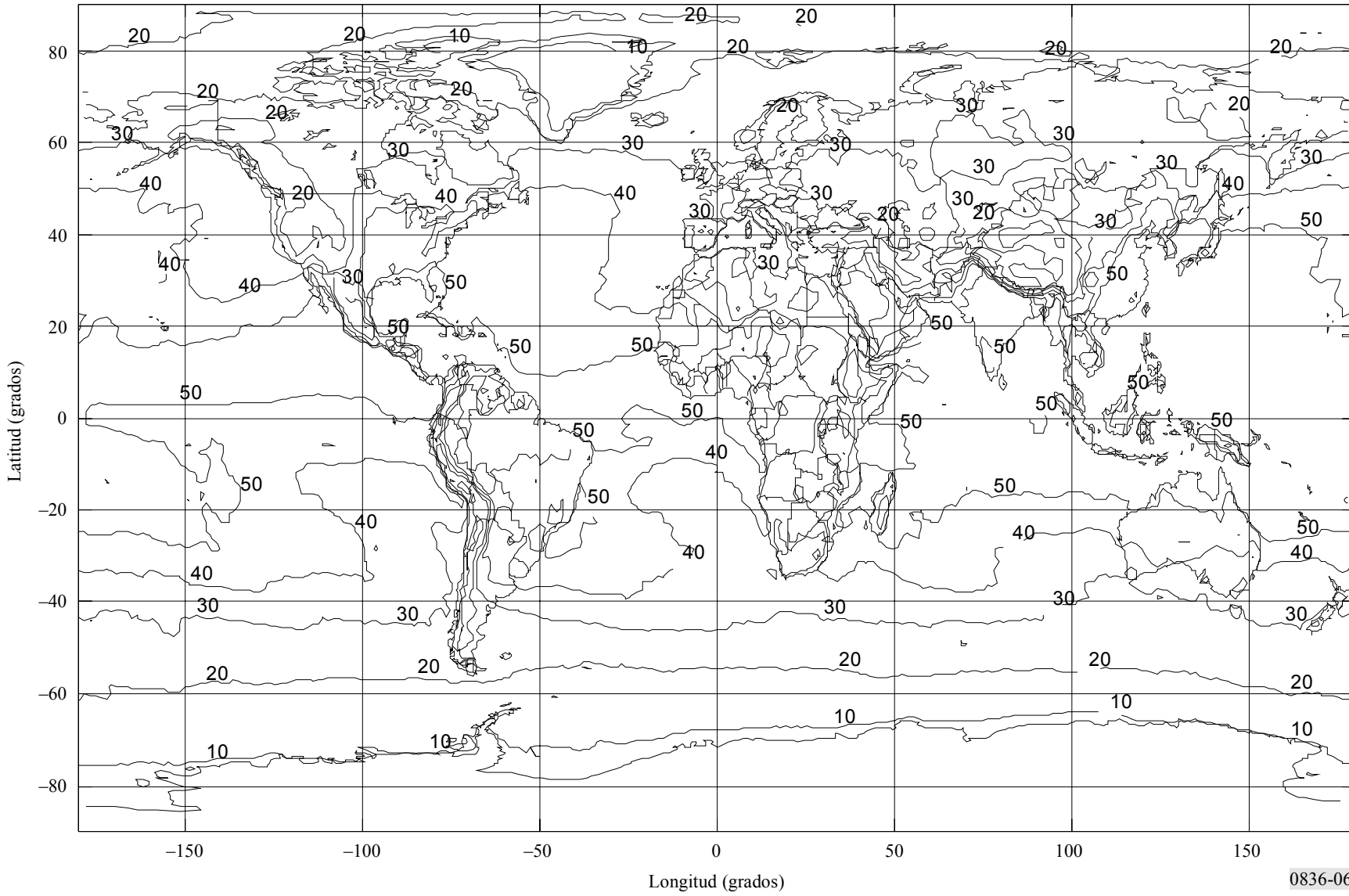
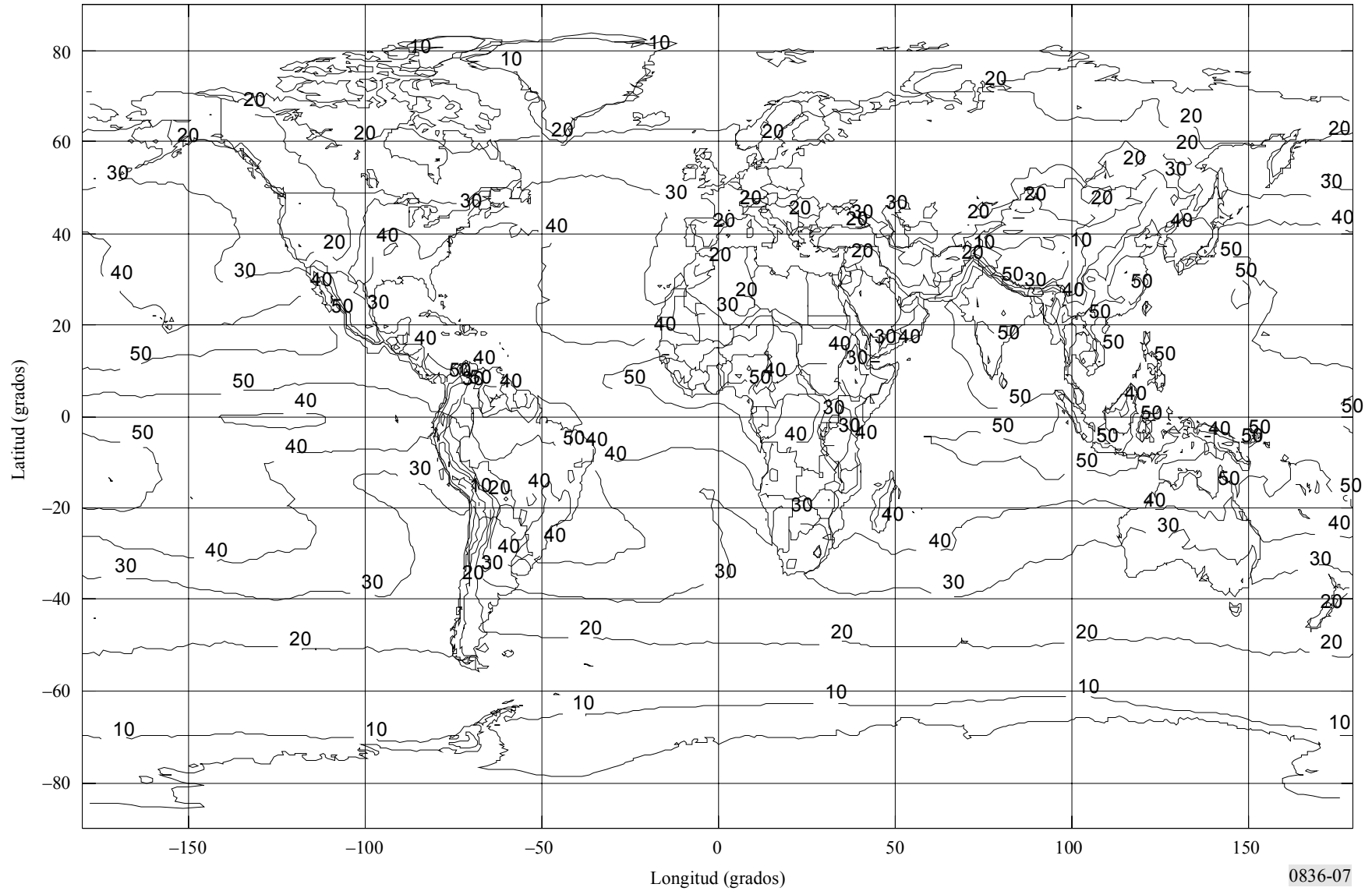




FIGURA 7

Vapor de agua (kg/m<sup>2</sup>) rebasado durante el 5% del año

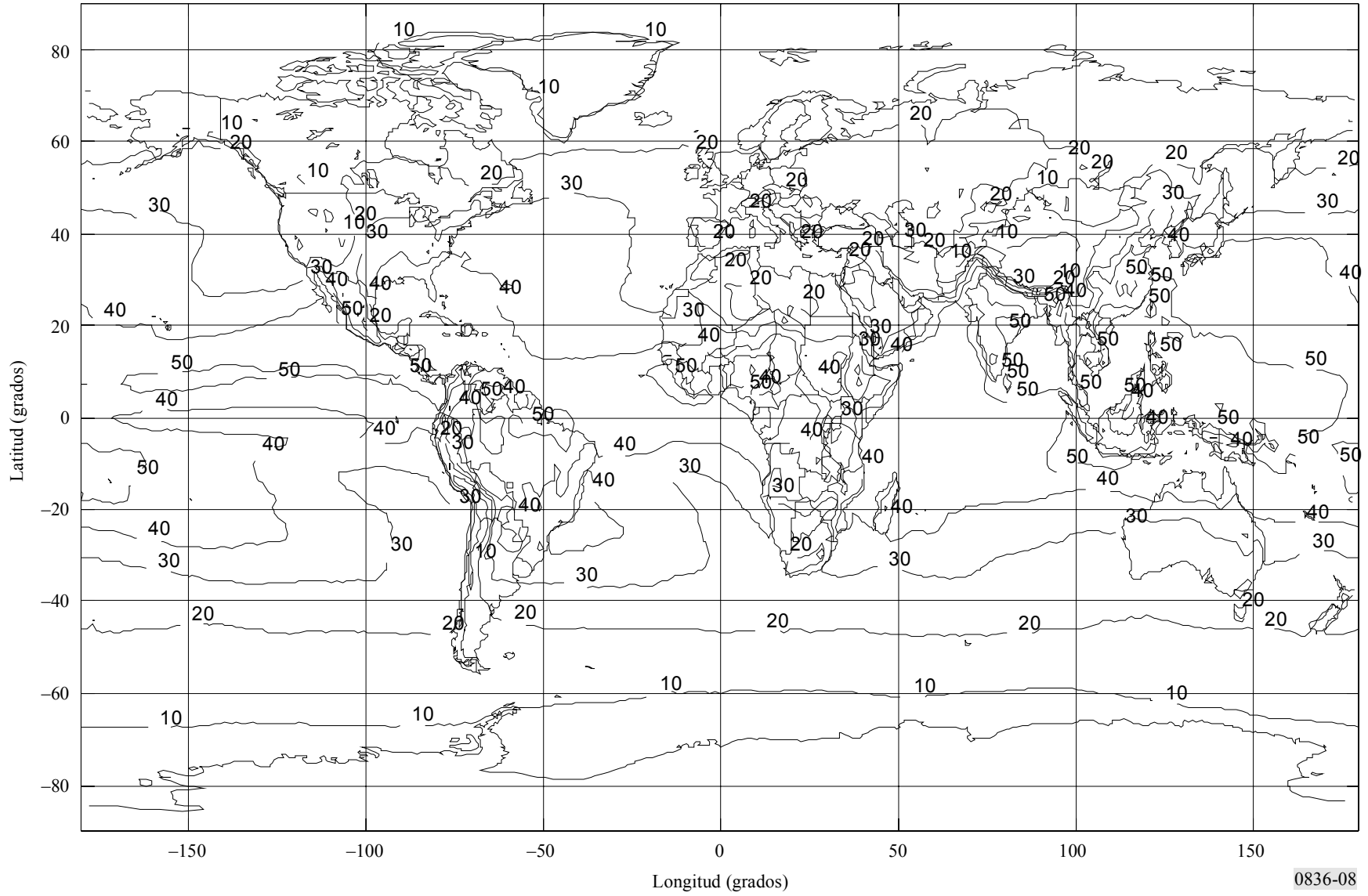


Rec. UIT-R P.836-2

0836-07

FIGURA 8

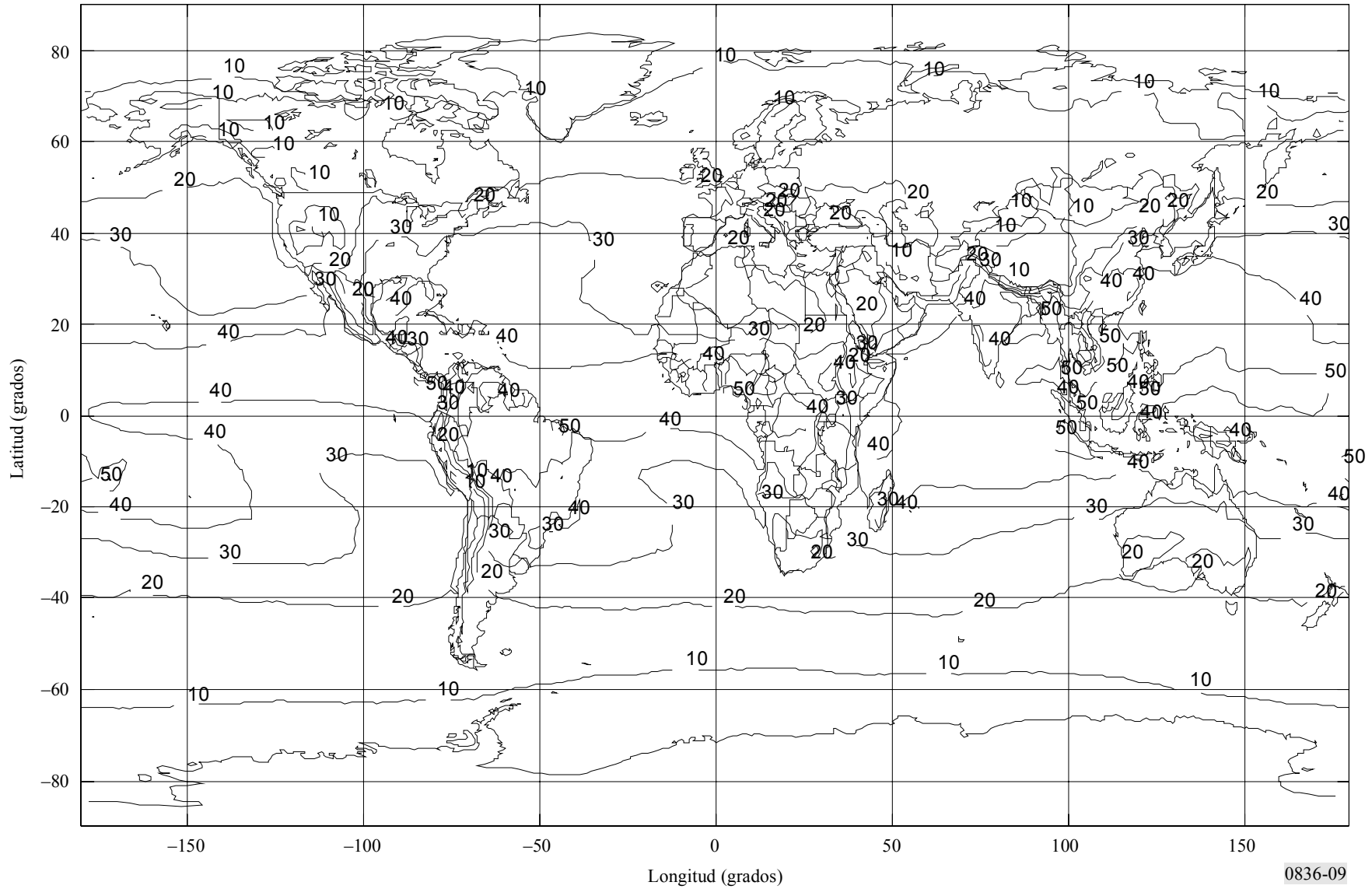
Vapor de agua (kg/m<sup>2</sup>) rebasado durante el 10% del año



0836-08

FIGURA 9

Vapor de agua (kg/m<sup>2</sup>) rebasado durante el 20% del año



0836-09

Sería necesario escoger adecuadamente los valores de  $f_1$  y  $f_2$ , de modo que las sensibilidades de la absorción de vapor de agua y de agua líquida sean diferentes. En general, cuanto mayor sea esta diferencia, mayor será la precisión de las mediciones 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 procederse a resolver la ecuación (1) y obtener el contenido total de vapor de agua,  $V$ . En lugar del contenido de columna total calculado por radiosonda, el valor  $V$  se estima ahora directamente a lo largo del trayecto real. Asimismo, se obtiene una mucho mejor resolución temporal, 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.

---