



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA

MEDICIONES A 5,100 m. DE ALTITUD DE LA
IRRADIACION SOLAR GLOBAL Y ULTRAVIOLETA.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

LICENCIADO EN GEOGRAFIA

P R E S E N T A

JUAN CARLOS GAVILANES RUIZ



MEXICO, D. F.

NOVIEMBRE DE 1994

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

A toda mi familia, que me ha dado todo.

Al Dr. Ignacio Galindo E. por su paciencia, confianza y comprensión.

A todos mis profesores por transmitirme un poquito de sus conocimientos, en especial a Francisco Hernández, a Rosalía Vidal, a Mauro Valdés y a Manuel Vázquez por despertar en mí la fascinación por los fenómenos atmosféricos.

Al Dr. Francisco Olvera de la Rosa, a Yolanda Yarza, al Club Alpino General Motors de México, A.C., al Club Alpino de Petróleos Mexicanos, A.C., al Club Alpino Reinhold Messner, A.C., al sacerdote Jerónimo y a la Asociación de Montañismo y Exploración de la UNAM, sin quienes el Campamento Científico IZTA-1 jamás hubiera salido de nuestras mentes enamoradas de las montañas.

A todos los miembros del Centro Universitario de Investigaciones en Ciencias de la Tierra de la Universidad de Colima, en especial a Nora G. Arreguín, Alicia Cuevas, Norma Gutiérrez y Arturo González, sin quienes nunca hubiera podido hacer una sola gráfica de esta tesis.

A los ingenieros Alfonso Medina, Enrique Buendía, Enrique Azpra y Pedro Mosino por su invaluable asesoría teórica.

A María Antonieta Fernández Mac. Naught, sin quien ni siquiera hubiera intentado realizar este trabajo.

A Estela Hernández Garibay por cuidarme y quererme.

INDICE

INTRODUCCION	1
CAPITULO I. BASES FISICAS E IMPORTANCIA DE LA IRRADIACION SOLAR ULTRAVIOLETA.....	
EL ESPECTRO ELECTROMAGNETICO EMITIDO POR EL SOL.....	7
IMPORTANCIA DE LOS ESTUDIOS DE IRRADIACION SOLAR.....	11
La temperatura como parámetro para la división de la atmósfera.....	11
La irradiación ultravioleta en la tropósfera.....	13
La irradiación ultravioleta en la estratósfera.....	15
La irradiación ultravioleta en los niveles atmosféricos restantes.....	19
INFLUENCIA DE LA IRRADIACION ULTRAVIOLETA EN LA SALUD DEL HOMBRE Y EN SU MEDIO URBANO.....	24
El smog fotoquímico y la irradiación ultravioleta.....	24
Efectos del smog fotoquímico sobre la marcha diaria de la incidencia de la irradiación ultravioleta.....	27
Diferencias en los niveles de incidencia de irradiación ultravioleta en ciudades con y sin atmósfera contaminada. El caso de las ciudades de México y Colima.....	31
Raquitismo carencial.....	31
Cáncer de piel.....	35
Efectos adversos de la irradiación ultravioleta en la visión humana.....	41
CAPITULO II. ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LA CIRCULACION GENERAL DE LA ATMOSFERA EN EL CENTRO DE LA REPUBLICA MEXICANA DURANTE EL MES DE ENERO.....	
GENERALIDADES.....	45
INFLUENCIA DE LA CORRIENTE DE CHORRO SUBTROPICAL.....	49
VARIACIONES DEL FLUJO DE LOS VIENTOS EN LOS TROPICOS.....	51
LOS CENTROS DE ACCION DURANTE EL INVIERNO.....	53

CAPITULO III. EXPERIMENTOS REALIZADOS EN EL VOLCAN IZTACCIHUATL DEL 14 AL 30 DE ENERO DE 1991.....	56
LOCALIZACION DEL CAMPAMENTO.....	58
Coordenadas geográficas.....	58
Rasgos fisiográficos de referencia.....	58
INSTRUMENTAL Y RUTINA DE OBSERVACION.....	61
CAPITULO IV. ANALISIS DE LOS RESULTADOS.....	77
IRRADIACION SOLAR ULTRAVIOLETA.....	77
Serie completa de datos para el Iztaccíhuatl.....	77
Series continuas completas de irradiación U.V. para la Cd. de México y para el Iztaccíhuatl, sin horario paralelo y bajo cielo despejado.....	79
Marcha diaria de la irradiación U.V. en el Iztaccíhuatl bajo cielo despejado.....	83
Marcha diaria de la irradiación U.V. en el Iztaccíhuatl en presencia de cielo nublado.....	85
Marcha diaria de la irradiación U.V. en el Iztaccíhuatl y en la Ciudad de México bajo condiciones de cielo despejado, hasta el medio día.....	88
Variación de la irradiancia U.V. en la Ciudad de México a las 11:00 hrs.....	88
Variaciones de la irradiancia U.V. en el Iztaccíhuatl.....	90
La nubosidad y su efecto sobre la irradiación U.V. en el Iztaccíhuatl.....	95
SITUACION SINOPTICA DEL VOLCAN IZTACCIHUATL DEL 14 AL 30 DE ENERO DE 1991 A LOS 5, 100 m.s.n.m.....	109
COMPORTAMIENTO INDIVIDUAL DE LA TEMPERATURA, LA PRESION ATMOSFERICA Y LOS VIENTOS EN EL IZTACCIHUATL.....	109
a) Marcha diurna de la temperatura.....	109
b) Parámetros térmicos.....	112
c) Presión atmosférica.....	114
d) Velocidad del viento en superficie.....	116
e) Vientos diurnos dominantes en altura y en superficie.....	116

SITUACION SINOPTICA DEL VOLCAN IZTACCIHUATL DEL	
14 AL 30 DE ENERO DE 1991.....	119
14 de enero de 1991.....	120
15 de enero de 1991.....	123
16 de enero de 1991.....	126
17 de enero de 1991.....	128
18 de enero de 1991.....	131
19 de enero de 1991.....	133
20 de enero de 1991.....	136
21 de enero de 1991.....	137
22 de enero de 1991.....	138
23 de enero de 1991.....	141
24 de enero de 1991.....	144
25 de enero de 1991.....	145
26 de enero de 1991.....	148
27 de enero de 1991.....	149
28 de enero de 1991.....	151
29 de enero de 1991.....	153
30 de enero de 1991.....	156
CONCLUSIONES PRELIMINARES.....	157
CAPITULO V. CONCLUSIONES.....	159
BIBLIOGRAFIA.....	164

INTRODUCCION

Las observaciones físicas de tipo meteorológico son difíciles de realizar en ambientes caracterizados por condiciones ambientales extremas. Por tanto, los trabajos basados en este tipo de observaciones son muy escasos. A este tipo de ambientes pertenecen la alta montaña, los polos, los desiertos, las selvas tropicales y los fondos oceánicos.

Se aplica comunmente el término "alta montaña" a toda zona montanosa que sobrepasa en 1,500 metros o más el nivel de sus planicies adyacentes, presentando pendientes de fuerte inclinación (más de 30°), presiones barométricas bajas (menos de 530 mb) y bajas temperaturas (con la media anual igual o menor a 0°C). Este conjunto de características tan adversas hacen imposible cualquier asentamiento humano fijo. En regiones situadas a latitudes intertropicales (como es el caso de la Sierra Nevada, en el centro de la República Mexicana), el límite inferior de la zona de alta montaña se encuentra alrededor de los 4,000 m. de altitud.

Sin embargo, la gran necesidad que tiene el hombre por conocer a fondo el medio ambiente que lo rodea ha hecho tan indispensable como inevitable su incursión en tales ambientes. De esta manera Horace Benedict de Saussure realizó las primeras observaciones termo-barométricas en la cumbre del Mont Blanc en 1787 (Mellano, 1980).

Desde entonces se han efectuado este tipo de estudios sobre las laderas y cumbres de las montañas altas del Planeta, siendo de suma importancia para el conocimiento de las interrelaciones entre los procesos atmosféricos, la superficie terrestre y el hombre.

Las mediciones meteorológicas en alta montaña son importantes porque nos revelan información relativa a su climatología. De esta manera es posible entender mejor los procesos físicos ambientales de las planicies y valles que las rodean.

Se han desarrollado métodos indirectos (inferencias matemáticas, percepción remota, etc.) para estudiar los fenómenos que ocurren en la atmósfera a altitudes similares a las alcanzadas por las montañas altas. Sin embargo, el carácter indirecto de estas mediciones les confieren cierta imprecisión. Por tanto, la observación directa es la óptima para llevar a cabo estas tomas de datos.

En este trabajo se intenta realizar un estudio donde se incluye un parámetro relativamente nuevo: la irradiación solar ultravioleta en alta montaña.

La irradiación solar es el último parámetro en ser incorporado a las redes meteorológicas mundiales, por lo tanto son más escasos los estudios de dicho parámetro en alta montaña. A continuación se mencionan algunos de los estudios generales en alta montaña.

a) EN EL EXTRANJERO:

Los estudios glaciológicos efectuados por Maynard M. Miller durante la Expedición Americana al Everest en 1963. Con la descripción geológica del glaciar Khumbu de dicha montaña. El autor situó su campamento base, al igual que el resto de los integrantes de la expedición, a los 5,250 m de altitud (Miller, 1970).

Las mediciones de irradiación solar (al parecer global) por medio de un piranómetro Eppley, hechas durante la misma expedición por Barry C. Bishop (Dyhrenfurth, 1963).

Las mediciones de radiación ionizante por rayos cósmicos (gamma y X) en el Annapurna III (Himalaya, Nepal) en 1982, encabezados por Antonio Rane Tarrago y realizados a cotas situadas entre 4000 y 6300 m. de altitud. Este estudio reveló los altos índices de irradiación ionizante que son recibidos por los alpinistas, y que están determinados por la gran altitud, la actividad solar y la emisión de radiaciones por parte de rocas graníticas en las bandas mencionadas (Rane, 1984).

La toma de muestras de hielo del glaciar Quelcaya (Cordillera Vilcanota, Perú) en 1983, cuyo propósito fué la investigación de la periodicidad de la corriente de El Niño. Este estudio fué dirigido por Thompson, Mosley-Thompson y Morales A. (Thompson, 1987).

El estudio climatológico y biometeorológico dirigido por Pierre Escourrou durante 5 días en una estación situada a 3574 m. de altitud en la Jungfrauoch, Suiza, en 1985. Se registraron cambios bruscos de temperatura, velocidad del viento y humedad relativa, calculándose además la temperatura y su relación con el viento y el índice de temperatura-humedad. Los dos últimos parámetros dan una idea aproximada de la pérdida de calor corporal en el hombre debida a la acción de los elementos meteorológicos mencionados (Escourrou, 1990).

La investigación climatológica realizada por Charles C. Ryerson en los observatorios situados en las cumbres de los montes Mansfield (1539 m.) y Washington (1917 m.) en el Noreste de la Unión Americana. Este trabajo consistió en establecer las causas de las diferentes formaciones de hielo y su relación con la meteorología sinóptica de las regiones adyacentes (Ryerson, 1988).

b) EN MEXICO:

Las mediciones de irradiación solar directa y ozono atmosférico efectuadas en diciembre de 1958 por Ignacio Galindo E. en el volcán Iztaccíhuatl (5286 m.s.n.m.) durante el Año Geofísico Internacional (1957-1958). Estas lecturas fueron tomadas a altitudes localizadas entre los 4000 y 4500 m.. Dicho trabajo es el único previo en su tipo al presente (Galindo, 1990).

Los estudios glaciológicos de Hugo Delgado G., Raymundo

Arciniega D. y sus colaboradores en 1983 y realizados en los volcanes Popocatépetl e Iztaccíhuatl. Dichos autores efectuaron arduos trabajos a cotas muy elevadas, siendo éstas de 4000 a 5452 m. de altitud (Delgado, 1986).

Como se observa, la irradiación solar ultravioleta ha sido poco estudiada en alta montaña.

El Dr. Kinsell Coulson, quien es uno de los principales investigadores de la irradiación solar en el Mundo, comentó recientemente su desconocimiento sobre publicaciones científicas relativas a monitoreos de radiación ultravioleta realizados sobre la superficie terrestre a más de 5,000 m. de altitud (Vasylyev, 1992). De comprobarse ésto, el presente trabajo será el primero en su tipo.

Los estudios de irradiación solar en alta montaña son indispensables para el conocimiento de los microclimas de estos lugares. La hipótesis de la ionización positiva en masas de aire que contribuiría al incremento del mal de montaña en los alpinistas es un tema de gran interés actual entre los biometeorólogos. Se ha postulado a la irradiación solar como uno de los agentes causantes de dicha ionización (Ballestini i Pons, 1984).

La atmósfera en la alta montaña es mucho más limpia que en

las zonas bajas. Esto constituye una gran ventaja para la toma de datos a cotas elevadas, encontrándose dicha información menos alterada por la absorción y difusión efectuada por los contaminantes atmosféricos propia de las altitudes bajas.

Es posible comparar la información que se puede obtener directamente en alta montaña con la derivada de satélite para la validación de la última. Esto sería más complicado si se confrontara la información recabada en las estaciones urbanas con la de los satélites debido, como ya se mencionó, al carácter contaminado que suelen presentar las primeras. Esto nos conduce a aseverar que las mediciones de irradiación solar en alta montaña sirven además para obtener mejores validaciones y apreciaciones de aquellas efectuadas en áreas urbanas contaminadas, máxime si estos dos tipos de lecturas son hechas a una distancia relativamente corta entre sí.

En este trabajo se presentan los resultados del análisis de las lecturas de irradiación solar (global y ultravioleta) y meteorológicas obtenidas durante el Campamento Científico IZTA-1 en el mes de enero de 1991, a 5,100 m. de altura sobre el nivel del mar.

Durante este evento se realizaron también tomas de datos relativos a la fisiología humana. En este trabajo no se incluye este último aspecto.

CAPITULO I

BASES FISICAS E IMPORTANCIA DE LA IRRADIACION SOLAR ULTRAVIOLETA

EL ESPECTRO ELECTROMAGNETICO EMITIDO POR EL SOL.

La irradiación solar abarca un espectro electromagnético que va desde fracciones de Angström hasta centenares de metros. Este espectro comprende las longitudes de onda descritas en el cuadro No.1.

El 98% de la energía total emitida por el Sol está incluida en la región comprendida entre 2,500 y 30,000 Å (Angströms), o 250 y 3000 nm (nanómetros). La irradiación solar ubicada fuera de estos límites es importante, aunque de una intensidad menor.

A longitudes de onda superiores a 30,000 Å, en el rango infrarrojo, casi toda la energía es absorbida por vapor de agua atmosférico y bióxido de carbono (CO₂) (Robinson, 1979).

En el cuadro No. 2 se puede observar que la irradiación ultravioleta abarca una porción importante dentro del espectro de irradiación solar. En el mismo cuadro están representadas las diferentes bandas de emisión, así como

otras observaciones importantes.

La irradiación ultravioleta no solamente es emitida por el Sol, sino también por otras estrellas, aunque en la Tierra la intensidad con que incide sea mucho menor.

(1) NOTA: 1 Ångström = 10^{-10} metros = 10 nm.

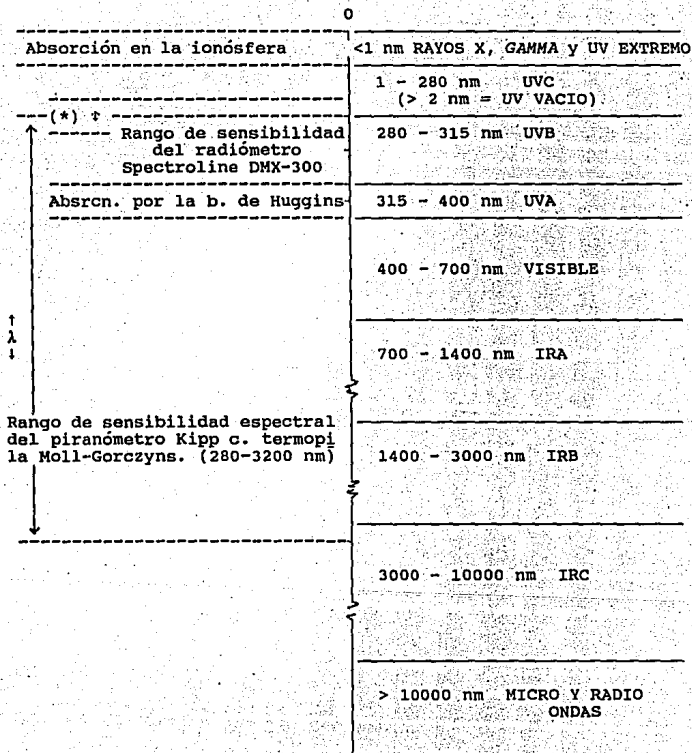
Los estudios de irradiación solar nos ayudan, por un lado, a conocer las propiedades del Sol (las reacciones físicas y químicas que en él ocurren) y, por otro, los efectos de la misma sobre la atmósfera y la superficie terrestre.

De la siguiente manera Coulson (1975) explica el origen de la irradiación ultravioleta y otras bandas:

"El espectro de ultravioleta solar es muy rico en detalle, debido a las numerosas líneas de emisión y absorción de los diferentes elementos de la cromósfera y corona solares. El elemento más abundante es el hidrógeno, el cual es el causante de la poderosa línea de resonancia de Lyman a $0.1216 \mu\text{m}$ (121.6 nm), del límite de la continuidad que cubre el rango $0.0912 \mu\text{m}$ (91.2 nm) hasta alrededor de $0.0650 \mu\text{m}$ (65 nm) y de un número de bandas intermedias. Las series del hidrógeno fueron fotografiadas por T. Lyman en 1914. Una continuidad de helio, aunque más débil, ocurre en la región de los $0.05 \mu\text{m}$ (50 nm), con fuertes bandas de resonancia a 0.0304 (30.4 nm), 0.0537 (53.7 nm) y

NOMBRE DE LA BANDA	LONGITUD DE ONDA (λ) Según Robinson	LONGITUD DE ONDA(λ) Según Coulson
Rayos X y gamma	> 1 nm	< 1 nm
Ultravioleta lejano (UVC)	1 a 200 nm	< 280 nm
Ultravioleta medio (UVB)	200 a 315 nm	280 a 315 nm
Ultravioleta cercano (UVC)	315 a 380 nm	315 a 400 nm
Visible	380 a 720 nm	400 a 700 nm
Infrarrojo cercano (IRA)	720 a 1500 nm	700 a 1400 nm
Infrarrojo medio (IRB)	1500 a 5600 nm	1400 a 3000 nm
Infrarrojo lejano (IRC)	5600 a 10000 nm	3000 a 10000 nm
Micro y radio ondas	> 10000 nm	> 10000 nm

CUADRO No. 1. Clasificación del espectro de irradiación solar de acuerdo a longitudes de onda. (Adaptado de Robinson, 1979 y de Coulson, 1975).



(*) Rango de absorción por la banda de Hartley (220-295 nm) en la estratosfera.

CUADRO No. 2. El espectro de irradiación solar y algunas bandas de absorción importantes.

0.0584 μm (58.4 nm). Otras potentes bandas de emisión son provocadas por hierro, silicón, oxígeno, nitrógeno, neón, carbón y otros elementos".

El espectro del ultravioleta extremo es de línea brillante, proveniente de las regiones solares de mayor temperatura. El espectro de longitud de onda más largo es, sin embargo, de banda oscura, debido a la absorción en los niveles inferiores de la atmósfera solar y, por tanto, más fríos (Coulson, 1975).

IMPORTANCIA DE LOS ESTUDIOS DE IRRADIACION SOLAR.

LA TEMPERATURA COMO PARAMETRO PARA LA DIVISION DE LA ATMOSFERA.

Tomando como referencia la superficie de la Tierra, la atmósfera suele clasificarse en función de los parámetros de temperatura y altitud. La figura No. 1 nos muestra la temperatura media atmosférica en función de la altitud sobre el nivel del mar a latitudes medias. También indica el descenso continuo de la presión atmosférica total conforme la altitud aumenta.

Aunque inicialmente la temperatura desciende con el incremento de la altitud en la tropósfera, este proceso se invierte aproximadamente a los 15 Km. de altitud, en la tropopausa. En la estratósfera la temperatura se incrementa hasta los 50 Km. de altitud. En la mesósfera, de 50 a 85 Km. de altitud,

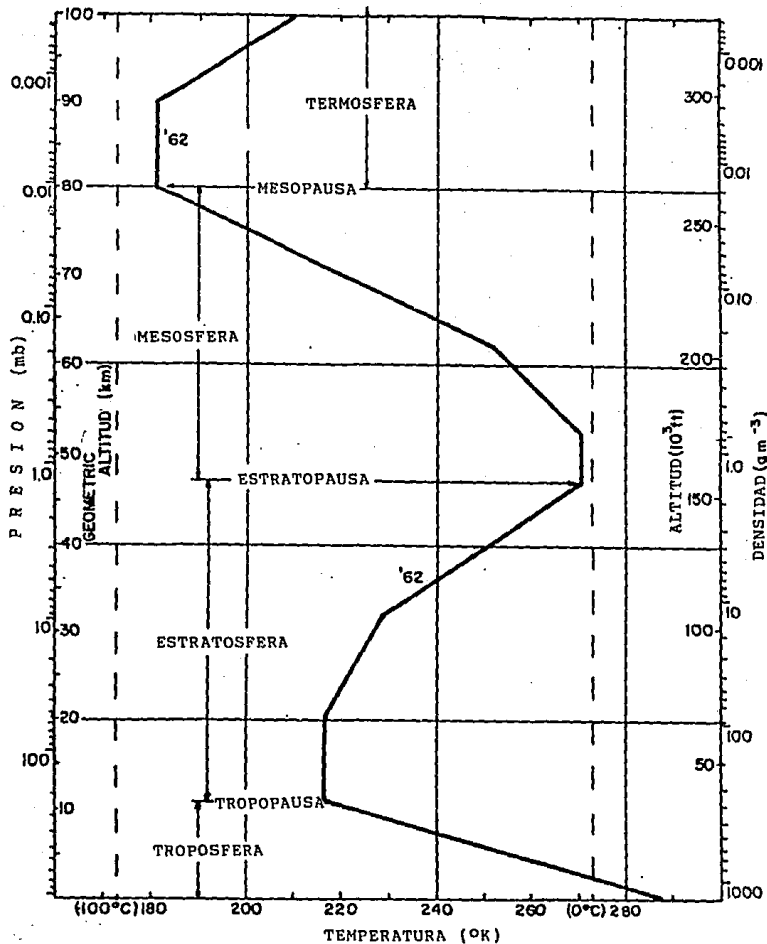


FIGURA No. 1. Variación de la temperatura con la altitud como parámetro para la división de la atmósfera en varias regiones (según Cole, Court y Kantor, 1965; tomado de Galindo, 1988).

la temperatura vuelve a descender hasta los ~85 Km., donde comienza la termósfera. Aquí, la temperatura vuelve a incrementarse con la altitud.

LA IRRADIACION ULTRAVIOLETA EN LA TROPOSFERA.

El descenso de la temperatura con el incremento de la altitud en la tropósfera se debe al efecto de calentamiento de la superficie terrestre proveniente de la absorción de las irradiaciones visible y ultravioleta cercana. En este estrato atmosférico ocurre una fuerte mezcla de partículas y contaminantes aéreos que son transportados desde la superficie terrestre hasta el límite superior de la tropopausa; este proceso puede llevarse a cabo en pocos días, o inclusive en horas, dependiendo de las condiciones meteorológicas. En la tropósfera se llevan a cabo los principales procesos meteorológicos. En ella se presentan la nubosidad y el vapor de agua, los cuales son los principales moduladores de la radiación infrarroja (proveniente de la superficie del planeta), además de desempeñar una función termorreguladora entre la superficie y la misma.

La irradiación solar es el motor de toda la dinámica atmosférica. Esto conduce a resaltar la importancia de su estudio en el contexto del cambio climático global.

La irradiación solar interactúa selectivamente con los gases atmosféricos (vapor de agua, oxígeno, ozono y bióxido de carbono, principalmente) y con los aerosoles naturales (sales marinas, polvo y esporas) y antropogénicos (polvo, humo y gases industriales). Con el nitrógeno y otros componentes del aire produce la dispersión de Rayleigh. A ésta se debe el color azulado del cielo, y consiste básicamente en la difusión -no absorción- de longitudes de onda de alrededor de 500 nm (principalmente en el azul). Dicha difusión es efectuada por aglomeraciones moleculares de aire unidas por fuerzas electrostáticas.

Se sabe que en la formación del smog fotoquímico interviene la irradiación solar ultravioleta. Más adelante se tratará, dentro de este mismo capítulo, dicho problema. Sin embargo, es necesario destacar que este proceso contaminante de tipo oxidante engloba una complejidad notable. En ella intervienen, por una parte, factores meteorológicos y de irradiación solar que deben ser contemplados dentro de la extensa dinámica troposférica. Por otro lado, las características de los agentes de emisión contaminante (productos derivados de la combustión de hidrocarburos), que tampoco son estáticos, confieren a esta problemática la necesidad de ser considerada como un proceso fotoquímico en el que se da la transformación continua de contaminantes en estrecha interdependencia con las características del medio ambiente.

Por ello es importante el estudio de la irradiación solar en este contexto, principalmente la de tipo ultravioleta.

Además, los registros y análisis de esta banda espectral son especialmente útiles en el estudio del comportamiento de los gases y aerosoles en cada estrato atmosférico, pues la absorción o difusión propias de éstos influyen directamente sobre la cantidad de irradiación que recibe la superficie terrestre, siendo las fluctuaciones del flujo solar los mejores indicadores de estos procesos.

LA IRRADIACION ULTRAVIOLETA EN LA ESTRATOSFERA.

En la estratósfera ocurre una serie de reacciones fotoquímicas en las que intervienen ozono y oxígeno molecular. Casi toda la irradiación solar incidente con longitudes de onda inferiores a 295 nm es absorbida por los gases atmosféricos, principalmente por la banda de ozono de Hartley (descubierta por él en 1891). Así, el ozono absorbe la irradiación solar cuyos límites de longitud de onda se sitúan aproximadamente entre 210 y 290 nm (gran parte del UVB), aunque el oxígeno absorbe longitudes de onda menores a 200 nm. Esta banda de absorción del oxígeno incluye la continuidad de Schumann (145 - 175 nm), la banda de Schumann-Runge (175 y 202.6 nm) y la banda de Friedman (104 - 130 nm).

La absorción del ozono en la banda de Hartley es tan fuerte

que si supusiésemos que el contenido total de este gas en una columna vertical formara una capa de solamente 3 mm de espesor bajo condiciones normales, solamente uno de cada 10^{40} fotones en la región de los 250 nm alcanzaría la superficie terrestre.

Longitudes de onda más cortas son absorbidas en niveles atmosféricos superiores, dependiendo la profundidad de la longitud de onda y de las propiedades de los gases.

Parte de la irradiación del ultravioleta cercano es absorbida por las bandas de absorción de Huggins (descubiertas por él en 1890), principalmente en la región de $\lambda \leq 320$ nm, y otra porción es difundida hacia el espacio exterior, aunque una cantidad considerable alcanza la superficie. El espectro del ultravioleta cercano que alcanza el límite superior de la atmósfera y que fué medido a una altitud de 3660 m.s.n.m. por Stair y Ellis en 1968 en el Mauna Loa, Hawaii, se muestra en la figura No. 2.

En dicha figura se observa cómo aumenta el flujo de energía conforme aumenta la longitud de onda, correspondiendo los valores menores a los de la banda UVA.

La absorción de la irradiación, principalmente por el ozono, es la causa principal del incremento de la temperatura con la altitud en la estratósfera. El O_2 y el O_3 excitados se fotodisocian, iniciando una serie de reacciones en las que el

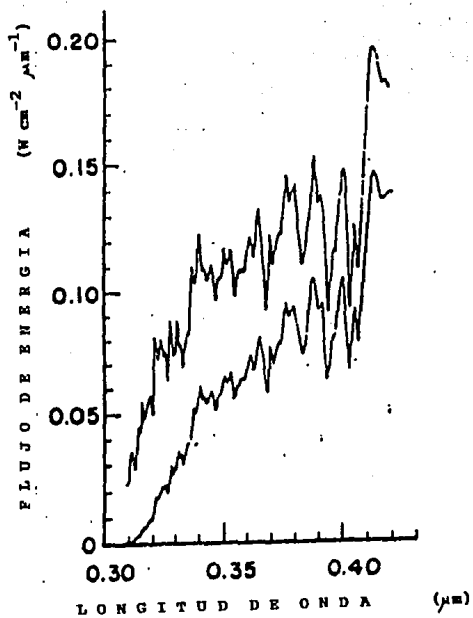
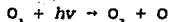
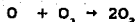
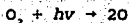


FIGURA No. 2. El espectro del ultravioleta cercano en la parte superior de la tropósfera, a una altitud de 3,660 m. en el Mauna Loa, Hawai, y al nivel del mar. (según Stair y Ellis, 1968; tomado de Coulson, 1975).

primero es formado y destruido, conduciendo a un estado de concentración estable del mismo:



El estado de concentración estable del ozono en la estratosfera es de vital importancia para la vida en la Tierra porque absorbe fuertemente la luz de $\lambda < 290$ nm, impidiéndole a esta última alcanzar la superficie. Como se sabe, esta radiación es nociva para los seres vivos. De esta manera, la luz solar que alcanza la tropósfera (y comúnmente denominada radiación actínica), tiene longitudes de onda superiores a ~ 290 nm. Este "corte" en la longitud de onda corta limita la fotoquímica de la tropósfera. Por lo tanto, solamente aquellas moléculas que absorben radiaciones superiores a $\lambda = 290$ nm pueden sufrir disociación.

En la estratosfera ocurren pocos procesos de mezcla y precipitación. Sin embargo, en ocasiones ocurren inyecciones masivas de partículas provenientes de erupciones volcánicas que forman capas (que llegan a persistir hasta un año o más) de

este tipo de materiales. Esto evidentemente afecta de manera directa la incidencia de la irradiación solar sobre la superficie terrestre.

LA IRRADIACION ULTRAVIOLETA EN LOS NIVELES ATMOSFERICOS RESTANTES.

En la mesósfera, de -50 -85 km., la temperatura vuelve a descender con la altitud. Esta tendencia se debe a la disminución de la concentración del O_3 con la altitud, lo que a su vez reduce la pérdida de calor através de las reacciones químicas propias del estado de concentración estable de dicho gas.

A ~ 85 km. de altitud la temperatura comienza a ascender nuevamente, debido a la creciente absorción de irradiación solar de longitudes de onda menores a ~ 200 nm por O_3 , N_2 y formas atómicas. Esta región es conocida como termósfera.

La porción de la atmósfera situada entre 20 y 110 km. (y que incluye la mayoría de la estratósfera, la mesósfera y la parte inferior de la termósfera) se denomina quimiósfera, ya que en ella ocurren la mayoría de las reacciones químicas en las cuales interviene la irradiación solar.

Las zonas de transición entre las zonas de la atmósfera son conocidas como tropopausa, estratopausa y mesopausa. Su localización varía según la latitud, la estación y el año. En lá

figura No. 1 podemos apreciar su ubicación promedio a latitudes medias.

Como ya se mencionó, cuando la irradiación solar pasa através de la atmósfera terrestre, es modificada tanto en intensidad como en distribución espectral debido a la absorción y difusión efectuadas por gases, aerosoles y partículas. La atmósfera no presenta una constitución homogénea ni continua, y el espectro de irradiación solar es similarmente heterogéneo y variado. Tomando en cuenta los conceptos anteriores, podemos explicarnos el porqué existe una gran variedad de regiones espectrales cuya banda de absorción corresponde a uno o más constituyentes atmosféricos propios de cada estrato.

Al respecto, en la figura No. 3 se intenta esquematizar esta dinámica. Para ello, se muestra el flujo solar fuera de la atmósfera y al nivel del mar en función de la longitud de onda y a un ángulo zenital de 0° . En ella se muestran también los principales constituyentes atmosféricos responsables de la atenuación de la irradiación.

La intensidad de la luz solar fuera de la atmósfera está caracterizada por la constante solar, que es la cantidad total de luz recibida por unidad de área, siendo normal a la dirección de la propagación de la luz. Su valor promedio es de $1367 (\pm 6) \text{ Wm}^{-2}$ (Muhlia, 1994).

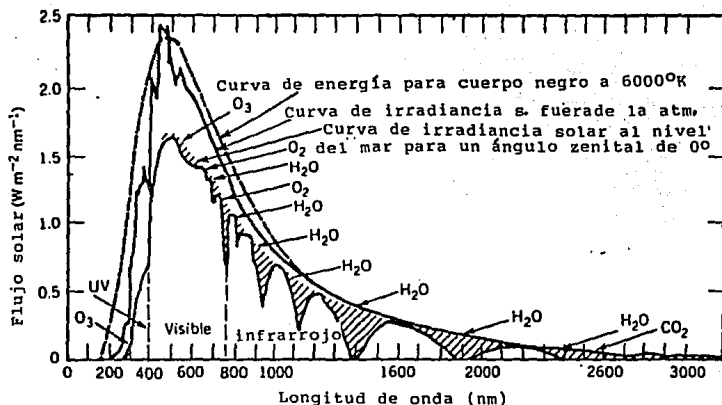


FIGURA No. 3. El flujo solar fuera de la atmósfera y al nivel del mar, respectivamente. Se muestra la emisión de cuerpo negro a 6000°K para fines de comparación, así como las diferentes especies (O_3 , H_2O , etc.) responsables de la absorción de la luz en diferentes regiones del espectro (según Howard et al., 1960; tomado de Finlayson, 1986).

Fuera de la atmósfera, la energía del flujo solar es semejante al de un cuerpo negro a 6000°K. Sin embargo, como ya se mencionó, la absorción y difusión de la luz por parte de los constituyentes atmosféricos modifican la distribución espectral.

El cuadro No. 3 muestra la atenuación de la irradiación solar por parte de la atmósfera, clasificándola en varias regiones espectrales. Debido a la presencia de estos agentes absorbentes en la atmósfera alta, solamente la luz con $\lambda > 290$ nm se encuentra disponible para las reacciones fotoquímicas de la tropósfera. Este flujo se considera a menudo como irradiación integrada proveniente de todas direcciones y dirigida hacia una esfera, siendo denominada irradiación actínica (aunque, en el sentido estricto de la palabra, actínico significa "capaz de causar reacciones fotoquímicas") (Finlayson, 1986).

La distribución de la intensidad y longitudes de onda de la irradiación solar sobre la superficie terrestre está determinada no solamente por los efectos de dispersión y absorción realizada por los constituyentes atmosféricos y la naturaleza y concentración de éstos, sino también por la longitud del camino óptico, la cual está determinada por la distancia que parte desde un punto localizado fuera de la atmósfera y que llega a un observador situado sobre un punto de la superficie terrestre. Está en función del ángulo que describe el Sol a cierta hora del día, de la latitud y de la estación del año. Además, la reflexión de la luz por la superficie terrestre altera la intensidad de la

Regiones de longitud de onda (nm y μm)				Regiones de longitud de onda (nm y μm)			
120-200nm	200-290nm	290-320nm	320-350nm 350-550nm	550-900nm 900nm-2.5 μm	2.5-7 μm	7-20 μm	Altitud Región de sta.
La intensidad de la irradiación solar se aproxima a la extratropical. La atenuación por difusión se incrementa considerablemente hacia longitudes de onda más cortas.				La intensidad de la irradiación solar se aproxima a la extratropical. La atenuación por difusión se incrementa considerablemente hacia longitudes de onda más cortas.			
Absorción casi completa por O ₃							
Absorción apreciable por O ₃ de 190-210 nm; absorción por O ₃ apreciable.		Absorción por O ₃ poco importante			Energía Pequeña	Energía muy pequeña	60-80 m 10-15 m 60-80 m 10-15 m
No penetra irradiación por debajo de -11 km.		La absorción por O ₃ aumenta más que la pérdida por difusión	Absorción por O ₃ atómica significa "titaneos" en la irradiación	Irradiación disminuida principalmente por difusión por gases por "nubes" en la atmósfera	El O ₃ es responsable de la mayor parte de la absorción. El O ₂ absorbe una ligera absorción a 2 μm . Es posible encontrar vapor de agua (o cristales de hielo) a altitudes de 21 km.		13-11 km 11 km
			Pelvo, alabá. En y hum. Situación variable con los movimientos de la atmósfera en regiones de 120 a 700 m.	Energía transmitida con pequeña pérdida hasta los 2 km	La energía penetra hasta el nivel del mar a través de "nubes" a 1.2, 1.6 y 2.3 μm	sin penetración significativa bajo los 2 km excepto en las "nubes" a 1.2, 1.6 y 2.3 μm	11 km 11 km
Penetración apreciable a través de la atmósfera clara hasta el nivel del mar		Penetración de un 60% a través de la atmósfera "clara" hasta el nivel del mar		El polvo puede absorber hasta más de 4 km		Energía transmitida con pérdida moderada en las bandas de absorción de los gases atmosféricos	10 km 10 km 10 km

CUADRO No. 3. Atenuación de la irradiación solar por la atmósfera (según Howard et al., 1960; tomado de Finlayson, 1986).

irradiación en un punto dado de la atmósfera, al igual que la presencia de nubes.

El ángulo que describe el Sol en relación a un punto fijo sobre la superficie terrestre está caracterizado por el ángulo solar zenital θ . está definido, tal como lo muestra la figura No. 4, como el ángulo comprendido entre la dirección del Sol y la vertical. Así, correspondería un ángulo zenital de 0 a dicho astro en su posición más alta, y un ángulo de $\pm 90'$ a su posición al amanecer y al ocaso.

A mayor ángulo zenital, un rayo luminoso que cruza la atmósfera debe recorrer un distancia mayor a través de ésta, incrementándose la reducción de la intensidad de la irradiación por procesos de absorción y dispersión. La distancia referida se denomina camino óptico.

INFLUENCIA DE LA IRRADIACION ULTRAVIOLETA EN LA SALUD DEL HOMBRE Y EN SU MEDIO URBANO

EL SMOG FOTOQUIMICO Y LA IRRADIACION ULTRAVIOLETA.

Como se recordará, alrededor de 4,000 personas perecieron en Londres en el año de 1952, debido a la elevada concentración de contaminantes atmosféricos que ocurrió a nivel local. Este fenómeno se caracterizó por las altas concentraciones de bióxido de azufre (SO_2) y de partículas, de manera simultánea a la

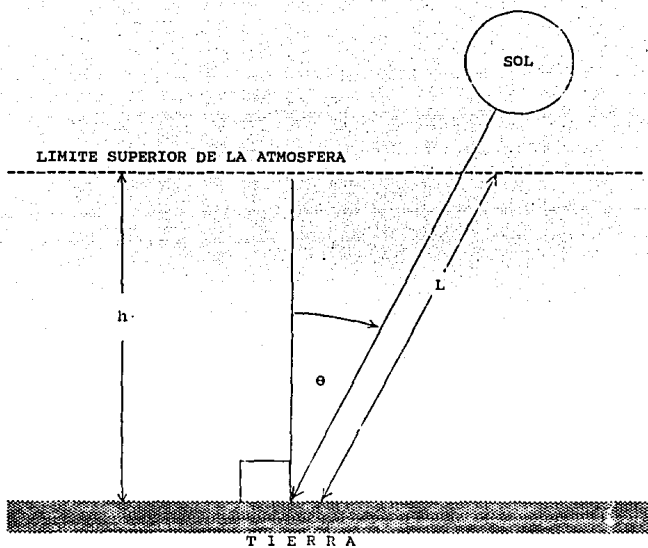
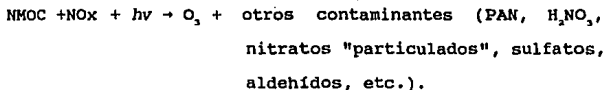


FIGURA No. 4. Definición del ángulo zenital θ de un punto situado sobre la superficie terrestre. h = espesor de la atmósfera, L = camino óptico (según Finlayson, 1986).

presencia de niebla (Finlayson, 1986). Debido a esto, este tipo de contaminación aérea es frecuentemente denominada smog sulfuroso. El término "smog" proviene de la combinación de las palabras inglesas "smoke" [humo] y "fog" [niebla].

No obstante, en el área metropolitana de Los Angeles (E.U.A.) se identificó un nuevo tipo de contaminación atmosférica en el año de 1944. Pero fué hasta 1951 cuando su proceso de formación fué descubierto por los investigadores Haagen-Smit, Darley y sus colaboradores (Finlayson, 1986). Este equipo estableció que el principal contaminante era el ozono (O_3), el cual se formaba debido a la reacción de óxidos orgánicos aéreos con la luz solar ultravioleta. Dicha reacción es:



donde:

NMOC = Componentes orgánicos sin incluir el metano.

NOx = Oxido nítrico (NO) + bióxido de nitrógeno (NO_2). Sin embargo, el NO forma parte de las emisiones directas de NOx. De hecho, la expresión NO se utiliza a menudo para representar la suma de todos los contaminantes nitrogenosos. Estos incluyen no solamente NO y NO_2 ,

sino también gases como ácido nítrico (HNO_3), peroxiacilnitrilo (PAN), ácido nitroso (HONO), etc., los cuales se presentan en concentraciones mucho menores.

$h\nu$ = Irradiación solar ultravioleta.

Durante este proceso la energía radiante del ultravioleta es consumida en las reacciones fotoquímicas citadas, lo cual reduce la recepción de dicha banda en la superficie de las ciudades con atmósferas contaminadas con smog.

EFFECTOS DEL SMOG FOTOQUIMICO SOBRE LA MARCHA DIARIA DE LA INCIDENCIA DE LA IRRADIACION ULTRAVIOLETA.

Aún tratándose de casos de contaminación atmosférica moderada, la disminución del flujo de ultravioleta transmitido por la atmósfera puede llegar a ser significativo. Un ejemplo de esta disminución del flujo radiativo se explica en un reporte de Stair y Nader (1967) con base en mediciones de la banda UVA ($\lambda=300$ a 380 nm) realizadas de manera simultánea durante 2 días en la ciudad de Los Angeles, E.U.A., y en las cercanías del Monte Wilson, que se encuentra cerca de dicha metrópoli. En este caso, el flujo global de irradiación ultravioleta durante la mañana constituye menos de la mitad de lo que es bajo condiciones sin contaminación. La evidencia indica que la energía radiante es utilizada en promover reacciones fotoquímicas entre óxidos de nitrógeno e hidrocarburos,

los cuales se encuentran de manera abundante a lo largo del transcurso de la mañana. Para el medio día, o un poco después, el suministro de una o de ambas de estas sustancias reactivas ha disminuído considerablemente, lo cual provoca un descenso lento y gradual en las reacciones fotoquímicas, y permitiendo que una mayor porción de la radiación incidente pase a través de la atmósfera. Este ejemplo se ilustra en la figura No. 5.

Un ejemplo similar se encuentra documentado por Galindo, Frenk y Bravo (1993). Este caso se refiere a un estudio realizado en la Cd. de México en el cual se efectuó el monitoreo simultáneo de la banda ultravioleta de $\lambda = 290$ a 384 nm (ubicada principalmente dentro del UVA) y de ozono antropogénico durante un período de 30 meses que dió inicio en marzo de 1990. Se determinó el promedio horario de irradiación UV. La figura No. 6 muestra este promedio junto con sus extremas y la desviación estándar. Puede verse una ligera asimetría entre los valores registrados antes del medio día con respecto a los valores vespertinos. Este hecho se demuestra al analizar la desviación estándar de la muestra, lo cual revela valores mayores durante las horas de la mañana, alcanzando su máximo a las 11:00 hrs. Por otra parte, los valores mínimos de UV matutinos antes de la hora citada son alrededor de un 50 % más bajos que los correspondientes valores vespertinos. Este comportamiento local de la irradiancia UV se explica si se considera que la circulación atmosférica local hace que los contaminantes aéreos sean transportados hacia el Sur desde el NW-NE, donde se localiza la principal zona industrial, y que las

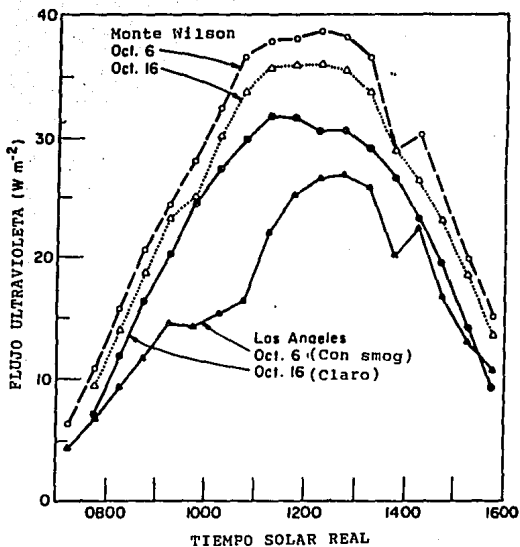


FIGURA No. 5. Flujos de irradiación ultravioleta ($k = 300$ a 380 nm) medidos sobre una superficie horizontal en el centro de Los Angeles bajo condiciones atmosféricas tanto claras como contaminadas, así como en un lugar situado sobre la capa de smog, cerca del Monte Wilson (según Stair y Nader, 1967).

FLUJOS HORARIOS DE IRRADIACION ULTRAVIOLETA
 CAMPUS UNIVERSITARIO (19.5°N, 99.3°W, 2,240 m.s.n.m)

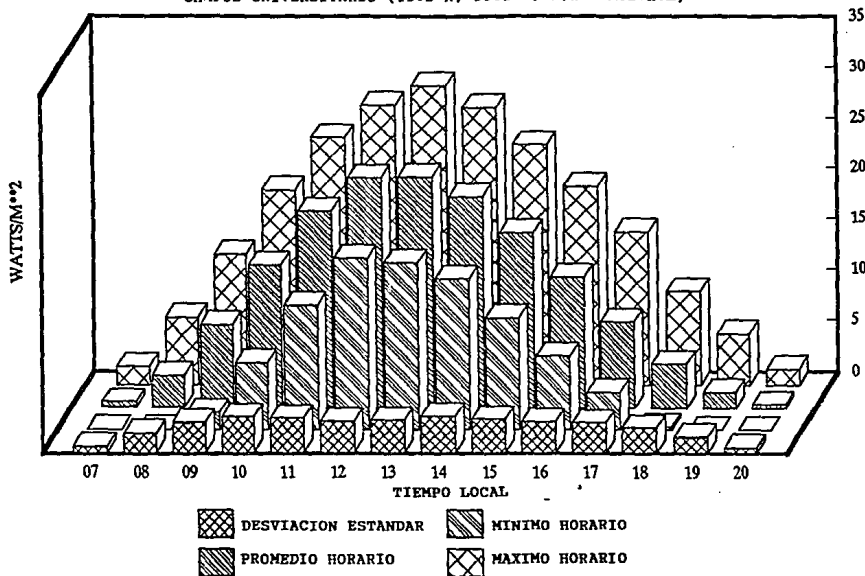


FIGURA No. 6. Mediciones del flujo de irradiación ultravioleta-A en la Ciudad de México por medio de un radiómetro Eppley TUVR. (Según Galindo, Frenk y Bravo, 1993).

montañas altas localizadas al sur de la Cuenca de México impiden que el aire contaminado drene fuera de ella (Galindo y Muhlia, 1970).

DIFERENCIAS EN LOS NIVELES DE INCIDENCIA DE IRRADIACION ULTRAVIOLETA EN CIUDADES CON Y SIN ATMOSFERA CONTAMINADA. EL CASO DE LA CIUDADES DE MEXICO Y DE COLIMA.

El estudio anterior también incluye un análisis de los datos monitoreados en la Ciudad de México y en la Ciudad de Colima correspondientes al mes de abril de 1990, 1991 y 1992. Se trata de mediciones realizadas en ausencia de nubes. El promedio diario en la Ciudad de México es un 31 % menor que en Colima, la cual tiene una atmósfera libre de contaminantes (figura No. 7). Esta observación resulta relevante si consideramos que, al estar Colima ubicada a una altitud de 485 m., el sendero óptico es casi 4 veces más largo que en la Ciudad de México. Esto significa que, bajo condiciones de cielo despejado, la irradiancia UV debería ser un 25 % mayor en la Ciudad de México que en Colima (Galindo, 1994), lo cual confirma que, en la primera, la irradiancia UV es severamente disminuída por los procesos de contaminación fotoquímica.

RAQUITISMO CARENCIAL.

La irradiación ultravioleta es indispensable para la biosíntesis endógena de colecalciferol en los seres humanos.

PROMEDIOS DEL MES DE ABRIL DE IRRADIACION ULTRAVIOLETA

UNAM (2,240 m.s.n.m.); COLIMA (485 m.s.n.m.)

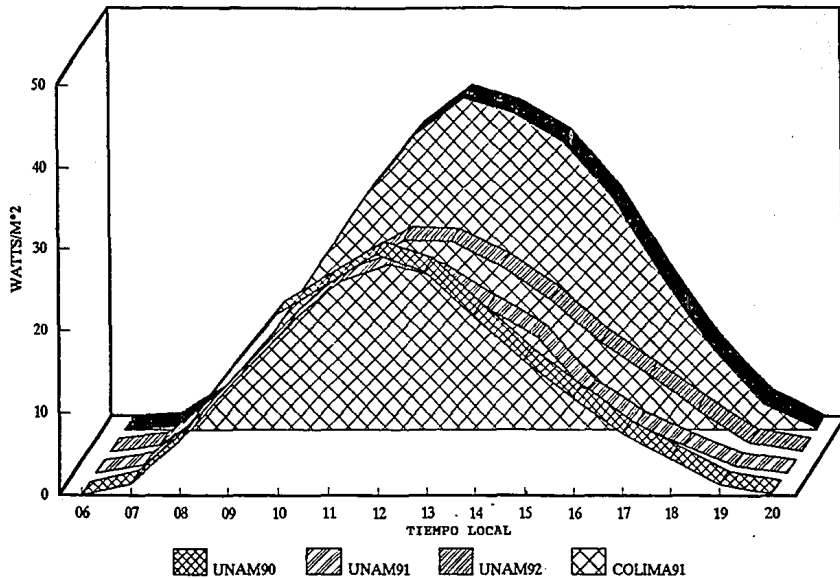


FIGURA No. 7. Promedios horarios de flujo de irradiación ultravioleta-A correspondientes al mes de abril en las ciudades de México y Colima (Según Galindo, Frenk y Bravo, 1993).

La deficiencia de esta sustancia provoca la enfermedad de raquitismo por carencia de calciferol, principalmente entre los grupos de edad menor a 5 años.

Un estudio multidisciplinario realizado en 1972 y aplicado al decenio 1960 - 1970, comprobó el alto índice de correlación existente entre insolación, irradiación solar espectral incidente, coeficientes de turbidez atmosférica de la ciudad de México y la incidencia de raquitismo primario en un hospital pediátrico del área urbana (Caloca, Galindo y Frenk, 1973).

Para la determinación de la insolación media utilizaron el procedimiento de Koeppen (Koeppen, 1948) y el de curvas de nivel horarias de Galindo (Galindo, 1960). Así, mediante información estadística de turbidez atmosférica (Galindo, 1960), registros de irradiación espectral de $280 < \lambda < 4000$ nm, observaciones de irradiación directa total y la obtenida por medio del filtro amarillo OG1 (ventana espectral: 525 a 2800 nm), calcularon el coeficiente de turbidez. Este indica la disminución de la transparencia del aire por aerosoles y partículas de polvo, o sea, el debilitamiento de la intensidad de la irradiación por la presencia de contaminantes.

Trabajando sobre esta base de datos obtuvieron, entre otras, las gráficas que se muestran en las figuras núms. 8 y 9. La primera de éstas confronta las variaciones de la tasa de insolación efectiva con la tasa anual de casos de raquitismo

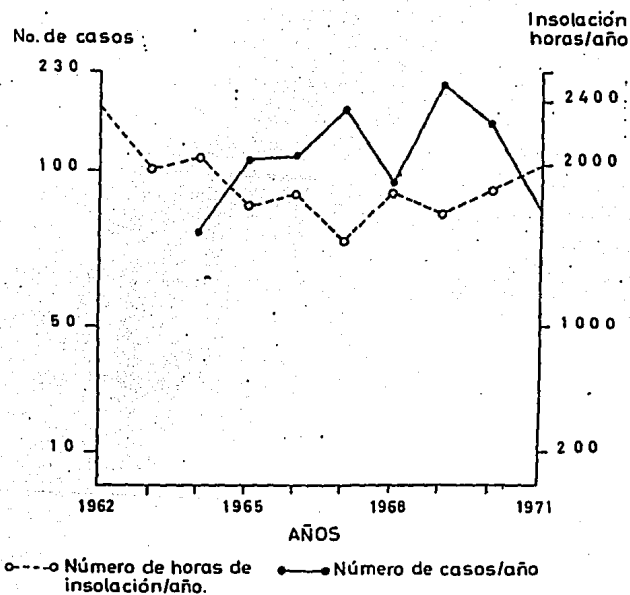


FIGURA No. 8. Insolación efectiva en la Ciudad de México y frecuencia de raquitismo primario en el Hospital de Pediatría del Centro Médico Nacional (Según Caloca, Galindo y Frenk, 1973).

registrada en el Hospital de Pediatría del I.M.S.S.. Se aprecia una relación inversa, pues durante los años de menor insolación, acudieron al hospital más casos de raquitismo.

La figura No. 9 muestra la línea de regresión obtenida para la media anual del número de casos de raquitismo y la variación porcentual de la turbidez atmosférica medida en la Ciudad Universitaria del Distrito Federal. Se observa una relación entre ambos parámetros; el coeficiente de correlación (r) encontrado es de 0.60, el cual corresponde a p menor de 0.01.

En este amplio estudio, sin embargo, no se utilizaron datos directos de irradiación ultravioleta, debido a que aún no se contaba con los dosímetros y radiómetros especializados en el registro de dicha banda. Estos aparatos no entraron en operación sino hasta principios del decenio 1980 - 1990.

CANCER DE PIEL.

Ya se ha mencionado que la estratósfera absorbe la irradiación solar de longitudes de onda menores a aproximadamente 290 nm. De haber una destrucción real del O_3 estratosférico por clorofluorocarbonos ("aerosoles") y óxidos de nitrógeno (provenientes principalmente de fertilizantes), como ya ha sido propuesto, la incidencia de radiaciones sobre la superficie

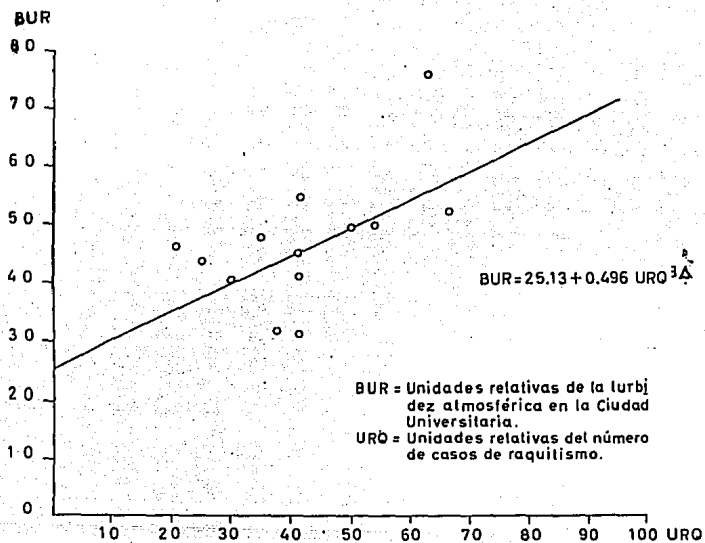


FIGURA No. 9. Correlación entre el número de casos de raquitismo observados y la turbidez atmosférica, considerada como indicador de reducción de irradiación ultravioleta (Según Caloca, Galindo y Frenk, 1973).

del Planeta de $\lambda < 290$ nm aumentaría significativamente (Coulson, 1975), con el resultante incremento de cáncer de piel en humanos y posibles inmunodeficiencias (Stolarski, 1988), además de otros efectos desestabilizadores sobre los ecosistemas y el clima.

El bronceado de la piel humana consiste en la formación del pigmento conocido como melanina y la migración de éste hacia las capas inferiores de la piel. Esta reacción es producto del estímulo de la banda ultravioleta, principalmente. Aunque el bronceado constituye el principal mecanismo de protección contra dicha banda, un eventual engrosamiento de la capa exterior de la piel serviría también como pantalla protectora contra la irradiación de onda corta del ultravioleta. De todas las lociones y cremas protectoras contra las quemaduras solares que existen en el mercado, son aquellas que contienen ácido paraminobenzóico, benzofenones, acrilonitrilos y ácido tánico las más efectivas.

Se sabe que la irradiación ultravioleta es un importante factor causante de cáncer de piel. Aunque el espectro de acción carcinogénico no ha sido bien establecido aún, el rango espectral biológicamente más activo es aquel que va de los 200 a los 300 nm. El material genético contenido en el ADN es más susceptible a la irradiación con longitud de onda de 260 nm, aunque dicho efecto es también producido por longitudes de onda mayores (Coulson, 1975).

Según informes de la Sociedad Americana del Cáncer, cada año se suman a la lista unos 118,000 casos nuevos de cáncer de piel en los Estados Unidos, principalmente entre la población caucásica. La distribución geográfica muestra que California presenta la mayor incidencia, con 12,000 casos al año. Actualmente existe una gran preocupación concerniente a los posibles efectos del transporte aéreo comercial sobre el contenido de ozono en la atmósfera, con el consecuente incremento de la incidencia de irradiación ultravioleta sobre la superficie terrestre. Según algunas estimaciones, un descenso del 5% en el ozono se traduciría en 8,000 casos nuevos de cáncer de piel en los Estados Unidos. Una comisión de la Academia Nacional de Ciencias de dicho país ha recomendado el establecimiento de una red de estaciones a diferentes latitudes y altitudes para medir la incidencia de radiación ultravioleta y crear así una base de datos que sirva como parámetro de referencia para realizar futuras evaluaciones (Coulson, 1975).

Sin embargo, algunos científicos piensan que mientras en la estratósfera ocurre una disminución de la capa de ozono, los niveles de ozono antropogénico en la tropósfera se han incrementado de manera sustancial, especialmente en el hemisferio Norte. En este contexto, C. Brühl y P. J. Crutzen sugieren la existencia de un efecto de "compensación" entre ambas capas atmosféricas en el cual la atmósfera baja protegería la superficie del planeta de la irradiación UV. De acuerdo a esta hipótesis, el actual temor generalizado ante el aumento de cáncer de piel debido a los daños

a la capa de ozono estratosférico podría ser exagerado. Actualmente, el interés en el estudio del comportamiento del ozono troposférico se ha reforzado principalmente por ser éste un importante gas causante de efecto de invernadero y por su gran capacidad fotolítica de generar radicales hidroxilo , lo cual le confiere una gran influencia sobre la reactividad química de la tropósfera. También es evidente que varios precursores químicos del ozono como los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno se encuentran esparcidos en la tropósfera. Observaciones de concentraciones sustanciales de peróxido de hidrógeno, cuyos precursores reaccionan con los óxidos de nitrógeno para formar ozono, apoyan esta hipótesis.

Los mismos autores citan también el efecto diferente que tienen el ozono troposférico y el estratosférico sobre la banda de irradiación solar UVB, pues argumentan que el camino óptico es menos directo através de la tropósfera de lo que es através de la estratósfera. Esto se explica al considerar que en la atmósfera baja las moléculas del aire, las gotas de las nubes y los aerosoles se presentan con mayor densidad que en la parte alta de la misma, por lo que los procesos de difusión de la irradiación solar se incrementan. De esta manera, el sendero óptico através de la tropósfera se ve relativamente incrementado, y cada molécula de ozono tiene mayor capacidad para interceptar y absorber irradiación UV (Penkett, 1989).

El cuadro No. 4 cita los principales efectos biológicos de

EFEECTO	ESPECTRO DE ACCION	REFERENCIA
I. <u>Respuestas normales</u>		
Fotosíntesis	400-700 nm 380-710 nm	Monteith, 1969 Tooming y Niilisk, 1967; Zalenski, 1977
Visión de los vertebrados	360-760 nm	Pirenne, 1967
Fototaxis en microorganismos	400-500 nm	Clayton, 1964
Fotoperiodismo animal	todo el espectro visible	Wolfson, 1964
Síntesis de vitamina D	290-360 nm	Loomis, 1967
II. <u>Respuestas patológicas</u>		
Quemaduras solares (eritema y bronceado)	280 nm; 340-350 nm	Geese, 1964
Dermatosis solar	desconocido	Mitchell, 1967
Urticaria solar	250-330 nm	Sams, 1969
fotodermatitis	(UV) desconocido	Mayer, 1970 (citado por Schmeiger, 1974)
Cáncer de piel	(UV) desconocido	Blum, 1959
Raquitismo carencial	disminución de UV por smog fotoquímico	Loomis, 1970, Caloca, Galindo y Frenk, 1973.

CUADRO No. 4. Efectos biológicos de la irradiación ultravioleta, luz visible y radiación infrarroja al nivel de la superficie terrestre. (Tomado de Galindo, 1988)

algunas bandas de irradiación solar, incluyendo la ultravioleta. Las respuestas patológicas especificadas incluyen enfermedades dérmicas, además de las de tipo oncológico.

EFFECTOS ADVERSOS DE LA IRRADIACION ULTRAVIOLETA EN LA VISION HUMANA.

Los efectos de la irradiación solar en el ojo varían en función de la longitud de onda específica de ésta y de elementos que componen el órgano visual, los cuales, al igual que los componentes atmosféricos, absorben selectivamente las diferentes bandas.

Esto significa que cada componente ocular absorbe cierta longitud de onda.

Por ejemplo, los daños al cristalino denominados "cataratas" son causados por irradiación infrarroja A y B, por parte del visible (Flores, 1991), y por el ultravioleta (Stolarski, 1988). La banda del ultravioleta A es potencialmente dañina para la retina, mientras que la UVC lo es para las regiones anteriores del ojo, incluyendo la córnea (Flores, 1991).

Al respecto, el cuadro No. 5 representa los principales efectos adversos de las bandas UV, visible e infrarroja sobre la visión humana.

BANDA CIE	UVC	UVB	UVA	VISIBLE	IRA	IRB	IRC
λ (nm)	100	280	315	400	760	1400	3000
	FOTOQUERA-TITIS			QUEMADURAS RETINALES		QUEMADURAS DE CORNEA	
						CATARATAS	
						CATARATAS	
						DEGRADACION DE LA VISION NOCTURNA Y DEL COLOR	
						PTERGION (no comprobado)	
						PTERGION (no comprobado)	

CUADRO No. 5. Convenio de la división del espectro óptico en siete bandas de acuerdo a la International Commission on Illumination (CIE). Se muestran los principales efectos adversos de las bandas UV, visible e infrarroja sobre el ojo humano (Adaptado de Flores, 1991 y de Galindo, 1988).

En la figura No. 10 se aprecian las proporciones en que la irradiación ultravioleta es absorbida en la región anterior del ojo. Es evidente que la córnea se ve más expuesta a danos debidos a la banda UVC, mientras que la banda UVA representa el mayor factor de riesgo para la retina.

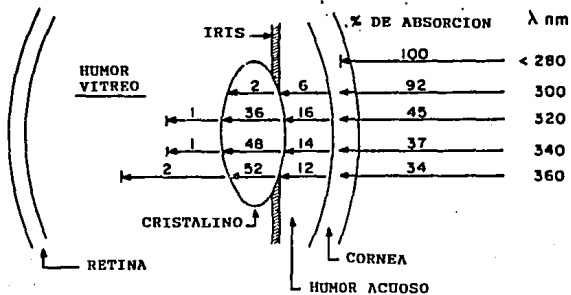


FIGURA No. 10. Absorción de la irradiación ultravioleta en el medio ocular. Los valores representan el porcentaje de irradiación absorbida en cada capa con respecto al 100 % incidente en la córnea para cada valor de longitud de onda listado a la derecha. (Según Flores, 1991).

CAPITULO II
ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LA
CIRCULACION GENERAL DE LA ATMOSFERA
EN EL CENTRO DE LA
REPUBLICA MEXICANA
DURANTE EL MES DE ENERO

GENERALIDADES.

Si consideráramos a nuestro planeta como poseedor de una superficie homogénea tanto en nivel topográfico como en composición material, tendríamos que las zonas de alta y de baja presión formarían cinturones latitudinales paralelos (figura No. 11). Sin embargo, las diferencias de calentamiento y, por lo tanto, de presión que son ocasionadas por las interacciones oceánico-continentales, así como la gran variabilidad topográfica de los últimos hacen que las zonas de alta y de baja presión se presenten en forma de celdas o centros de alta y de baja presión (respectivamente), los cuales conforman sistemas que determinan las condiciones meteorológicas de las regiones sobre las cuales actúan.

INFLUENCIA DE LOS VIENTOS ALISIOS, LOS VIENTOS DEL OESTE Y DE LA CORRIENTE SUBTROPICAL HUMEDA SOBRE EL CENTRO DE LA REPUBLICA MEXICANA DURANTE EL INVIERNO.

La región central de la República Mexicana se localiza en la zona de transición entre los vientos alisios del Noreste y los vientos del Oeste. Los primeros son la continuación, hacia la zona

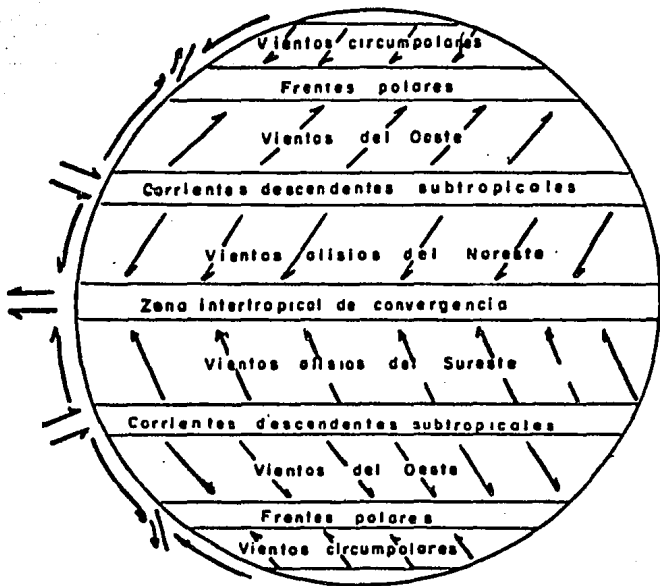


FIGURA No. 11. Modelo ideal de la circulación general de la atmósfera (García, 1989).

de baja presión ecuatorial, de las corrientes descendentes subtropicales (propias de las zonas de alta presión ubicadas al Norte). Los segundos son también la continuación de las corrientes subtropicales, pero con la diferencia de que se dirigen hacia las zonas de baja presión subpolar, con dirección general de SW a NE (García, 1989) (figura No. 12). Además, esta zona de transición puede sufrir la influencia las corrientes descendentes subtropicales que, generalmente húmedas, poseen componente SW y pueden identificarse por los Cirrus que transportan (Medina, 1994).

En el hemisferio Norte, el corrimiento estacional de los vientos del Oeste es muy marcado. Durante el invierno, su límite austral se localiza cerca del Ecuador, y aproximadamente a los 28°N durante el verano (Grandoso). En esta última estación, los vientos del Oeste dominan en la parte septentrional y en las montañas más altas del centro del país, ya que éstas, debido a su gran altitud, alcanzan a captar estos vientos propios de la parte superior de la tropósfera (García, 1989).

A grandes altitudes, los vientos del Oeste son menos húmedos que los alisios, razón por la cual, de manera general, determinan la sequedad atmosférica de la mayor parte de la República durante el período que inicia en noviembre y termina en abril. Sin embargo, estos vientos pueden transportar, de manera ocasional, perturbaciones propias de latitudes medias tales como vórtices fríos y depresiones ciclónicas que pueden llegar a afectar las condiciones climáticas del centro de la República, con el

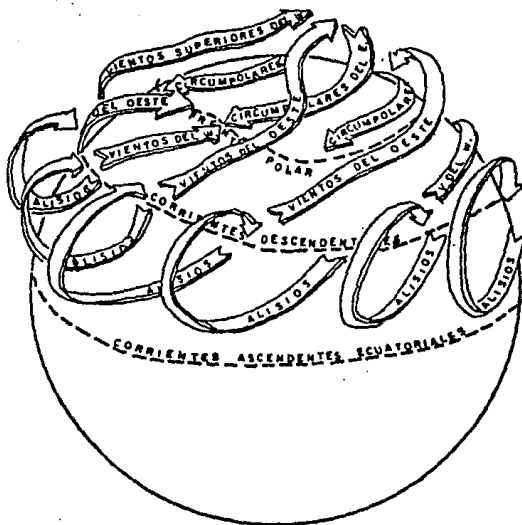


FIGURA No. 12. Circulación general de la atmósfera en el Hemisferio Norte (García, 1989).

consiguiente transporte de humedad (García, 1989).

INFLUENCIA DE LA CORRIENTE DE CHORRO SUBTROPICAL.

El descenso de los niveles altitudinales y latitudinales de la corriente de chorro subtropical durante el invierno ocasiona que una buena parte de su trayectoria se sitúe sobre el centro y el Norte de la República Mexicana, con una dirección aproximada SW-NE, pudiendo llegar a "rozar" las cumbres de las montañas de más de 5,000 m. de altura (Mosino, 1992). Bajo estas condiciones, esta corriente ocasiona un descenso marcado de la temperatura en la atmósfera subyacente. La posición y velocidad de la corriente en chorro subtropical se presenta en la figura No. 13, observándose una configuración de 3 ondas con los máximos de velocidad en las dorsales. A diferencia de la corriente en chorro del frente polar, que presenta marcadas variaciones en su posición de un día a otro, el chorro subtropical experimenta solamente pequeñas desviaciones diarias con respecto a su posición media durante el invierno. La latitud media del eje de chorro subtropical en la figura es de 27.5°N (Krishnamurti, 1961; tomado de Grandoso).

Pese a la grandes velocidades y alturas características de su flujo, esta corriente, al formar parte del complejo sistema eólico planetario, puede verse afectada por la influencia de otros sistemas de menor escala. Un aumento repentino en la velocidad del chorro subtropical que en sus niveles bajos exceda los 60 nudos significaría una asociación de esta corriente con una vaguada.

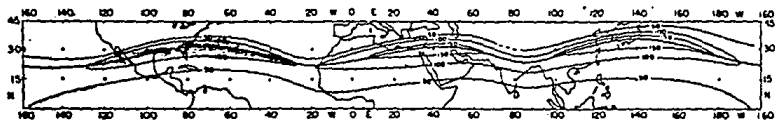


FIGURA No. 13. La corriente de chorro subtropical para el invierno 1955-1956 en el hemisferio Norte. Isotacas cada 50 nudos en el nivel de los 200 mb (Krishnamurti, 1961; tomado de Grandoso).

Estas asociaciones son, generalmente, de corta duración (no más de tres días) (Medina, 1994).

VARIACIONES DEL FLUJO DE LOS VIENTOS EN LOS TROPICOS.

Es conveniente aclarar que el flujo de los vientos zonales (alisios, Oestes, etc.) no es uniforme, sino que sufre cambios de dirección y de intensidad conforme la altitud aumenta. A diferencia de las latitudes medias, dominadas por un flujo zonal del Oeste durante el verano, la estructura vertical del flujo básico en los trópicos presenta una variedad de tipos. La figura No. 14 muestra cuatro tipos de perfil del viento zonal característicos de distintas zonas y estaciones del año en los trópicos. Las curvas (a) y (b) representan condiciones en la zona de los alisios durante el verano, observándose una capa profunda de vientos del Este que disminuye o aumenta lentamente con la altura. La curva (c) es típica de la zona de los alisios durante el invierno. La base de los Oestes se encuentra en la latitud de los anticiclones subtropicales y se inclina hacia el Ecuador con la altura, de manera que el espesor vertical de la corriente del Este y la intensidad de la corriente del Oeste en los niveles elevados varían con la ubicación de la zona de los alisios. La curva (d), con componente del Oeste en niveles bajos y del Este en la altura, es típica de las condiciones estivales en las áreas dominadas por monzones. En el sector americano, esta distribución vertical del flujo, aunque con una capa inferior con componente del Oeste menos profunda, se observa en el extremo oriental del Pacífico, al Sur de

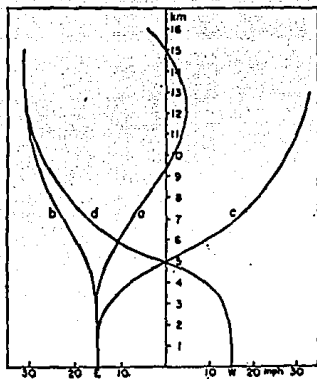


FIGURA No. 14. Esquema de distintos tipos de perfiles de viento zonal en los trópicos. Ordenada en millas por hora (Riehl, 1950; tomado de Grandoso).

la zona de convergencia intertropical (Riehl, 1950; tomado de Grandoso).

LOS CENTROS DE ACCION DURANTE EL INVIERNO.

El descenso del ángulo de incidencia de la irradiación solar durante el invierno en el hemisferio Norte provoca que el ecuador térmico se desplace hacia el Sur. Lo mismo ocurre con las celdas de alta presión o "centros de acción", los cuales además sufren un corrimiento hacia el Oeste (García, 1989).

Durante la época del año mencionada, dos centros de acción afectan el territorio mexicano: El de las Bermudas-Azores y el de la parte Norte-central de Norteamérica, los cuales a su vez son separados por una vaguada o canal de baja presión (García, 1989) (figura No. 15). Hay que recordar que en los centros de acción la circulación del aire es, en el hemisferio Norte, en el sentido de las manecillas del reloj, y que en los centros de baja esta circulación se da en sentido inverso. Por lo tanto las vaguadas, al constituir zonas de contacto entre centros de alta y de baja presión, pueden ocasionar "canales" de vientos de gran velocidad, ya que la circulación de ambas es contraria entre sí.

Con base en todo lo anterior, es evidente que la parte central de nuestro país está sujeta a un sistema meteorológico-climático altamente complejo y dotado de una variación estacional importante. Esto se debe principalmente a la irregularidad de su topografía, y

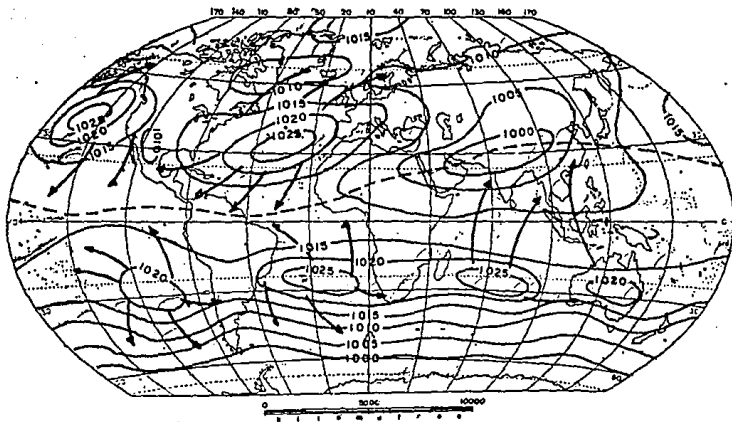


FIGURA No. 15. Los principales centros de acción y vientos durante enero. La presión está expresada en milibares (García, 1989).

a que se localiza a una latitud situada entre la faja subtropical de alta presión (al Norte) y la zona de los vientos alisios (al Sur), lo cual hace especialmente difícil el pronóstico meteorológico a corto plazo en dicha región.

CAPITULO III

EXPERIMENTOS REALIZADOS EN EL VOLCAN IZTACCHUATL DEL 14 AL 30 DE ENERO DE 1991

La instalación del campamento se inició el 11 de enero de 1991 y concluyó el 17 del mismo mes. Durante dicho período fué necesario reubicar el campamento debido a los fuertes vientos provenientes del Sur-suroeste, los cuales en no pocas ocasiones rebasaban los 100 km/h. El 18 de enero quedaron instaladas de manera definitiva las 5 tiendas de campama que servirían como morada a los 9 integrantes de la expedición por 13 días más.

En dicho campamento participaron las siguientes personas:

N O M B R E	F U N C I O N
Dr. Francisco Olvera de la Rosa	Jefe del campamento y director de la investigación de fisiología de gran altitud. Sujeto de estudio fisiológico.
Enf. Yolanda Yarza	Codirectora de la investigación médica y sujeto de estudio fisiológico.
Biol. Erandeni Valle	Sujeto de estudio fisiológico.

Ricardo Espinosa	Guía de montana y sujeto de estudio fisiológico.
Francisco Bernal	Guía de montana y sujeto de estudio fisiológico.
Julio César Sánchez	Sujeto de estudio fisiológico.
Ricardo Ruiz López	Sujeto de estudio fisiológico.
Juan Carlos Gavilanes Ruiz	Observador e instrumentista del estudio de irradiación solar y meteorología de alta montana. Sujeto de estudio fisiológico.

Estas personas fueron abastecidas de víveres y material científico cada 5 días por los siguientes grupos de montanistas, quienes además colaboraron en la instalación y desmantelamiento del campamento:

Club Alpino de General Motors de México, A.C.

Club Alpino de Petróleos Mexicanos, A.C.

Club Alpino Reinhold Messner, A.C.

Familia Olvera de la Rosa.

Asociación de Montanismo y Exploración de la UNAM.
Sacerdote Jerónimo.

LOCALIZACION DEL CAMPAMENTO

La ubicación definitiva del campamento fué la siguiente:

COORDENADAS GEOGRAFICAS.

A aproximadamente $98^{\circ}38'17''$ de longitud Oeste, a $19^{\circ}10'20''$ de latitud Norte y a 5,100 m.s.n.m. La determinación de estos datos se realizó con el auxilio de la carta topográfica E14B42 (Huejotzingo) de INEGI y del croquis del Iztaccíhuatl hecho por José Luis Lorenzo (1964).

RASGOS FISIOGRAFICOS DE REFERENCIA.

Sobre un punto situado a 10 m. hacia el Noreste del parteaguas que separa los glaciares de Ayoloco y Centro-oriental del volcán Iztaccíhuatl. Dicho lugar se encuentra sobre una pendiente de aproximadamente 30° de inclinación y está orientada hacia el Este-sureste, sobre terreno rocoso, y a 11 m. del borde Noroeste del glaciar Centro-oriental y a 40 m. del inicio del límite superior Norte-noreste del glaciar de Ayoloco (figuras No. 16 y 17).

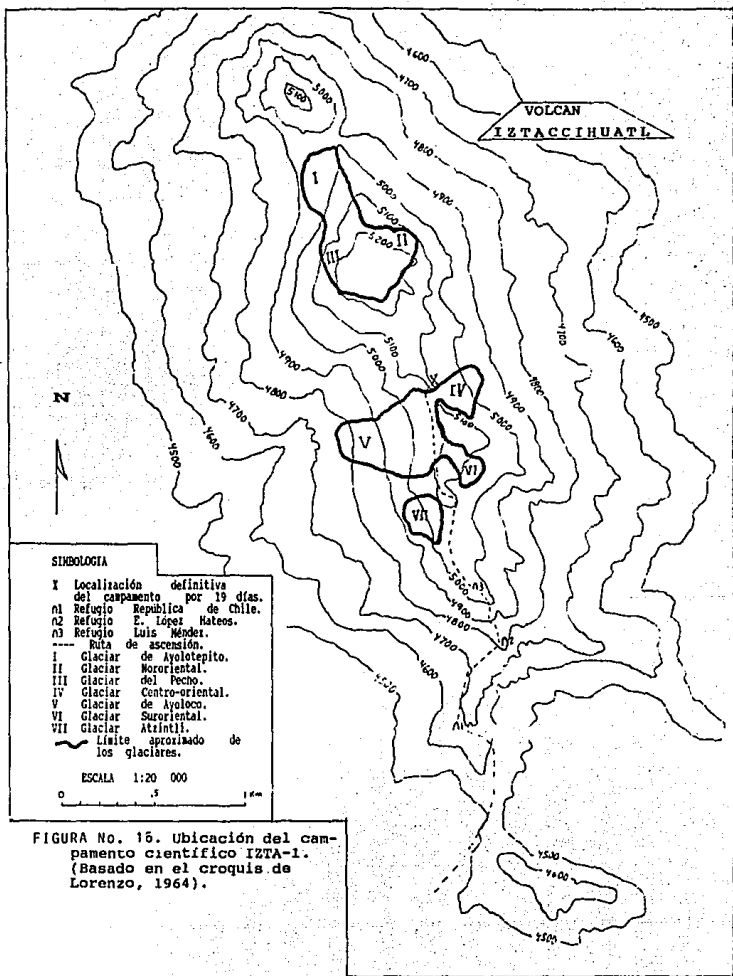




FIGURA No. 17. Aspecto del campamento.

INSTRUMENTAL Y RUTINA DE OBSERVACION

Los objetivos consistían en, una vez instalados en el campamento definitivo, realizar durante 10 días consecutivos la toma de lecturas de los siguientes parámetros:

IRRADIACION ULTRAVIOLETA GLOBAL con longitud de onda de 295 a 380 nm, por medio de un radiómetro Eppley TUVR.

IRRADIACION SOLAR GLOBAL ($\lambda = 280$ a 3200 nm), por medio de un piranómetro Kipp tipo Moll-Gorczyński.

Las dos lecturas anteriores se realizarían cada hora o cada 30 minutos, desde las 9:00 hasta las 15:00 o 16:00 hrs.

Los siguientes parámetros meteorológicos serían tomados para ser considerados por el Dr. Francisco Olivera en su trabajo de investigación de fisiología de gran altitud:

TEMPERATURA.

Temperatura ambiente.

Se tomaría mediante un pequeño termómetro de mercurio con escala de -35 a 50°C con divisiones de una unidad. Esta lectura se realizaría de manera simultánea con las de irradiación solar, manteniendo siempre el instrumento a la sombra y provisto de buena

ventilación.

Temperatura máxima.

Se tomaría una vez al día por medio de un termómetro de mercurio de máxima marca Wilhelm Lambrecht con escala de -50 a 48°C con divisiones de una unidad.

Temperatura mínima.

Su lectura se realizaría una vez por día, mediante un termómetro de alcohol de mínima marca Wilhelm Lambrecht con escala de -50 a 48°C con divisiones de media unidad.

Los dos últimos termómetros serían instalados dentro de una pequeña oquedad excavada en el hielo del glaciar Centro-oriental y orientada hacia el Norte, con el objeto de impedir que dichos instrumentos recibieran la irradiación solar directa. De esta manera se mantendrían a la sombra y libres del contacto directo con el hielo. Para ello, los instrumentos serían fijados mediante cordones de material sintético a una tabla de conglomerado de formaica de 25×30 cm. y separados de ésta mediante un trozo de espuma plástica no absorbente de agua.

VIENTO.

Dirección local.

La dirección del viento observada en el campamento se tomaría de manera rudimentaria: asiendo una hoja de papel o un pañuelo y auxiliándose de la brújula y de una línea Norte-sur previamente establecida sobre el suelo (una varilla de aluminio fijada con piedras).

Dirección general.

La lectura correspondiente a la dirección del viento lejos del campamento, donde la influencia topográfica del volcán Iztaccíhuatl no la modificara, sería realizada mediante la dirección de las nubes que lo indicaran y su nivel.

Velocidad del viento local.

Esta observación se realizaría por medio de un anemómetro portátil Wilhelm Lambrecht modelo 1438 con escala de 0 a 30 m/seg y con divisiones de una unidad.

NUBOSIDAD.

Cobertura.

Se anotaría el porcentaje de la bóveda celeste cubierto por las nubes, expresándose en "octas". Siendo así 0/8=cielo despejado y 8/8=cielo completamente nublado.

Tipo de nubes.

Se anotaría el género y, cuando fuera posible su identificación, la especie de los principales tipos de nubes presentes en la bóveda celeste, utilizando la clasificación de la Organización Meteorológica Mundial.

Nivel o piso del tipo de nubes.

Se anotaría si éstas pertenecieran al nivel superior (S), medio (M) o inferior (I).

HUMEDAD RELATIVA.

La observación de este dato se realizaría mediante un psicrómetro-onda, ventilándolo durante dos minutos y anotando las temperaturas expresadas por los termómetros de bulbo seco y de bulbo húmedo. La ventilación se haría teniendo cuidado de hacerle sombra al instrumento con el cuerpo del observador, con el objeto

de impedir la incidencia de los rayos solares directos sobre el instrumento.

PRESION ATMOSFERICA.

Se tomaría la lectura de dos altímetros aneroides marca Luft previamente compensados y calibrados, con techo de 5,100 m. Se anotaría también la temperatura expresada por el termómetro integrados en los altímetros con el propósito de realizar correcciones posteriores.

Las lecturas concernientes a viento y nubosidad se efectuarían a las 9, 10 u 11, 12, 13, 14, 15 y 16:00 hrs. cada día. Las lecturas de presión atmosférica se harían diariamente a las 9, 11, 12 o 13 y a las 15 o 16 hrs.

Sin embargo, durante el inicio del desarrollo del campamento surgieron algunos problemas imprevistos.

El primero fué que el sistema de toma de datos de irradiación solar, que consistía en conectar un voltímetro a cada sensor resultó ser incómodo, lento e impreciso. Este problema quizá pudo haber sido sobrellevado bajo condiciones urbanas, pero bajo las condiciones generalmente adversas a las que se vió sometido el campamento, dicho problema no pudo ser eliminado. Se optó entonces por utilizar un radiómetro digital Spectroline para irradiación ultravioleta, el cual nos había sido prestado por el Dr. Silvestre

Frenk, subdirector de investigación del Instituto Nacional de Pediatría.

En segundo lugar, tampoco se contaba con una unidad automática de adquisición de datos, la cual serviría también para registrar la irradiación solar global. No obstante, se consideró prioritaria la medición y registro de la banda ultravioleta por ser ésta la menos estudiada en alta montaña.

De tal manera que los parámetros que se registraron y los aparatos que para ello se utilizaron fueron los siguientes:

A) IRRADIACION SOLAR ULTRAVIOLETA

Se tomaron lecturas de irradiación solar ultravioleta por medio de un radiómetro digital Spectroline DMX-300 con un rango de sensibilidad espectral de 280 a 320 nm (casi toda la banda UVB) y una sensibilidad energética de 0 a 19,900 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$. Este instrumento es operado por 4 baterías alcalinas o de níquel-cadmio de 1.5 voltios cada una (tamaño AA) y es capaz de mantener una precisión de $\pm 5\%$ a un rango de temperatura de 0 a 50°C y a humedades relativas del 30 al 60% (figura No. 18).

En el momento de realizar esta lectura se anotó si habían o no nubes obstaculizando el camino óptico en la trayectoria Sol-instrumento.



FIGURA No. 18. Toma de una lectura de irradiación solar ultravioleta mediante el radiómetro Spectroline DMX-300.

Las lecturas correspondientes a irradiación ultravioleta se tomaron a las 9:00, 11:00, 12:00, 13:00, 14:00 y a las 15:00 o 16:00 hrs. de cada día. Sin embargo, no siempre fué posible respetar este horario debido a la multiplicidad de trabajos.

B) TEMPERATURA

1. Temperatura ambiente.

Se tomó mediante un pequeño termómetro de mercurio con escala de -35 a 50°C con divisiones de una unidad. Dicho instrumento formaba parte de los accesorios de un altímetro/barómetro aneroide portátil. Esta lectura se realizó de manera simultánea con las de irradiación solar, manteniendo siempre el instrumento a la sombra y provisto de buena ventilación (figura No. 19).

2. Temperatura máxima.

Se tomó una vez al día, mediante un termómetro de mercurio de máxima de marca Wilhelm Lambrecht con escala de -50 a 48°C con divisiones de media unidad (figura No. 20).



FIGURA No. 19. Tomando una lectura de temperatura ambiente por medio del termómetro de mercurio.

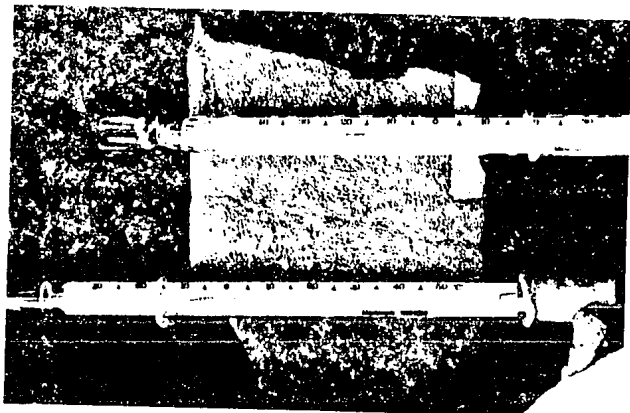


FIGURA No. 20. Los termómetros de mínima (parte superior) y de máxima.

3. Temperatura mínima.

Su lectura se realizó una vez al día mediante un termómetro de alcohol de mínima de marca Wilhelm Lambrecht con escala de -50 a 48°C con divisiones de media unidad (figura No. 20).

C) VIENTO

1. Dirección local.

La dirección del viento observada en el campamento se tomó a las 9:00, 10:00 u 11:00, 12:00, 13:00, 14:00, 15:00 y 16:00 hrs.

2. Dirección del viento lejano.

La dirección del viento lejos del campamento, donde la influencia topográfica del volcán Iztaccíhuatl no la modificara, fué realizada mediante la observación visual de la dirección de las nubes que lo indicaban y su nivel. Dicha observación se realizó a las 9:00, 10:00 u 11:00, 12:00, 13:00, 14:00, 15:00 y 16:00 hrs.

3. Velocidad del viento local.

Esta observación se realizó por medio de un anemómetro marca Wilhelm Lambrecht modelo 1438 con escala de 0 a 30 m/seg y con divisiones de una unidad (figura No. 21). Esta lectura se hizo a las 9:00, 10:00 u 11:00, 12:00, 13:00, 14:00, 15:00 y 16:00 hrs.



FIGURA No. 21. Tomando una lectura de velocidad del viento en superficie por medio del anemómetro Wilhelm Lambrecht.

D) NUBOSIDAD

1. Cobertura.

Se anotó el porcentaje de la bóveda celeste cubierto por las nubes, expresándose en "octas", a las 9:00, 10:00 u 11:00, 12:00, 13:00, 14:00, 15:00 y 16:00 hrs.

2. Tipo de nubes.

Se anotó el género y, cuando fué posible su identificación, la especie de los principales tipos de nubes. Esta observación se realizó a las 9:00, 10:00 u 11:00, 12:00, 13:00, 14:00, 15:00 y 16:00 hrs.

3. Nivel o piso de las nubes.

Su observación se hizo a las 9:00, 10:00 u 11:00, 12:00, 13:00, 14:00, 15:00 y 16:00 hrs.

E) HUMEDAD RELATIVA

La observación de este dato se realizó a las 9:00, 10 u 11:00, 12:00, 13:00, 14:00, 15:00 y 16:00 hrs (figura No. 22).



FIGURA No. 22. Toma de una lectura de humedad relativa por medio del psicrómetro de honda.

F) PRESION ATMOSFERICA

Se tomó la lectura de 2 altímetros aneroides marca Luft previamente compensados y calibrados, a las 9:00, 11:00, 12:00 o 13:00 y a las 15:00 o 16:00 hrs.

Todos los datos se anotaron en el formato que muestra el cuadro No. 6.

CAPITULO IV

ANALISIS DE LOS RESULTADOS

IRRADIACION SOLAR ULTRAVIOLETA

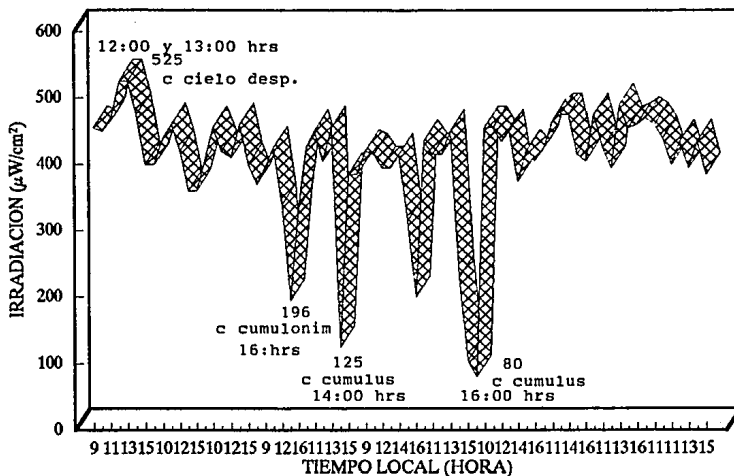
SERIE COMPLETA DE DATOS PARA EL IZTACCIHUATL

La figura No. 23 representa todos los datos (73) tomados de este parámetro bajo condiciones tanto de cielo nublado como de cielo despejado. Se observan dos valores máximos de 5.25 W/m^2 y dos mínimos de 1.25 y 0.8 W/m^2 . Los primeros corresponden a cielo despejado en el camino óptico y a las 12:00 y 13:00 hrs., cuando la altura solar es igual o cercana a los 90° . Los valores mínimos citados corresponden a cielo nublado (Cumulus) a las 14:00 y a las 16:00 hrs., respectivamente. Este tipo de valores bajo cielo nublado le confieren a esta serie una variabilidad del 85 %. El promedio de la serie es de 4.03 W/m^2 .

Según Kuhn y Rau (1990), los valores absolutos de irradiancia extraterrestre para la longitud de onda comprendida entre 300 y 310 nm es de 5.5 W/m^2 , y para el rango comprendido entre 310 y 320 nm es de 6.8 W/m^2 .

Considerando que la sensibilidad espectral del radiómetro que utilizamos en el Iztaccíhuatl es de 280 a 320 nm, podríamos asumir

IZTACIHUATL, 5,100 m.s.n.m., ENERO 1991 (DEL 19 AL 30).
IRRADIACION U.V., SERIE COMPLETA (DE 9:00 A 16:00 HRS)*.



(* Medida con el radiómetro Spectroline DMX-300 por el autor.

El promedio de la serie es de 403.21 W cm^2 y su variación del 85 %.

FIGURA No. 23.

que, al calcular el promedio entre los dos valores energéticos de Kuhn y Rau citados, estaríamos obteniendo un valor aproximado de la constante solar para el rango de sensibilidad de nuestro radiómetro.

Este valor sería de 6.15 W/m^2 . Por lo tanto, los dos valores máximos de 5.25 W/m^2 obtenidos en el Iztaccíhuatl solamente son un 15 % inferiores a su correspondiente valor de irradiancia extraterrestre,

Mediante el modelo de Dave y Braslau, Galindo (1972), refiriéndose a flujo radiativo ya ingresado en la atmósfera, estableció que de la constante solar, un 7.1% corresponde a la extinción de Rayleigh y un 1.6 % a extinción por O_3 para una masa óptica igual a 1 ($M=1$) en la longitud de onda de los 280 nm. Así, del 15 % de irradiación ausente (con respecto al valor de la constante solar) en el Iztaccíhuatl, aproximadamente el 7.1% podría corresponder a la extinción molecular de Rayleigh y un 1.6 % a extinción por O_3 estratosférico. El 6.3 % restante sería atribuible a la extinción efectuada por aerosoles y ácidos como el H_2SO_4 y el H_2S (figura No. 24).

SERIES CONTINUAS COMPLETAS DE IRRADIACION U.V. PARA LA CD. DE MEXICO Y PARA EL IZTACCIHUATL, SIN HORARIO PARALELO Y BAJO CIELO DESPEJADO.

En la figura No. 25 se eliminaron los datos del Iztaccíhuatl

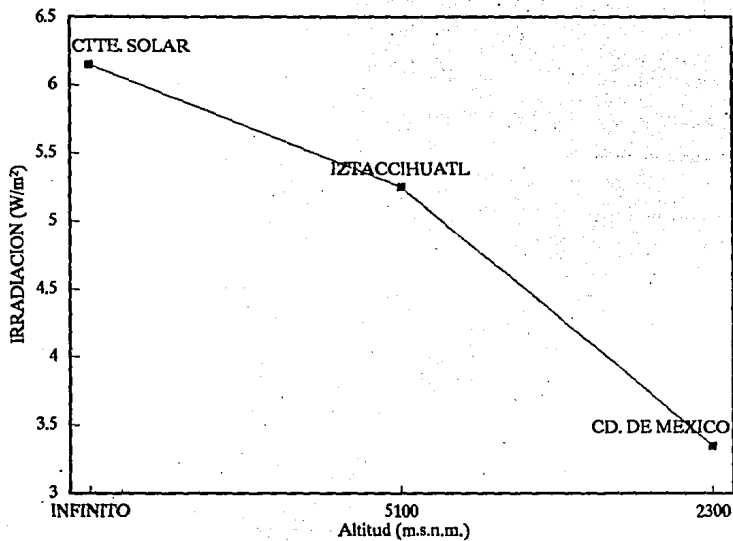
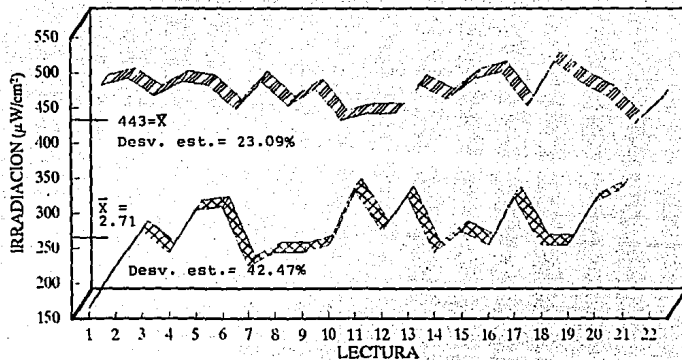


FIGURA No. 24. El valor energético de la constante solar para el rango de longitud de onda de 280 a 320 nm en comparación con los valores máximos del mismo rango obtenidos en el Iztaccíhuatl (enero de 1991) y en la ciudad de México (enero de 1990).

IZTACCIHUATL (5,100 m.s.n.m.), ENERO 1991 Y MEXICO, D.F. (2,280 m.s.n.m.), ENERO 1990
 IRRADIACION U.V. CON CIELO DESPEJADO (10 DIAS DE DATOS).



▣ MEXICO, D.F., DE 9:30 A 14:30 HRS. (EN PRESENCIA DE SMOG FOTOQUIMICO)*

▨ IZTACCIHUATL, DE 9:00 A 14:00 HRS.**

(*) Mediciones hechas con el radiómetro Spectroline DMX-300 por el Dr. S. Frenk.

(**) Mediciones hechas con el mismo instrumento por el autor.

FIGURA No. 25.

tomados después de las 14:00 hrs. para poderlos comparar con la serie de datos tomados por el Dr. Silvestre Frenk en el Hospital Infantil de la Cd. de México, la cual finaliza cada día a las 14:30 hrs. En ambos casos se excluyeron las lecturas obtenidas bajo cielo nublado. Se observan dos valores máximos de 3.35 W/m^2 . El promedio para el Iztaccíhuatl es de 4.43 W/m^2 y su desviación estándar es del 23.09 %, mientras que los mismos valores para la Cd. de México fueron de 2.71 W/m^2 y del 42.47 %, respectivamente. Bajo condiciones de cielo despejado, el 61.16 % de la irradiación solar ultravioleta que llega al Iztaccíhuatl es recibida en la superficie de la Cd. de México.

El déficit de 38.84% es causado por los procesos que se dan durante la interacción de especies químicas antropogénicas de dicha atmósfera urbana bajo la acción de la irradiación solar ultravioleta. Según Chameides (1985), estas especies incluyen hidrocarburos como alcanos, alquenos y aromatizantes; otros compuestos orgánicos como aldehídos y quetonos; óxido nítrico (NO), bióxido de nitrógeno (NO_2), ozono (O_3), peroxiaxilnitrato (PAN), ácido nítrico (HNO_3), oxígeno atómico (O^{P}) y su primer estado electrónico excitado O^{D} , radical hidroxilo (OH), radical hidroperoxilo (HO_2), radicales alquilperoxilo (RO_2), radicales axilperoxilo ($\text{R}(\text{O})\text{O}_2$), trióxido de nitrógeno (NO_3) y pentóxido dinitrogénico (N_2O_5). Sin embargo, según Torres (1994), en la atmósfera de la Cd. de México, las especies de este tipo se deben agrupar como NO_x , HCT (productos de la combustión de hidrocarburos) y O_3 . Debido a ésto, la variabilidad de la irradiación U.V. en la

Cd. de México (51 %) fué superior a la del Iztaccihuatl (19 %).

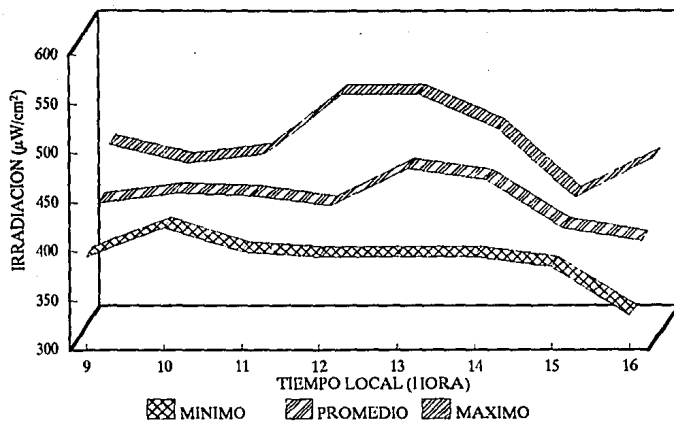
MARCHA DIARIA DE LA IRRADIACION U.V. EN EL IZTACCIHUATL BAJO CIELO DESPEJADO.

La figura No. 26 representa los promedios de cada hora con cielo despejado en el Iztaccihuatl. Los máximos tienden a describir una curva gaussiana típica de la marcha diaria de la insolación, con los valores más altos a las 12:00 y a las 13:00 hrs., mientras que en los promedios los mismos valores se alcanzan solamente a las 13:00 hrs. En los mínimos esto ocurre a las 10:00 hrs., hora a partir de la cual los valores disminuyen gradualmente, mostrando una similitud con el comportamiento de la radiación U.V. en la Cd. de México reportado por Galindo, Frenk y Bravo (1994).

También se observa un descenso drástico de la irradiación U.V. entre las 15:00 y 16:00 hrs. en el Iztaccihuatl. Esto podría explicarse de la siguiente manera: desde nuestro campamento casi diariamente observábamos por las mañanas una capa de aerosoles de color café cubriendo la Cd. de México a muy baja altitud, presentando una morfología nubosa de tipo Stratus. Sin duda se trataba de la parte superior de una capa de inversión, ya que durante el invierno suelen formarse varios niveles de inversión desde la noche hasta el medio día siguiente (Galindo, 1993). Según información verbal de Ricardo Torres (1994), aunque los contaminantes quedan encerrados dentro de estas parcelas de aire, sobre el techo de la capa de inversión superior (en el caso de que

IZTACCIHUATL, 5,100 m.s.n.m., ENERO 1991

IRRADIACION U.V.*. PROMEDIOS POR HORA CON CIELO DESPEJADO



(*) Medida con el radiómetro Spectroline DMX-300 por el autor.

FIGURA No. 26.



FAKULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA

se forme más de una), quedan contaminantes que pueden ser transportados hacia niveles superiores por vientos convectivos, ya que en este nivel la irradiación solar es más intensa que en los niveles inferiores. A medida que la altura solar se incrementaba, las condiciones de la atmósfera se veían afectadas por el gradual aumento del calentamiento de la superficie terrestre, lo que ocasionaba corrientes convectivas (vientos catabáticos matutinos sobre la vertiente oriental de la Sierra de las Cruces y vespertinos sobre la vertiente Oeste de la Sierra Nevada) en la cuenca de México, cuyo horario de ocurrencia e influencia sobre el Iztaccíhuatl estaba condicionado por la orientación de las vertientes sobre las cuales incidían los rayos solares (Torres, 1994). Esto también influía sobre la gradual dispersión de los contaminantes antropogénicos, alcanzando la atmósfera una condición de estabilidad alrededor de las 16:00 hrs. Es posible que estos vientos, provenientes de la Cd. de México, transportaran aerosoles antropogénicos hasta los 5,100 m. de altitud en el Iztaccíhuatl, efectuando un proceso fotoquímico a dicha altitud ocasionando un descenso marcado en la incidencia de irradiación ultravioleta. Estos procesos se esquematizan en la figura No. 27.

MARCHA DIARIA DE LA IRRADIACION U.V. EN EL IZTACCIHUATL EN PRESENCIA DE CIELO NUBLADO.

La figura No. 28 representa los promedios correspondientes a cada hora en presencia de nubes para el Iztaccíhuatl. Las nubes parecen afectar la incidencia de radiación conforme avanza el Sol.

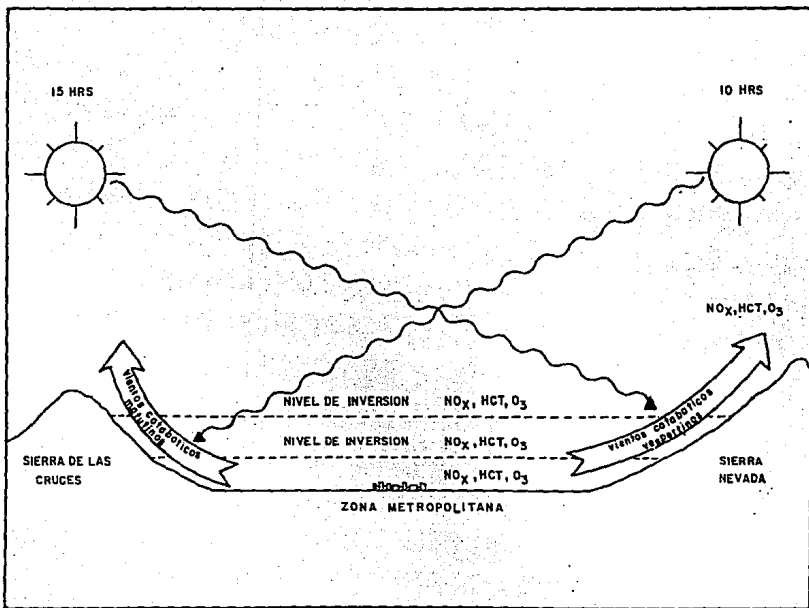
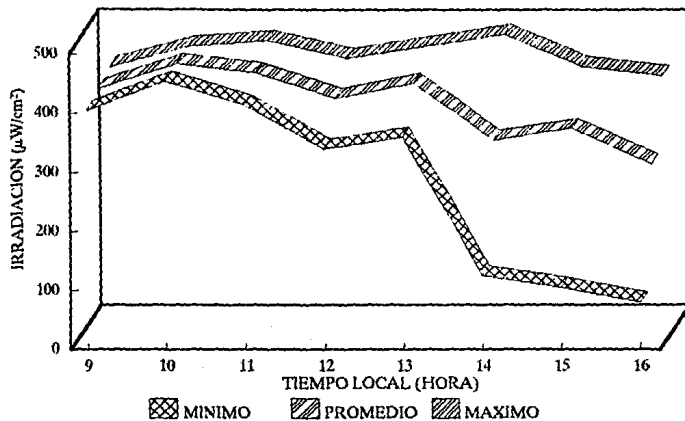


FIGURA No. 27. Vientos catastróficos en la cuenca de México como agentes transportadores de contaminantes antropogénicos hacia niveles altos de la tropósfera. Obsérvese la condicionante solar (según Torres, 1994).

IZTACCIHUATL, 5,100 m.s.n.m., ENERO 1991
IRRADIACION U.V.*, PROMEDIOS POR HORA EN PRESENCIA DE NUBES.



(*) Medida con el radiómetro Spectroline DMX-300 por el autor.

FIGURA No. 28.

De acuerdo a nuestras observaciones visuales, poco antes del medio día comenzaba la formación de Cumulus por el enfriamiento adiabático debido a orogénesis (Ayllón y Gutiérrez, 1988), aumentando su cantidad y densidad a medida que el día transcurría. Los valores de irradiación máximos son a las 10 y 11 hrs., y los mínimos siempre a las 16 hrs. Los máximos de esta gráfica, pese a ser bajo cielo nublado, igualan a algunos valores bajo cielo despejado en el mismo lugar.

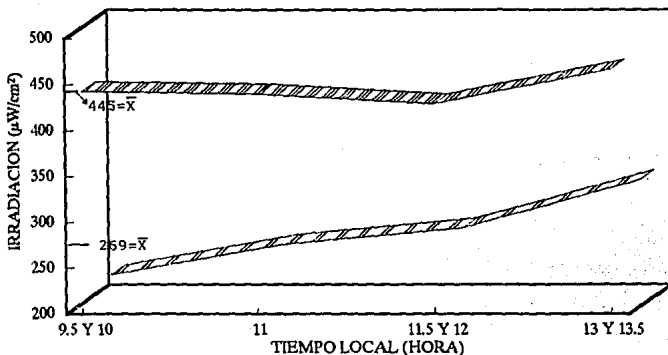
MARCA DIARIA DE LA IRRADIACION U.V. EN EL IZTACCIHUATL Y EN LA CIUDAD DE MEXICO BAJO CONDICIONES DE CIELO DESPEJADO, HASTA EL MEDIO DIA.

En la figura No. 29 se observa que los valores del Iztaccíhuatl disminuyen ligeramente hasta las 11:30 hrs., aumentando el valor siguiente. En la Cd. de México los 3 valores aumentan de manera más lineal. La diferencia entre los promedios de irradiación de ambos lugares es del 60.38 %.

VARIACION DE LA IRRADIANCIA U.V. EN LA CD. DE MEXICO A LAS 11:00 HRS.

De la serie de datos relativos a este lugar, graficamos los correspondientes a esta hora porque los datos tomados durante el resto de las horas del día no contaban con una uniformidad en el tiempo, es decir, eran datos mezclados correspondientes a las 9:00

IZTACCIHUATL (5,100 m.s.n.m.), ENERO 1991 Y MEXICO, D.F. (2,280 m.s.n.m.), ENERO 1990
 IRRADIACION U.V., PROMEDIOS POR HORA CON CIELO DESPEJADO



▨ PROMEDIO IZTA *

▨ PROMEDIO MEXICO, D.F. (EN PRESENCIA DE SMOG FOTOQUIMICO)**

(*) Medida con el radiómetro Spectroline DMX-300 por el autor.

(**) Medida con el mismo instrumento por el Dr. S. Frenk.

FIGURA No. 29.

y 9:30, a las 10:00 y 10:30, etc. Esta diferencia de 30 minutos alteraba el dato, ya que si consideramos que la altura solar se incrementa 1° cada 4 minutos, en media hora el incremento es de 7.5 grados. Así, se tienen 4 lecturas tomadas a las 11:00 hrs.

Al respecto, la figura No. 30 muestra una variación en los datos del 11 %, con un promedio de 2.55 W/m^2 .

VARIACIONES DE LA IRRADIANCIA U.V. EN EL IZTACCIHUATL

Se elaboraron gráficas de la irradiación U.V. en este lugar que representaban todos los valores obtenidos a una misma hora, desde las 9:00 hasta las 16:00 hrs., bajo condiciones de cielo despejado. Se seleccionaron solamente 3 gráficas.

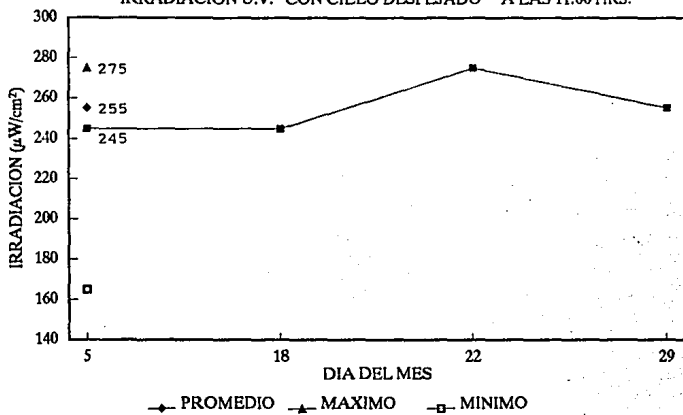
En la figura No. 31, correspondiente a las 9:00 hrs., tenemos un promedio de 4.32, una máxima de 4.74 y una mínima de 3.95 W/m^2 , lo cual nos da una variación del 17 %.

La figura No. 32 (11:00 hrs.) representa, siguiendo el mismo orden, los siguientes valores: 4.40, 4.65 y 4 W/m^2 , con un 14 % de variación.

Continuando con el mismo orden, la figura No. 33, correspondiente a las 12:00 hrs., muestra 4.30, 5.25 y 3.95 W/m^2 , con un 25 % de variación.

MEXICO, D.F., 2,260 m.s.n.m., ENERO 1990

IRRADIACION U.V.* CON CIELO DESPEJADO** A LAS 11:00 HRS.

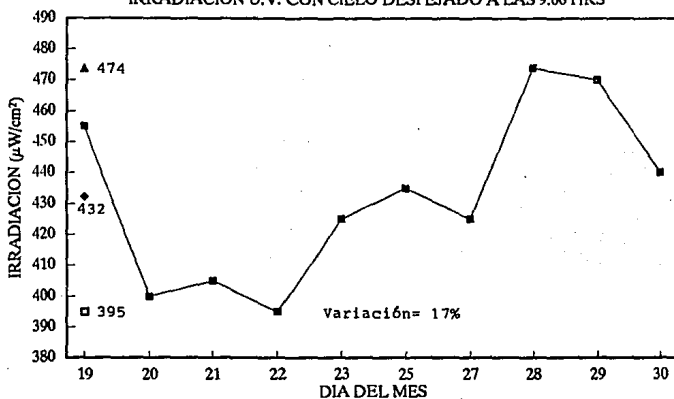


(*) Medida con el radiómetro Spectroline DMX-300 por el Dr. S. Frenk.
(**) Y en presencia de smog fotoquímico.

FIGURA No. 30.

IZTACCIHUATL, 5,100 m.s.n.m., ENERO 1991

IRRADIACION U.V. CON CIELO DESPEJADO A LAS 9:00 HRS *



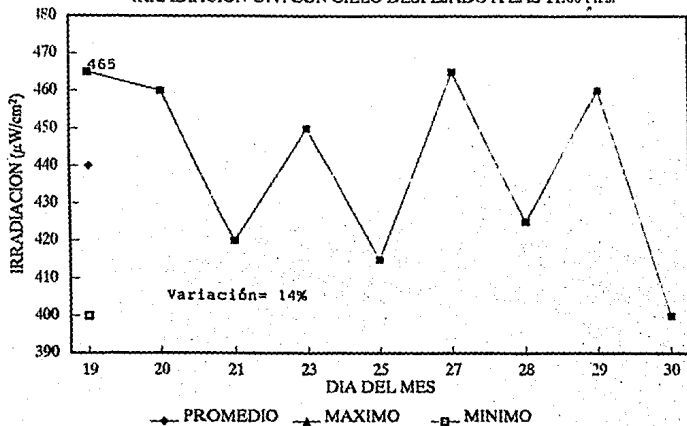
◆ PROMEDIO ▲ MAXIMO ■ MINIMO

(*) Medida con el radiómetro Spectroline DMX-300 por el autor.

FIGURA No. 31.

IZTACCIHUATL, 5,100 m.s.n.m., ENERO 1991

IRRADIACION U.V. CON CIELO DESPEJADO A LAS 11:00 Hrs.*

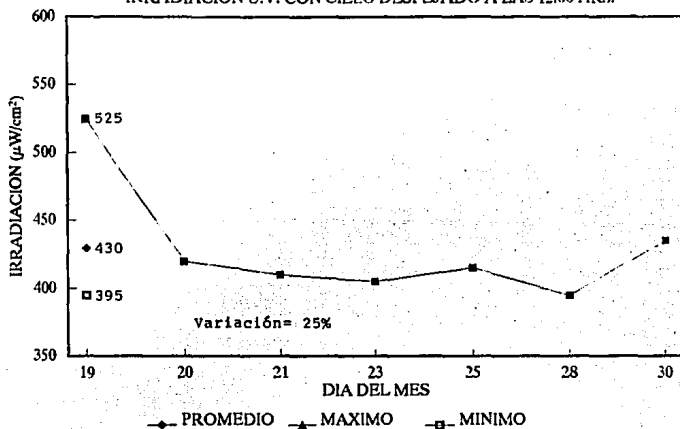


(*) Medida con el radiómetro Spectroline DMX-300 por el autor.

FIGURA No. 32.

IZTACCIHUATL, 5,100 m.s.n.m., ENERO 1991

IRRADIACION U.V. CON CIELO DESPEJADO A LAS 12:00 HRS.*



(*) Medida con el radiómetro Spectroline DMX-300 por el autor.

FIGURA No. 33.

Según estos datos, la variabilidad en el Iztaccíhuatl es menor a las 11:00 hrs., aunque dicho valor sería aún menor a las 12:00 si no fuera por el dato de 5.25 W/m^2 el cual provoca un aumento considerable de este parámetro estadístico.

Tomando en cuenta las óptimas condiciones de limpieza atmosférica características de la alta montaña (tal y como lo apreciamos visualmente), la variación de los datos del Iztaccíhuatl podría ser atribuida a la dinámica de los aerosoles estratosféricos (Kent y Yue, 1989). Esta hipótesis se ve favorecida por el hecho de que los valores de variación en el Iztaccíhuatl decrecen conforme avanza el día, puesto que a menor altura solar, mayor es el camino óptico, aumentando el poder de absorción y difusión de las capas superiores de la atmósfera.

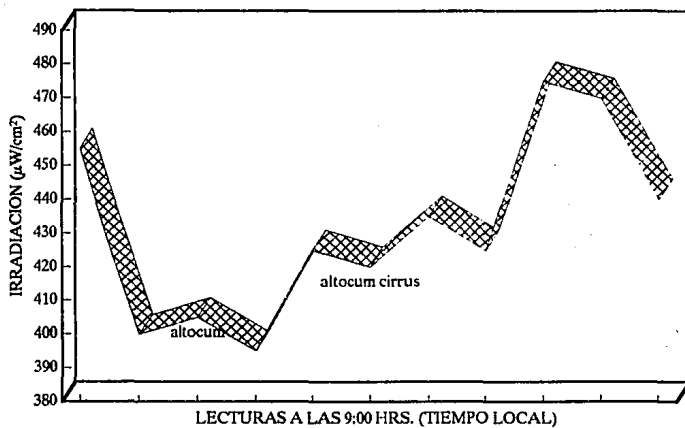
LA NUBOSIDAD Y SU EFECTO SOBRE LA IRRADIACION U.V. EN EL IZTACCIHUATL

La serie de figuras que van de la número 34 a la 41 representan las lecturas de irradiación solar U.V. que fueron tomadas a la misma hora en el Iztaccíhuatl. En cada lectura se especifica qué tipo de nube obstaculizaba el camino óptico, en caso de que así ocurriera. Cada figura corresponde a las 9:00, 10:00, 11:00, 12:00, 13:00, 14:00, 15:00 y 16:00 hrs., respectivamente.

Se procedió a calcular, para cada serie de datos de cada figura, la fórmula $r_s = n / d$ (Galindo, 1994), donde:

IZTACCIHUATL, 5,100 m.s.n.m., ENERO 1991

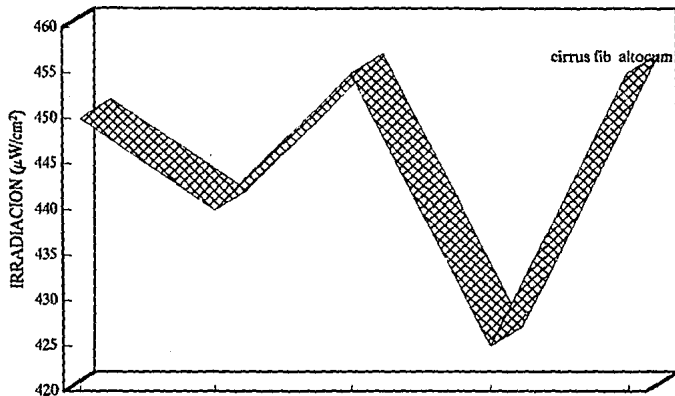
EFFECTO DE NUBES SOBRE IRRADIACION U.V.*



(*) Medida con el radiómetro Spectroline DMX-300 por el autor.

FIGURA No. 34.

IZTACCIHUATL, 5,100 m.s.n.m., ENERO 1991
EFECTO DE NUBES SOBRE IRRADIACION U.V.*

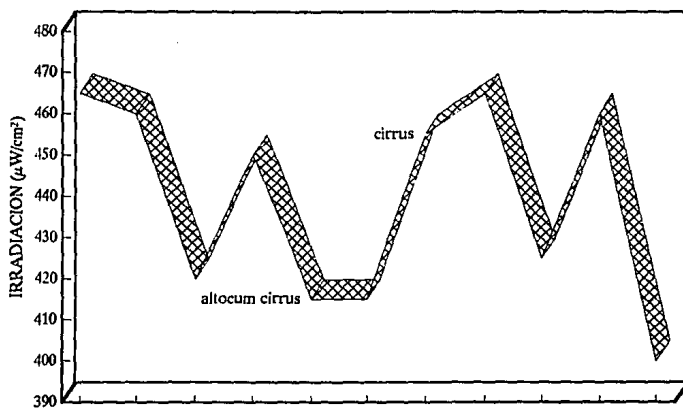


LECTURAS A LAS 10:00 HRS. (TIEMPO LOCAL).
(*) Medida con el radiómetro Spectroline DMX-300 por el autor.

FIGURA No. 35.

IZTACCIHUATL, 5,100 m.s.n.m., ENERO 1991

EFFECTO DE NUBES SOBRE IRRADIACION U.V.*



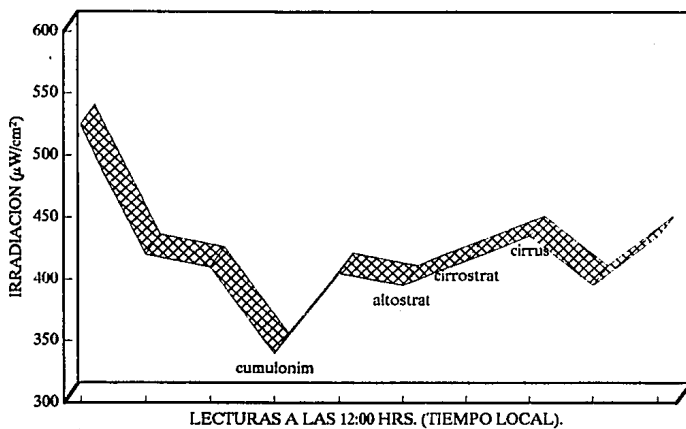
LECTURAS A LAS 11:00 HRS. (TIEMPO LOCAL).

(*) Medida con el radiómetro Spectroline DMX-300 por el autor.

FIGURA No. 36.

IZTACCIHUATL, 5,100 m.s.n.m., ENERO 1991

EFFECTO DE NUBES SOBRE IRRADIACION U.V.*

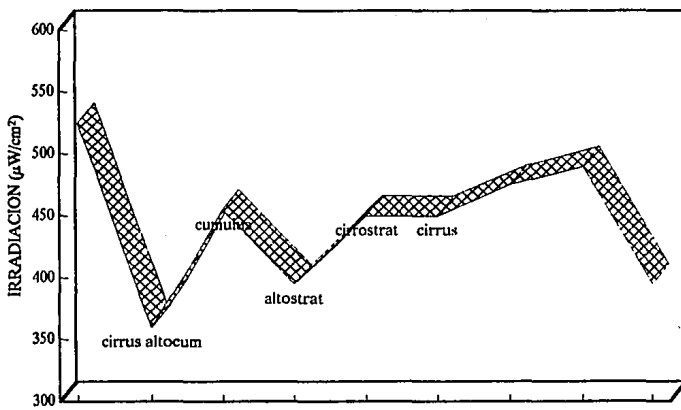


(*) Medida con el radiómetro Spectroline DMX-300 por el autor.

FIGURA No. 37.

IZTACCIHUATL, 5,100 m.s.n.m., ENERO 1991

EFFECTO DE NUBES SOBRE IRRADIACION U.V.*



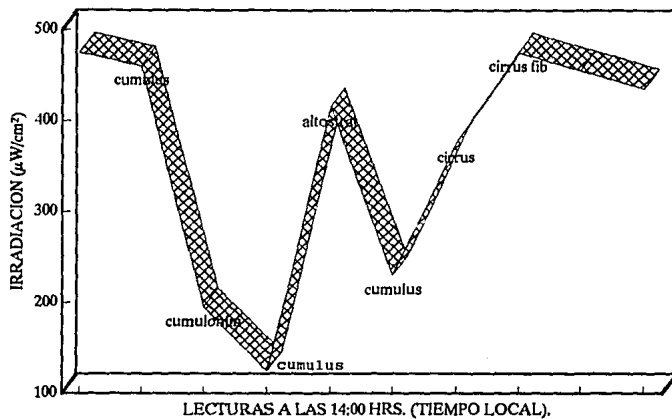
LECTURAS A LAS 13:00 HRS. (TIEMPO LOCAL).

(*) Medida con el radiómetro DMX-300 por el autor.

FIGURA No. 38.

IZTACCIHUATL, 5,100 m.s.n.m., ENERO 1991

EFFECTO DE NUBES SOBRE IRRADIACION U.V.*

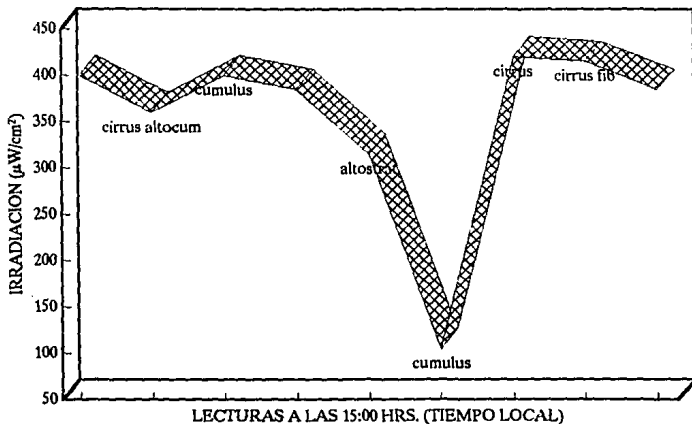


(*) Medida con el radiómetro DMX-300 por el autor.

FIGURA No. 39.

IZTACCIHUATL, 5,100 m.s.n.m., ENERO 1991

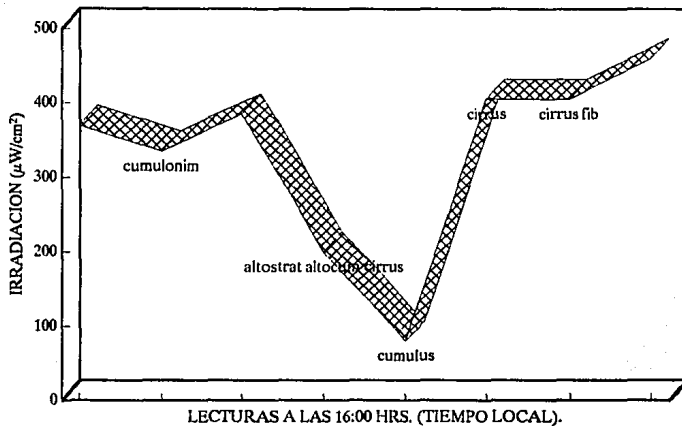
EFFECTO DE NUBES SOBRE IRRADIACION U.V.*



(*) Medida con el radiómetro Spectroline DMX-300 por el autor.

FIGURA No. 40.

IZTACCIHUATL, 5,100 m.s.n.m., ENERO 1991
EFECTO DE NUBES SOBRE IRRADIACION U.V.*



LECTURAS A LAS 16:00 HRS. (TIEMPO LOCAL).
(*) Medida con el radiómetro Spectroline DMX-300 por el autor.

FIGURA No. 41.

r_n = razón para cada tipo de nube

n = valor con cielo nublado por el mismo tipo de nube

d = promedio de los datos con cielo despejado (de la misma hora)

Así, el cociente r_n nos permitiría obtener la razón necesaria para conocer, a una hora dada, la capacidad de extinción de la irradiación U.V. de cada tipo de nube o asociación de nubes (cuando se presentaban simultáneamente en el camino óptico) con respecto a d. Esto se logró mediante la aplicación de la fórmula $V_n = 100 - [(r_n) (100)]$, donde:

V_n = % de variación de la irradiación U.V. para cada tipo de nube con respecto a la media de los datos con cielo despejado a una hora dada.)

Después se calculó el promedio de r_n para cada tipo de nube o asociación de nubes a las diferentes horas del día, con lo cual se obtuvieron sus correspondientes porcentajes de variación al aplicar la fórmula $V_n = 100 - [(promedio de r_n) (100)]$, elaborándose el cuadro No. 7.

En dicho cuadro se muestra la capacidad de atenuación de la irradiación U.V. de cada tipo de nube o asociación de nubes que se presentó en el camino óptico del radiómetro Spectroline durante el experimento en el Iztaccíhuatl.

Las asociaciones de Altostratus, Altocumulus y Cirrus

TIPO DE NUBE O ASOCIACION DE NUBES	PROMEDIO	VARIACION
	DE r.	DE r. (%)
Altostratus, Altocumulus y Cirrus	0.49	51
Cirrus y Altocumulus	0.89	11
Cirrus fibratus y Altocumulus	1.02	-2
Cumulus	0.59	41
Cumulonimbus	0.67	33
Altostratus	0.86	14
Altocumulus	0.92	8
Cirrostratus	0.95	5
Cirrus	0.97	3
Cirrus fibratus	1.03	-3

CUADRO No. 7. Atenuación de la irradiación U.V. por nubes

(variación de r.) a 5,100 m. de altitud en el volcán Iztaccíhuatl durante enero de 1991. Las asociaciones de Altostratus, Altocumulus y Cirrus disminuían la irradiación U.V. en un 51 %, mientras que los Cirrus fibratus la aumentaban en un 3 %.

El cuadro 7 nos muestra la capacidad de atenuación de la irradiación U.V. de cada tipo de nube o asociación de nubes que se presentó en el camino óptico del radiómetro Spectroline durante el experimento en el Iztaccíhuatl.

alcanzaron el valor máximo de atenuación. Dentro de este grupo, es posible que los Altostratus fueran los responsables de la mayor parte de la disminución de la irradiación, ya que éstos, en forma individual (como veremos más adelante), son los que poseen la mayor capacidad de atenuación entre los 3 tipos de nubes.

Los Cirrus y los Altocumulus, cuando se presentaban de manera simultánea en el camino óptico del instrumento, secundaban en capacidad de atenuación al primer tipo de asociación de nubes. Es probable que los Altocumulus fueran los responsables de la mayor parte de la disminución de la irradiación U.V., dado que de ambos tipos de nubes, aquellos son los que tienen la mayor capacidad de atenuación.

Algo interesante sucede con los Cirrus fibratus asociados con Altocumulus, ya que aumentaron en un 2 % los valores de irradiación U.V. Presumimos que, en este caso, el componente Altocumulus se presentaba en forma poco densa y que los Cirrus fibratus, al estar constituidos principalmente por cristales de hielo (Ayllón y Gutiérrez, 1988), éstos actuaban como prismas, realizándose un efecto de difracción que multiplicaba la componente difusa de la irradiación U.V., por lo cual el valor energía sufrió tal aumento. Sin embargo, es prudente aclarar que estas condiciones no se presentan con frecuencia.

Las siguientes nubes fueron las que de manera individual obstaculizaban el camino óptico del instrumento. Su capacidad de

atenuación va en orden decreciente: Cumulus, Cumulonimbus, Altostratus, Altocumulus, Cirrostratus y Cirrus. Generalmente, los Cumulonimbus son las nubes mas densas y desarrolladas, por lo que es ilógico que en este caso hayan presentado mayor permeabilidad a la irradiación que los Cumulus. Esto puede explicarse si consideramos que la temporada invernal seca es poco propicia para el desarrollo de Cumulonimbus, por lo que éstos se presentaron pocas veces y con poca densidad. Los Cirrus fibratus aumentaban en un 3 % la irradiación U.V., presumiblemente debido al efecto de difracción propio de los cristales de hielo de estas nubes.

El cuadro No. 8 representa la capacidad de atenuación de la irradiación solar global de cada tipo de nube según Kalitin (tomado de Finlayson, 1986). Podemos apreciar que el orden de capacidad de atenuación que presentan los tipos de nubes contenidos en dicha tabla es semejante al de los mismos tipos de nube que se presentan en el cuadro No. 7 (para nubes individuales).

De esta manera, el orden de la capacidad de atenuación de la irradiación U.V. por cada tipo de nube que se presenta en ambas tablas es, en orden decreciente:

Altostratus

Altocumulus

Cirrus

FORMA DE LA NUBE	VARIACION DE r_s (%) a 50° de altura solar
Stratus	84
Stratocumulus	73
Stratus fractus	76
Altostratus	63
Alto cumulus	38
Cirrostratus	10
Cirrus	2

CUADRO No. 8. Decremento relativo del flujo de irradiación global bajo diferentes formas de nubosidad densa y a una altura solar de 50° en comparación con sus valores correspondientes de cielo despejado (en porcentaje). (Modificado de Kalitin, y tomado de Finlayson, 1986).

Dicho orden es el mismo para capacidad de atenuación de la irradiación solar global.

SITUACION SINOPTICA DEL VOLCAN IZTACCIHUATL

DEL 14 AL 30. DE ENERO DE 1991, A LOS 5,100 m.s.n.m.

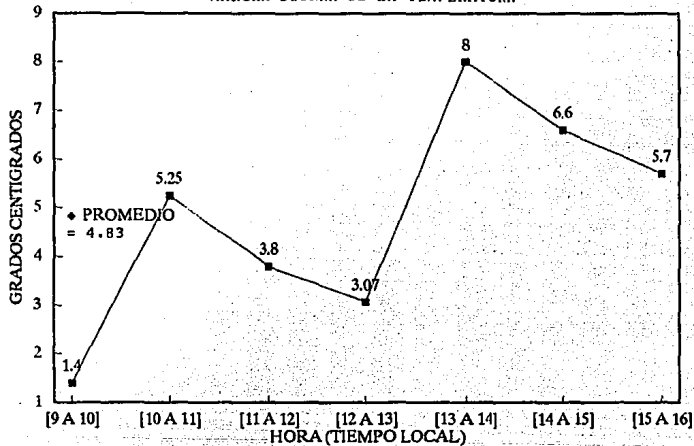
COMPORTAMIENTO INDIVIDUAL DE LA TEMPERATURA, LA PRESION ATMOSFERICA Y LOS VIENTOS EN EL IZTACCIHUATL.

Con los datos de temperatura (ambiente, máxima y mínima), dirección del viento en superficie, velocidad del viento en superficie y presión atmosférica* obtenidos en el campamento del 14 al 30 de enero de 1991, y con las observaciones efectuadas durante el mismo período desde el mismo lugar relativas a dirección del viento en la altura y a tipo de nubes y su nivel, se elaboraron las siguientes figuras:

A) Marcha diurna de la temperatura.

La figura No. 42 muestra los promedios horarios de la temperatura ambiente (temperatura media diurna) obtenidos a partir de las 59 lecturas de temperatura ambiente registradas en el campamento.

IZTACCIHUATL, 5,100 m.s.n.m., ENERO 1991 (DEL 14 AL 30)
 MARCHA DIURNA DE LA TEMPERATURA*



(* Medida con termómetro de mercurio por el autor.

FIGURA No. 42.

La marcha diurna diaria de la temperatura comienza con un ascenso notable de casi 4°C entre las 9-10 y las 10-11 hrs. Este ascenso se debe a que durante las primeras horas del día se presentaba una gran transparencia atmosférica (lo cual se comprueba al observar las figuras de irradiación ultravioleta), permitiendo que la componente directa de la irradiación solar calentara la superficie.

(*) El psicrómetro de onda que se utilizó para tomar las lecturas de humedad relativa sufrió, un día antes del inicio del muestreo, la rotura del termómetro de de bulbo húmedo. Se optó entonces por tomar las lecturas de ambos bulbos en el seco, añadiéndole a este la humedad con agua después de tomar la lectura de bulbo seco. Sin embargo, casi todas las temperaturas de bulbo húmedo fueron inferiores a las de bulbo seco. Como era de esperarse, los valores de humedad relativa fueron casi siempre superiores al 100 %, lo cual resultaba poco congruente. Por estas razones, los datos de humedad relativa fueron descartados.

De las 10-11 a las 12-13 hrs. la temperatura desciende 2.18°C, debido a la presencia de nubes, principalmente formadas por enfriamiento adiabático del aire ascendente (lo cual es ocasionado también por la irradiación solar). Después de las 13 hrs. la temperatura asciende 5°C hasta alcanzar los 8°C (la máxima de esta serie) a las 13-14 hrs. Podría pensarse que, al considerar que durante este lapso la presencia de Cúmulus envolviendo el volcán alcanzaba su mayor desarrollo, esto permitía que la energía recibida del sol durante la mañana por la superficie fuera transferida a dichas formas nubosas en forma de irradiación de onda larga (calorífica), con el consiguiente calentamiento de la atmósfera local.

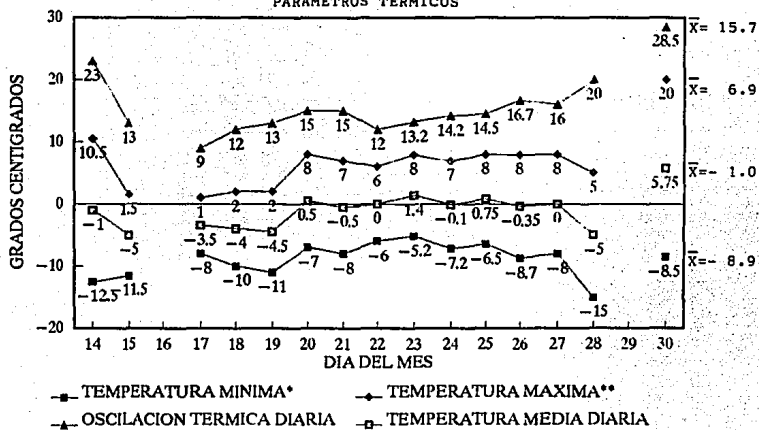
Sin embargo, los promedios horarios de la irradiación ultravioleta bajo cielo despejado expuestos en la figura No. 26 muestran que la incidencia radiativa a lo largo del día ocurre de la misma manera que con la marcha de la temperatura media diurna. Esto nos indica que la temperatura del aire es función directa de la irradiación solar, la cual, al incidir con tanta potencia y con componente directa mayor que en los niveles bajos de la tropósfera, transfiere energía rápidamente a la superficie del volcán. No obstante, esta energía puede ser irradiada a la atmósfera con la misma rapidez, debido a que las rocas poseen un nivel bajo de conservación de calor, la nieve un elevado albedo y que el flujo de los vientos del lugar es por lo general rápido.

A partir de las 13-14 hrs. y hasta las 16, la temperatura desciende hasta alrededor de los 5.7°C , ocurriendo lo mismo con la irradiación ultravioleta media correspondiente al mismo lapso. La temperatura media diaria diurna obtenida de esta serie es de 4.8°C .

B) Parámetros térmicos.

La figura No. 43 muestra estos datos. Se tomaron 15 lecturas de temperatura máxima y mínima, respectivamente. Con esta base de datos se obtuvo la oscilación diaria de la temperatura, mediante el cálculo de la diferencia entre valor máximo y el valor mínimo del mismo día. La oscilación térmica media es de 15.7°C .

IZTACCIHUATL, 5,100 m.s.n.m., ENERO 1991 (DEL 14 AL 30)
PARAMETROS TERMICOS



(*) Medida con el termómetro Wilhelm Lambrecht de alcohol, por el autor.
 (**) Medida con el termómetro de mercurio Wilhelm Lambrecht, por el autor.

FIGURA NO. 43.

Se observan una máxima absoluta de 20°C y una mínima absoluta de -15°C. Todos los valores máximos son positivos y todos los mínimos negativos. La temperatura máxima media es de 6.9°C y la mínima media de -8.9°C. El primero y los últimos dos días del muestreo fueron los más extremos, con oscilaciones térmicas mayores de 19°C.

También se obtuvo la temperatura media diaria al restarle a cada máximo su correspondiente valor mínimo y dividiendo el producto entre 2. El promedio de esta temperatura es de -1°C. Los días 15, 17, 18, 19 y 28 de enero fueron los más fríos, con temperaturas de -3.5°C o inferiores.

C) Presión atmosférica.

La figura No. 44 muestra los datos de presión atmosférica obtenidos en el campamento desde las 9 hasta las 16 hrs. por medio de dos altímetros aneroides. Consideramos que los datos del altímetro "B" son los correctos, ya que el promedio de 419.5 mb obtenido a partir de su serie concuerda con la presión atmosférica correspondiente a los 5,100 m. de altitud, ya que la serie de datos del altímetro "A", con una presión media de 504 mb correspondería, según las cartas meteorológicas de la Secretaría de Marina-Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM para el mismo período, a una altura comprendida entre los 5,840 y los 5,880 m.s.n.m.

Como puede apreciarse, la serie del altímetro "A" presenta poca oscilación, lo cual significa que el estado sinóptico general durante los 15 días de muestreo tuvo una tendencia a la estabilidad, y que la influencia de perturbaciones ciclónicas regionales no manifestó cambios barométricos sustanciales en el Iztaccíhuatl, o bien que la zona de muestreo siempre se vió sometida a la influencia del mismo sistema ciclónico o anticiclónico.

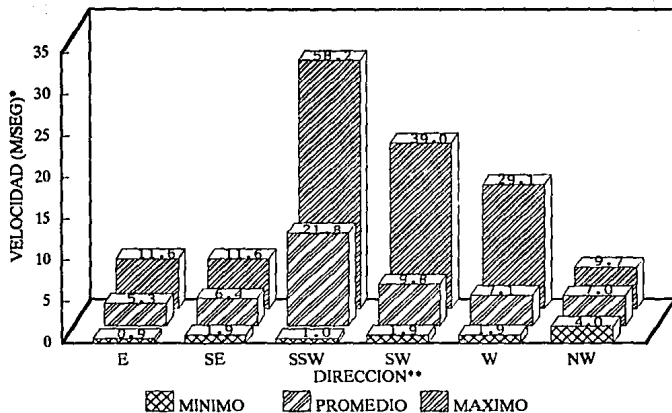
D) Velocidad del viento en superficie.

La figura No. 45 muestra la velocidad mínima, máxima y promedio de cada componente direccional del viento. El flujo eólico más rápido fué de componente SSW, con un máximo de 58.2, un mínimo de 1.0 y un promedio de 21.8 nudos. Los vientos del SW mostraron un flujo más lento con valores, según el mismo orden, de 39, 9.8 y 1.9 nudos; los vientos de componente Oeste tuvieron velocidades de 29.1, 7.1 1.9, respectivamente.

E) Vientos diurnos dominantes en altura y en superficie.

La figura No. 46 muestra los promedios diarios de la velocidad y la dirección del viento en superficie, así como la dirección del viento observada en la atmósfera alta (por arriba de los 6,500 m.s.n.m., aproximadamente). Esta figura es fundamental para proceder a la explicación del estado sinóptico del volcán Iztaccíhuatl durante el período de muestreo.

IZTACCIHUATL, 5,100 m.s.n.m. ENERO 1991 (DEL 14 AL 30).
 VIENTOS EN SUPERFICIE (DE 9:00 A 16:00 HRS).



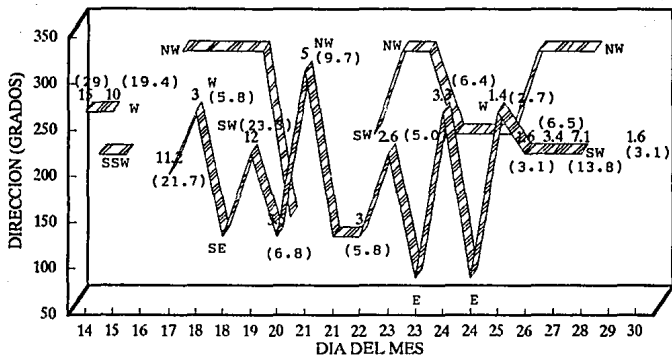
(*) Medida con el anemómetro Wilhelm Lambrecht, por el autor.

(**) Determinada con el auxilio de la brújula, por el autor.

(11.6) = Velocidad en nudos.

FIGURA No. 45.

IZTACCIHUATL, 5,100 m.s.n.m., ENERO 1991 (DEL 14 AL 30).
 VIENTOS DOMINANTES (DE 9:00 A 16:00 hrs.)



▨ 12 VIENTO DOMINANTE EN SUPERFICIE, VELOCIDAD PROMEDIO (M/SEG)**

▨ VIENTO ALTO** (29)= velocidad en nudos.

(*) Medido con el anemómetro Wilhelm Lambrecht y con el auxilio de la brújula, por el autor.

(**) Con base en observaciones de la trayectoria de nubes altas mediante brújula, por el autor.

FIGURA No. 46.

SITUACION SINOPTICA DEL VOLCAN IZTACCIHUATL DEL 14 AL 30 DE ENERO DE 1991.

Para comprender mejor esta situación fué necesario recurrir al Centro de Ciencias de la Atmósfera (C.C.A.) de la U.N.A.M., donde nos facilitaron las cartas meteorológicas elaboradas por dicho Centro y por la Secretaría de Marina con base en los datos de radiosondeo obtenidos en México, Estados Unidos, Canadá y las Antillas.

De esta manera dispusimos de las cartas meteorológicas de los días 14, 15, 16, 17, 18, 22, 23, 24, 28, 29, y 30 de enero de 1991 (Figuras No. 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56 y 57). Cada carta está basada en datos de radiosondeos efectuados a las 6 hrs. (hora del centro de México) y expresa la temperatura de bulbo seco (en °C), la altura geopotencial (en metros), la depresión del punto de rocío (en °C) y la dirección y la velocidad del viento (en nudos). Cada punto sobre el mapa que incluye estos datos, registrados a una presión atmosférica de 500 mb, corresponde al lugar donde se realizó un radiosondeo. Con base en estos datos, el personal de los departamentos de Meteorología Sinóptica y de Climatología Física y Dinámica del C.C.A. traza en dichas cartas curvas de nivel que expresan las cotas a las cuales se encuentra una presión atmosférica de 500 mb. Mediante la interpretación de estas cartas es posible visualizar la dinámica de los centros de acción y los centros de baja presión (que están marcados con las letras A y B, respectivamente), lo cual optimiza la apreciación de

la influencia de los sistemas eólicos a las altitudes expresadas (comprendidas entre los 5,160 m. en las latitudes más septentrionales y los 5,920 m. de altitud en las latitudes más australes de las cartas).

Por otra parte, el Servicio Meteorológico Nacional (S.M.N.) nos facilitó los boletines meteorológicos diarios del 14 al 30 de enero de 1991 correspondientes a las 6 hrs. (tiempo del centro de la República Mexicana). De estos boletines reproduciremos las condiciones meteorológicas generales para cada día del estudio.

14 DE ENERO DE 1991.

Condiciones meteorológicas generales (Boletín del S.M.N.):

1.- "Aire frío poco intenso cubre la mayor parte del país, ocasionando bajas temperaturas en Chihuahua, Zacatecas, San Luis Potosí y Edo. de México. Se registraron lluvias ligeras en el Sur de Veracruz".

2.- "La corriente de vientos máximos cruza la porción media del país, provoca nublados aislados, medios y altos sobre los estados de Colima, Jalisco, Sur de la Mesa Central y Veracruz".

3.- "Aire marítimo tropical continúa provocando temperaturas cálidas y cielos de despejado a medio nublado en el Pacífico Sur".

4.- "Las temperaturas extremas fueron: máxima de 34°C en Tapachula, Chis.; mínima de -5°C en Temosachic, Chih.; la precipitación máxima fué de 4.1 mm en Orizaba, Ver".

Condiciones meteorológicas a los 5,100 m.s.n.m. (419.5 mb) en el volcán Iztaccíhuatl y su relación con las condiciones macrorregionales:

En la figura No. 46 podemos apreciar que, en el Iztaccíhuatl, la corriente de vientos máximos proviene del SSW y que la velocidad media del viento en superficie es de 29 nudos, con componente W. La figura No. 47 muestra que el radiosondeo del aeropuerto de la ciudad de México registró una velocidad de viento de 30 nudos con componente WSW a una altitud aproximada de 5,820 m., características muy parecidas a las que registramos en el Iztaccíhuatl. Al parecer se captó en dicho volcán la corriente de chorro subtropical (Mosino, 1992) con una leve variación direccional quizá debido a la influencia topográfica. Estos vientos, al asociarse con masas de aire marítimo tropical, no provocaron un gran descenso en la temperatura media del campamento (que para este día fué de -1°C, una de las más altas que registramos), lo cual se muestra en la figura No. 43. La temperatura mínima en el campamento fué de -12.5°C, cuatro grados inferior a la obtenida por el referido radiosondeo. En la figura No. 47 se observa un centro de baja presión al Norte de la región de los Grandes Lagos y otro al Sur del centro de la República Mexicana, así como un anticiclón al Este de la Antillas

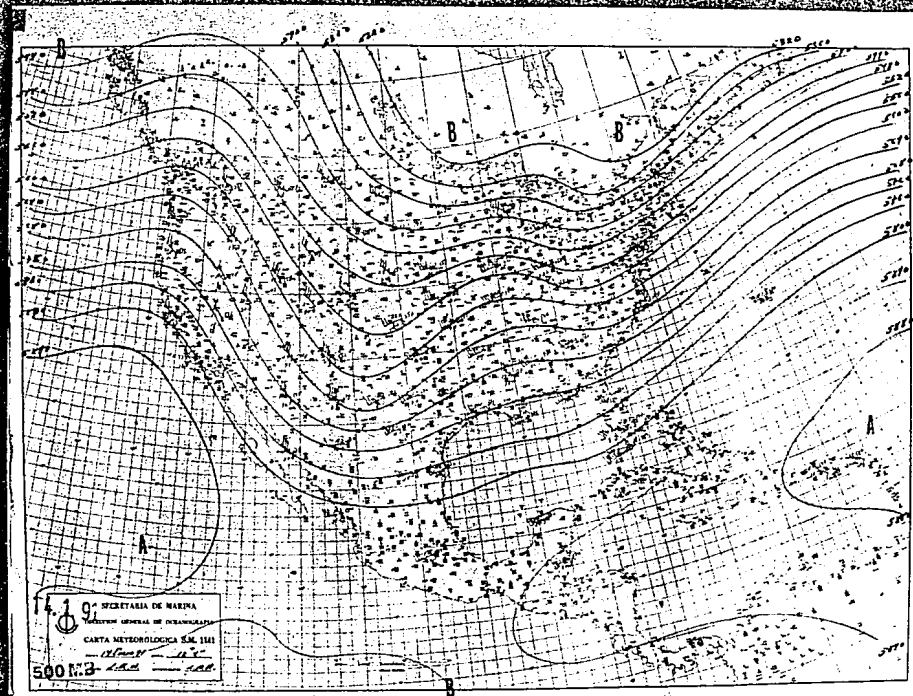


FIGURA No. 47.

FALTA PAGINA

No.

122

(seguramente se trata del anticiclón de las Bermudas-Azores) y otro anticiclón al WNW de la República Mexicana, situación que forma una "corredor" que ocasiona fuertes vientos en la altura del centro de nuestro país, tratándose sin duda de una vaguada.

15 DE ENERO DE 1991.

Condiciones meteorológicas generales (Boletín del S.M.N.):

1.- "La masa de aire frío se desplaza hacia el Este permitiendo que asciendan las temperaturas en los estados de la Mesa del Norte y Golfo de México. Causó temperaturas bajo cero en los estados de Zacatecas, San Luis Potosí, Tlaxcala y Edo. de México".

2.- "Una corriente de vientos máximos en la altura ocasiona nublados medios y altos en los estados del Pacífico Centro y en los del Sur de la Mesa Central".

3.- "Aire marítimo tropical continúa provocando temperaturas cálidas y cielos despejados a medio nublados en los estados de la vertiente del Pacífico y Península de Yucatán".

4.- "Frente y masa de aire frío provocan nublados y descenso de temperatura sobre el Norte de los estados de Chihuahua, Coahuila y Nuevo León. Se desplaza hacia el Sureste".

5.- "Temperaturas extremas: máxima de 34°C en Arriaga, Chis.; mínima de -5.0°C en Tepehuanes, Dgo. y Toluca, Méx."

Condiciones meteorológicas a los 5,100 m.s.n.m. (419.5 mb) en el volcán Iztaccíhuatl y su relación con las condiciones macrorregionales.

Observamos en la figura No. 46 cómo el viento en superficie mantiene su componente W, aunque disminuye su velocidad a 19.4 nudos. El viento en la altura (en la tropopausa o cerca de ella) indicado por Cirrus sigue proveniente del SSW. La masa de aire frío referida en el boletín provoca que la temperatura media del campamento (ver figura No. 43) descienda a -5°C (un descenso de 4°C con respecto al día previo). No se dispone de los datos de radiosondeo del aeropuerto de la Ciudad de México. En la figura No. 48 se aprecia un centro de baja presión al Norte del estado de Texas, E.U.A. seguramente asociado a la masa de aire frío referida en el boletín del S.M.N. El anticiclón de las Bermudas-Azores se ha desplazado hacia el Este, mientras que el anticiclón localizado el día anterior al WNW del centro del país ha sufrido un corrimiento hacia el W. Por su parte, el centro de baja presión que el día anterior se localizaba al Sur del país se ha extendido hacia el Este.

16 DE ENERO DE 1991.

Condiciones meteorológicas generales (Boletín del S.M.N.):

1.- "Corriente de vientos máximos en la altura ocasiona vientos frescos provenientes del Pacífico con nubes dispersas medias y altas de poco espesor sobre los estados del centro del país".

2.- "Masa de aire frío ocasiona bajas temperaturas en las mesas del Norte y Central".

3.- "Baja presión en la altura sobre Arizona, E.U.A. favorece nublados sobre esta región y se mueve al Este afectando el Noreste de Sonora y Chihuahua".

4.- "Temperaturas extremas: Máxima de 34°C en Tapachula y en Arriaga, Chis. Mínima de -5°C en Tepehuanes, Dgo."

Condiciones meteorológicas a los 5,100 m.s.n.m. (419.5 mb) en el volcán Iztaccíhuatl y su relación con las condiciones macrorregionales.

Se carece de datos obtenidos en el volcán Iztaccíhuatl.

En la figura No. 49 podemos observar que el centro de baja

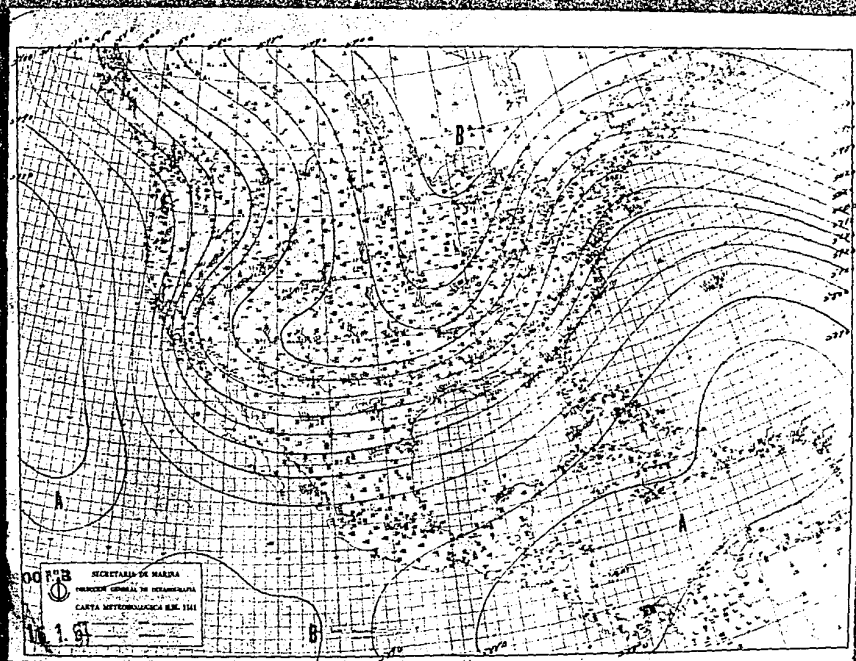


FIGURA No. 49

presión localizado al Sur de los E.U.A., asociado a la masa de aire frío referida en el boletín, se ha desplazado levemente hacia el Este, mientras que el anticiclón del Océano Pacífico se ha alargado hacia el Norte. El centro de baja presión de las Bermudas-Azores se ha movido hacia el SW, cubriendo Centroamérica, mientras que el anticiclón localizado al Sur de la República Mexicana se ha recorrido hacia el Este. El radiosondeo del aeropuerto de la Ciudad de México registra una temperatura ambiente de -8.5°C y viento de componente Oeste con velocidad de 30 nudos a una altitud de 5,820 m., lo cual indica que la atmósfera del centro del país sigue bajo la influencia de la corriente de chorro subtropical asociada a una masa de aire frío relacionada con el centro de baja presión de Norteamérica.

17 DE ENERO DE 1991.

Condiciones meteorológicas generales (Boletín del S.M.N.):

1.- "Corriente de vientos máximos en la altura continúa ocasionando vientos frescos provenientes del Pacífico y nubes medias y altas dispersas de poco espesor sobre los estados del Norte y centro del país".

2.- "Aire marítimo tropical favorece temperaturas cálidas y cielos despejados a medio nublados en el Pacífico Sur y Península de Yucatán".

3.- "Frente frío sobre la porción oriental del Golfo de México afecta con nublados y lluvias ligeras aisladas la porción Noreste de la Península de Yucatán".

4.- "Baja presión ocasiona ligero descenso de temperatura y nublados bajos con lluvias ligeras aisladas sobre el Norte de los estados de Sonora y Chihuahua. Se mueve lentamente hacia el Este-Sureste".

5.- "Temperaturas extremas: máxima de 35°C en Arriaga, Chis. y mínima de -4°C en Toluca, Méx."

Condiciones meteorológicas a los 5,100 m.s.n.m. (419.5 mb) en el volcán Iztaccíhuatl y su relación con las condiciones macrorregionales.

La figura No. 46 nos muestra que el viento dominante en superficie proviene del SSW con una velocidad media de 21.7 nudos. La componente del viento en la altura (presumiblemente en la tropopausa o cerca de ella) indicada por los Cirrus, ha cambiado de SSW a NW. Esto nos sugiere la presencia, en el nivel mencionado, de los vientos del Oeste, los cuales pueden manifestarse con dicha componente sobre el centro del país, con capacidad de dominar en latitudes tropicales y subtropicales durante el invierno (Medina, 1994). Se observa un ligero ascenso de la temperatura con respecto al 15 de enero. El radiosondeo de Guadalajara (figura No. 50) indica un velocidad de viento de 30 nudos con componente WSW a

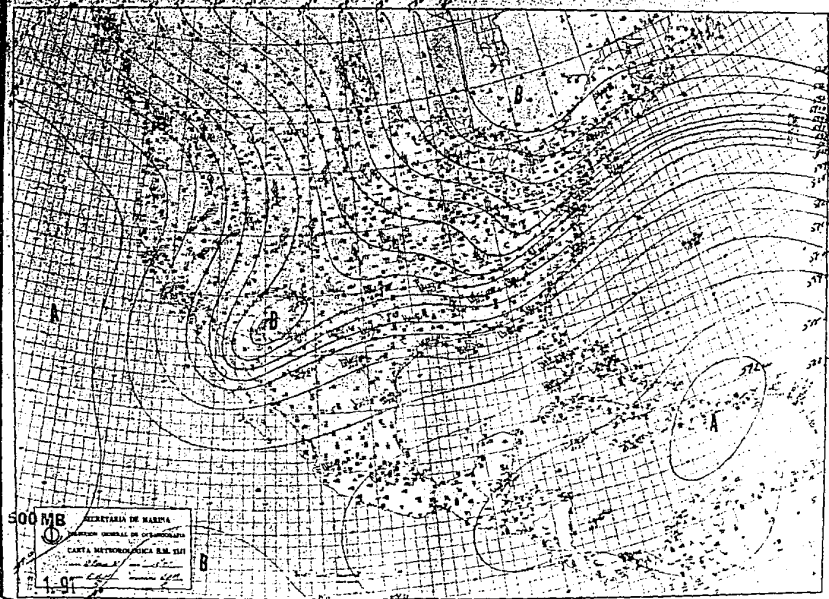


FIGURA No. 50.

5,810 m. de altitud, características parecidas a las registradas en el campamento. Puede tratarse en ambos casos de la corriente de chorro subtropical o de los vientos del Oeste (con un marcado cambio direccional), la cual influye en mayor medida sobre las condiciones meteorológicas del campamento. En la misma figura se observa que el centro de baja presión que se localizaba sobre la zona centro-Sur de los E.U.A. se manifiesta sobre el área de conjunción de los estados de Arizona, Sonora y Chihuahua a una altitud de 5,560 m. No se muestran cambios significativos en la morfología de los centros de baja presión y los anticiclones restantes.

18 DE ENERO DE 1991.

Condiciones meteorológicas generales (Boletín del S.M.N.):

1.- "La baja presión localizada al Noroeste del país se ha movido hasta el estado de Texas, E.U.A. sin afectar a la República Mexicana".

2.- "Corriente de vientos máximos en la altura continúa ocasionando vientos frescos provenientes del Pacífico con nubes medias y alta dispersas de poco espesor sobre los estados del Noroeste y centro del país".

3.- "Aire marítimo tropical favorece temperaturas cálidas y cielos despejados a medio nublados en el Pacífico Sur y península de

Yucatán".

4.- "Temperaturas extremas: máxima de 36°C en el observatorio de Arriaga, Chis.; mínima de -5°C en Tepehuanes, Dgo. Precipitación de 15.0 mm. en Piedras Negras, Coah."

Condiciones meteorológicas a los 5,100 m.s.n.m. (419.5 mb) en el volcán Iztaccíhuatl y su relación con las condiciones macrorregionales.

En la figura No. 46 puede apreciarse que, en el Iztaccíhuatl, la velocidad media del viento en superficie fué de 5.8 nudos, con doble componente: W y SE. Seguramente se trataba de corrientes de viento ascendente que fluían cuesta arriba, canalizadas por los valles de los glaciares Centro-oriental y Ayoloco, de orientaciones SE-NW y W-E, respectivamente. Estas corrientes convergían sobre el parteaguas donde se localizaba nuestro campamento. Esto sugiere que se trataba de un día de actividad convectiva notable, relacionada con un aumento en el calentamiento de la superficie regional. Al respecto, el aumento en la oscilación térmica diaria expresada en la figura No. 43 podría ayudar a explicar este fenómeno. Otro aspecto interesante lo constituye el hecho de que la dirección del viento en los niveles presumiblemente de la tropopausa (indicada por Cirrus) ha cambiado a componente NW, lo cual sugiere la presencia de los vientos del Oeste, que pueden manifestarse con dicha componente sobre el centro del país y pueden dominar en

latitudes tropicales y subtropicales durante el invierno (Medina, 1994). En la figura No. 51 se puede apreciar un flujo de viento de componente Suroeste a 5,850 m. de altitud sobre el centro del territorio mexicano, con una velocidad de 50 nudos, determinando las condiciones generales de la región. La baja presión se ha movido hacia el Este, por lo que no logra influir directamente sobre las condiciones mencionadas. Por su parte, el anticiclón del Pacífico ha reducido sus dimensiones, mientras que la depresión que se localizaba al Sur de nuestro país (sobre el océano Pacífico) se ha desplazado hacia el Este, al igual que el anticiclón de las Antillas.

19 DE ENERO DE 1991.

Condiciones meteorológicas generales (Boletín del S.M.N.):

1.- "Corriente de vientos máximos en la altura continúa ocasionando nubosidad de tipo medio y alto de poco espesor sobre los estados del Pacífico, Mesa Central y región Noreste del país".

2.- "Aire marítimo tropical favorece temperaturas cálidas y cielos despejados a medio nublados en los estados de Guerrero, Oaxaca y Chiapas y en la región oriental de la Península de Yucatán".

3.- "Sistema de baja presión localizado en el Sur de los E.U.A. ocasionó descenso de la temperatura y nublados con lluvias aisladas en los estados del Norte de la Mesa del Norte y en el estado de

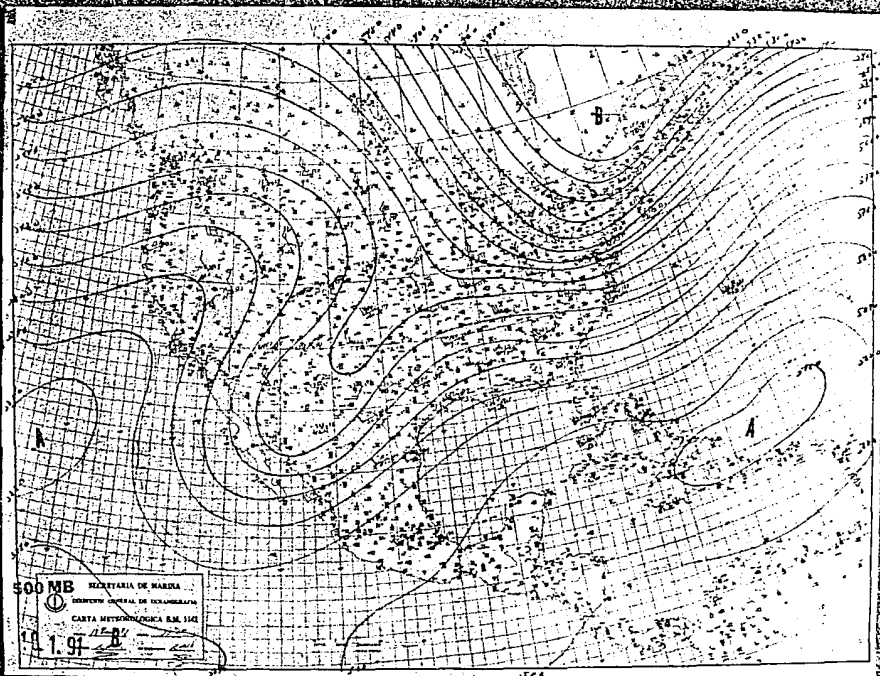


FIGURA No. 51.

Tamaulipas, así como Norte débil en los estados de la vertiente del Golfo de México".

4.- "Temperaturas extremas registradas: máxima de 34°C en Tuxtla Gutiérrez, mínima de -3°C en Chihuahua, Chih. Precipitación de 1 mm en Valladolid, Yuc."

Condiciones meteorológicas a los 5,100 m.s.n.m. (419.5 mb) en el volcán Iztaccíhuatl y su relación con las condiciones macrorregionales.

La velocidad del viento en superficie vuelve a incrementarse, mostrando un valor medio de 23.3 nudos, con componente SW. El viento en la altura, indicado por Cirrus, proviene del NW (figura No. 46), lo que nos indica la presencia de los vientos del Oeste en el nivel de la tropopausa o de la estratósfera. La temperatura media en el Iztaccíhuatl es de menos 4.5°C, la mínima de menos 11°C, con una oscilación térmica de 13°C. Al parecer, la ocurrencia de los vientos del Oeste en la estratósfera junto con el flujo del SW al nivel de los 5,100 m.s.n.m. durante los últimos 3 días coincide con una estabilidad de la temperatura media diaria, un aumento paulatino en la oscilación térmica diaria y una tendencia al descenso de la temperatura mínima en el Iztaccíhuatl. La influencia del centro de baja presión que se localizaba al Norte del país y que ahora se encuentra al Noroeste parece verse inhibida por estos tan potentes y "encontrados" flujos eólicos. No se dispone de la carta meteorológica correspondiente a este día.

20 DE ENERO DE 1991.

Condiciones meteorológicas generales (Boletín del S.M.N.):

1.- "Corriente de vientos máximos en la altura continúa provocando nublados medio y altos en forma aislada sobre los estados del Pacífico Norte y Central, Mesa Central y Región Noreste del país.

2.- "Aire marítimo tropical favorece temperaturas cálidas y cielos despejados a medio nublados en los estados de Guerrero, Oaxaca y Chiapas.

3.- "Masa de aire polar ártica se localiza al Noroeste de los E.U.A. con un frente frío moderado que se localiza sobre los estados de Arizona, Nuevo México y Texas, con movimiento hacia el Sureste".

4.- "Temperaturas extremas registradas: máxima de 35°C en Arriaga, Chis., mínima de -5°C en Tepehuanes, Dgo. Precipitación de 0.2 mm. en Coatzacoalcos, Ver."

Condiciones meteorológicas a los 5,100 m.s.n.m. (419.5 mb) en el volcán Iztaccíhuatl y su relación con las condiciones macrorregionales.

Los vientos observados en el Iztaccíhuatl (figura No. 46), tanto en la altura como en superficie, cambian a componente SE

(procedentes del anticiclón de las Antillas), lo cual parece ocasionar un aumento en las temperaturas media diaria, mínima y máxima (figura No. 43). La velocidad media del viento en superficie desciende considerablemente a 6.8 nudos. El frente frío moderado que se localiza sobre algunos estados del Suroeste de los E.U.A. aún no llega a afectar el centro de México. No se dispone de la carta meteorológica correspondiente a este día.

21 DE ENERO DE 1991.

Condiciones meteorológicas generales (Boletín del S.M.N.):

1.- "Masa de aire polar ártica afecta los estados del Norte y del Golfo de México, ocasionando descenso de temperatura, es acompañada de un frente frío moderado que se encuentra sobre los estados de Chihuahua, Coahuila, Durango, Zacatecas y San Luis Potosí y Sur de Tamaulipas. Sopla Norte moderado con rachas fuertes en Tamaulipas y Veracruz".

2.- "Corriente de vientos máximos en la altura continúa provocando nublados medios y altos, sobre los estados del Pacífico Norte, Mesa del Norte y región Noreste del país. Una baja presión fría se encuentra al Noreste de la Península de Baja California".

3.- "Aire marítimo tropical favorece temperaturas cálidas y cielos de despejado a medio nublado en las porciones media y Sur de los estados del Pacífico".

4.- "Temperaturas extremas: máxima de 35°C en Salina Cruz, Oax.; mínima de -1.0°C en Toluca, Méx."

Condiciones meteorológicas a los 5,100 m.s.n.m. (419.5 mb) en el volcán Iztaccihuatl y su relación con las condiciones macrorregionales.

La figura No. 46 muestra un cambio en la dirección del viento en superficie (ahora con componente NW), con un ligero incremento en la velocidad. No hubo nubes altas que indicaran la dirección de los vientos altos. No dispusimos de la carta meteorológica, la cual nos hubiera ayudado a averiguar si este cambio en la dirección del viento obedeció a factores locales (topografía, convección local, etc.) o si formaba parte de un sistema de mayor escala. La temperatura media diaria continúa manteniéndose cercana a los 0°C. La oscilación térmica y la máxima y la mínima son muy similares a las del día anterior, a pesar del frente frío que afecta el Norte del país y los estados de la vertiente del Golfo de México.

22 DE ENERO DE 1991.

Condiciones meteorológicas generales (Boletín del S.M.N.):

1.- "Masa de aire frío provoca descenso de la temperatura, nublados bajos y lluvias escasas en Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí, Veracruz y Tabasco. Norte de moderado a fuerte en el Golfo de México. Frente frío favorece nublados con lluvias en Quintana Roo".

2.- "La corriente de vientos máximos se debilita y pierde humedad, continúa provocando algunos nublados medios y altos sobre los estados del Pacífico del Norte, Mesa del Norte y región Noreste del país. Una baja presión fría se encuentra al Noroeste de la Península de Baja California".

3.- "Aire marítimo tropical provoca temperaturas cálidas y cielos de despejado a medio nublado en las porciones media y Sur de los estados del Pacífico. así como lluvias ligeras en Chiapas".

4.- "Las temperaturas extremas fueron: máxima de 35°C en Arriaga, Chis.; mínima de -2.0°C en Saltillo, Coah."

Condiciones meteorológicas a los 5,100 m.s.n.m. (419.5 mb) en el volcán Iztaccíhuatl y su relación con las condiciones macrorregionales.

La componente direccional del viento en superficie sigue siendo SE, con una velocidad que no muestra una gran diferencia con respecto a la del día anterior (figura No. 46). El viento en niveles tropopásicos o estratosféricos tiene componente SW. El radiosondeo del aeropuerto de la Ciudad de México (figura No. 52) indica viento proveniente del WSW con velocidad de 20 nudos a los 5,860 m.s.n.m. (muy superior a los 5.8 nudos del viento superficial en el campamento). Al parecer durante este día el flujo laminar en la atmósfera estaba formado por 3 estratos de componente diferente, aunque es posible que la dirección del viento que registramos en el

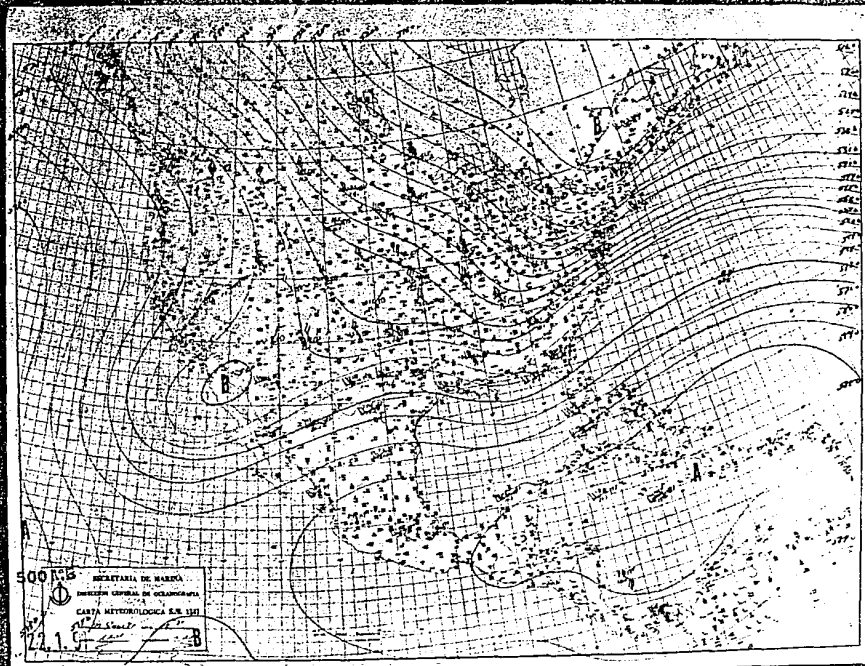


FIGURA No. 52.

campamento haya sufrido desviaciones causadas por la topografía o por otras condiciones locales. La masa de aire frío situada al Noroeste del país sigue sin perturbar la porción central. El debilitamiento de la corriente de vientos máximos concuerda con el descenso en las velocidades de flujo observadas en el Iztaccíhuatl y mediante el radiosondeo del aeropuerto de la Ciudad de México. Las condiciones térmicas en el Iztaccíhuatl manifiestan casi los mismos valores que el día anterior, con excepción de la oscilación diaria, que muestra un ligero descenso (figura No. 43).

23 DE ENERO DE 1991.

Condiciones meteorológicas generales (Boletín del S.M.N.):

1.- "Aire frío provoca temperaturas bajas en la Mesa del Norte, nublados y lluvias ligeras en el Golfo de México y Norte moderado en la porción Sur del litoral."

2.- "La corriente de vientos máximos en la altura ocasiona nublados medios y altos con lluvias ligeras aisladas sobre los estados del Pacífico Norte y Mesa del Norte."

3.- "Aire marítimo tropical ocasiona temperaturas cálidas y cielos despejados a medio nublados en las porciones media y Sur del Pacífico y Península de Yucatán, así como lluvias en Chiapas y Quintana Roo".

4.- "Temperaturas extremas: máxima de 33.0°C en Manzanillo, Col., mínima de -1.0°C en Chihuahua, Chih. Precipitación máxima: 46.9 mm. en Tapachula, Chis."

Condiciones meteorológicas a los 5,100 m.s.n.m. (419.5 mb) en el volcán Iztaccíhuatl y su relación con las condiciones macrorregionales.

En la figura No. 46 podemos ver que el viento en superficie se da simultáneamente con 2 componentes: SW y E, con una velocidad de 5 nudos, similar a la del día anterior. El viento en los niveles tropopáusicos o estratosféricos proviene del NW, indicando la presencia de los vientos del Oeste (Medina, 1994). El flujo eólico bidireccional convergente sugiere el dominio de una fuerte actividad convectiva en las vertientes E y W del Iztaccíhuatl. La figura No. 53 muestra que el viento a 5,860 m.s.n.m. proviene del WSW, con una velocidad de 20 nudos, igual a la del día previo. Las condiciones térmicas expresadas en el radiosondeo del aeropuerto de la Ciudad de México, expresadas en la misma figura, son similares a las del día previo. Las mismas condiciones en el Iztaccíhuatl muestran que la estabilidad térmica también continúa, aunque con un ligero aumento (figura No. 43). La baja presión del Noroeste del país sigue sin afectar la porción central. Los centros de acción y depresiones restantes que se muestran en la figura No. 53 casi no han sufrido modificaciones espaciales.

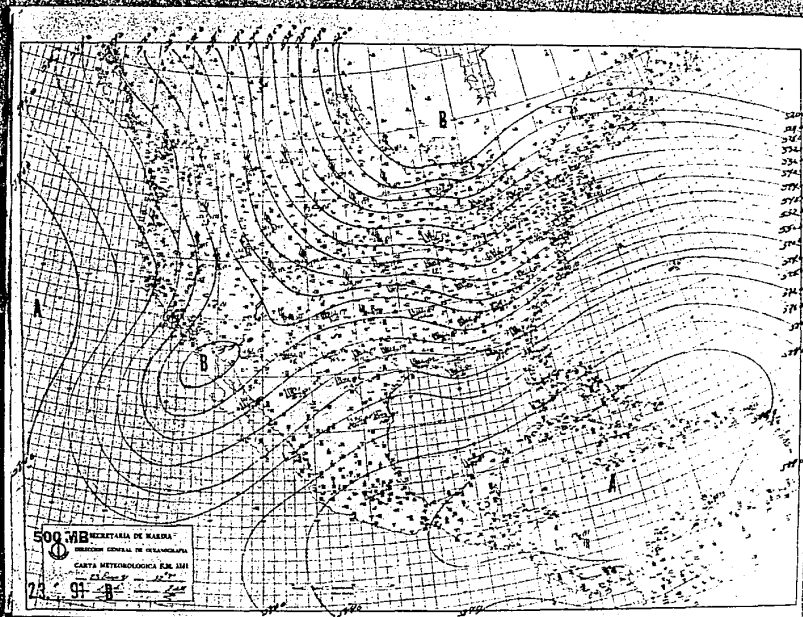


FIGURA No. 53.

24 DE ENERO DE 1991.

Condiciones meteorológicas generales (Boletín del S.M.N.):

1.- "Aire cálido comienza a afectar los estados del Norte, habiéndose observado un ligero ascenso de la temperatura en esta región".

2.- "La corriente de vientos máximos en la altura continúa provocando nublados medios y altos sobre la parte media del Pacífico y Mesa del Norte. También ocasionó lluvias ligeras aisladas sobre el Sur de los estados de Sonora y Baja California Sur".

3.- "Aire marítimo tropical ocasiona temperaturas cálidas y cielos despejados a medio nublados en el Pacífico Sur y en la Península de Yucatán. Además ocasionó lluvias ligeras aisladas en el Golfo de México y en los estados de Quintana Roo y Chiapas".

4.- "Temperaturas extremas: máxima de 34.0°C en Arriaga y Tapachula, Chis.; mínima de -1.0°C en Chihuahua, Chih. Precipitación máxima de 0.4 mm. en Coatzacoalcos, Ver."

Condiciones meteorológicas a los 5,100 m.s.n.m. (419.5 mb) en el volcán Iztaccíhuatl y su relación con las condiciones macrorregionales.

Se repite el flujo bidireccional convergente de viento en el campamento, mostrando componentes W y E, con velocidad de 6.4 nudos, mientras que el viento en los niveles tropopáusicos o estratosféricos cambia a componente SW, tratándose seguramente de la corriente de chorro subtropical. Los datos mencionados se muestran en la figura No. 46. En el mismo lugar, las temperaturas máxima, media y mínima (figura No. 43) descienden alrededor de 1°C (el radiosondeo de la ciudad de México muestra un descenso similar a 5,860 m.s.n.m. - figura No. 54 -), mientras que la oscilación se incrementa en la misma proporción (de hecho, a partir de este día este aumento se mantendrá) lo cual significa que el período de estabilidad continúa. La carta meteorológica (figura 54) indica que el viento sobre la Ciudad de México, proveniente del SW, ha sufrido un ligero aumento en la velocidad, lo cual concuerda con los datos del Iztaccíhuatl. El centro de baja presión que se localizaba al Noroeste del país ha desaparecido. Los sistemas restantes de baja y de alta presión que se expresan en la figura No. 54 no han sufrido cambios sustanciales en su distribución espacial.

25 DE ENERO DE 1991.

Condiciones meteorológicas generales (Boletín del S.M.N.):

1.- "Masa de aire frío afecta con bajas temperaturas al estado de Chihuahua. Vientos moderados del Norte con nublados y lluvias ligeras aisladas en Veracruz".

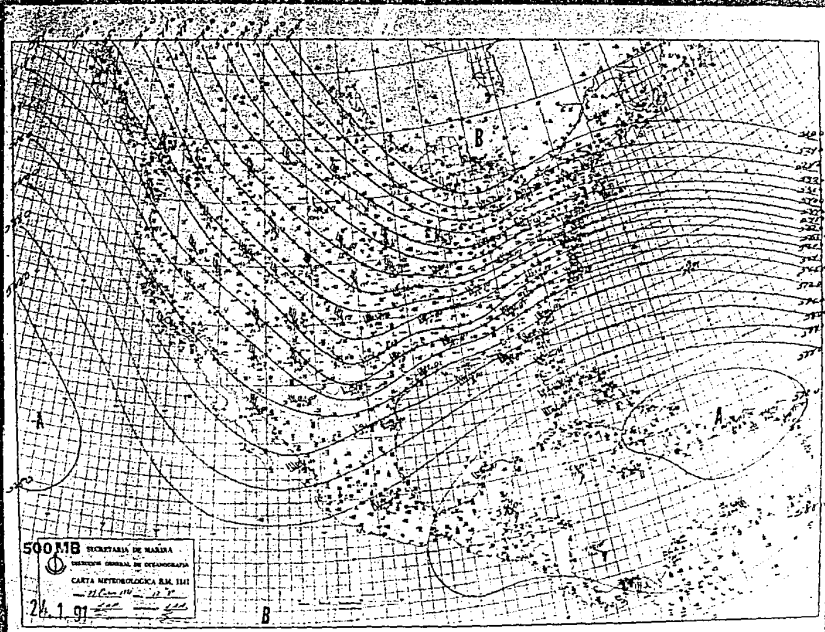


FIGURA No. 54.

2.- "La corriente de vientos máximos en la altura continúa provocando nublados medios y altos con lluvias ligeras aisladas sobre la parte media del Pacífico, Sur de la Mesa del Norte, Mesa Central y estados del Noreste."

3.- "Aire marítimo tropical ocasiona temperaturas cálidas y cielos despejados a medio nublados en el Pacífico , centro y en la Península de Yucatán y lluvias ligeras aisladas en Quintana Roo".

4.- "Las temperaturas extremas fueron: máxima de 35°C en Tuxtla Gutiérrez, Chis. Mínima de -2.0°C en Hidalgo del Parral, Chih.; lluvia máxima de 2.2 mm. en Chetumal, Quintana Roo.

Condiciones meteorológicas a los 5,100 m.s.n.m. (419.5 mb) en el volcán Iztaccíhuatl y su relación con las condiciones macrorregionales.

La figura No. 46 muestra viento en superficie de componente W con una velocidad de 2.7 nudos y viento en los niveles tropopáusicos o estratosféricos es de componente SW, lo cual nos sugiere la influencia de la corriente de chorro subtropical. No dispusimos de la carta meteorológica correspondiente a este día. Los parámetros térmicos cambian poco con respecto al día anterior, observándose solamente un desplazamiento no superior a 1.0°C en sentido positivo, indicando que el período de estabilidad térmica continúa en el campamento. El centro del país sigue bajo la influencia de la corriente de chorro subtropical y de la masa de

aire marítimo tropical, sin que se vea afectado por la masa de aire frío que se localiza al Norte.

26 DE ENERO DE 1991.

Condiciones meteorológicas generales (Boletín del S.M.N.):

1.- "Masa de aire frío provoca temperaturas bajas en los estados de la Mesa del Norte y en los estados del Noreste, nublados, lluvias ligeras aisladas así como Norte moderado en la vertiente del Golfo de México".

2.- "La corriente de vientos máximos en la altura continúa provocando nublados medios y altos sobre la Mesa del Norte, en el Pacífico Norte y sobre el Noreste del país".

3.- "Aire marítimo tropical ocasiona temperaturas cálidas y cielos despejados a medio nublados en el Pacífico centro y Sur y en la porción oriental de la Península de Yucatán".

4.- "Frente frío débil y masa de aire frío al Sur de los E.U.A. ocasiona nublados con lluvias ligeras aisladas y se desplaza lentamente hacia el Sureste".

5.- "Temperaturas extremas registradas: máxima de 33.0°C en Cd. Guzmán, Jal.; mínima de -4.0°C en Tepehuanes, Dgo.; precipitación máxima de 10.6 mm. en Villahermosa, Tab."

Condiciones meteorológicas a los 5,100 m.s.n.m. (419.5 mb) en el volcán Iztaccíhuatl y su relación con las condiciones macrorregionales.

Como podemos ver en la figura No. 46, el viento en superficie medido en el campamento ha cambiado a componente SW, registrando un pequeño aumento en la velocidad. Desde el mismo lugar, el viento observado en la tropopausa o estratósfera cambia a componente NW, lo cual nos indicaría una influencia de los vientos del Oeste. La figura No. 43 nos muestra un pequeño descenso en las temperaturas media y mínima, aunque la máxima es igual a la del día previo, lo cual se traduce en un aumento de 2°C en la oscilación térmica. Pese a la influencia de aire marítimo tropical sobre la región central de la República, la presencia de los vientos del Oeste en los niveles altos y la masa de aire frío que se manifiesta en el Norte y en los estados del Golfo de México parecen provocar los descensos de temperatura referidos.

27 DE ENERO DE 1991.

Condiciones meteorológicas generales (Boletín del S.M.N.):

1.- "La masa de aire frío se ha desplazado hacia el Golfo de México y continúa provocando temperaturas ligeramente bajas en la Mesa del Norte y estados del Noreste; además, un frente estacionario al Norte de la Península de Yucatán ocasiona nublados con lluvias ligeras aisladas en la Mesa Central y en el litoral del Golfo de

México, donde se presenta Norte moderado".

2.- "La corriente de vientos máximos en la altura continúa provocando nublados medios y altos sobre la Mesa del Norte, el Pacífico Norte y en el Noreste del país".

3.- "Aire marítimo tropical ocasiona temperaturas cálidas y cielos de despejado a medio nublado en el Pacífico Centro y Sur, así como en la porción oriental de la Península de Yucatán".

4.- "Masa de aire frío en el Suroeste de los Estados Unidos se mueve hacia la región Norte del país".

5.- "Temperaturas extremas registradas: máxima de 33.0°C en Tapachula y Arriaga, Chis.; mínima de -2.0°C en Chihuahua, Chih.; Precipitación máxima de 6.0 mm. en Morelia, Mich."

Condiciones meteorológicas a los 5,100 m.s.n.m. (419.5 mb) en el volcán Iztaccíhuatl y su relación con las condiciones macrorregionales.

Las componentes direccionales de los vientos, tanto en superficie como en los niveles tropopáusicos o estratosféricos observados en y desde el campamento se mantienen iguales (SW y NW, respectivamente). En el mismo lugar, la velocidad del flujo superficial se duplica con respecto a la del día anterior (figura No. 46), por lo que parece aumentar el poder y la influencia de la

masa de aire marítimo tropical sobre el Iztaccíhuatl. Las condiciones térmicas siguen mostrando la continuación del período de estabilidad. Sin embargo, de las 20:50 a las 21:40 hrs. ocurre una pequeña precipitación en forma de nieve, cubriendo la superficie del volcán ubicada sobre la cota de los 4,800 m.s.n.m., con una capa de aproximadamente 3 cm. de espesor. Al parecer, la masa de aire frío que se ha desplazado hacia el Golfo de México ha logrado penetrar en el centro del país. Esta situación, aunada a la presencia de los vientos registrados en el campamento, provocan las precipitaciones citadas. No dispusimos de la carta meteorológica correspondiente a este día.

28 DE ENERO DE 1991.

Condiciones meteorológicas generales (Boletín del S.M.N.):

1.- "La corriente de vientos máximos en la altura ocasiona nublados medios y altos en los estados del Norte y porción norte de la Mesa Central".

2.- "La masa de aire frío se ha desplazado hacia el Golfo de México y el frente frío se encuentra en etapa de disipación sobre el centro del mismo golfo. Ocasionan nublados con lluvias ligeras aisladas en el litoral del Golfo de México".

3.- "Aire marítimo tropical ocasiona temperaturas cálidas y cielos de despejados a medio nublados en la mayor parte del litoral del

Pacífico, Sur de la Mesa Central y Península de Yucatán. Se registraron lluvias moderadas en el Valle de México".

4.- "Temperaturas extremas: máxima de 34°C en Tapachula y en Tuxtla Gutiérrez, Chis. y en Salina Cruz, Oax.; mínima de 1.0°C en Toluca, Méx."

Condiciones meteorológicas a los 5,100 m.s.n.m. (419.5 mb) en el volcán Iztaccíhuatl y su relación con las condiciones macrorregionales.

La figura No. 46 muestra que la dirección del viento en superficie y en la altura observadas en el campamento mantienen sus componentes (SW y NW, respectivamente). La velocidad del viento en superficie se ha duplicado con respecto a la del día previo, mostrando un valor de 13.8 nudos, mientras que el radiosondeo de la ciudad de México indica una velocidad de 30 nudos a los 5,890 m.s.n.m., con la misma componente que la del viento en superficie registrada en el Iztaccíhuatl. En este lugar, la temperatura (figura No. 43) sufre el mayor descenso registrado durante el muestreo: la mínima absoluta alcanza los -15°C durante la madrugada, la temperatura media desciende 5°C hasta alcanzar los -5°C, y la temperatura máxima desciende 3°C, lo cual se traduce en el tercer valor más alto de oscilación térmica diaria obtenido durante el muestreo: 20°C (el primero se registró el 14 y el segundo el 30 de enero). Esta situación se vió favorecida por la masa de aire frío que se manifestó sobre el centro de México con

mayor fuerza durante la noche transcurrida entre el 27 y el 28 de enero, al aumento de la velocidad del viento de componente SW (proveniente del Pacífico) con el consiguiente aporte de humedad y a la presencia de los vientos del Oeste en la altura (figura No. 55).

29 DE ENERO DE 1991.

Condiciones meteorológicas generales (Boletín del S.M.N.):

1.- "La corriente de viento máximos en la altura ocasiona nublados medios y altos en los estados del Norte y Norte de la Mesa Central".

2.- "Aire marítimo tropical ocasiona temperaturas cálidas y cielos de despejado a medio nublado en el resto del país".

3.- "Temperaturas extremas: máxima de 35°C en Tuxtla Gutiérrez, Chis.; mínima de 0.0°C en Toluca, Méx."

Durante este día no se realizaron observaciones en el campamento.

Condiciones generales del centro del país.

La carta meteorológica (figura No. 56) muestra que el viento a los 5,860 m.s.n.m. mantiene su componente SW con una velocidad de 30 nudos sobre la Ciudad de México. La temperatura ambiente indicada por este radiosondeo muestra un ascenso hasta los -7.5°C.

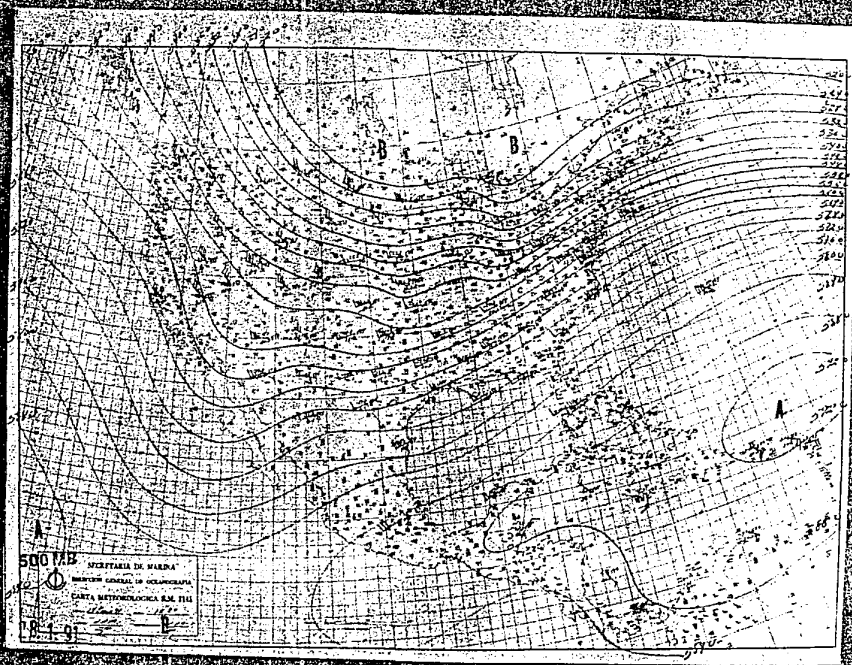


FIGURA No. 55.

Los sistemas ciclónicos y anticiclónicos representados en esta carta siguen manteniendo su posición general.

30 DE ENERO DE 1991.

Condiciones meteorológicas generales (Boletín del S.M.N.):

1.- "Frente frío asociado localizado sobre el extremo Norte del país con una masa de aire polar, ocasionan bajas temperaturas. Se registraron lluvias escasas en algunos lugares de Chihuahua y Nuevo León".

2.- "La corriente de vientos máximos en la altura se desplaza hacia el Noreste y ocasiona escasos nublados medios y altos en los estados de la Mesa del Norte y en el Norte del Golfo de México".

3.- "Aire marítimo tropical ocasiona temperaturas cálidas y cielos de despejado a medio nublados en el resto del país".

4.- "Temperaturas extremas: máxima de 36°C en Tuxtla Gutiérrez, Chis.; mínima de -5°C en Temosáchic, Chih. Lluvia máxima inapreciable en Veracruz, Ver."

Condiciones meteorológicas a los 5,100 m.s.n.m. (419.5 mb) en el volcán Iztaccíhuatl y su relación con las condiciones macrorregionales.

En la figura No. 46 podemos observar que la dirección del viento en superficie mantiene su componente SW, aunque su velocidad ha disminuído considerablemente a 3.1 nudos, muy por debajo de los 30 nudos registrados por el radiosondeo de la ciudad de México a los 5,870 m.s.n.m. (figura No. 57), con la misma componente direccional que el viento en superficie del Iztaccíhuatl. En este lugar no hubo nubes que indicaran la dirección del viento en la altura. La temperatura ambiente del radiosondeo muestra un aumento, al igual que en el Iztaccíhuatl (figura No. 43), donde asciende 10.7°C con respecto al valor previo hasta alcanzar los 5.75°C. En el mismo lugar, la máxima alcanza los 20°C y la mínima se aproxima al valor medio del muestreo, ascendiendo a -8.5°C. Esto se traduce en la máxima oscilación diaria obtenida: 28.5°C. Es evidente que la masa de aire marítimo tropical proveniente del SW está determinando las condiciones del centro del país y que el frente frío asociado a la masa de aire polar que se localiza en el Norte del mismo no logra influir sobre su porción central.

CONCLUSIONES PRELIMINARES.

Se observa una correlación importante entre los datos obtenidos en el Iztaccíhuatl y el estado sinóptico que muestran las cartas meteorológicas. Generalmente, las fluctuaciones de temperatura ocurren de manera paralela en dicho volcán a los 5,100 m.s.n.m. y sobre la Ciudad de México a aproximadamente 5,840 m. de altitud. Lo mismo ocurre con la dirección y la velocidad del viento.

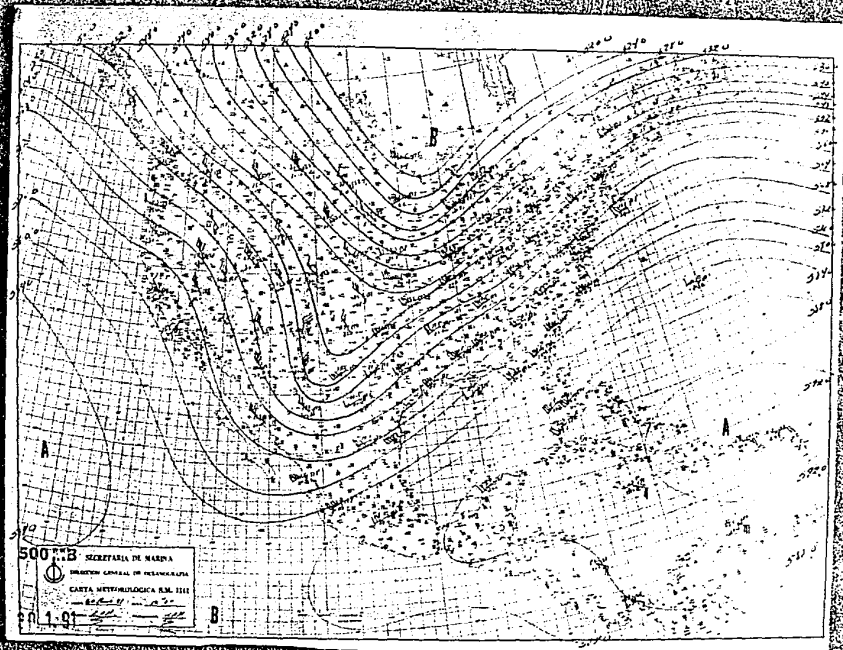


FIGURA No. 57

CAPITULO V

CONCLUSIONES

La principal aportación del presente estudio está dirigida a los procesos radiativos de la banda ultravioleta, habiendo sido posible establecer algunas de sus características cuando se da en niveles altos con atmósfera relativamente limpia (volcán Iztaccíhuatl) y su comparación a niveles medios sobre el nivel de mar con atmósfera contaminada (Ciudad de México) y a niveles bajos con atmósfera limpia (Ciudad de Colima), aunque no pertenecen a los mismos períodos de observación.

Resulta notable el hecho de que la capa de smog fotoquímico de la Ciudad de México absorba un 38.84 % de la irradiación ultravioleta durante el invierno. Durante el verano, la dispersión de contaminantes es mayor y la declinación solar positiva, por lo que la cantidad de energía en esta ventana (280 - 320 nm) es considerablemente mayor. Hay que aclarar que, para llegar a esta conclusión, solamente se consideraron 15 días de datos obtenidos en el Iztaccíhuatl, lo cual constituye un período relativamente corto para emitir conclusiones definitivas. Sin embargo, es comprobado el hecho de que la irradiación ultravioleta interactúa en la tropósfera urbana en reacciones fotoquímicas generando ozono y extinguiéndose. La ausencia de otros estudios similares a éste le confieren cierta importancia.

Con respecto a las observaciones realizadas en el artículo de Galindo et al. (1994), se desprende que la mayor irradiación ultravioleta en superficie sobre la Ciudad de Colima con respecto a la Ciudad de México, se debe básicamente a la limpieza de la atmósfera de la primera (aproximadamente 31 %), por lo que podemos concluir de manera indirecta que los contaminantes de la Ciudad de Mexico juegan un papel modulador tan importante como la nubosidad para la irradiación de onda corta.

En lo que se refiere a las formas nubosas Altostratus, Altocumulus y Cirrus que, en el mismo orden decreciente atenuaron la irradiación ultravioleta en el Iztaccíhuatl y en el estudio efectuado por Kalitin (1986) para irradiación global, se considera posible que en ambos casos el orden de atenuación por parte de dichas nubes sea el mismo debido a que el orden de densidad media de cada una de ellas también sea el mismo.

La disminución que sufrió la irradiación ultravioleta por parte de las nubes podría explicarse de la siguiente manera: El radio aproximado de las partículas de agua y de las partículas sólidas que pudieron haberse presentado en las nubes es de 300 nm (aproximadamente la misma longitud de onda de la irradiación medida). Esta característica haría posible que dichas partículas dispersaran la irradiación ultravioleta, restando energía a la radiación incidente de la misma banda (Leyva, 1994). Por lo tanto, es posible que las micropartículas de las nubes hayan realizado un efecto de "pantalla" al constituir una masa de mayor densidad que

la de la atmósfera libre de nubes, produciendo un efecto de atenuación por dispersión (Galindo, 1994; Valdés, 1994).

A partir del estudio meteorológico que no incluye la irradiación solar podemos establecer que las condiciones meteorológicas en el Iztaccíhuatl sufren generalmente las mismas variaciones que se registran mediante el radiosondeo del aeropuerto de la Ciudad de México, y que las velocidades y componentes direccionales de viento de ambos lugares son parecidas. Durante el período de muestreo, el Iztaccíhuatl solamente se vió sometido a la influencia directa de un frente frío durante un lapso de unas cuantas horas. Ninguna masa de aire polar llegó a afectar en mayor medida y por períodos largos al Iztaccíhuatl. Los vientos en superficie captados en el mismo lugar fueron, en su mayoría, del SW, SSW ú W, provocando condiciones de estabilidad térmica, e impidiendo períodos largos de bajas temperaturas, pues procedían del Océano Pacífico. Sin embargo, también se registraron vientos con la misma componente y con velocidades altas que llegaron a provocar descenso de la temperatura, lo cual nos sugiere la presencia de la corriente de chorro subtropical, en especial durante los primeros 3 días. Se observó el predominio de los vientos del Oeste en la tropopausa. En ocasiones la actividad convectiva era intensa, dadas las condiciones de transparencia atmosférica que provocaban sobrecalentamientos rápidos de la superficie. El perfil vertical de las componentes direccionales de los vientos fué complejo, tal como lo describe Grandoso, ya que se registraron simultáneamente en los diferentes estratos

troposféricos y tropopáusico-estratosféricos hasta 3 componentes, situación posiblemente determinada por las interrelaciones entre las circulaciones local (relieve, convección, etc.), regional (frentes, masas de aire marítimo o continental, etc.) y general (vientos del Oeste, corriente de chorro subtropical, etc.).

El resultado de las observaciones plantea la posibilidad de que los vientos catabáticos de la Cuenca de México transporten contaminantes generados en la Zona Metropolitana de la misma ciudad hasta el Iztaccíhuatl. Esto debería motivar realización de un estudio interdisciplinario comparativo entre la atmósfera de la Ciudad de México y la del Iztaccíhuatl basado en mediciones de ozono, irradiación solar ultravioleta y determinación de la profundidad óptica del aerosol mediante sistemas de registro automático de datos. Si a dicho estudio se anadiera la interpretación de los radiosondeos diarios del aeropuerto de la Ciudad de México (de esta manera se localizarían los niveles de inversión), se obtendría información que ayudaría bastante para la elaboración de un perfil radiativo de la cuenca de México, en el cual los aspectos de circulación local estarían contemplados. Todas las aportaciones al conocimiento de la dinámicas radiativa y atmosférica de la cuenca de México pueden ser útiles para incrementar y optimizar el combate contra la contaminación.

Los niveles máximos de irradiación ultravioleta en el Iztaccíhuatl pueden alcanzar niveles notablemente altos (tan solo un 15% inferiores a su valor correspondiente de la constante

solar). Durante el verano, bajo cielo despejado, estos niveles serán aún mayores. Por lo tanto, los deportistas que ascienden con frecuencia a montañas que sobrepasan los 5,000 m. de altitud situadas a latitudes tropicales o intertropicales se encuentran expuestos a dosis muy elevadas de esta irradiación, en especial aquellos que realizan estancias prolongadas a dichas cotas. Es necesario sugerir a estos montañistas que utilicen protectores solares y anteojos adecuados a las condiciones referidas.

BIBLIOGRAFIA

AYLLON T; GUTIERREZ A. Introducción a la observación meteorológica. Ed. Limusa. México, D.F., 1979.

BALLESTINI I PONS. "Los agujeros del diablo". Medicina de Montana. Serie Congresos 3. Vitoria-Gasteiz, 1984, p.379-380.

CALOCA M., Víctor, GALINDO E. Ignacio, FRENK, Silvestre. "Aspectos biometeorológicos en el raquitismo carencial". Archivos de Investigación Médica, vol. 4, No. 2. México, D.F., 1973.

COULSON, Kinsell. Solar and terrestrial radiation. Asoc. Press. New York, 1975, p. 142-157.

CHAMEIDES, T. "Dynamics of the antropogenic aerosols". Atmospheric Ozone 1988. World Meteorological Organization. P. 1249-1260.

DELGADO G., Hugo. "Los glaciares del Popocatépetl y del Iztaccíhuatl". Comunicaciones Técnicas. Instituto de Geofísica, UNAM, No. 31, 1986.

DELGADO G., Hugo. "Los glaciares de México. Metodologías para su estudio". Comunicaciones Técnicas., Instituto de Geofísica, UNAM, No. 7, 1986.

DYHRENFURTH, N. C. "Six to the summit". National Geographic Magazine. October, 1963. P. 132-140.

ESCOURROU, P. "A mission of climatological and human biometeorological studies in high mountain: Jungfrauoch, Switzerland". International Journal of Biometeorology. Vol. 34, Nr. 3. P. 204-209.

FINLAYSON, Barbara. Atmospheric chemistry: fundamental and experimental techniques. Wiley-Interscience, 1986. Chapters 1, 2, 3 and 4.

FLORES H., Ricardo. "Efectos adversos de diversos tipos de radiación lumínica en el ojo". Reporte interno. Universidad de Guanajuato, 1991, 9 pp.

GALINDO E., Ignacio. 1991-1994, comunicaciones personales.

GALINDO E., Ignacio. "Análisis de la insolación recibida durante el Año Geofísico Internacional en la Ciudad de México". Anales del Instituto de Geofísica, UNAM, 6:79, 1960.

GALINDO, I. y MUHLIA, A. "Contribution to the turbidity problem in Mexico City". Arch. Met. Geoph. B. Serie 8, 1970.

GALINDO E., Ignacio. "Evaluation of the impact of some atmospheric elements on health". Comunicaciones Técnicas, serie Investigación, No. 94. Instituto de Geofísica, UNAM, 1988.

GALINDO E., Ignacio. Die physikalische und mathematische Analyse der Aktinometrie. Basel Universität, 1972. Tesis doctoral.

GALINDO, I., FRENK, S. and BRAVO, H. "Ultraviolet irradiance over Mexico City". Env. a Journal of Air and Waste Management, 1994.

GRANDOSO, Héctor. "Campos medios de altura en los trópicos".

GARCIA de M., Enriqueta. Apuntes de climatología. Offset Larios. México, D.F., 1989.

INEGI. Carta topográfica escala 1:50,000 E14B42 (Huejotzingo), 1982.

KENT and YUE. "Dynamics of the stratospheric aerosols".
Journal of Geophysical Research, August 1990.

KOEPPEN, W. Climatología. Con un estudio de los climas de la
tierra. Fondo de Cultura Económica. México, D.F., 1948.

KUHN and RAU. "U.V. irradiance over the Antarctic plateau".
Journal of Geophysical Research. August 1989. P. 361-377.

LEYVA, Amado. 1994, comunicación personal.

LORENZO, José Luis. "Los glaciares de México". Anales del
Instituto de Geofísica, UNAM, 1964.

MEDINA, Alfonso. 1994, comunicación personal.

MELLANO, Andrea. La técnica del alpinismo. Ed. RM. Barcelona,
1980.

MILLER M., M. "Glaciology of the Khumbu glacier and Mount
Everest". National Geographic Research Reports 1961-1962.
Washington, D.C., 1970. P. 153-165.

MOSINO, Pedro. 1992, comunicación personal.

MUHLIA, Agustín. 1994, comunicación personal.

PENKETT, Stuart. "Ultraviolet levels down not up". Nature,
vol. 341, September 1989. P. 36.

RANE T., A. "Radiación ionizante en el alpinismo de altura".
Medicina de Montana, serie Congresos, No. 3 Vitoria-Gasteiz, 1984.
P. 381-389.

ROBINSON, Nathan. Solar radiation. Asoc. Press. New York,
1979. P. 11.

RYERSON C., C. "Atmospheric icing climatologies of two New England mountains". Journal of Applied Meteorology, vol. 27, Nr. 11, 1988. P. 1261-1281.

STAIR, R. and NADER, J.S. "Pilot study of ultraviolet radiation in Los Angeles, October 1965". Ed. National Center of Air Pollution Control. Los Angeles, 1967.

STOLARSKI, Richard. "The Antarctic ozone hole". Scientific American, vol. 258, Nr. 1. March 1988.

THOMPSON L., MORALES A., B. "Registros de la corriente septentrional del Nino en la estratigrafia del glaciar Quelcaya del Perú". Revista Peruana de Andinismo y Glaciología, No. 15, año XXXV, 1987. P. 11-16.

TORRES, Ricardo. 1994, comunicación personal.

VALDES, Mauro. 1994, comunicación personal.

VASYLYEV, Oleg. 1992, comunicación personal.



FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA