RECOMENDACIÓN UIT-R P.836-1

VAPOR DE AGUA: DENSIDAD EN LA SUPERFICIE Y CONTENIDO DE COLUMNA TOTAL

(Cuestión UIT-R 201/3)

(1992-1997)

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 de vapor de agua no lo es.

Las Figs. 1 a 5 contienen los contornos estacionales y anuales de densidad del vapor de agua, ρ (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 Oficina de Radiocomunicaciones puede facilitar representaciones digitales de los mapas.

FIGURA 1

Densidad anual del vapor de agua en la superficie terrestre (g/m³)

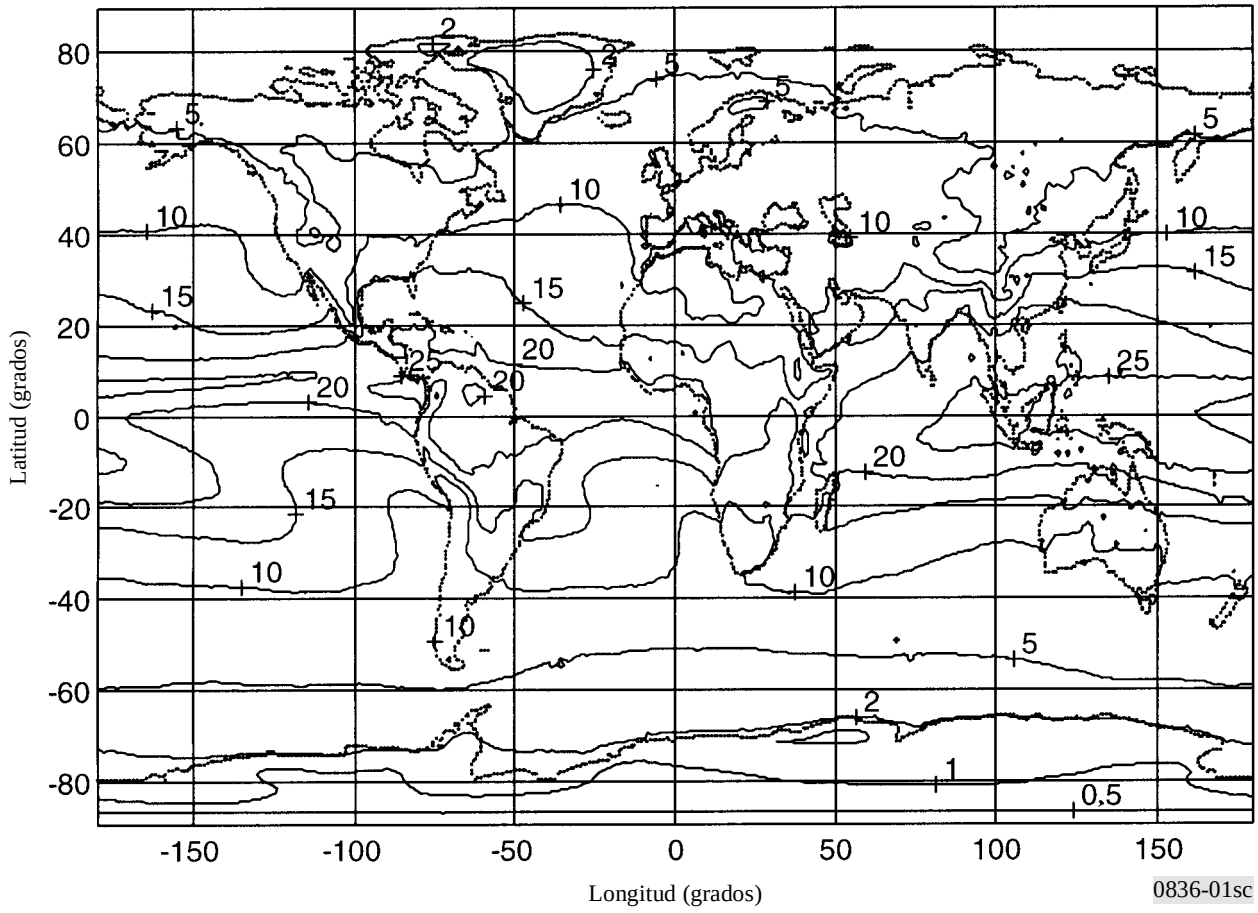


FIGURA 2

Diciembre, enero y febrero: densidad del vapor de agua en la superficie terrestre (g/m³)

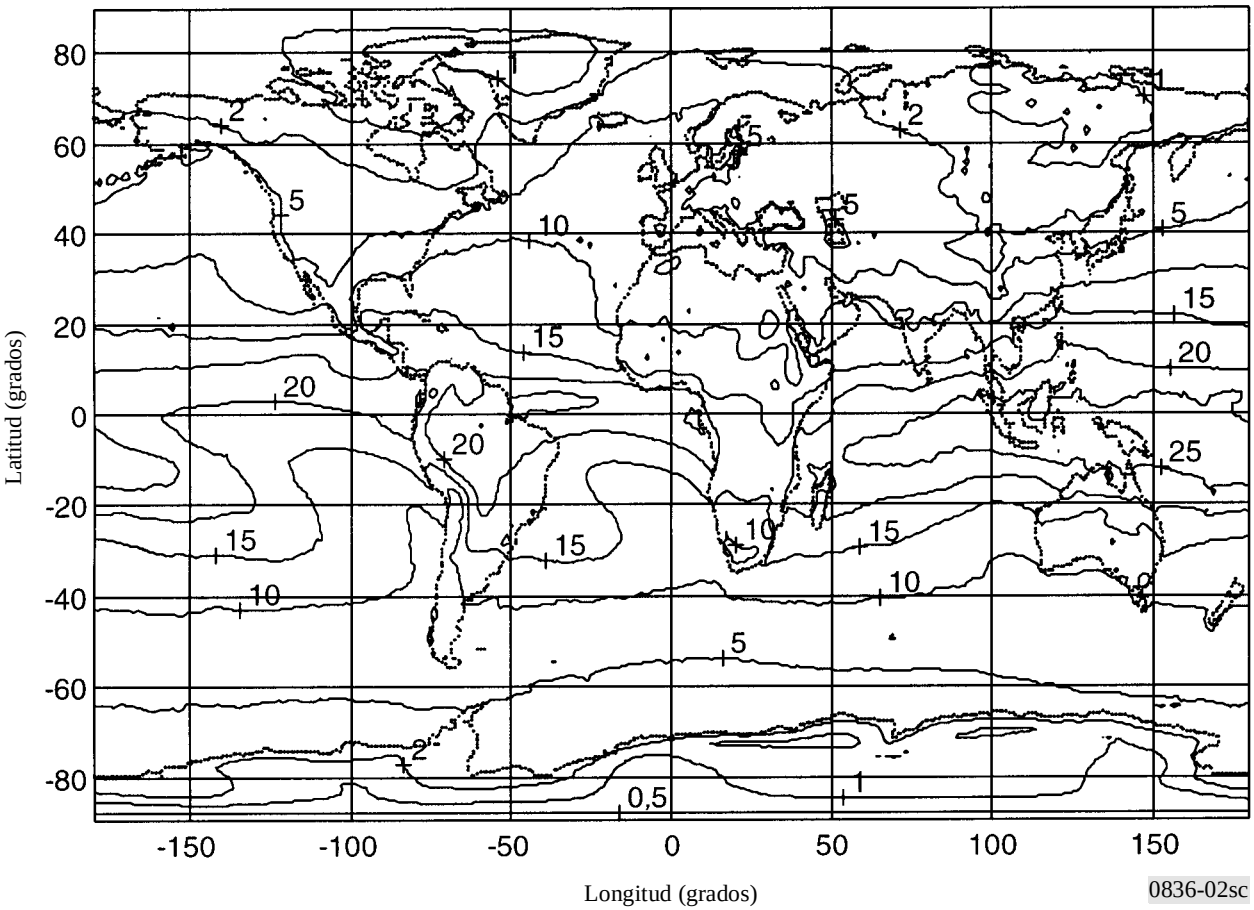


FIGURA 3

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

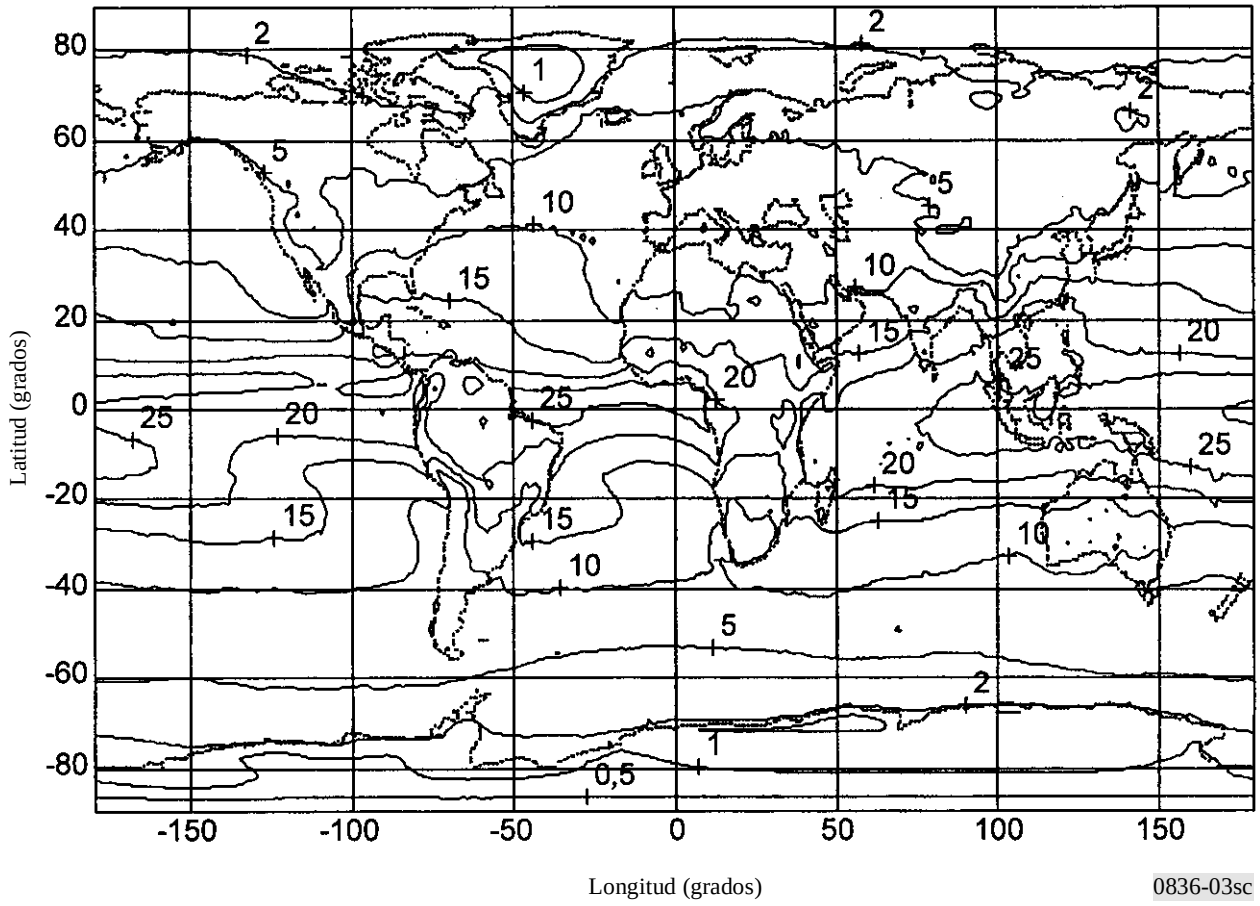


FIGURA 4

Junio, julio y agosto: densidad del vapor de agua en la superficie terrestre (g/m³)

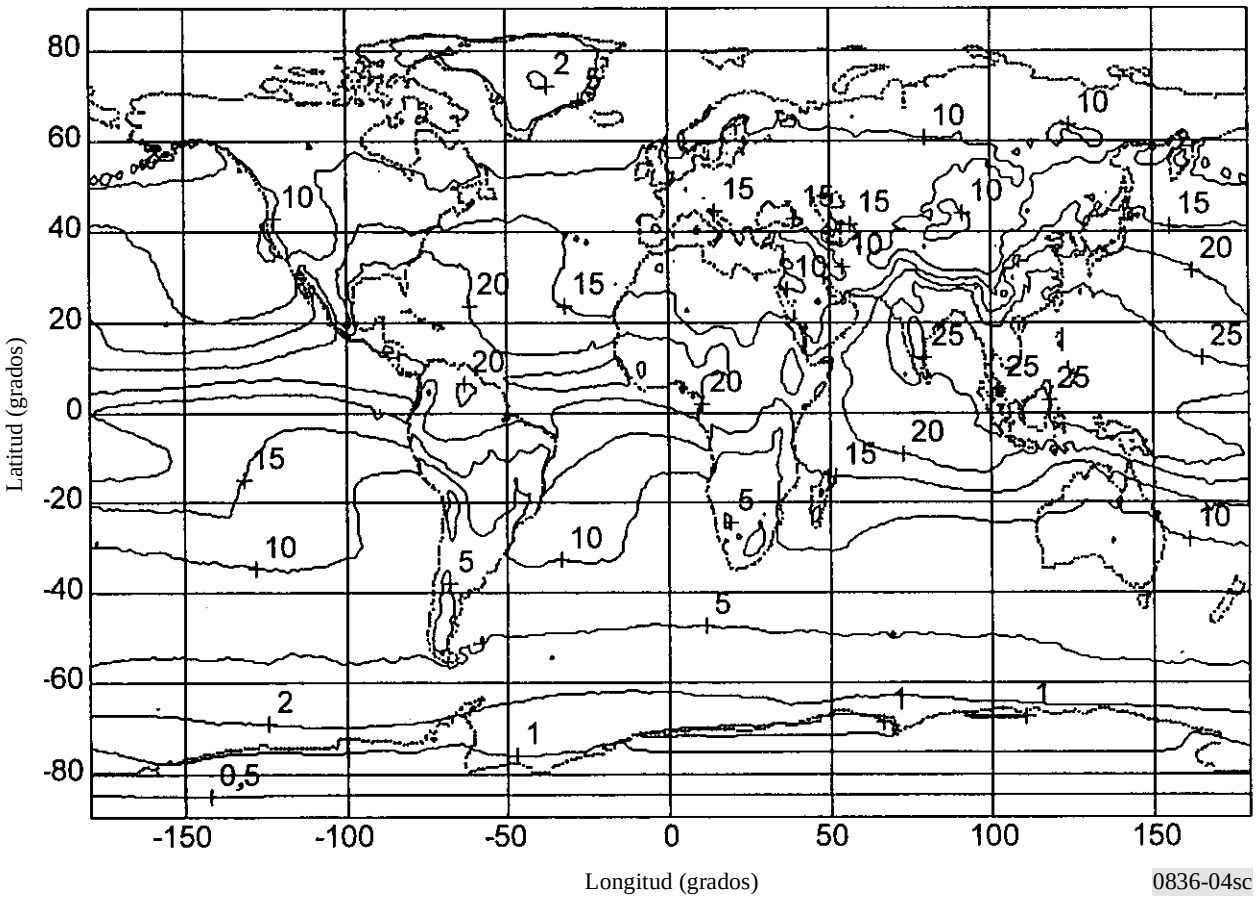
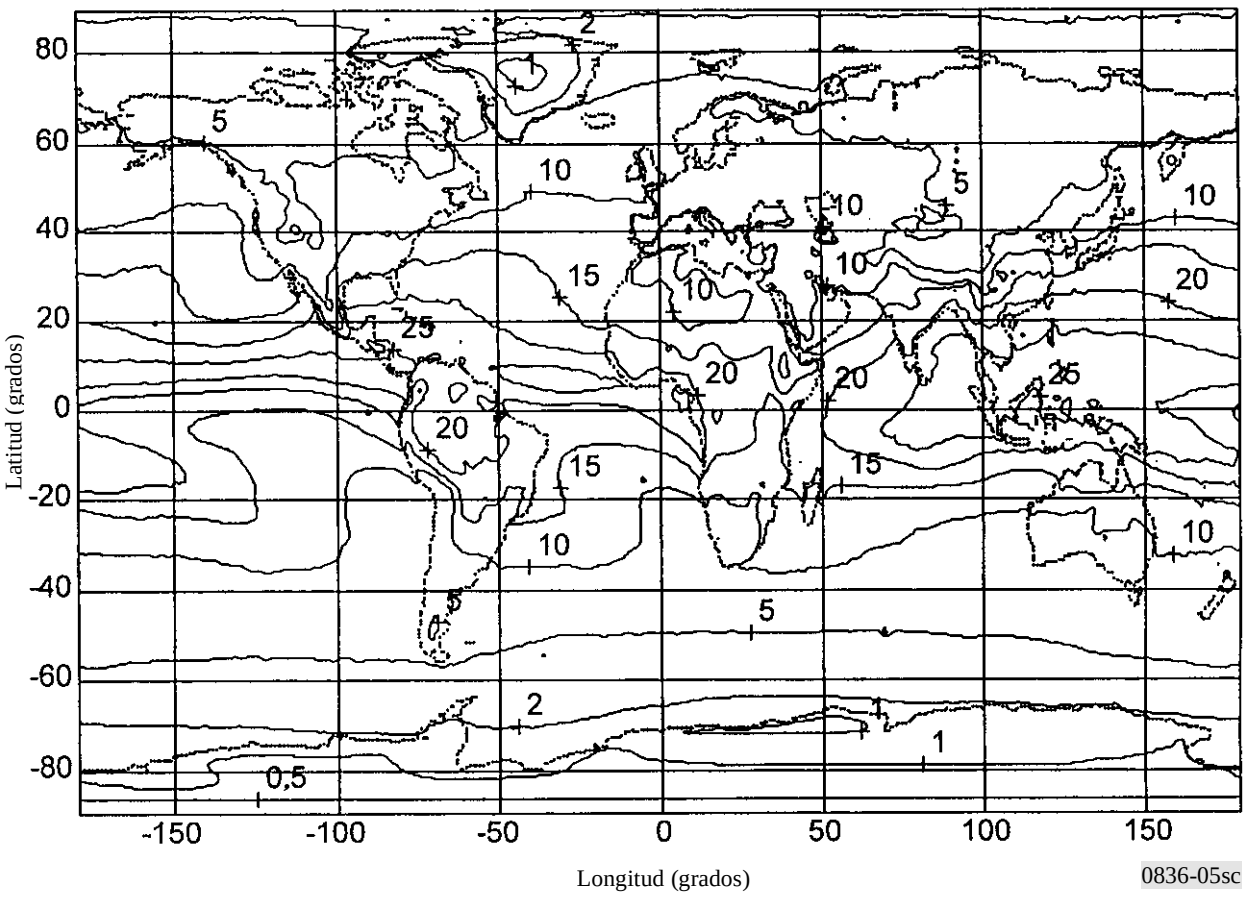


FIGURA 5

Septiembre, octubre y noviembre: densidad del vapor de agua en la superficie terrestre (g/m³)



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 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 total de vapor de agua

En las Figs. 6 a 14 se presentan mapas de isopletas del contenido de columna total de vapor de agua, *V*, que excede en 1, 3 y 10% los valores del año promedio, calculándose este contenido tras 10 años de datos de radiosondas obtenidos en 323 lugares de todo el mundo.

FIGURA 6

Isopletas del contenido de columna de vapor de agua total *V* (kg/m^2) para el 1% del tiempo

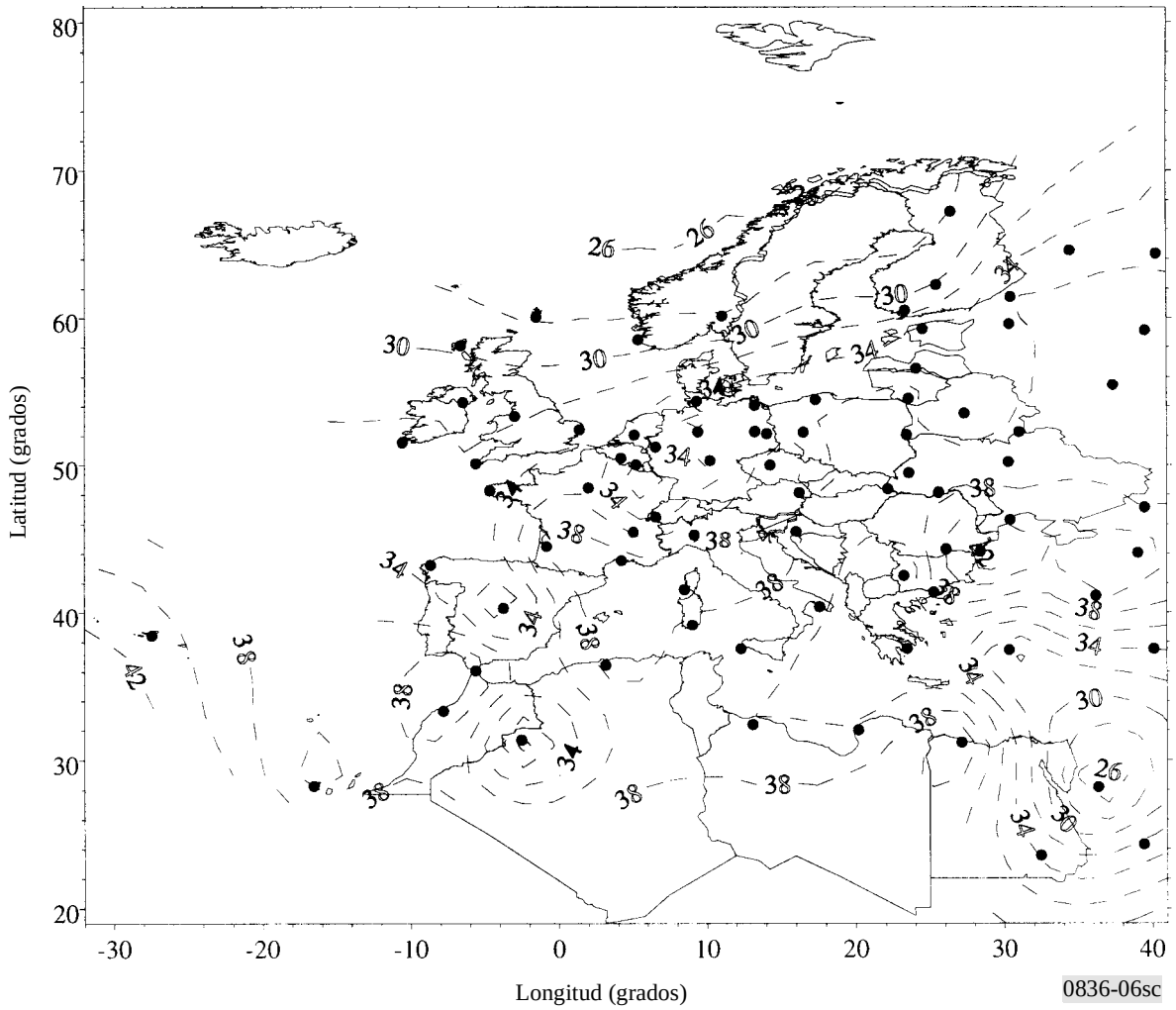


FIGURA 7

Isopletas del contenido de columna de vapor de agua total *V* (kg/m²) para el 1% del tiempo

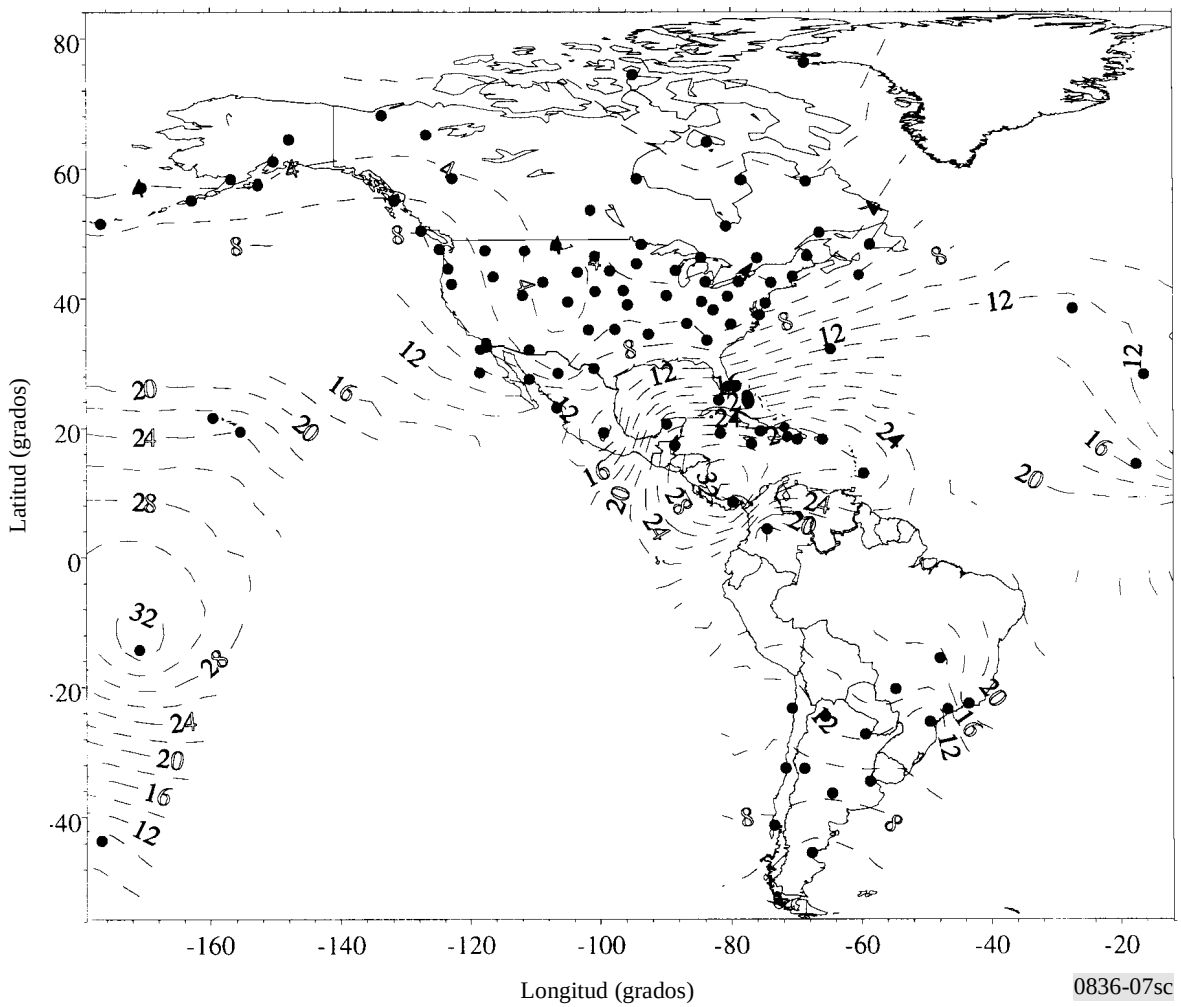


FIGURA 8

Isopletas del contenido de columna de vapor de agua total *V* (kg/m²) para el 1% del tiempo

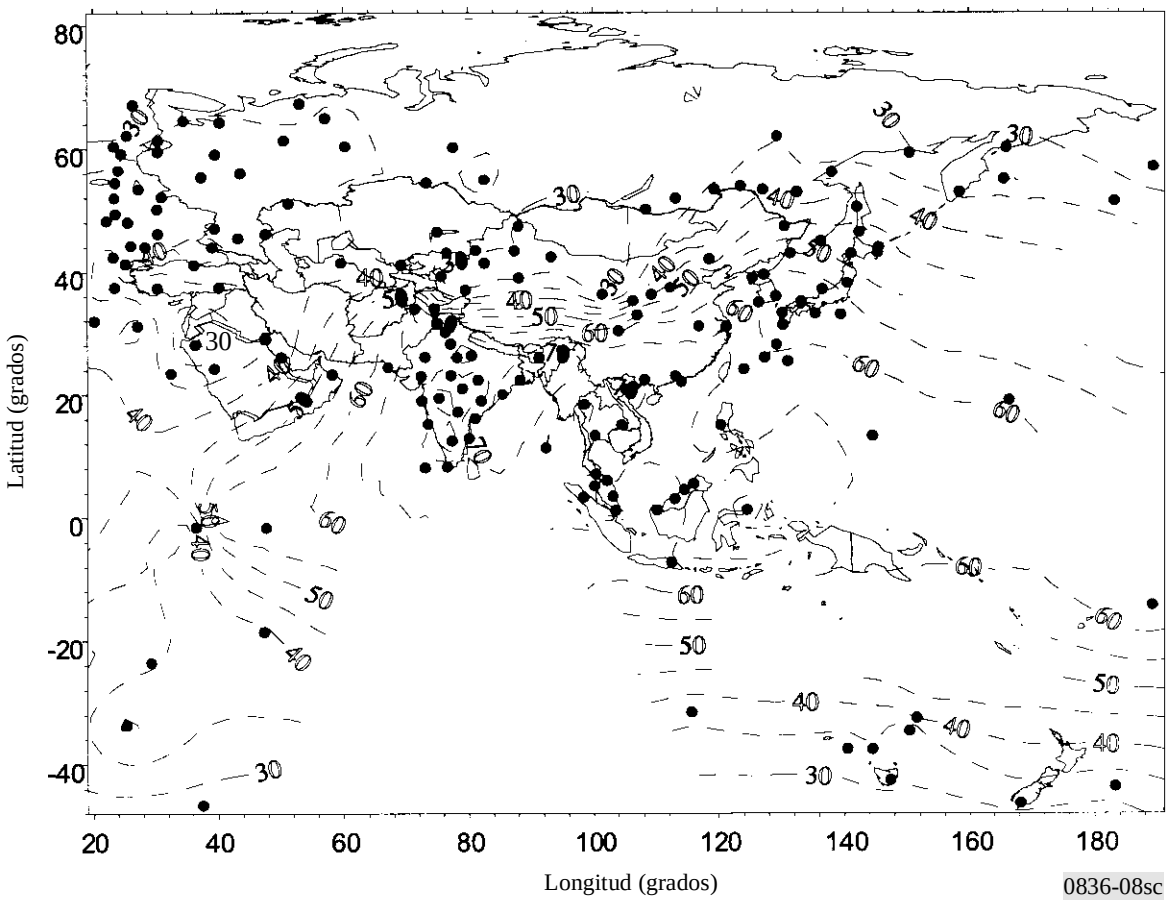


FIGURA 9

Isopletas del contenido de columna de vapor de agua total *V* (kg/m²) para el 3% del tiempo

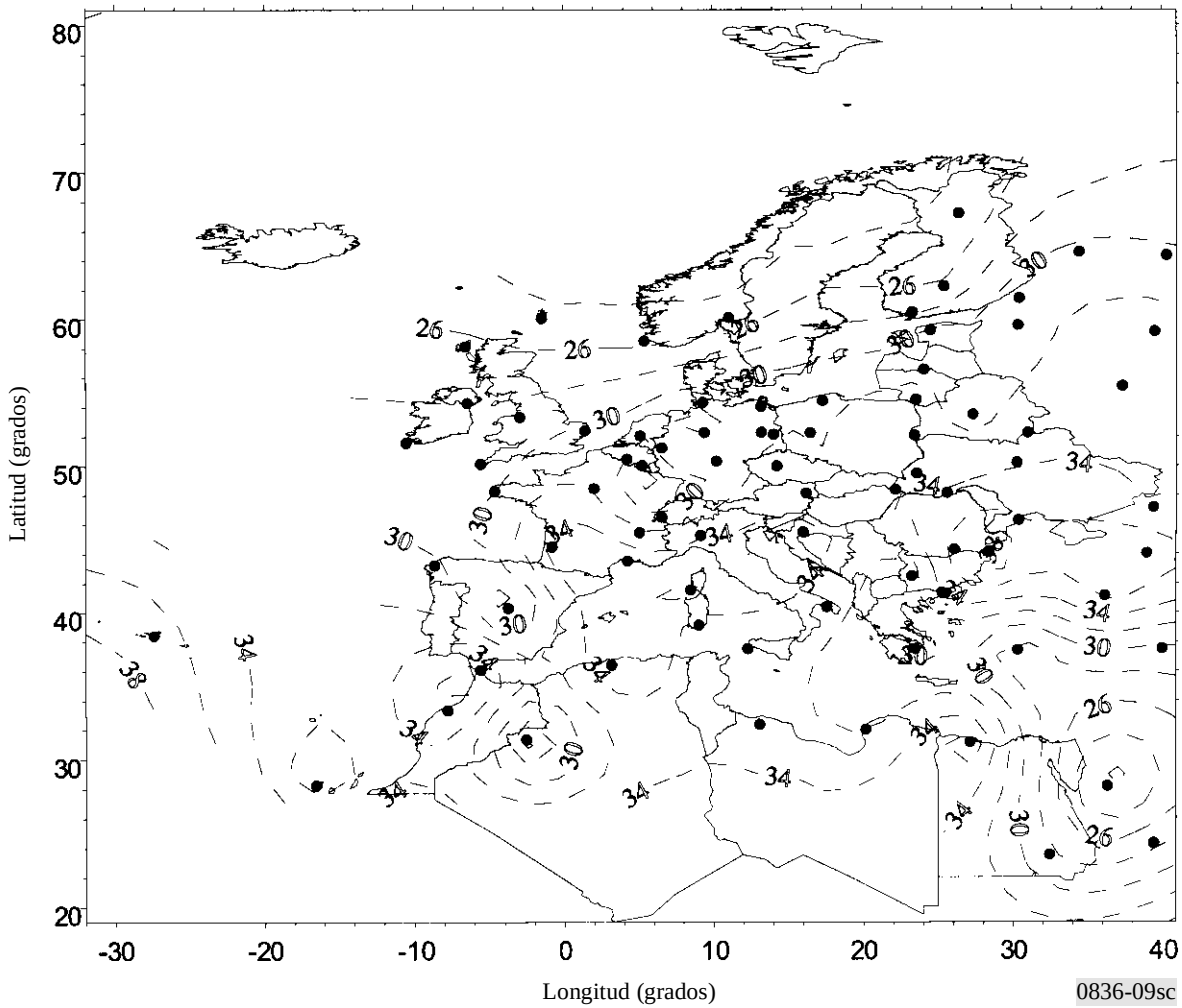


FIGURA 10

Isopletas del contenido de columna de vapor de agua total *V* (kg/m²) para el 3% del tiempo

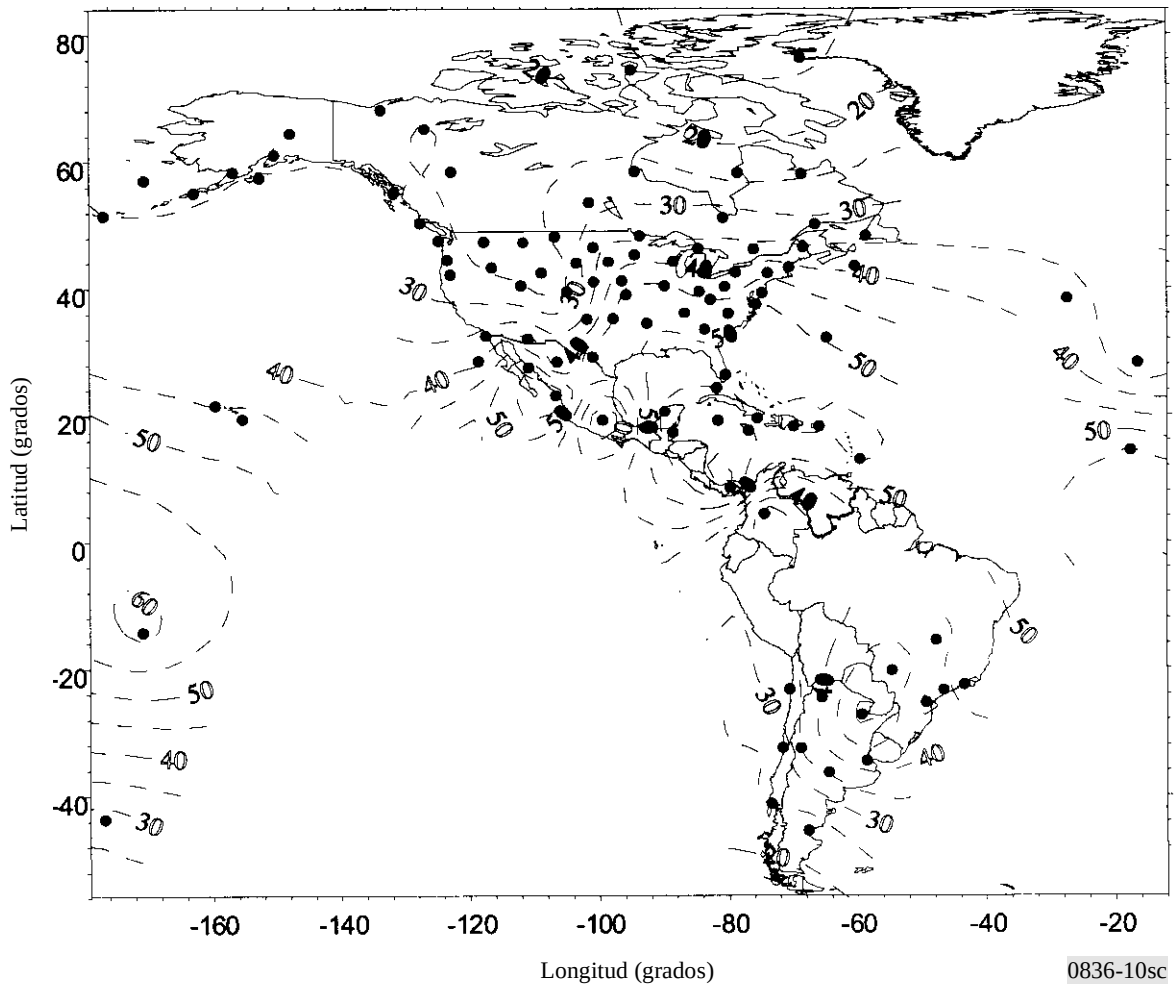


FIGURA 11

Isopletas del contenido de columna de vapor de agua total *V* (kg/m²) para el 3% del tiempo

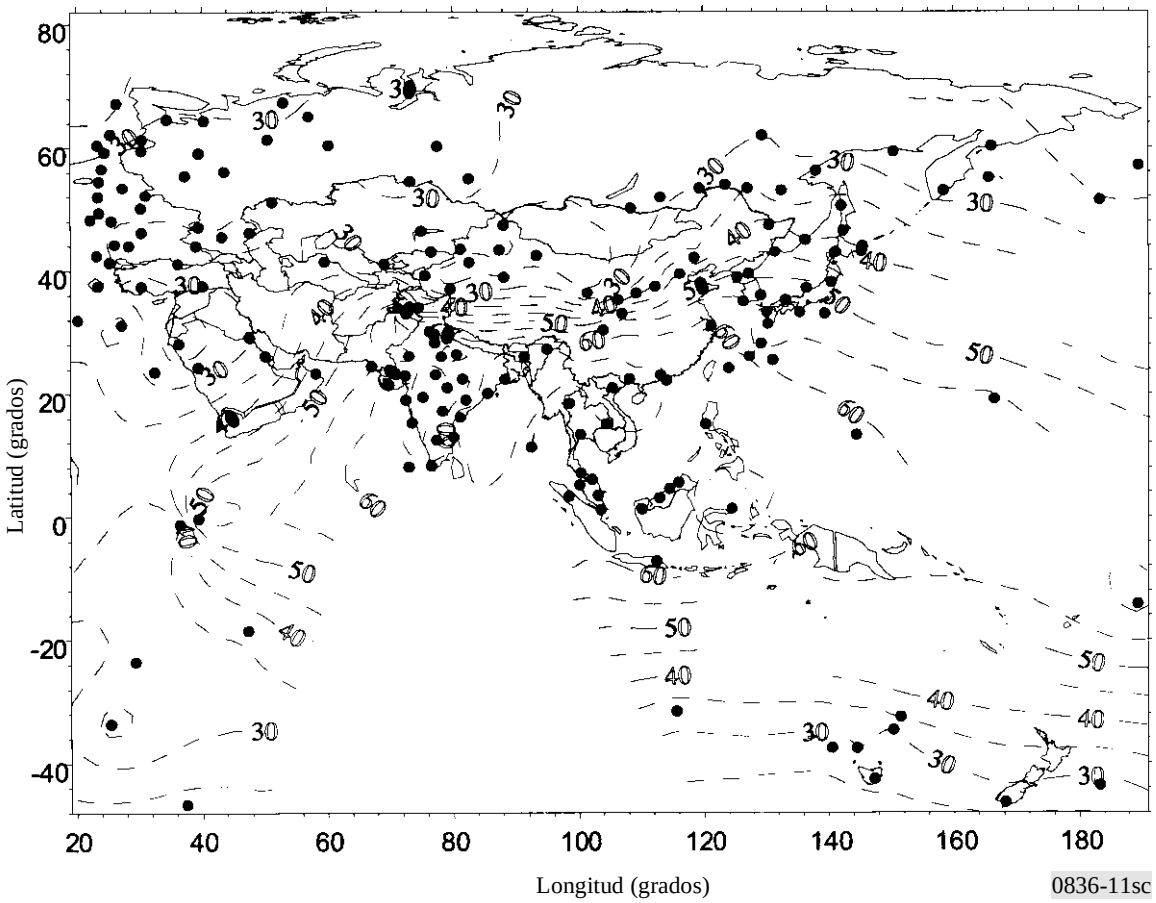


FIGURA 12

Isopletas del contenido de columna de vapor de agua total *V* (kg/m²) para el 10% del tiempo

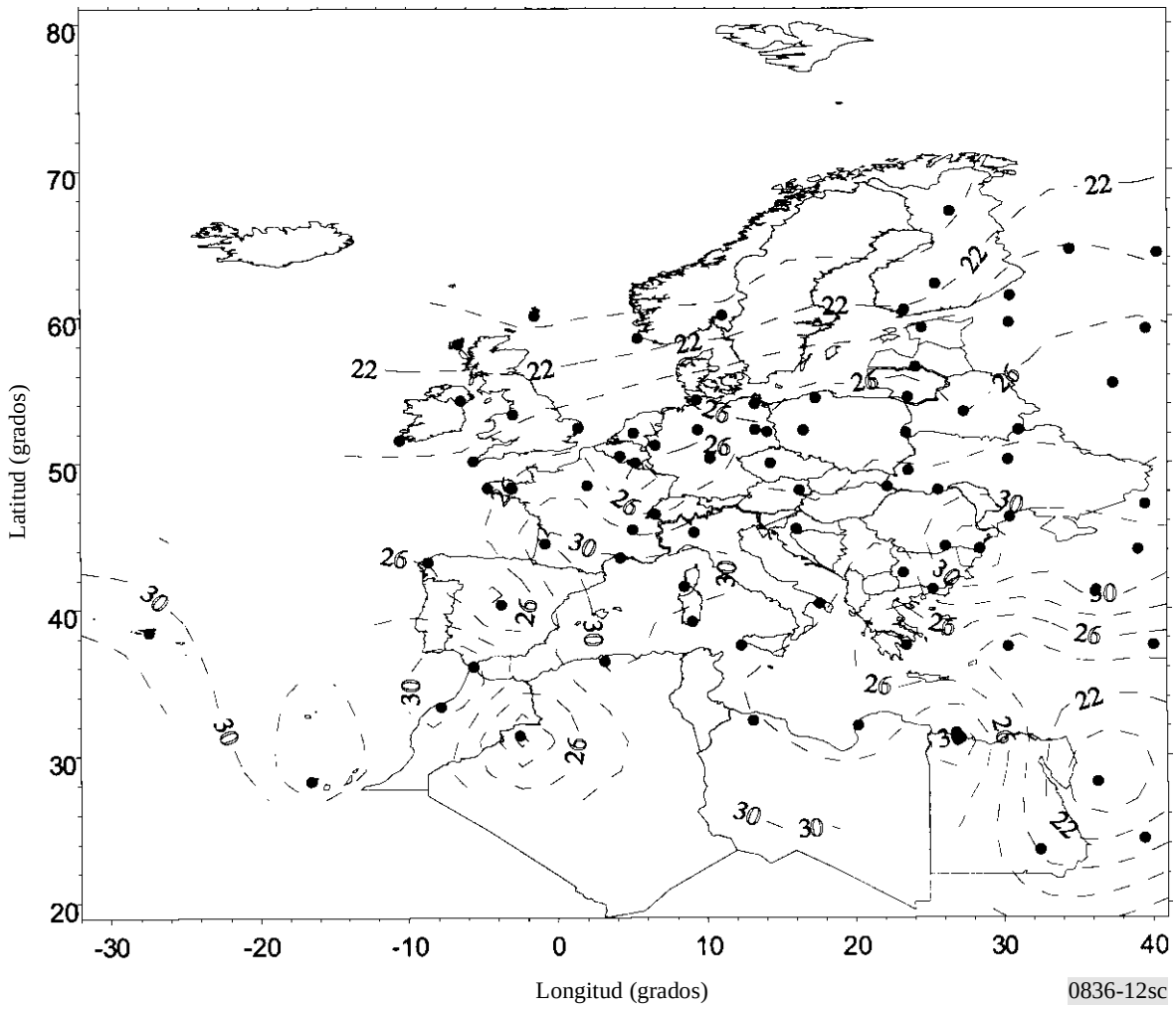


FIGURA 13

Isopletas del contenido de columna de vapor de agua total *V* (kg/m²) para el 10% del tiempo

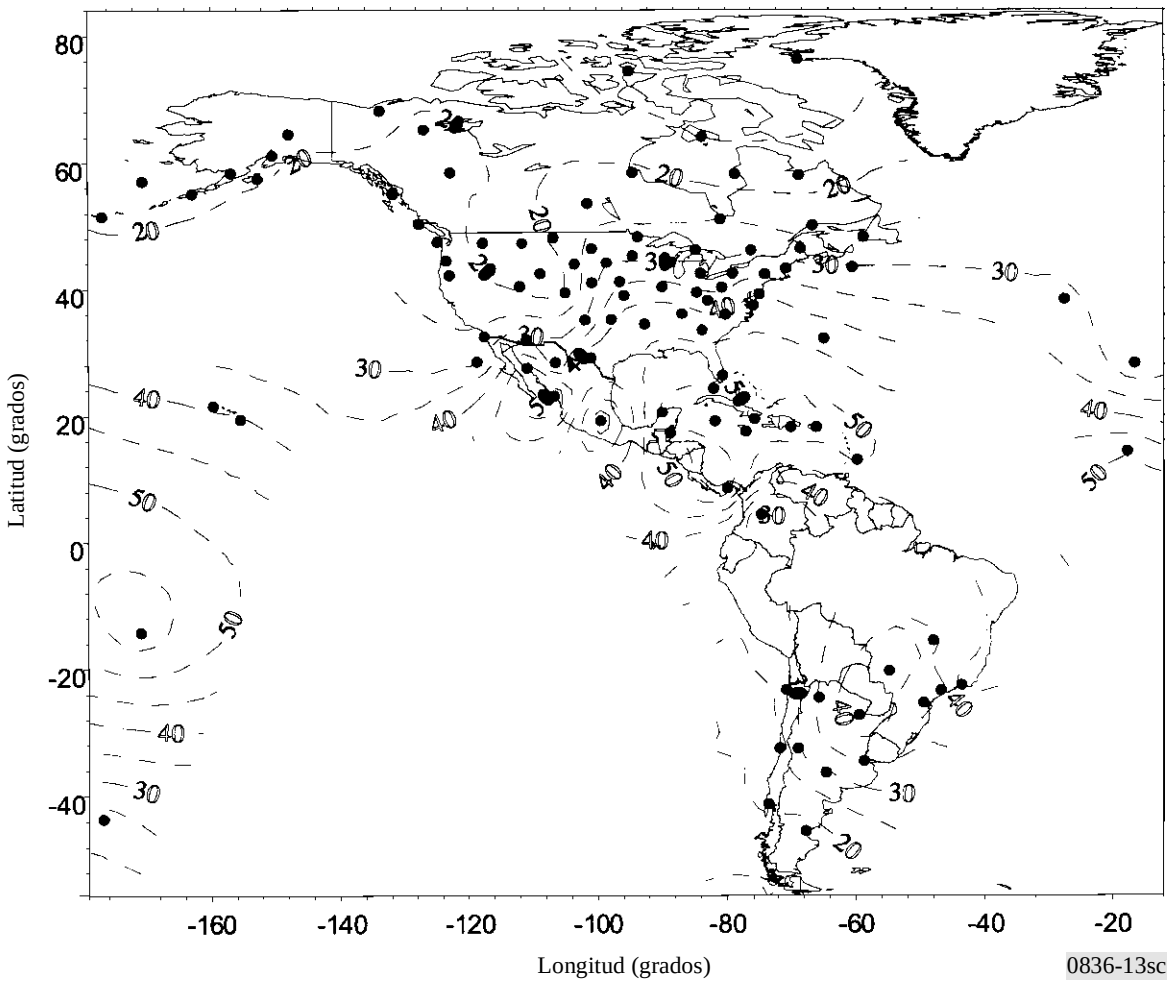
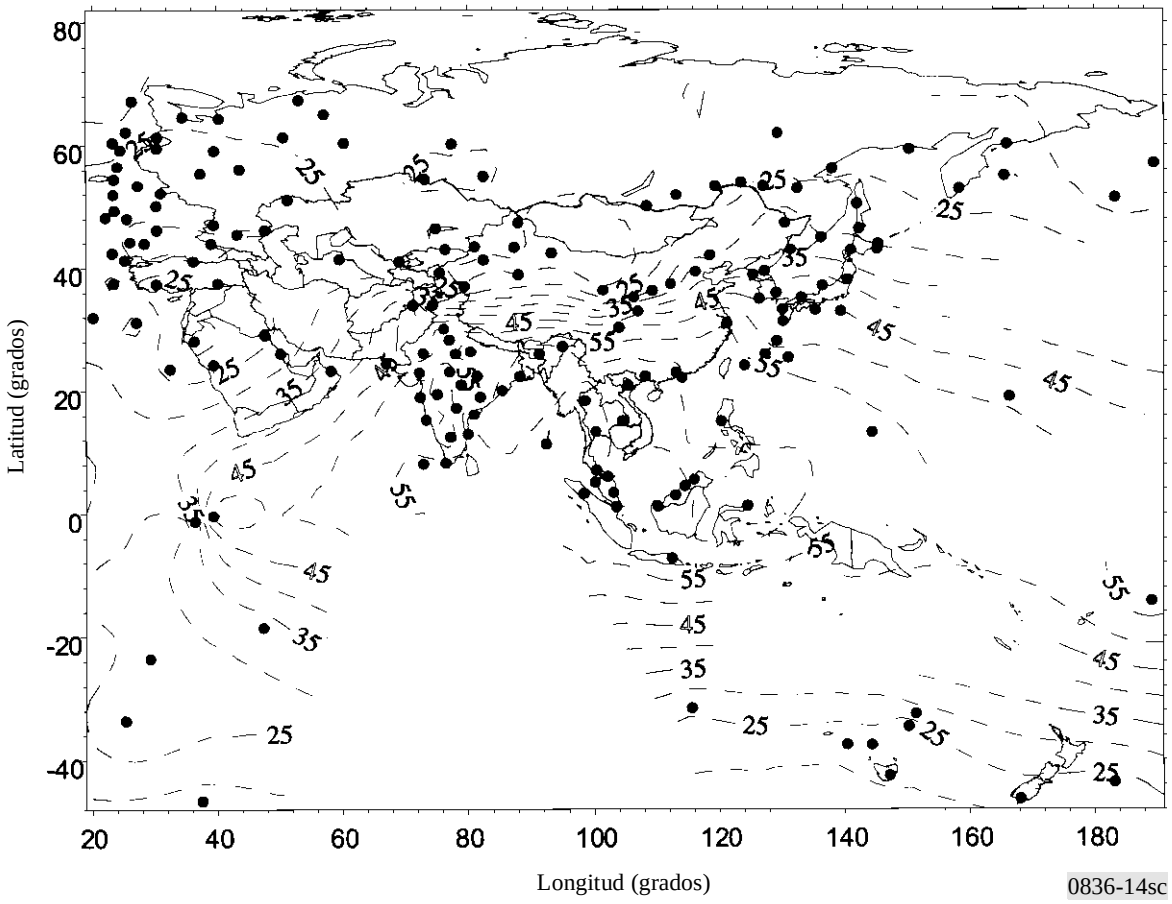


FIGURA 14

Isopletas del contenido de columna de vapor de agua total *V* (kg/m²) para el 10% del tiempo



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:

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

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 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, γ_w, indicada en dicha Recomendación, dividida por la densidad de vapor de agua, ρ, (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.

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.