

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R P.836-4
(10/2009)

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

Serie P
Propagación de las ondas radioeléctricas



Prólogo

El Sector de Radiocomunicaciones tiene como cometido garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los servicios por satélite, y realizar, sin limitación de gamas de frecuencias, estudios que sirvan de base para la adopción de las Recomendaciones UIT-R.

Las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones y las Asambleas de Radiocomunicaciones, con la colaboración de las Comisiones de Estudio, cumplen las funciones reglamentarias y políticas del Sector de Radiocomunicaciones.

Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

La política del UIT-R sobre Derechos de Propiedad Intelectual se describe en la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI a la que se hace referencia en el Anexo 1 a la Resolución UIT-R 1. Los formularios que deben utilizarse en la declaración sobre patentes y utilización de patentes por los titulares de las mismas figuran en la dirección web <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/es>, donde también aparecen las Directrices para la implementación de la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI y la base de datos sobre información de patentes del UIT-R sobre este asunto.

Series de las Recomendaciones UIT-R

(También disponible en línea en <http://www.itu.int/publ/R-REC/es>)

Series	Título
BO	Distribución por satélite
BR	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
BS	Servicio de radiodifusión sonora
BT	Servicio de radiodifusión (televisión)
F	Servicio fijo
M	Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos
P	Propagación de las ondas radioeléctricas
RA	Radio astronomía
RS	Sistemas de detección a distancia
S	Servicio fijo por satélite
SA	Aplicaciones espaciales y meteorología
SF	Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo
SM	Gestión del espectro
SNG	Periodismo electrónico por satélite
TF	Emisiones de frecuencias patrón y señales horarias
V	Vocabulario y cuestiones afines

Nota: Esta Recomendación UIT-R fue aprobada en inglés conforme al procedimiento detallado en la Resolución UIT-R 1.

Publicación electrónica
Ginebra, 2010

© UIT 2010

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

RECOMENDACIÓN UIT-R P.836-4

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

(Cuestión UIT-R 201/3)

(1992-1997-2001-2001-2009)

Cometido

Esta Recomendación proporciona métodos para predecir la densidad de vapor de agua en la superficie y el contenido de vapor de agua total de una columna de aire en los trayectos Tierra-espacio.

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 de vapor de agua en la atmósfera;
- b) que esta información está disponible para todos los emplazamientos de la Tierra y para todas las estaciones,

recomienda

1 que se utilice la información contenida en los Anexos 1 y 2 para los cálculos globales de los efectos de propagación que requieran una estimación de la densidad de 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 Densidad de vapor de agua en la superficie**

El vapor de agua y el oxígeno en 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 concentración del oxígeno atmosférico es relativamente constante; sin embargo, la concentración de 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, ρ (g/m³), rebasados durante el 0,1; 0,2; 0,3; 0,5; 1; 2; 3; 5; 10; 20; 30; 50; 60; 70; 80; 90; 95 y 99% de un año medio están disponibles en forma de mapas digitales en la página web de la Comisión de Estudio 3 de Radiocomunicaciones en los ficheros de datos SURF_WVxx_v4.TXT, donde xx = 01; 02; 03; 05; 1; 2; 3; 5; 10; 20; 30; 50; 60; 70; 80; 90; 95 y 99. Los datos abarcan desde 0° a 360° en longitud y desde +90° a -90° en latitud, con una resolución de 1,25° tanto en latitud como en longitud. Estos datos deben utilizarse junto con los ficheros de datos ESALAT1dot125.TXT y ESALON1dot125.TXT que contienen las latitudes y longitudes de los correspondientes valores

(puntos de la cuadrícula) en los ficheros de datos SURF_WVxx_v4.TXT. La densidad de vapor de agua en la superficie en el emplazamiento deseado sobre la superficie de la Tierra puede obtenerse mediante el siguiente método de interpolación:

- se determinan las dos probabilidades, p_{encima} y p_{debajo} , por encima y por debajo de la probabilidad deseada, p , del conjunto: 0,1; 0,2; 0,3; 0,5; 1; 2; 3; 5; 10; 20; 30; 50; 60; 70; 80; 90; 95 y 99%;
- para las dos probabilidades, p_{encima} y p_{debajo} , se determinan las densidades de vapor de agua en la superficie, ρ'_1 , ρ'_2 , ρ'_3 y ρ'_4 en los cuatro puntos de la cuadrícula más próximos;
- utilizando el fichero de datos de altura de escala de vapor de agua, VSCH_xx_v4.TXT, donde xx corresponde a las probabilidades p_{encima} y p_{debajo} , se determina la altura de escala de vapor de agua en los cuatro puntos de la cuadrícula más próximos $vsch_1$, $vsch_2$, $vsch_3$ y $vsch_4$ para cada probabilidad, p_{encima} y p_{debajo} ;
- mediante la Recomendación UIT-R P.1511, se determinan las altitudes topográficas alt_1 , alt_2 , alt_3 y alt_4 , para los cuatro puntos de la cuadrícula más próximos;
- para cada uno de los cuatro puntos de la cuadrícula más próximos y cada probabilidad, se determinan las densidades de vapor de agua, ρ_1 , ρ_2 , ρ_3 y ρ_4 , a la altitud deseada, alt , extrapolando las densidades de vapor de agua, ρ'_1 , ρ'_2 , ρ'_3 y ρ'_4 , mediante la siguiente relación:

$$\rho_i = \rho'_i e^{-\frac{alt-alt_i}{vsch_i}} \quad \text{para } i = 1, 2, 3, 4 \quad (1)$$

- se determinan las densidades de vapor de agua, ρ_{encima} y ρ_{debajo} , a las probabilidades p_{encima} y p_{debajo} y en el emplazamiento deseado efectuando una interpolación bilineal de los cuatro valores de la densidad de vapor de agua, ρ_1 , ρ_2 , ρ_3 y ρ_4 , en los cuatro puntos de la cuadrícula como se describe en la Recomendación UIT-R P.1144 (como referencia, se muestra en la Fig. 1 el procedimiento para determinar ρ_{encima} y ρ_{debajo} a partir de ρ'_1 , ρ'_2 , ρ'_3 y ρ'_4);
- se determina la densidad de vapor de agua, ρ , a la probabilidad deseada, p , interpolando ρ_{encima} y ρ_{debajo} en función de p_{encima} y p_{debajo} a p en una escala lineal de ρ en función de $\log p$.

Obsérvese que los mapas digitales de la densidad de vapor de agua en la superficie contienen la expresión NaN (*Not-a-Number*) cuando no hay ningún valor de la densidad de vapor de agua en la superficie que corresponda a una probabilidad de rebasamiento anual determinada.

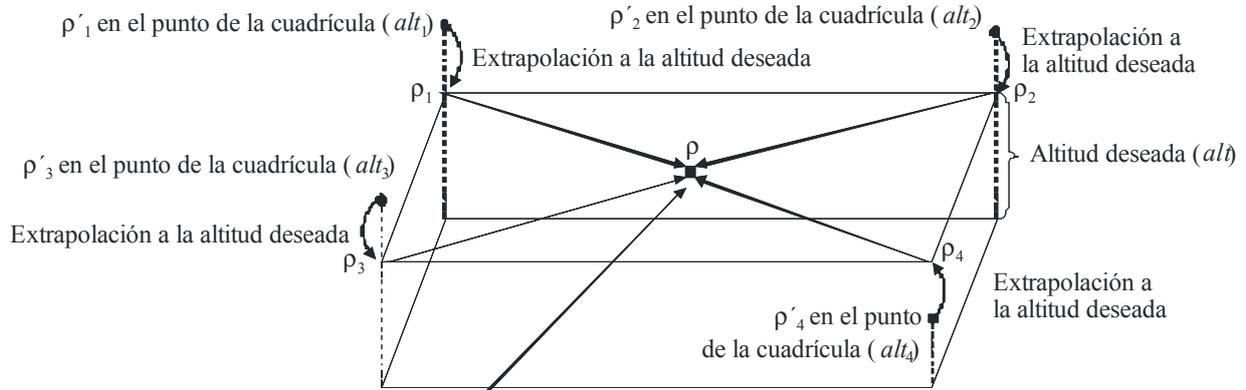
En la Fig. 2 aparece un ejemplo de contorno de altura de escala de vapor de agua para una probabilidad de rebasamiento del 1%. En las Figs. 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9 aparecen ejemplos de contorno de la densidad de vapor de agua media anual para probabilidades de rebasamiento del 0,1; 0,5; 1; 5; 10; 20 y 50%.

Las Figs. 10, 11, 12 y 13 contienen los contornos medios estacionales de densidad de vapor de agua. Obsérvese que estos datos medios estacionales se obtuvieron a partir de distintos conjuntos de datos que los datos medios anuales.

Para referencia, en la Recomendación UIT-R P.453 aparecen las relaciones entre la densidad de vapor de agua, la presión de vapor de agua y la humedad relativa.

FIGURA 1

Procedimiento de interpolación para probabilidades por encima y por debajo de la probabilidad deseada

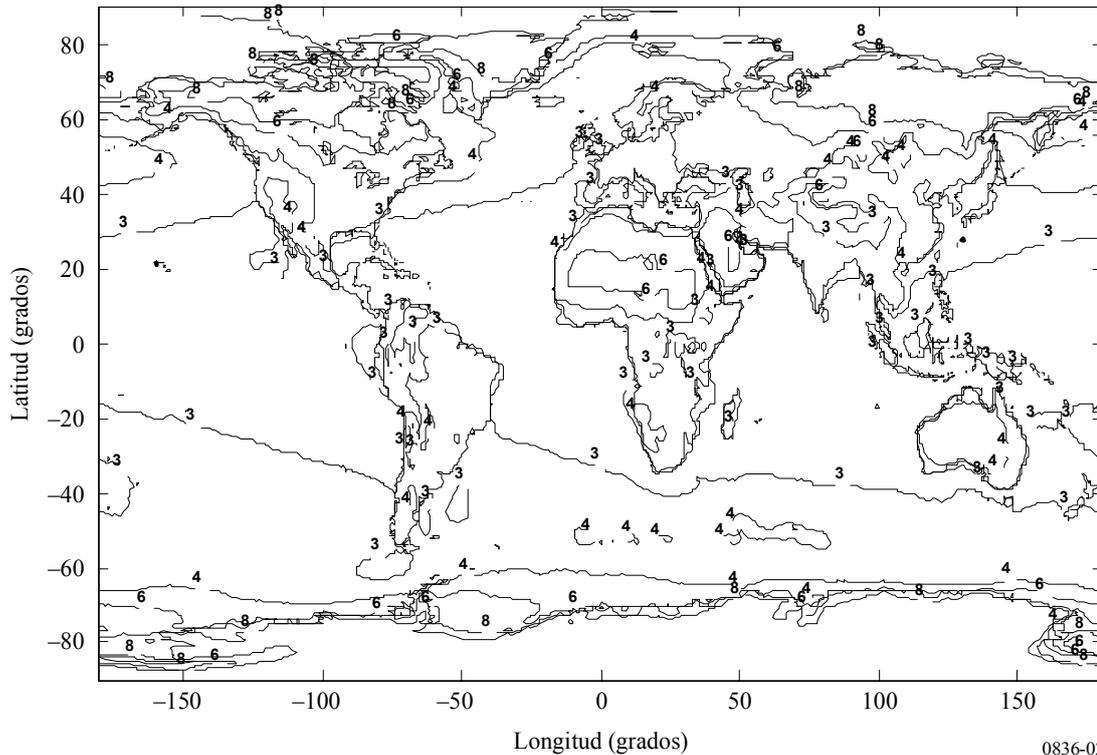


Interpolación bilineal de ρ , a la latitud, longitud y altitud deseadas a partir de los cuatro puntos de la cuadrícula extrapolados a la misma altitud

0836-01

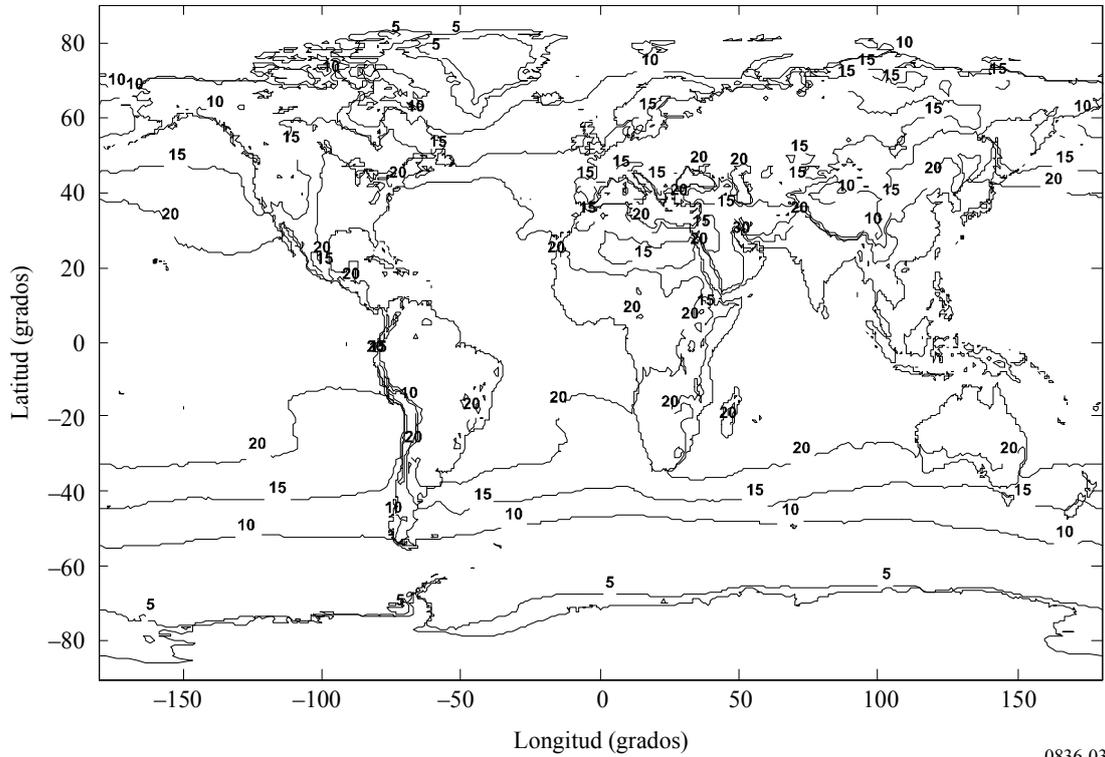
FIGURA 2

Altura (km) de escala de vapor de agua rebasada durante el 1% del año



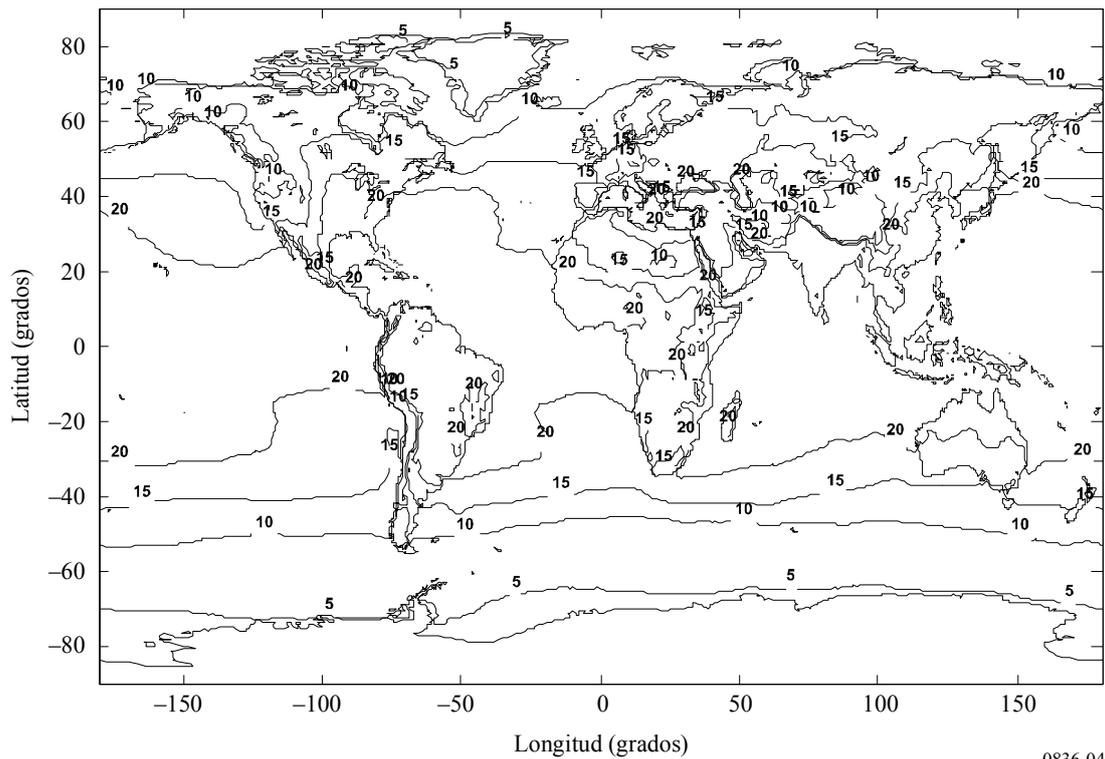
0836-02

FIGURA 3
Densidad de vapor de agua (g/m^3) rebasada durante el 0,1% del año



0836-03

FIGURA 4
Densidad de vapor de agua (g/m^3) rebasada durante el 0,5% del año



0836-04

FIGURA 5
Densidad de vapor de agua (g/m^3) rebasada durante el 1% del año

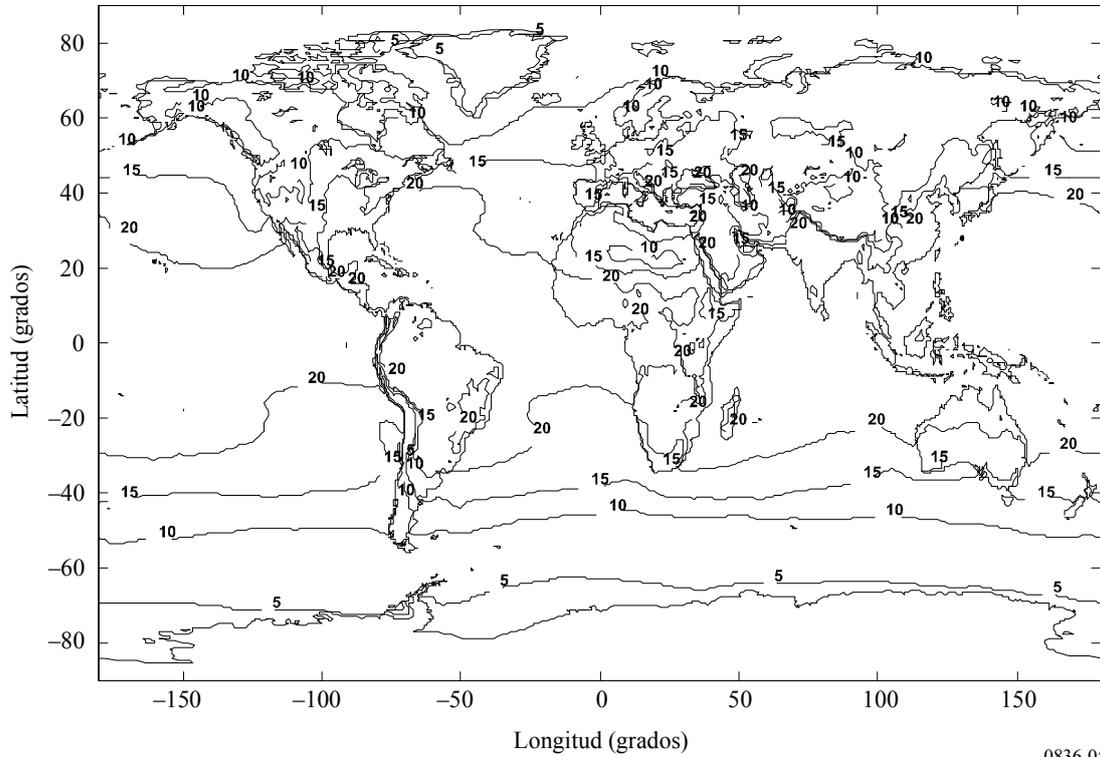


FIGURA 6
Densidad de vapor de agua (g/m^3) rebasada durante el 5% del año

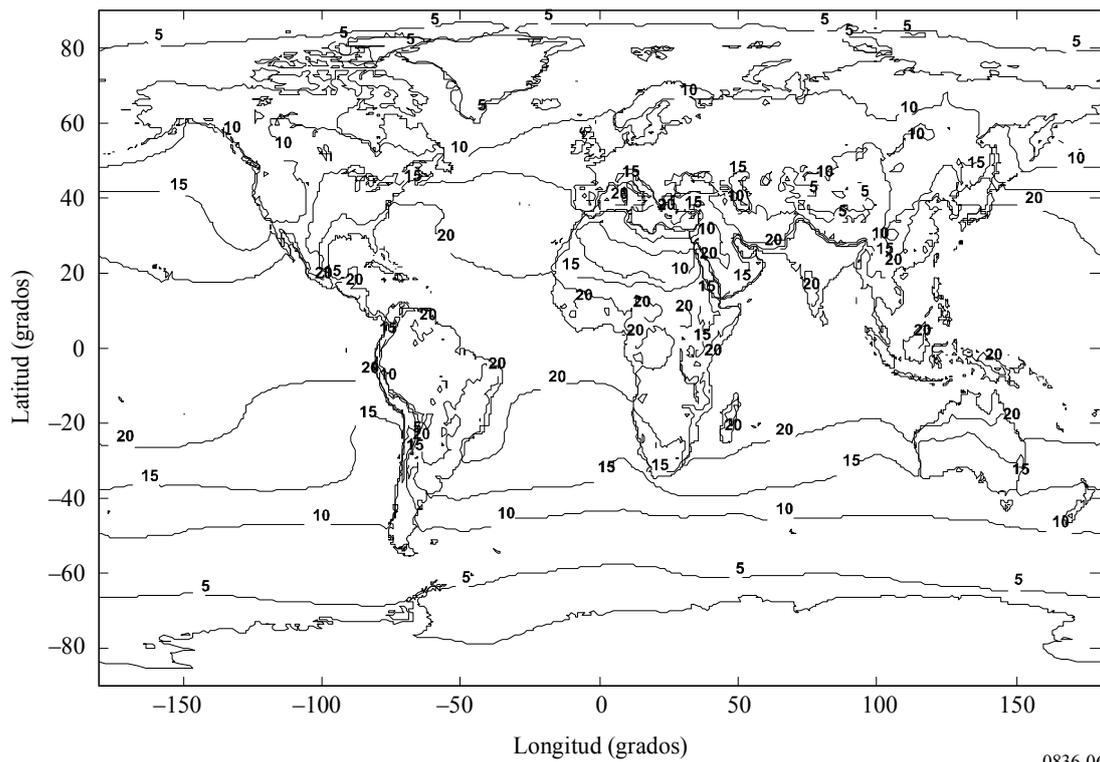
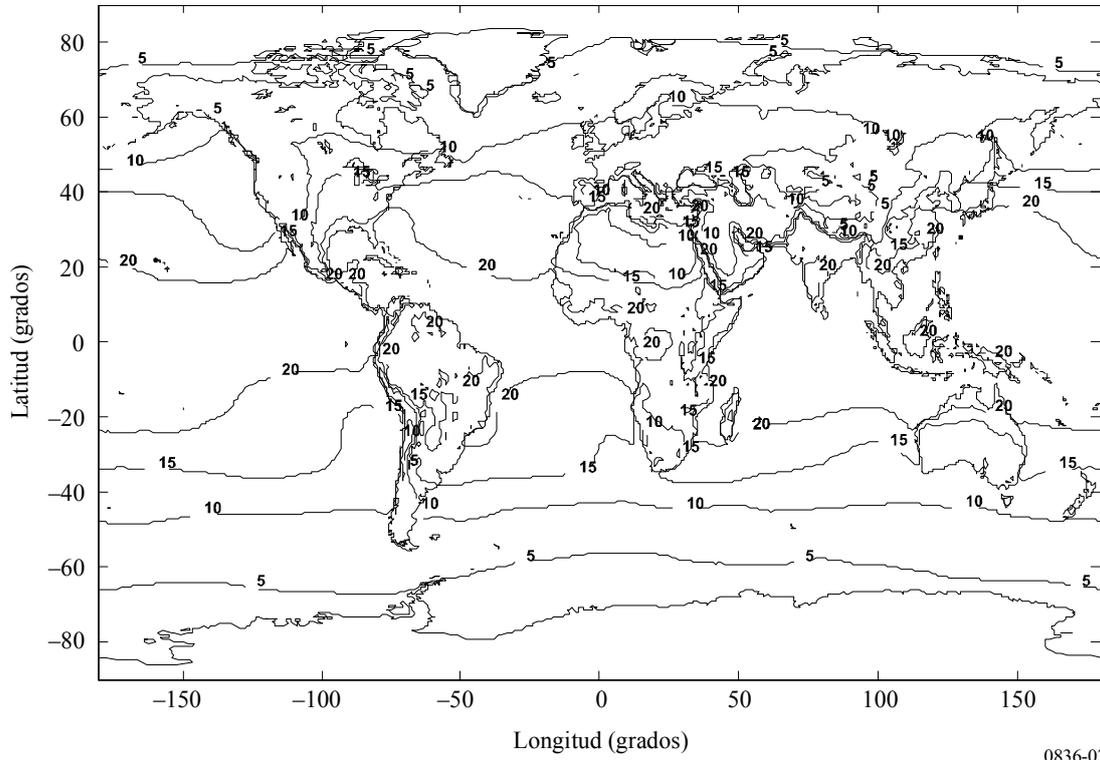
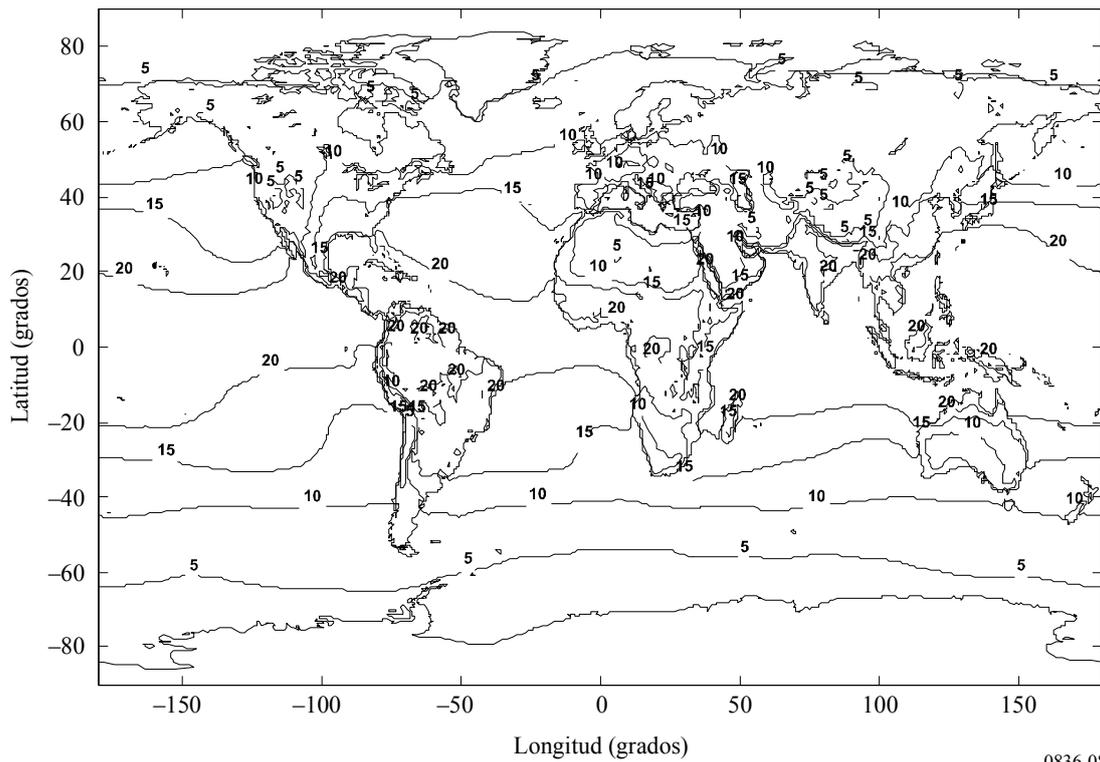


FIGURA 7
Densidad de vapor de agua (g/m^3) rebasada durante el 10% del año



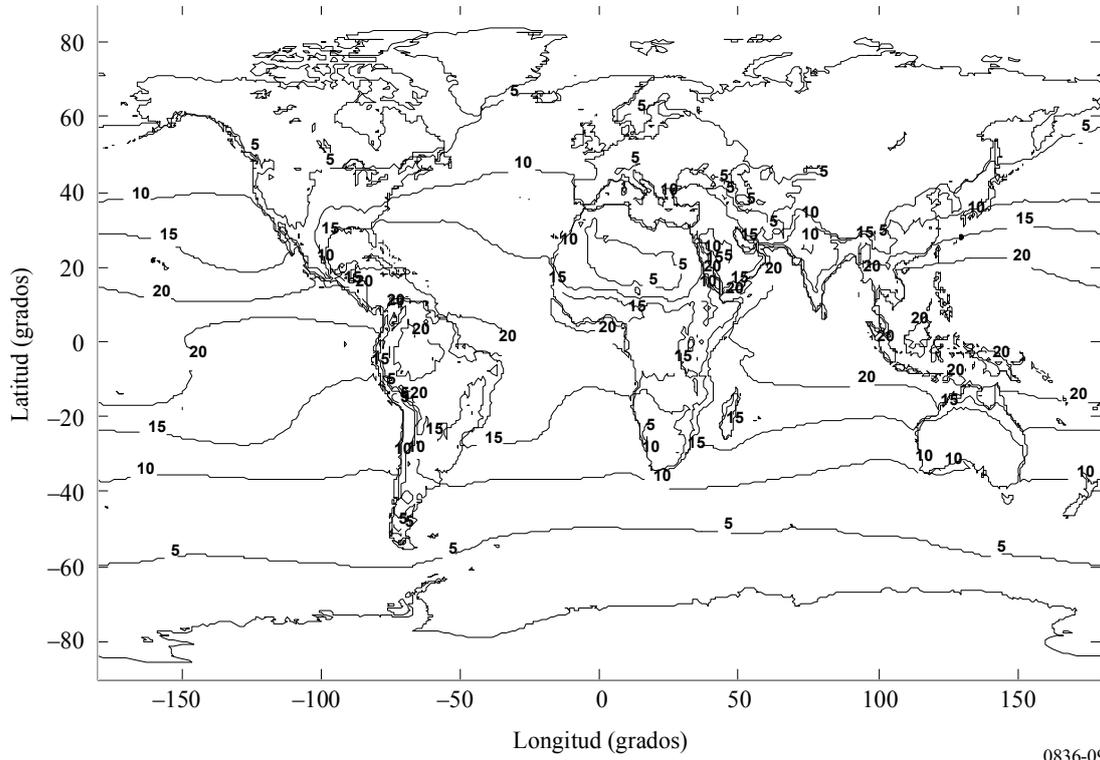
0836-07

FIGURA 8
Densidad de vapor de agua (g/m^3) rebasada durante el 20% del año



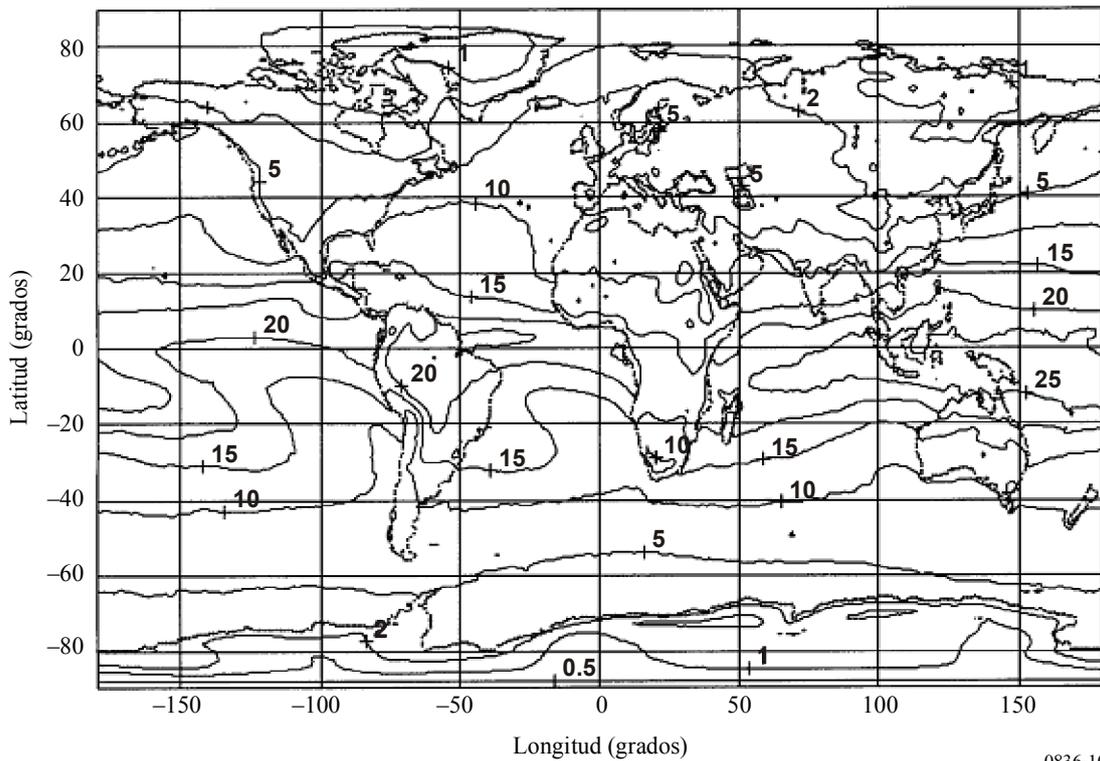
0836-08

FIGURA 9
Densidad de vapor de agua (g/m^3) rebasada durante el 50% del año



0836-09

FIGURA 10
Diciembre, enero y febrero: densidad de vapor de agua en la superficie terrestre (g/m^3)



0836-10

FIGURA 11

Marzo, abril y mayo: densidad de vapor de agua en la superficie terrestre (g/m^3)

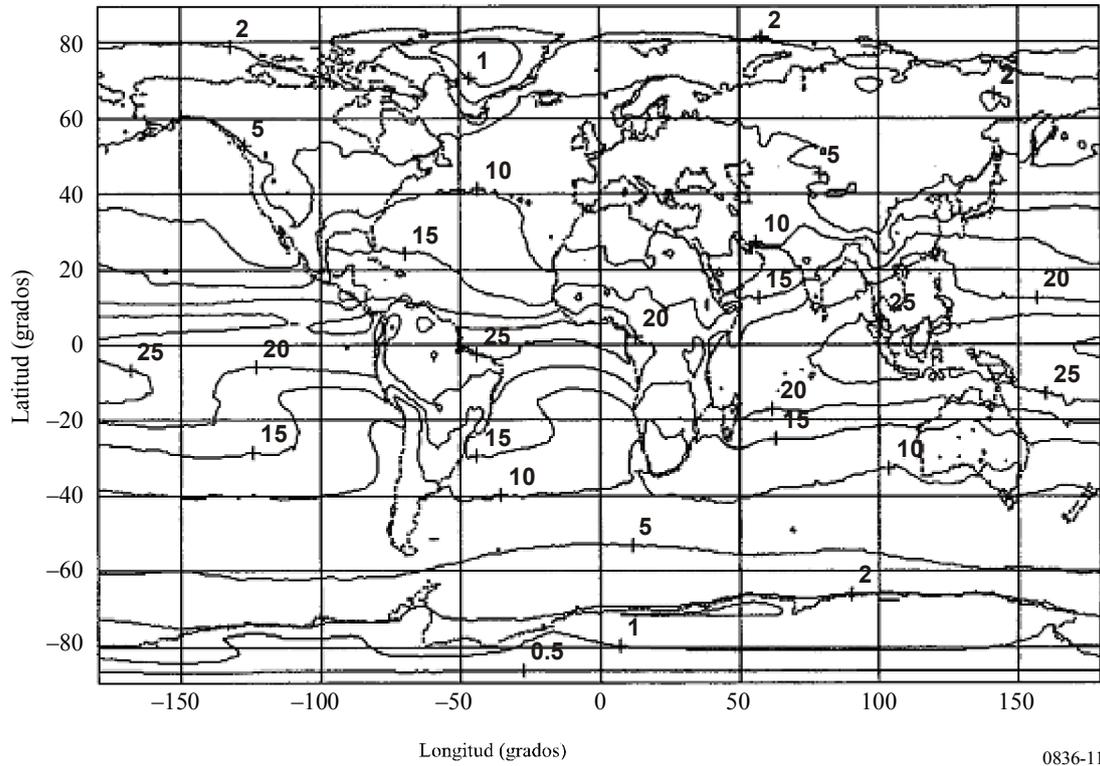


FIGURA 12

Junio, julio y agosto: densidad de vapor de agua en la superficie terrestre (g/m^3)

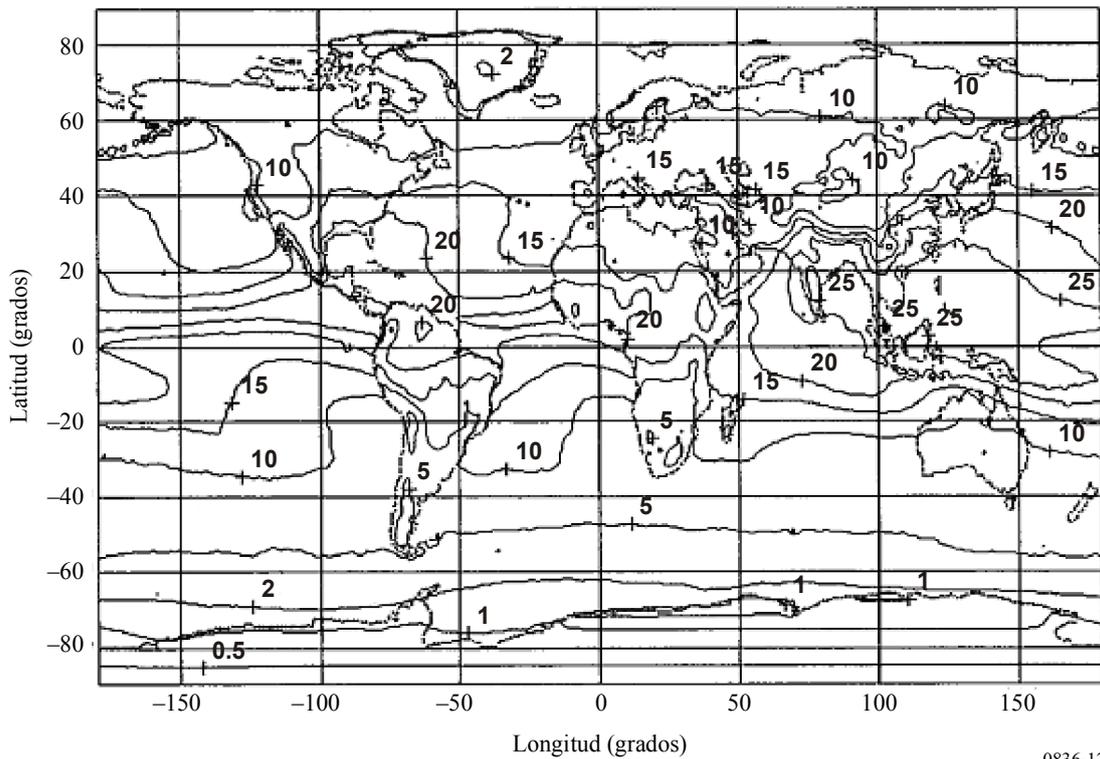
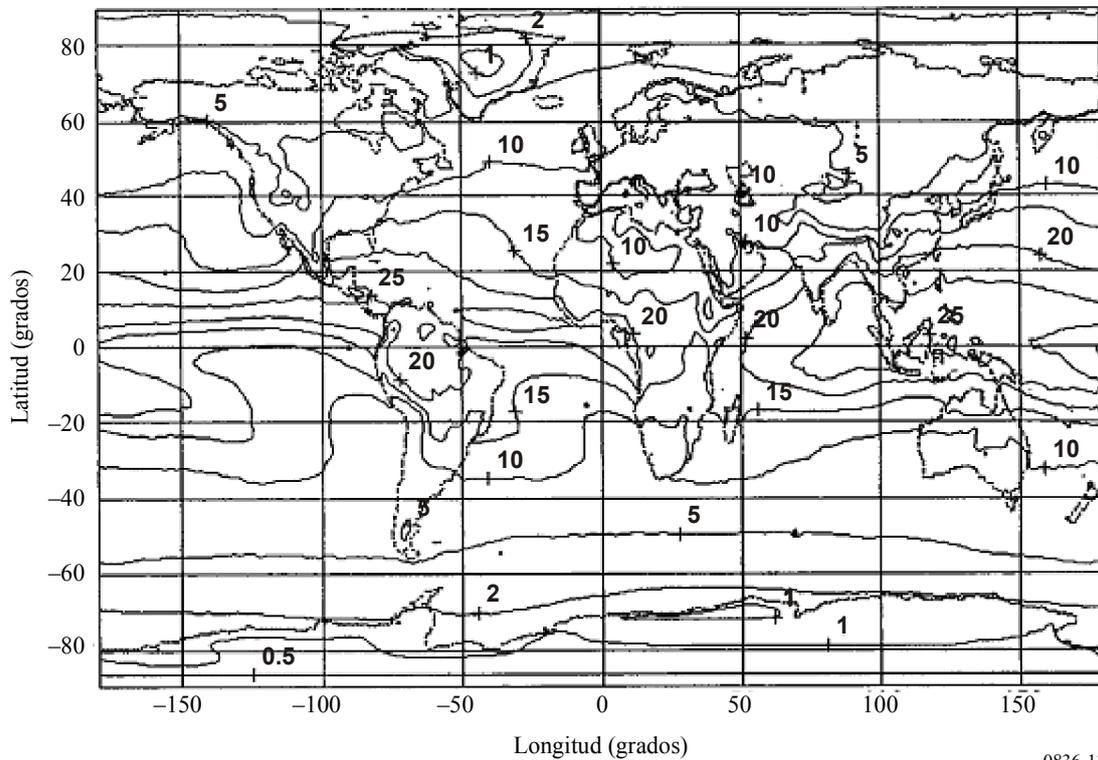


FIGURA 13

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

0836-13

Anexo 2

1 Contenido total de vapor de agua

En algunas aplicaciones, el contenido total de vapor de agua a lo largo de un trayecto puede utilizarse para calcular la longitud del trayecto en exceso y la atenuación ocasionada por el vapor de agua atmosférico, suponiendo que ésta última es proporcional al contenido total de vapor de agua con un coeficiente específico de absorción de masa.

El contenido total de vapor de agua, expresado en kg/m^2 o, de forma equivalente, en milímetros de agua precipitable, puede obtenerse mediante sondeos efectuados con radiosondas, mediciones con satélites de navegación y conservaciones radiométricas. Los datos de las radiosondas están ampliamente disponibles pero tienen una resolución temporal limitada y sólo son aplicables a trayectos cenitales. El contenido total de vapor de agua puede obtenerse a partir de mediciones radiométricas efectuadas a las frecuencias adecuadas a lo largo del trayecto deseado.

Los valores anuales del contenido total de vapor de agua de una columna de aire, V (kg/m^2), rebosados durante el 0,1; 0,2; 0,3; 0,5; 1; 2; 3; 5; 10; 20; 30; 50; 60; 70; 80; 90; 95 y 99% del año están disponibles en forma de mapas digitales que aparecen en la página web de la Comisión de Estudio 3 de Radiocomunicaciones en los ficheros de datos ESAWVC_xx_v4.TXT, donde $xx = 01; 02; 03; 05; 1; 2; 3; 5; 10; 20; 30; 50; 60; 70; 80; 90; 95$ y 99. Los datos abarcan desde 0° a 360° en longitud y desde $+90^\circ$ a -90° en latitud, con una resolución de $1,125^\circ$ tanto en latitud como en longitud. Estos datos deben utilizarse junto con los ficheros de datos ESALAT_1dot125.TXT y ESALON_1dot125.TXT que contienen las longitudes de los correspondientes valores (puntos de la cuadrícula) en los ficheros de datos ESAWVC_xx_v4.TXT. El contenido total de vapor de agua en el emplazamiento deseado sobre la superficie de la Tierra puede obtenerse mediante el siguiente método de interpolación:

- se determinan las dos probabilidades, p_{encima} y p_{debajo} , por encima y por debajo de la probabilidad deseada, p , del conjunto: 0,1; 0,2; 0,3; 0,5; 1; 2; 3; 5; 10; 20; 30; 50; 60; 70; 80; 90; 95 y 99%;
- para las dos probabilidades, p_{encima} y p_{debajo} , se determina el contenido total de vapor de agua, V'_1, V'_2, V'_3 y V'_4 en los cuatro puntos de la cuadrícula más próximos;
- utilizando el fichero de datos de altura de escala de vapor de agua, VSCH_xx_v4.TXT, donde xx corresponde a las probabilidades p_{encima} y p_{debajo} , se determina la altura de escala de vapor de agua en los cuatro puntos de la cuadrícula más próximos $vsch_1, vsch_2, vsch_3$ y $vsch_4$ para cada probabilidad, p_{encima} y p_{debajo} ;
- mediante la Recomendación UIT-R P.1511, se determinan las altitudes topográficas alt_1, alt_2, alt_3 y alt_4 , para los cuatro puntos de la cuadrícula más próximos;
- para cada uno de los cuatro puntos de la cuadrícula más próximos y cada probabilidad, se determina el contenido total de vapor de agua, V_1, V_2, V_3 y V_4 , a la altitud deseada, alt , extrapolando el contenido total de vapor de agua, de una columna de aire V'_1, V'_2, V'_3 y V'_4 , mediante la siguiente relación:

$$V_i = V'_i e^{\frac{alt - alt_i}{vsch_i}} \quad \text{para } i = 1, 2, 3, 4 \quad (2)$$

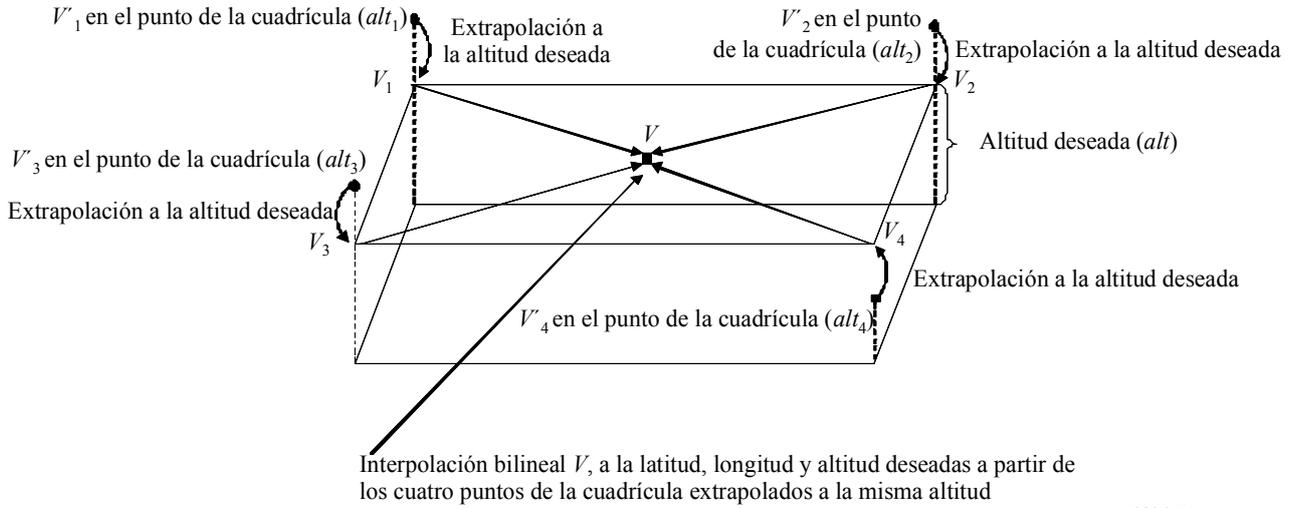
- se determina el contenido total de vapor de agua, de una columna de aire V_{encima} y V_{debajo} , a las probabilidades p_{encima} y p_{debajo} y en el emplazamiento deseado efectuando una interpolación bilineal de los cuatro valores del contenido total de vapor de agua, de una columna de aire V_1, V_2, V_3 y V_4 , en los cuatro puntos de la cuadrícula como se describe en la Recomendación UIT-R P.1144 (como referencia, se muestra en la Fig. 14 el procedimiento para determinar V_{encima} y V_{debajo} a partir de V'_1, V'_2, V'_3 y V'_4);
- se determina el contenido total de vapor de agua, de una columna de aire, V , a la probabilidad deseada, p , interpolando V_{encima} y V_{debajo} en función de p_{encima} y p_{debajo} a p en una escala lineal de V en función de $\log p$.

Obsérvese que los mapas digitales del contenido total de vapor de agua en una columna de aire contienen la expresión NaN (*Not-a-Number*) cuando no hay ningún valor del contenido total de vapor de agua que corresponda a una probabilidad de rebasamiento anual determinada.

En las Figs. 15, 16, 17, 18, 19, 20 y 21 aparecen ejemplos de contorno del contenido total de vapor de agua de una columna de aire para probabilidades de rebasamiento del 0,1; 0,5; 1; 5; 10; 20 y 50%.

FIGURA 14

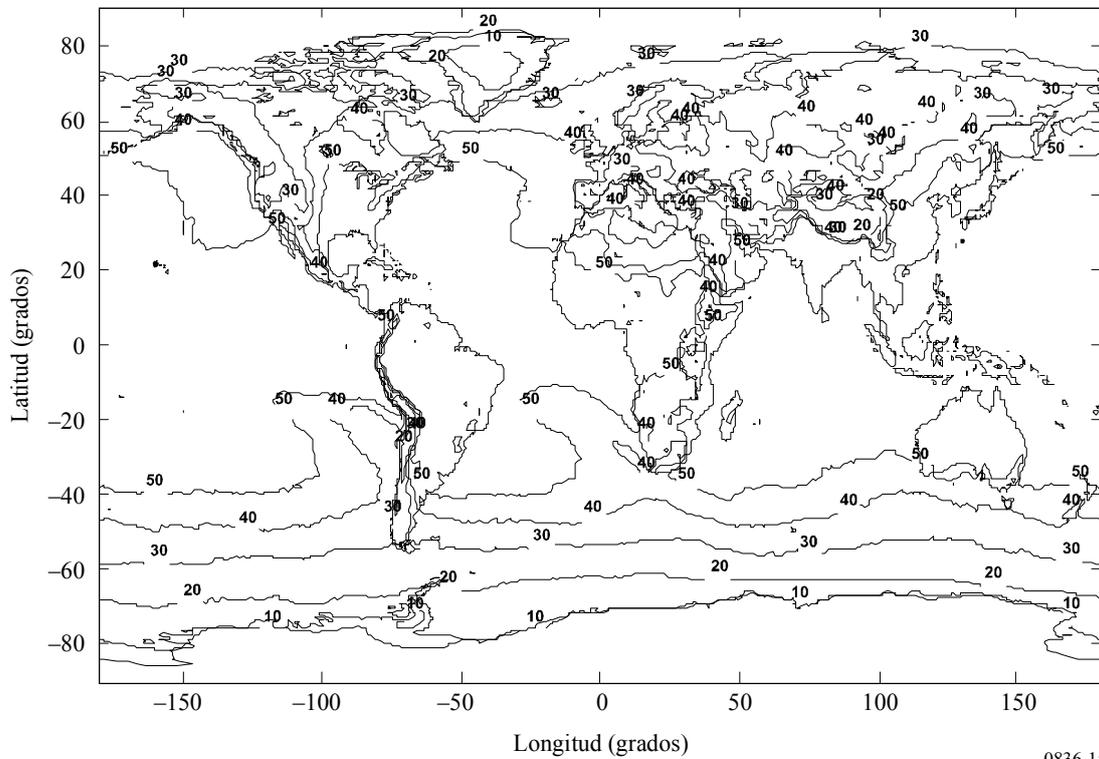
Procedimiento de interpolación para probabilidades por encima y por debajo de la probabilidad deseada



0836-14

FIGURA 15

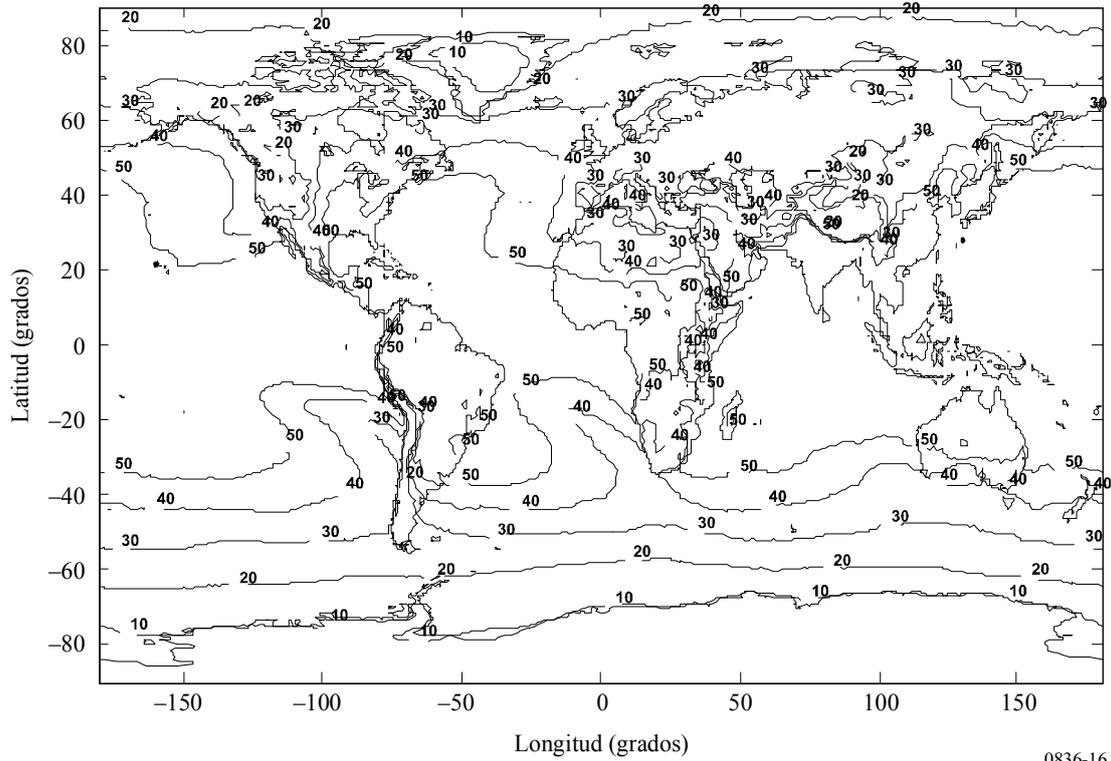
Contenido de vapor de agua de una columna de aire (kg/m^2) rebasado durante el 0,1% del año



0836-15

FIGURA 16

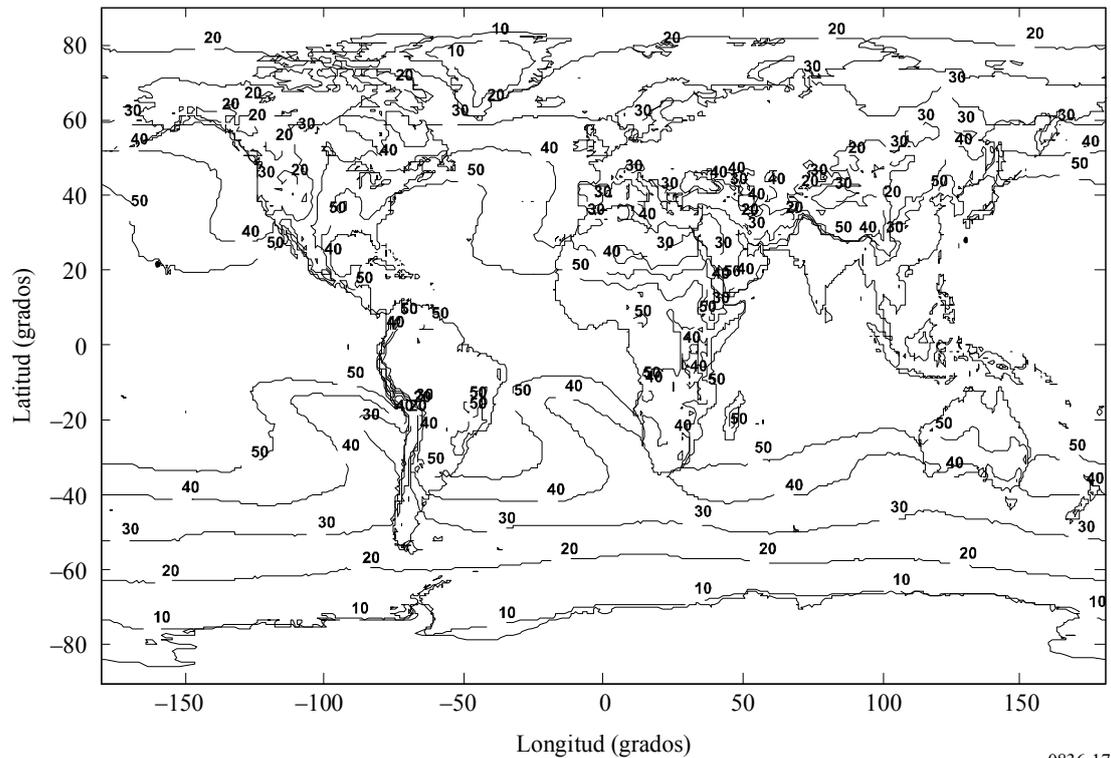
Contenido de vapor de agua de una columna de aire (kg/m^2) rebasado durante el 0,5% del año



0836-16

FIGURA 17

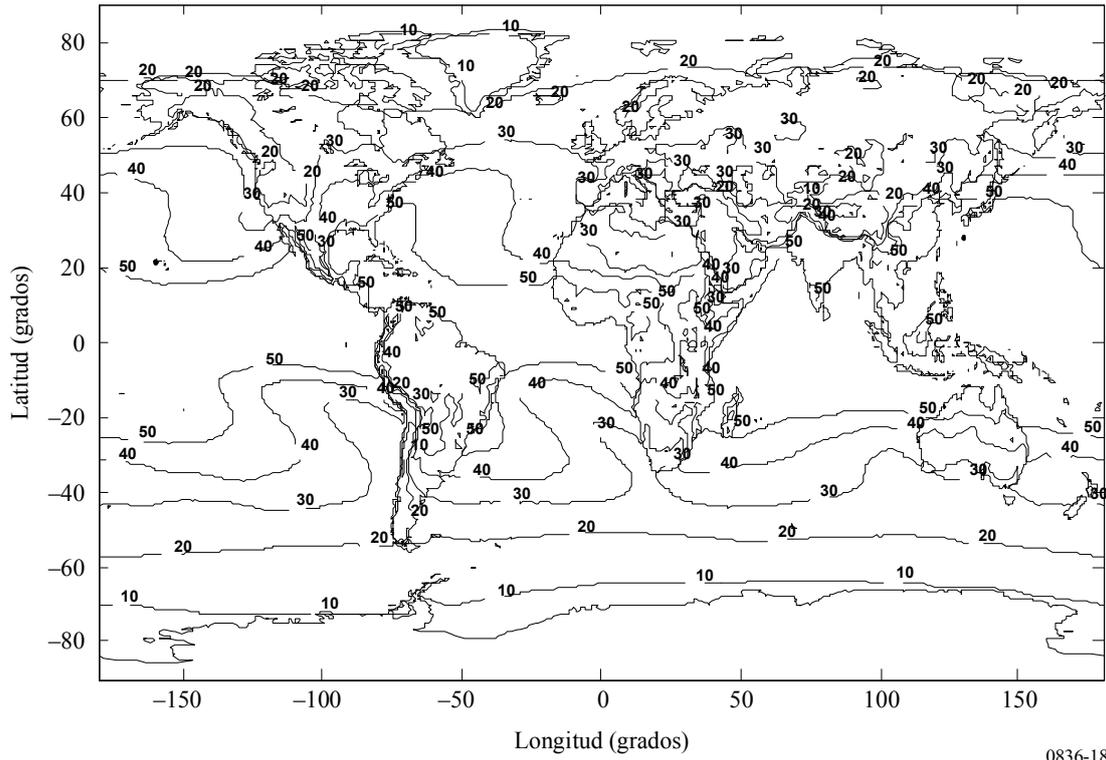
Contenido de vapor de agua de una columna de aire (kg/m^2) rebasado durante el 1% del año



0836-17

FIGURA 18

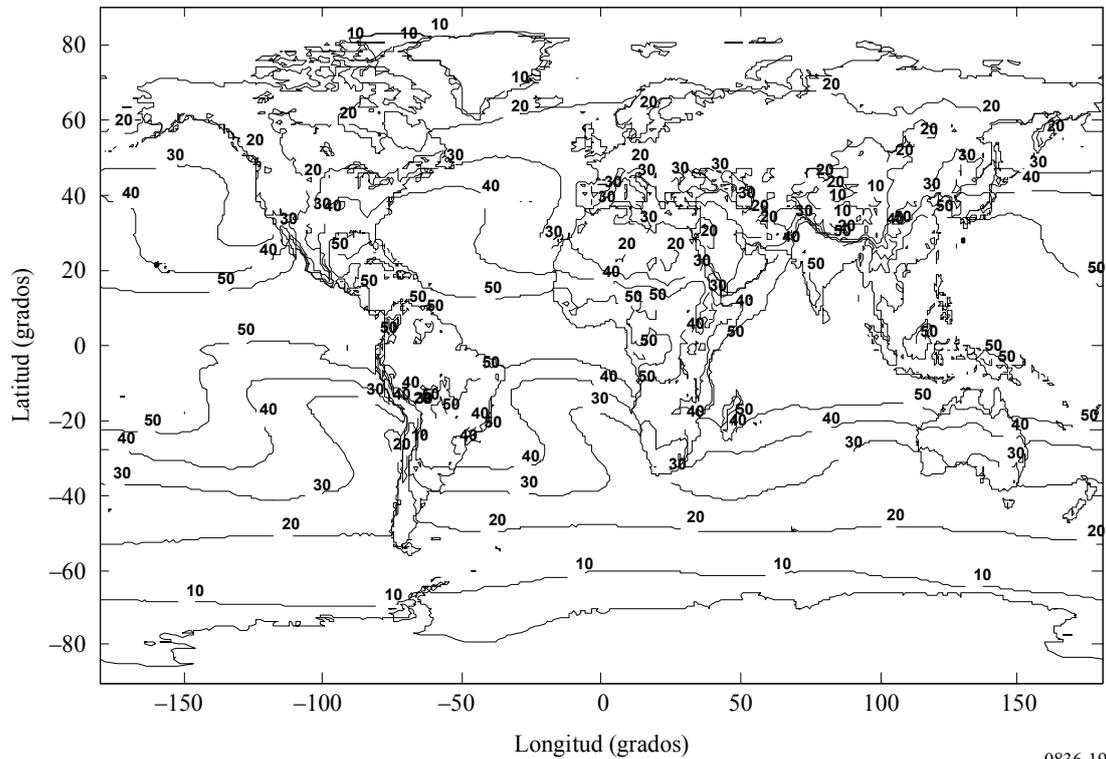
Contenido de vapor de agua de una columna de aire (kg/m^2) rebasado durante el 5% del año



0836-18

FIGURA 19

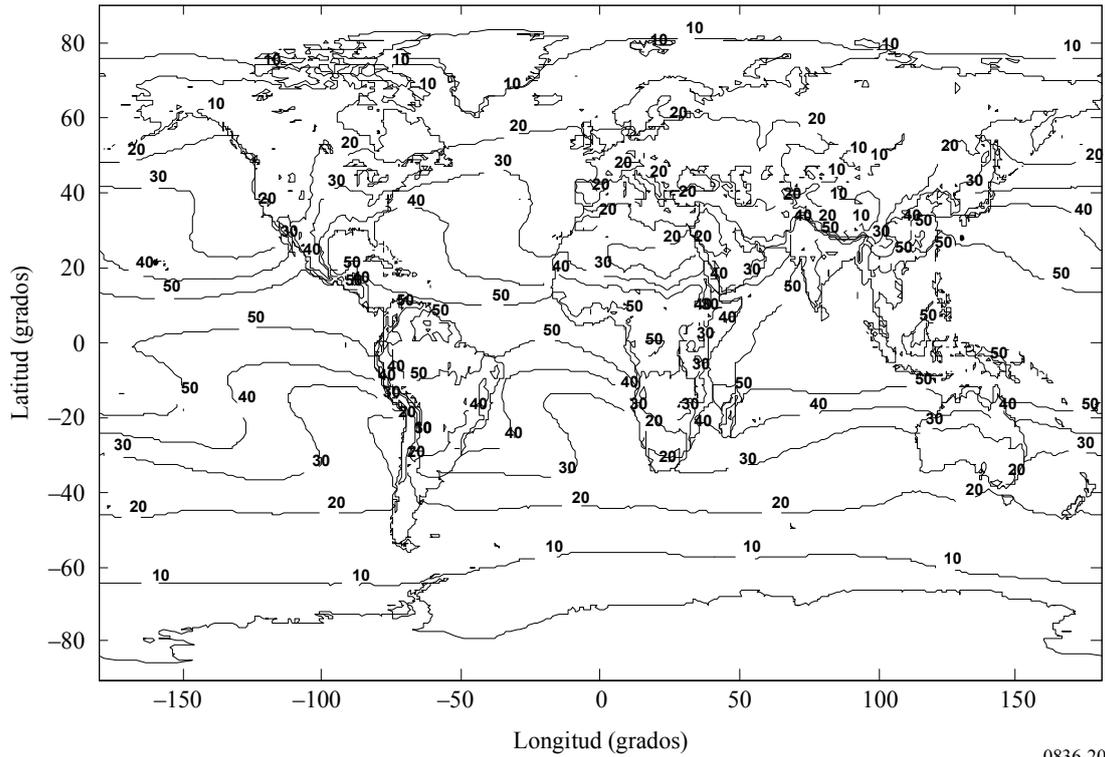
Contenido de vapor de agua de una columna de aire (kg/m^2) rebasado durante el 10% del año



0836-19

FIGURA 20

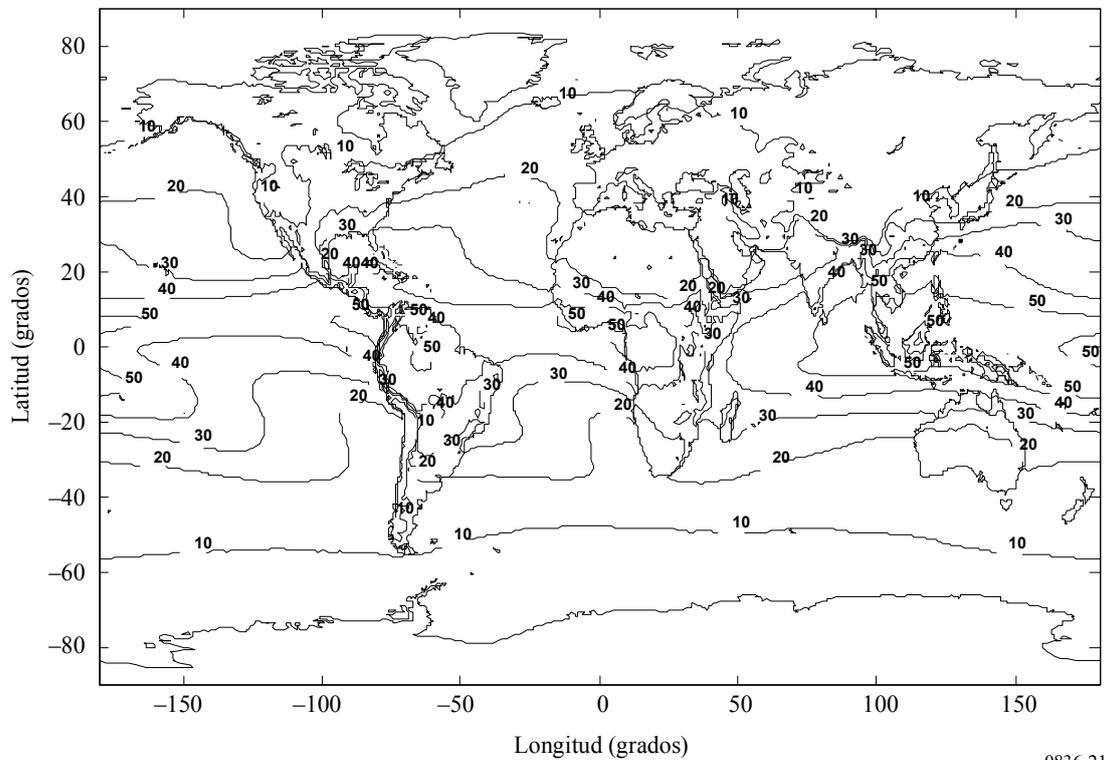
Contenido de vapor de agua de una columna de aire (kg/m²) rebasado durante el 20% del año



0836-20

FIGURA 21

Contenido de vapor de agua de una columna de aire (kg/m²) rebasado durante el 50% del año



0836-21