



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
División de Estudios de Posgrado

"CARACTERIZACION DE LOS FLUJOS RADIA-
CIONALES DE ENTRADA Y DE SUS VARIACIONES
TEMPORALES EN LA CIUDAD DE MEXICO"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
DOCTOR EN GEOGRAFIA
P R E S E N T A:

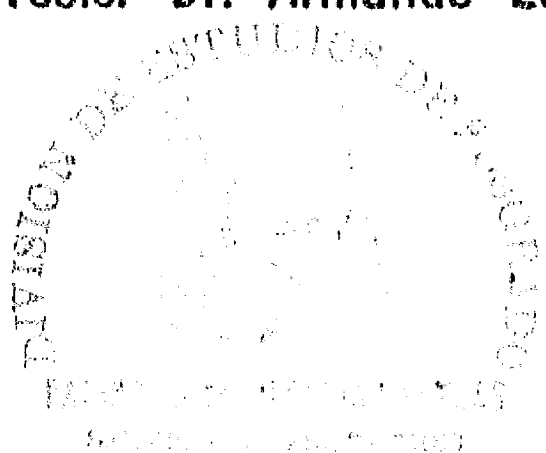
M. en G. MAURO GERMAN VALDES BARRON

Director de Tesis: Dr. Armando Leyva C.

México, D. F.

1996

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

"CARACTERIZACIÓN DE LOS FLUJOS RADIACIONALES DE ENTRADA Y DE SUS VARIACIONES TEMPORALES EN LA CIUDAD DE MEXICO"

M. en G. Mauro German Valdés Barrón

Se rescatan y validan los diferentes parámetros meteorológicos que se monitorean continuamente en el Observatorio de Radiación Solar del Instituto de Geofísica (irradiación solar global, irradiación solar difusa, insolación, temperatura ambiente en superficie y humedad relativa), durante el período comprendido entre Enero de 1967 y Diciembre de 1994. Por lo que respecta al análisis de las series, existen básicamente dos tipos de comportamientos, el primero en los que las variaciones de un año a otro no van más allá de 1/2 desviación estándar, el cual podríamos llamar una variación anual normal, pero existe otro, en donde la variabilidad de los parámetros es mayor a 1 desviación estándar y está influenciada por fenómenos que actúan sobre éstos en tres escalas espaciales y temporales diferentes: a) fenómenos meteorológicos locales; b) fenómenos meteorológicos a escala sinóptica y c) fenómenos extraatmosféricos. De los tres tipos de fenómenos que intervienen, según su escala en la climatología general de los parámetros analizados, es imposible discernir cuál es el de mayor importancia; pero se describe la influencia que ejerce cada uno de ellos en las series aquí presentadas. Por lo que respecta a la distribución de flujos de radiación solar, podemos mencionar que en condiciones de cielo completamente despejado, la energía absorbida y la energía dispersada hacia el espacio exterior (esparcimiento) por parte del sistema de aerosoles y gases, es mayor que la irradiación solar difusa (medida en superficie), lo que permite reafirmar, que cada vez más, la calidad y cantidad de la radiación solar, esta siendo afectada por el mencionado sistema.

CHARACTERIZATION OF THE INFLUX OF SOLAR RADIATION AND ITS TEMPORAL VARIATIONS BEHAVIOUR IN MEXICO CITY

Abstract

Recorded continuous data of components of solar radiation, insolation, ambient surface temperature and relative humidity captured by the Solar Observatory of the Geophysical Institute, from the National University of Mexico at Mexico City, during the period January 1967 through December 1994, were recovered, validated and statistically analyzed with regards to their temporal behavior and trend. The time series analysis performed to the data shows the presence of two characteristic patterns depending on the standard deviation of the trend variation. When the variation was within a half of the standard deviation, the behavior of the data could be expressed as a normal annual variation. Nevertheless, when the variation of the data was greater than one standard deviation, the behaviour could be associated to three different spatial and temporal phenomena: 1) local meteorological phenomena; 2) synoptical meteorological phenomena, and 3) extra-atmospheric phenomena. Although several attempts were made to discern which of these phenomena had the greater influence in the occurrence of the variations found, it was not possible to assign a relation with any of them. The results of the research confirm that, the flux distribution of solar radiation is being affected in its magnitude by the presence of aerosols and atmospheric gases. It was found that the energy absorbed and the energy scattered to the outlet space by this atmospheric system was larger than the solar diffuse radiation (diffuse energy), as measured at the surface level.

Este trabajo se realizó con el apoyo financiero del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, a través de la beca No. 88435.

Agradecimientos:

A todas las personas que colaboraron en el desarrollo y revisión de este trabajo:

Dra. Marta Cervantes R.
Dra. Laura E. Maderey R.
Dra. Teresa Reyna T.
Dr. Juan Carlos Gómez R.
Dr. Ramón Sierra M.

muy especialmente a los Doctores Amando Leyva C. y Agustín Muhlía V., por sus comentarios, correcciones y amistad, durante los últimos diez años.

Al personal del Observatorio de Radiación Solar del Instituto de Geofísica de la UNAM, por su trabajo, sin el cual no habría sido posible la elaboración de esta tesis.

En general a todos los que cotidianamente enriquecen mi trabajo y mi vida.

INDICE

INTRODUCCION.

CAPITULO I..... 1

La energía.
La Zona Metropolitana de la Ciudad de México.
El monitoreo de la radiación solar.
La radiación solar y el balance de energía en la ZMCM.
Planteamiento del problema.

CAPITULO II.....13

El Observatorio de Radiación Solar (ORS).
Los datos.
Radiación solar.
Radiación solar global.
Radiación solar difusa.
Radiación solar directa.
Radiación ultravioleta.
Radiación de onda larga (atmosférica).
Insolación.
Temperatura y humedad relativa.

CAPITULO III..... 30

Validación de la información.

CAPITULO IV..... 45

Análisis de la información.
Ciclos estacionales.
Variaciones (fluctuaciones).
Tendencias.
Discusión.

CONCLUSIONES.

BIBLIOGRAFIA.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento de los núcleos de población, ya sea planificado o anárquico, conlleva en menor o mayor medida una alteración del ambiente en todos sus componentes: suelo, agua, vegetación, fauna, aire y clima. En el caso específico de la Ciudad de México, cada uno de estos elementos han sido modificados de tal manera, que la misma población se encuentra, en la mayoría de los casos (por no decir en todos), en peligro de enfrentar consecuencias de alto grado de afectación en salud y nivel de vida.

La contaminación del suelo por derrames de hidrocarburos y rellenos sanitarios, no sólo lo ha dejado inservible para muchos propósitos agrícolas o de reforestación, sino también ha alcanzado los mantos freáticos; la vegetación, debido al crecimiento de la ciudad ha sido arrasada junto con su fauna natural. Por otro lado, el crecimiento poblacional y de actividades económicas, ha aumentado el flujo de contaminantes a la atmósfera. Todas estas alteraciones modifican necesariamente el comportamiento de los elementos del clima.

Los estudios existentes sobre variabilidad y tendencias climáticas en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), son muchos y muy variados, pero pocos de ellos versan

sobre las alteraciones de los flujos de energía que, como se sabe, son la base de alimentación de los fenómenos meteorológicos y de la intensidad de los mismos.

En especial, para explicar variaciones y/o tendencias climáticas, es fundamental estudiar el balance de energía, sobre todo en ciudades con un alto grado de crecimiento y contaminación. Sin embargo llevar a cabo este tipo de estudios es demasiado costoso y sólo pueden monitorearse algunas componentes del balance energético. Ante tal situación deben de buscarse alternativas que nos ayuden a comprender de alguna manera el comportamiento de los flujos de radiación solar en la atmósfera.

A este respecto, el Observatorio de Radiación Solar del Instituto de Geofísica, cuenta con más de 25 años de llevar a cabo mediciones de radiación solar en sus diferentes componentes: global, difusa y directa, así como de temperatura ambiente, humedad relativa e insolación. En el presente trabajo se plantean como objetivos, los siguientes:

Objetivo.

Principal: Evaluar el comportamiento temporal (características, alteraciones y tendencias) de los diferentes parámetros monitoreados en el Observatorio de Radiación Solar.

Objetivos secundario:

a) Estimar la influencia del sistema de aerosoles y gases en una atmósfera urbana (Zona Metropolitana de la Ciudad de México), en la distribución de los diferentes flujos radiacionales monitoreados en el Observatorio de Radiación Solar.

b) Rescatar y validar la información de los diferentes componentes de la radiación solar, temperatura ambiente y de humedad relativa, monitoreados en el Observatorio de Radiación Solar.

Hipótesis.

El incremento de contaminantes en la atmósfera de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, ha repercutido en la calidad del aire, por lo que también la calidad de los flujos radiacionales ha sido modificada.

Breve descripción del trabajo.

Capítulo I. Durante el desarrollo de este capítulo, se hace una introducción al tema del balance energético, de los diferentes trabajos que giran alrededor del clima y de la energía solar en la ZMCM, del monitoreo de la radiación solar como fuente principal de energía y se realiza el planteamiento del problema.

Capítulo II. Se describe brevemente que es el Observatorio de Radiación Solar, así como los parámetros que se monitorean y el alcance de las series a analizar.

Capítulo III. En este capítulo se describen los procesos que se llevaron a cabo para validar las diferentes series de información utilizadas.

Capítulo IV. Como último capítulo, contiene el análisis de la información y la discusión de la misma.

Al final del trabajo se encuentran las **conclusiones** y la **bibliografía** consultada.

CAPITULO I

La energía.

Las diferentes actividades desarrolladas por el hombre desde sus inicios como "ser racional", han provocado las más de las veces una marcada alteración del medio, cambiándolo (minería a cielo abierto, complejos industriales, urbanización, etc.) y contaminándolo (derrames petroleros, residuos industriales, residuos urbanos, etc.).

Cada una de estas alteraciones tiene una manifestación concreta, ya sea en la deforestación de grandes zonas, la inyección de contaminantes a la atmósfera, al suelo o al agua, el aumento en la cantidad de los llamados "gases de invernadero", la disminución del grosor de la capa de ozono estratosférico o la desaparición de especies vegetales y animales.

Todas estas manifestaciones tienen una implicación directa en el llamado calentamiento global y por lo tanto en la generación de un cambio del clima planetario.

Si tomamos en cuenta que el sol es la fuente de energía que de manera directa o indirecta alimenta la vida en nuestro planeta y es el sustento energético de todos los fenómenos meteorológicos,

es conveniente estudiar el cambio climático en función de la distribución de energía, tanto de onda larga como de onda corta, en el sistema atmósfera-oceano-continentes, ya que es evidente que, de haber un aumento de la temperatura, el balance energético natural debe haberse alterado también.

En las zonas urbanas deben buscarse alteraciones más notables del balance energético, ya que en ellas se encuentran las fuentes más importantes de gases de invernadero, a lo que se une la presencia de grandes cantidades de partículas aerosólicas en la atmósfera, la falta de áreas verdes, la generación de calor por actividades humanas y la concentración de grandes estructuras que alteran el balance térmico y las corrientes de los vientos locales. Por lo tanto es en las grandes ciudades donde se crea un laboratorio para estudiar el comportamiento de los diferentes flujos de energía presentes, en condiciones de un alto desarrollo industrial y urbano en general.

De cualquier manera, no puede dudarse que en las ciudades el conocimiento del comportamiento de los diferentes flujos de energía que existen en ese sistema es de vital importancia, ya que como se mencionó, es en estos sitios, donde las concentraciones de partículas aerosólicas son mayores, donde la presencia de una gran gama de materiales conforman una superficie totalmente heterogénea que absorbe y emite radiación, donde los

edificios reflejan radiación y además alteran la circulación natural de los vientos, donde un inmenso número de aparatos electrodomésticos generan calor y donde las industrias y los vehículos producen grandes cantidades de contaminantes que alteran drásticamente el comportamiento energético de la radiación solar.

Sin embargo, eso no significa que los fenómenos meteorológicos sigan siendo, aún en ciudades tan grandes y populosas como la Ciudad de México, los que determinen en una gran proporción las características ambientales. Así, en las ciudades, como en cualquier lugar del planeta, la energía proveniente del sol calentará su superficie y ésta a su vez, la atmósfera para producir corrientes convectivas que dispersarán a lo largo del día los contaminantes generados y provocará que los vientos que corren en superficie también dispersen y trasladen dichos contaminantes. Lo que hay que señalar es que, debido a la influencia antropogénica, estos fenómenos ocurren de manera más crítica, acercándose al estado de equilibrio inestable, lo que lo hace motivo de preocupación social.

De lo anterior podemos concluir que el conocimiento del comportamiento de los diferentes flujos de energía que pueden medirse en superficie, es el primer paso para poder realizar no solamente un balance de energía, sino también para llegar a crear

modelos predictivos que auxilien en la toma de decisiones con respecto a los problemas atmosféricos con los que se enfrentan las grandes concentraciones humanas.

La Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

La Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) es en la actualidad la zona urbana más poblada del mundo, con todas las consecuencias que esto conlleva, sobre todo en lo referente a la contaminación ambiental, la cual durante todo el año se hace presente, acentuándose las altas concentraciones cerca de la superficie durante los meses de invierno.

Los estudios meteorológicos y climatológicos de la ZMCM, son muchos y muy variados; todos ellos tienden al conocimiento de las condiciones atmosféricas predominantes en dicha zona, y abarcan una considerable cantidad de temas como son la climatología de la zona (García 1968, Jauregui 1971, Jauregui 1975, Cruz 1976, Gómez Rojas 1989, Ruiz 1994), la descripción y estudio de la isla de calor (Jauregui 1987, Gómez 1993, Ruiz 1994), y las anomalías en la precipitación (Jauregui 1974, Maderey 1980, García 1981, Ruiz 1994), también hay trabajos que analizan la temperatura y la humedad al mismo tiempo (Rubí 1991, Alvarez 1992), estudios sobre vientos y consecuencias de los mismos (Luyando 1991, Jauregui 1992), climatología, meteorología y contaminación ambiental

(Bravo 1986, Galindo 1988, Jauregui 1988), turbiedad atmosférica y partículas (Ivlev L.S. et al. 1994, Vasilyev O.B. et al. 1994, Muhlia 1995), meteorología y desarrollo urbano (Camacho 1992), climatología, meteorología y confort (Espinosa 1994) e insolación (Bravo et al., 1990).

Es de especial interés mencionar algunos trabajos sobre los diferentes componentes de la radiación solar, sobre todo por el hecho de ser precisamente la radiación solar el parámetro meteorológico recomendado por la Organización Meteorológica Mundial (WMO 1984), para iniciar en países intertropicales el estudio de la distribución y comportamiento de la energía en el clima; entre estos estudios, podemos mencionar algunos como los realizados en radiación solar global (Jauregui 1978, Valdés 1983, Galindo 1988), radiación solar difusa (Valdés 1983), radiación ultravioleta (Gavilanes 1994, Galindo 1995) y radiación solar directa (Muhlia 1995). Existen también trabajos sobre radiación de onda larga como los realizados por Conde et al. (1990).

Todos los estudios mencionados son aportaciones importantes al conocimiento meteorológico y climatológico de la ZMCM, pero sólo algunos de ellos tienden al conocimiento del comportamiento de los flujos de energía en sus diferentes componentes. Es de primordial importancia mencionar, el trabajo realizado por Oke et al. (1992) sobre el balance de energía en superficie, el cual es

un primer intento por describir el balance de energía no sólo en la ZMCM, sino en general en países intertropicales.

El monitoreo de la radiación solar.

El Observatorio de Radiación Solar (ORS) del Instituto de Geofísica (IGf), de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), inició sus actividades durante el Año Geofísico Internacional en 1956. Desde sus inicios, el Observatorio ha tenido como función principal el monitoreo continuo de los componentes que forman la radiación solar, así como de diferentes parámetros meteorológicos. Durante todo este tiempo, el Observatorio se ha preocupado por la modernización de su equipo y la capacitación del personal. A lo largo de su desarrollo, el ORS ha incrementado sus parámetros de medición: de 3 componentes de la radiación solar (radiación solar directa, radiación solar difusa y radiación solar global), a 5 (las ya mencionadas, más la radiación ultravioleta y la radiación de onda larga), de observaciones meteorológicas discretas, a observaciones continuas las 24 hrs del día (presión, temperatura, humedad relativa, precipitación, dirección e intensidad del viento), y monitoreos de parámetros auxiliares para el entendimiento del comportamiento de la radiación solar en la atmósfera (partículas suspendidas, ozono troposférico y ozono estratosférico).

Desde el año de su fundación el ORS se ha ubicado geográficamente dentro del campus de la UNAM, y aunque fue reubicado en el año de 1975, la distancia entre un punto de observación y otro, no excede los 500 mts. El campus de la universidad, durante la época en que el ORS inicia sus actividades, se encontraba en los límites sur de la ZMCM, ya que alrededor de la UNAM existían todavía zonas deshabitadas y hasta agrícolas; en la actualidad el campus ocupado por la UNAM está inmerso en la gran conurbación de la ZMCM (Mapa No. 1).

Aunque el tipo de instrumentación con que cuenta el ORS es único, no sólo en la ZMCM, sino en todo el país, por los parámetros que mide y la calidad del equipo, la información es valiosa doblemente, primero por las características de la misma y segundo, por el largo período de muestreo.

La radiación solar y el balance de energía en la ZMCM.

Como ya se mencionó, las ciudades representan un excelente laboratorio para el estudio del balance energético en una atmósfera alterada; sin embargo, aunque un estudio de este tipo técnicamente es realizable (Oke et al., 1992), por el costo económico prácticamente es imposible, ya que cualquier centro de investigación no podría solventarlo sin un fuerte apoyo financiero.

Hasta la fecha existe un buen número de trabajos que tratan por separado el comportamiento de las diferentes componentes de la radiación solar y terrestre (radiación directa, radiación difusa, radiación global, radiación ultravioleta y emisión atmosférica); en estos estudios, generalmente el período investigado es corto (menos de una década), aunque se ha demostrado que es suficiente para definir si existe o no, una alteración de los flujos de energía solar en superficie, alteración que puede estar relacionada con condiciones de urbanización.

También existe, como se mencionó en un principio, un estudio pionero en el tema de balance energético en ciudades intertropicales, desarrollado por T. R. Oke y colaboradores (1992). Este trabajo debe considerarse un primer intento, ya que solamente se utilizó un punto de referencia (Observatorio de Tacubaya), pero del que se desprenden conclusiones muy importantes, entre las cuales resalta la de la complejidad de los estudios sobre el balance energético, debido a la gran cantidad de flujos radiacionales que intervienen. El problema se complica aun más si tomamos en cuenta que cada uno de estos flujos deben ser monitoreados por separado, como se muestra en la figura No. 1 (Oke 1988). En sitios intertropicales, como la ZMCM, la heterogeneidad de los materiales de construcción, la falta de áreas verdes y la contaminación atmosférica, unidas a las condiciones energéticas resultantes derivadas de la calidad de

vida de la población (medios de transporte, electrodomésticos, uso de diferentes energéticos, etc.), representan serios obstáculos para la evaluación y el entendimiento de los diferentes flujos de radiación de onda larga y onda corta que intervienen en el balance energético, o mejor dicho, en el balance de radiación

Planteamiento del problema.

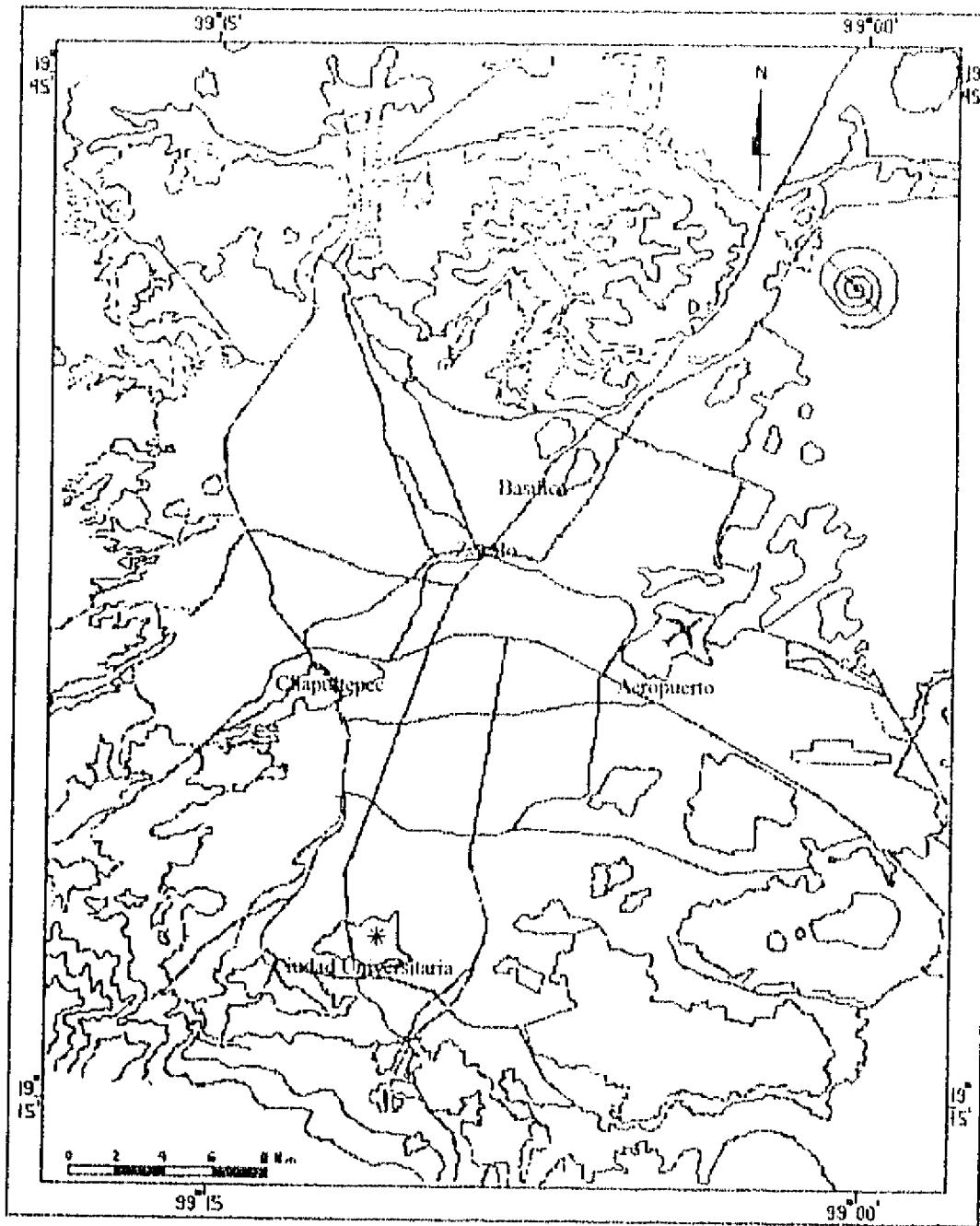
De todo lo anterior podemos obtener dos conclusiones importantes: primero, plantear un estudio sobre el balance energético de la ZMCM sin contar con un apoyo financiero importante es imposible y, segundo, incorporar a modelos matemáticos los resultados obtenidos de estudios parciales de las componentes de la radiación solar, tampoco tendría buenos resultados, ya que el error esperado resultaría demasiado costoso.

Por lo tanto la alternativa que se plantea en este trabajo, de acuerdo con los recursos disponibles, es el rescate de todas las series de datos con que cuenta el ORS desde su fundación, para que con ello se lleve a cabo un análisis y una caracterización de cada uno de los flujos de energía que se miden, y así evaluar el comportamiento (características, alteraciones y/o tendencias) de cada componente y la influencia que ha ejercido en ellos el crecimiento urbano, e intentar de esta manera, un primer paso

sobre el conocimiento del comportamiento pasado, presente y tendencias a futuro de los principales flujos de energía en la superficie dentro de la ZMCM.

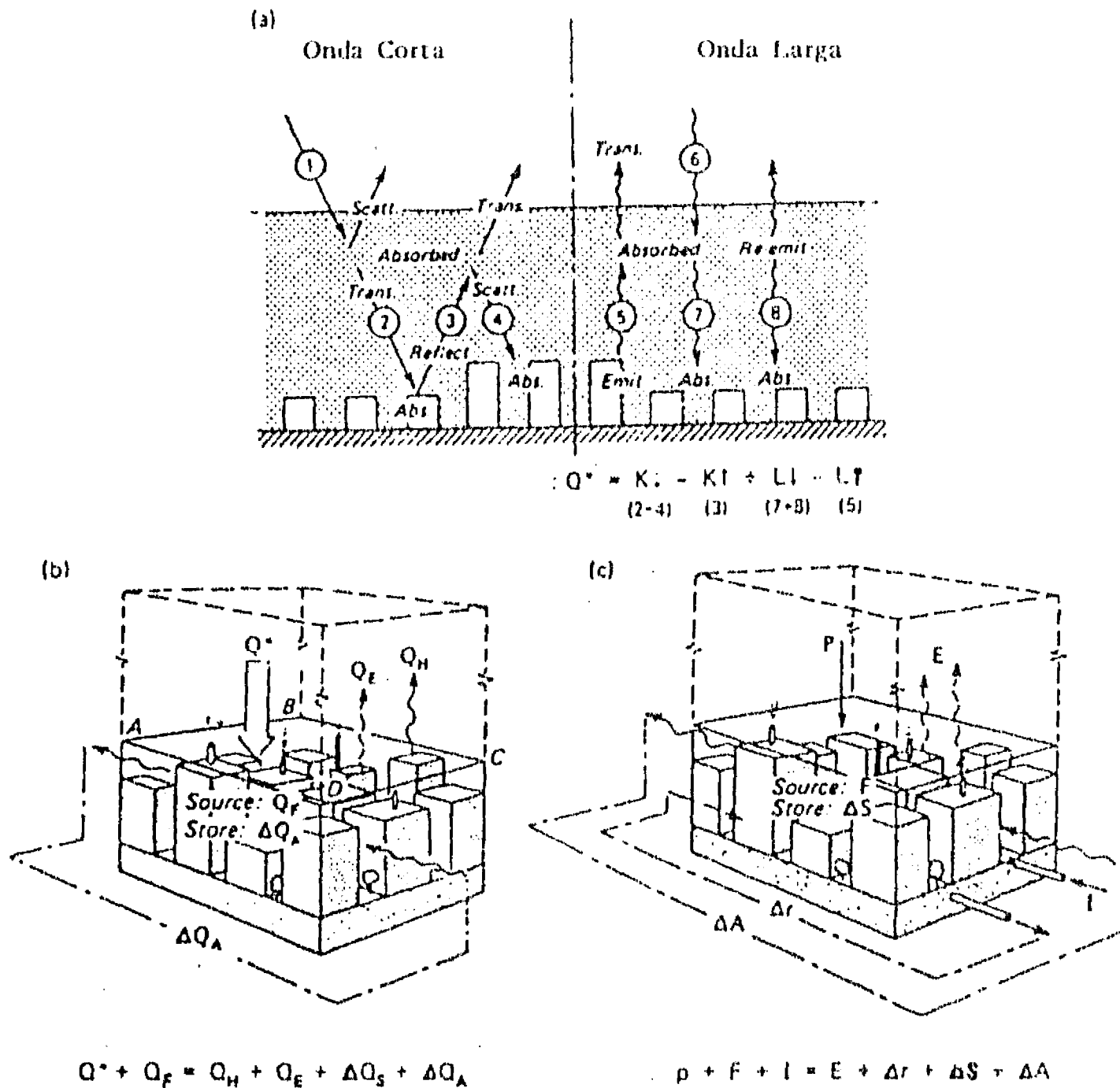
Las componentes del balance radiacional que aquí analizamos son: la irradiación global y difusa, la duración de la insolación (totales diarios), además de la temperatura ambiente y la humedad relativa del aire en superficie.

MAPA No. 1



* Observatorio de Radiación Solar del Instituto de Geofísica UNAM.

FIGURA No. 1



- a). Balance de radiación.
- b). Balance de energía (calor).
- c). Balance de agua superficial.

Tomado de Oke, 1988.

CAPITULO II

El Observatorio de Radiación Solar (ORS).

El Observatorio de Radiación Solar del Instituto de Geofísica de la UNAM, se localiza en los $19^{\circ} 20'$ de latitud Norte y $99^{\circ} 11'$ de longitud Oeste, a 2264 msnm (Mapa No. 1).

El ORS inició sus actividades como parte de la Red Actinométrica Mundial durante el Año Geofísico Internacional, en 1956. En esta época el ORS monitoreaba tres componentes básicas de la radiación solar: radiación global en registro continuo, radiación difusa también en registro continuo y radiación directa; ésta última de manera discreta. También se registraban algunos parámetros meteorológicos como la temperatura, la humedad relativa, la insolación (heliofanía), la nubosidad, la visibilidad y la presión, todos ellos de manera discreta, a excepción de la insolación, de la cual se tienen registros continuos, en la forma de tiras heliográficas diarias.

Para el monitoreo de los parámetros meteorológicos se utilizan instrumentos comerciales (Vaisala y Wilh Lambrecht); los sensores utilizados para monitorear componentes de la radiación solar son los recomendados por la Organización Meteorológica Mundial y clasificados como de clase 2 y clase 1 según las características

que se expresan en la tabla No. 1 (WMO, 1971 y 1981). Estos aparatos tienen un elemento sensible termoelectrónico, el cual está referido a una escala radiométrica mundial, para que las observaciones realizadas con ellos puedan ser comparables con las de cualquier otro lugar donde se utilizan instrumentos referenciados a la misma escala. Los pirheliómetros estándar son comparados cada 5 años con los estándares mundiales, mientras que los sensores diarios se comparan con los estándares nacionales anualmente.

Durante todo el tiempo que ha funcionado el ORS, ha existido siempre la preocupación de modernizar el equipo de medición y de registro, así como rutinas de observación y de mantenimiento. Esta política de desarrollo y mantenimiento ha dado como resultado que después de la primera etapa se hayan aumentado dos parámetros más en las componentes radiacionales: la emisión atmosférica y la radiación ultravioleta.

Actualmente se cuenta, para la medición del flujo de ultravioleta, con dos tipos de radiómetros: uno que reporta los valores en unidades de irradiancia (energía por tiempo y por unidad de superficie horizontal), y otro que se adquirió durante el mes de diciembre de 1995 (UV-Biometer), el cual se utiliza en la red de radiación ultravioleta más grande del continente, la que está enfocada más hacia el uso médico que climatológico, pues

la unidades en que reporta sus observaciones son MED/HR (Minimum Erythema Dose per Hour).

Por otra parte los parámetros meteorológicos (presión, precipitación, temperatura, humedad relativa, intensidad y dirección del viento), se monitorean ya en un registro continuo las 24 hrs del día en una estación automática, pero sólo a partir de 1994.

Por lo que respecta al instrumental de registro, durante los primeros años se utilizaron registradores gráficos, estos graficadores se cambiaron posteriormente por integradores automáticos, los cuales imprimen cada 10 minutos el valor integral del flujo de radiación incidente, global o difusa. En la actualidad ha partir de 1990 el registro de todos los componentes de la radiación solar se lleva a cabo de manera automática formando archivos en medios magnéticos (discos de computadora).

En el proceso de modernización, el ORS también se ha preocupado por el monitoreo de parámetros auxiliares para el mejor entendimiento de los procesos de extinción y esparcimiento de la radiación solar en la atmósfera; por ello en la actualidad, se realizan registros continuos de radiación de onda larga y ozono

troposférico, además de monitoreos discretos de partículas suspendidas (aerosol) y ozono estratosférico.

Parte de las actividades obligadas para el mantenimiento de los sensores de radiación solar, es su calibración periódica (anual). Este proceso se lleva a cabo con radiómetros patrones nacionales (una vez al año) y a su vez estos patrones nacionales se calibran contra patrones internacionales (cada cuatro años), de tal manera que los datos obtenidos tienen validez internacional. El ORS, ha contado con cuatro radiómetros estándar de referencia; el primero, un pirheliómetro Abott de disco de plata No. 22; el segundo, un pirheliómetro Angström a compensación eléctrica (No. 166); el tercero, un pirheliómetro Eppley tipo Angström también a compensación eléctrica (No. 18587). En la actualidad, se cuenta con un pirheliómetro estándar de cavidad (Eppley No. HF29223), recomendado por la Organización Meteorológica Mundial como radiómetro de referencia de la Red Radiométrica Mundial moderna.

Por último, el ORS también trabaja en el diseño y desarrollo de nuevos instrumentos de medición. A este respecto, se han construido radiómetros con base en termopilas de sensibilidad variable (Martínez et al., 1995) y fotómetros para el estudio de atmósferas contaminadas.

Es muy importante hacer notar que estos procesos de modernización, mantenimiento y sobre todo la formación de personal especializado, tuvo su recompensa en el año de 1985, cuando la Organización Meteorológica Mundial consideró al ORS como Centro Regional de Radiación de la Región Cuarta (Norteamérica, Centroamericana y el Caribe), en la cual sólo existen dos centros además del ORS: uno en Canadá y otro en los Estados Unidos.

Los datos.

Para la realización del presente trabajo se utilizaron las siguientes series de datos con que cuenta el ORS (1967-1994):

Irradiación solar:

Irradiación Solar Global.

Irradiación Solar Difusa.

Irradiancia Solar Directa.

Parámetros Meteorológicos:

Temperatura.

Humedad Relativa.

Duración de la Insolación (Heliofanía).

La información de la irradiación solar ultravioleta y la atmosférica, se mencionan, pero no se utilizan en el análisis global, debido a lo corto de las series.

Los sensores que monitorean las componentes de la radiación solar y la radiación terrestre, están referenciados a la nueva Escala Radiométrica Mundial establecida en el año de 1981 (WRR-81), la cual es 2% más alta que la antigua escala IPS-56 (International Pirheliometric Scale). Debido a los procesos de recalibración a que son sometidos los sensores, dicha información es reportada mensualmente al Centro Mundial de Datos de Radiación en San Peterburgo, Rusia.

Radiación Solar.

La radiación solar en general, es la energía emitida por el sol en forma de radiación electromagnética, en un intervalo de longitudes de onda, que pueden fijarse para propósitos prácticos entre los 0.29 μm a 3.5 μm . El espectro solar puede dividirse en tres grandes intervalos: el ultravioleta (0.29 a 0.39 μm), el visible (0.39 a 0.77 μm) y el cercano infrarrojo (0.77 a 3.5 μm), los cuales contienen el 8, 47 y 45% de la energía total, respectivamente (Fig. 2). A la radiación solar en general, podemos describirla como dos flujos principales, el de radiación solar directa (RD) y el de radiación solar difusa (Rd), la suma

de ambos es lo que se denomina la radiación solar global (RG). Cuando la radiación solar llega a la superficie terrestre y es monitoreada, el término que recibe para su manejo en unidades de energía por unidad de área, es el de irradiación (v.g. J/m^2).

Radiación Solar Global.

La radiación solar global es por definición aquella energía que llega a un punto determinado de la superficie terrestre (observador), desde cualquier dirección de la bóveda celeste incluida la dirección tierra-sol y es, climatológicamente hablando, la fuente de energía de cualquier fenómeno meteorológico del planeta. El monitoreo del parámetro se inicia cuando comienzan las actividades del ORS en el año de 1956, pero es hasta finales de 1966 cuando el mismo comienza a ser consistente y confiable, debido principalmente a que, en la primera etapa del ORS no se contaban con metodologías estándares, unificadas internacionalmente ni para la instalación de los radiómetros, ni para el registro y validación de la información. En este trabajo, el análisis inicia en el año de 1967 debido a que:

-Durante el período 1956-1967 las gráficas de información no contienen datos precisos acerca de los sensores y registradores usados, por lo que el trabajo de integración e interpretación de

las misma se complica demasiado; para la validación de esta información se ha planteado un programa que se llevara entre un año o año y medio de trabajo.

-Durante el mencionado período, no sólo la radiación global, sino también el resto de los parámetros observados son discontinuos y poco consistentes.

Debido a que toda esta información se analiza por primera vez en su conjunto, fue necesario en muchos casos, sobre todo entre 1967 y 1978, regresar a consultar los registros originales. Durante todo este período se utilizaron diferentes sensores, pero todos ellos debidamente calibrados, referenciados a los estándares respectivos.

Radiación Solar Difusa.

La radiación solar difusa es la radiación solar global excluyendo la radiación que llega directamente del sol (radiación solar directa) al punto de observación, en temporada de lluvias, cuando la nubosidad es total, se convierte en el principal componente energético en superficie. Aunque los registros de radiación difusa inician en las mismas fechas que los de radiación global, también al igual que ésta, durante los primeros años se observan inconsistencias en el muestreo del parámetro, por lo que durante

el mencionado periodo los registros no cuentan con las características básicas para considerarlos aceptables en su estado actual. El inicio de la serie de datos utilizados en este trabajo, se ubica en el año de 1967.

El monitoreo de la radiación solar difusa (**Rd**) se lleva a cabo con los piranómetros, mismos instrumentos que miden la radiación solar global (**RG**), solamente que el sensor se ubica sobre una montura con una banda (ver fig. 3) que proyecta a lo largo del día una sombra sobre el elemento sensible del sensor (la termopila), para eliminar la componente directa (**RD**), en otras palabras, el instrumento registra la diferencia:

$$Rd = RG - RD$$

La utilización de estos tipos de monturas con bandas, es lo más común, por lo práctico, para el monitoreo de la radiación solar difusa; sin embargo, es necesario aplicar una corrección, ya que si bien esta banda cumple su función de bloquear la radiación solar directa, también bloquea parcialmente la radiación solar difusa proveniente de diferentes puntos de la bóveda celeste que ella misma cubre (Drummond, 1956). La radiación difusa que aquí se presenta, se puede explicar como:

$$Rd = Rd' k$$

Donde R_d' representa la radiación difusa medida con el piranómetro, y k es un factor de corrección cercano pero mayor que la unidad, que depende de la sombra que proyecta la banda sombreadora sobre el piranómetro, la que a su vez es función del tiempo (fecha). Al igual que la radiación solar global, la difusa fue medida por diferentes instrumentos, los cuales también fueron previamente calibrados.

Radiación Solar Directa.

Este componente de la radiación solar es aquel que llega directamente del sol al observador, su monitoreo inicia, al igual que la radiación solar global y la radiación solar difusa, en el año de 1956, pero sufre los mismos problemas que estos parámetros, por lo que el análisis de éste se inicia también en 1967; el instrumento para la medición del parámetro es el pirheliómetro, el cual difiere de los piranómetros (global y difusa), sólo en su estructura geométrica, ya que el elemento sensible es el mismo.

En este parámetro, aunque su monitoreo puede ser continuo, en el ORS se lleva a cabo de manera discreta, cuando ciertas condiciones meteorológicas lo permiten, a saber: que entre el pirheliómetro y el sol no haya obstrucción de nubes o niebla, o que el espesor óptico de la atmósfera no sufra variaciones

significativas durante la observación, la cual ocupa de 2 a 4 minutos normalmente.

Radiación Ultravioleta.

La radiación solar ultravioleta emitida por el sol, la podemos subdividir en tres grandes grupos: la radiación solar ultravioleta lejana **UVC** (0.001 a 0.2 μm), la radiación solar ultravioleta media **UVB** (0.2 a 0.315 μm), y radiación solar ultravioleta cercana **UVA** (0.315 a 0.390 μm), el monitoreo de este parámetro, reviste singular importancia, pues aun debido a lo estrecho de sus bandas, la información que se puede obtener de ellas es muy importante, ya que lo mismo nos provee de información cuantitativa y cualitativa de las condiciones atmosféricas del sol que de la tierra, pues las bandas de absorción por elementos en ambas atmósferas, a la fecha están bien delimitadas. En especial en el ORS, su radiómetro es sensible en la ventana que comprende de los 0.29 μm a los 0.38 μm .

En el año de 1991, el ORS en su afán de modernización, adquirió un sensor de radiación ultravioleta (radiómetro), marca Eppley No. 28281 con una constante de calibración de 223.51 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$.

En este trabajo se presentan los primeros resultados de los valores obtenidos durante el tiempo de muestreo (3 años).

Radiación de Onda Larga (atmosférica).

La radiación de onda larga o radiación atmosférica monitoreada en el ORS, es la emitida por la atmósfera en un rango que va de los 4.0 μm a los 50 μm , porque el instrumento (pirgeómetro), es sensible en esa ventana espectral. Esta radiación es propiamente el calor que emite nuestra atmósfera, debido principalmente al calentamiento producido por la superficie terrestre y conservado por los diferentes gases de invernadero que se producen en esta ciudad.

La radiación de onda larga se comienza a monitorear a partir del año de 1984, con un pirgeómetro marca Eppley No. 28349F3 con una constante de calibración de 3.45 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$.

Este tipo de instrumento continuó funcionando hasta el año de 1988, a partir de esta fecha el registro se interrumpe debido principalmente a que los datos comenzaron a ser inconsistentes (Conde et al., 1990). Existe en la actualidad un programa de recuperación de información, ya que el sensor no ha dejado de medir la radiación de onda larga, esperando validar la

información para su publicación; por eso, en este análisis se incluyen solamente los 4 primeros años.

Insolación.

La insolación es de los parámetros meteorológicos más importantes en el monitoreo de la radiación solar, ya que la nubosidad, es el principal modulador de los flujos radiacionales en la tropósfera (Valdés, 1983).

Existen registros de insolación para Ciudad Universitaria, desde julio de 1957, pero debido a que la mayoría de los parámetros los utilizamos a partir de 1967, este parámetro se reportará y analizará en este trabajo a partir de esta última fecha.

El instrumento de registro durante todo el periodo de tiempo (1957 - 1994), ha sido el heliógrafo Campbell-Stokes No. 3197.

Temperatura y Humedad Relativa.

La temperatura es importante en nuestro análisis, porque es a fin de cuentas, la primera manifestación sensitiva que tenemos de la incidencia de la radiación solar; por otra parte, la cantidad de agua en la atmósfera es de vital importancia, pues en primer lugar, la absorción de radiación solar en determinadas longitudes

de onda es considerable como se puede observar en la figura No. 2, y en segundo lugar, la humedad en el ambiente funciona como un termorregulador, pues no deja que se pierda el calor rápidamente durante la noche, disminuyendo considerablemente la oscilación diaria de la temperatura.

Estos parámetros meteorológicos inician su monitoreo de 24 hrs continuas durante el año de 1968, y es a partir de esta fecha cuando se inicia su análisis para el presente trabajo. Para el monitoreo de estos parámetros se utilizó el termohigrografo marca Wilh Lambrecht No. 341342.

Además, se realizan medidas discretas de diferentes parámetros meteorológicos (temperatura, humedad relativa, presión, vientos), con sensores diferentes a los que monitorean en forma continua, y al final de cada mes se comparan dichas observaciones para llevar un control de calidad de ambos tipos de observación (continuos y discretos).

Todos los datos que se utilizaron, se encuentran grabados en medios magnéticos, labor que constituyó la primera etapa de este trabajo.

TABLA No. 1

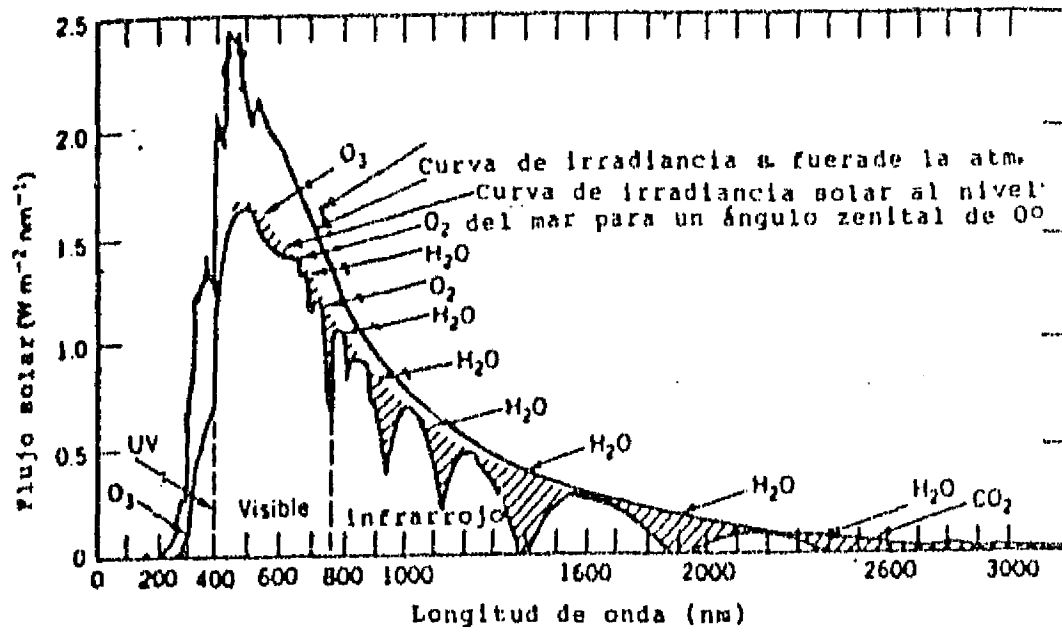
CLASIFICACIÓN DE SENSORES DE RADIACIÓN SOLAR

INSTRUMENTO	SENSIBILIDAD (mW/cm ²)	ESTABILIDAD %	TEMPERATURA %	SELECTIVIDAD %	LINEALIDAD %	CONSTANTE DE TIEMPO (max)	RESPUESTA ANGULAR %
Pirheliómetro Estandar	± 0.2	± 0.2	± 0.2	± 1.0	± 0.5	25 seg.	—
Instrumentos Secundarios	—	—	—	—	—	—	—
Pirheliómetro Primera Clase	± 0.4	± 1.0	± 1.0	± 1.0	± 1.0	25 seg.	—
Pirheliómetro Segunda Clase	± 0.5	± 2.0	± 2.0	± 2.0	± 2.0	1 min.	—
Piranómetro Primera Clase	± 0.1	± 1.0	± 1.0	± 1.0	± 1.0	25 seg.	± 3
Piranómetro Segunda Clase	± 0.5	± 2.0	± 2.0	± 2.0	± 2.0	1 min.	± 5-7
Piranómetro Tercera Clase	± 1.0	± 5.0	± 5.0	± 5.0	± 3.0	4 min.	± 10

mW/cm² Mili Watts por centimetro cuadrado.

Fuente: WMO (1971).

FIGURA No. 2.



Curva de irradiancia fuera de la atmósfera terrestre y en la superficie del mar, con un ángulo zenital de 0° , así como ventanas de absorción por agua y ozono.

FIGURA No. 3



Sensor para la medición de la radiación difusa (piranómetro).

CAPITULO III

Validación de la Información.

Durante los más de 30 años que lleva registrando información meteorológica el ORS, se han acumulado no solamente conocimientos sobre el comportamiento físico y temporal de los diferentes parámetros meteorológicos que en él se observan, sino también experiencias sobre la forma en que se miden, registran y reportan estos parámetros. Dicha experiencia nos ha demostrado a lo largo del tiempo que no basta con la instalación y registro de la información, para que cualquier parámetro sea monitoreado correctamente, también es necesario como ya se mencionó con anterioridad, desarrollar metodologías que constantemente estén validando la información registrada, mejorando los sistemas de medición y registro, elevando la calidad de los datos generados.

Estas metodologías se implantan y van cambiando conforme la experiencia acumulada lo va dictando, de manera que en el ORS, como en cualquier otro observatorio, al inicio de sus actividades los errores tanto de instalación, monitoreo, registro y publicación, están presentes, pero a lo largo del tiempo, éstos van desapareciendo debido principalmente a la experiencia acumulada y a la implantación de rutinas tendientes a mejorar el servicio.

Por ejemplo: de acuerdo con las reglas establecidas, la calibración de los piranómetros se lleva a cabo año con año; en un principio en el ORS, los valores de irradiación solar se calculaban con base en la constante instrumental obtenida en la última calibración, lo cual es erróneo, ya que si la constante de calibración de un sensor no muestra una tendencia consistente a aumentar o disminuir, sino que sólo varía alrededor de su valor original en un $\pm 2\%$, ésta no debe ser cambiada y debe procesarse la información con la constante original, asignándole a los resultados la incertidumbre correspondiente. Detalles de instalación, como el uso de cables blindados y el equipo completamente aterrizado, son fundamentales para este tipo de observaciones, ya que los sensores producen corrientes eléctricas que alcanza valores muy pequeños ($\sim 1 \mu\text{V}$), y cualquier corriente parásita dentro de la línea sensor-registrador puede alterar considerablemente las medidas; así mismo, en las rutinas de limpieza de los domos de los piranómetros, en el movimiento de las bandas sombreadoras de la radiación difusa y en el cambio de la tira del heliógrafo, mientras no se tengan estudiadas y ensayadas las rutinas de trabajo, los errores estarán presentes.

Por tal motivo, y ante la ventaja de tener las integrales horarias de área bajo la curva almacenada en medios magnéticos para los diferentes parámetros radiacionales, se decidió que sería conveniente volver a procesar la información, tomando en

cuenta todas las normas que marca la Organización Meteorológica Mundial, no sólo para los diferentes componentes radiacionales, sino también para la insolación, la temperatura y la humedad relativa (WMO, 1981).

Una vez obtenidos los resultados de cada parámetro, se procedió a graficar cada uno de ellos, como una primera validación visual, de manera que en los casos en que los valores se encontraban fuera del comportamiento "normal", se revisaba la información desde la gráfica de registro original; en este paso se observó que la radiación solar global, durante el período comprendido entre junio de 1974 a septiembre de 1975, se encontraba muy por debajo de los valores normales; al revisar los datos originales, se encontró que la escala completa de graficación empleada para el procesamiento de la información era de 20 mV, cuando debería de ser de 10 mV. También se corrigieron varios errores en donde simplemente durante la captura de la información se habían alterado los valores.

Plantearse como objetivo analizar la información de totales o promedios diarios, según sea el caso, representaba un trabajo tan arduo que nos llevaría tanto tiempo como el del procesamiento de la información, por lo que se tomó la decisión de comenzar el análisis de la base de datos con promedios mensuales, tanto de los parámetros radiacionales, como de la insolación, la

temperatura y la humedad relativa; en la primera fase del trabajo se descartaron los meses que tuvieron menos de 15 días registrados, resultando un número considerable de información faltante para la radiación difusa durante los primeros años de muestreo. Con objeto de aumentar el número de días considerados se procedió a completar los meses que tuvieran 10 días observados para que el mes en cuestión se incorporara a la serie para su análisis. El método utilizado fue el siguiente: se formó una matriz, en donde las columnas correspondían a los diferentes parámetros en estudio (irradiación solar global, irradiación solar difusa, Insolación, Temperatura y Humedad Relativa, respectivamente), mientras que los renglones correspondían a los días observados, así, el primer renglón corresponde al 1 de enero de 1967, mientras que el último es el 31 de diciembre de 1994 (renglón 10227), por lo que a cada observación de cada parámetro, le corresponderá un número de colocación para poder identificar cualquier valor de los 71589.

Para complementar la base de datos, calculando los valores faltantes, existen en el caso de la irradiación solar global, difusa, directa e insolación, metodologías ya bastante probadas y aceptadas (Valdés, 1988), consistentes en normalizar las observaciones de irradiación global, difusa o directa en superficie (Q), con respecto a la existente en el tope de la

atmósfera (Q_0):

$$I_0 = \frac{Q}{Q_0}$$

mientras que la insolación medida en superficie (S), se normaliza con la insolación astronómica (S_0):

$$D_s = \frac{S}{S_0}$$

para todos los casos, obteniéndose valores adimensionales entre cero y uno, que pueden ser correlacionados entre sí.

Pero como también se analizan los parámetros de temperatura ambiente y humedad relativa, éstos no se pueden normalizar tan fácilmente, para ser correlacionados con los radiacionales por medio de una correlación múltiple, y así obtener los datos faltantes. Por lo anterior, se procedió a separar toda la información en cuatro archivos básicos, correspondientes a las diferentes estaciones climatológicas (primavera, verano, otoño e invierno). Es preciso mencionar que la serie de insolación es la más completa: de 1967 a 1994 sólo un mes tuvo menos de 10 días observados.

El siguiente paso fue separar de estos archivos, los días en que se habían registrado simultáneamente los 5 parámetros antes

mencionados para poder procesarlos con las técnicas de regresión múltiple del tipo:

$$X_1 = b_{11,2345} + b_{12,345} X_2 + b_{13,245} X_3 + b_{14,235} X_4 + b_{15,234} X_5$$

en donde X_1 es la variable dependiente a estimar, y X_2, X_3, \dots, X_5 son las variables independientes.

En general cada universo de estudio superó las 1000 observaciones en cada una de las estaciones (primavera, verano, otoño e invierno). En esta etapa, se obtuvieron correlaciones múltiples de todos los parámetros contra todos, con un nivel de significancia del 95% en cada uno de los cálculos. Los resultados se presentan en la tabla No. 2 (irradiación solar global, difusa, insolación, temperatura y humedad relativa). Como puede observarse, solamente la irradiación solar global y la insolación alcanzaron valores de correlación aceptable, en general superiores al 0.8, pero para el resto de los parámetros se obtienen valores que van desde 0.2 a 0.5, por lo cual no es posible utilizar estas regresiones para el cálculo de totales o promedios diarios faltantes de irradiación difusa, temperatura y humedad relativa; en las figuras 4 y 5, se presentan las gráficas de los valores observados (abscisas), contra los pronosticados (ordenadas) y la recta de regresión, de la irradiación solar global, para el valor de correlación más alto (otoño) y el más

bajo (invierno), respectivamente; en las figuras 6 y 7 se presentan para la insolación (otoño e invierno respectivamente). Para todos los cálculos, el número de variables independientes fue de cuatro.

Durante este proceso, debido a que solamente la irradiación solar global y la insolación contaban con buenas correlaciones múltiples, se decidió que se complementarían las series de irradiación solar global e insolación de manera que se contara con los 15 días mínimos en cada mes, para que la serie (mensual), no tuviera algún mes sin datos, cabe destacar que en toda la serie (10227), el número de días calculados fue menor a 100. Para complementar el análisis, se realizó también una correlación lineal entre la insolación y la irradiación solar global, obteniéndose valores superiores a 0.90 (Tabla No. 3), pero debido a que con este tipo de correlaciones, el valor de la variable dependiente siempre estará fijo sobre la línea de regresión, se decidió sacrificar esta alta correlación (>0.9), por los resultados de la correlación múltiple (>0.8), y ganar un poco de movilidad en los valores pronosticados; ésto debido principalmente a que, aun en días de una misma época del año, en que durante todo el día no existe irradiación solar directa, el tipo, la cantidad y el grosor de las nubes, determina la cantidad de irradiación solar difusa, por lo que la humedad, la

temperatura y el valor de la irradiación solar difusa, nos acercarán más al valor real de la irradiación solar global.

En las figuras de la No. 8 a la No. 14 se encuentran las gráficas de los promedios mensuales de cada uno de los parámetros. Es importante mencionar, que las observaciones de totales diarios y promedios diarios de todos los parámetros involucrados en este trabajo, del 1 de enero de 1967 al 31 de diciembre de 1983, se publicarán en los boletines que edita el Observatorio de Radiación Solar. Los datos del 1 de enero de 1984 al 31 de diciembre de 1994, se encuentran ya publicados en los mencionados boletines anuales.

Tabla No. 2

Parámetro	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
Global	0.879	0.886	0.890	0.727
Difusa	0.225	0.227	0.462	0.482
Insolación	0.894	0.894	0.912	0.781
Temperatura	0.296	0.289	0.179	0.299
H. R.	0.301	0.205	0.257	0.228

Coefficientes de correlación múltiple de cada parámetro (variable dependiente) por estación del año, contra el resto de los parámetros (variables independientes), 95% de significancia.

Tabla No. 3

Parámetro	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
Global	0.936	0.926	0.933	0.823
Difusa	0.936	0.926	0.933	0.823

Coefficientes de correlación lineal.

FIGURA No. 4
IRRADIACION SOLAR GLOBAL (OTONO)

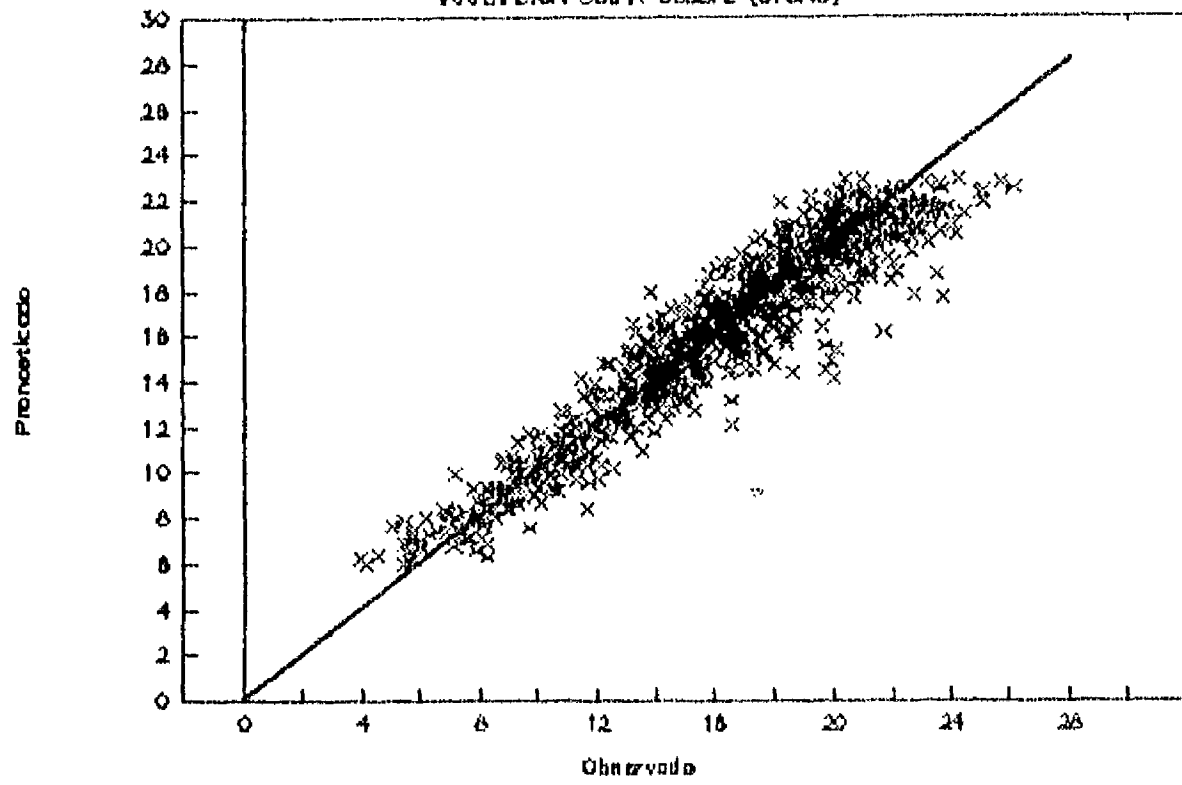


FIGURA No. 5
IRRADIACION SOLAR GLOBAL (INVERNO)

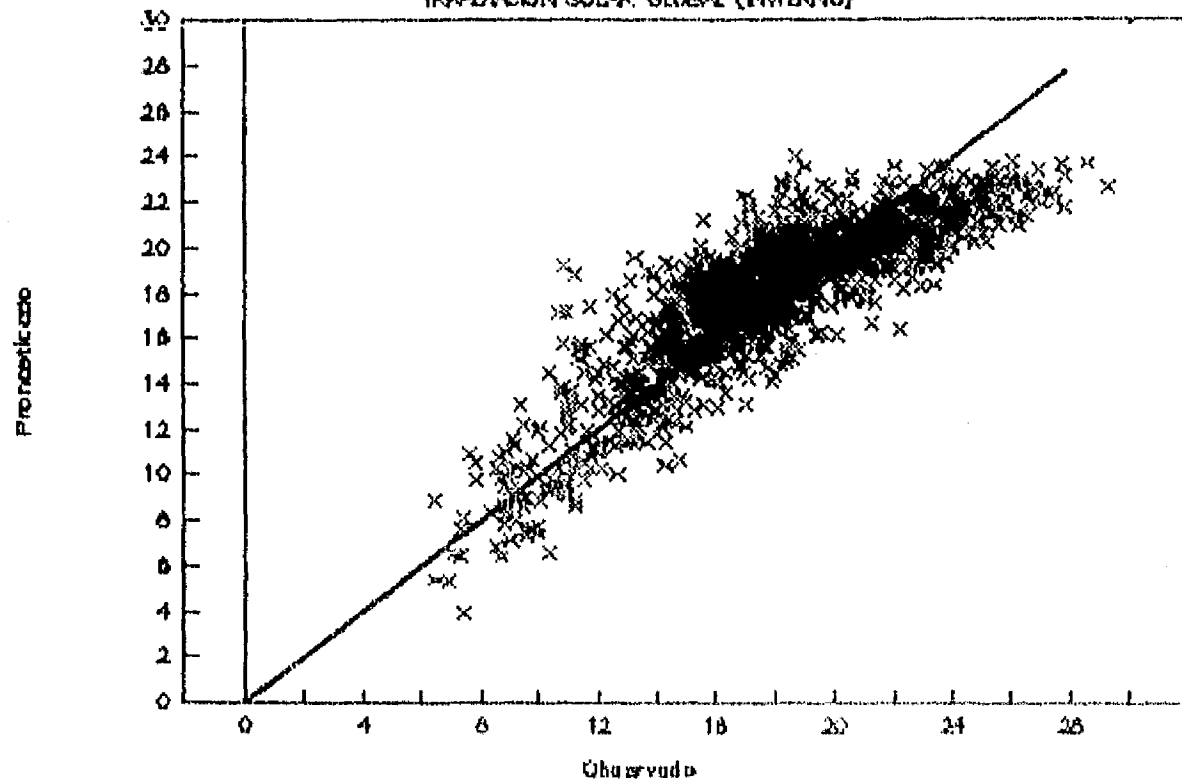


FIGURA No. 6
INSOLACION (OTONO)

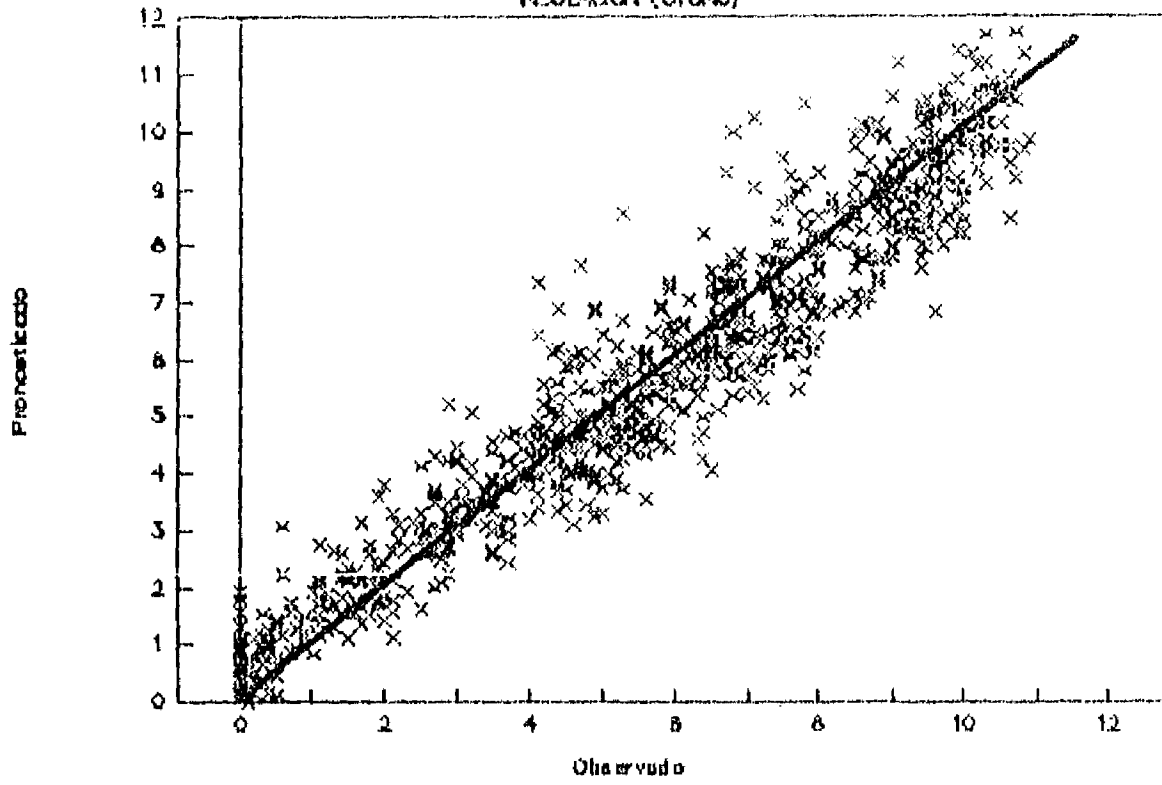


FIGURA No. 7
INSOLACION (INVERNO)

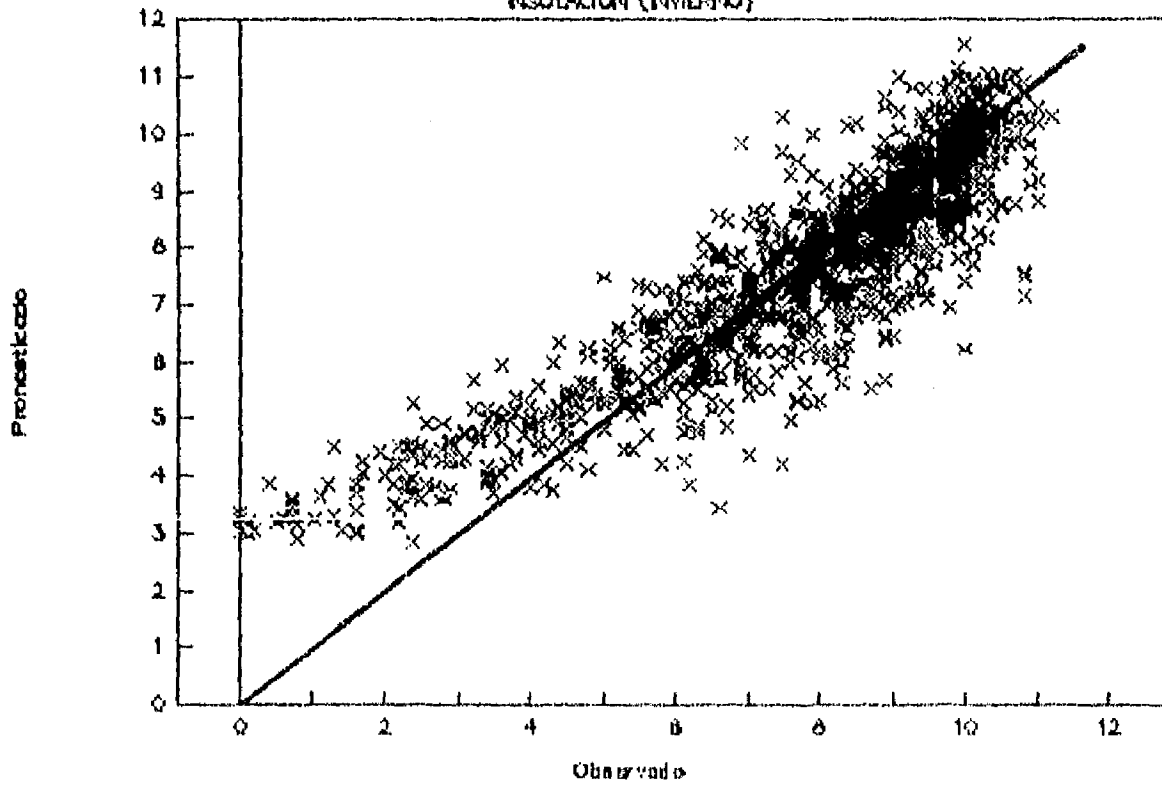


FIGURA No. 8

IRRADIACION SOLAR GLOBAL (mensual)

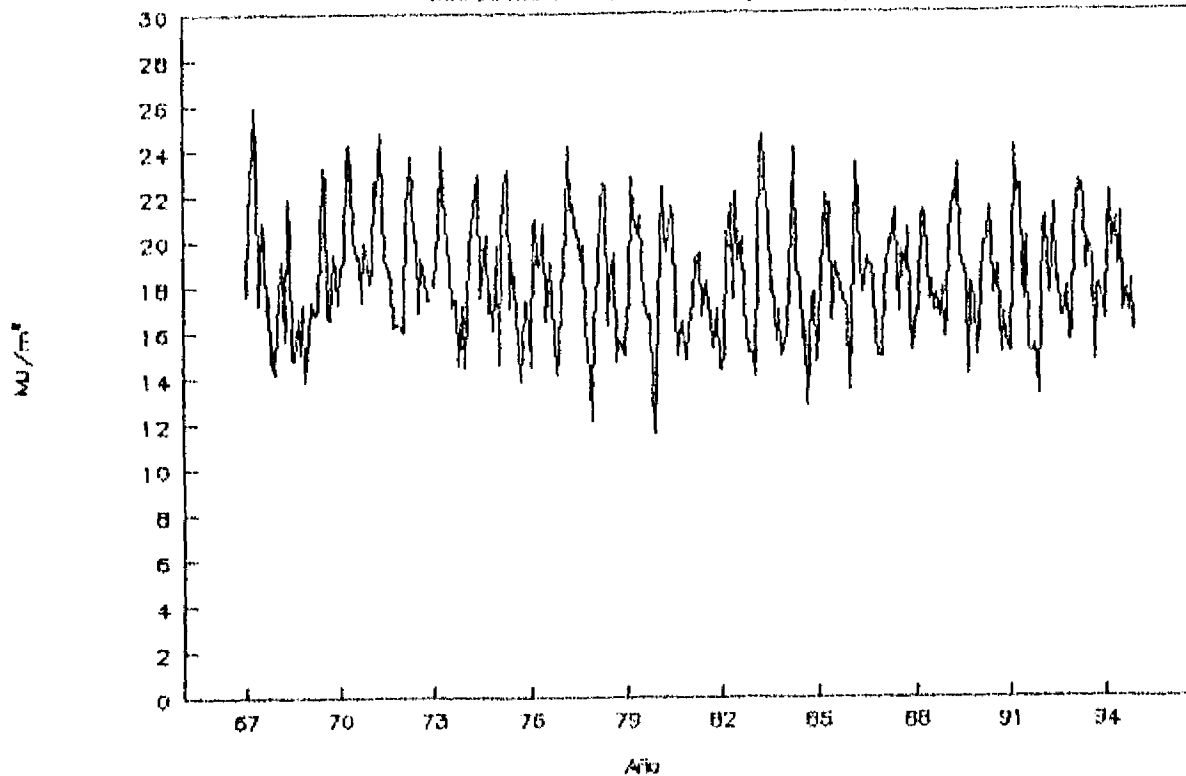


FIGURA No. 9

IRRADIACION SOLAR DIFUSA (mensual)

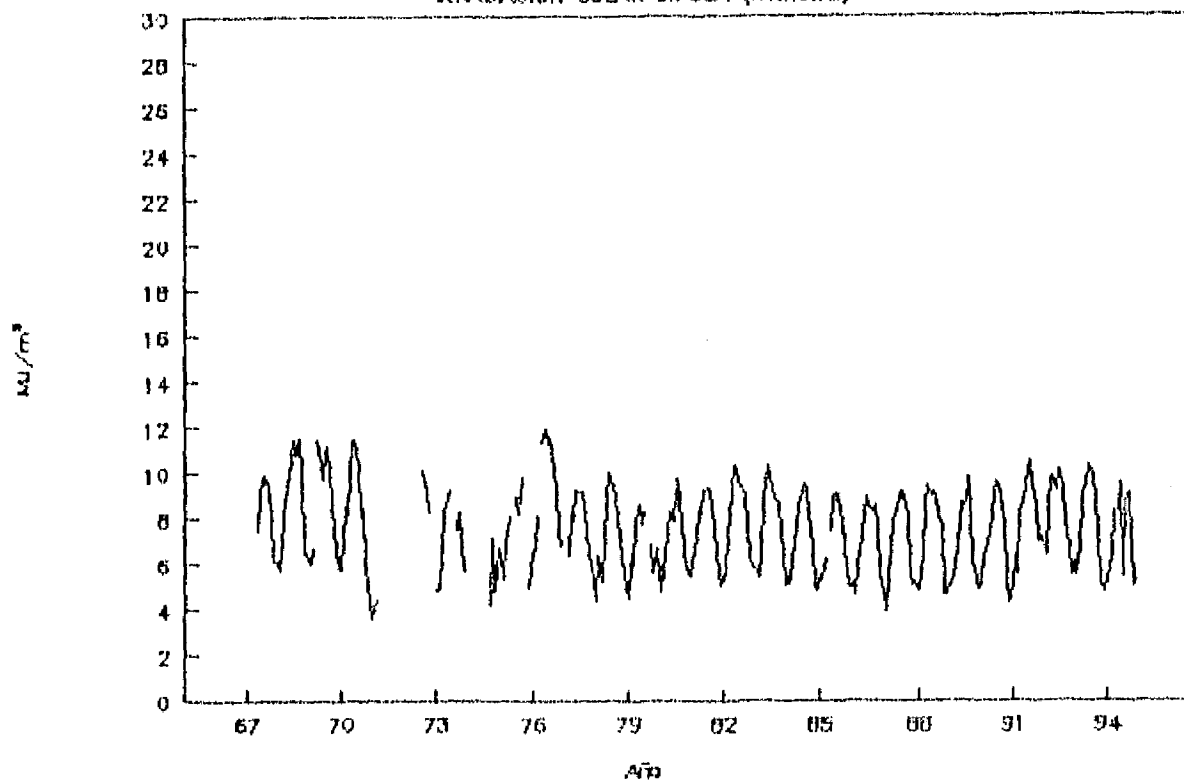


FIGURA No. 10

INSOLACION (mensual)

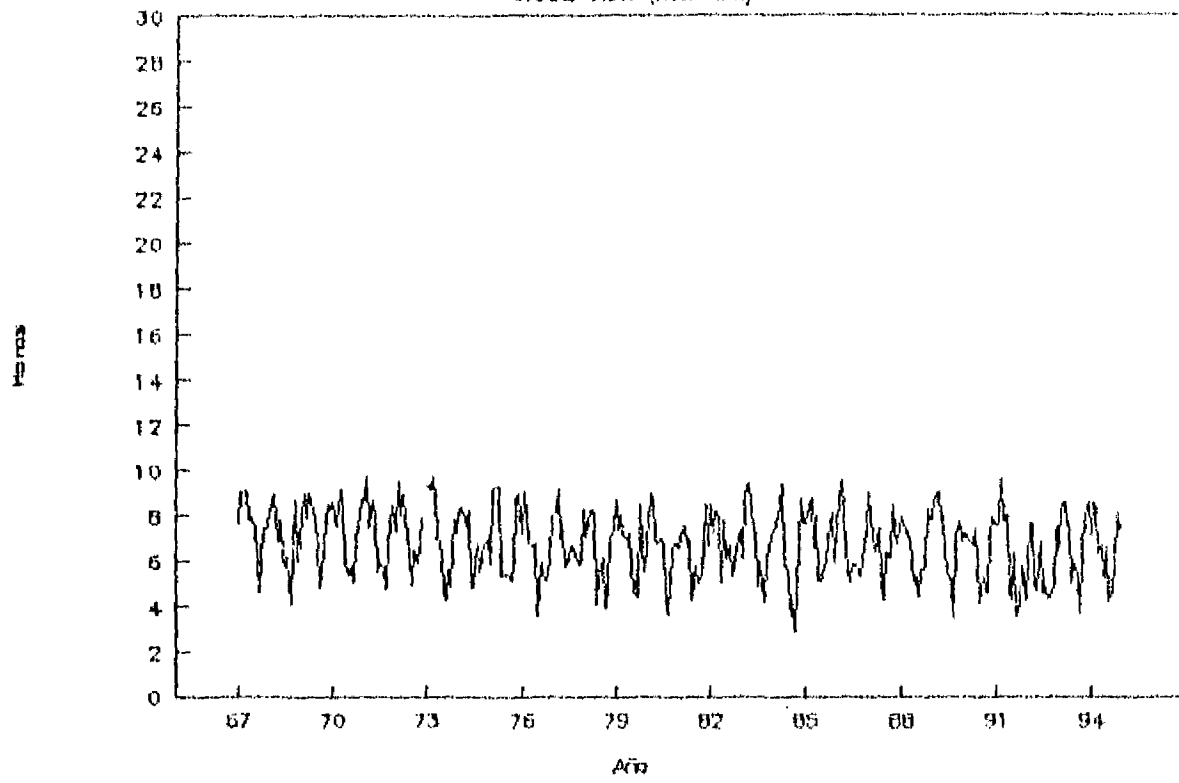


FIGURA No. 11

TEMPERATURA AMBIENTE (mensual)

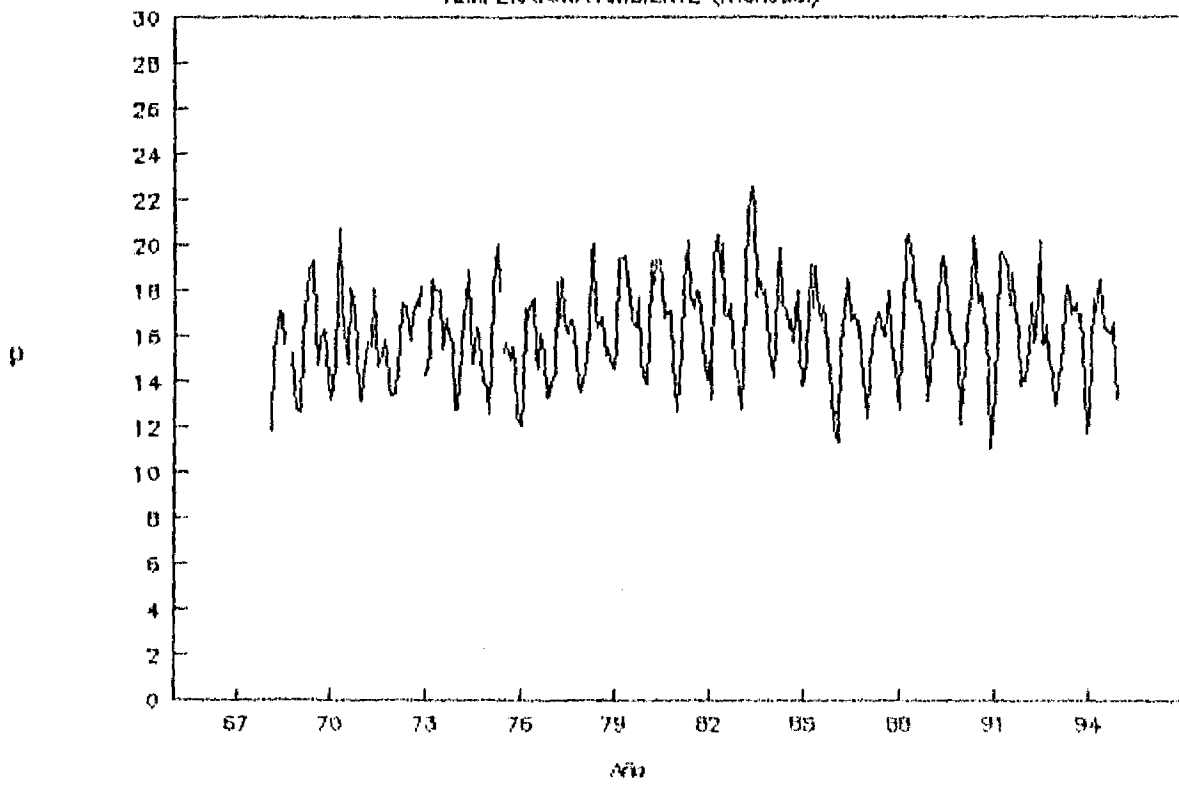


FIGURA No. 12
HUMEDAD RELATIVA (mensual)

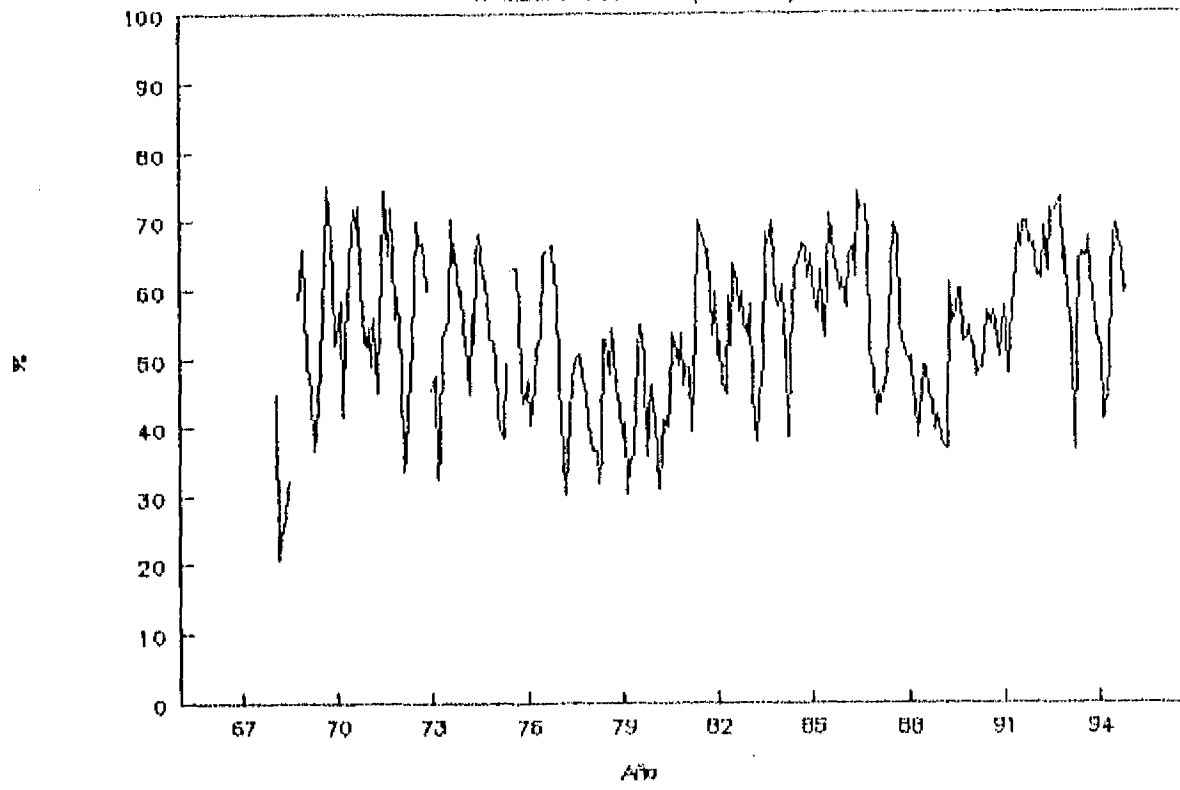


FIGURA No. 13
IRRADIACION SOLAR ULTRAVIOLETA mensual

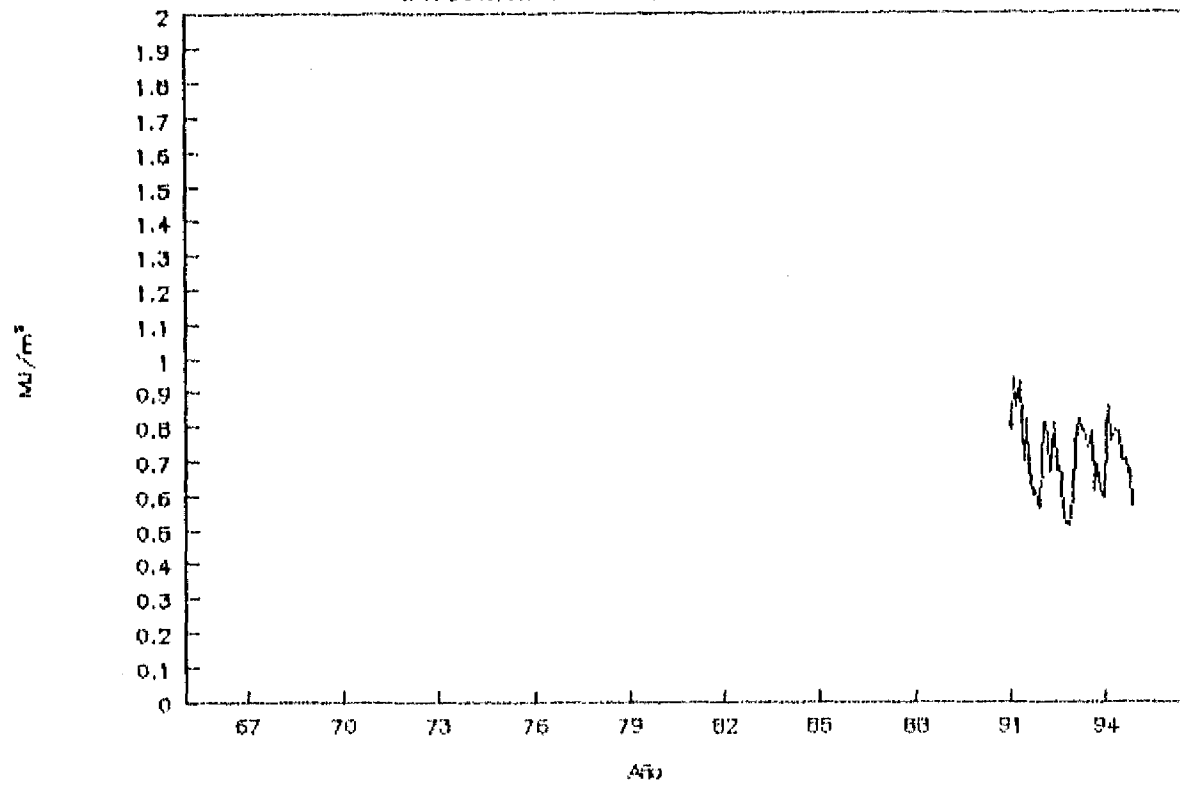
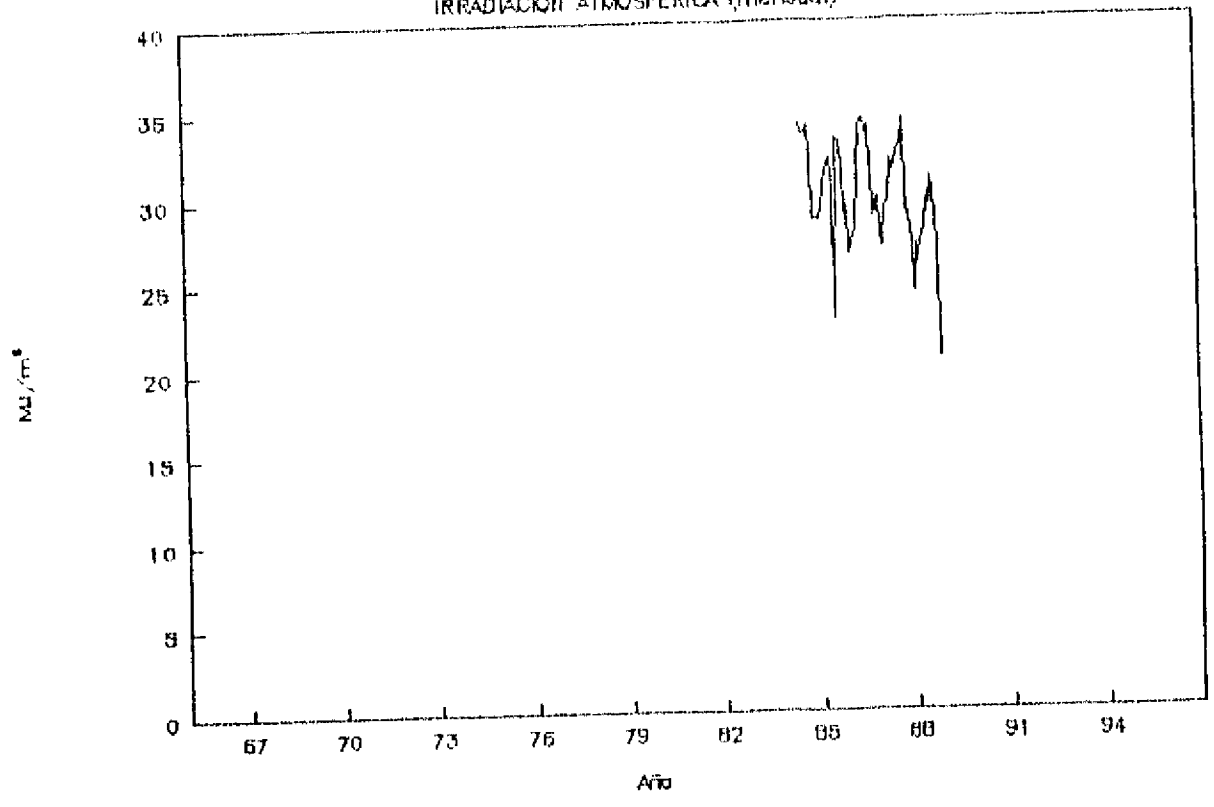


FIGURA No. 14
IRRADIACION ATMOSFERICA (mensual)



CAPITULO IV

Análisis de la información.

Tomando en consideración los gráficos generados en el capítulo anterior, y partiendo de que los datos que aquí se reportan se sujetan al comportamiento de cualquier serie de tiempo, es decir, que su comportamiento temporal es resultado de: a) los ciclos regulares (estacionales, anuales e interanuales); b) de las variaciones irregulares, es decir no cíclicas y c) de las tendencias; basaremos el análisis de los resultados en estos tres incisos para alcanzar los objetivos principales del presente trabajo: caracterización y determinación de alteraciones Y/o tendencias de los parámetros meteorológicos monitoreados en el ORS.

Para llevar a cabo el análisis de series de tiempo, es imprescindible contar con la información completa, es decir, sin espacios de información faltante. Como se vio en las figuras de la No. 8 a la No. 14 (promedios mensuales), la información faltante varía de un parámetro a otro: irradiación solar global 1, irradiación solar difusa 24, insolación 1, temperatura 16, humedad relativa 16, irradiación ultravioleta 288 e irradiación atmosférica 288; debido a que la serie completa está formada por 336 elementos, es decir, 336 valores mensuales del período

de 1967 a 1994, es válido y se procedió a complementar las primeras 5 series con los promedios mensuales, ya que en las últimas 2, es demasiada la información faltante.

Ciclos estacionales.

Todos nuestros parámetros estudiados, como promedios o totales diarios, se ven afectados por una serie de ciclos que van desde los estacionales hasta el anual (ver figuras No. 8 a No. 14), pero pueden contener otro tipo de variaciones cíclicas o irregulares. Para poder observar la existencia de otro tipo de ciclos, además del anual, es preciso eliminar éste. Con dicho propósito, se obtuvieron gráficos del movimiento medio de las series de orden 12 (un año).

$$\frac{Y_1 + Y_2 + \dots + Y_t}{\tau}, \frac{Y_2 + Y_3 + \dots + Y_{t+1}}{\tau}, \frac{Y_3 + Y_4 + \dots + Y_{t+2}}{\tau}, \dots$$

donde Y_i son los promedios mensuales respectivos y τ es el orden del movimiento medio (12); los resultados se presentan en las figuras de la No. 15 a la No. 19.

Como puede observarse en estas figuras, no existen ciclos en los parámetros de irradiación global, irradiación difusa, insolación y temperatura, pero en la humedad relativa (figura No. 19), parecieran existir tres etapas más o menos definidas (solamente

dos completas); la primera inicia en el mes 11 y termina en el mes 123, manteniéndose más o menos estable hasta el mes 154 e iniciando nuevamente otra etapa que termina en el mes 257, para reiniciar una tercera que, por el límite de la serie, no alcanza a terminar.

Como en este primer paso no se observa claramente la existencia de tendencia y/o variaciones cíclicas en la mayoría de los parámetros, se procedió a obtener los gráficos correspondientes a la función de autocorrelación de todas las series:

$$R_{XX}(m) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N-m} (X_i - M_X)(X_{i+m} - M_X)$$

donde X_i y X_{i+m} son valores de una misma serie de datos, pero a m lugares (meses) de distancia; M_X es la media aritmética de la serie y N la longitud de la misma. En las figuras de la No. 20 a la No. 24, se presentan los resultados correspondientes.

En estos gráficos queda de manifiesto la presencia del ciclo anual, que predomina en todas las series; pero en la figura No. 24 (humedad relativa), hay una modulación del ciclo anual, con un período aproximado de 11 años, semejante al de las manchas solares (Leyva et al., 1995).

Como un tercer ejercicio, se procedió a calcular los promedios anuales de las siete series, éstos a partir de los totales y promedios diarios, con lo cual se elaboraron las figuras de la No. 25 a la No. 31. Como en este paso la información generada ya es de un volumen mucho menor que los promedios mensuales o totales diarios, se presenta en la tabla No. 4, los promedios anuales de cada uno de los parámetros que aquí se analizan.

En especial, en el gráfico de la humedad relativa, podemos apreciar nuevamente los "ciclos" ya mencionados; el primero inicia en el año de 1968 y termina en 1977; del 77 al 80 permanece estable y reinicia para terminar en el año de 1988; sin etapa de transición (como la del 77 al 80), inicia un tercero que continúa, seguramente, después de 1994.

Para poder estimar la magnitud de los ciclos que presenta la humedad relativa, se estandarizó la información de los promedio anuales:

$$S_i = \frac{X_i - M_x}{D_x}$$

en donde X_i son los promedios anuales de la serie, M_x la media de la serie y D_x la desviación estándar de la misma. Los resultados para todas las series se presentan en las figuras de la No. 32 a la No. 36. Dentro de estos gráficos solamente cabe

destacar las variaciones del parámetro de humedad relativa (figura No. 36), que se reflejan en el comportamiento de la función de autocorrelación (figura No. 24). Las variaciones como puede observarse en la figura No. 36, tienen una magnitud de alrededor del 30%.

Variaciones (fluctuaciones).

Aquí, más que analizar ciclos, se describen los eventos "anómalos" que se encontraron en los diferentes gráficos que se elaboraron a lo largo del trabajo.

Irradiación solar global. En este parámetro se presenta en general un sólo evento "anómalo", que se manifiesta primeramente en la figura No. 15 en los primeros 30 meses, como una sensible disminución de la energía en superficie; su presencia se evidencia más en la figura No. 32, en la cual podemos ubicar con más precisión el período del fenómeno (1967-1968); podemos estimar esta disminución de la irradiación en media desviación estándar, seguido de un aumento (1970) aproximadamente de la misma magnitud. De 1975 a 1992 la irradiación global permanece por debajo de la media, con fluctuaciones de un cuarto de desviación estándar.

Irradiación solar difusa. En este parámetro encontramos tres incrementos importantes; el primero corresponde al mismo periodo que se presenta en la irradiación solar global (1967-1970), el segundo como se puede apreciar en la figura No. 33, se lleva a cabo en 1975-1977 y el último en 1989-1993.

Insolación. La marcha de la insolación es muy regular con una ligera disminución (figura No. 34). Sin embargo, pueden apreciarse, al igual que en la irradiación solar difusa, tres fluctuaciones que corresponden aproximadamente a las mismas fechas (68, 76 y 92). La primera tiene una magnitud de media desviación estándar, mientras que la segunda de un cuarto y la última de una desviación estándar.

Temperatura ambiente. Las variaciones de este parámetro pueden observarse en la figura No. 35, en donde notamos claramente tres etapas definidas: la primera de 1967 a 1977, la segunda de 1978 a 1985 y la tercera de 1986 a 1994, la primera por debajo de la media, la segunda por encima de la misma y la tercera la podemos ubicar en medio de los valores anteriores, pero por encima de la media, todas con fluctuaciones de alrededor de 0.5 desviaciones estándar.

Humedad relativa. Esta parámetro presenta fluctuaciones importantes, generalmente de magnitudes del orden de hasta una

desviación estándar. Las fluctuaciones más o menos aisladas se observan en 1968-1977, 1978-1988 y la tercera incia en 1988, pero por la longitud de la serie no se observa el final. Pero se tiene también una fluctuación negativa significativa que abarca de 1977 a 1980.

Tendencias.

Aunque desde la figura No. 8 se observan ciertos comportamientos de los diferentes parámetros meteorológicos, es a partir de la figura No. 32 (gráficos de parámetros estandarizados), cuando claramente se aprecian ciertas tendencias de las series en estudio, a cuya descripción se dedica este inciso.

Para observar la presencia de alguna tendencia en el comportamiento de los parámetros, primeramente se analizó la información con ayuda de una regresión lineal y se obtuvieron las figuras de la No. 37 a la No. 41.

Primeramente, en la figura No. 37 observamos la irradiación solar global, la cual, presenta una muy ligera tendencia negativa, calculada en $0.03 \text{ MJ/m}^2/\text{año}$ con un error en la estimación de $\pm 0.02 \text{ MJ/m}^2/\text{año}$.

Por su parte, la irradiación solar difusa, también presenta la misma tendencia que el parámetro anterior (figura No. 38), sin que el valor de la tendencia cambie mucho (-0.02 MJ/m²/año), ni su error estimado (± 0.02 MJ/m²/año).

La insolación (figura No. 39), cuenta con una tendencia negativa de -0.03 hrs/año, y un error de estimación de ± 0.01 hrs/año.

En la figura No. 40 podemos observar la regresión lineal de la temperatura, donde la tendencia fue positiva, estimada en 0.04 °C/año y el error de estimación de ± 0.02 °C/año.

Por último se presenta los resultados de la humedad relativa (figura No. 41), con una tendencia positiva de 0.28 %/año y un error de estimación de ± 0.16 %/año.

Puede apreciarse en la irradiación solar global, en la difusa, en la temperatura y en la humedad relativa, una ligera recuperación hacia su comportamiento medio al final del periodo observado (1987-1994). Por tal motivo, se ajustaron estas series con regresiones de 2º orden (cuadráticas):

$$y = a + bx + cx^2$$

en las figuras de la No. 42 a la No. 46 se presentan los resultados, junto con la serie de información y su regresión lineal.

Como se observa en la figura No. 42 la curva de la regresión cuadrática se ajusta mejor al comportamiento del parámetro ($r^2=0.58$), confirmando el aumento de intensidad del mismo al final de la serie, obteniéndose los coeficientes: 87.89 MJ/m^2 , $-1.64 \text{ MJ/m}^2/\text{año}$ y $0.01 \text{ MJ/m}^2/\text{año}^2$ (a, b, y c respectivamente).

La irradiación solar difusa, también presenta un mejor ajuste con la regresión cuadrática ($r^2=0.09$), que con la regresión línea, con sus coeficientes: 27.96 (a), -0.48 (b) y 0.002 (c), en las mismas unidades.

Para la insolación, el comportamiento de la regresión cuadrática es muy similar (aunque no igual), al de la regresión lineal (figura No. 44).

Para la temperatura (figura No. 45), al igual que en los dos primeros parámetros, se presenta un mejor ajuste con la regresión cuadrática ($r^2=0.40$), que con la lineal, sólo que la parábola es invertida con respecto a la de las series de irradiación solar global y difusa, obteniéndose los siguientes

valores de los coeficientes **a**, **b** y **c**: -25.60 °C, 1.05 °C/año y -0.01 °C/año² respectivamente.

Por último, para la humedad relativa, se presenta la figura No. 46, donde el ajuste de la regresión cuadrática, explica mejor el comportamiento del parámetro ($a=214.54$, $b=-4.19$ y $c=0.03$) con un coeficiente de determinación $r^2=0.16$.

Discusión.

Llevar a cabo la discusión sin contar con las figuras que describan el comportamiento de la irradiación solar directa, no tendría, hasta cierto punto, sentido, en especial para la climatología urbana. La irradiación solar directa a lo largo de su camino a través de la atmósfera terrestre, sufre una serie de cambios cuantitativos y cualitativos, por la absorción y dispersión de la que es objeto por los gases y partículas suspendidas que conforman la atmósfera; en la figura No. 2 se encuentra la absorción del agua y el ozono como ejemplo.

El monitoreo de la irradiación solar directa se lleva a cabo en el ORS discrecionalmente, es decir no es continuo, sino sólo cuando ciertas condiciones atmosféricas lo permiten (capítulo II); más aun, con las condiciones atmosféricas adecuadas, los rayos solares, según el día del año y la hora del día, recorren

mayor o menor camino a través de la atmósfera, por lo que los valores obtenidos, no pueden compararse libremente entre ellos. Para solucionar tal situación, los trabajos sobre el tema reducen las observaciones, a observaciones realizadas con masas ópticas relativas iguales a 2.00 ± 0.1 (Muhlía 1995), la masa óptica relativa se define como:

$$m_r = m_o / m_H$$

en donde m_H es la masa de la columna de aire, de sección unitaria, de observación hasta el límite de la atmósfera en la vertical, y m_o la masa de la columna de aire, también de sección unitaria, desde el punto de observación hasta el límite de la atmósfera en la dirección del sol, siendo esta última mayor que la primera.

Una vez obtenida la irradiancia solar directa, es posible calcular el espesor óptico atmosférico:

$$I_s = I_o \exp(-\tau m_r)$$

donde I_s es la irradiancia medida en superficie, I_o la irradiancia fuera de la atmósfera (por encima de los 50 km de altura), mientras que τ es una constante de extinción, del flujo de radiación directa, denominado espesor óptico de la atmósfera.

El espesor óptico atmosférico nos proporciona una aproximación cuantitativa de lo turbia o clara que está la atmósfera, pues como se deduce de la definición, a valores mayores de τ , dado I_0 puede considerarse climatológicamente constante, se tendrán cada vez valores más pequeños de I_s . Los sensores con los cuales se monitorea este parámetro, cuentan con una serie de filtros interferométricos para poder obtener información más detallada de las condiciones atmosféricas. En este trabajo, sólo se utilizaron las medidas sin filtro, es decir, del flujo total de radiación directa. Los resultados se presentan en la figura No. 47; en la figura No. 48, pueden observarse los valores medios anuales del gráfico anterior, y en la figura No. 49 se grafica la profundidad óptica atmosférica para la serie de la figura No. 47.

Para realizar el análisis de las series de tiempo, es necesario tratar de encontrar la causa o las causas que motivan dicho comportamiento.

Esta búsqueda de causas es para la investigación la parte más difícil y a la vez su razón de ser. Inferir qué elementos, fenómenos o comportamientos provocan la variación positiva o negativa de algún elemento del clima, es hablar de fenómenos meteorológicos de gran escala, o procesos más que globales, es

decir de procesos que tienen lugar fuera del planeta (Leyva et al., 1996a y 1996b). La distribución temporal de los diferentes componentes radiacionales y meteorológicos que se presentan en la Cuenca de México y que analizamos en este trabajo, lo mismo pueden estar determinadas por cualquiera de los fenómenos o comportamientos de las dos escalas descritas anteriormente, y es en ellas en donde debemos de buscar respuestas.

El primer comportamiento que mencionaremos es el presentado por las series de irradiación solar global, irradiación solar difusa, temperatura e insolación, ya que los tres primeros parámetros responden año con año al comportamiento del último, en variaciones menores a 0.5 desviaciones estándar, es decir, mientras que la insolación sufre una disminución, la irradiación solar difusa aumentará, la irradiación solar global y temperatura disminuirán, y cuando la insolación aumente, los otros parámetros responderán también, cada uno de ellos en sus respectivas magnitudes (figuras No. 32, 33, 34 y 35). Esto es lo que podemos catalogar como la respuesta "clásica" o "esperada" de los diferentes parámetros al comportamiento de la insolación.

Otro comportamiento importante diferente al anterior en la respuesta y magnitud de ésta, es el que presentan los mismos parámetros (irradiación solar global, irradiación solar difusa y temperatura), con respecto a la insolación (figuras de la No. 37 a la No.41); donde, ante la tendencia a disminuir la serie de

insolación, la irradiación solar global disminuye (comportamiento esperado), pero la irradiación solar difusa también y la temperatura aumenta. Esto, tiene dos explicaciones: la primera es que, aunque la irradiación solar difusa baja (cuando debería aumentar), los valores que se obtienen son de $0.02 \text{ MJ/m}^2/\text{año}$, y la estimación del error es del mismo orden ($0.02 \text{ MJ/m}^2/\text{año}$), por lo que se puede decir que no ha disminuido, ya que el valor obtenido, puede ser el error estimado, y a final de cuentas si no presenta disminución en sus valores, y la irradiación solar global si, prácticamente la irradiación solar difusa ha aumentado. En segundo lugar, la temperatura aumenta y no disminuye, porque en este nivel de análisis, ya se hacen presentes otro tipo de fenómenos que afectan a los parámetros a niveles sinópticos y no regionales, como lo demuestran las figuras de la No. 42 a la No. 46, en donde el comportamiento de las series, no responden tan "clásicamente", a la insolación, ya que otros factores de mayor envergadura modifican su comportamiento.

En la figura No. 50 presentamos los Índices de Oscilación del Sur (IOS) obtenidos a partir de las presiones atmosféricas de Darwin, Australia y Tahiti, las cuales ponen de manifiesto la presencia del fenómeno climatológico de escala global llamado "El Niño", asociado estrechamente a la Oscilación Suriana (ENOS). Recuérdese que "El Niño" se presenta en la fase negativa de la Oscilación del Sur (William H. Quinn et al., 1987). Aquí puede observarse que durante los primeros diez años

del período, ENOS se hace presente de una manera totalmente aleatoria, tanto en tiempo como en intensidad, pero después de esta primera década, ENOS se encuentra prácticamente permanente a excepción de dos años (1988 y 1989). Si recordamos las principales manifestaciones del fenómeno ENOS en la República Mexicana, radican en un aumento considerable de precipitaciones en diversas partes del país (entre ellas el centro), así como en un aumento generalizado de la temperatura (Galindo, 1989). Eso explica la buena correlación temporal de ENOS con las series de tiempo descritas: la presencia del fenómeno por un período largo de tiempo, acarrea mayor nubosidad, aunque no necesariamente precipitación al centro del país, disminuyendo la insolación y la irradiación solar global y aumentando la difusa y la temperatura.

Por otra parte, la humedad relativa no se mencionó anteriormente, porque su comportamiento está determinado básicamente por otra serie de factores que nada tienen que ver con la insolación. A partir de las observaciones de irradiación solar directa, es posible calcular la cantidad de agua precipitable utilizando un filtro interferométrico (RG8). En la figura No. 51 se presenta la cantidad de agua precipitable obtenida a partir de observaciones actinométricas; en esta figura puede observarse la presencia de los ciclos de la humedad

relativa descritos, los cuales mantienen una estrecha relación inversa con los ciclos de las manchas solares (figura No. 52).

Todos los parámetros comparten tres ciclos irregulares o anómalos, los correspondientes a 1968, 1976 y 1992; los dos últimos ciclos, tienen un comportamiento entre ellos "normal", es decir, para 1976 un aumento de la humedad relativa, disminución de la insolación, disminución de la irradiación solar global, disminución de la temperatura y aumento de la irradiación solar difusa, todo esto relacionado con un IOS cercano a cero y un valor mínimo de manchas solares. Para el año de 1992, las condiciones se repiten, pero en un grado menor, el ciclo de manchas solares tiende a disminuir y el IOS esta cercano a -1.5, dando como resultado el comportamiento ya descrito de los parámetros analizados, pero en una menor magnitud que en 1976.

El problema lo representa la anomalía que encuentra su máxima expresión en el año de 1968, en donde todos los parámetros se comportan "normalmente" (1976 y 1992), a excepción de la humedad relativa, la cual disminuye su valor considerablemente. Remitiéndonos nuevamente a los gráficos de IOS y manchas solares (figuras No. 50 y No. 52 respectivamente), podemos observar que en las anomalías anteriores, los índices estaban por debajo de cero, mientras que las manchas solares se encontraban en su

valor mínimo del ciclo (1976), o en pleno descenso (1992); en este año, en especial, el valor del IOS, se encuentra cerca de cero y las manchas solares alcanzan su máximo valor del período, esto se comprueba observando que los mínimos de humedad relativa, siempre coinciden con los máximos de manchas solares (1968, 1980 y 1988).

La finalidad de analizar la irradiación solar directa en este último capítulo, es que el grueso de los parámetros tratados nos describen de una manera general la climatología radiacional de la región (variaciones de flujos primarios de energía, más allá de la Cuenca de México), pero este último componente radiacional, nos revelará información sobre la modificación que sufren los flujos primarios en su paso por una atmósfera contaminada como la de la Ciudad de México.

Como puede observarse en la figura No. 48 las intensidades de la irradiación solar directa a lo largo del período estudiado, son variables, ya que al ser esta una componente de la irradiación solar global, debe de responder al comportamiento de ella, sólo que la variación de la directa (25% aproximadamente), es mayor que la de la global (15%), aunque la primera presenta una marcada tendencia a disminuir (figura No. 48). Esta disminución de la irradiancia se confirma con el comportamiento de la profundidad óptica atmosférica (figura No. 49), en donde puede

observarse cómo la profundidad, aunque mantiene variaciones importantes, tiende a aumentar significativamente (20-25%), indicándonos que a lo largo del tiempo de monitoreo, la transparencia atmosférica ha ido disminuyendo o, visto de otra manera, el camino óptico de los rayos solares al penetrar en la atmósfera de la Ciudad de México, ha ido aumentando, debido al contacto con gases y partículas.

En la Figura No. 53, podemos observar la distribución climatológica de los diferentes flujos de energía para condiciones de cielo despejado ($N=0$) y cielo nublado ($N=1$). Estos valores se obtuvieron normalizando la irradiación solar global, la irradiación solar difusa, la irradiación solar directa en el plano horizontal y la insolación (capítulo III), esta última, con la modalidad de restarle a la unidad el valor de la normalización, para que en lugar de obtener la relación de insolación, se obtenga la relación de nubosidad. Una vez realizadas las normalizaciones, se correlacionan los diferentes flujos radiacionales con el índice de nubosidad, para que al obtener los valores de los coeficientes, estos sean los valores de las condiciones para cielo despejado y cielo nublado.

FIGURA No. 15
IRRADIACION SOLAR GLOBAL

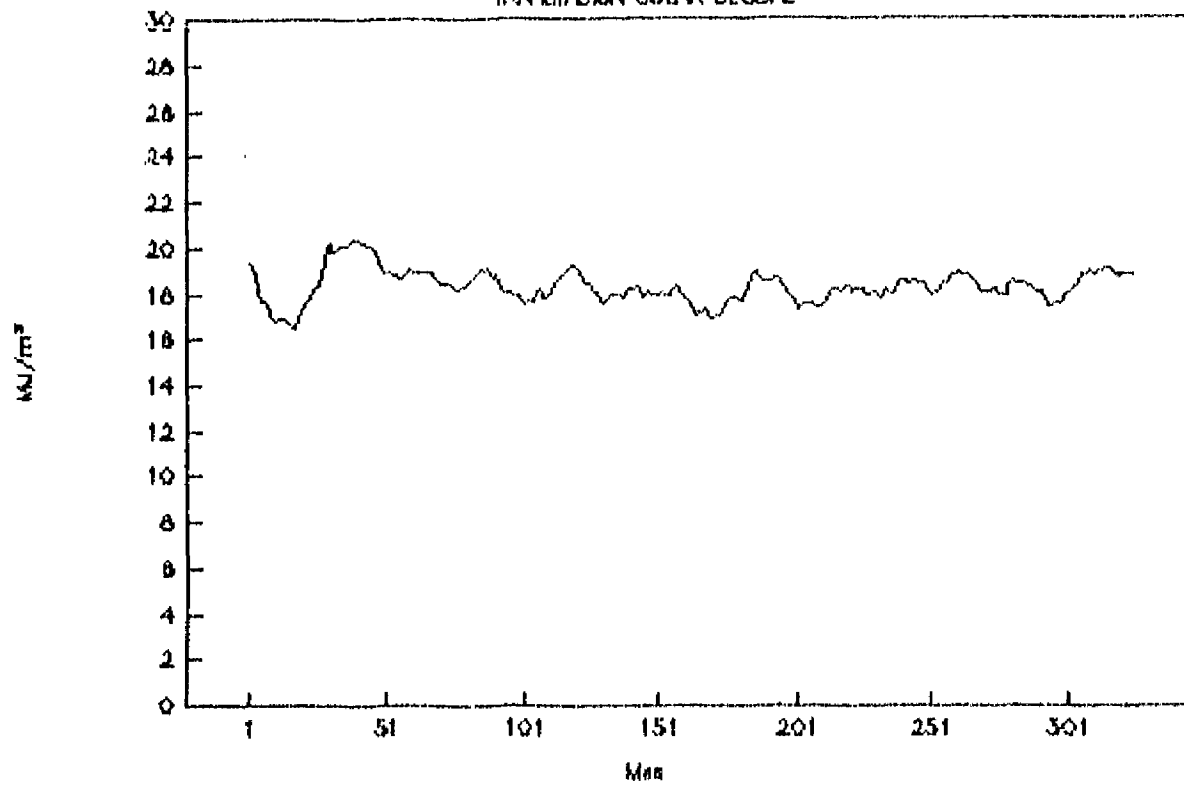


FIGURA No. 16
IRRADIACION SOLAR DIFUSA

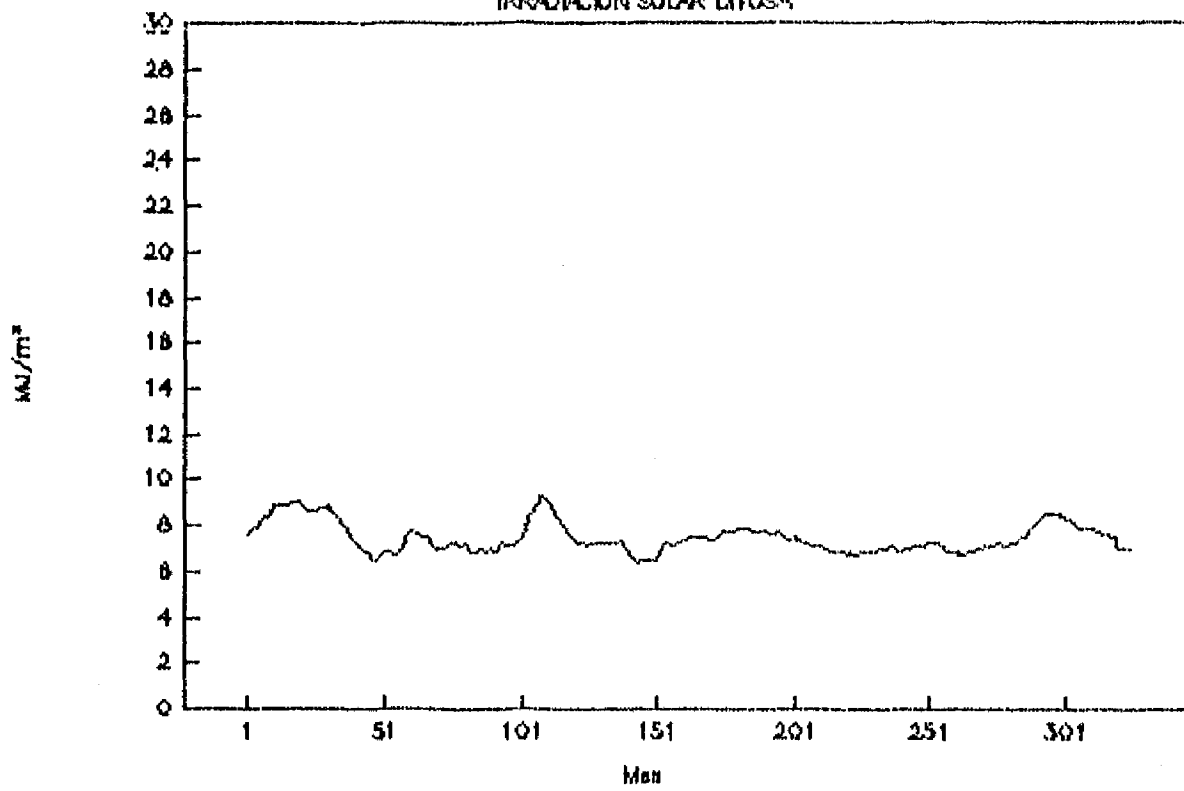


FIGURA No. 17
INSOLACION

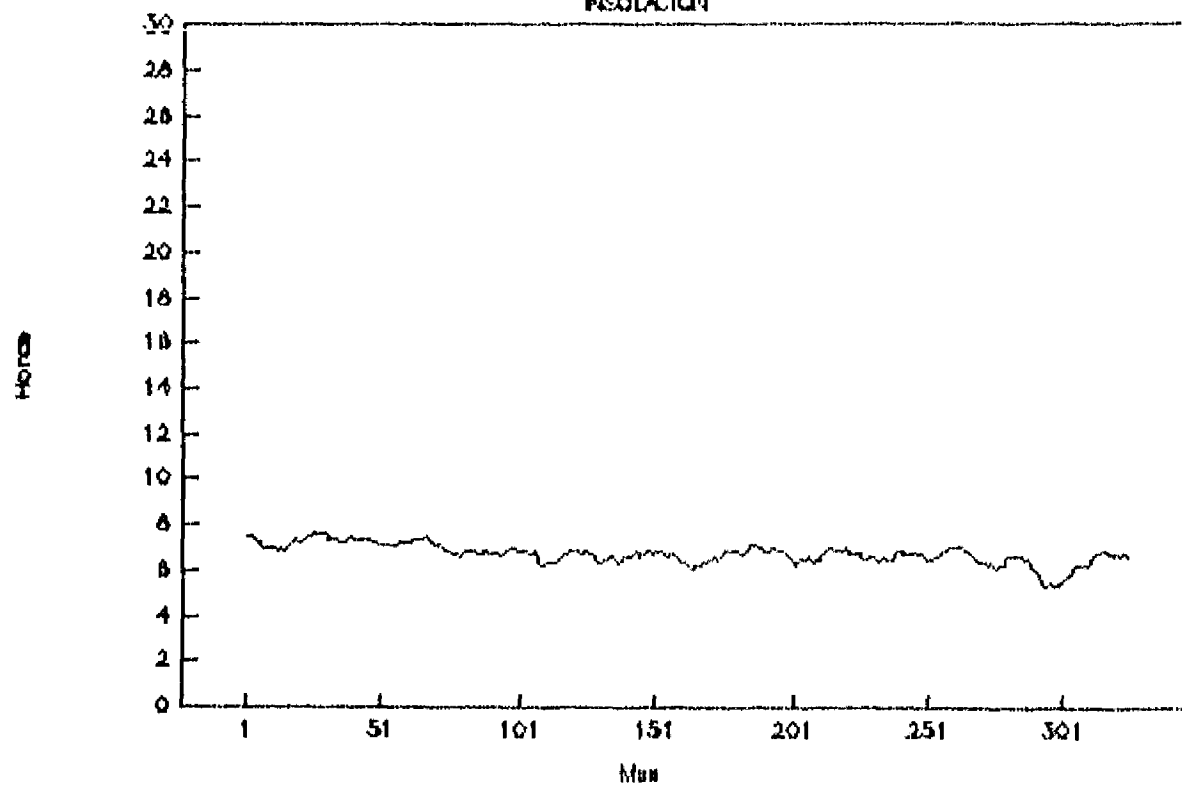


FIGURA No. 18
TEMPERATURA AMBIENTE

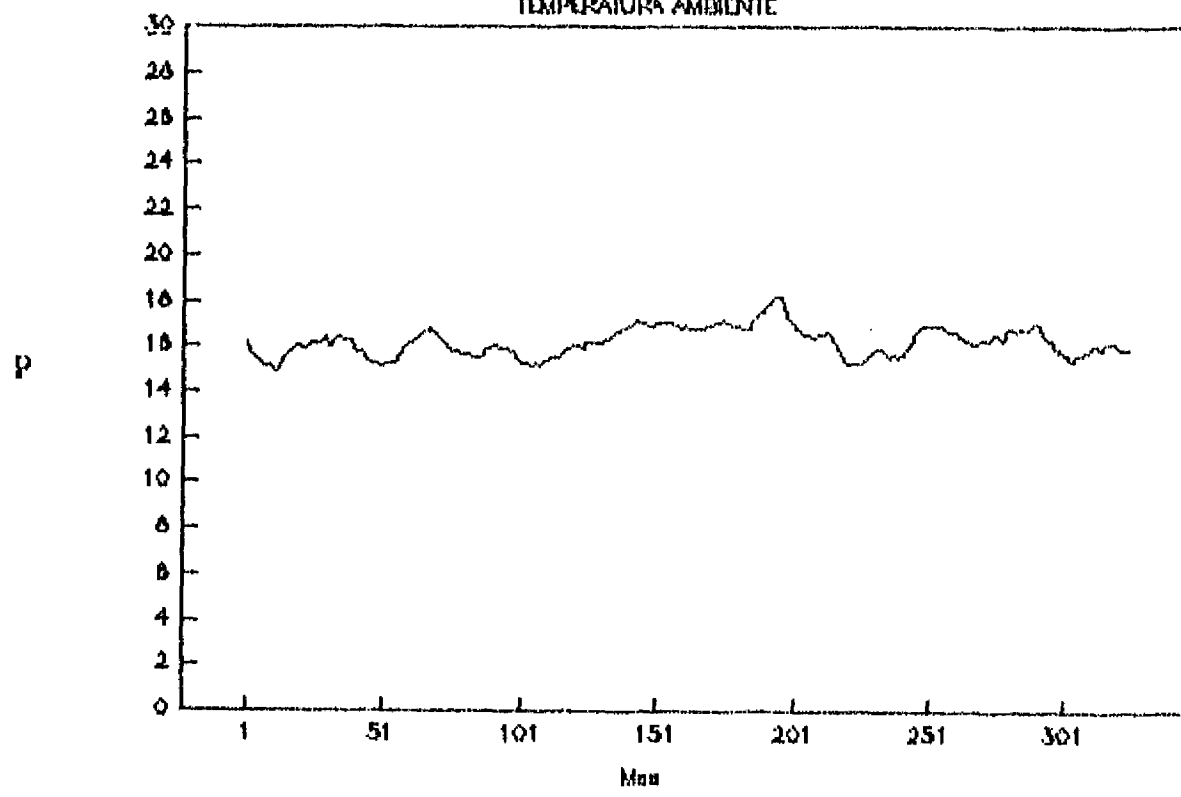


FIGURA No. 19
HUMEDAD RELATIVA

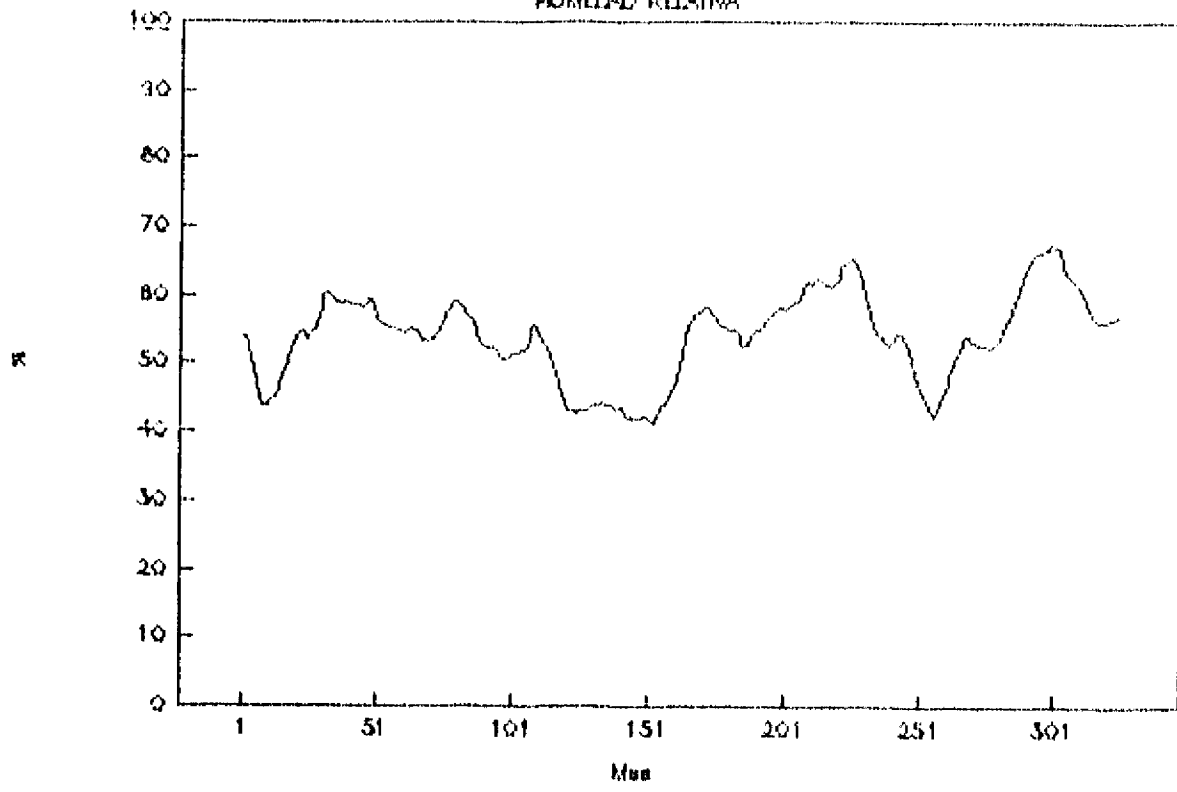


FIGURA No. 20
IRRADIACION SOLAR GLOBAL

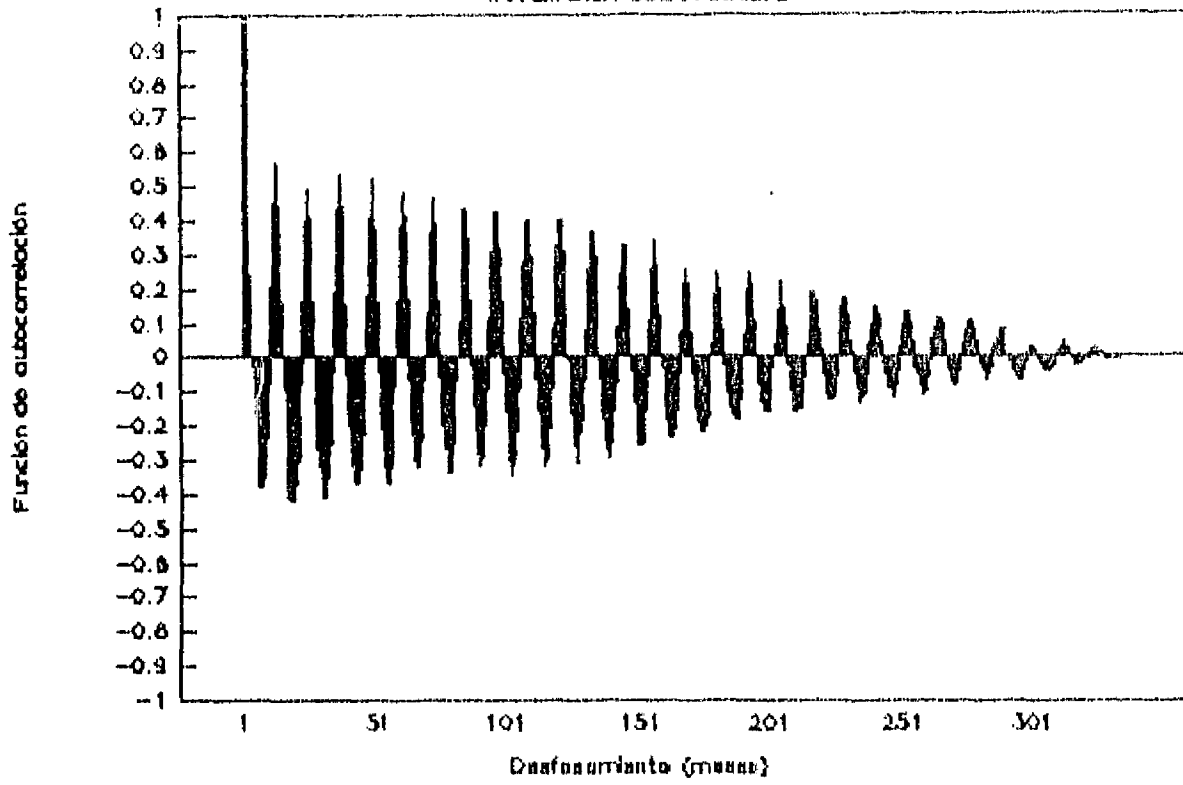


FIGURA No. 21
IRRADIACION SOLAR DIFUSA

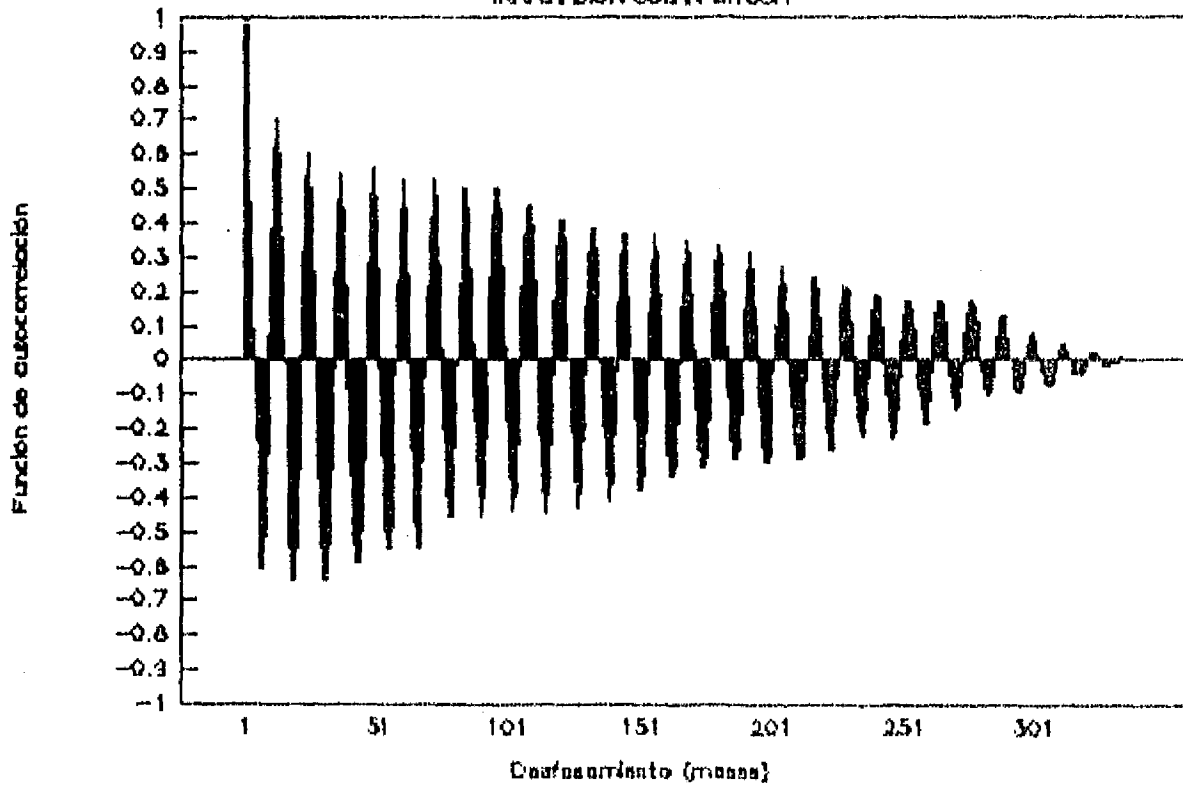


FIGURA No. 22
RESOLACION

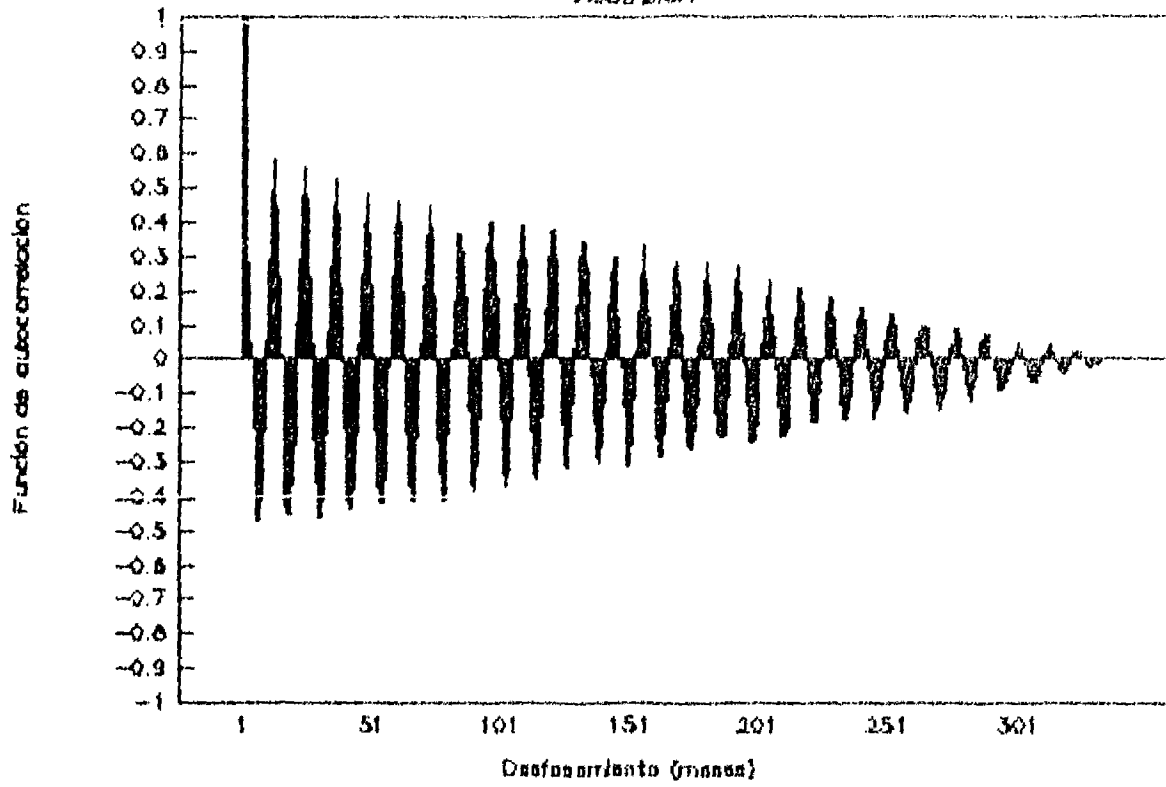


FIGURA No. 23
TEMPERATURA AMBIENTE

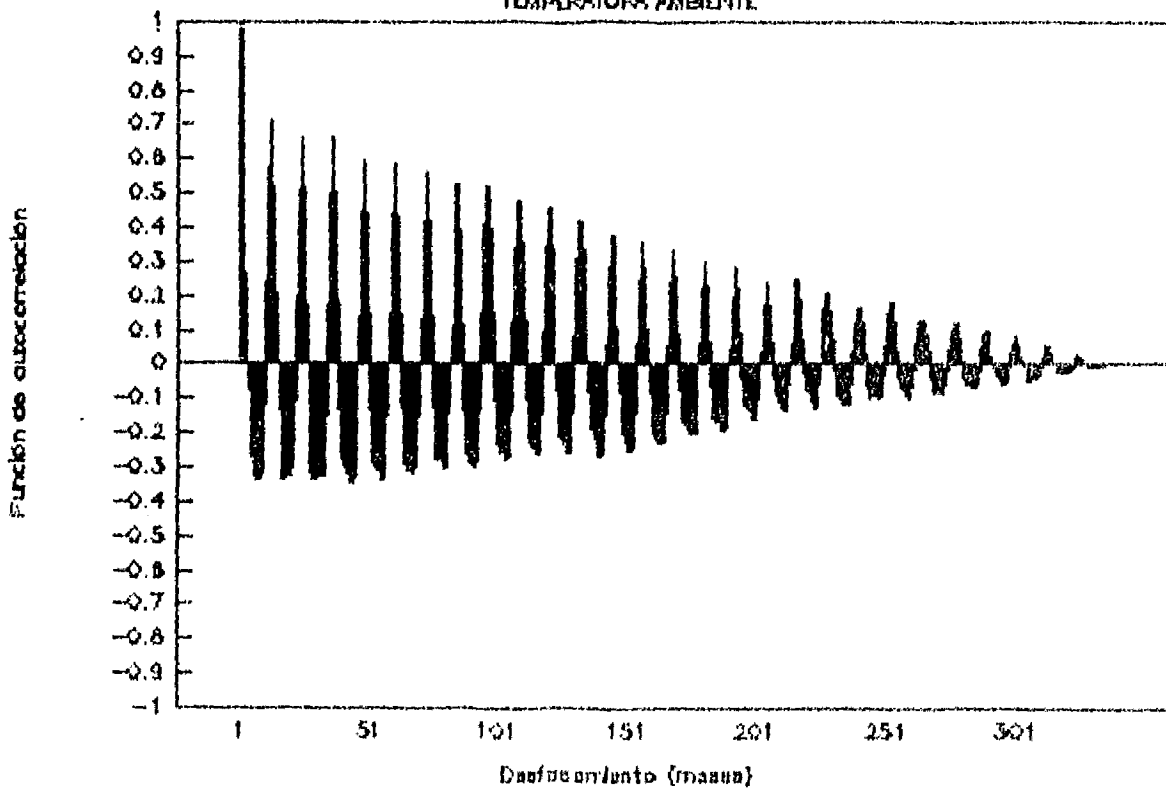


FIGURA No. 24
HUMEDAD RELATIVA

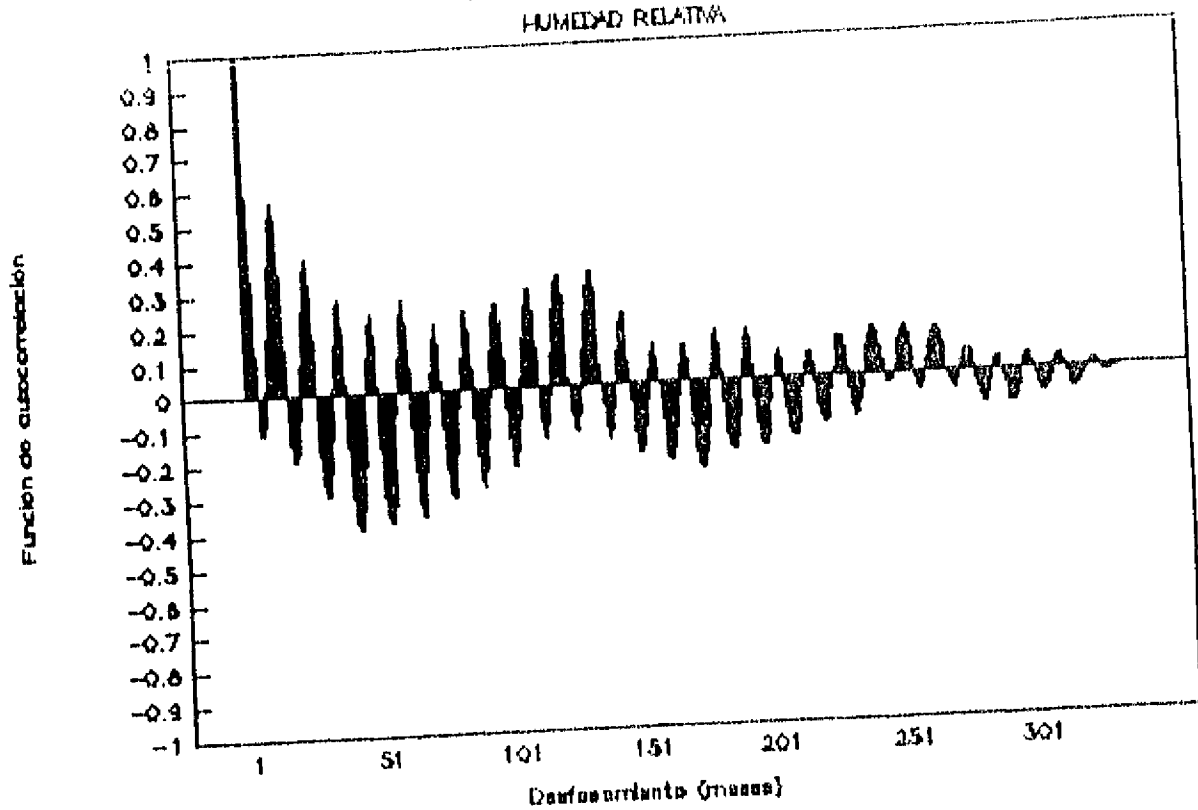


FIGURA No. 25
IRRADIACION SOLAR GLOBAL

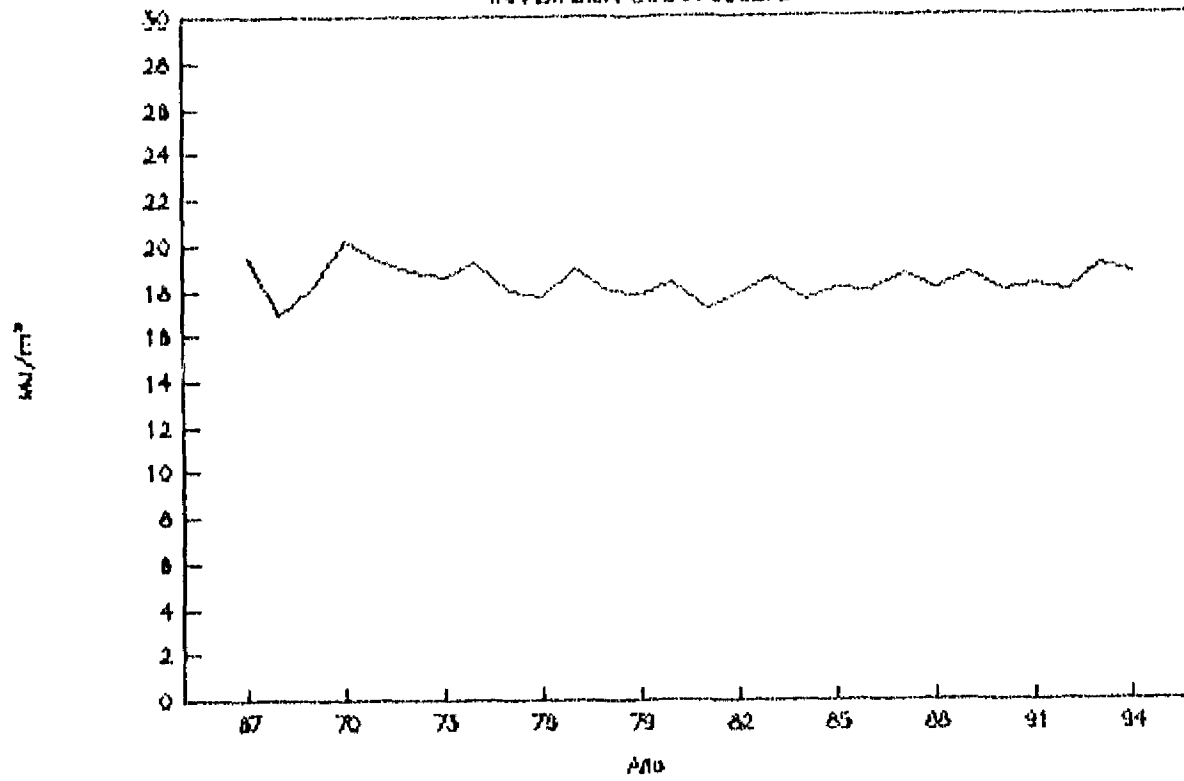


FIGURA No. 26
IRRADIACION SOLAR DIFUSA

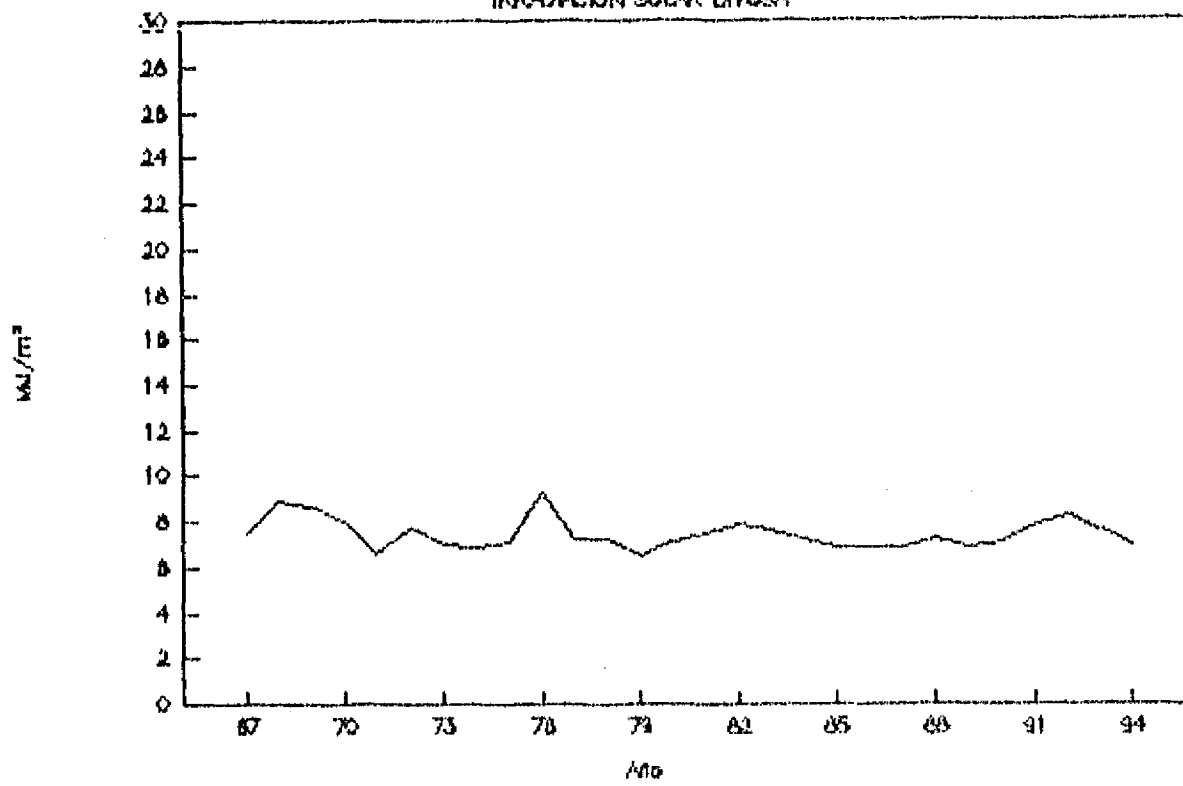


FIGURA No. 27

RESOLACION

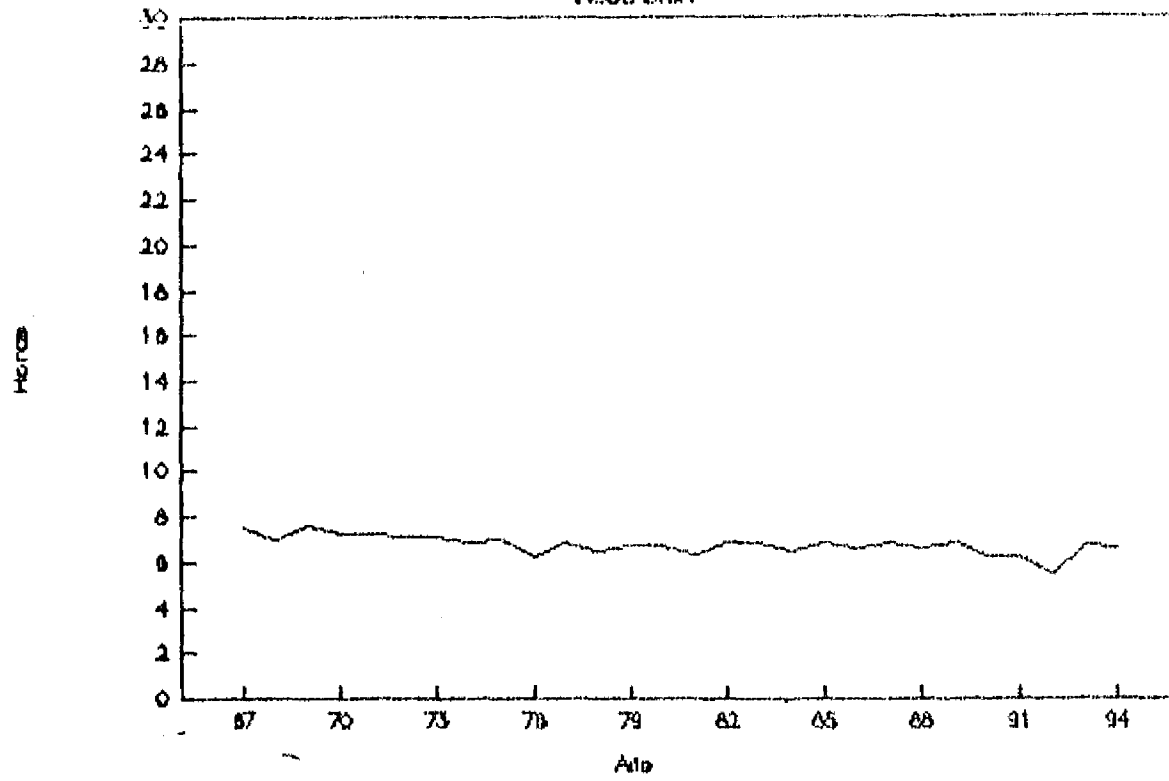


FIGURA No. 28

TEMPERATURA AMBIENTE

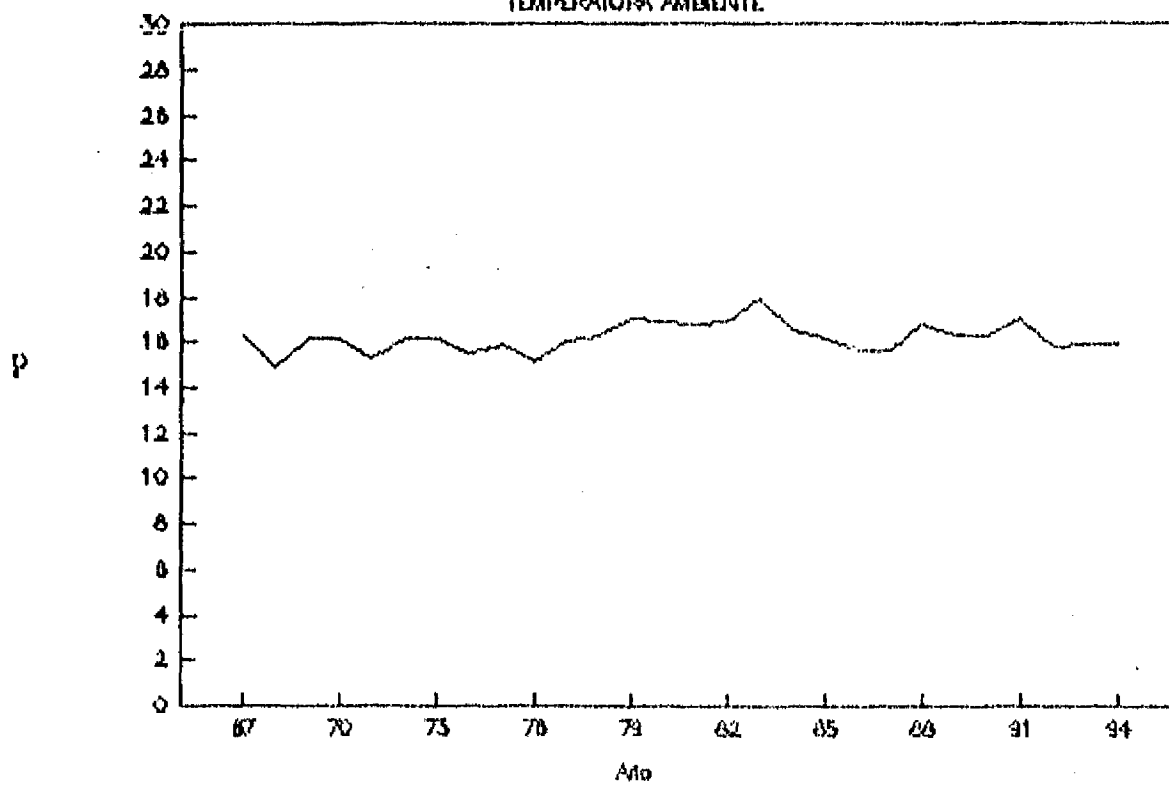


FIGURA No. 29

HUMEDAD RELATIVA

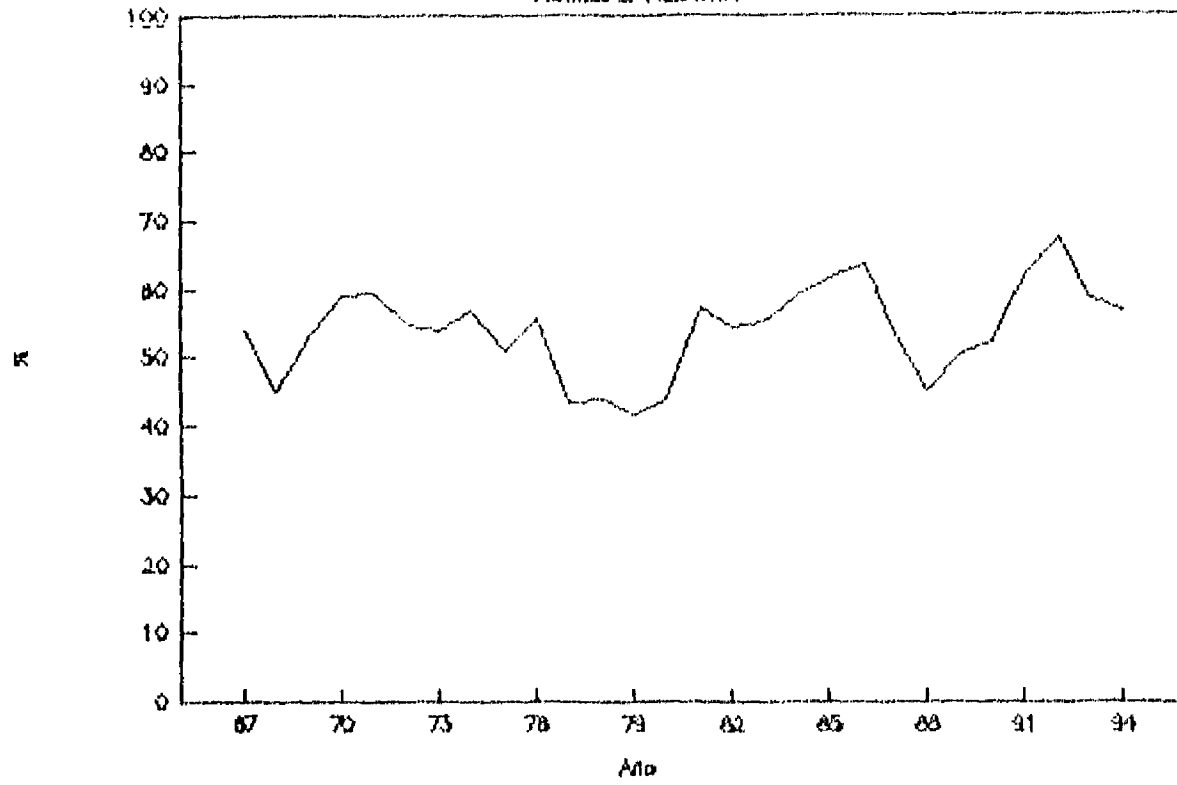


FIGURA No. 30

IRADIACION SOLAR ULTRAVIOLETA

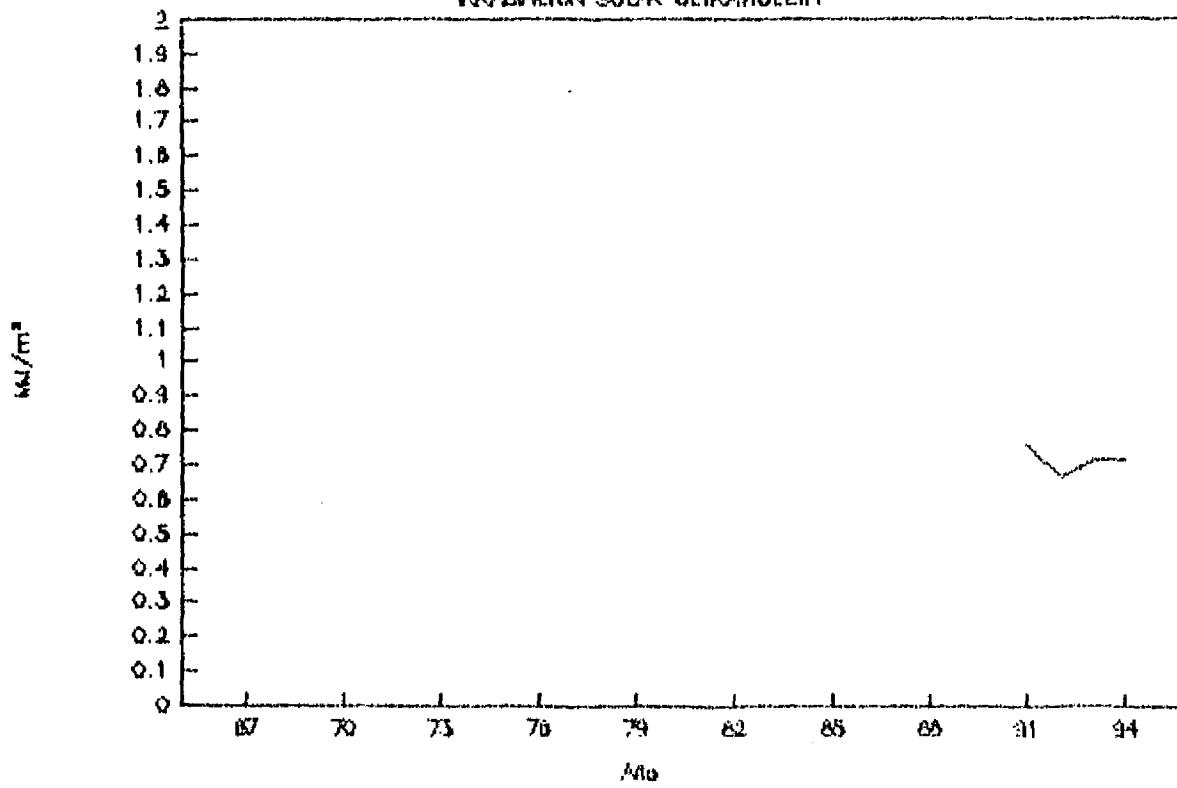


FIGURA No. 31

IRRADIACION ATMOSFERICA

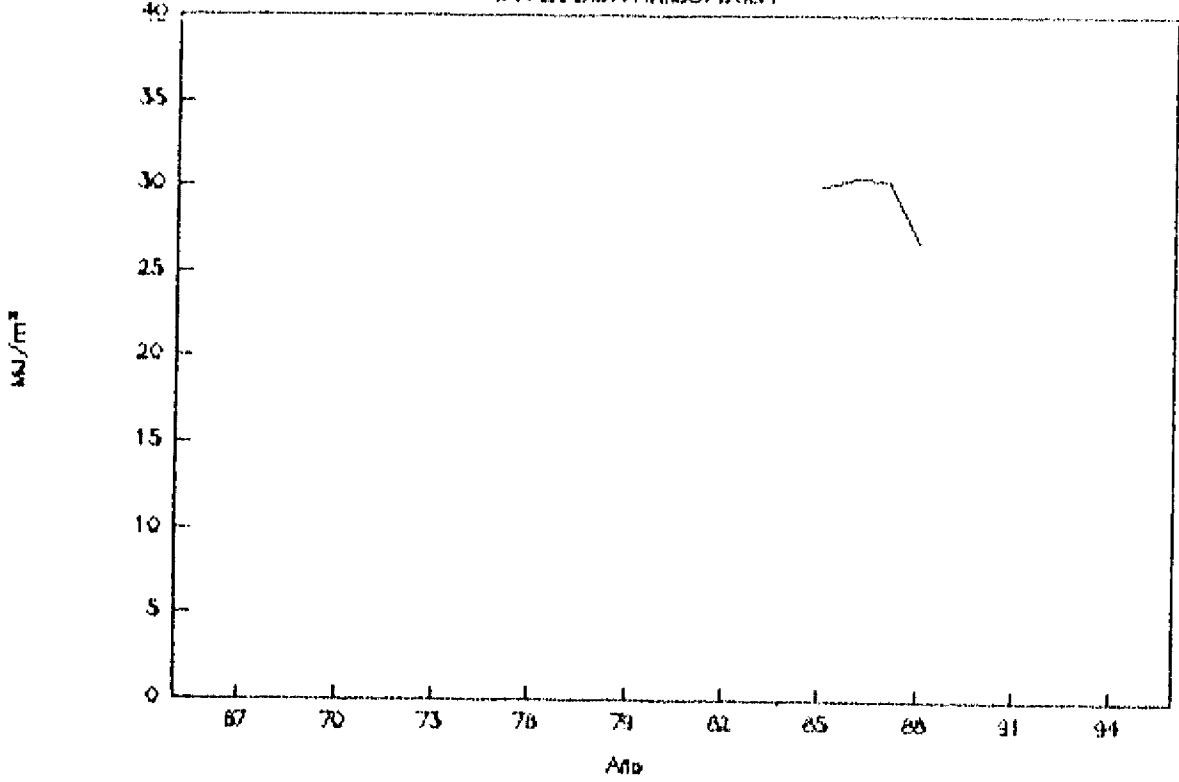


Tabla No.4

Año	R. G. MJ/m ²	R. D. MJ/m ²	Ins. Heras	Temp. °C	H. R. %	R. A. MJ/m ²	U. V. MJ/m ²
67	19.41	7.56	7.47	16.23	54.15	---	---
68	16.91	8.90	6.95	14.90	45.31	---	---
69	18.19	8.63	7.64	16.19	53.65	---	---
70	20.19	7.98	7.30	16.22	58.97	---	---
71	19.28	6.58	7.26	15.24	59.65	---	---
72	18.83	7.74	7.18	16.18	54.65	---	---
73	18.55	7.04	7.07	16.21	53.85	---	---
74	19.17	6.92	6.83	15.51	56.80	---	---
75	17.91	7.09	6.95	15.86	50.93	---	---
76	17.72	9.30	6.27	15.18	55.53	---	---
77	18.96	7.32	6.89	15.99	43.46	---	---
78	17.92	7.24	6.53	16.30	43.95	---	---
79	17.85	6.53	6.72	17.08	41.93	---	---
80	18.33	7.13	6.74	16.98	43.67	---	---
81	17.23	7.49	6.32	16.85	57.21	---	---
82	17.76	7.09	6.85	16.94	54.58	---	---
83	18.62	7.66	6.89	17.98	55.19	---	---
84	17.54	7.26	6.54	16.58	58.86	---	---
85	18.08	6.94	6.83	16.14	61.54	30.07	---
86	18.00	6.93	6.58	15.62	63.79	30.56	---
87	18.64	6.91	6.87	15.70	53.13	30.41	---
88	18.09	7.21	6.58	16.85	45.00	26.85	---
89	18.76	6.82	6.90	16.31	50.52	---	---
90	18.00	7.19	6.22	16.34	52.26	---	---
91	18.15	7.95	6.20	17.08	62.00	---	0.76
92	18.00	8.33	5.53	15.75	67.29	---	0.67
93	19.06	7.68	6.78	15.97	58.68	---	0.72
94	18.76	6.99	6.60	15.94	57.14	---	0.72

R.G. Irradiación Solar Global. H.R. Humedad Relativa.
R.D. Irradiación Solar Difusa. R.A. Irradiación Atmosférica.
Ins. Insolación. U.V. Irradiación Solar Ultra-violeta.
Temp. Temperatura.
--- No existe información.

FIGURA No. 32
IRRADIACION SOLAR GLOBAL

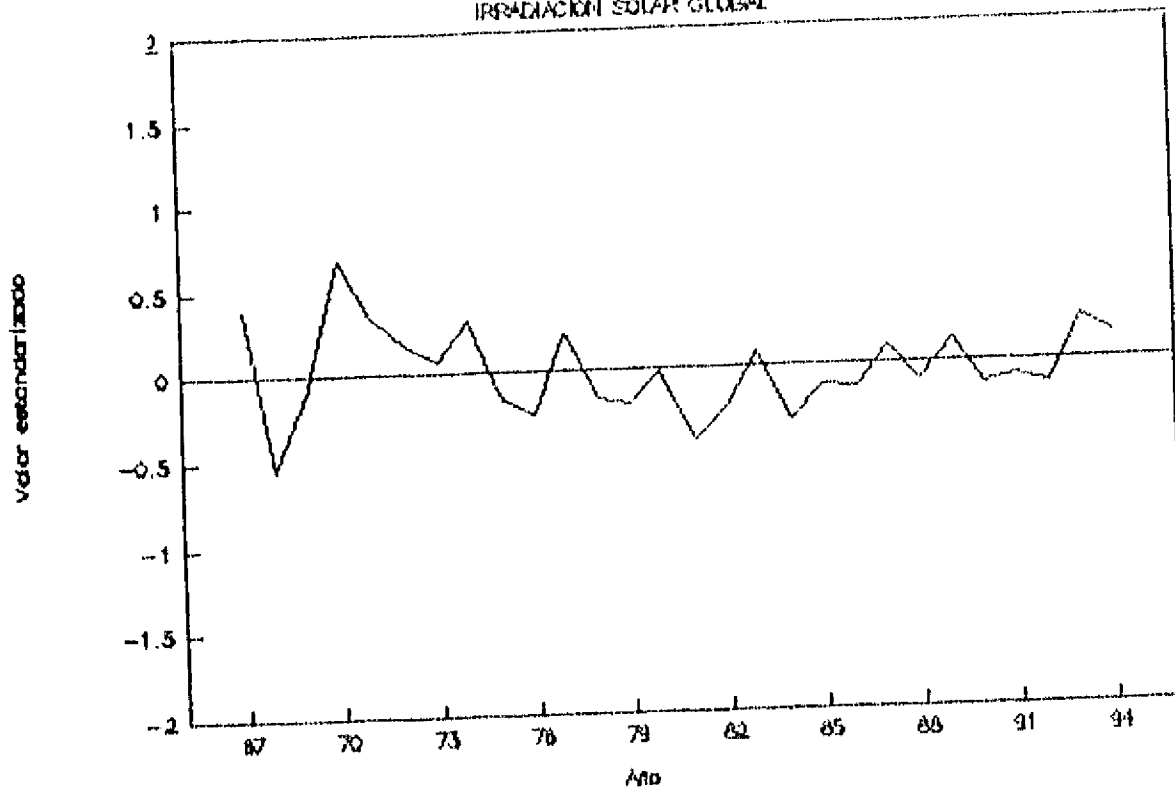


FIGURA No. 33
IRRADIACION SOLAR DIFUSA

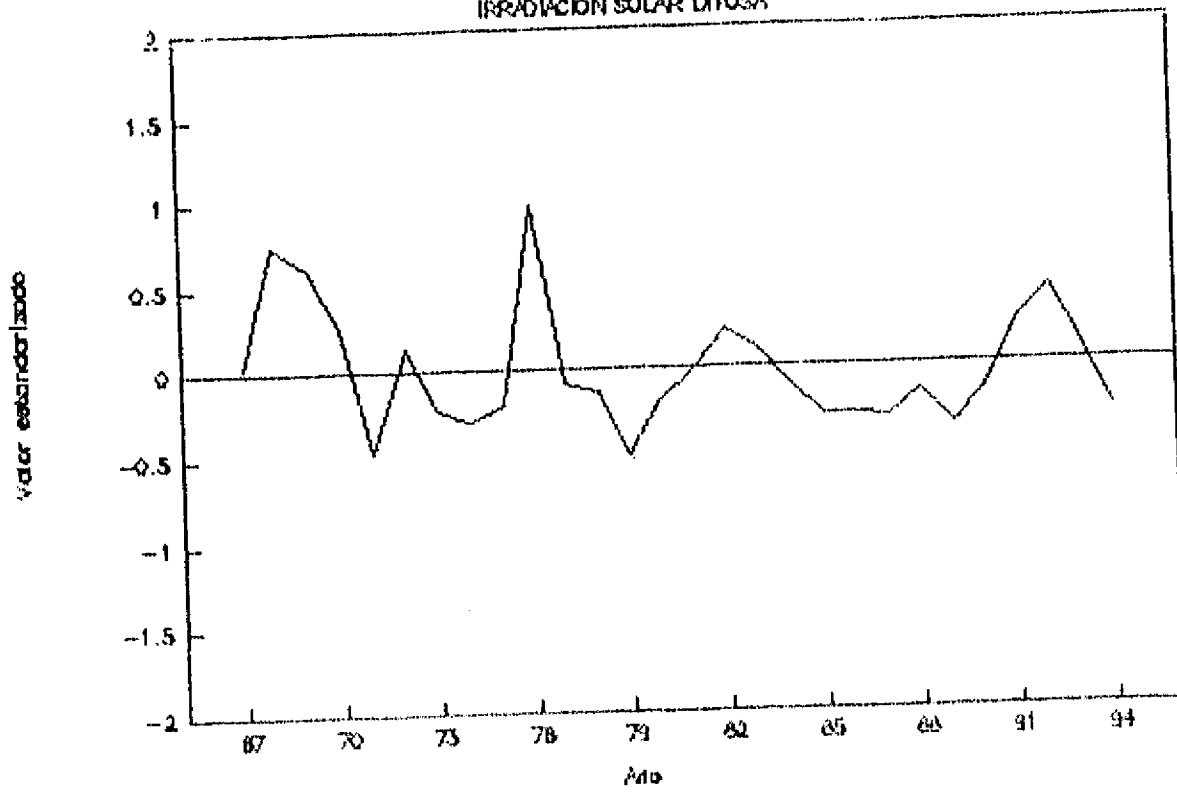


FIGURA No. 34

INSOLACION

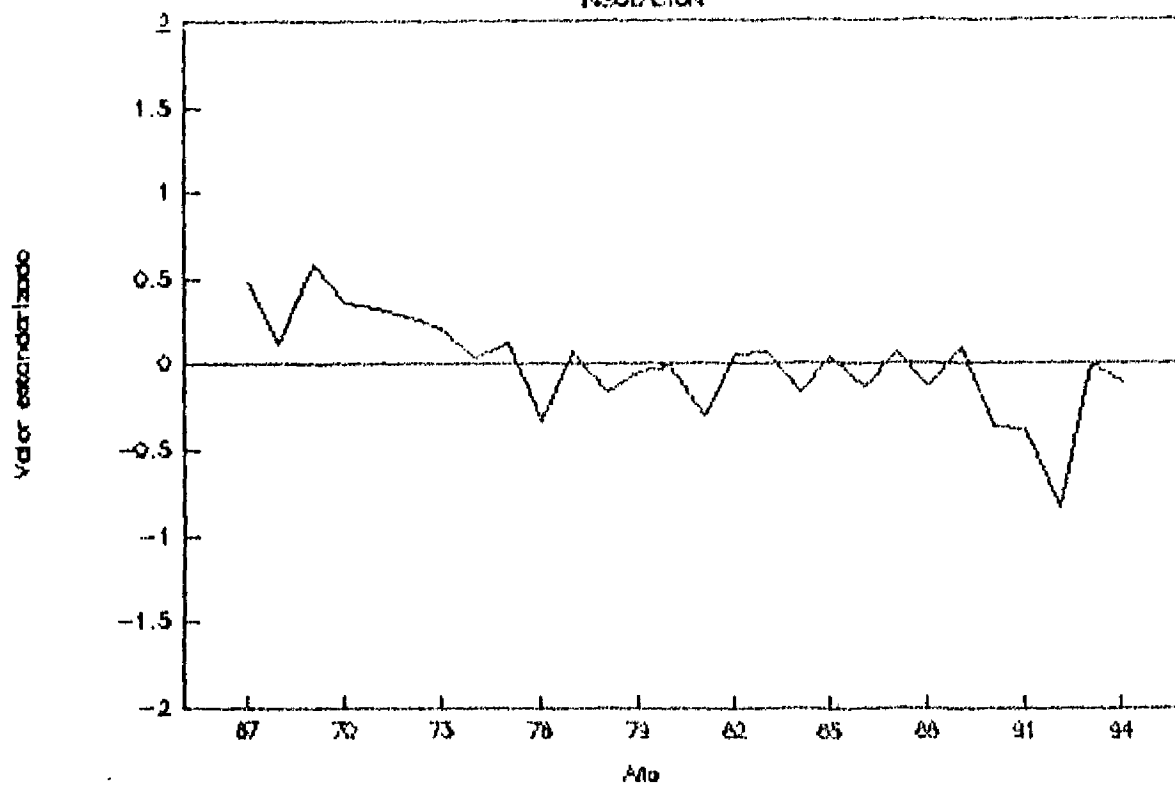


FIGURA No. 35

TEMPERATURA AMBIENTE

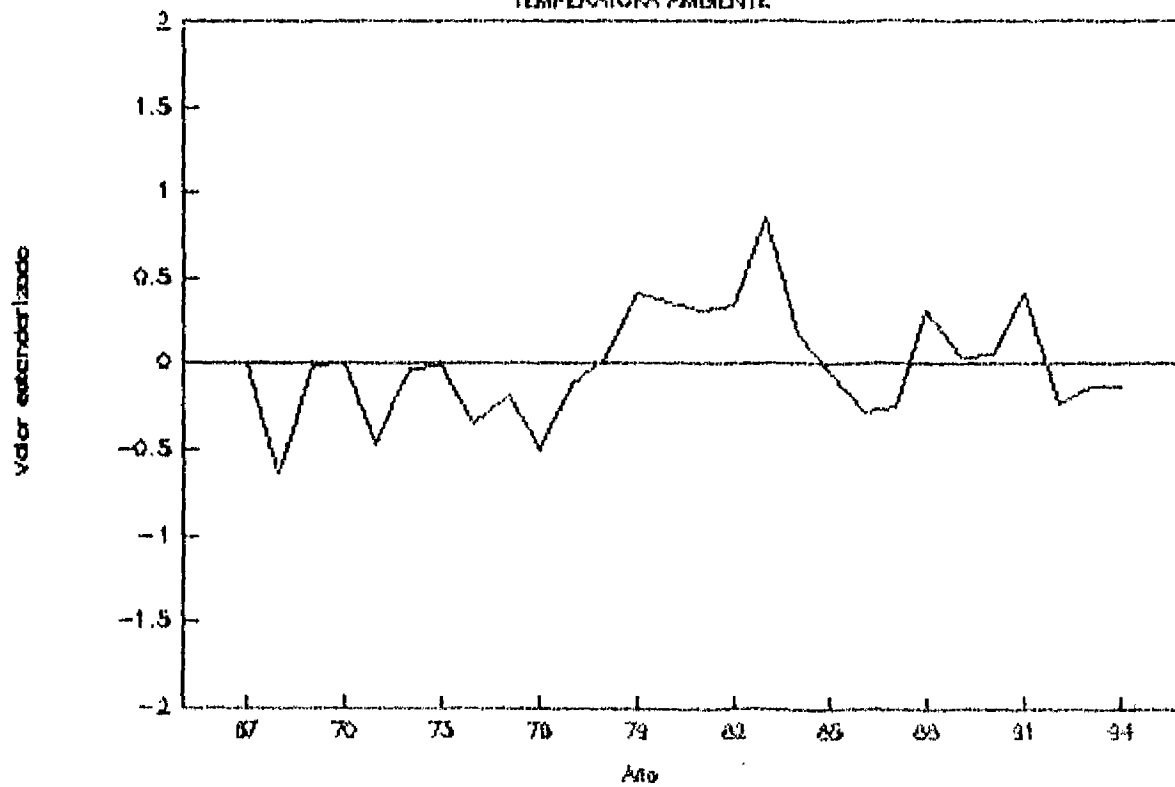


FIGURA No. 36
HUMEDAD RELATIVA

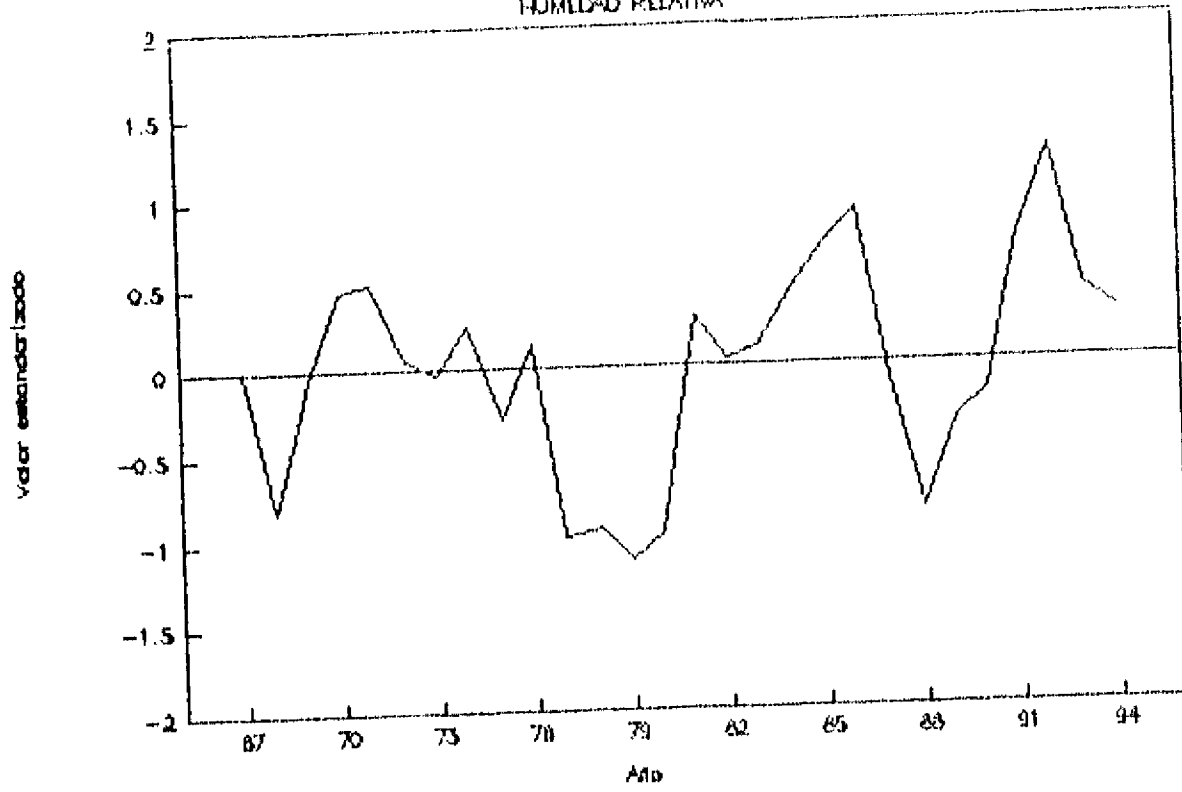


FIGURA No. 37

Estación C. U. 1967-1994

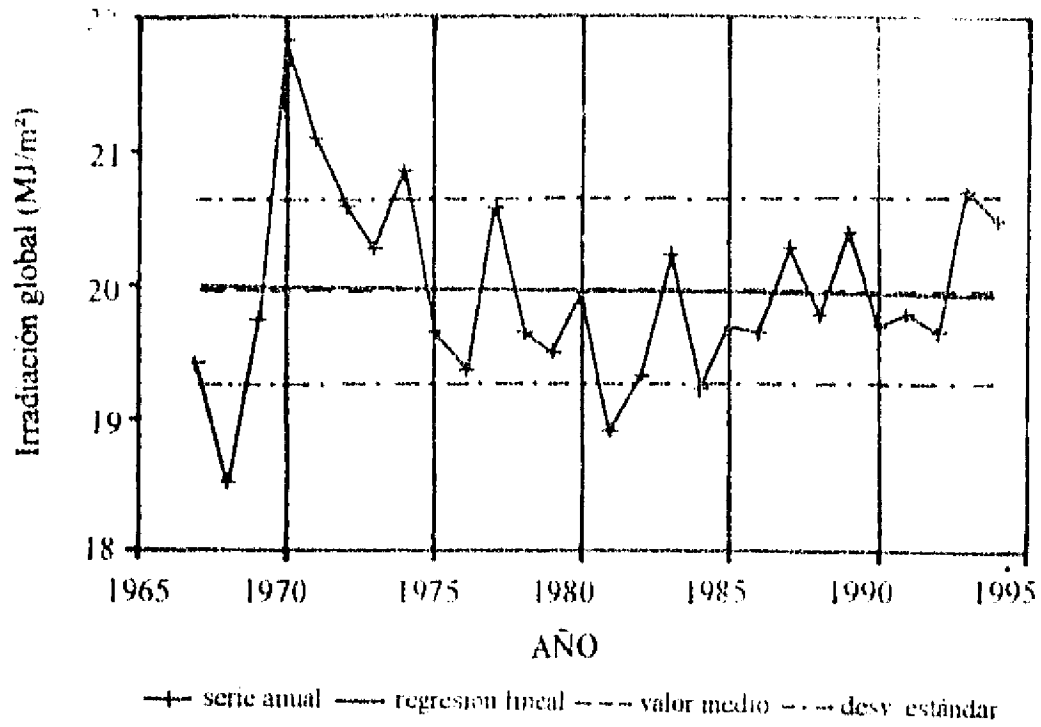


FIGURA No. 38

Estación C. U. 1967-1994

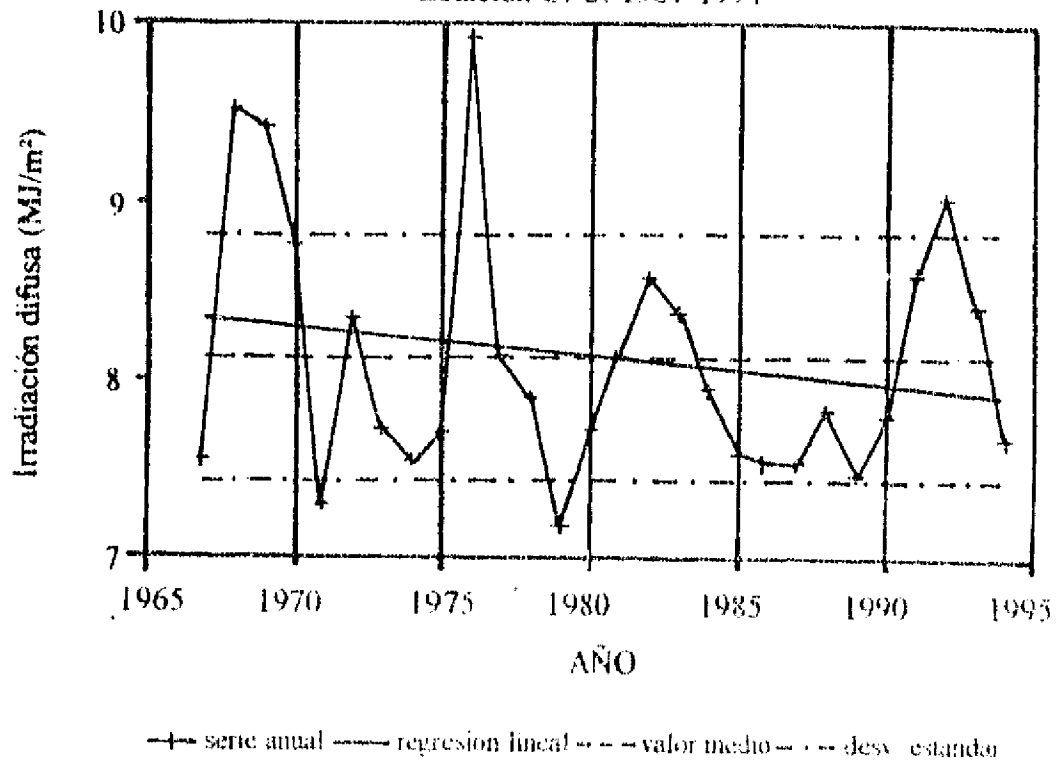


FIGURA No. 39

Estacion C. U. 1967-1994

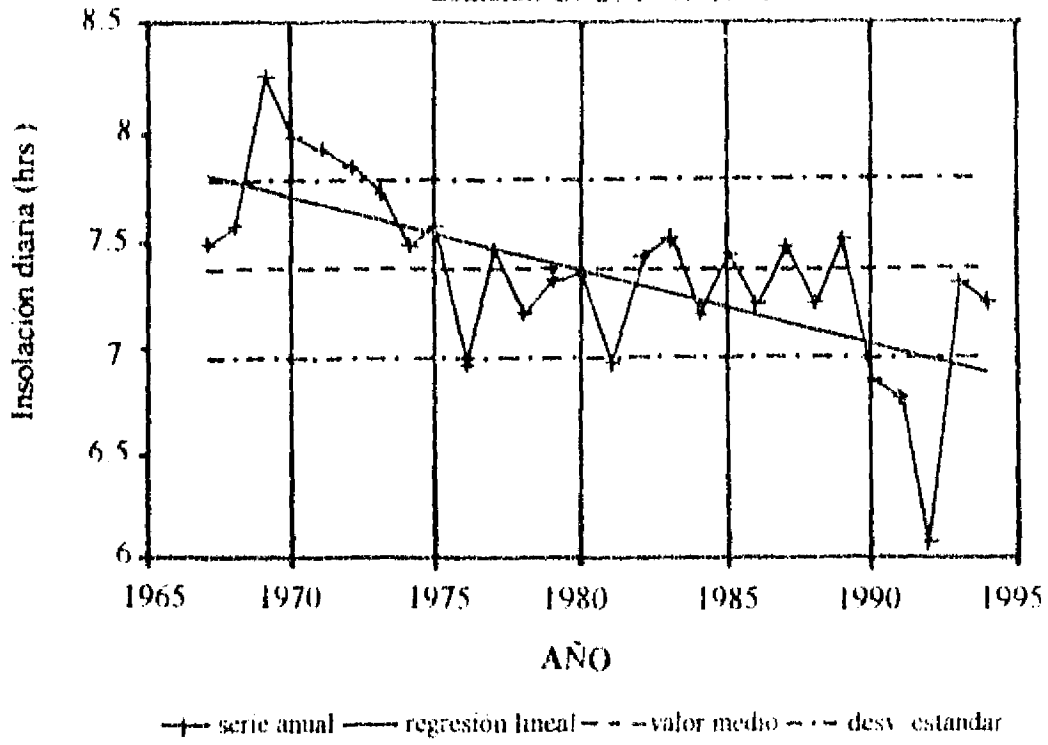


FIGURA No. 40

Estación C. U. 1967-1994

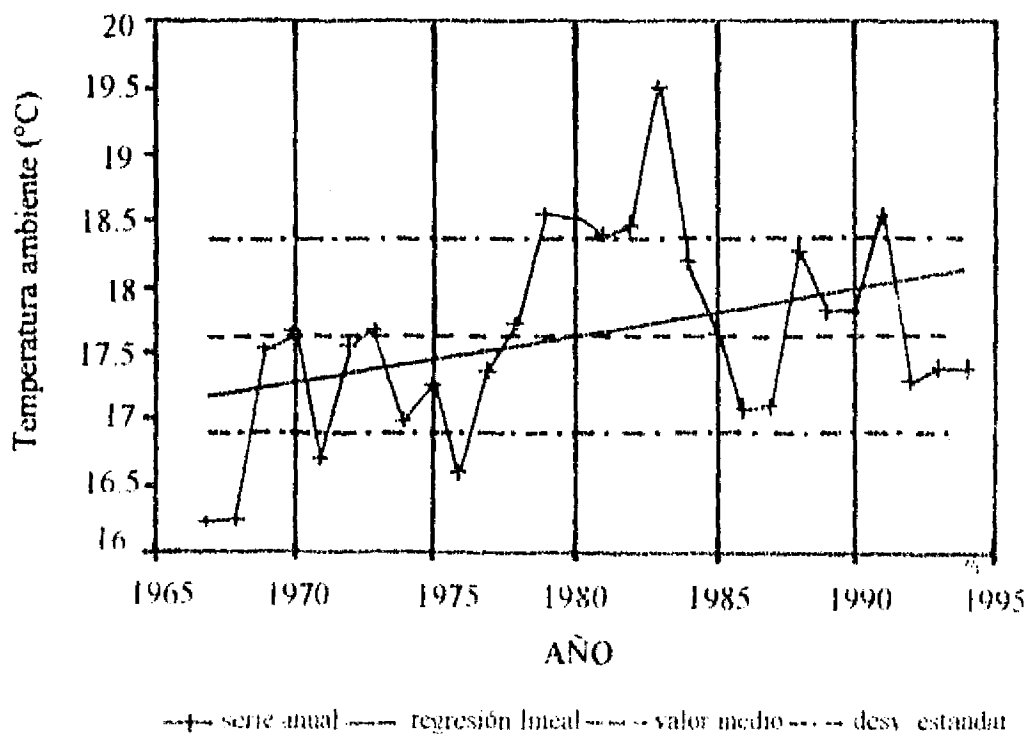


FIGURA No. 41

Estación C. U. 1967-1994

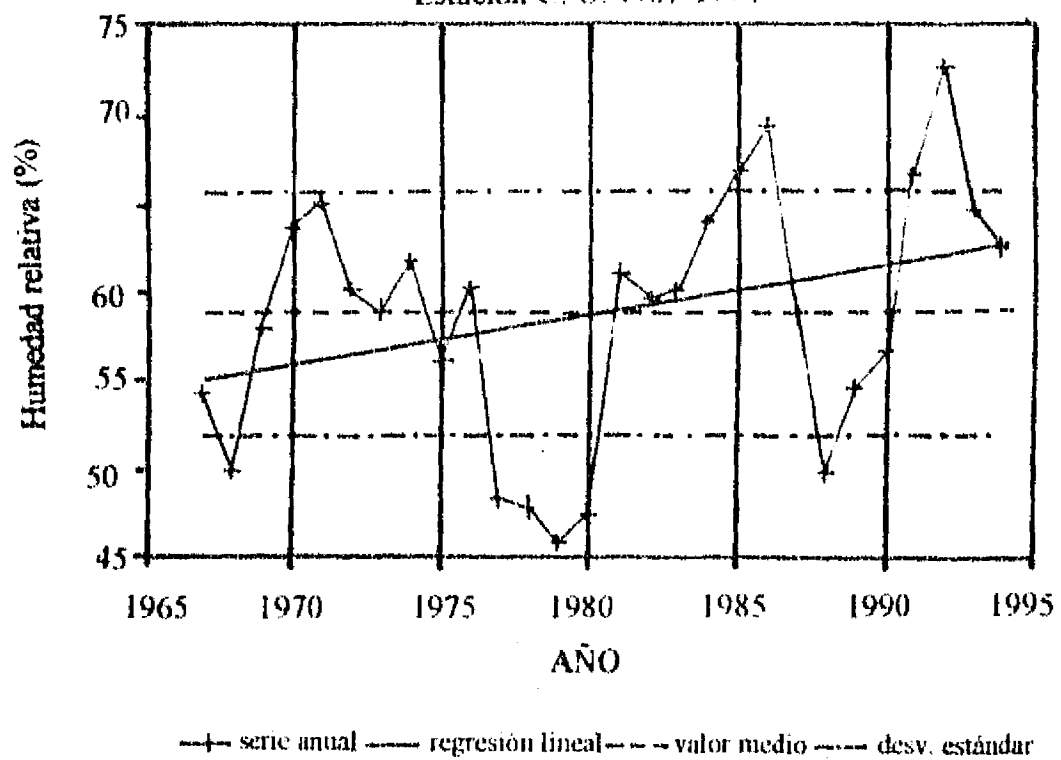


FIGURA No. 42

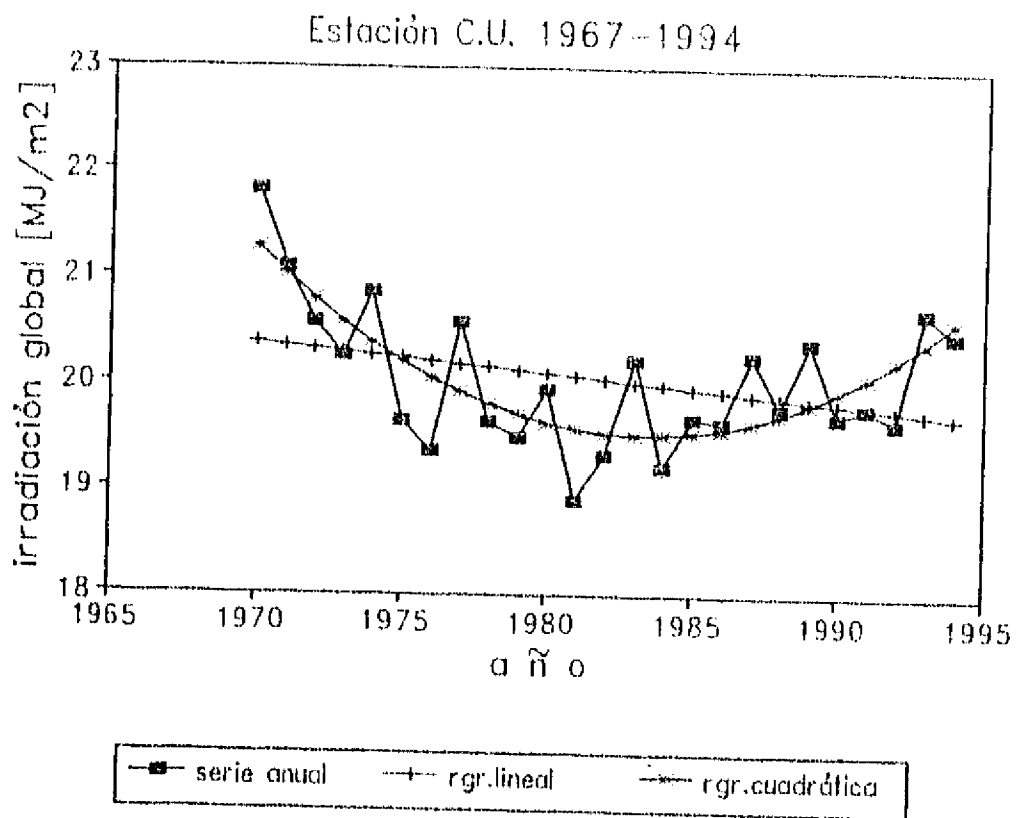


FIGURA No. 43

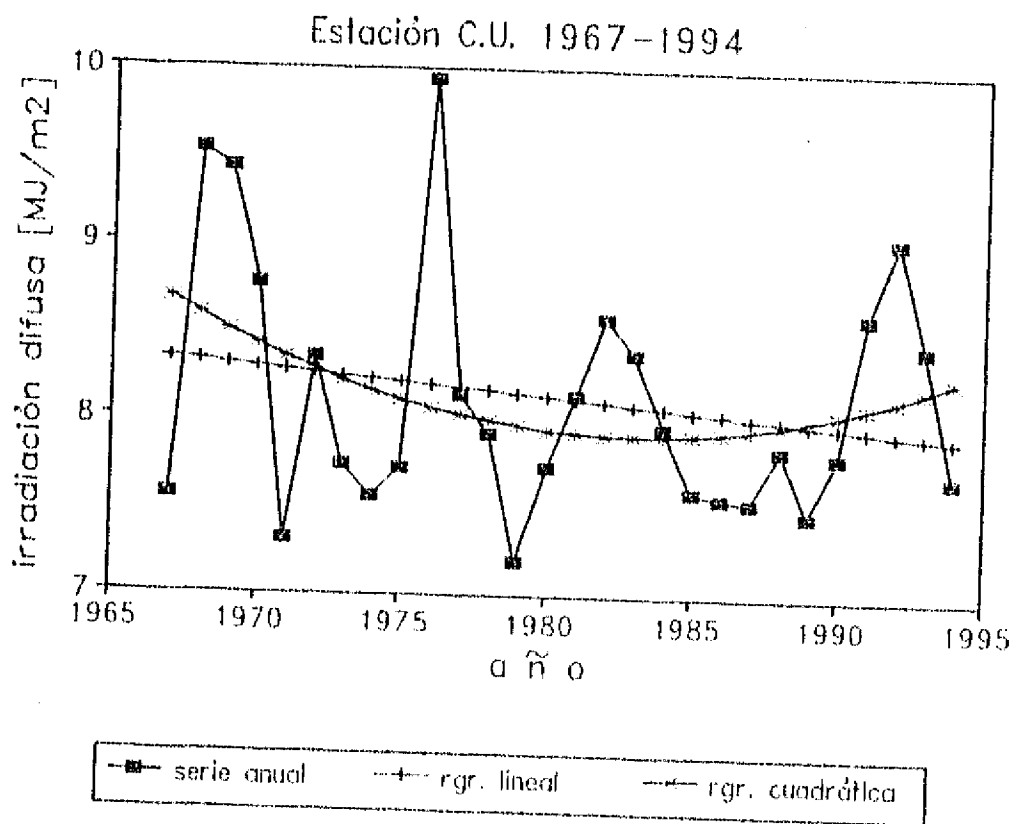


FIGURA No. 44

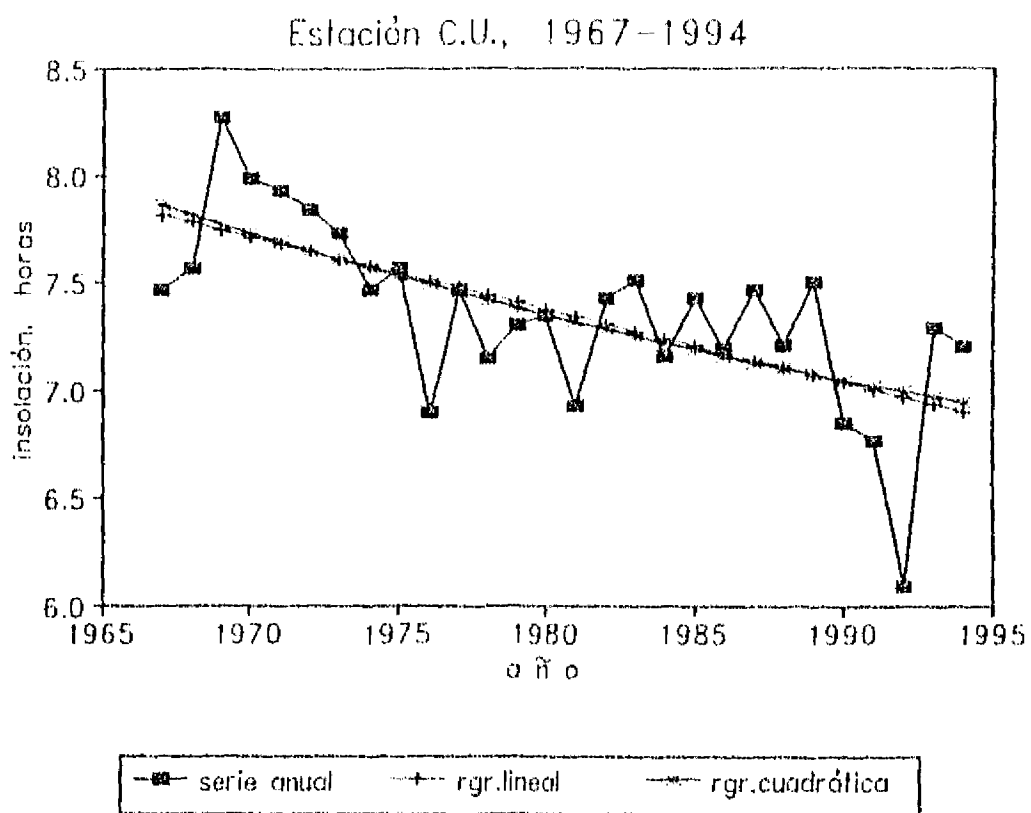


FIGURA No. 45

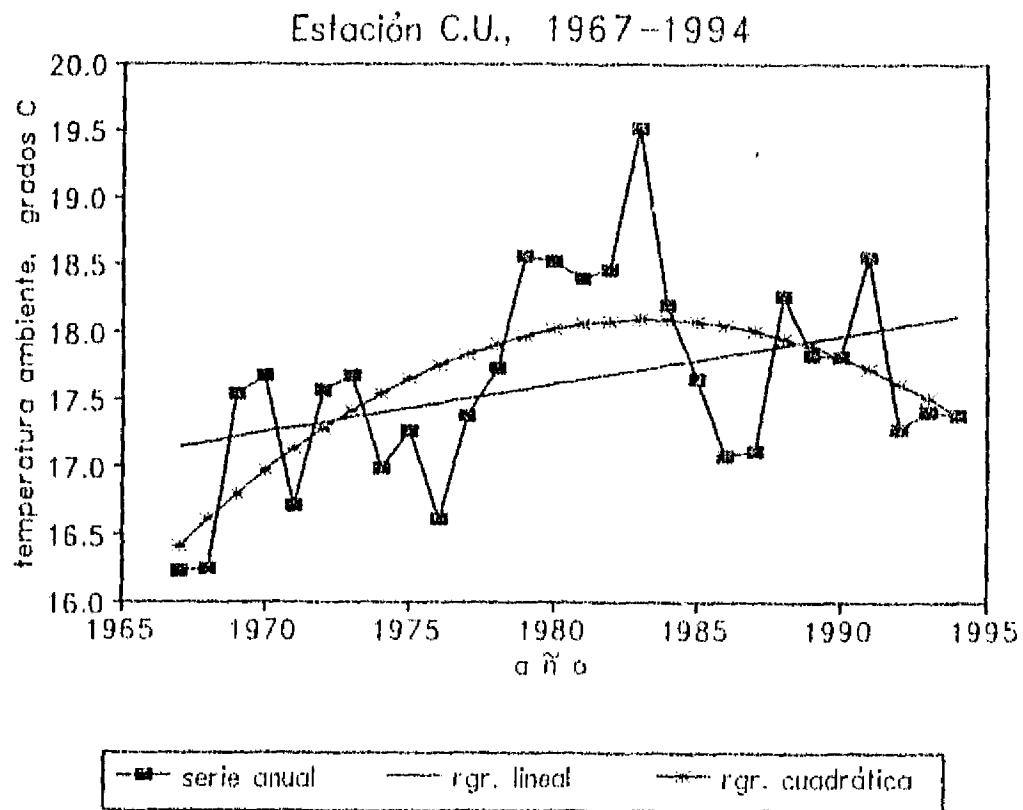


FIGURA No. 46

Estación C.U., 1967-1994

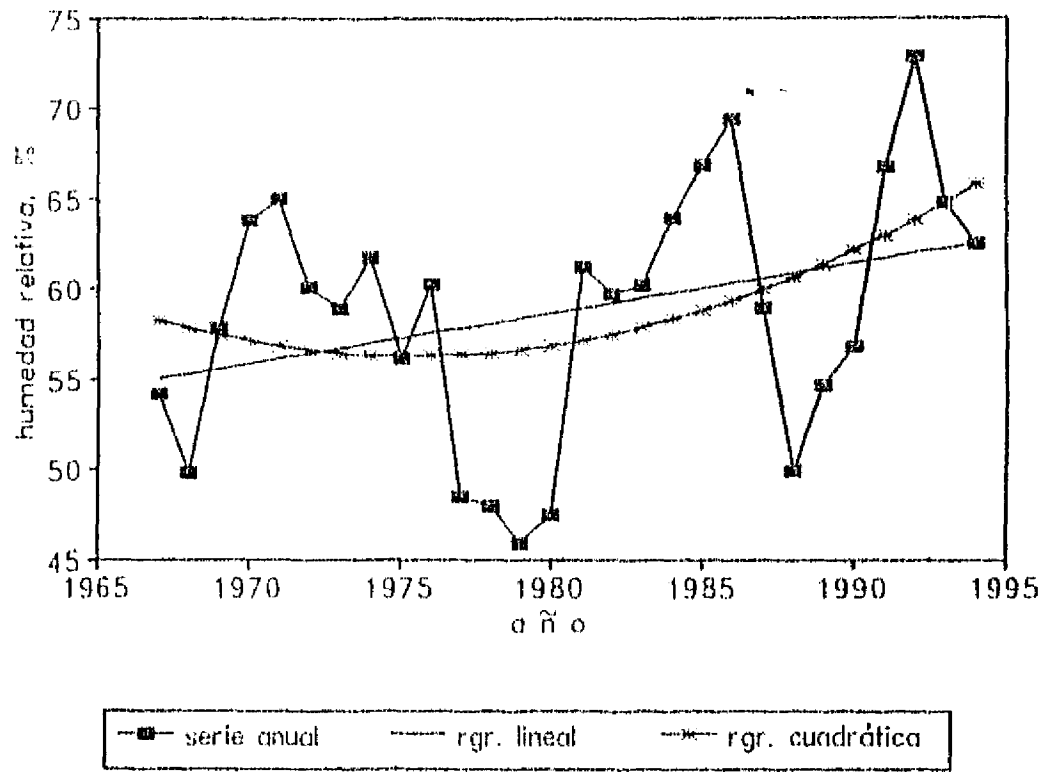


FIGURA No. 47
IRRADIACION SOLAR DIRECTA (MDR=2.0)

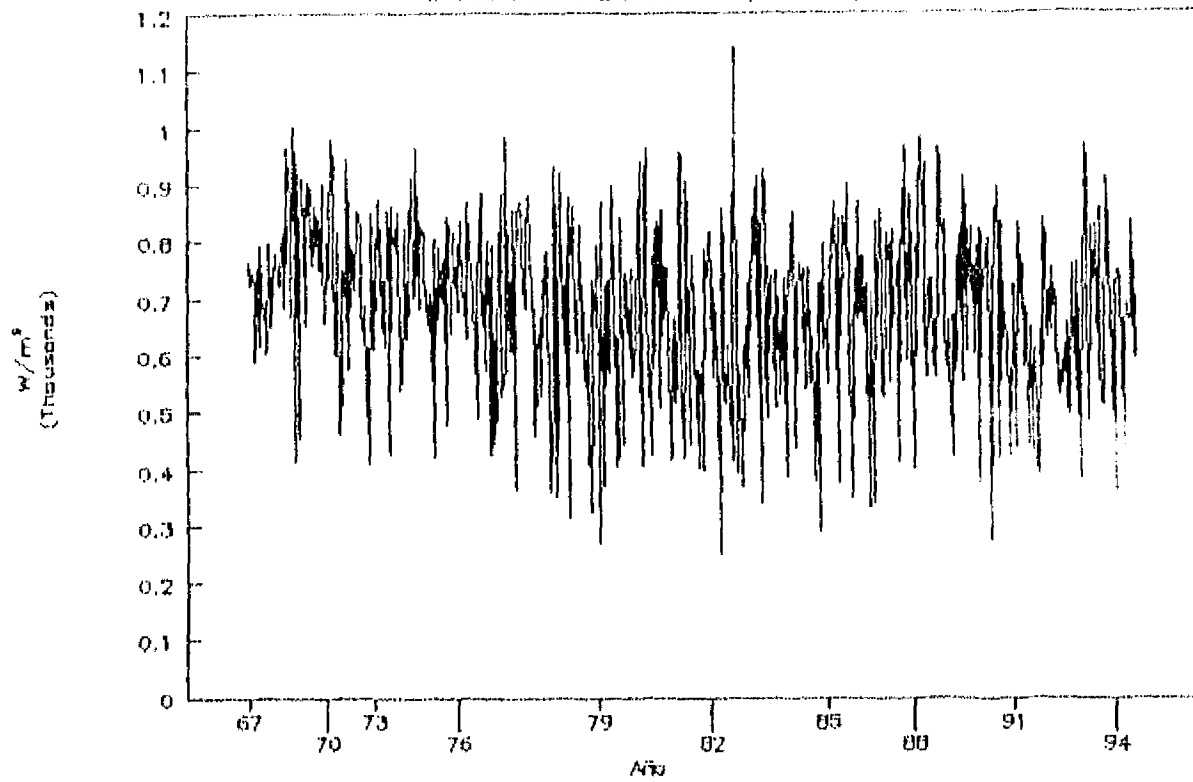


FIGURA No. 48
MEDIA ANUAL. IRRADIACION SOLAR DIRECTA

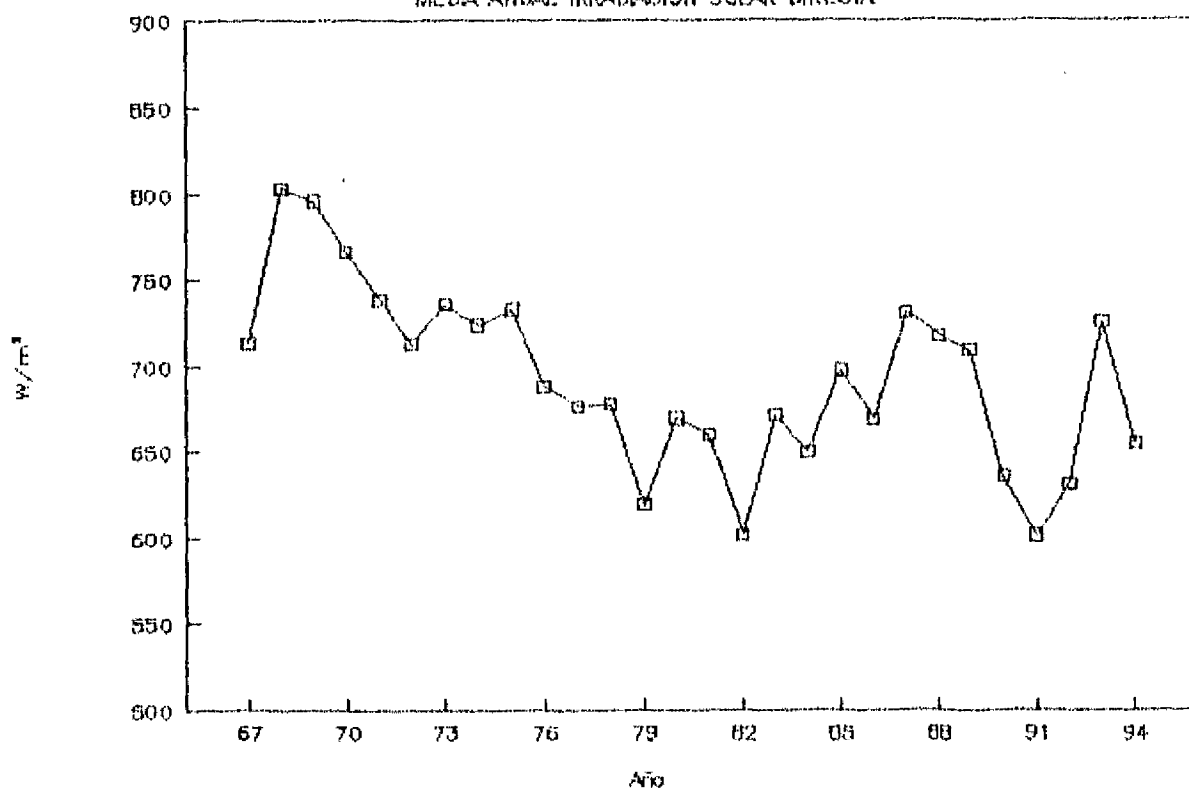


FIGURA No. 49
PROFUNDIDAD OPTICA ATMOSFERICA

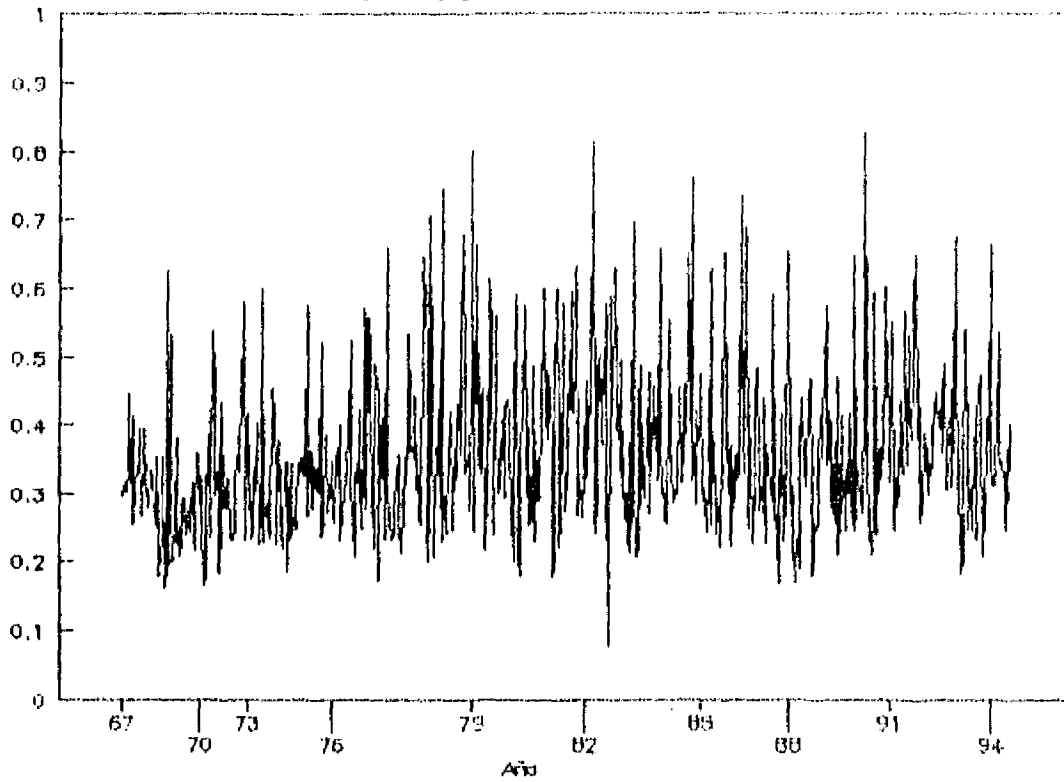


FIGURA No. 50
INDICE DE OSCILACION DEL SUR (IOS)

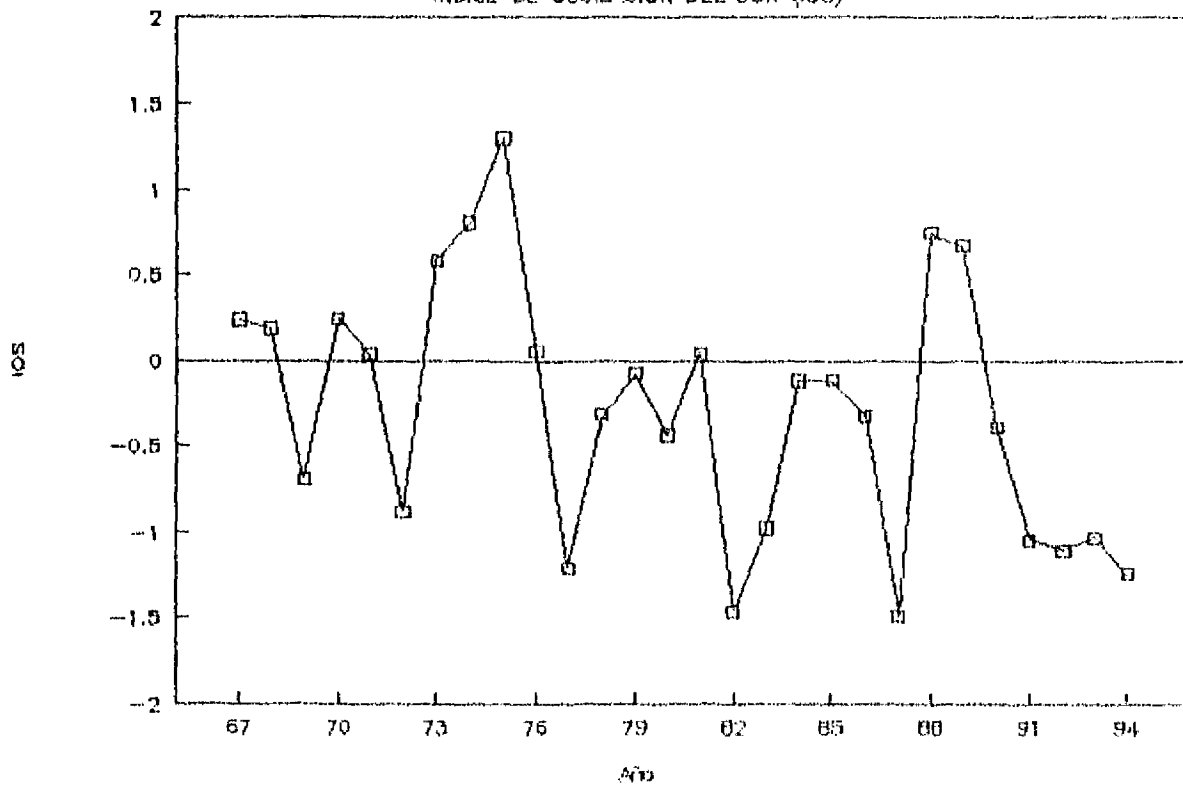


FIGURA No. 51

AGUA PRECIPITABLE

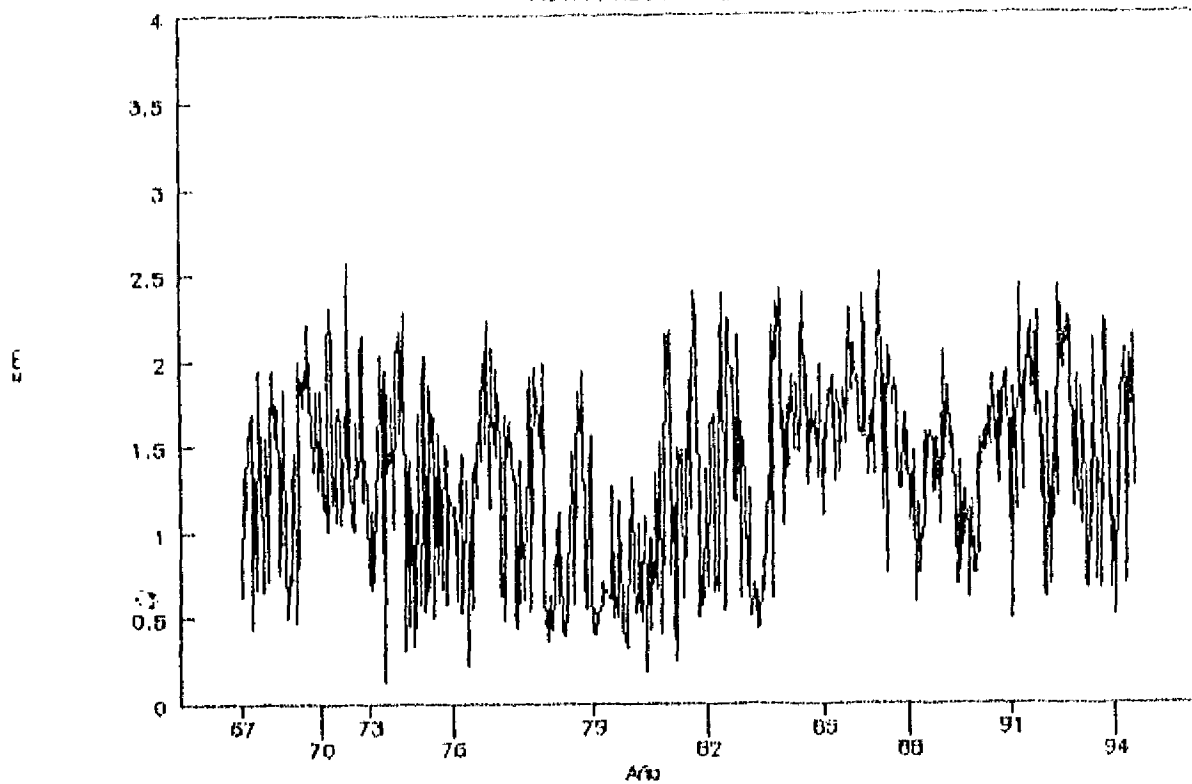


FIGURA No. 52

MANCHAS SOLARES

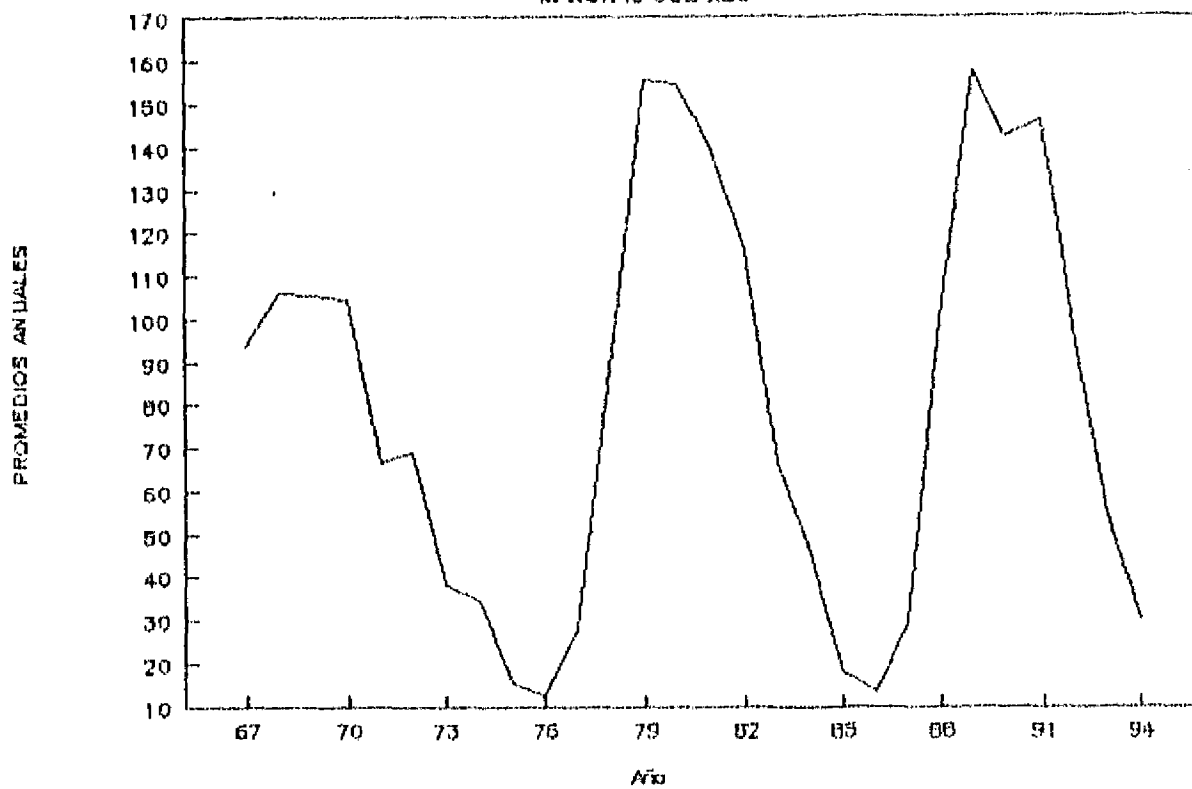
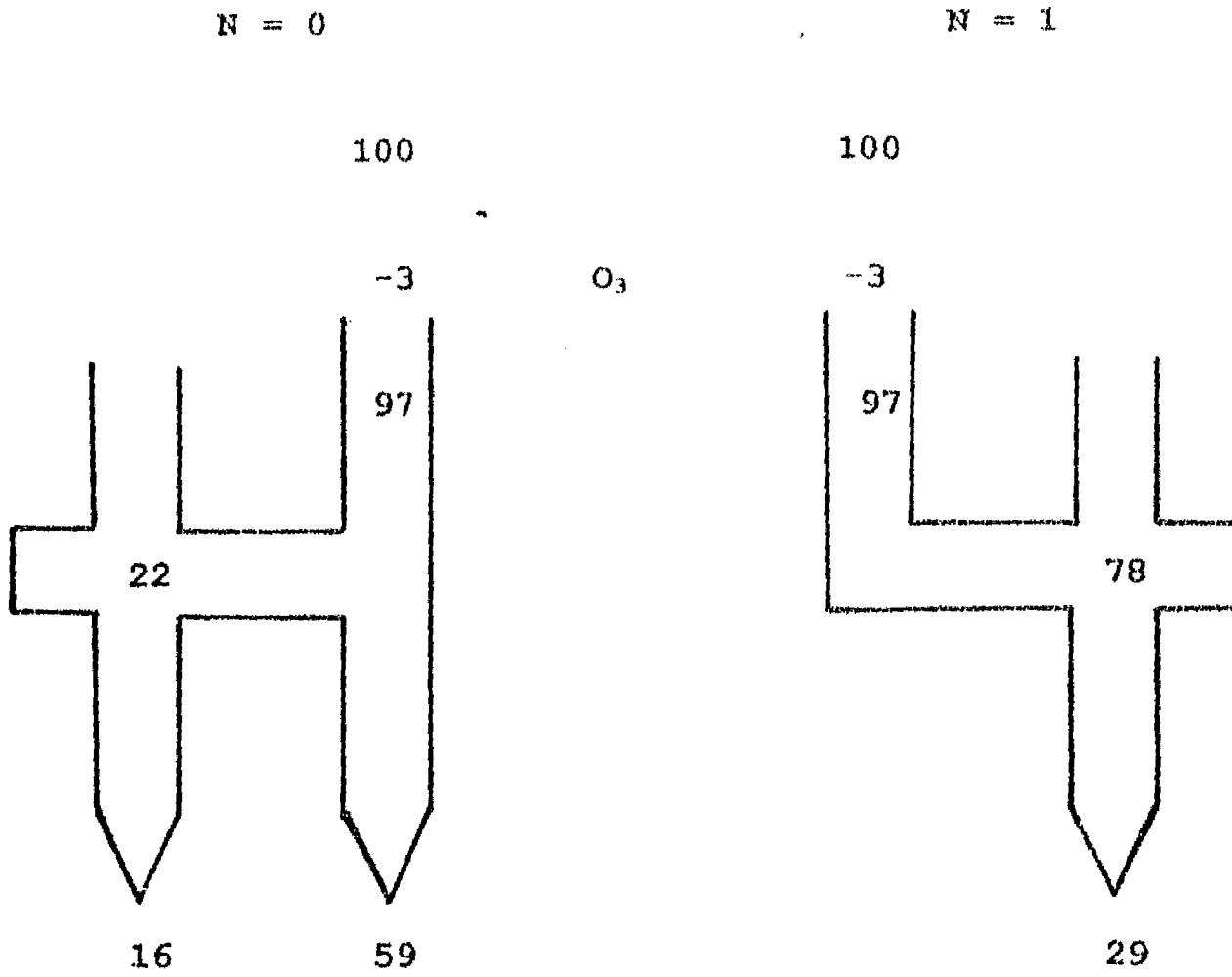


FIGURA No. 53



Distribución de flujos radiacionales (directa y difusa), para cielo despejado ($N=0$) y para cielo nublado ($N=1$).

CONCLUSIONES

Es fundamental destacar en este trabajo, la consistencia que presenta la información aquí rescatada y analizada, ya que si bien se llegan a conclusiones importantes sobre la distribución temporal de los parámetros utilizados, y la influencia que ejercen sobre ellos los diferentes fenómenos meteorológicos en diferentes escalas temporales y espaciales, todavía esta base de datos puede proporcionar mayor información, pero partiendo de algo tan importante como es la validez del registro de los parámetros meteorológicos empleados, más aún si tomamos en cuenta que dicha base de datos, es la única con estas características en nuestro país (por no decir la única simplemente).

Por lo que respecta al análisis de las series, podemos concluir que existen básicamente dos tipos de comportamientos, el primero en los que las variaciones de un año a otro no van más allá de 1/2 desviación estándar, el cual podríamos llamar una variación anual normal, pero existe otro, en donde la variabilidad de los parámetros es mayor a 1 desviación estándar y está influenciada por fenómenos que actúan sobre éstos en tres escalas espaciales y temporales diferentes: a) fenómenos meteorológicos locales; b) fenómenos meteorológicos a escala sinóptica y c) fenómenos extraatmosféricos.

De los tres tipos de fenómenos que intervienen, según su escala en la climatología general de los parámetros analizados, es imposible discernir cuál es el de mayor importancia; lo que si es posible, es describir la influencia que ejerce cada uno de ellos en las series aquí presentadas.

Es muy clara la correlación entre los ciclos solares (manchas), y el contenido de humedad relativa en la atmósfera terrestre, ya que cuando se presenta el máximo de manchas solares, la humedad relativa alcanza sus valores mínimos. Esto explica el comportamiento especial de la humedad relativa.

También se observa que la presencia del fenómeno ENOS, altera considerablemente el comportamiento de las series. En primer lugar, durante los primeros 9 años (1967-1975), ENOS se presenta casi aleatoriamente, pero a partir del año de 1976 su presencia es más regular aunque con fuertes variaciones, para después continuar con una pequeña ausencia de dos años (1988-1989). Durante la primera etapa de ENOS, la variación de las diferentes series de tiempo son hasta cierto punto normales, pero durante su segunda etapa, cuando su presencia es constante, la alteración de las series es evidente, ya que aunado al aumento de la humedad relativa (primer ciclo de humedad relativa), en correlación con la disminución de las manchas solares, ahora se debe de sumar el provocado por la presencia de este fenómeno (segundo ciclo), y por si fuera poco la constante presencia del fenómeno coincide

con un aumento también constante del tercer ciclo de la humedad relativa.

Esta casi permanente presencia de ENOS, además de coincidir con un aumento de la humedad en el ambiente, va acompañado de mayor nubosidad, por ende la insolación disminuye notoriamente a partir de la presencia ininterrumpida del fenómeno (1976), y se mantiene de la misma manera hasta el final de la serie, acompañándose a su vez de una disminución ($0.03 \text{ MJ/m}^2/\text{año}$ aproximadamente) de la irradiación solar global, lo que teóricamente provocaría un aumento de la irradiación solar difusa, pero ésta también disminuye; como se menciona en la discusión, la magnitud de la disminución de la difusa fue igual a su error de estimación ($0.02 \text{ MJ/m}^2/\text{año}$), por lo tanto se puede concluir que climatológicamente hablando que existe un aumento de la irradiación solar difusa.

Con respecto a la temperatura, es importante recordar que básicamente la presencia de ENOS provoca un aumento de la temperatura de la superficie del mar, y en consecuencia este aumento se verá reflejado en la temperatura ambiente, y que mientras el fenómeno ENOS tenga valores negativos persistentes, debe esperarse que la temperatura se mantenga por encima de la media.

Un tercer tipo de alteraciones que sufren nuestros parámetros, sobre todo los radiacionales, está dado por la calidad del aire

de la Cuenca de México ya que, la irradiancia solar directa tiene una tendencia a disminuir, y aunque presenta un aumento durante el año de 1986, éste no es suficiente para alcanzar los valores de principios de serie; después de este año los valores vuelven a decaer hasta en un 25%; las diferentes profundidades ópticas a lo largo del tiempo, refuerzan la idea de la existencia de absorción de energía por parte de partículas y gases en la atmósfera, es importante hacer referencia a que la irradiación solar difusa, mantiene un comportamiento normal, con variaciones ya explicadas, hecho que de alguna manera confirma la importancia de la calidad atmosférica como un regulador energético.

Es conveniente por lo menos describir las principales características de los parámetros de irradiación solar ultravioleta e irradiación atmosférica (longitud de onda larga o infrarroja).

La primera, mantiene un comportamiento climatológico semejante al de la irradiación solar global, un máximo que se presenta durante la primavera y un mínimo que se presenta al inicio del invierno, los valores de la irradiancia, fluctúan entre 0.5 y 1.0 MJ/m² total diario; a lo largo de la serie el comportamiento del parámetro puede considerarse normal, ya que sus variaciones son las que al principio de estas conclusiones calificamos como de un primer nivel.

Por lo que respecta a la irradiación atmosférica los valores integrales totales diarios varían entre los 20 y 35 MJ/m², aunque presenta una tendencia a disminuir a partir del año de 1988, cuando teóricamente debería de aumentar por el incremento de aerosoles y gases de invernadero en la atmósfera de la Ciudad de México, o por lo menos mantenerse en los valores de principios de serie. La decisión de suspender el reporte de dicho parámetro por parte del ORS, fue el más acertado, es conveniente volver a mencionar, que los reportes fueron suspendidos, no así el monitoreo, ya que existe la posibilidad de recuperar la información una vez estudiado el sensor en cuestión.

Por último, por lo que respecta a la distribución de flujos de radiación solar, podemos mencionar que en condiciones de cielo completamente despejado, la energía absorbida y la energía dispersada hacia el espacio exterior (esparcimiento) por parte del sistema de aerosoles y gases, es mayor que la irradiación solar difusa (medida en superficie), lo que permite reafirmar, que cada vez más, la calidad y cantidad de la radiación solar, esta siendo afectada por el mencionado sistema.

BIBLIOGRAFIA

- Alvarez C. E., "Condiciones de temperatura y precipitación en el SW del D.F., México", Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, 1992, Tesis Licenciatura.
- Bravo A. H., "Cinco conclusiones sobre el problema de la contaminación en la Ciudad de México", Comisión Nacional de Ecología, México, 1986.
- Bravo J.L., Muhlia A., Leyva A., Mota A., "A statistical model describing the sunshine in the southern metropolitan area of the Mexico Valley", Geofísica Internacional, Vol. 29, No. 1, pp 35-45, México, 1990.
- Bravo J.L., Gay C., Galindo I., Galindo L., Leyva A., Mercado A., Mota A., Muhlia A., Ramírez I., Salazar S., Valderrama V., Valdés M. y Zeevaert L., "Datos Geofísicos, Serie B, Meteorología 2", Universidad Nacional Autónoma de México, México, 1984.
- Brooks C.E., Carruthers N., "Handbook of statistical methods in meteorology", Air Ministry, Meteorological Office, London, Her Majesty's Stationery Office, England, 1953.
- Camacho M. G., "Influencia del crecimiento urbano en los patrones de precipitación y temperatura en el D. F.", Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, 1992, Tesis de Licenciatura.
- Conde C., Gay C., "Calculation and measurements of infrared radiation at the surface", Revista Atmósfera, Vol. 3, No. 4, pp. 291-304, México, 1990.
- Cruz N. F., "Tendencias climáticas en la Ciudad de México", Anuario de Geografía, UNAM, Año XVI, México, 1976.
- Drummonda A. J., "On the measurement of sky radiation", Arch. Met. Geph. Biokl., Series B. 7, pp 413-436, 1956.
- Espinosa C. M., "Bioclimatología urbana de la Ciudad de México", Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, Tesis de Licenciatura, 1994.
- Galindo L., Jiménez E., Mercado A., Montero R., Muhlia A., Valderrama V. y Valdés M., "Boletín de datos de radiación solar, terrestre y parámetros meteorológicos (1987).", Comunicaciones Técnicas, Serie Datos, Instrumentación y Desarrollo, Instituto de Geofísica, UNAM, México, 1988.

- Galindo I., "El Niño/Oscilación Suriana en las costas del Pacífico Mexicano", Comunicaciones Técnicas, Serie Investigación No. 22, Instituto de Geofísica, UNAM, 1987.
- Galindo I., "Transformaciones energéticas en la atmosfera urbana originadas por la contaminación atmosférica", Comunicaciones Técnicas, Serie Investigación No. 1, Instituto de Geofísica, UNAM, 1988.
- Galindo I., Zenteno G., "Peculiaridades del fenómeno El Niño/Oscilación Suriana en la porción noroeste tropical del Oceano Pacífico", Comunicaciones Técnicas, Serie Investigación No. 100, Instituto de Geofísica, UNAM, 1989.
- Galindo I., Frenk S., Bravo H., "Ultraviolet irradiance over Mexico City", Air & Waste Management Association, 45: pp. 886-892, 1995.
- García E., "Los climas del Valle de México", Colegio de Postgraduados de Chapingo, Escuela Nacional de Agricultura, México, 1968.
- García E., Vidal R., "Ha disminuido la lluvia en los últimos años", Memorias VIII Congreso Nacional de Geografía, Tomo I, pp. 138-147, Toluca, México, 1981.
- García E., Vidal R., "La tendencia de la precipitación en la parte central de México en los últimos 50 años", Biótica, Vol. 6, No. 1, pp. 103-115, INIREB, México, 1981.
- Gavilanes Ruiz J.C., "Mediciones a 5,100 m de altitud de la irradiación solar global y ultravioleta", Facultad de Filosofía y Letra, UNAM, Tesis de Licenciatura, 1994.
- Gómez Rojas J.C., "El clima de la Ciudad de México", Centro de Apoyo a la Investigación, Fac. de Filosofía y Letras, UNAM, Notas de Investigación, Colegio de Geografía, Cuaderno No. 1,
- Ivlev L.S., Zhukov V.M., Korostina O.M., Leyva C.A., Muhlía V.A., Bravo C.J., "Corrected data on optical characteristics of aerosol in the ground layer of the atmosphere in City of México", Atmospheric and Oceanic Optics, V. 7, No. 9, pp 1202-1206, 1994.
- Jauregui O. E., "Mesomicroclima de la Ciudad de México", Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, México, 1971
- Jauregui O. E., "La isla de lluvia de la Ciudad de México", Recursos Hidráulicos, Vol. III, No. 2, pp. 138-151, México, 1974.

- Jauregui O. E., "Las zonas climáticas de la Ciudad de México", Boletín del Instituto de Geografía, Vol. VI, pp. 47-58, UNAM, México, 1975.
- Jauregui O. E., "Una primera estimación de la distribución de la radiación global y neta en México", Recursos Hidráulicos, Vol. 7 No. 2, pp. 96-106, México, 1978.
- Jauregui O. E., "Las tolvaneras de la Ciudad de México", Ing. Hidráulica en México, Vol. 14, No. 2, pp. 60-66, México.
- Jauregui O. E., "Urban heat island development in medium and large urban areas in México", Rev. Erkunde, Vol. 41, 1987.
- Jauregui O. E., "Efectos del clima urbano sobre los niveles de contaminantes en la Ciudad de México", Geografía y Desarrollo, Vol. 1, No. 2, pp. 37-44, México, 1988.
- Kirchner I., Graf H., "Volcanos and El Niño: signal separation in Northern Hemisphere winter", Climate Dynamics, (1995) 11: 341-358, 1995.
- Leyva A., Martínez J., Muhlia A., Bravo J., Salazar S., Valderrama V., Mota A., Valdés M., Jiménez E., Galindo L., Montero R., Velazco E., Mercado A. y Rodríguez T., "Boletín de datos de radiación solar, terrestre y parámetros meteorológicos (1988).", Comunicaciones Técnicas, Serie Datos, Instrumentación y Desarrollo, Instituto de Geofísica, UNAM, México, 1990.
- Leyva A., Pérez-Peraza J., Muhlia A., Libin I. Ya., Gushina R.T., Jaani A., "The influence of solar activity phenomena on the solar radiation at the earth surface", Instituto de Geofísica UNAM, Reportes Internos, No. 96-4.
- Leyva A., Pérez-Peraza J., Libin I. Ya., Valdés-Barrón M., Salinas-Zavala C., Mosiño-Aleman P. y Fomichev V., "Temperature variations in the northwest of Mexico in the course of solar and geomagnetic activity cycles", Instituto de Geofísica UNAM, Reportes internos, No. 96-5, 1996.
- Luyando L.E., "Circulación de los vientos superficiales en la cuenca de México y su relación con el transporte de contaminantes atmosféricos", Tesis de Licenciatura, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, 1991.
- Maderey L., "Intensidad de la precipitación en el Valle de México", Boletín del Instituto de Geografía, No. 10, pp. 7-54, UNAM, México, 1980.

- Martínez G.J., Valdés B.M., Leyva C.A., "Simple Device to Transfer Solarimetric Calibrations from Standard References to Uncertain Instruments", recibido en Geofísica Internacional para arbitraje, 1995.
- Michalsky J.J., Perez R., Seals R., Ineichen P., "Degradation of Solar Concentrator Performance in the Aftermath of Mount Pinatubo", Solar Energy, Vol. 52, No. 2, pp. 205-213, 1994
- Mota A., Galindo L., Valderrama V., Jiménez E., Montero R., Mercado A y Valdés M., "Boletín de datos de radiación solar, terrestre y parámetros meteorológicos (1984).", Comunicaciones Técnicas, Serie Datos, Instrumentación y Desarrollo, Instituto de Geofísica, UNAM, México, 1987.
- Mota A., Galindo L., Montero R., Jiménez E., Valdés M., Valderrama V. y Mercado A., "Boletín de datos de radiación solar, terrestre y parámetros meteorológicos (1985).", Comunicaciones Técnicas, Serie Datos, Instrumentación y Desarrollo, Instituto de Geofísica, UNAM, México, 1986.
- Mota A., Galindo L., Montero R., Jiménez E., Valdés M., Valderrama V. y Mercado A., "Boletín de datos de radiación solar, terrestre y parámetros meteorológicos (1986).", Comunicaciones Técnicas, Serie Datos, Instrumentación y Desarrollo, Instituto de Geofísica, UNAM, México, 1987.
- Muhlía A., Chávez A., "Insolación y la radiación solar en el tope de la atmósfera para las latitudes que cubren la República Mexicana", Anales del Instituto de Geofísica, UNAM, Vol. 26, pp. 127-149, México, 1980.
- Muhlía A., Valdés M., Galindo L., Jiménez E. y Valderrama V., "Resultados de la tercera intercomparación actinométrica interinstitucional", Comunicaciones Técnicas, Serie Datos, Instrumentación y Desarrollo, Instituto de Geofísica, UNAM México, 1987.
- Muhlía A., Valderrama V., Jiménez E., Galindo L., Montero R., Velasco E., Muñoz J., "Boletín de datos de radiación solar y parámetros meteorológicos, Ciudad Universitaria (1989).", Comunicaciones Técnicas, Serie Datos, Instrumentación y Desarrollo, Instituto de Geofísica, UNAM, México, 1990.
- Muhlía A., Valderrama V., Jiménez E., Galindo L., Montero R., Velasco E., Muñoz J., "Boletín de datos de radiación solar y parámetros meteorológicos, Ciudad Universitaria

(1990)." Comunicaciones Técnicas, Serie Datos, Instrumentación y Desarrollo, Instituto de Geofísica, UNAM, México, 1991.

- Muhlía A., Valderrama V., Jiménez E., Galindo L. y Velazco E., "Boletín de datos de radiación solar y parámetros meteorológicos (Ciudad Universitaria, D. F. 1991).", Observatorio de Radiación Solar, Instituto de Geofísica, UNAM, México, 1992.
- Muhlía A., Galindo L., Valderrama V., Jiménez E. y Velazco E., "Boletín de datos, radiación solar y meteorología (Ciudad Universitaria, México 1992).", Observatorio de Radiación Solar, Instituto de Geofísica, UNAM, México, 1993.
- Muhlía A., Galindo L., Valderrama V., Jiménez E. y Velazco E., "Boletín de datos, radiación solar y meteorología, Ciudad Universitaria, 1993.", Observatorio de Radiación Solar, Instituto de Geofísica, UNAM, México, 1995.
- Muhlía A., Galindo L., Valderrama V., Jiménez E. y Velazco E., "Boletín de datos, radiación solar y meteorología, Ciudad Universitaria, 1994.", Observatorio de Radiación Solar, Instituto de Geofísica, UNAM, México, 1995.
- Muhlía A., "Estudios actinométricos y espectrofotométricos de la Ciudad de México", Universidad Estatal y Observatorio Geofísico Principal de San Peterburgo, Tesis Doctoral, San Peterburgo, Rusia, 1995.
- Oke T. R., "The urban energy balance", Progress in Phys, Geography, Vol. 12, No. 4, pp. 471-508, 1988.
- Oke T.R., Zeuner G., Jauregui E., "The surface energy balance in México City", Atmospheric Environment, Vol. 26B, No. 4, pp 433-444, 1992.
- Pérez-Peraza J., Leyva-Contreras A., Zenteno G., Valdés-Barrón M., Libin I., Yudakhin K., Jaani A., "Influence of solar activity on hidrological processes: spectral and autoregressive analysis of solar activity and levels of lakes Patzcuaro and Tchudskoye", Instituto de Geofísica UNAM, Reportes Internos No. 95-3.
- Rubí S. E., "Cambios en la temperatura y en la precipitación de la Ciudad de México de 1961 a 1980", Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, Tesis de Licenciatura, 1991.
- Ruíz J. A., "Cambios climáticos en la Ciudad de México", Facultad de Filosofía y Letras, Tesis de Licenciatura, UNAM, México, 1994.

- Schneider S., Dennett R., "Climatic Barriers to Long-Term Energy Growth", *Ambio* Vol. 4, No. 2, pp. 65-74, 1975.
- Spiegel M.R., "Probabilidad y estadística", Serie de compendios Schaum, McGraw-Hill, México, 1976.
- Stanhill G., Moreshet S., "Global radiation climate changes in israel", *Climate Change*, No. 22, pp. 121-138, 1992.
- Valdés M., "Análisis de la Radiación Global en la Ciudad Universitaria (1978-1984)", Tesis de Licenciatura, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México, 1988.
- Vasilyev O.B., Leyva C.A., Muhlia V.A., Peralta F.R., "Spectral optical properties of the polluted atmosphere of México City (spring-summer 1992)", *Journal of Geophysical Research*, Vol. 100 No. D12, pp 16027-26044, 1994.
- William H. Q., Neal T. V. and Antunez de Mayolo S., "El Niño Occurrences Over the Past Four and a Half Centuries", *Journal of Geophysical Research*, Vol. 92, No. C13, pp. 14449-14461, 1987.
- World Meteorological Organization, "Guide to Meteorological Instrument and Observing Practices", fourth edition, WMO-No. 8 tp. 3, Secretariat of the World Meteorological Organization, Geneve-Suiza, 1971.
- World Meteorological Organization, "Measurement of radiation", Capítulo 9 en *Guide to Meteorological and Observing Practice*, World Meteorological Organization, Geneva, 1981.