



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS  
COLEGIO DE GEOGRAFIA



INSOLACION, NUBOSIDAD Y TEMPERATURAS MAXIMAS  
DISTRIBUCION GEOGRAFICA Y TEMPORAL EN LA  
REPUBLICA MEXICANA

**T E S I S**  
QUE PARA OPTAR POR EL TITULO DE  
**LICENCIADA EN GEOGRAFIA**  
P R E S E N T A :  
**MARTHA YDUMA HERNANDEZ BAÑOS**

DIRECTOR DE TESIS: DR. ERNESTO JAUREGUI OSTOS



FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS  
COLEGIO DE GEOGRAFIA

CD. UNIVERSITARIA, ENERO DEL 2004



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 esta 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.

*... sé que ahí hay nubes y que en esas nubes  
hay muchas cosas, hay Sol, también.*

*Las nubes están cerca del Sol. Nubes y Sol  
son palabras hermanas.*

*Seamos dignos de las nubes del Valle de México,  
seamos dignos del Sol del Valle de México.*

Octavio Paz

17 dic. 1997

*A José Alberto  
Diego Sebastián y  
Francisco  
simplemente, el impulso  
más trascendental de mi vida*

*A mi madre, ejemplo de  
longanimidad y tenacidad perennes.*

*A mi padre y a Gis*

*A Bru-bru, a Ces, a Gigi*

*A mis hermanos*

*A mis sobrinas, sobrinos  
y sobrinos nietos*

*A mis imprescindibles, queridas y  
entrañables amigotas de la EFUNAM  
espacio de enriquecimiento, recreación,  
de amistad incondicional  
y crecimiento en todos sentidos,  
en especial a mi Socia, a Ara y a Lulú,  
son un regalo de profunda amistad*

*A veces las gracias no bastan,  
A Juan, por su inestimable y persistente apoyo*

*A mi maestro Ernesto Jáuregui Ostos  
quien ha creído en mí, más que yo misma*

*A la maestra Elda Luyando, quien nunca escatimó  
ayuda y conocimientos... vale*

*A quienes, de buena intención, hicieron correcciones  
a errores que únicamente sustituí por otros*

*A esa parte saboteadora de mí que es,  
de veras, porfiada y casi, casi invencible*

*Ésta, más que una tesis es un compendio  
de significados, peregrina inmemorial,  
a tantos ratos arrumbada, guardada  
en el tintero, ingente incomodidad,  
inmisericorde piedrita en el zapato,  
al fin llega... "emerge del silencio",  
o tal vez, se volvió impostergable,  
con todas sus imperfecciones,  
es un voto a la transformación,  
al cambio... a la vida.*

## INDICE

Introducción	I
I. La Insolación, la nubosidad y las temperaturas máximas	pág. 1
A. Insolación	pág. 1
1. Concepto	pág. 1
2. Radiación Solar	pág. 4
3. Medición	pág. 7
B. Nubosidad	pág. 10
1. Antecedentes	pág. 12
2. Concepto	pág. 13
3. Medición	pág. 14
C. Temperaturas Máximas	pág. 21
1. Concepto	pág. 21
2. Medición	pág. 22
II. Relación entre insolación y nubosidad	pág. 24
A. Antecedentes	pág. 24
B. El balance en la atmósfera	pág. 27
C. Retroalimentación de las nubes	pág. 28
1. Modelos climáticos	pág. 29
III. Análisis comparativo de los elementos climáticos	pág. 31
A. Los Datos	pág. 31
B. La Regionalización de la Insolación en México	pág. 37
1. Región Noroeste	pág. 39
2. Región Centro Norte	pág. 43
3. Región Noreste	pág. 46
4. Región Centro	pág. 49
5. Región Centro Oriente	pág. 51
6. Región Sur	pág. 54
7. Región Sureste	pág. 56
8. Región Península de Yucatán	pág. 58
C. Análisis y Discusión	pág. 59

IV. Aprovechamiento de la Insolación, efectos en el ser humano	pág. 84
A. Efectos en los seres humanos	pág. 84
B. Aprovechamiento	pág. 89
Conclusiones	pág. 91
Anexo	pág. 95
Gráficas	pág. 96
Bibliografía	pág. 141

### INDICE DE TABLAS

Tabla No. 1	Periodos de Insolación y Nubosidad considerados en el estudio y en las gráficas.	pág. 32
Tabla No. 2	Datos generales y estadísticos de los observatorios con registros de insolación y nubosidad.	pág. 35
Tabla No. 3	Tendencia de las series temporales de la insolación.	pág. 60
Tabla No. 4	Promedios de insolación mensual y anual, horas. Por estación meteorológica.	pág. 78
Tabla No. 5	Promedios mensual y anual, No. de días con nublados. Por estación meteorológica.	pág. 80
Tabla No. 6	Promedios de Temperatura Máxima mensual y anual, °C. Por estación meteorológica, de 1951 a 1980.	pág. 82

### INDICE DE MAPAS

Mapa No. 1	Estaciones y Observatorios Meteorológicos con datos de Insolación y Nubosidad.	pág. 67
Mapa No. 2	Promedio de Insolación Anual, (Horas).	pág. 68
Mapa No. 3	Insolación promedio del mes de enero, (Horas).	pág. 69
Mapa No. 4	Insolación promedio del mes de mayo, (Horas).	pág. 70
Mapa No. 5	Días con nublados, promedio anual.	pág. 71
Mapa No. 6	Días con nublados, promedios del mes de enero.	pág. 72
Mapa No. 7	Días con nublados, promedios del mes de mayo.	pág. 73
Mapa No. 8	Temperaturas Máximas, promedio anual.	pág. 74
Mapa No. 9	Temperaturas máximas, promedio enero.	pág. 75
Mapa No. 10	Temperaturas máximas, promedio mayo.	pág. 76
Mapa No. 11	Regiones de Insolación.	pág. 77

## INTRODUCCIÓN

Los problemas y cambios ambientales son cada vez más importantes en nuestra sociedad, su incidencia en los desastres naturales son estudiados cada vez a mayor profundidad; en particular el problema del Cambio Climático Global ha cobrado relevancia a escala mundial, sus repercusiones mantienen a gran cantidad de científicos ocupados en el tema; tras diversos estudios se ha concluido que el planeta se ha calentado entre 0.3 a 0.6°C en su temperatura media superficial, atribuido directa o indirectamente a las actividades humanas que han alterado la composición global atmosférica, con el agregado de la variabilidad climática natural.<sup>1</sup>

La evidencia de que las temperaturas ambientales han aumentado en las últimas décadas ha repercutido en múltiples aspectos, entre ellos, en un incremento de la evaporación. Una mayor cantidad de vapor de agua en la atmósfera provocará mayor nubosidad. Tanto en Europa central como en algunas regiones de los Estados Unidos algunas investigaciones han demostrado un claro crecimiento de este elemento<sup>2</sup>

Aparentemente, los cambios en la insolación están relacionados con los cambios en los días nublados. En México, los estudios de insolación no han sido correlacionados con la nubosidad y en realidad han sido los geofísicos quienes han abordado este tema priorizando la medición cuantitativa de la radiación. La insolación se ha utilizado principalmente, para complementar estudios de radiación total o global o para mostrar su distribución geográfica por medio de las unidades en que es medida la radiación ( $\text{cal/ cm}^2/\text{min}$  o  $\text{langleys/ día}$ ).<sup>3</sup>

Generalmente, los estudios climáticos giran alrededor de dos elementos: temperatura y precipitación, sin embargo, la incidencia de los rayos luminosos (insolación) provoca una serie de reacciones en la Tierra, comenzando con la transformación de esta energía luminosa en energía calorífica, por medio de la radiación; esta última directamente relacionada con las temperaturas superficiales de la tierra, con la evaporación, la evapotranspiración, la nubosidad y el balance general de energía dentro de la atmósfera. El tiempo atmosférico y el clima de un lugar son la resultante de la interacción de los diversos componentes de un sistema de gran complejidad, donde todos los elementos son causa y efecto.

La insolación, la nubosidad y sus efectos en las temperaturas son fenómenos espaciales y temporales que atañen al campo de estudio de la Geografía; el conocimiento de su distribución geográfica posee aplicaciones

---

<sup>1</sup> Mogens Gallardo, *Cambio Climático Global*, Chile, Universidad de Concepción Centro EULA- Chile, Tesis doctoral, 1997, en: <http://www.proinco.net>.

<sup>2</sup> R. Weber, Spatial and Temporal Variation of Sunshine on the Federal Republic of Germany, *Theoretical and Applied Climatology* 41, 1990.

Henderson-Sellers, A., Increasing cloud un a warming world, *Climatic Change* 9, 1986

<sup>3</sup> Gustavo Mercado Mancera, *Manual de Prácticas: Meteorología y Climatología*, México, UNAM, 1993, p.16.

prácticas para el hombre, en áreas tales como la planeación regional, turística, deportiva o simplemente, para el aprovechamiento de la energía solar.

Al estudiar la Insolación y la Nubosidad, sus correlaciones y los efectos sobre las Temperaturas Máximas o Temperaturas Máximas Normal estándar, la inquietud ha sido la de realizar un análisis comparativo entre estos elementos climáticos, considerando al mismo tiempo, la forma en que inciden los distintos factores geográficos.

## **HIPÓTESIS**

a) La Insolación guarda una relación inversa con la Nubosidad, y b) La Insolación tiene una relación directa con las Temperaturas Máximas promedio mensual.

## **OBJETIVO GENERAL**

Relacionar la Insolación, la Nubosidad y las Temperaturas Máximas promedio mensual, tanto en su distribución espacial como en su tendencia histórica, en la República Mexicana

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Establecer correlaciones, en qué grado estos factores se entrelazan, a fin de realizar un análisis comparativo.
- Observar su comportamiento dentro de un periodo delimitado de tiempo; setenta y seis años: de 1921 a 1996.
- Elaborar mapas de isohelias e isonefas, trazar su distribución geográfica.
- Comparar el mapa resultante con el obtenido de la nubosidad y de las temperaturas máximas.
- Explicar su tendencia en el periodo de estudio.
- Señalar la importancia de la insolación en algunas actividades humanas.

Aparentemente, entre insolación y nubosidad existe una correspondencia, así como entre insolación y temperaturas máximas; el mostrar esa concordancia es el propósito principal de este trabajo. A lo largo de la recopilación y manejo de datos, de su relación, análisis e interpretación de resultados, pretendo finalmente, comprobar la hipótesis planteada.

Este trabajo se circunscribe geográficamente a la República Mexicana, el análisis retrospectivo se realizó únicamente con datos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) del Observatorio Central de Tacubaya, en un lapso que comprende de 1921 a 1996. Los datos históricos que constituyen la estadística climatológica del SMN, abarcan periodos de corta y larga duración. De 1900 a 1940 es irregular por la falta de continuidad en las observaciones y por contarse con una población reducida de instalaciones meteorológicas y climatológicas; sin

embargo, de 1941 a 1996 son más o menos consistentes. El SMN ha clasificado los registros con datos de larga duración, mayores de 20 años, como Normales; para los de media duración, de 10 a 20 años, como Normales Ajustadas y las de corta duración, menores de 10 años, como Normales Provisionales; aún para las "Normales Climatológicas" publicadas, estos datos menores a 10 años son tomados en cuenta, en virtud de que su exclusión dejaría grandes áreas sin información.<sup>4</sup> Cabe mencionar que los periodos publicados por el SMN de estas Normales Climatológicas son: de 1941-1970 y de 1951-1980.

La insolación y la nubosidad fueron los elementos que originalmente se pensó correlacionar; sin embargo, en el transcurso y desarrollo del mismo se vio la necesidad de incluir un tercer parámetro que indicara si la cantidad de insolación era importante para el aumento de las temperaturas, de tal suerte que se incluyeron las temperaturas máximas promedio estándar a fin de complementar el análisis comparativo. Las temperaturas máximas se obtuvieron de la página en internet del SMN, (<http://smn.cna.gob.mx/>), precisamente del periodo de 1951 a 1980; su distribución espacial se tomó del "Atlas Nacional de México" elaborado por el Instituto de Geografía UNAM, en 1990.

Los pasos a seguir para cumplir con los objetivos del estudio fueron: la recopilación de observatorios meteorológicos y/o estaciones climatológicas que hubiesen registrado datos de insolación en toda la República Mexicana; aunque es únicamente en los observatorios donde se toman los registros de insolación en número de horas y décimos de hora de insolación. Los observatorios elegidos lo fueron bajo el criterio de la consistencia y confiabilidad de los datos, es decir, un registro coherente no menor a 9 años, con lo que la muestra quedó constituida de 45 estaciones. Los periodos de insolación y nubosidad estudiados como graficados se muestran en la Tabla No. 1.

Una vez elegidas estas estaciones, se capturaron los datos de nubosidad de las mismas, considerando para el efecto, el número de días con nublados; al igual que con los datos de insolación se procedió a su vaciado en hoja electrónica (excel). Con esta información se trazaron las gráficas con línea de tendencia para cada una de estas estaciones, posteriormente, se procesaron los cuadros de concentración de datos, expresados en tablas; la No. 2 muestra los datos generales y estadísticos de los observatorios con registros de insolación y nubosidad; los promedios anuales de insolación y nubosidad; la desviación estándar; la mediana y el coeficiente de correlación entre ambas variables, un índice que determina la relación entre dos propiedades; en la medida en que se acerque a - 1, la relación es inversa, cuando se acerca a + 1, la relación es directa; la tabla No. 3 el nivel de significación expresado en porcentaje, de los datos de insolación; la tabla No. 4 presenta los promedios de insolación mensual y anual en horas; la No. 5 los promedios de nubosidad mensual y anual en número de días y la tabla No. 6 los promedios mensual y anual de temperaturas máximas.

---

<sup>4</sup> México, *Normales Climatológicas 1941-1970*, Secretaría de Agricultura y Ganadería, Sría. de Rec. Hidráulicos, CFE, SMN, México, 1971, p. V

Por último, se elaboraron los mapas de la República Mexicana, insertando los datos de cada estación para el trazado de las isolíneas de insolación (isohelias) y de nubosidad (isonefas); las cuales se compararon con las temperaturas máximas de los meses de mayor y menor insolación (mayo y enero).

Al tratarse de un estudio retrospectivo el presente estudio se enfrentó a diversas limitantes, la forma en que se recopiló la información provocó que la muestra de estaciones se restringiera a las que aprobaran el criterio de selección, que fue: la consistencia en los datos. Se eligieron las estaciones con registros mayores a 10 años y preferentemente sin o pocos faltantes. Lo anterior provocó que al momento de elaborar los mapas y trazar las isolíneas, existieran carencias de datos en algunas zonas de nuestro país. Las zonas desprovistas de datos fueron el norte occidente, el sur, con estados como Oaxaca y Guerrero y parte de la Península de Yucatán.

De esta manera, una de las observaciones hechas a este trabajo fue el llenar esos espacios vacíos, dichas regiones fueron completadas con los datos de las Normales Climatológicas de 1951-1980 y, particularmente, los de algunas estaciones de Oaxaca fueron proporcionados por la Dra. María Engracia Hernández Cerda. La forma de presentación de estos datos impidió elaborar gráficas como las iniciales, por largos periodos anuales para observar su tendencia histórica, pero sirvieron para realizar gráficas mensuales con las tres variables, hecho que enriqueció y completó el análisis y la regionalización del capítulo III, estas gráficas se anexan en ese capítulo. La aportación de números apoyó también el trazo de isolíneas. A este grupo de estaciones les denominé "segundo grupo de datos" o de las "Normales Climatológicas de 1951-1980" y repercutieron en la extensión de las tablas Nos. 2, 4, 5 y 6.

Una de las dificultades con que me tropecé fue las diferencias en la observación y registro de nubosidad, insolación y temperaturas máximas. Mientras que la nubosidad se mide a través de la apreciación personal, a criterio del observador, las otras dos variables se registran y miden por medios instrumentales, situación que afecta e impide una mayor certeza en los resultados finales.

Cada uno de los capítulos lleva una pequeña introducción al tema, la estructura planteada inicia con la descripción general de los elementos a estudiar, le sigue el panorama actual del tema considerando estudios de investigadores de otros países; se continúa con la regionalización y el análisis y finalmente, a los usos y efectos de la radiación en el ser humano. En cuanto al capitulado: el primero parte con los antecedentes, la conceptualización y la medición de los elementos estudiados; el segundo trata de la estrecha vinculación entre insolación y nubosidad mediante el aporte de estudios realizados en otros países como un antecedente válido en la interpretación del comportamiento de la interrelación entre insolación y nubosidad, se mencionan el balance de la radiación en la atmósfera y la retroalimentación de las nubes. En el tercer capítulo, se realiza la regionalización de nuestro país a partir de la distribución espacial de la insolación

y de la nubosidad, así como el análisis comparativo de los datos obtenidos en el desarrollo de la investigación. Posteriormente, el cuarto capítulo señala los daños y beneficios de la insolación en los seres humanos, donde estudios recientes nos hablan de la sensibilidad de algunas personas a los cambios climáticos y de la importancia de la luz solar en el ritmo circadiano de los seres vivos; asimismo, se mencionan algunas formas de aprovechamiento de la luz, radiación y energía solar por el hombre. En el apartado referente al Anexo he incluido las gráficas de insolación y nubosidad de las primeras 45 estaciones, aunque de la No. 33 correspondiente a Tacubaya, se realizó una interpretación más profunda en el capítulo III. C.

## CAPITULO I

### LA INSOLACIÓN, LA NUBOSIDAD Y LAS TEMPERATURAS MÁXIMAS

La temperatura y la humedad son los elementos climáticos de mayor preponderancia en estudios climáticos y en la clasificación de los mismos; parte integral de estos componentes son: la insolación y la nubosidad; éstos guardan entre sí una estrecha relación; su medición y registro han sido importantes para los estudiosos del tiempo atmosférico y el clima, en algunas de las estaciones meteorológicas de nuestro país han sido observados en forma sistemática desde 1901, cuando se constituye el Servicio Meteorológico Nacional; aunque, es a partir de 1940 bajo el régimen de Manuel Ávila Camacho, cuando pasa a la Secretaría de Recursos Hidráulicos, cuando las observaciones se realizan de una forma más metódica, a la vez que la red nacional se amplía.<sup>1</sup> Este capítulo trata acerca de los conceptos generales, su importancia y la forma en que son registrados, aspectos que nos sirven como punto de partida al presente trabajo.

#### A. INSOLACIÓN

*México es un país solar y siendo un país solar, un país en donde el Sol abunda es también un país, un país de Sol, pródigo de Sol....  
-- Octavio Paz.*

##### 1. Concepto.

La insolación o duración de la radiación solar, es la energía que emana del Sol, la energía luminosa que llega a nuestro planeta; es el lapso durante el cual los rayos solares calientan la superficie terrestre. La insolación es un elemento climático que se define como el número total de horas de luz solar diurna, cuya duración está, en parte, en función de la latitud, y en parte en función de la nubosidad presente durante el día.

La insolación es la energía emitida por el Sol que alcanza la superficie terrestre, la cual es un factor determinante para la vida en la Tierra; esta energía al tocar la superficie terrestre es transformada en calor de acuerdo a las características de cada cuerpo o sustancia. La energía calorífica desencadena una serie de reacciones físicas y químicas en el espacio que nos rodea a las que nombramos: tiempo atmosférico.

La energía penetra la atmósfera terrestre que absorbe una porción por medio de las nubes (absorción 17%); otra se pierde por la dispersión producida por las moléculas de aire, partículas de polvo y vapor de agua; parte es reflejada de nuevo hacia el espacio por las nubes y el polvo (albedo 40%). Alrededor del 55% llega a la superficie de la Tierra, siendo inmediatamente reflejada hacia el espacio cerca de la cuarta parte, según la naturaleza de la superficie sobre la que

<sup>1</sup> Información obtenida de la página de internet: <http://www.cna.gob.mx/smn>

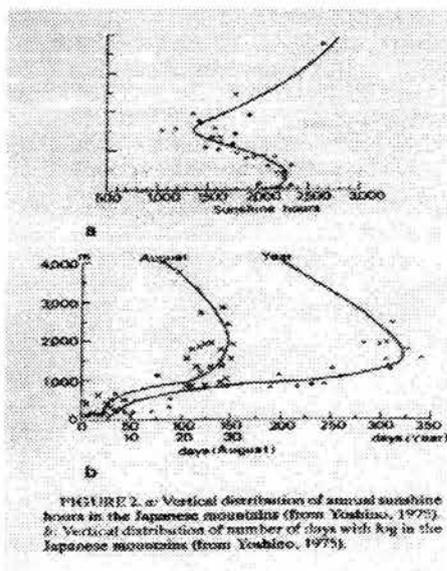
incide. La restante se convierte en rayos caloríficos o de longitud de onda larga, que calientan la superficie terrestre y (por conducción) la capa de aire que se extiende sobre ésta.<sup>2</sup>

La cantidad de horas de Sol recibido en las distintas épocas del año varía de acuerdo a diversos factores geográficos como lo son la altitud, latitud y nubosidad; en la latitud, se relaciona con la inclinación de los rayos solares, consecuencia de la forma de la Tierra e incide en una marcada distribución de la radiación. En la nubosidad participan otros elementos como la humedad, diferencias de temperaturas en la superficie terrestre y en los distintos niveles atmosféricos, patrones en la circulación general de la atmósfera y vientos; la nubosidad modula la insolación.

Con relación a la altitud una característica de la insolación es que es afectada por la elevación, orientación e inclinación de la pendiente de una montaña. En la parte más alta de una montaña, la distancia que recorren los rayos solares a través de la atmósfera es más corta, los rayos inciden con mayor intensidad debido a que en las grandes alturas la cantidad de vapor de agua y polvo de la atmósfera decrece. Para un observador colocado en la cima de las montañas el Sol sale temprano y se pone tarde, mientras que para otro colocado en el fondo del valle ocurre a la inversa debido a la obstrucción de las montañas, lo anterior es válido para los observatorios, si éste se encuentra en el fondo de un valle estará registrando un menor número de horas de insolación que las correspondientes a la latitud del punto de observación, de tal modo que la cantidad anual de insolación es menor en las tierras bajas y llanas circundadas por montañas.

Es de esperarse que las horas de iluminación sean mayores con el incremento de la elevación, pero que mengüen notablemente en las zonas de niebla recurrente.

En el estudio de Yoshino (1975), se muestra la relación entre el total de horas de iluminación y la altura sobre el nivel del mar en las montañas japonesas. En la gráfica adjunta (a), es notorio que la curva revele el mínimo de insolación alrededor de los 1500 m.s.n.m. y el máximo entre los 400 y 500 m.s.n.m. La gráfica inferior (b) muestra la relación entre la altitud y el número total de días con nublados,

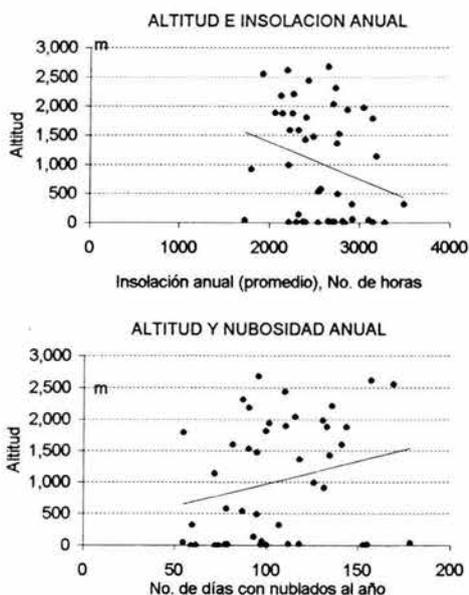


<sup>2</sup> F. J. Monkhouse, *Diccionario de Términos Geográficos*, Ed. Oikos-tau, Barcelona, España, 1978, p. 244.

anual y durante el mes de agosto. Las curvas del gráfico muestran marcados máximos a 1500 m.s.n.m. lo que corresponde al mínimo de horas de iluminación a la misma altitud o elevación.

Estos fenómenos están relacionados con otros climas locales en las montañas, por ejemplo, el cambio en la vertical de la temperatura del aire muestra también un mínimo a los 1100-1200 m. en las montañas centrales del Japón, de cualquier manera, la duración de las horas de mínima iluminación y el máximo de nubosidades un hecho que cambia de región a región conforme a las condiciones macroclimáticas. En particular, la altura en los niveles de condensación cambia de bajas a altas latitudes, excepto en la zona de alta presión subtropical (30° de latitud), la cual experimenta una diferente altura para el máximo de nubosidad que ocurre en las montañas.<sup>3</sup>

Para la República Mexicana se elaboraron igualmente ambas gráficas con el objeto de comparar lo sugerido por Yoshino (1975); los resultados se aprecian en las gráficas siguientes, las cuales muestran la dispersión de datos de las 45 estaciones meteorológicas.



En la primer gráfica la tendencia que se observa es clara, la insolación decrece conforme la altitud aumenta, entre los 500 m. (mínimo) y los 1500 m.s.n.m. (máximo); mientras que en la segunda gráfica la tendencia es la contraria, a mayor altitud, mayor nubosidad, entre los 600 m. correspondientes al mínimo y los 1500 m.s.n.m. como máximo.

Aparentemente, lo anterior corrobora lo mencionado por Yoshino, la insolación decrece en las partes altas a consecuencia de una mayor nubosidad, inducida ya sea por el mismo relieve o por los niveles de condensación y enfriamiento de las capas atmosféricas.

Por otro lado, la insolación tiene un comportamiento directo sobre el balance de energía superficial y en particular, con la evaporación. Una creciente o decreciente radiación solar produciría el incremento o decremento en la

<sup>3</sup> John E. Oliver, Rhodes W. Fairbridge, *The Encyclopedia of Climatology*, New York: Van Nostrand Reinhold, c 1987, p. 553 y 554.

evaporación causando una superficie seca o húmeda. Por lo tanto, cambios en la radiación climática y por ende en el presupuesto de agua (humedad) pueden tener consecuencias importantes sobre la agricultura, por ejemplo. Consecuentemente, resulta de gran interés investigar la distribución de la insolación y los cambios a los que puede dar lugar.<sup>4</sup>

## 2. Radiación Solar

El estudio de la insolación y de la radiación solar se vincula ampliamente en diversos estudios, puesto que es posible, mediante cálculos, obtener ciertos datos de radiación a través de algoritmos y/o fórmulas que implican constantes y datos de insolación; en la República Mexicana algunos estudios geofísicos así lo refieren (como los trabajos consultados de Ignacio Galindo y Adolfo Chávez, *Estudio del Clima Solar en la República Mexicana I. Radiación Solar Total*, 1977 y de Rafael Almanza y Serafín López, *Radiación Solar Global en la República Mexicana, mediante datos de insolación*, 1975), sin embargo, existen diferencias entre el concepto de radiación y el de insolación ya que suelen utilizarse como sinónimos, por lo que es preciso puntualizar dichos conceptos a fin de evitar confusiones.

La radiación solar es un fenómeno complejo; dentro de la atmósfera terrestre las reacciones que genera son diversas, por lo que es necesario analizar brevemente cada una de estas manifestaciones y sus consecuencias.

La radiación consiste en la transferencia de calor de un cuerpo a otro, sin que exista contacto entre ellos; en particular, la radiación solar es el proceso mediante el cual la energía se propaga o transfiere en un medio por razón de un movimiento de ondas. En meteorología, la radiación solar es la energía de onda corta emanada por el Sol en el espacio, que incide sobre la superficie terrestre.

En cuanto al calor, éste se transmite de las siguientes formas dentro de la atmósfera: conducción, convección, turbulencia y radiación.

La conducción consiste en la transferencia de calor de partícula a partícula, cuando dos cuerpos se encuentran en contacto.

La convección es el ascenso y descenso de partículas por origen térmico; cuando se caldean, se dilatan, pierden densidad y ascienden, mientras que las frías que están por encima descienden y producen corrientes llamadas celdas convectivas.

En la turbulencia, por origen mecánico, existe una fricción y movimiento desordenado de partículas que da lugar a que se formen pequeños remolinos al ocupar partículas frías el lugar de las caldeadas y viceversa.<sup>5</sup>

---

<sup>4</sup> R. Weber, Spatial and Temporal Variation of Sunshine in the Federal Republic of Germany, *Theoretical and Applied Climatology* 41, 1990, p. 1.

<sup>5</sup> F.J. Monkhouse, *Op. Cit.*, p. 385.

La radiación solar recibe también el nombre de radiación de onda corta, porque la longitud de onda de sus radiaciones va de 0.2 a 4.0 micras, a diferencia de la radiación terrestre o de onda larga que se extienden desde casi 3.0 a más de 100 micras.

El calentamiento solar de la superficie terrestre no sólo depende de esta radiación solar directa; también intervienen la radiación difusa y la contrarradiación.

La radiación directa es la cantidad de radiación que llega a la superficie terrestre una vez que atraviesa la atmósfera.

La radiación difusa es la parte de la energía solar que es dispersada, mediante reflexión de las moléculas, en las partículas suspendidas y vapor de agua de la atmósfera, es influida por el tipo y cantidad de nubes. El flujo de radiación difusa varía de acuerdo a las capas nubosas, el calor es retenido por las nubes y reemitido por las bases de las mismas; es mayor a mediodía con la presencia de altocumulus (Ac) y altostratus (As) y disminuye si hay nimbostratus (Nb) o stratus (St).<sup>6</sup>

La contrarradiación consiste en el calentamiento de las capas bajas de la atmósfera, especialmente cuando poseen un alto contenido de vapor de agua, el cual absorbe el calor que irradia la Tierra en longitud de onda larga; al calentarse el aire, las capas bajas a su vez envían una radiación oscura hacia el suelo que es llamada contrarradiación. Debido a la radiación difusa y a la contrarradiación, el aire no se enfría considerablemente en las noches.

Se llama ventana infrarroja o de radiación oscura de la atmósfera, al intervalo de longitud de onda entre 8.5 y 11 micras que es irradiado al espacio.

Otros tipos de radiación y sus significaciones son:

La radiación total o global de onda corta es la suma de la radiación directa más la radiación difusa.

La radiación neta es la diferencia entre los flujos de radiación hacia abajo y hacia arriba, incluyendo tanto la radiación de onda corta como la de onda larga.<sup>7</sup>

A la cantidad recibida en el límite exterior de la atmósfera se le denomina constante solar. La radiación que recibe un  $\text{cm}^2$  en el límite superior de la atmósfera, es de 1.94 calorías por gramo por minuto; es variable según las estaciones del año o de acuerdo al número de manchas solares.

---

<sup>6</sup> Teresa Ayllón, *Elementos de Meteorología y Climatología*, Trillas, México, 1996, p. 34-37.

<sup>7</sup> Ernesto Jáuregui O., *La radiación Global en México*, Boletín de Recursos Hidráulicos, vol. VII, 1978, Num.2, p. 96.

Las unidades que se utilizan para expresar la radiación recibida por unidad de superficie son:

1 Langley (Ly) = 1 cal/ cm<sup>2</sup>/ min; watts/ m<sup>2</sup>

1 langley/ min= 1 cal/ cm<sup>2</sup> min = 698 watts/ m<sup>2</sup>

1 watts/ m<sup>2</sup> = 0.0014327 cal/ cm<sup>2</sup> min. <sup>(8)</sup>

Para elaborar mapas climatológicos de radiación total es común emplear mediciones de radiación directa más radiación difusa, medida en unidades de energía por unidad de tiempo por unidad de área sobre un plano horizontal mediante un piranómetro. Sin embargo, en ausencia de estos datos es factible usar relaciones empíricas para obtener la radiación global a partir de: horas de insolación y porcentaje de posible insolación o de nubosidad. Al emplear datos de insolación para obtener empíricamente la radiación total, se estima su aproximación en un + - 10%.<sup>9</sup>

La insuficiencia de estaciones meteorológicas no ha permitido generalizar el estudio de la radiación solar, por lo tanto, se le ha dado importancia a los estudios de las distribuciones espaciales del balance de radiación en la superficie terrestre y sus componentes se asocian a métodos indirectos de cálculo utilizando datos observacionales de los elementos básicos meteorológicos: duración de la insolación, temperatura, nubosidad, humedad del aire, etcétera.<sup>10</sup>

Existen otros factores que influyen en la transmisión del calor, éstos son los factores geográficos; la influencia de tierras y mares, de la latitud y la altitud afectan las temperaturas de las distintas regiones de nuestro planeta, la forma en que éstos se manifiestan, se refiere a continuación:

En la distribución de tierras y mares; es conocida la gran diferencia de capacidad conductora entre los diferentes elementos: tierra, aire y agua, ésta determina la magnitud de los cambios de temperatura y la diferente conductividad térmica, la cual influye en la profundidad de penetración del calentamiento; la capacidad de conductividad calorífica se realiza por agitación turbulenta en el aire y en el agua, mientras que en tierra ésta es muy pequeña y tiene lugar por procesos moleculares; por tanto, es mayor la capacidad conductiva de los océanos que de la Tierra. La temperatura de la superficie de los mares tiene una variación diurna de 0.2 a 0.5 °C, en tanto que en los continentes la oscilación de la temperatura va de 10 a 25 °C. El aire tiene una mayor conductividad térmica que los océanos debido a que es más movible que el agua y a que existe cierta turbulencia aún en aparente calma.

<sup>8</sup> Gustavo Mercado Mancera, *Manual de Prácticas: Meteorología y Climatología*, UNAM, México, 1993, p. 16.

<sup>9</sup> Rafael Almanza y Serafín López, *Radiación Solar Global en la República Mexicana, mediante datos de insolación*, UNAM, Inst. de Ingeniería, México, oct. de 1975, p. 357.

<sup>10</sup> Ignacio Galindo y Adolfo Chávez, *Estudio del Clima Solar en la República Mexicana I. Radiación Solar Total*, UNAM, Instituto de Geofísica, Dir. Gral. del Serv. Meteorológico Nacional, México, sept. 1977, p. 7.

Como consecuencia, el calor se transmitirá a poca profundidad en tierra, a una profundidad moderada en los océanos, mientras que en la atmósfera llegará a alturas considerables.<sup>11</sup>

La continentalidad hace referencia a la distancia del continente al mar y por consiguiente a un caldeoamiento mayor en la atmósfera de esas regiones. El relieve representa una barrera meteorológica que impide la circulación de los vientos y/o de la humedad; modifica la presión barométrica; provoca nubosidad y precipitación hacia las laderas de barlovento cuando el viento lleva consigo humedad. Asimismo, las corrientes marinas, modifican las condiciones climáticas de un lugar: en un clima húmedo cuando es cálida o en uno seco si es fría.

La vegetación es igualmente un factor de importancia ya que requiere y atrae humedad, por lo que las temperaturas suelen ser extremosas en lugares sin vegetación.

Por su parte, la altitud modifica los elementos climáticos. Cuando un volumen de aire asciende, disminuye su presión, se expande y consecuentemente se enfría, en esta expansión gasta una parte de su propio calor en forma de trabajo, por lo cual disminuye su temperatura; si el aire desciende se comprime y aumenta su temperatura, si un gas se comprime el trabajo mecánico de la compresión se convierte en calor y produce un aumento de temperatura; a este proceso se le llama proceso adiabático; en promedio el valor del gradiente térmico de estas variaciones con la altura, se calcula en 6 °C por km de altura y se denomina gradiente térmico vertical normal.

La radiación se relaciona con la latitud pues a mayor latitud, mayor inclinación del rayo solar y por lo tanto menor temperatura, esto es consecuencia de la forma de la Tierra, los rayos caen más inclinados a altas latitudes y por lo tanto se distribuyen en una mayor superficie correspondiéndoles una menor cantidad de calor por cm<sup>2</sup>. Lo anterior ocasiona que en la zona ecuatorial, donde la incidencia de los rayos es vertical, la radiación incidente de onda corta sea superior a la saliente de onda larga, en tanto que en las latitudes medias y altas ocurre lo contrario; sin embargo, esto es compensado con el transporte de calor que realizan de la zona tropical hacia los polos los vientos (ciclones y anticiclones) y las corrientes marinas.<sup>12</sup>

### 3. Medición

La insolación se mide en cantidad de horas en las que se recibe Sol, este elemento ha sido registrado en forma sistemática por las estaciones meteorológicas del Sistema Meteorológico Nacional a partir de 1941. Existen antecedentes de su observación desde la década de los veinte en algunas

---

<sup>11</sup> Ayllón, *Op. Cit.*, p. 42 y 43.

<sup>12</sup> Ayllón, *Op. Cit.*, p. 42 y 43.

estaciones de nuestro país, pero su registro se inicia formalmente en la mayor parte de estaciones nacionales, en la década de los cuarenta.

La insolación reporta el número de horas de Sol recibidas en una estación meteorológica; ésta puede ser medida por un heliógrafo, en México el heliógrafo utilizado para tal fin es el Campbell-Stokes.

El Heliógrafo Campbell-Stokes es un aparato que mide las horas de Sol intenso durante un día (figura No.1) consiste fundamentalmente, en una lente esférica maciza, de precisión óptica, que proyecta la imagen del Sol sobre una cartulina la cual quema cuando la radiación solar rebasa un determinado umbral.<sup>13</sup> Uno de sus inconvenientes es el que, si no existe la suficiente radiación solar el papel no alcanza a ser quemado, lo cual altera la lectura de la insolación.

Se pueden elaborar tablas de datos según la duración de la insolación en horas por día, mes o año o como un porcentaje de insolación posible. Las isohelias son las líneas que en un mapa, unen puntos con la misma duración media de insolación (trazadas con arreglo a las estaciones existentes). Las partes de la Tierra que presentan mayor insolación son los desiertos calientes: Helván, en Egipto, presenta una insolación media anual de 3668 horas, el 82% de insolación posible.

Las regiones situadas alrededor del Mediterráneo tienen el 90% de insolación posible en verano, aunque son algo más nubosas en invierno cuando ocurren las lluvias. Las zonas ecuatorial y templada fría presentan una insolación mucho menor, por ejemplo, Valentia, en el sudoeste de Irlanda, tiene una insolación media de 1'3 horas diarias, equivalente al 17% de insolación posible.<sup>14</sup>

En cuanto a la radiación solar, su medición y estudio se iniciaron en México en el Observatorio Astronómico Nacional de Tacubaya de mayo de 1911 a octubre de 1917 y se continuaron en el Observatorio Meteorológico Central de Tacubaya de enero de 1923 a junio de 1928, los resultados fueron analizados y publicados por el Dr. Gorczyński, las mediciones comprendieron básicamente a la componente directa de la radiación solar.<sup>15</sup> Actualmente, estas y otras mediciones en torno a la radiación solar se realizan, entre otros, en el Centro de Ciencias de la Atmósfera, Instituto de Geofísica, UNAM, y en muchas otras estaciones meteorológicas por medio de sensores digitales, las cuales ayudarán a obtener mayor información acerca de este elemento.

La medida del calor que llega a un cuerpo se llama actinometría; el aumento de la temperatura depende de la cantidad de calorías que reciba el cuerpo; para medir este número se observa cuánto eleva su temperatura un objeto al exponerse al Sol durante un minuto, si se conoce previamente cuántas calorías

<sup>13</sup> OMM, *Vocabulario Meteorológico Internacional*, WMO/OM/BMO, Sría de la OMM, 2ª. ed., No. 182, Ginebra, Suiza, 1992, p. 97.

<sup>14</sup> J. K. Monkhouse, *Op. Cit.*, p. 244-245.

<sup>15</sup> Ignacio Galindo y Adolfo Chávez, *Op. Cit.*, p. 4.

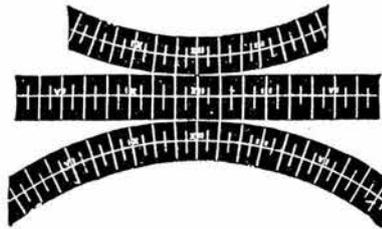
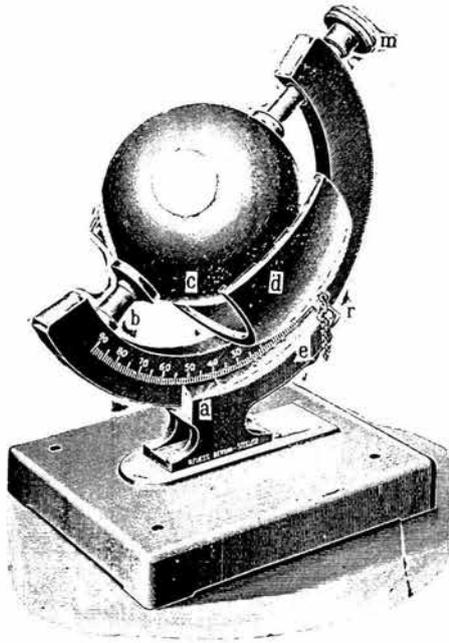


Figura No. 1. Heliógrafo Campbell-Stockes y tiras para heliógrafo

necesita para aumentar su temperatura 1 °C. Se llama caloría a la cantidad de calor que es necesario suministrar a un gramo de agua pura para elevar su temperatura de 14.5 a 15.5 °C.

La radiación es medida en el Sistema Internacional (SI) en watts/ m<sup>2</sup> o en cal/ cm<sup>2</sup>/ día = langleys/ día, estos datos se obtienen a partir de aparatos como el Piranómetro, el cual requiere de una calibración precisa para su correcto funcionamiento, así como de una mayor capacitación del operario que lo maneje.

Los instrumentos para medir los componentes del Balance de Radiación se agrupan de la siguiente manera:

- a) Pirheliómetros: miden la radiación directa que incide en forma normal a una superficie. El más conocido es el pirheliómetro de compensación de Ångstrom.
- b) Piranómetros: miden la radiación solar (radiación global) recibida desde todo el hemisferio celeste sobre una superficie horizontal terrestre. También llamados Solarímetros y Actinógrafos. (figura No.2)
- c) Heliógrafo: Mide la duración de la insolación (horas de brillo solar). Se tienen dos categorías: los que aprovechan el calor del Sol (intensidad de la radiación) como el de Campbells-Stokes y los que aprovechan la longitud de onda más corta que impresiona los materiales fotográficos como el heliógrafo de Jordan.
- d) Pirgeómetros: miden la radiación solar y la infrarroja desde un solo hemisferio
- e) Pirradiómetros: miden la radiación solar y la infrarroja desde un solo hemisferio. (figura No.3)
- f) Radiómetros Netos: determinan la radiación neta (balance de energía).
- g) Actinógrafo de Robitzsch mide la radiación solar directa más la difusa, es decir, la radiación total o global.<sup>16</sup>

## B. NUBOSIDAD

*«¿Quién puede contar las nubes con sabiduría?»  
-- Job 38:37*

Las nubes son un componente importante del clima y del tiempo atmosférico; si son observadas, analizadas e interpretadas con acierto, es posible valorar las condiciones atmosféricas del momento y es factible también, intentar un pronóstico; las nubes indican buen tiempo, lluvia, nieve o tormenta; su importancia fue percibida por el hombre desde su aparición y actualmente, con el desarrollo de la tecnología y el avance científico de mediados del siglo XX, se detectan desde un satélite dando respuesta a muchas incógnitas, ratificándose la

<sup>16</sup> Gustavo Mercado Mancera, *Manual de prácticas: Meteorología y Climatología*, UNAM, México, 1993, p. 16 y 17.

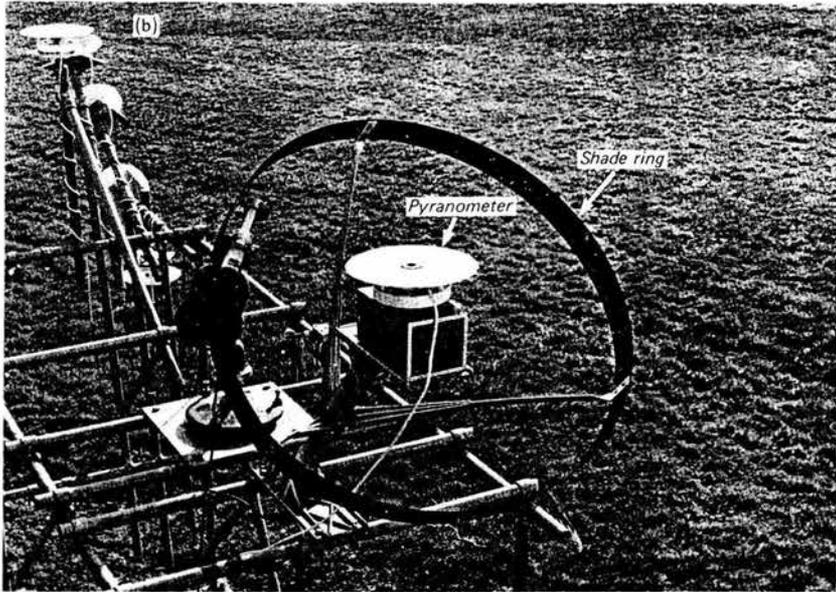


Figura No. 2. Piranómetro y anillo de sombra usado para medir la radiación total y difusa.

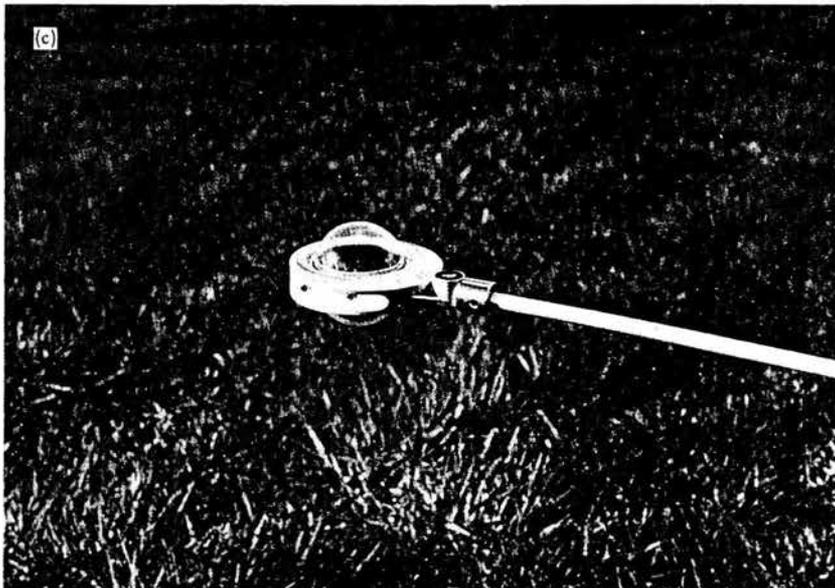


Figura No. 3. Pirradiómetro Neto, usado para medir la radiación neta.

importancia de estos elementos: velos de vapor agua de muy diversas formas y tamaños; este apartado proporciona información sobre tipo de nubes, su temperatura en la cima, extensión, desarrollo vertical, dirección, etc.

## 1. Antecedentes

A principios del siglo XIX, se iniciaron los primeros intentos de clasificación de nubes en Europa, tanto el naturalista francés Lamark, como el científico inglés Luke Howard propusieron clasificaciones de nubes; este último introdujo nombres latinos para designar a las nubes.

Ya desde mediados de 1800 y principios de 1900, numerosas estaciones meteorológicas mantienen la observación de nubes en forma rutinaria principalmente en Estados Unidos y Europa, por consiguiente, es en estos países donde se ha generado la mayor cantidad de datos y estudios respecto a este elemento climático.

En los años sesentas del siglo XX, debido al desarrollo y aplicación de la tecnología satelital a los estudios meteorológicos, el enfoque dominante se dirigió hacia el tipo de nube y mapeo de cobertura de nubes, basado en el nephanálisis de satélite, la cual es una sencilla representación en plano de las nubes, evidente en cualquier imagen de satélite.<sup>17</sup>

A fines de los sesentas del siglo pasado se advirtió la necesidad de ofrecer diversos enfoques a esta información satelital en vista del rápido crecimiento de material y archivo de imágenes; uno de los primeros adelantos técnicos redituó en la conformación de una única placa fotográfica, la cual era resultado de una múltiple exposición promedio de fotografías, que el mismo satélite se encargaría de seleccionar. Esto representó un método exitoso y barato en el que los resultados revelaron un número de estructuras de nubes previamente irreconocibles, como por ejemplo, la Zona de Convergencia Intertropical del Pacífico Este (ITC o ZITC). Este método fue rápidamente rebasado por una técnica computarizada basada en un archivo de escala media con imágenes de satélite en órbita polar que comprimieron a un  $512^2$  matrices de datos por cada hemisferio. Los resultados fueron quizá, la climatología satelital de nubes más amplia hasta la fecha; con valores diarios y mensuales registrados durante el periodo de 1967 a 1970, se identificaron unas 10 clases de nubes de acuerdo a la frecuencia de distribución por cada unidad de área en un amplio arreglo de mapas sobre proyecciones estereográfico polar y de Mercator, tanto para la totalidad de la cubierta nubosa como para varias cubiertas nubosas de categoría secundaria.

Los esfuerzos más recientes tienen el propósito de reducir los problemas comunes de la sub y sobreestimación de la cantidad de nubes a ambos extremos

---

<sup>17</sup> John E. Oliver, Rhodes W. Fairbridge, *The Encyclopedia of Climatology*, New York: Van Nostrand Reinhold, c 1987, p. 355.

de la escala okta; en las aproximaciones del histograma biespectral la brillantez de las nubes en el visible es trazada contra aquellas en el infrarrojo, esta técnica no solo ayuda a diferenciar entre la nube y la brillantez de fondo, sino también para diferenciar varios tipos de nubes. Esfuerzos adicionales para desarrollar procedimientos que permitan identificar los tipos de nubes han usado datos multiespectrales de sistemas sensores en satélites Nimbus y NOAA, en el no visible, en el visible e infrarrojo y en datos solos. Las técnicas multiespectrales son mucho más demandantes de tiempo-computadora, de esta forma, son necesarios más estudios e investigaciones, antes de que tales técnicas puedan ser apoyadas en aplicaciones climatológicas a gran escala.<sup>18</sup>

De 1972 a 1974, estuvieron disponibles fotos de día y de noche de la cubierta nubosa, obtenidas por radiómetros exploradores infrarrojos localizados en la órbita más baja de los satélites geoestacionarios; la combinación de fotos infrarrojas y visibles proporcionadas por los satélites meteorológicos permiten estimar la temperatura de las nubes, reflectividad y altitudes máximas, lo cual es difícil calcular en observaciones hechas desde la superficie de la Tierra, importantes aún para la climatología. Los satélites proveen estimaciones de la nubosidad en partes de la Tierra donde los datos son escasos como en los océanos y regiones polares. Desde 1982 satélites geoestacionarios con sensores de imágenes para nubes han sido operados por varias naciones desde cinco puntos diferentes a lo largo del Ecuador.<sup>19</sup>

## 2. Concepto

Las nubes se definen como un conjunto de pequeñísimas gotitas de agua (cuyo diámetro oscila alrededor de 0.01 mm) o finos cristales de hielo mantenidos en suspensión en la atmósfera por los movimientos ascendentes del aire.<sup>20</sup>

Otro concepto lo muestra la maestra Ayllón (1996): Las nubes son grandes conjuntos de pequeñas gotas de agua o de partículas diminutas de hielo que se encuentran suspendidas en la atmósfera.

La formación y disipación de las nubes van unidas a movimientos del aire en donde los movimientos convectivos tienen especial importancia. Si el aire asciende, se enfría adiabáticamente por expansión y puede llegar a la saturación y condensación de la humedad, al punto de no poder contener el vapor de agua, el vapor se condensa en forma de finas gotitas de agua alrededor de un núcleo sólido de condensación; por el contrario, si desciende, se calienta por compresión y el agua condensada se evapora. Asimismo, cuando el aire se eleva sobre

---

<sup>18</sup> *Ibidem*, p. 731 y 732.

<sup>19</sup> Oliver, Fairbridge, *Op. cit.*, p. 355 y 356.

<sup>20</sup> Gómez y Arteaga, 1987, citados por Mercado Mancera, Gustavo en *Manual de prácticas: Meteorología y Climatología*, México 1993, p. 55.

campos cálidos o cuando sube por laderas elevadas de zonas montañosas forma nubes orográficas.<sup>21</sup>

La nubosidad es pues la cubierta de nubes de un lugar en un momento dado.

### 3. Medición

El saber identificar e interpretar los diferentes tipos de nube es probablemente el más interesante e importante aspecto de la meteorología, pues significa saber leer en el cielo lo que está ocurriendo en la atmósfera. Las características de las masas de aire, su temperatura, humedad, estabilidad o inestabilidad, están reflejadas en la forma, cantidad y estructura de las nubes. Por ello, una cuidadosa inspección de la nubosidad presente puede llevar al analista a una correcta identificación de las masas de aire y sus consecuencias en el tiempo atmosférico. El aspecto de las nubes depende de sus dimensiones, forma, estructura, luminosidad y color; las dos últimas características se deben a la luz recibida del Sol o de la Luna.<sup>22</sup>

En la predicción del tiempo a corto plazo se utilizan técnicas y modelos matemáticos, pero el método más sencillo y práctico es observando y clasificando la nubosidad en la atmósfera, la cual nos dará una evaluación del grado de estabilidad y agitación del aire. Las nubes nos informan acerca de las condiciones pasadas de la atmósfera, de las que prevalecen en el momento y lo que es más importante, de las probables y futuras condiciones atmosféricas.<sup>23</sup>

El primer intento de clasificación de las nubes fue realizado en 1802 por el naturalista francés Lamarck. En su anuario meteorológico distinguía cinco formas principales de nubes y posteriormente agregó siete nuevos tipos; pero su clasificación no tuvo éxito porque en conjunto era confusa.

En 1803, en Inglaterra, Luke Howard, propuso una clasificación siguiendo el método del botánico Linneo. Esta clasificación propuesta comprendía familias, géneros y especies. A diferencia de las plantas, una nube puede cambiar sus características durante un periodo de horas, convirtiéndose en otra de tipo diferente. La clasificación detallada de Howard introdujo los nombres latinos para designar a las nubes: *Cirrus*, *Cumulus*, *Stratus*, considerando que eran los tipos fundamentales y de los cuales derivarían todos los demás.<sup>24</sup>

En 1956, la Organización Meteorológica Mundial publicó el Atlas Internacional de Nubes, realizó una revisión de la clasificación de nubes de 1802 y adoptó una terminología estándar; se utilizan términos latinos para designar el

<sup>21</sup> Ayllón, *Op. cit.*, p. 128.

<sup>22</sup> Ayllón, *Op. cit.*, p. 126 y 127.

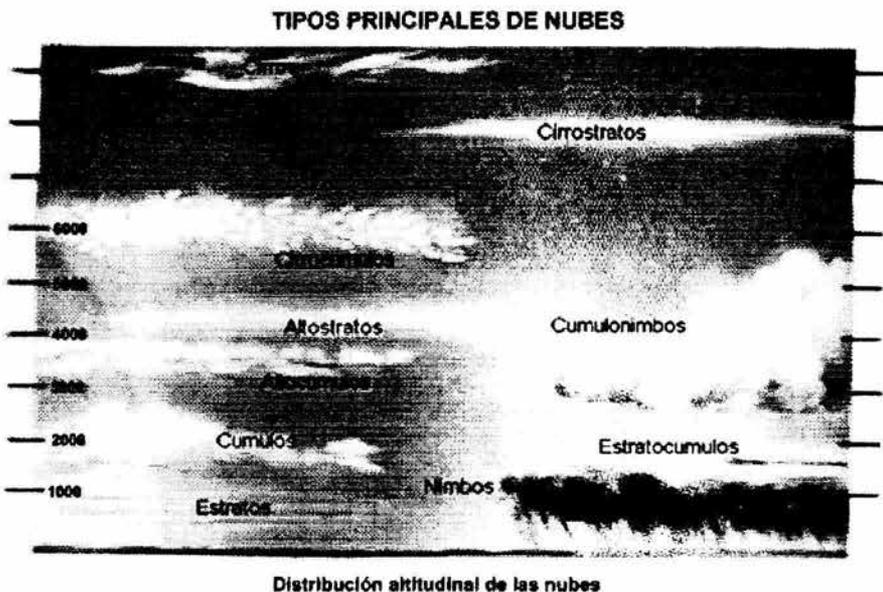
<sup>23</sup> Mercado Mancera, *Op. cit.*, p. 55.

<sup>24</sup> *Ibidem.*, p. 56 y 57.

género o tipos básicos de nubes; especies, los detalles en bordes y la estructura interna de las nubes; variedades, patrones característicos o transparencia de las nubes; características suplementarias y nubes accesorias, nubes anexas (asociadas) o formas de precipitación; nubes-madre, el origen de nubes si se forman de otras nubes.

Los términos latinos para designar los cuatro tipos básicos son los siguientes:

- Cirrus*: nube fibrosa
- Stratus*: nube en capa
- Cumulus*: nube abultada, en glóbulos
- Nimbus*: nube de lluvia



Fuente: Candel Vila, R., *Atlas de Meteorología*, 8ª ed. Barcelona, Jover, 1978, p. C/1

Los 10 géneros y las 14 especies se enlistan a continuación:

<b>Género</b>		<b>Especie</b>		
<u>Designación</u>	<u>Abreviatura</u>	<u>Designación</u>	<u>Abreviatura</u>	<u>Significado</u>
Cirrus	Ci	fibratus	fib	deshilachado, fibroso
Cirrocumulus	Cc	uncinus	unc	ganchudo
Cirrostratus	Cs	spissatus	spi	espeso, compacto
Altostratus	As	castellanus	cas	en forma de torre, almenado
		floccus	flo	fleco

Género		Especie		
Designación	Abreviatura	Designación	Abreviatura	Significado
Nimbostratus	Ns	stratiformis	str	en forma de mantos o capas
Stratocumulus	Sc	nebulosus	neb	nebulosa
Stratus	St	lenticularis	len	lenteja, plato
Cumulus	Cu	fractus	fra	roto, desgarrado
Cumulonimbus	Cb	humilis	hum	aplastado, pequeño
		mediocris	med	medio
		congestus	con	congestionado
		calvus	cal	sin estructuras cirrosas
		capillatus	cap	estructuras cirrosas

Para describir la altitud de las nubes se divide convencionalmente a la atmósfera en tres rangos o estadios verticales; las nubes altas,  $C_H$  (Cirrus, Cirrocumulus y Cirrostratus) se encuentran a una altura promedio de 5 a 13 km; las nubes medias  $C_M$  (Alto cumulus y Altostratus) están entre 2 y 7 kms; las nubes bajas  $C_L$  (Stratocumulus y Stratus) se encuentran a 2 kms, de la superficie terrestre. Las nubes multinivel (Nimbostratus, Cumulonimbus y las demás especies de Cumulus) tienen una considerable extensión vertical, su base se presenta en el nivel bajo de la atmósfera, mientras que la parte alta puede encontrarse en la atmósfera media o alta.<sup>25</sup>

La altura de las nubes se determina por diversos procedimientos: por triangulación de acuerdo al método topográfico; por fotogrametría, con la aplicación de la fotografía estereoscópica y por medio de un refractor y un clinómetro, midiendo el ángulo de la visual dirigida a la nube.

Una vez conocida la altura de la nube en el supuesto que ésta se mueva horizontalmente, se puede determinar la velocidad y la dirección que sigue en su trayectoria por medio del espejo de nefoscópico y empleando la horquilla de Besson para medir el tiempo que tarda la nube en pasar de la primera posición a la segunda. La altura de las nubes aumenta durante el día y disminuye a partir de la puesta del Sol y en las latitudes medias suele ser mayor en verano que en invierno.<sup>26</sup> En México prevalecen las nubes convectivas a veces de gran desarrollo vertical durante la estación de lluvias, mientras que en las secas dominan los altostratus / cirrostratus así como las nubes de onda.

El estrecho comportamiento entre nubosidad e insolación deriva de la correspondencia: a mayor nubosidad menor insolación y viceversa; no obstante, la forma en que son registrados los datos: "días con nublados"; plantea la probable existencia de errores de apreciación por parte de quien observa y registra este elemento, al basarse en su criterio.

<sup>25</sup> Oliver, Fairbridge, *Op. cit.*, p. 354.

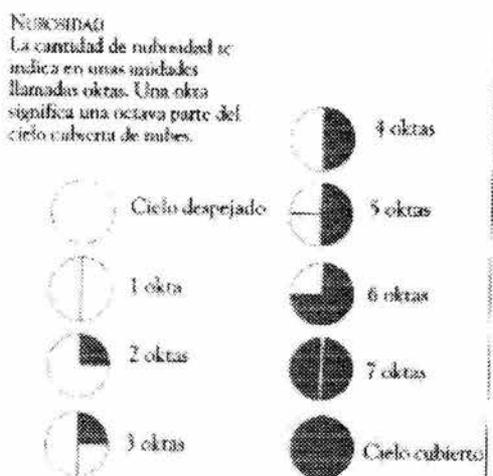
<sup>26</sup> Mercado Mancera, *Op. cit.*, p. 59.

La nubosidad se puede establecer directa o indirectamente por medio de las horas que brilla el Sol (insolación). En el primer caso, el observador valora mentalmente la fracción de cielo cubierta por nubes. Ésta se aprecia en oktas, una okta significa una octava parte de cielo cubierto de nubes; la nubosidad se anota de 0 a 8 oktas: 0 indica cielo totalmente despejado, 8 cielo cubierto totalmente.

La cobertura nubosa es reportada en décimas, oktas o por rangos: despejado (0-5%), disperso (5-55%), discontinuo (55-95%) o cubierto (95-100%); no hay instrumento disponible para medir la cobertura nubosa, por lo tanto, las estimaciones de la apariencia del cielo, son hechas por la interpretación humana.<sup>27</sup>

La observación de la nubosidad es sensorial por medio de oktas (dividiendo al cielo en 8 partes iguales) y los conceptos registrados o asentados son relativos: cielo despejado, de 0 a 4 oktas, medio nublado, 4 oktas, nublado, de 4 a 7 oktas y cielo cubierto, de 7 a 8 oktas. (Dr. Jáuregui, comunicación verbal).

Esta bien determinado que las observaciones de las nubes aún realizadas por meteorólogos entrenados diferirán de un individuo a otro, de cualquier manera hay menos discrepancia entre los reportes del total de nubes que entre la valoración del tipo y altura de nubes. El uso de observaciones hechas desde superficie, basadas en la cantidad de nubes, exige precisión y certeza.



Fuente: CONACULTA, *Tiempo y Clima*, 2ª. reimp., Italia, CNCA y CITEM, 2001, p. 129

Henderson-Sellers refiere que, a diferencia de Europa, donde las observaciones de naturaleza meteorológica han sido registradas desde el siglo XVII y disponibles desde 1900 en observatorios nacionales a menudo astronómicos, en los Estados Unidos, la nubosidad se ha reportado desde

<sup>27</sup> Oliver, Fairbridge, *Op. cit.*, p. 355.

principios del siglo XX en tres fuentes principales: La "U.S. Daily Weather Maps" para el periodo 1900-1921, 1933-1954 mediante un mapa por día y la información de las nubes es bastante vaga, particularmente durante el periodo matutino con el círculo de estación que indicaba únicamente: claro, parcialmente nuboso o condiciones nubladas; a principios de los cuarentas se adopta la descripción moderna de la cubierta y tipo de nube. Otra fuente es la "Weather Bureau Form 1001", registro mensual que incluye: tipo, cantidad y movimiento de nubes; observaciones hechas solamente una vez al día. La tercera y principal fuente de datos es el "Libro de los Registros Climatológicos" con registros de muchas estaciones a menudo con grandes y continuos periodos de observación; éste incluye datos de nubes apuntados en forma de promedio mensual para una o más observaciones por día, en diversos periodos desde 1871 a 1970.

En los EUA de principios de los cincuentas a la fecha se llevan a cabo observaciones de 4, 6 o más veces al día en un promedio de 24 horas y estos promedios individuales habitualmente son reportados, aunque en ocasiones son considerados como medias mensuales de cantidad de nubes, lo que se denomina "promedio de luz de día", conservadas en el libro de "Registro Climatológico".<sup>28</sup>

Por otro lado la Enciclopedia de Climatología señala que las observaciones regulares del tiempo que incluyen reportes de nubes se hacen, hoy en día, con intervalos de 1, 3 o 6 horas, dependiendo del tipo de estación y de la comunicación mundial.<sup>29</sup>

Malberg (1973), (citado por Henderson-Sellers, 1986) estima que las observaciones de superficie son típicas de un área circular con un radio de 50 Km. centrado en el punto de observación. Así, un espacio óptimo de sitios de observación (en condiciones ideales) debería estar en una red de dimensión de 100 Km.<sup>30</sup>

Las observaciones que de las nubes se realizan desde la superficie, han sido estudiadas dentro de la climatología de nubes, incluyen descripciones de la cubierta mundial de nubes para libros de texto, atlas climatológicos y datos para modelos climáticos, además de proporcionar mapas de promedios de cubiertas de nubes que muestran las diferentes estaciones y meses del año. La mayoría de las observaciones de las nubes que aparecen en estas climatologías fueron realizadas durante el día. Sin embargo, la nubosidad observada desde la superficie terrestre parece ofrecer datos útiles y complementarios con los cuales es posible examinar una parte del desempeño de los modelos climáticos-numéricos.<sup>31</sup>

El análisis de las nubes basado en datos de superficie declinó una vez que los datos de satélites empezaron a utilizarse en 1960, aunque, los datos de

<sup>28</sup> Henderson-Sellers, A., Increasing cloud in a warming world, *Climatic Change* 9, (1986), p. 272, 273 y 289.

<sup>29</sup> Oliver, Fairbridge, *Op. cit.*, p. 355.

<sup>30</sup> Henderson-Sellers, *Op. cit.*, p. 289.

<sup>31</sup> *Ibidem*, p. 267.

superficie continúan siendo el recurso más importante y de soporte de dicho análisis.<sup>32</sup>

Una de las técnicas modernas es el nephanálisis (del griego *neph-* nube) que consiste en el análisis de los datos del estado del tiempo para producir un mapa de nubes. También se usa el término "carta neph", este tipo de análisis retrata nubes individuales de sistemas de nubes de áreas sinópticamente grandes. La apariencia del nephanálisis y los procedimientos usados para generarlo pueden variar grandemente con el curso de los datos de nubes y con aplicaciones deseadas del nephanálisis, por ejemplo, se puede elaborar un mapa de cubierta de nubes con una claridad identificable de nublado; pueden registrarse las cimas de las nubes distinguiendo de bajas y medianas y su altura o pueden analizarse bases de nubes e identificar áreas donde una tripulación aérea debe volar por instrumentos. El nephanálisis se deriva de fuentes tales como:

1. el reporte de las estaciones de tiempo de la superficie que requieren interpolación de condiciones entre puntos de observación;
2. de observaciones aéreas continuas en el espacio realizadas desde aviones, que no llegan a ser sinópticas para grandes extensiones, y
3. de imágenes de nubes por vía satélite.

El nephanálisis tiene dos aplicaciones mayores: 1. En análisis de tiempo y pronóstico, se han preparado y distribuido cartas neph para centros de predicción y otros usuarios tales como aviones y barcos interesados en localizar nubes, neblina y aéreas de tormenta; 2. En climatología las cartas neph han sido compuestas sobre Tierra y en periodos de tiempo determinados a fin de producir la climatología de nubes.

El nephanálisis sería un franco ejercicio de procesamiento de datos si no fuera por dos significativas limitaciones: 1° las nubes son altamente variables en direcciones horizontal, vertical y ambas a la vez, y 2° las nubes son raramente mostradas directa o activamente, usualmente, las nubes son observadas desde cierta distancia -la superficie de la Tierra o desde un satélite- y las observaciones son a menudo engañosas debido a la vista geométrica, vaguedad de las altitudes, grosor o espesor de la nube, pobre iluminación nocturna, etc. Consecuentemente, el nephanálisis es una tecnología en evolución. Los promedios del nephanálisis, que son la climatología de nubes, a menudo están en desacuerdo y los resultados no son satisfactorios en aplicaciones rigurosas; la investigación mejorará cada vez más la precisión de la climatología de nubes.<sup>33</sup>

Se están haciendo esfuerzos para mejorar la base de datos a fin de observar las nubes, uno de ellos es el International Satellite Cloud Climatology Project (ISCCP) el cual, aún cuando se completó exitosamente, sólo proporcionaba cinco años de datos. Los proyectos de recuperación de datos

---

<sup>32</sup> Oliver, Fairbridge, *Op. cit.*, p. 609.

<sup>33</sup> *Ibidem*, p. 607.

basados en satélites son poco factibles de suministrar información adecuada acerca de las capas, tipo y diferencias de nubes en comparación con las observaciones realizadas desde la superficie.

A pesar de que los reportes de superficie de las nubes han sido valorados por cientos de años y las imágenes de las nubes por satélite lo han sido por 20 años, el nephanálisis es todavía una tecnología inmadura. Existen limitaciones que podrían superarse con mejores datos o métodos de análisis. Algunas de las limitaciones primarias son: dificultad para identificar las nubes sobre la criósfera, deficiente análisis de las nubes cirrus, escasos análisis nocturnos, variaciones en la vista geométrica y sobreestimación de la cubierta nubosa, así como mediciones poco frecuentes de propiedades internas de las nubes.<sup>34</sup>

Estas limitaciones están produciendo una lenta mejoría en las fuentes de datos, en los métodos para analizar nubes y en las computadoras; sistemas activos tales como LIDAR son usados en investigación de nubes desde la Tierra y se espera que sean usados en satélites meteorológicos en el futuro. Desde Tierra, aviones o plataformas satelitales, infieren con mayor exactitud la altitud, grosor y fase de las nubes, que los sensores pasivos o los reportes de superficie. Los sensores pasivos satelitales están también mejorando. Además de la percepción rutinaria de las nubes en canales visibles (0.5 – 1.0 micras) e infrarrojos (8 – 13 micras), las ventanas atmosféricas cercanas al infrarrojo, en longitudes de onda tales como 3.7 y 1.6 micras, prometen aplicaciones para mejorar la detección de las nubes en la noche y sobre la cubierta de nieve durante el día. Los resonadores infrarrojos, que son sensores multispectrales diseñados para inferir la temperatura atmosférica también pueden detectar nubes cirrus y determinar su altitud con precisión. Se espera que estas técnicas sean usadas con mayor frecuencia en un futuro no lejano.<sup>35</sup>

Por otro lado, los métodos biespectrales son procedimientos mediante los cuales, las imágenes visibles e infrarrojas se analizan objetivamente en forma conjunta para mapear extensión y distribución de precipitación. La lluvia es medida de acuerdo a formas realmente verídicas (por indicador y/o datos de radar). La suposición central, es que la precipitación más fuerte cae de nubes brillantes y frías. Estos métodos se desarrollan activamente para un uso regular operacional en África, basándose en imágenes del Meteostat (Barrett y D'Souza 1986).<sup>36</sup>

Puesto que las nubes figuran tan prominentemente en las imágenes de los satélites del tiempo, se espera que la climatología de nubes figure de manera sobresaliente en el desarrollo de la climatología satelital. De cualquier modo, se considera aventurado expresar que se le ha puesto mayor atención al desarrollo de las técnicas de climatología de nubes que a la revisión de sus resultados a escalas diferentes en las cartas sinópticas.<sup>37</sup>

<sup>34</sup> Oliver, Fairbridge, *Op. cit.*, p. 611 y 612.

<sup>35</sup> *Ibidem.*, p. 612.

<sup>36</sup> *Ibidem.*, p. 733.

<sup>37</sup> Oliver, Fairbridge, *Op. cit.*, p. 731.

La evidencia satelital ha sido utilizada en apoyo de innumerables estudios de sistemas sinópticos, en este momento, la contribución satelital a los estudios climatológicos ha sido suficiente, ya que este material ha resultado de un gran valor para los climatólogos.

## C. TEMPERATURAS MÁXIMAS

### 1. Concepto

La temperatura máxima es la temperatura más alta alcanzada en un intervalo de tiempo dado; existen diferentes tipos de registro para la misma: tenemos la temperatura máxima diaria y su promedio mensual o anual; la temperatura máxima absoluta que es la más alta en un día cualquiera, rastreada en una estación meteorológica y la temperatura extrema que es la máxima o mínima a la sombra registrada durante un día, un mes, un año o cualquier otro periodo que se disponga de datos.

A escala mundial, las temperaturas máximas –promedio de Máxima Media o también llamada, Temperatura Máxima Normal Estándar- siguen la migración del ángulo de incidencia directa del Sol (90°) desde la posición del solsticio de junio (23°32' latitud norte) a la posición del solsticio de diciembre (23° 32' latitud sur), estas temperaturas se encuentran en las regiones subtropicales (aproximadamente 30° de latitud norte o sur) donde los cielos claros dominan y no en los trópicos donde una cobertura de nubes prevalece gran parte del tiempo. Las temperaturas extremas se encuentran sobre cuerpos de Tierra (norte de África para máximas) (Antártica y norte de Siberia para mínimas) en los océanos los cambios de temperatura son menos dramáticos, mientras que los grandes rangos de temperatura se encuentran sobre Tierra por efectos de la continentalidad lo que le permite responder más rápidamente a los cambios estacionales.<sup>38</sup>

En el transcurso del año, considerado en su totalidad, la Tierra pierde la misma cantidad de calor que recibe del Sol. A medida que el Sol, en primavera y por su movimiento aparente, sube hacia el norte, nuestro hemisferio (norte) recibe rápidamente más calor que el que cede. El 22 de junio se beneficia de la radiación solar máxima, la ganancia de calor continúa excediendo a la pérdida hasta el momento del calor máximo, habitualmente a finales de junio; este aumento de calor continúa siempre excediendo a la pérdida, pero en una proporción decreciente hasta el 31 de agosto aproximadamente. Entonces nuestro hemisferio comienza a perder más calor que el que recibe, y se enfría.

El mismo retraso explica que alrededor de las tres de la tarde sea la hora más calurosa de la jornada y no el mediodía, que es cuando los rayos solares son más intensos.<sup>39</sup>

<sup>38</sup> Oliver, Fairbridge, *Op. cit.*, p. 837.

<sup>39</sup> Paul E. Lehr, R. Will Burnett y Zim Herbert S, *Meteorología*, Ed. Daimon, Manuel Tamayo, Barcelona, España, 1972, p. 52.

Las temperaturas máximas de la superficie terrestre no se registran en el Ecuador, sino en los trópicos. Existen factores que hay que tomar en cuenta, la migración aparente del Sol en el cenit es relativamente rápida durante su paso sobre el Ecuador, pero su velocidad disminuye a medida que se aproxima a los trópicos. Entre los 6° N y 6° S, los rayos del Sol permanecen casi verticales durante sólo 30 días de los equinoccios de primavera y otoño por lo que no hay tiempo suficiente para almacenar calor en la superficie y originar altas temperaturas.

Por el contrario, entre los 17.5° y 23.5° de latitud los rayos del Sol caen verticalmente durante 86 días consecutivos en el período de solsticio. Este período de mayor duración, junto con el hecho de que en los trópicos los días son más largos que en el Ecuador, es la causa de que las zonas de máximo calentamiento estén más cercanos a los trópicos que al Ecuador.<sup>40</sup> A más de la presencia del cinturón de anticiclones semipermanentes a los 30° de latitud.

En nuestro país las temperaturas máximas se observan durante los meses de abril y mayo en estaciones del centro y sur del territorio (entre los 15° y 24° de latitud norte), mientras que, durante los meses de junio y julio es cuando se registran las temperaturas más altas en los estados de: Baja California, Baja California Sur, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas y Sinaloa, entre los 24° y 32° de latitud norte. (Ver tabla No. 3, promedios de temperatura máxima)

## 2. Medición

Para la medición de las temperaturas extremas se cuenta con los siguientes instrumentos de medición:

El termómetro de máxima es de mercurio y señala la mayor temperatura registrada durante cierto intervalo de tiempo. Consiste en un tubo de vidrio cuyo taladro tiene un estrangulamiento cerca del bulbo, y su función consiste en permitir el paso del mercurio cuando aumenta la temperatura, pero impide su regreso al depósito cuando la temperatura desciende, por lo que la columna de mercurio queda indicando la máxima registrada.

Existen termómetros que son a la vez de máxima y de mínima. El más conocido es el de *Six o de Bellani*. Consiste en un tubo en forma de "U" con bulbos en sus dos extremos, en los cuales se ha colocado un líquido orgánico (alcohol o cerosota). En la parte inferior tiene mercurio, y encima un índice metálico, en cada rama. Al subir la temperatura, los líquidos se expanden y se despliegan hacia la columna de máxima; al subir el mercurio se eleva el índice, y marca la máxima temperatura alcanzada. Al descender la temperatura los líquidos se contraen y

---

<sup>40</sup> Juan Carlos Gómez Rojas y Jaime Márquez Huitzil, *Geografía General*, 2ª. Publ. Cultural, México 1997, p. 132-133.

sube el mercurio por el ramal de mínima, moviendo hacia arriba el índice, el cual quedará señalando la mínima temperatura.<sup>41</sup>

En meteorología la temperatura se expresa generalmente en escala centígrada (°C) o en la escala Fahrenheit (°F). En ocasiones y en estudios específicos, se expresa en la escala Kelvin (°K), Réaumur (°Re) o Rankine (°Ra).

La mayoría de los termómetros van colocados en abrigos meteorológicos contruidos de madera con paredes de persianas que permiten la libre ventilación, bajo medidas convencionales. Sin embargo, también los hay a la intemperie y a diferentes alturas sobre el piso, como los usados en las estaciones microclimáticas para la identificación de heladas.<sup>42</sup>

---

<sup>41</sup> Ayllón, *Op. cit.*, p. 58.

<sup>42</sup> Mercado Mancera, *Op. cit.*, p. 23.

## CAPITULO II

### RELACIÓN ENTRE INSOLACIÓN Y NUBOSIDAD

Tal y como se mencionó en el capítulo anterior, la radiación solar es la directamente responsable del clima en nuestro planeta, de cambios en la mayoría de parámetros climáticos y en los patrones de circulación atmosférica. En este variable tiempo atmosférico, la nubosidad cambia a cada momento, ésta tiene un efecto importante en el balance de radiación de la atmósfera y puede ser una manifestación de cambio en otros parámetros climáticos. El presente capítulo trata de la insolación y la nubosidad como elementos climáticos que han mostrado cambios en su comportamiento de acuerdo a investigaciones que han examinado el tema en regiones de los Estados Unidos y de Europa, en periodos muy semejantes a los trabajados en la presente tesis, donde han sido registrados ambos parámetros desde principios del siglo XX y aún, años más atrás. Se menciona somera y brevemente el balance de energía en la atmósfera, el papel que juegan las nubes en ese balance y los estudios de modelos climáticos que han servido para señalar la complejidad de estas investigaciones tanto retrospectivas como de prospección climática.

#### A. Antecedentes

En el estudio (*Spatial and Temporal Variation of Sunshine in the FRG, 1990*)<sup>1</sup> Weber señala que los cambios en la insolación están inversamente relacionados con los cambios en días nublados (Angell et. al., 1984; Hoyt, 1977) éstos pueden tener un comportamiento importante en el balance de la radiación y sobre otros parámetros climáticos y puede a la inversa, ser una manifestación de cambios en esos mismos parámetros.

Weber formula una hipótesis en la que la disminución de la presión barométrica sobre el centro y norte europeos dan como resultado un cambio en los patrones de flujo sobre Europa, ésta es la principal razón de la declinación de la insolación sobre la Europa central durante los 37 años de 1951 a 1987, por lo tanto, el descenso en la insolación podría ser atribuible en gran escala a las características de la circulación general de las latitudes medias.<sup>2</sup>

En su estudio Weber encontró que el área al sur de las colinas centrales alemanas está cada vez más influenciada por condiciones anticiclónicas (zonas de alta presión, indicadoras de tiempo bueno y estable) que además favorecen un decrecimiento en la nubosidad; la insolación máxima es observada en la región pre-alpina y sobre las cumbres montañosas.

---

<sup>1</sup> R. Weber, *Spatial and Temporal Variation of Sunshine in the Federal Republic of Germany*, *Theoretical and Applied Climatology* 41, 1990, p. 3.

<sup>2</sup> *Ibidem.*, p. 6.

Concluye que, lo estadísticamente significativo es la disminución de la insolación en un área espacialmente coherente del centro y noreste alemán, área que no estuvo acompañada por tendencias análogas en otros parámetros climáticos como: precipitación, número de días con lluvia y un indicador de verano cálido (número de días veraniegos o número de días con una temperatura máxima igual o mayor a 25° C); consecuentemente, este fenómeno (disminución de la insolación) puede ser visto como un fenómeno aislado dentro del sistema climático que afectó partes de la Europa Central en los 37 años que describe el estudio (1951-1987).<sup>3</sup>

Por su parte Henderson-Seller (1986) formuló una hipótesis en donde, generalmente, la nubosidad va en aumento en un “mundo en proceso de calentamiento”. Sin embargo, según su análisis, la nubosidad en la mayor parte de Europa ha disminuido tanto en forma anual como, más notablemente, durante la época primavera-verano, en el periodo de los 20 años más calurosos (1934-1953).<sup>4</sup>

Refiere que la nubosidad se ha incrementado en EUA en todas las estaciones, esto refuerza la tesis según la cual la cantidad de nubes se incrementa en Europa en el mismo escenario de “un mundo en proceso de calentamiento”.<sup>5</sup>

Por otro lado, la construcción de “modelos análogos” son un instrumento utilizado recientemente con los cuales se investigan los efectos probables del incremento atmosférico del CO<sub>2</sub>. Iniciado en los EUA en 1977 y revisado en 1980 por Pittcock y Salinger (1986),<sup>6</sup> este modelo contrastó un grupo de años calientes con un grupo de años fríos. Lough et. al. (1983)<sup>7</sup> seleccionó los periodos más calurosos y más fríos en 20 años para Europa; el más caluroso fue de 1934 –1953 y el más frío de 1901-1920, la temperatura media anual del aire de la superficie en el hemisferio norte difirió en 0.4 °C entre estos dos periodos; señala que cualquier cambio en los parámetros que va del periodo de frío al de calor parecen estar asociados a un calentamiento gradual de 1901 a 1983 y puede estar asociado con el incremento de CO<sub>2</sub> atmosférico durante la etapa temprana del siglo XX.

Palutikof et. al. (1984)<sup>8</sup> comparó este escenario europeo contra uno norteamericano durante los mismos periodos y encontró que, en contraste con la situación europea, casi toda la parte continental de los Estados Unidos mostró incrementos de temperatura en un “mundo en proceso de calentamiento”; los cambios de temperatura en las áreas más extensas se dieron en las estaciones de verano e invierno, también mostró que la presión a nivel del mar disminuyó sobre la mayor parte de América del Norte; igualmente observó menor presión a nivel del

---

<sup>3</sup> R. Weber, *Op. cit.*, p. 7.

<sup>4</sup> *Ibidem.*, p. 1.

<sup>5</sup> Henderson-Sellers, A. Increasing cloud in a warming world, *Climatic Change* 9, (1986) p. 267.

<sup>6</sup> citado por Henderson-Sellers, *Ibidem.*, p. 269.

<sup>7</sup> citado por Henderson-Sellers, *Ibidem.*

<sup>8</sup> citado por Henderson-Sellers, *Ibidem.*, p. 269-272.

mar en la parte continental de EUA en todas las estaciones, la más grande, en invierno. Este resultado está en marcado contraste con el complejo patrón de cambios de presión a nivel del mar ocurridos en Europa en los mismos periodos. La tendencia temporal es de un incremento de la nubosidad en el periodo estudiado; el incremento gradual de la cantidad de nubes observado generalmente sobre la parte continental de los EUA, puede quizá, ser resultado del simple cambio de presión a nivel del mar (un descenso general) arriba mencionado. La tendencia ascendente, espacialmente coherente en el total de nubosidad, refuerza el caso para el uso del modelo análogo histórico.

En los EUA, el litoral total este y el interior continental presenta un gran incremento en la cantidad de nubosidad en un "mundo en proceso de calentamiento", pequeñas áreas del litoral poniente y en parte del sur poniente interior muestran menos consistencia en los veranos, existe una pequeña área en el sur poniente que muestra un descenso estadísticamente significativo en la cantidad de nubes. A pesar de esto, el total de los EUA presentan un incremento estadísticamente significativo en la nubosidad tanto en las cuatro estaciones del año como anualmente. El grado de nubosidad observado en el este/ oeste de los EUA puede estar asociado a las montañas Rocallosas que tenderían a bloquear el flujo de aire del sur produciendo más frío y quizá condiciones de nubosidad disminuidas discretamente en la parte oeste del continente. Sin embargo, la mayor parte de los EUA muestra un incremento en la cantidad de nubes así como en las temperaturas, en común con aproximadamente la mitad del área Europea.<sup>9</sup>

El "modelo análogo" fue usado exitosamente por Henderson-Sellers (1986) para examinar la probable variación de nubes asociadas con incremento de temperaturas en Europa; sin embargo, se debe tener cuidado cuando se utiliza el método del análogo histórico y en particular cuando se aplica al tema de cambios de nubosidad. El hecho de que las temperaturas medias hemisféricas caen por  $-0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$  en los 30 años (1945-1975) cuando las concentraciones de  $\text{CO}_2$  atmosférico se incrementaron rápidamente, sugiere que otros factores diferentes al  $\text{CO}_2$  o combinados con éste, tienen por lo menos, un efecto comparable sobre las temperaturas. Estimaciones del incremento de la temperatura media global del último siglo (Wigley y Schlesinger, 1985) conceden a la inercia térmica del océano una oscilación entre  $0.3$  y  $0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , de este modo, la contribución al incremento del calentamiento observado entre los dos periodos de veinte años parece ser de  $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$  sugiriendo que a lo sumo, sólo la mitad del calentamiento de  $0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$  puede ser atribuible al  $\text{CO}_2$ .<sup>10</sup>

Eventualmente, fluctuaciones circunstanciales en la temperatura del océano producirían los mismos cambios en la nubosidad encontrados con el incremento de  $\text{CO}_2$ ; por ejemplo, con el incremento de  $\text{CO}_2$  se esperaría que los continentes se calentaran más rápido que los océanos; mientras que, con un calentamiento inducido por el océano lo opuesto podría ser verdad, entonces los cambios en las

<sup>9</sup> Henderson-Sellers, *Op. cit.*, p. 296 y 300.

<sup>10</sup> *Ibidem.*, p. 272.

nubes serían diferentes, especialmente cerca de las costas. A pesar de estas advertencias la investigación ofrece un posible vínculo entre el incremento del CO<sub>2</sub> atmosférico y la nubosidad; lo cual es una alternativa a los resultados de los modelos numéricos. Los datos de nubosidad son un recurso para examinar las predicciones de modelos climáticos numéricos, los que deberán ser explotados con mayor rigor en el futuro.<sup>11</sup>

## B. El balance en la atmósfera

Más del 99% de la energía de la tierra proviene de la radiación solar pero a causa de fenómenos como la reflexión y la refracción, la distancia al Sol, la inclinación solar y la duración del día, no toda esa energía llega en la misma cantidad a la superficie terrestre.

La distribución de la energía en la superficie terrestre se determina en calorías x cm<sup>2</sup> al día (cal cm<sup>2</sup> día); y al año en kilocalorías (kcal/ cm<sup>2</sup>/ año) o en watts/ m<sup>2</sup> en el Sistema Internacional (SI).

La radiación de onda corta que llega a nuestro planeta atraviesa la atmósfera sin gran absorción (diatermancia). Los rayos interceptados por las nubes se reflejan al espacio en gran parte, mientras que otra es reflejada por la superficie de la Tierra y el polvo del aire; a esta parte de energía solar que es reflejada al espacio se le llama albedo y su magnitud varía según las materias reflectoras. Se estima que el promedio del albedo de la Tierra es de 40%; un 17% de la radiación incidente es absorbida en la atmósfera (depleción) y sólo el 43% es absorbida por la superficie terrestre (insolación); por tanto, sólo 60% de la radiación solar entrante es térmicamente efectiva.

La superficie terrestre pierde calor en dos flujos de energía saliente: la que escapa al espacio por la ventana infrarroja y la que va subiendo de una capa a otra por absorción y radiación sucesivas. A mayor longitud de onda, la radiación saliente es absorbida por completo por el vapor de agua y el bióxido de carbono de la atmósfera y reemitida a la Tierra en ondas de gran longitud que son de temperaturas más altas, lo cual mantiene el aire de las capas bajas de la atmósfera más caliente.<sup>12</sup>

Se puede afirmar que existe un equilibrio aproximado entre la radiación entrante absorbida y la radiación saliente.

Tal como lo comenta el científico ruso Andrew Solow, la radiación solar llega a la atmósfera con 1370 watts/ m<sup>2</sup> y a la superficie terrestre con 240 watts/ m<sup>2</sup> donde es absorbida y emitida una vez más. El sistema climático depende de la radiación solar de onda corta que entra y la de onda larga que sale. A largo plazo, la energía absorbida a partir de la radiación solar tiende a equilibrarse mediante la

<sup>11</sup> Henderson-Sellers, *Op. cit.*, p. 272.

<sup>12</sup> Teresa Ayllón, *Elementos de Meteorología y Climatología*, Trillas, México, 1996, p. 34.

radiación solar que sale de la tierra y de la atmósfera; puesto que la cantidad de energía despedida por un cuerpo depende de la temperatura de ese cuerpo, dicha temperatura no se ajustará hasta que la acumulación de la radiación se equilibre.

La radiación solar penetra una atmósfera limpia mediante la radiación de onda corta (rayos ultravioleta); la energía emitida por la tierra y la atmósfera adopta la forma de radiación de onda larga (rayos infrarrojos), ésta es absorbida parcialmente y emitida una vez más a la atmósfera mediante ciertos "gases testigo" o también llamados "gases de invernadero"; puesto que la atmósfera es más fría que la superficie del planeta, la emisión de energía al espacio es reducida. Tanto la atmósfera como la superficie de la tierra se calientan hasta que la energía que sale se equilibra con la que llega; en esto consiste el "efecto invernadero". Si la atmósfera no contuviera gases de invernadero, la temperatura media de la superficie terrestre sería 33° C más fría.

Los principales gases de invernadero son: el vapor de agua (H<sub>2</sub>O), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>), el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y los clorofluorocarburos (CFC-11 y CFC-12). El más importante es el H<sub>2</sub>O con un 1% de concentración en la atmósfera, luego el CO<sub>2</sub> con una concentración del 0.04%, de éste, el 3% es producido por el hombre. Históricamente, las fuentes antropogénicas de los gases de invernadero han estado íntimamente relacionadas con el crecimiento de la población y el desarrollo económico, básicamente con el consumo de combustibles fósiles y el desarrollo de la agricultura.<sup>13</sup>

La absorción de radiación infrarroja y a qué longitud de onda es absorbida por cada elemento o gas invernadero, son sus propiedades radiativas, de éstas van a depender los efectos o capacidades de cada gas para cambiar asimismo las propiedades radiativas de la atmósfera.

### C. Retroalimentación de las nubes.

Como ya se señaló, el sistema climático depende de la radiación solar de onda corta que entra y la de onda larga que sale, este sistema está integrado por cinco componentes: la atmósfera, el océano, la criósfera (hielo y nieve), la biosfera y la geosfera; cada uno de estos componentes responde a los cambios ocurridos en el forzamiento radiativo y en la temperatura de distintas maneras; pueden ser positivas (operan en la temperatura de acuerdo al forzamiento inicial) o negativas (cuando operan en la temperatura en sentido opuesto al forzamiento inicial), dichas respuestas reciben el nombre de "retroalimentación".

Cualquier estudio de sensibilidad nube-clima es arriesgado por la complejidad de la retroalimentación entre nubosidad y radiación.

---

<sup>13</sup> Andrew R. Solow, *¿Hay un problema de calentamiento en la Tierra?*, en: *El Calentamiento de la Tierra*, compilado por Rudiger Dornbusch y James M. Poterba, CONACYT, México 1994, p. 1- 2.

El calentamiento de la tierra ocasiona una mayor evaporación, con lo cual aumenta el  $H_2O$  en la atmósfera y los cambios en las nubes. La retroalimentación de las nubes es en gran magnitud, sumamente compleja y se sabe muy poco acerca de ella. En el clima actual, el forzamiento de invernadero causado por las nubes es de  $31 \text{ W m}^2$ . Esto es contrarrestado por el efecto de albedo de las nubes de  $44 \text{ W m}^2$ . La repercusión global de las nubes es un efecto enfriador neto de  $13 \text{ W m}^2$ . La magnitud relativa de esta influencia depende de la cantidad de nubes, altitud y contenido de agua. La gran sensibilidad climática a la retroalimentación de las nubes alcanza una reducción de aproximadamente  $5.5 \text{ }^\circ\text{C}$  a más o menos  $2 \text{ }^\circ\text{C}$  en la temperatura de la superficie terrestre, en el modelo climático del Departamento Meteorológico Británico.<sup>14</sup>

Las nubes pueden mantener a sus áreas subyacentes relativamente frías durante las horas diurnas, reflejando la luz del sol al espacio, o mantenerlas relativamente calientes de noche interceptando y re-emitiendo la radiación térmica que de otra manera pasaría de la superficie de la tierra, al espacio.

Existen dificultades adicionales en estimar las probables interacciones nube-clima en situaciones de perturbación climática, tales como la incapacidad para establecer si un incremento en la nubosidad por ejemplo, es resultado del aumento en temperaturas y por lo tanto, un aumento en la evaporación provoca un crecimiento en el área cubierta por nubes (como en el caso del incremento de nubes estratiformes) o un crecimiento en el alcance vertical (como sucede con las nubes cumuliformes) con posiblemente, hasta un descenso en el área de extensión. La naturaleza semi transparente de la nube cirrus y la dinámica natural del traslape de capas nubosas hace, aún con estudios simplificados de nube-clima, difícil las interacciones.<sup>15</sup>

## 1. Modelos climáticos.

Los modelos climáticos procuran representar la comprensión que se tiene actualmente de los sistemas del clima mediante un sistema de ecuaciones diferenciales integrales parciales, las cuales deben resolverse numéricamente. La parametrización más importante en cualquier modelo climático es el componente de la radiación, ya que se trata del que transfiere el efecto de los gases de invernadero a la circulación general. La parte más sensible de la parametrización de la radiación es el cálculo de los efectos radiativos de las nubes; la respuesta de este efecto a los cambios en el forzamiento radiativo, se desconoce. Los primeros modelos no aceptaban ninguna retroalimentación de las nubes. Los modelos posteriores sí tomaban en cuenta la proporción en que las nubes respondían a los cambios en la humedad relativa. Sólo los modelos más avanzados toman en cuenta el contenido de agua.<sup>16</sup>

---

<sup>14</sup> Solow, *Op. cit.*, p. 8.

<sup>15</sup> Henderson-Sellers, *Op. cit.*, p. 268.

<sup>16</sup> Solow, *Op. cit.*, p. 9.

Probablemente el proceso de reacción o retroalimentación climática de mayor dificultad para medirse e integrar a un modelo climático es la retroalimentación de la radiación por las nubes. El efecto de las nubes junto con la entrada de la radiación de onda corta, tiende a incrementar, generalmente, el albedo planetario, así, la radiación terrestre emitida tiende a intensificar el "efecto invernadero" (Ohring and Clapp, 1980; Cess *et al.*, 1982).<sup>17</sup>

Las relativamente pocas investigaciones que se han realizado con modelos que incluyen la predicción y por lo tanto, la retroalimentación climática de las nubes, encuentran una gran sensibilidad climática al doble CO<sub>2</sub> atmosférico, que los mismos modelos, sin retroalimentación de nubes. Hansen *et. al.*, (1984) señala que el proceso físico que contribuye a una mayor incertidumbre en sus predicciones de sensibilidad climática en una escala de tiempo de 10 a 100 años, parece ser la retroalimentación de las nubes.<sup>18</sup>

Los modelos climáticos deben tomarse con cuidado dada la dificultad de emplear la gran cantidad de conocimientos actuales, la clave está en que sin un acoplamiento de los flujos de energía océano- atmósfera estos modelos producen estimaciones no realistas, por lo que es necesario introducir términos de corrección de flujo; por lo tanto, estos modelos no se manifiestan como el verdadero sistema climático.

Estos estudios han encontrado una concordancia cualitativa aceptable entre simulaciones y observaciones de modelos a escalas continentales, pero a escalas espaciales y temporales más pequeñas, aparecen los errores sistemáticos.<sup>19</sup>

---

<sup>17</sup> citados por Henderson-Sellers, *Op. cit.*, p. 268.

<sup>18</sup> Henderson-Sellers, *Ibidem*.

<sup>19</sup> Solow, *Op. cit.*, p. 12.

## CAPITULO III

### ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS ELEMENTOS CLIMÁTICOS

En el presente capítulo se analiza la relación entre nubosidad e insolación sobre la base de datos obtenidos en el Servicio Meteorológico Nacional (SMN); a partir de éstos se elaboraron cuadros de concentración de datos, gráficas y mapas. Un factor a considerar es que, el registro de la insolación se inició en el año de 1921 en varias estaciones meteorológicas del país; la continuidad de su registro resultó ser una condición fundamental en la selección de las estaciones a estudiar; para el efecto, fue necesario que la información proporcionara confiabilidad, solidez y consistencia, se buscó fueran representativas y cubrieran la mayor parte del territorio nacional.

#### A. Los datos.

Los datos se obtuvieron del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), la estadística climatológica abarca periodos de larga duración (de treinta años o más). De 1900 a 1940 es irregular por la falta de continuidad en las observaciones y por contarse con una población reducida de instalaciones meteorológicas y climatológicas; sin embargo, de 1941 en adelante son más o menos consistentes.

Un Observatorio Meteorológico es una instalación perteneciente al SMN que cuenta con los instrumentos apropiados para efectuar las observaciones sinópticas de superficie a las 6:00, 12:00 y 18:00 hrs. y para fines climatológicos a las 7:00, 14:00 y 21:00 hrs. del meridiano 90°, mientras que una Estación Climatológica es una instalación que proporciona los datos básicos de la observación realizada a las 8:00 hrs., mediante un resumen climatológico diario.<sup>1</sup>

Es en los Observatorios Meteorológicos donde únicamente se reporta la "Radiación Solar", esto es, el número de horas y décimos de hora de Insolación como un "Elemento conexo de temperatura"; mientras que los "días nublados o cerrados" —cielo cubierto de nubes, totalmente o en más de las dos terceras partes del mismo— se registran en los dos tipos de estaciones dentro del rubro de "Frecuencia de elementos y fenómenos especiales", "Elementos conexos térmicos", dentro de los cuales están reunidos los parámetros de Nubosidad (despejados, medio nublados / cerrados).<sup>2</sup>

En una primera selección de datos, se consultaron las tarjetas de los registros de insolación del SMN, procediéndose a elegir los observatorios que presentaran una mayor consistencia en sus registros; cabe mencionar que

<sup>1</sup> MÉXICO, SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y GANADERÍA, "Normales Climatológicas 1941-1970", Dirección General de Geografía y Meteorología, Servicio Meteorológico Nacional, 1976, p. V

<sup>2</sup> *Ibidem.*, p. XXI

algunos observatorios presentan mediciones desde 1921 como se muestra en la Tabla No. 1, la cual expone dos tipos de periodos en insolación y nubosidad: los considerados en el estudio y los tomados en cuenta para la elaboración de gráficas; se buscó coincidieran temporalmente en los periodos a graficar.

**TABLA No. 1** PERIODOS DE INSOLACIÓN Y NUBOSIDAD CONSIDERADOS EN EL ESTUDIO Y EN LAS GRÁFICAS

No.	ESTACION	I N S O L A C I Ó N				N U B O S I D A D			
		PERIODO DE ESTUDIO	No. AÑOS	PERIODO EN GRÁFICAS	No. AÑOS	PERIODO DE ESTUDIO	No. AÑOS	PERIODO EN GRÁFICAS	No. AÑOS
1	Aguascalientes, Ags.	1942, 47-81, 86-88 y 92	40	1947-81	35	1921-31, 33-39, 41-43, 47-81, 86-88 y 92	60	1947-81	35
2	Campeche, Camp.	1941-56 y 60-94	51	1960-94	35	1921-23, 26-31 y 38-94	66	1960-94	35
3	Ciudad Constitución, B.C.S.	1986-94	9	1986-94	9	1979-81, 83 y 86-95	14	1986-95	10
4	Cd. Obregón, Son.	1961-91	31	1961-91	31	1960-95	36	1960-95	36
5	Ciudad Victoria, Tamps.	1976-91	16	1976-91	16	1921-24 y 75-95	25	1976-91	16
6	Coatzacoalcos, Ver.	1977-90	14	1977-90	14	1944-44, 51-60, 62-65 y 70-90	38	1977-90	14
7	Colima, Col.	1941-94	54	1958-94	37	1921-43 y 46-96	74	1958-94	37
8	Comitán, Chis.	1941-93	53	1941-93	53	1925-93	69	1941-93	53
9	Culiacán, Sin.	1941-78 y 85-90	43	1941-78	38	1921-27, 29-78 y 82-95	71	1941-78	38
10	Durango, Dgo.	1921, 23-31, 45-47 y 54-94	54	1954-94	41	1921, 23-31, 33-47 y 54-94	66	1954-94	41
11	Guadalajara, Jal.	1941-81 y 86-94	50	1948-81	34	1921-81 y 86-95	71	1948-81	34
12	Guanajuato, Gto.	1923-62 y 70-94	65	1970-94	25	1921-62 y 70-95	68	1970-95	26
13	Jalapa, Ver.	1941-94	54	1941-94	54	1921-95	75	1941-95	55
14	La Paz, B.C.S.	1975-94	20	1975-94	20	1921-26, 28, 31, 34-45, 50, 54-84 y 86-95	62	1975-95	21
15	Lagos de Moreno, Jal.	1961-94	34	1961-94	34	1946-95	50	1961-95	35
16	León, Gto.	1921-75 y 80-81	57	1921-75	55	1961-76 y 80-82	19	1961-76	16
17	Loreto, B.C.S.	1980-94	15	1980-94	15	1980-95	16	1980-95	16
18	Manzanillo, Col.	1968-94	27	1968-94	27	1921-23 y 25-95	94	1968-95	28
19	Mazatlán, Sin.	1941-61 y 69-91	44	1941-61 y 69-91	44	1921-66 y 68-95	74	1941-95	55
20	Mérida, Yuc.	1941-60 y 65-91	47	1941-60 y 65-91	47	1921-95	75	1941-91	51
21	Monclova, Coah.	1977-94	18	1977-94	18	1950-96	47	1977-96	20
22	Monterrey, N.L.	1941-47 y 51-84	41	1941-47 y 51-84	41	1921-36, 38, 41-47, 51-84 y 92-95	62	1941-47 y 51-84	41
23	Morelia, Mich.	1941-88 y 92	49	1941-76	36	1921-88 y 92-95	72	1941-76	36
24	Nuevo Casas Grandes, Chih.	1977-94	18	1977-94	18	1974-94	21	1977-94	18
25	Pachuca, Hgo.	1941-94	54	1960-94	35	1921-26 y 35-95	67	1960-94	35
26	Piedras Negras, Coah.	1946-47, 59-64 y 76-94	27	1976-94	19	1943-95	53	1976-95	20
27	Progreso, Yuc.	1941-91	51	1941-86	46	1921-95	75	1941-86	46
28	Puebla, Pue.	1941-91	51	1941-91	51	1921-94	72	1941-91	51

No.	ESTACION	INSOLACIÓN				NUBOSIDAD			
		PERIODO DE ESTUDIO	No. AÑOS	PERIODO EN GRÁFICAS	No. AÑOS	PERIODO DE ESTUDIO	No. AÑOS	PERIODO EN GRÁFICAS	No. AÑOS
29	Río Verde, S.L.P.	1941-48 y 52-91	48	1962-91	30	1921-95	75	1962-92	31
30	Salttillo, Coah.	1941-94	54	1941-94	54	1927-31 y 41-86	51	1941-86	46
31	Santa Rosalía, B.C.S.	1981-91	11	1981-91	11	1981-88	8	1981-88	8
32	Soto la Marina, Tamps.	1975-91	17	1975-91	17	1941-49, 51-63, 66-72 y 75-95	50	1975-93	19
33	Tacubaya, D.F.	1921-94	74	1921-94	74	1921-2000	80	1921-95	75
				1921-67	47			1921-67	47
				1968-94	27			1968-95	28
34	Tampico, Tamps.	1971-92	22	1971-92	22	1921-85 y 87-95	74	1971-92	22
35	Tapachula, Chis.	1941-94	54	1941-94	54	1922-96	75	1941-95	55
36	Temosachic, Chih.	1977-93	17	1977-93	17	1941-43, 50-56 y 77-95	29	1977-95	19
37	Tepihuanes, Dgo.	1981-93	13	1982-93	12	1980-93	14	1980-93	14
38	Tepic, Nay.	1968-92	25	1968-92	25	1930-95	66	1970-93	24
39	Tlaxcala, Tlax.	1941-81 y 85-91	48	1941-76	36	1925-31, 34-81 y 85-96	67	1941-76	36
40	Toluca, Edo. de Mex.	1941-42 y 47-94	51	1947-94	48	1921-31 y 47-95	60	1947-95	49
41	Torreón, Coah.	1976-89	14	1976-89	14	1950-65, 67-70 y 73-95	43	1976-89	14
42	Tulancingo, Hgo.	1941-82	42	1941-82	42	1921-82	62	1941-82	42
43	Tuxpan, Ver.	1971-91	21	1971-91	21	1925-30, 37-40 y 70-95	36	1970-95	26
44	Veracruz, Ver.	1941-44 y 50-88	43	1950-88	39	1921-88	68	1950-88	39
45	Zacatecas, Zac.	1921-76 y 86-88	59	1921-76	56	1921-76 y 81-94	70	1921-76	56

## INSOLACIÓN

Estaciones con periodos igual o menores a 9 años	1
Estaciones con periodos de entre 10 a 19 años	10
Estaciones con periodos de entre 20 a 29 años	6
Estaciones con periodos de entre 30 a 39 años	2
Estaciones con periodos de entre 40 a 49 años	10
Estaciones con periodos de entre 50 a 59 años	14
Estaciones con periodos igual o mayores a 60 años	2
Total:	45

## NUBOSIDAD

Estaciones con periodos igual o menores a 9 años	1
Estaciones con periodos de entre 10 a 19 años	4
Estaciones con periodos de entre 20 a 29 años	3
Estaciones con periodos de entre 30 a 39 años	3
Estaciones con periodos de entre 40 a 49 años	2
Estaciones con periodos de entre 50 a 59 años	4
Estaciones con periodos de entre 60 a 69 años	13
Estaciones con periodos de entre 70 a 79 años	13
Estaciones con periodos igual o mayores a 80 años	2
Total:	45

Una vez seleccionados los observatorios meteorológicos, los datos de insolación fueron registrados para su procesamiento en hoja electrónica (excel), posteriormente, se continuó con la captura de los datos de nubosidad de las mismas estaciones; en pocos casos (León y Saltillo) no existe coincidencia en los periodos debido a la falta de datos de nubosidad durante el periodo elegido.

Algunas estaciones muestran irregularidades (meses faltantes, largos periodos sin registrar o cortos periodos anotados); de tal forma que aún contando con periodos largos de tiempo se seleccionaron aquellos en los que existiera continuidad y coincidieran igualmente con los periodos de observación de la nubosidad. En algunas estaciones, la carencia de datos mensuales fue calculada promediando las cantidades del mismo mes de los años contiguos.

En el caso de Ciudad Constitución, BCS, se observa la menor cantidad de datos de insolación (9 años), sin embargo, fue incluida por mostrar consistencia y simetría en el periodo de años de insolación y nubosidad.

Las 45 estaciones seleccionadas dejaban desprovista de datos a una parte importante de nuestro territorio, sobre todo en las regiones noroccidental, sur y sureste, para cubrir estas áreas, se incluyeron datos obtenidos de las "Normales Climatológicas 1951-1980"; otros fueron proporcionados por la Dra. María Engracia Hernández Cerda.<sup>3</sup> El total de estas estaciones suman 21, con lo que el número total de las mismas ascendió a 66. Ver Mapa No. 1 (al final de este capítulo).

La Tabla No. 2; muestra datos generales: si se trata de estación u observatorio, sus coordenadas geográficas, los promedios anuales de los periodos considerados en el trabajo, desviación estándar, mediana y el coeficiente de correlación entre insolación y nubosidad, éste se expresa por medio de un índice positivo o negativo cercano al + o - 1, reflejando una correlación directa, cuando es positivo, o inversa cuando el número es negativo; en este caso, la relación buscada es precisamente esta última, siendo 31 estaciones las que manifiestan este comportamiento.

---

<sup>3</sup> Hernández Cerda, Ma. Engracia, *Datos de Insolación de Oaxaca*, México, Instituto de Geografía, UNAM, 2003. Comunicación personal.

**DATOS GENERALES Y ESTADÍSTICOS DE LOS OBSERVATORIOS CON REGISTROS DE  
INSOLACIÓN Y NUBOSIDAD**

**TABLA No. 2**

No.	ESTACION	TIPO	LAT NORTE	LONG. OESTE	M.S. N.M.	I N S O L A C I Ó N			N U B O S I D A D			COEF. CORR INS/NUB
						PROM. ANUAL	DESV. STAND.	MEDIANA	PROM. ANUAL	DESV. STAND.	MEDIANA	
1	Aguascalientes, Ags.	Obs	21° 53'	102° 8'	1,979	2846.0	149.4	2869.8	71.8	34.8	71.4	0.4470
2	Campeche, Camp.	Obs	19° 51'	90° 33'	8	2532.3	370.8	2509.6	75.2	68.6	31.5	-0.1253
3	Cd. Constitución, B.C.S.	Est	25° 3'	111° 41'	45	3292.8	141.0	3258.7	59.1	18.0	59.6	-0.6184
4	Cd. Obregón, Son.	Obs	27° 29'	109° 57'	40	3150.4	207.8	3158.7	61.8	23.5	60.0	0.1144
5	Ciudad Victoria, Tamps.	Est	23° 44'	99° 8'	321	2397.8	198.7	2431.8	100.0	29.9	110.0	-0.2100
6	Coatzacoalcos, Ver.	Obs	18° 19'	94° 25'	14	2205.8	136.8	2199.7	152.8	43.1	158.5	-0.6666
7	Colima, Col.	Obs	19° 15'	103° 43'	494	2301.4	434.5	2392.6	117.6	41.9	112.7	0.4086
8	Comitán, Chis.	Obs	16° 15'	92° 8'	1,530	2376.9	334.8	2408.1	155.5	45.5	149.5	0.3288
9	Culiacán, Sin.	Obs	24° 48'	107° 24'	62	2681.1	339.9	2612.3	97.1	27.9	91.0	0.4066
10	Durango, Dgo.	Obs	24° 1'	104° 40'	1,889	2776.2	235.0	2711.8	77.8	30.3	71.6	-0.5209
11	Guadalajara, Jal.	Obs	20° 41'	103° 20'	1,589	2660.8	190.2	2702.1	112.5	31.5	108.6	-0.5552
12	Guanajuato, Gto.	Obs	21° 1'	101° 15'	2,037	2834.9	170.1	2817.6	118.1	33.3	115.5	-0.4073
13	Jalapa, Ver.	Obs	19° 32'	96° 55'	1,361	1728.8	174.3	1718.3	178.1	58.2	161.0	0.2529
14	La Paz, B.C.S.	Obs	24° 9'	110° 20'	19	3097.6	165.2	3137.6	55.0	29.2	54.7	-0.2324
15	Lagos de Moreno, Jal.	Obs	21° 22'	101° 55'	1,880	2918.2	110.5	2920.0	97.7	28.3	94.5	-0.3104
16	León, Gto.	Obs	21° 7'	101° 41'	1,809	2359.4	355.1	2341.0	93.1	46.9	84.0	0.3290
17	Loreto, B.C.S.	Est	26° 1'	111° 21'	12	3490.3	142.7	3501.9	59.9	18.2	59.5	-0.2566
18	Manzanillo, Col.	Obs	19° 3'	104° 19'	3	2916.4	103.6	2915.9	106.9	37.5	104.0	-0.5511
19	Mazatlán, Sin.	Obs	23° 12'	106° 25'	3	2759.0	192.2	2786.0	94.9	28.9	96.7	0.2059
20	Mérida, Yuc.	Obs	20° 59'	89° 39'	9	2543.0	330.5	2585.0	86.8	31.7	80.0	-0.2485
21	Monclova, Coah.	Obs	26° 55'	101° 25'	586	2573.5	110.7	2558.1	81.8	35.8	71.3	-0.3933
22	Monterrey, N.L.	Obs	25° 40'	100° 18'	538	1793.2	267.0	1764.0	131.7	45.5	129.0	-0.0416
23	Morelia, Mich.	Obs	19° 42'	101° 11'	1,941	2209.6	519.2	2413.3	126.4	41.5	115.5	-0.6643
24	Nvo. Casas Grandes, Chih.	Est	30° 22'	107° 58'	1,473	3186.7	110.1	3197.5	71.9	15.3	78.0	-0.5429
25	Pachuca, Hgo.	Obs	20° 9'	98° 43'	2,435	2746.4	207.2	2776.1	117.8	40.1	115.0	-0.7536
26	Piedras Negras, Coah.	Obs	28° 42'	100° 31'	320	2386.9	147.7	2368.5	133.9	32.4	130.0	-0.6279
27	Progreso, Yuc.	Obs	21° 17'	89° 40'	2	2486.0	121.1	2484.2	94.9	40.2	87.0	0.0865
28	Puebla, Pue.	Obs	19° 2'	98° 11'	2,209	2769.5	173.2	2721.3	89.8	39.1	85.0	0.5296
29	Río Verde, S.L.P.	Obs	21° 56'	100° 00'	991	2222.9	231.1	2268.6	141.1	39.0	134.5	-0.0856
30	Saltillo, Coah.	Obs	25° 25'	101° 00'	1,589	2318.0	295.8	2293.1	81.6	29.6	82.0	0.2149
31	Santa Rosalía, B.C.S.	Est	27° 19'	112° 21'	26	3100.2	292.2	3245.0	54.9	12.7	58.5	-0.5899
32	Soto la Marina, Tamps.	Obs	23° 46'	98° 13'	25	2397.6	170.9	2442.3	99.7	35.0	96.0	-0.2978
33	Tacubaya, D.F.	Obs	19° 24'	99° 12'	2,309	2249.1	391.2	2258.4	132.9	28.2	129.5	-0.0247
34	Tampico, Tamps.	Obs	22° 14'	97° 51'	12	2139.1	134.5	2150.5	143.7	42.0	145.5	-0.5752
35	Tapachula, Chis.	Obs	14° 55'	92° 15'	137	2062.1	257.0	2054.0	110.4	49.5	116.5	-0.1735
36	Temosacich, Chih.	Obs	28° 58'	107° 49'	1,877	2862.0	111.6	2847.0	102.4	26.9	106.0	-0.5211
37	Tepehuanes, Dgo.	Est	25° 22'	105° 42'	1,788	3041.0	83.8	3030.3	130.6	149.8	61.4	0.1663
38	Tepic, Nay.	Obs	21° 31'	104° 53'	915	2704.2	152.0	2660.8	116.0	36.8	123.0	-0.0522
39	Tlaxcala, Tlax.	Obs	19° 19'	98° 14'	2,552	2126.3	250.1	2095.2	91.0	32.7	89.8	-0.6134
40	Toluca, Edo. de Mex.	Obs	19° 17'	99° 39'	2,675	2246.6	297.0	2201.0	135.2	36.4	134.5	0.5924

No.	ESTACION	TIPO	LAT NORTE	LONG. OESTE	M.S. N.M.	INSOLACIÓN			NUBOSIDAD			COEF. CORR INS/NUB
						PROM. ANUAL	DES. STAND.	MEDIANA	PROM. ANUAL	DES. STAND.	MEDIANA	
41	Torreón, Coah.	Obs	25° 33'	103° 26'	1,137	2734.8	192.6	2721.2	86.9	36.8	92.0	0.2274
42	Tulancingo, Hgo.	Obs	20° 5'	98° 22'	2,181	2424.0	151.6	2429.6	110.0	22.7	109.5	-0.1595
43	Tuxpan, Ver.	Obs	20° 57'	97° 24'	14	1919.4	161.1	1908.8	168.7	57.4	181.0	-0.2464
44	Veracruz, Ver.	Obs	19° 12'	96° 8'	16	2197.7	148.0	2171.0	156.7	38.9	150.5	-0.1114
45	Zacatecas, Zac.	Est	22° 47'	102° 34'	2,612	2664.4	163.9	2644.1	95.4	44.2	81.5	-0.6030
<b>PROMEDIOS</b>						<b>2565.1</b>	<b>213.9</b>		<b>106.2</b>	<b>38.1</b>		<b>-0.1660</b>

Fuente: con datos del Servicio Meteorológico Nacional entre 1921 y 1996.

#### SEGUNDO GRUPO DE OBSERVATORIOS METEOROLÓGICOS, DATOS DE 1951 A 1980

1	Acapulco, Gro.	Obs	16° 50'	99° 56'	28	2805.3			98.99			
2	Arriaga, Chis.	Obs	16° 14'	93° 54'	48	2678.7			126.79			
3	Chetumal, Q. Roo	Obs	18° 30'	88° 18'	9	2230.9			42.65			
4	Chihuahua, Chih.	Obs	28° 39'	106° 4'	1423	3080.9			70.63			
5	Chilpancingo, Gro.	Obs	17° 33'	99° 30'	1360	2230.9			42.65			
6	Colotlán, Jal.	Obs	22° 7'	103° 16'	1673	2987.1			100.42			
7	Córdoba, Ver.	Obs	18° 54'	96° 56'	924	1057.3			186.20			
8	Puerto Cortés, BCS	Obs	24° 26'	111° 52'	5				21.49			
9	Cozumel, Q. Roo	Obs	20° 31'	86° 57'	3	2510.8			136.13			
10	Ensenada, BC	Obs	31° 49'	116° 37'	13				62.14			
11	Guaymas, Son.	Obs	27° 55'	110° 54'	44	2898.3			50.04			
12	Hermosillo, Son.	Obs	29° 4'	110° 58'	237	2862.8			32.89			
13	Cd. Lerdo, Dgo.	Obs	25° 32'	103° 31'	1135				42.83			
14	Oaxaca, Oax.	Obs	17° 4'	96° 43'	1550				95.41			
15	Orizaba, Ver.	Obs	18° 51'	97° 6'	1259	1537.9			228.83			
16	Querétaro, Qro.	Obs	20° 36'	100° 23'	1813	2802.7			85.46			
17	Río Verde, SLP	Obs	21° 56'	99° 59'	987	2202.70			126.40			
18	Salina Cruz, Oax.	Obs	16° 10'	95° 11'	6	2732.3			66.94			
19	S. Cristóbal de las Casas, Chis.	Obs	16° 45'	92° 38'	2276	2088.0						
20	Tuxtla Gutiérrez, Chis.	Obs	16° 45'	93° 07'	536	1883.1			105.57			
21	Valladolid, Yuc.	Obs	20° 41'	88° 13'	27	2591.5			63.29			

Fuente: Normales Climatológicas 1951 - 1980

1	Oaxaca, Oax	Obs	17° 4'	96° 43'	1550	2146.3						
2	Acapulco, Gro.	Obs	16° 50'	99° 56'	28	2776.7						
3	Puebla, Pue.	Obs	19° 2'	98° 11'	2,209	2808.4						
4	Puerto Angel, Oax		15° 40'	96° 30'	43	2929.6						
5	Coatzacoalcos, Ver.	Obs	18° 19'	94° 25'	14	2217.0						
6	Tuxtla Gutiérrez, Chis.	Obs	16° 45'	93° 7'	536	2448.2						
7	S. Cristóbal de las Casas, Chis.	Obs	16° 45'	92° 38'	2276	2046.1						
8	Salina Cruz, Oax	Obs	16° 10'	95° 11'	6	2792.5						
9	Huajapan de León, Oax.		17° 48'	97° 47'	1572	3100.0						
10	Chilpancingo, Gro.	Obs	17° 33'	99° 30'	1360	2264.7						

Fuente: Dra. Ma. Engracia Hernández Cerda.

Del segundo bloque de observatorios, se contó con los promedios mensuales de las tres variables (insolación, días con nublados y temperaturas máximas), basándose en estos datos se elaboraron gráficas que muestran el comportamiento promedio mensual a lo largo del año de estas tres variables; estas gráficas ayudaron a determinar cada una de las regiones y subregiones de insolación y se insertan en el comentario correspondiente a cada región.

En el análisis temporal de larga duración de los datos no se consideraron las temperaturas máximas, éstas fueron analizadas en su distribución espacial mediante los mapas tomados del Atlas Nacional de México (ANM), Temperaturas Máximas promedio anual, enero y mayo, copiados en los Mapas No. 8, 9 y 10 (ver al final de este capítulo). De este modo, los mapas de temperaturas máximas sirvieron para referenciar la relación entre insolación y temperaturas máximas, admitiendo que estas últimas son una consecuencia natural de las horas de iluminación y de radiación solar.

A partir de los datos de insolación y nubosidad se obtuvieron gráficas que expresan su evolución temporal, este análisis fue posible realizarlo únicamente en las primeras 45 estaciones. A estas gráficas se agregó la línea de tendencia aritmética, la fórmula adjunta a cada una de ellas expresa el grado de crecimiento o decrecimiento de la serie de datos. Asimismo, a la insolación de este grupo de estaciones se les aplicó la prueba de Mann Kendall o de significancia, la cual exhibe el grado de confiabilidad y congruencia de los datos a través de un índice, los resultados se presentan en la Tabla No. 3. El tema se retoma en el subcapítulo C. Análisis y Discusión, mientras que las gráficas se incorporan en el Anexo, al final de este trabajo.

Por último, las tablas No. 4, 5 y 6 (insertadas al final de este capítulo) presentan los promedios mensuales y anuales de las series de datos de insolación, nubosidad y temperaturas máximas respectivamente, cabe mencionar que los datos de temperaturas fueron bajados de Internet y corresponden a ciudades capitales de los estados de la República Mexicana durante los treinta años del periodo de 1951 a 1980. A estas tablas se agregaron los datos del segundo grupo de estaciones.

El análisis espacial se realizó por medio de la confrontación geográfica de las isolíneas implicadas; estas grandes envolventes ayudaron a delimitar las regiones conforme a su distribución, apoyándose en las gráficas obtenidas del segundo grupo de estaciones.

## B. La Regionalización de la Insolación en México.

La regionalización propuesta se fundamenta en la distribución espacial de la insolación, a partir de ella se correlaciona con las nubes y con las temperaturas máximas en forma espacial así como por medio de gráficas. Elementos indispensables para el efecto fueron los mapas, tablas y gráficas, resultado de

promedios mensuales y anuales de una gran cantidad de años y a los que es necesario recurrir pertinentemente.

En el trazo de las isolíneas, finalmente 66 estaciones contribuyeron para cubrir la mayor cantidad posible del territorio nacional, cabe mencionar que el trazado de isohelias e isonefas se realizó por interpolación de los datos teniendo especial cuidado en seguir las curvas de nivel.

La distribución de los 66 observatorios meteorológicos abarca gran parte de la República Mexicana, sin embargo, aún contando con el segundo grupo de estaciones, la región del noroeste de Sonora y Baja California únicamente cuenta con una estación en Ensenada, mientras que Tabasco no cuenta con observatorios que registren la insolación. Ver Mapa No. 1

Los meses indicados como de menor insolación (enero) y de mayor insolación (mayo), fueron considerados para homologar el criterio de meses de mayor y menor insolación en la República Mexicana de acuerdo al Atlas Nacional de México. Las Tablas No. 4, 5 y 6 marcan los meses de máximos y mínimos, de los tres elementos, evidentemente, varían por la latitud.

La regionalización parte de los datos resultantes en el presente trabajo, la conformación de los mapas No. 2 "Promedio de Insolación Anual", el No. 3 "Insolación promedio del mes de enero", el No. 4 "Insolación promedio del mes de mayo", el No. 5 "Días con nublados, promedio anual", el No. 6 "Días con nublados, promedio del mes de enero" y el No. 7 "Días con nublados, promedio del mes de mayo", fueron trazados basándome en los promedios obtenidos mensual y anualmente. (ver al final del presente capítulo).

Un apoyo importante, fue el Atlas Nacional de México del Instituto de Geografía, UNAM, 1990, del que fueron considerados los mapas No. 8 "Temperaturas máximas, promedio anual", No. 9 "Temperaturas máximas, promedio enero" y No. 10, "Temperaturas máximas, promedio mayo". La información proporcionada sirvió para complementar el análisis comparativo espacial.

Ayllón menciona que para conocer la distribución de la insolación en la República Mexicana debe tenerse en cuenta el número de días despejados y nublados que se registran anualmente en todo el territorio<sup>4</sup>; en este trabajo el factor base para la regionalización es la insolación, mientras que la nubosidad es la variable relacionada, suponiendo esa correspondencia inversa.

El criterio de regionalización se fundamentó en la distribución anual de la Insolación, el comportamiento homogéneo de las gráficas anuales que incluyen las tres variables y el relieve. De esta forma me fue posible identificar ocho grandes regiones: Noroeste; Centro Norte; Noreste; Centro; Centro Oriente; Sur; Sureste y

<sup>4</sup> Teresa Ayllón, *Elementos de Meteorología y Climatología*, Trillas, México, 1996, p. 37.

Península de Yucatán, cada una posee un área uniforme en valores, lo cual, a partir de un criterio espacial, las convierte en zonas tendientes a ser agrupadas en unidades territoriales.

### 1. Región Noroeste

Esta región comprende los estados de Baja California, Baja California Sur, Sonora, Chihuahua (excepto una pequeña porción oriental), norte de Sinaloa y parte centro y noroccidental de Durango. Ver Mapa No. 11.

Las regiones de mayor insolación se encuentran hacia el norte y noroeste de la República, registrándose las más altas en la parte sur de la península de Baja California con 3400 horas anuales, es decir, un 76% de la posible a esa latitud. Hacia el extremo noroccidental (Ensenada, B.C.), se aprecia un decrecimiento. A excepción de una región central de los estados de Sonora y Chihuahua con registros inferiores, pero muy cercanas a las 3000 horas anuales.

Mientras que los estados de Sonora, Chihuahua, Sinaloa, gran parte de Durango y el occidente del estado de Coahuila reciben entre 2800 y 3200 horas anuales de insolación, esto es, entre el 63 y el 72% de la posible. Esto la convierte en la región más homogénea y potencialmente rica para la explotación de este recurso. Ver Mapa No. 2.

Rafael Almanza y Serafín López (1975) consideran, en el mapa correspondiente al promedio anual de insolación, que el Norte de Sonora y Chihuahua son las zonas con valores más altos, y existen otras 2 regiones bastante definidas con más de  $450 \text{ ly/ día} = \text{cal/ cm}^2/\text{ día}$  en el año: Centro Norte y Oaxaca.

En cuanto a la nubosidad observada en esta región, el mapa resultante "Días con nublados, promedio anual", (Mapa No.5), muestra un incremento en la nubosidad alrededor de Tepehuanes, Dgo, con 131 días anuales (Tabla No. 3, Mapa No. 5), comprensiblemente, la mayor nubosidad se registra en las partes altas de la Sierra Madre Occidental, en donde suben y chocan las corrientes de los vientos húmedos del Pacífico nororiental o Monzón Mexicano que propicia aire húmedo del Golfo de California y favorece la formación de nubes de tipo convectivo, así como los frentes fríos del invierno.

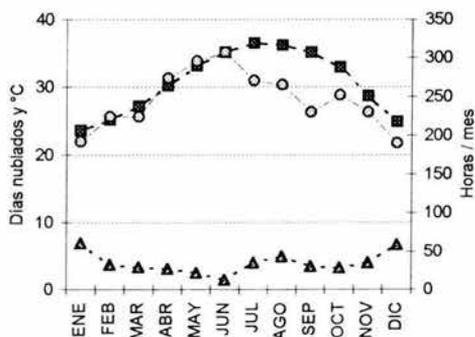
Las temperaturas máximas promedio anual (Mapa No. 8), fluctúan entre los  $30^{\circ}\text{C}$  en la mayor parte de la Península de Baja California, igualmente en las zonas costeras de Sonora y Sinaloa, así como al norte de los estados de Chihuahua y Coahuila; mientras que descienden hacia las partes altas de la Sierra Madre Occidental en Chihuahua y Durango y en la porción costera noroccidental de la Península de Baja California hacia Ensenada, con  $22^{\circ}\text{C}$ . En el mes de enero (Mapa No.9), estas temperaturas cambian. Hacia las partes costeras descienden a

26, 22 y 18°C de sur a norte de esta región, mientras que en las partes altas de la zona norte de la Sierra de California descienden a 18°C (Mapa No.9). En mayo (Mapa No.10), la costa occidental de la Península tiene temperaturas de 22°C en Ensenada y a 26°C en Puerto Cortés, temperatura que asciende hacia el oriente a 30°C y en los extremos de la Península a 34°C, mientras que en la zona costera de Sonora y Sinaloa son de 34°C y en las partes altas de estos estados a 38°C. (Mapa No.10).

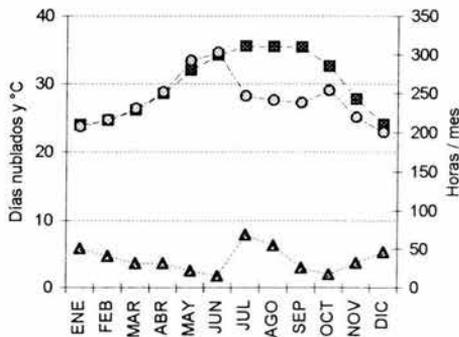
Los siguientes gráficos pertenecen al segundo bloque de datos obtenidos de las Normales Climatológicas de 1951-1980. La simbología para éstas y las subsecuentes es como se muestra a continuación; la escala de las temperaturas máximas junto con los días con nublados se lee en el eje izquierdo de la gráfica. La lectura de la insolación se realiza en el eje derecho.

INSOLACIÓN                    -- ○ --  
 NUBOSIDAD                    -- △ --  
 TEMPERATURAS MAXIMAS    -- ■ --

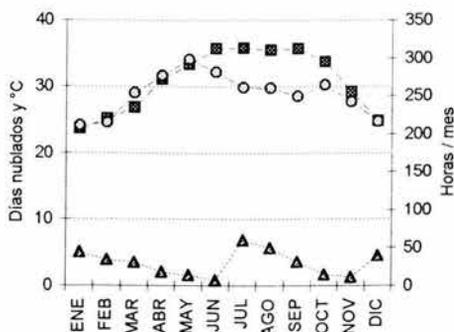
La Paz, B.C.S.



Guaymas, Son.



### Ciudad Obregón, Son.

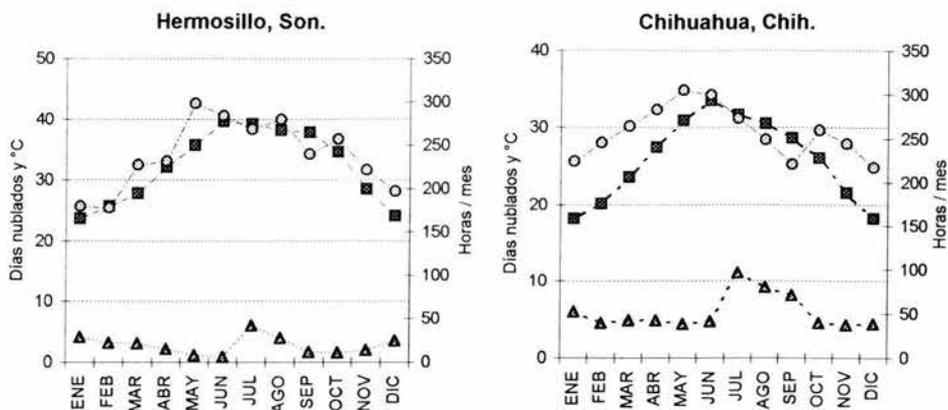


Basándome en el comportamiento de las gráficas, en esta región es posible reconocer dos áreas diferentes, en las estaciones cercanas al mar se observa una baja en la insolación durante los meses de verano (Julio, Agosto y Septiembre), paradójicamente, las temperaturas máximas alcanzan sus máximos, en contrapartida, la nubosidad aumenta. Esto puede deberse al aire húmedo que sopla del Pacífico nororiental hacia el Golfo de California conocido como Monzón Mexicano o de Norte América, el cual es un fenómeno recurrente, propicia la formación de nubes convectivas y su precipitación.

Otra explicación a la baja en la insolación y sus correspondientes temperaturas máximas de estos meses, puede ser que los días no considerados en el presente estudio: "días medio nublados" (cuando la cantidad de nubes que se observa cubre de una a dos terceras partes de la bóveda celeste), incrementan su cantidad debido a las lluviosas tardes veraniegas, incidiendo en el número de horas de insolación, hecho que no llega a atenuar el incremento de la temperatura, al contrario, en esos meses es cuando se registran las más altas, pues a mayor vapor de agua, mayor temperatura.<sup>5</sup>

La otra área corresponde a Hermosillo y Chihuahua, donde el comportamiento entre insolación y temperaturas máximas es más uniforme; la mayor nubosidad se aprecia en el mes de julio no correspondiendo a la insolación más baja en el mes de septiembre, seguramente por el fenómeno arriba mencionado, el registro de la nubosidad.

<sup>5</sup> Jáuregui Ostos, Ernesto, *El Monzón Mexicano*, Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM, 2003, comunicación personal.



La siguiente tabla muestra los resultados de las gráficas de insolación y nubosidad elaboradas a partir de los datos anuales del periodo de años que se menciona; las gráficas se enlistan en el Anexo.

Los números en la columna de tendencia expresan el resultado de la ecuación aplicada a la línea de tendencia "y" de las gráficas correspondientes, ésta revela el grado de crecimiento o decrecimiento (positivo o negativo) en la serie de datos graficados. Asimismo, a los datos de insolación se les aplicó la prueba de significancia de Mann Kendall que expresa el grado de confiabilidad de una serie de datos y que se muestra en la última columna.

En esta región, tanto la insolación como la nubosidad presentan números positivos en la mayor parte de las estaciones, lo que indica una tendencia al crecimiento en los dos elementos, aunque también tenemos números negativos: La estación de Tepehuanes, es, junto con Piedras Negras (Región Noreste), los únicos casos donde la relación en ambos parámetros es directa y negativa, es decir, de decrecimiento.

GRAF No.	ESTACION	PERIODO EN GRÁFICAS	No. DE AÑOS	TENDENCIA DE LA		NIVEL (%) DE SIGNIFICANCIA (Insolación)
				NUBOSIDAD DIAS/AÑO	INSOLACIÓN HRS/AÑO	
3	Cd. Constitución, BCS	1986-94	9	3.24	-36.19	75.00
4	Cd. Obregón, Son.	1961-91	31	1.49	17.03	99.90
14	La Paz, B.C.S.	1975-94	20	0.62	13.19	95.00
17	Loreto, B.C.S.	1980-94	15	2.84	2.35	< 75%
24	Nvo. Casas Grandes, Chih.	1977-94	18	0.81	0.43	< 75%
31	Santa Rosalía, B.C.S.	1981-91	11	2.51	-56.22	75.00
36	Temosachic, Chih.	1977-93	17	-2.43	0.73	< 75%
37	Tepehuanes, Dgo.	1982-93	12	-10.92	-9.61	< 75%

## 2. Región Centro Norte

Esta región abarca la parte oriental del estado de Chihuahua, parte occidental del estado de Coahuila, porción sur y oriental del estado de Durango, centro y sur de Zacatecas, centro y sur de Sinaloa, todo Nayarit, Aguascalientes, norte de Jalisco, centro de Guanajuato, centro y sur de Querétaro y centro y sur de Hidalgo.

Los valores anuales de insolación fluctúan entre las 2600 y las 2800 horas; los valores de nubosidad van de los 78 días nublados anuales en Durango a los 118 en Guanajuato y Pachuca; circundando Ciudad Lerdo, Durango, la nubosidad baja a 43 días anuales, siendo éste el valor más bajo de la región.

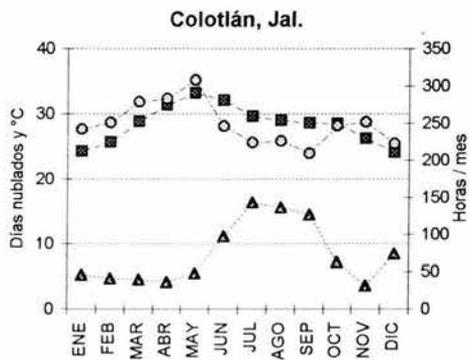
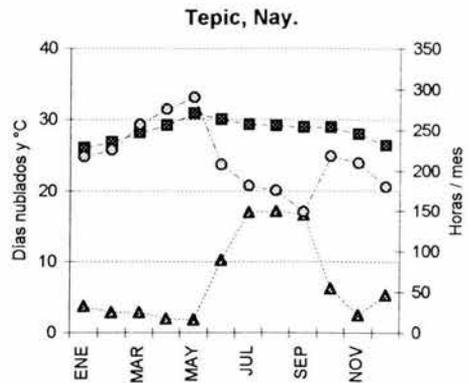
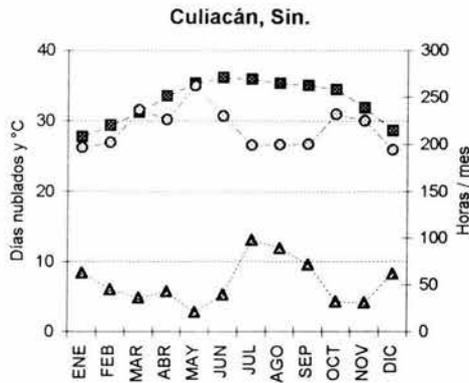
Las isotermas de las temperaturas máximas marcan los 26° y los 30°C, unas en las zonas altas y las segundas en la frontera norte, la confluencia de Chihuahua y Coahuila, la parte central de San Luis Potosí y la ciudad de Tepic.

En esta región se identificó una subregión delimitada por la isohelia de los 2800 que contiene valores más altos a los 2800; ésta va de Colotlán, Jalisco a Querétaro, Querétaro, englobando la parte centro del estado de Guanajuato.

En esta subregión, las ciudades de Aguascalientes y Lagos de Moreno poseen una altitud superior a los 1800 m.s.n.m., Guanajuato posee 2037 m., mientras que Pachuca tiene 2435 metros de altitud, superior incluso, a la registrada en la estación de Tacubaya, México, a 2309 m.s.n.m.. La probable explicación a la cantidad de horas Sol que recibe esta área, es su continentalidad, altitud y relieve circundante, factores geográficos que la aíslan y protegen de los sistemas climáticos que generalmente llevan nubosidad a iguales latitudes. La isohelia de las 2800 horas anuales, significa un 63% de insolación posible. Las temperaturas máximas anuales promedio en esta región varían en un orden de 26° a 30°C.

Las gráficas anuales ilustran dos comportamientos: el de las estaciones cercanas al mar (subregión marítima) y el de las ciudades centrales (subregión continental). Culiacán y Tepic refieren un decrecimiento en la insolación a la par que un crecimiento en la nubosidad durante los meses veraniegos de julio a septiembre, mientras que las temperaturas máximas mantienen una línea menos oscilante, alcanzando según su latitud, las temperaturas más altas en mayo (abajo del trópico de cáncer) o en junio, caso de Culiacán y Durango. Se incluye a Colotlán por la gran similitud existente con estas dos estaciones, aunque posea una mayor altitud (1673 m.s.n.m.).

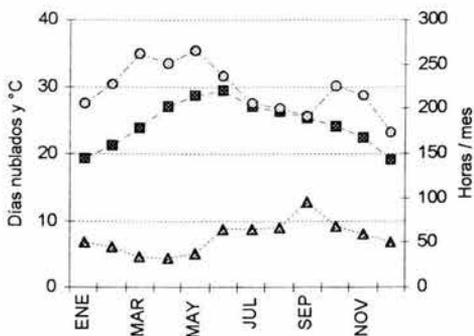
REGIÓN CENTRO NORTE: Subregión Marítima



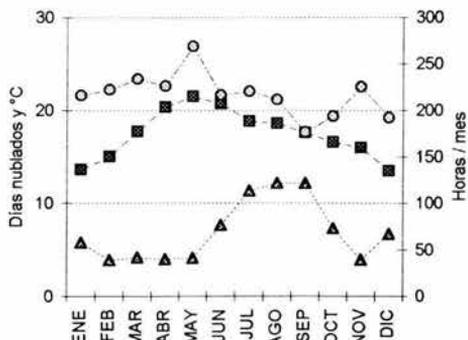
Las estaciones ubicadas hacia el interior del país mantienen ciertas similitudes en el comportamiento de las tres variables; esto es, un decrecimiento de la insolación durante los meses veraniegos, a lo que corresponde un aumento de nubosidad; las temperaturas máximas alcanzan su máximo en el mes de mayo (excepción hecha de Pachuca) para luego descender lentamente durante el verano debido en parte a los sistemas nubosos.

REGIÓN CENTRO NORTE: Subregión Continental

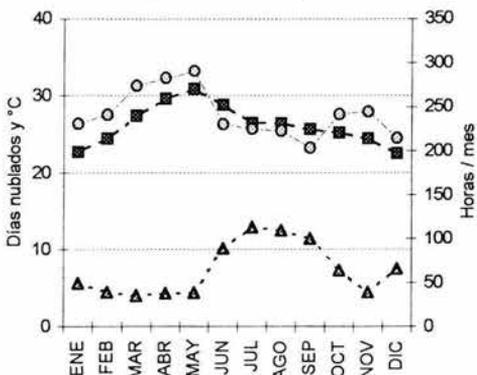
Durango, Dgo.



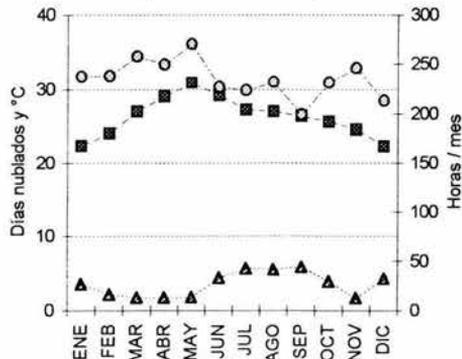
La Bufa, Zacatecas, Zac.



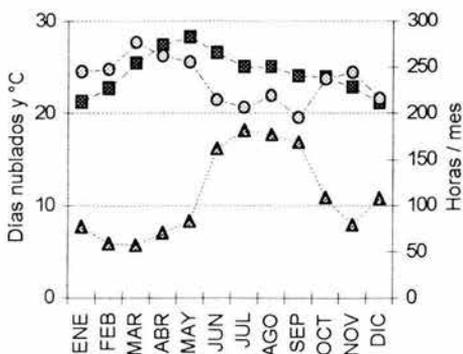
Lagos de Moreno, Jal.



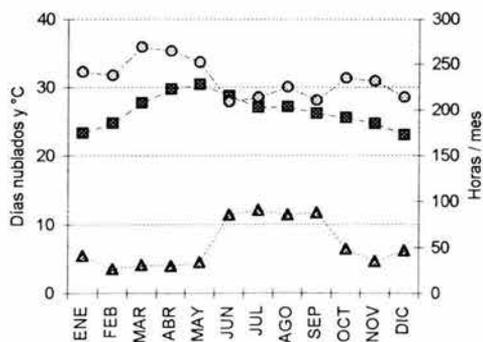
Aguascalientes, Ags.

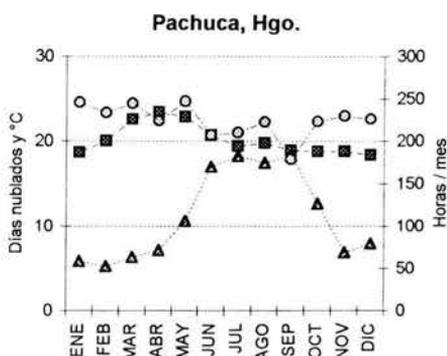


Guanajuato, Gto.



Querétaro, Qro.





Las gráficas de insolación y nubosidad, cuyos resultados se condensan en el siguiente cuadro, manifiestan un incremento de la insolación en la mayor parte de las estaciones, a éstas se contrapone una baja en la nubosidad en cinco de los once casos; el grado de confiabilidad de los datos, representa una alta confiabilidad en la mayoría de las estaciones.

GRAF No.	ESTACION	PERIODO EN GRÁFICAS	No. DE AÑOS	TENDENCIA DE LA		NIVEL (%) DE SIGNIFICANCIA (insolación)
				NUBOSIDAD DÍAS/AÑO	INSOLACIÓN HRS/AÑO	
1	Aguascalientes, Ags.	1947-81	35	2.13	7.18	99.50
9	Culiacán, Sin.	1941-78	38	1.18	13.01	99.95
10	Durango, Dgo.	1954-94	41	-0.21	10.45	99.95
12	Guanajuato, Gto.	1970-94	25	-1.14	8.08	90.00
15	Lagos de Moreno, Jal.	1961-94	34	1.51	-1.41	75.00
19	Mazatlán, Sin.	1941-61, 1969-91	44	-0.29	8.07	99.95
25	Pachuca, Hgo.	1960-94	35	-0.43	7.55	95.00
38	Tepic, Nay.	1968-92	25	-1.47	15.27	99.50
41	Torreón, Coah.	1976-89	14	2.52	26.98	90.00
42	Tulancingo, Hgo.	1941-82	42	0.89	2.56	75.00
45	Zacatecas, Zac.	1921-76	56	1.10	-1.54	95.00

### 3. Región Noreste

Esta región está delimitada hacia el occidente por la isohelia de las 2600 horas anuales y por la de las 2200 horas anuales al sureste (Mapa No.2). Ocupa la parte oriental del estado de Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, fracción nororiental de Zacatecas, San Luis Potosí, parte noreste de Guanajuato, norte de Querétaro y norte de Hidalgo, es decir, parte de la Huasteca.

Los valores de insolación más altos se dan en Coahuila con 2600 horas anuales y descienden del centro a la vertiente del Golfo con promedios de 2200 horas, el 49% de la posible, inducidos seguramente por el número de días con

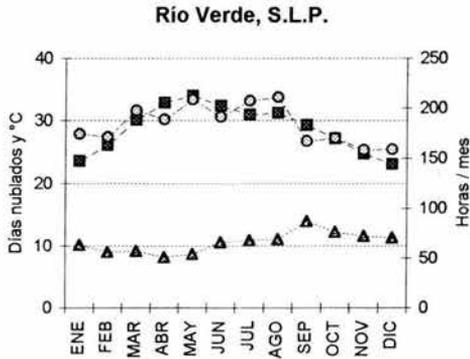
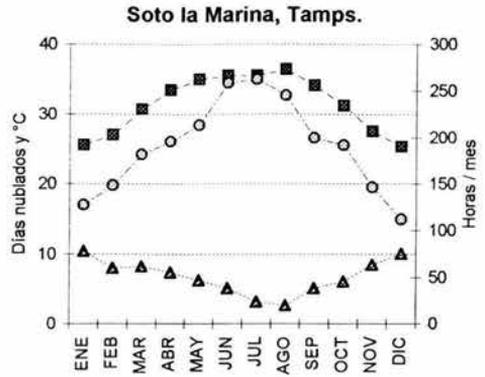
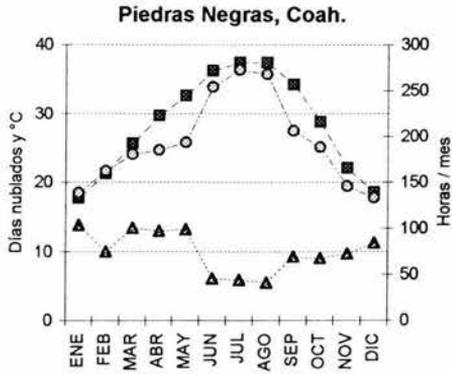
nublados que en la zona oscilan de 82 en Coahuila a 100 en Tamaulipas; sin embargo, en Monterrey, los valores descienden hasta las 1800 horas de insolación anual, el 40.5% de la insolación posible. En cuanto al número de días nublados, en esta ciudad suman 132 al año y en Piedras Negras 134. (Mapas No. 2 y 5).

En esta región los valores de insolación tienen un descenso de 525 horas anuales en una distancia relativamente corta (80 km) de Saltillo a Monterrey (Mapa No.2); este fenómeno es provocado por el relieve; mientras que Monterrey se encuentra a 538 m.s.n.m., Saltillo lo está a 1589 m.s.n.m., también influyen la llegada de ondas polares durante los meses de diciembre, enero y febrero y los huracanes del verano, como inductores de nubosidad.

La población de Río Verde, SLP, se consideró dentro de esta región por sus valores de insolación, aunque registra la menor cantidad de insolación y la más alta en nubosidad.

En tanto que las temperaturas máximas superiores a los 30°C se concentran en una estrecha franja al sur del Río Bravo a lo largo de los estados de Coahuila Nuevo León y Tamaulipas hasta Soto la Marina; en el centro del estado de San Luis Potosí también se registran temperaturas mayores a los 30°C; y otra zona de altas temperaturas hacia la confluencia de los estados de Veracruz, San Luis Potosí y una porción al sur del estado de Tamaulipas (la Huasteca), debido seguramente a la vegetación y humedad que se mantienen en la zona. En el resto de la región los valores fluctúan entre los 26° y 30°C, a excepción de una pequeña región apendicular de temperaturas inferiores a los 26° que se extiende desde Saltillo en dirección sureste hacia el estado de Nuevo León; provocado seguramente, por la altitud del relieve. Mapa No.8.

En las gráficas de Piedras Negras y Soto la Marina tanto la insolación como las temperaturas máximas siguen un recorrido similar, con una cresta hacia los meses de junio a agosto con muy altas temperaturas y más de 250 horas mensuales; en el caso de la nubosidad, responde a un patrón contrario al común incremento de días nublados veraniegos; en este caso, los valores más bajos de nubosidad se dan precisamente en esas fechas. Los climas predominantes en esta región son los áridos con lluvia poco abundante en todas las estaciones, explicándose por los sistemas climáticos que aquejan la región: frentes fríos invernales, vientos alisios del noreste y desde luego el relieve y la continentalidad.



Río Verde conserva un comportamiento parecido al de estaciones continentales, con valores regulares en la nubosidad a lo largo del año y similitud en el recorrido de la insolación y las temperaturas máximas, las cuales son más bajas que las ubicadas septentrionalmente.

En cuanto al comportamiento de las tendencias de insolación y nubosidad, el siguiente cuadro muestra que en la región existe en general un incremento en la insolación; la única estación que lo reporta en forma contraria es Piedras Negras que tiene además un grado de confiabilidad en sus datos muy bajo (significancia) y junto con Tepehuanes, Dgo. (Región Noroeste), las únicas en las que ambos parámetros muestran una tendencia negativa.

GRAF		PERIODO	No. DE	TENDENCIA DE LA		NIVEL (%) DE
No.	ESTACION	EN GRÁFICAS	AÑOS	NUBOSIDAD	INSOLACIÓN	SIGNIFICANCIA
				DÍAS/AÑO	HRS/AÑO	(insolación)
5	Ciudad Victoria, Tamps.	1976-91	16	-4.73	16.37	< 75%
21	Monclova, Coah.	1977-94	18	-4.26	7.24	75.00
22	Monterrey, N.L.	1941-47, 1951-84	41	2.63	6.56	95.00
26	Piedras Negras, Coah.	1976-94	19	-1.91	-0.23	< 75%
29	Río Verde, S.L.P.	1962-91	30	1.73	8.09	90.00
30	Saltillo, Coah.	1941-94	54	1.51	14.89	99.95
32	Soto la Marina, Tamps.	1975-91	17	1.72	21.55	95.00

#### 4. Región Centro

Esta región abarca lo siguiente: centro y occidente de Jalisco, sur de Guanajuato, norte de Colima, centro y norte de Michoacán, estado de México, el Distrito Federal, Morelos, norte de Guerrero, una pequeña fracción suroccidental del estado de Puebla y la subregión Puebla Tlaxcala.

La región Centro está delimitada hacia el norte, por el Eje Volcánico Transversal y al sur por la Depresión del Balsas. La delimita la isohelia de las 2600 horas y hacia su interior los valores descienden hasta las 2209 horas de Morelia, un 49.6% de la posible. En nubosidad, los valores hacia el interior son más altos de los 120 días, llegando a 135 días al año en Toluca.

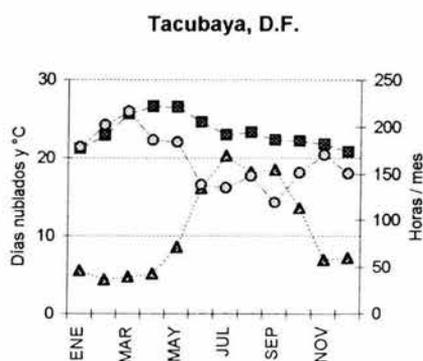
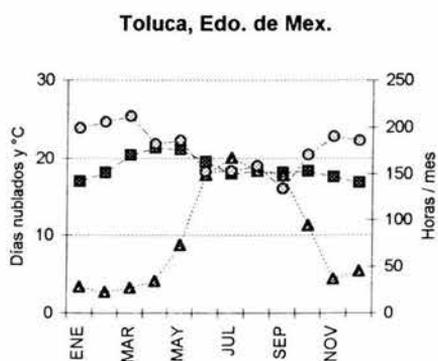
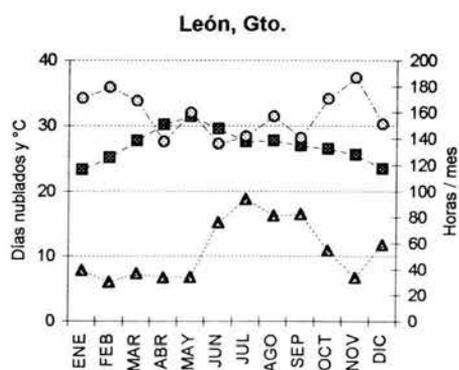
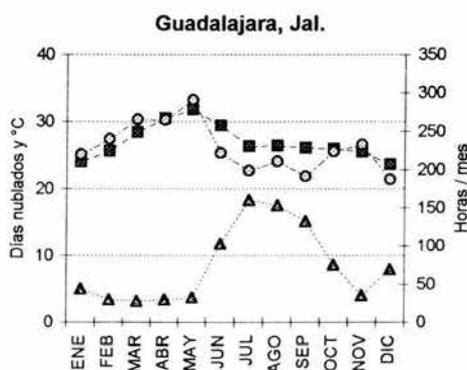
Con relación a las temperaturas máximas, de Morelia hacia el Distrito Federal, descienden, en ese orden, de Oeste a Este, de 26° a 18°C, cuando en mayo van de 30° en Morelia a 26° en Toluca y Tacubaya; hacia el sur de esta región las temperaturas aumentan hasta 34°C en la Depresión del Balsas, donde el clima es BS<sub>1</sub> semiárido, el menos seco de los áridos<sup>6</sup>; una zona aislada por el relieve y al mismo tiempo, baja. Estos contrastes en los climas se deben muy probablemente a las diferencias altitudinales.

La subregión Puebla-Tlaxcala, incluye al estado de Tlaxcala y la fracción central del estado de Puebla; presenta valores desiguales; en insolación, Puebla cuenta con 2769 horas anuales, lo que la hace susceptible de pertenecer a la región Sur; sin embargo, sus gráficas muestran una gran similitud con las poblaciones de esta región; por tal motivo me pareció pertinente incluirla en esta subregión. La insolación en Tlaxcala asciende a 2126 horas anuales; en esta subregión la nubosidad es prácticamente igual, Puebla tiene 90 y Tlaxcala 91 días nublados al año; advirtiéndose con esto, que a sotavento los valores de nubosidad bajan y a barlovento aumentan por acción del relieve y de los sistemas climáticos que afectan la zona. En temperaturas máximas, Puebla es ligeramente más caluroso con 26°C que Tlaxcala con 22°C. La diferencia es nuevamente, el relieve;

<sup>6</sup> Enriqueta García, *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köpen*, 3ª ed., México, p. 42 y 142

en una distancia de 20 km. aproximadamente, existen alrededor de 350 metros de diferencia altitudinal.

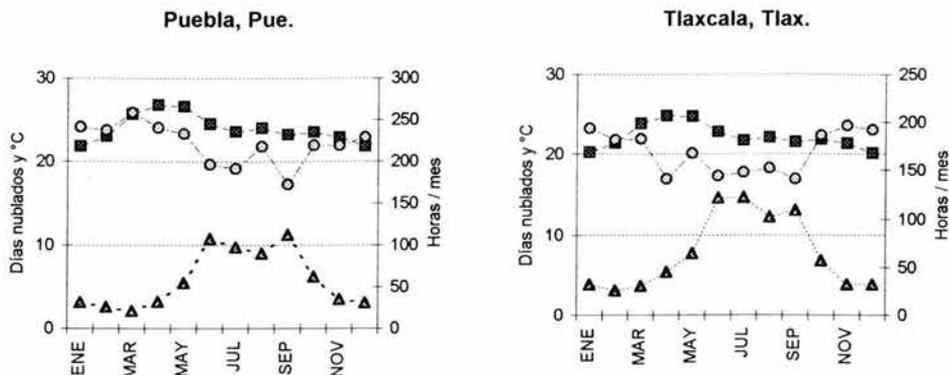
Los gráficos siguientes manifiestan un ascenso y descenso en nubosidad e insolación respectivamente, corresponden a los meses del verano, donde se aprecia la presencia de canícula propia de los climas con régimen de lluvias de verano; la canícula es una sequía de medio verano o intraestival que se manifiesta como una merma en las cantidades de lluvia de los meses veraniegos. Esta canícula incide igualmente en un ligero incremento de la insolación durante este periodo intraestival no así en las temperaturas máximas que mantienen una línea suave y no tan oscilante como la insolación y la nubosidad.



La subregión Puebla-Tlaxcala manifiesta asimismo una tendencia muy parecida a la de las ciudades de esta misma región; con presencia de canícula, variabilidad en la insolación y una línea suave de las temperaturas máximas que

tienen su máximo en el mes de abril/ mayo para luego declinar ligeramente a lo largo del año, siempre por encima de los 20°C.

#### REGIÓN CENTRO: Subregión Puebla-Tlaxcala



La tabla adjunta presenta el grado de confiabilidad de los datos de insolación, que en esta región se muestran altos; en tanto que las tendencias en nubosidad e insolación presentan una relación inversa en cuatro de los siete casos. En Tacubaya, Observatorio Central, la gráfica correspondiente (No. 33), se dividió en dos periodos, ya que la serie de datos era demasiado extensa, así, los números del cuadro señalan los resultados por periodo de acuerdo al orden de aparición. De cualquier manera en el apartado C de este capítulo se profundiza el análisis de esta estación.

GRAF No.	ESTACION	PERIODO EN GRÁFICAS	No. DE AÑOS	TENDENCIA DE LA		NIVEL (%) DE SIGNIFICANCIA (insolación)
				NUBOSIDAD DÍAS/AÑO	INSOLACIÓN HRS/AÑO	
11	Guadalajara, Jal.	1948-81	34	1.91	-4.83	95.00
16	León, Gto.	1921-75	55	8.75	8.47	99.90
23	Morelia, Mich.	1941-76	36	2.76	-39.18	99.95
28	Puebla, Pue.	1941-91	51	1.30	6.24	99.50
33	Tacubaya, D.F.	1921-67, 68-94	74	0.27 y -0.74	-19.20 y 31.48	99.95
39	Tlaxcala, Tlax.	1941-76	36	2.35	-6.00	99.50
40	Toluca, Edo. de Mex.	1947-94	48	1.78	16.55	99.95

#### 5. Región Centro Oriente

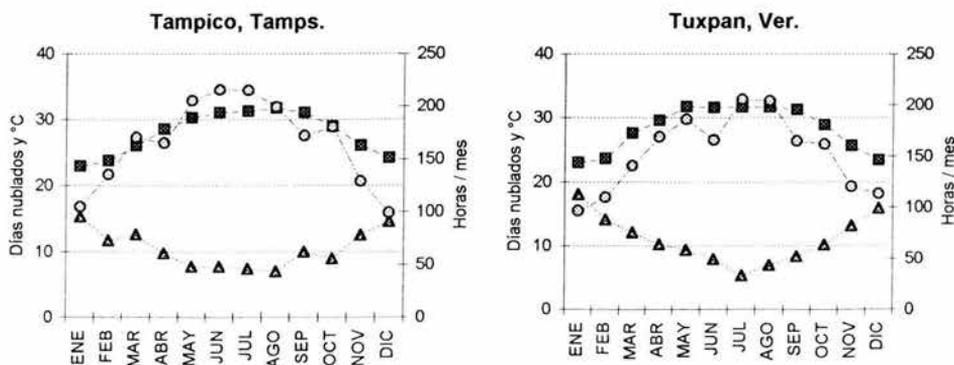
Esta región comprende gran parte del estado de Veracruz, toda la región oriental de Puebla y una ligera fracción del norte de Oaxaca. Fisiográficamente, corresponde a la parte central de la región costera de la vertiente del Golfo.

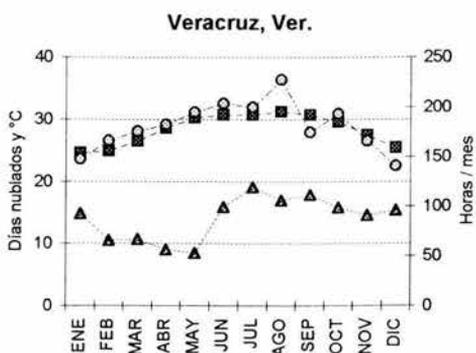
En las partes altas de la Sierra Madre Oriental, la insolación baja de 2200 hasta menos de 1100 horas anuales en una franja latitudinal entre los estados de Puebla y Veracruz, siendo la ciudad de Córdoba la que presenta la menor insolación con 1057 horas anuales. Para esta región, los valores de insolación de 2200, 2000 y 1800, representan un 49, 45 y 40% de insolación posible respectivamente. (Mapa No. 2).

Referente a los días con nublados, los valores más altos de esta región y de toda la República Mexicana se advierten hacia las partes altas de la Sierra Madre Oriental, siendo la ciudad de Orizaba la que posee 229 días al año; las temperaturas máximas oscilan de 18°C en las colindancias de los estados de Puebla y Veracruz, para manifestarse con registros de 26° a 30°C hacia las zonas costeras, particularmente en el puerto de Veracruz. En mayo, las zonas altas de la Sierra Madre Oriental alcanzan los 26°C, y en el resto de la región, las temperaturas fluctúan entre los 30° y los 34°C, incrementándose ligeramente hacia el sureste. Se aprecia que a medida que la insolación disminuye de 2200 a las menos de 1800 horas anuales, las temperaturas máximas fluctúan entre los 26° a los 18°C, suponiendo una relación directa entre ambos elementos.

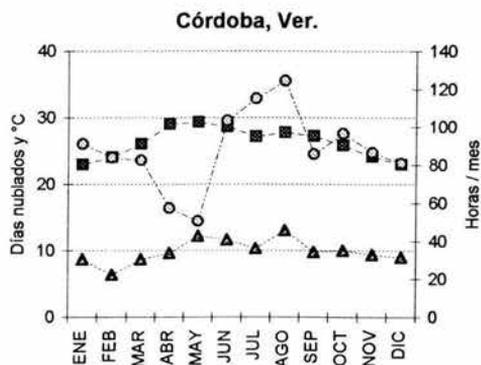
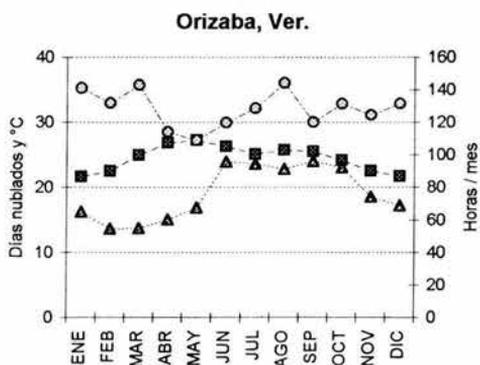
Conforme a los gráficos obtenidos del segundo bloque de estaciones consideradas para este estudio, fue claramente posible diferenciar dos subregiones, una costera y otra montañosa. En la primera subregión se revela una analogía con las estaciones de Piedras Negras y Soto la Marina de la región del Noreste con una apertura hacia el centro de las gráficas (verano), que tiende a acercarse en los extremos (invierno), lo que quiere decir que estas zonas son mayormente afectadas por los sistemas climáticos de invierno (ondas frías polares), que traen nubosidad y bajas de temperatura. El caso del puerto de Veracruz es un tanto diferente, pues éste sí es afectado por los sistemas climáticos del verano y del invierno, mientras que insolación y temperatura siguen un recorrido muy semejante, aunque la insolación sube abruptamente en el mes de agosto a lo que corresponde una ligera baja en la nubosidad.

#### REGIÓN CENTRO ORIENTE: Subregión Costera





**REGIÓN CENTRO ORIENTE: Subregión Montañosa**



En la subregión montañosa, la principal característica es la fuerte fluctuación de la insolación debido a la nubosidad provocada por el aire húmedo proveniente del mar que choca a barlovento; y, la disparidad en el comportamiento de las tres variables en ciudades tan cercanas (aproximadamente a 20 km.), pero a la vez con una diferencia de 335 metros en altitud: Orizaba a 1259 m.s.n.m. y Córdoba a 924 m.s.n.m.

En cuanto a los resultados de tendencia en insolación y nubosidad, en el siguiente cuadro se aprecia que únicamente en Tampico existe una relación inversa entre ambos, aunque la confiabilidad en los datos de insolación de esta estación, sea baja. Al igual que en las anteriores regiones, tanto la insolación como la nubosidad muestran un claro aumento en sus tendencias.

GRAF	PERIODO	No. DE	TENDENCIA DE LA		NIVEL (%) DE	
No.	ESTACION	EN GRÁFICAS	AÑOS	NUBOSIDAD DÍAS/AÑO	INSOLACIÓN HRS/AÑO	SIGNIFICANCIA (insolación)
13	Jalapa, Ver.	1941-94	54	2.26	5.54	99.95
34	Tampico, Tamps.	1971-92	22	-1.40	8.51	75.00
43	Tuxpan, Ver.	1971-91	21	2.95	8.34	75.00
44	Veracruz, Ver.	1950-88	39	1.43	6.16	99.50

## 6. Región Sur

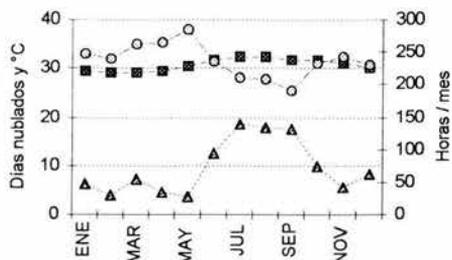
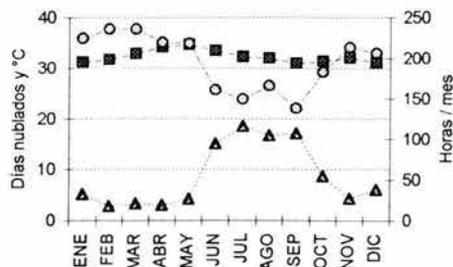
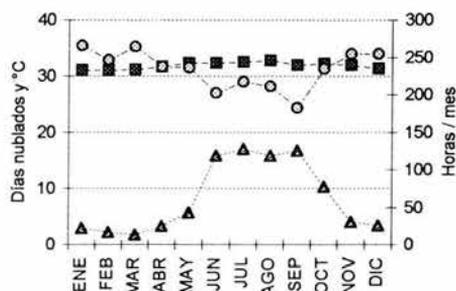
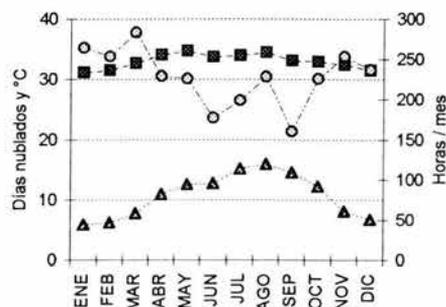
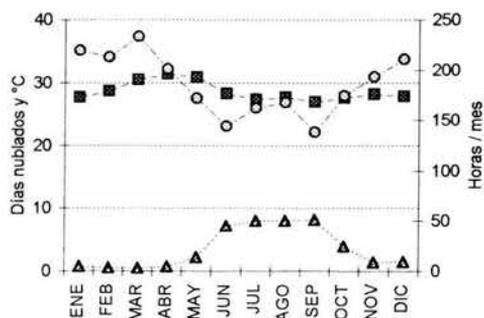
Ésta región abarca la franja costera de los estados de Jalisco, Michoacán, Guerrero, la porción del sur de Puebla y centro y sur del estado de Oaxaca hasta el Golfo de Tehuantepec; es decir, la Sierra Madre del Sur y la región de la Mixteca.

A esta región la comprenden valores anuales de insolación de entre 2600 en la costa jalisciense a las 3100 horas de Huajuapán de León, Oax., un 70% de la posible en la confluencia de Puebla, Guerrero y Oaxaca; mientras que hacia la costa, en Puerto Ángel, llega a las 2929 horas.

En cuanto a la nubosidad, los valores más altos se dan hacia la costa jalisciense, con 107 días anuales en Manzanillo, mientras que en la costa de los estados de Guerrero, Oaxaca y Golfo de Tehuantepec la nubosidad es menor a los 100 días nublados anuales, teniendo Salina Cruz 67 días.

Las temperaturas máximas fluctúan a lo largo de la costa arriba de los 30°C, observándose una pequeña franja a lo largo de la costa de Jalisco, con temperaturas mayores a los 34°C. Inmediatamente después de la zona costera se observa un cambio en las condiciones de temperatura, hacia la Sierra Madre del Sur, 30° es el promedio y menos de 26°C en las regiones más altas de Guerrero y en la Mixteca oaxaqueña. Mapa No.8.

Las gráficas correspondientes a la región son muy parecidas, con un marcado incremento en la nubosidad durante los meses de junio a septiembre y una baja considerable en los registros de insolación en los mismos meses; las temperaturas máximas, en cambio, mantienen una sorprendente regularidad alrededor de los 30°C debido a la permanente presencia de humedad proveniente del mar. En tanto que Chilpancingo presenta un marcado descenso en la nubosidad por su ubicación geográfica o continentalidad.

**Manzanillo, Col.****Colima, Col.****Acapulco, Gro.****Salina Cruz, Oax.****Chilpancingo, Gro.**

El análisis de las tendencias en insolación y nubosidad de esta región muestra que en las dos estaciones existe la relación inversa, a un incremento en la tendencia de insolación le corresponde un decremento en la nubosidad. En tanto que el nivel de significancia en los datos de insolación es congruente.

GRAF	PERIODO	No. DE	TENDENCIA DE LA		NIVEL (%) DE	
No.	ESTACION	EN GRÁFICAS	AÑOS	NUBOSIDAD DÍAS/AÑO	INSOLACIÓN HRS/AÑO	SIGNIFICANCIA (insolación)
7	Colima, Col.	1958-94	37	-0.73	2.68	95.00
18	Manzanillo, Col.	1968-94	27	-3.65	6.27	95.00

## 7. Región Sureste

Esta región comprende la porción sur del estado de Veracruz, los estados de Tabasco, Chiapas y zona suroccidental de Campeche; es decir, la mayor parte del Istmo de Tehuantepec.

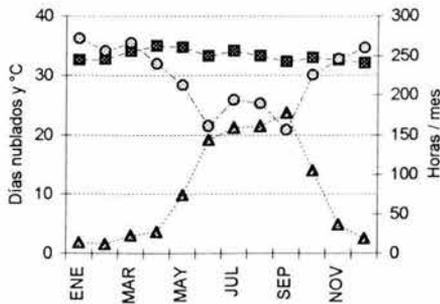
En la costa del Golfo Coatzacoalcos posee una insolación de 2206 horas anuales, éstas aumentan paulatinamente hacia Chiapas donde cercanas a la costa, en Arriaga alcanzan los registros más altos con 2679 horas. Hacia el interior de Chiapas descienden, sobre todo en las partes altas, particularmente en San Cristóbal de las Casas en la Meseta Central Chiapaneca. La insolación anual decrece a lo largo de la costa chiapaneca hacia la frontera con Guatemala, Tapachula reporta 2062 horas año, un 46% de la posible.

En cuanto a la nubosidad, el mapa No. 5 muestra las observaciones más altas en Comitán con 155 y Coatzacoalcos con 153 días nublados al año, igualmente, es Tuxtla Gutiérrez localizada en la Depresión Central de Chiapas la que presenta las menores con 105 días al año.

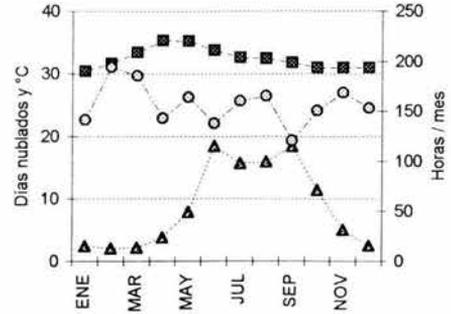
Las temperaturas máximas de esta región oscilan arriba de los 30°C entretanto, hacia las partes altas de la Meseta y la Sierra Madre de Chiapas, decrecen a 30° y 26°C, el factor influyente es, evidentemente, el relieve.

Los gráficos de las tres ciudades chiapanecas que se anexan guardan grandes aproximaciones, por un lado el crecimiento de la nubosidad a partir de los meses de junio a septiembre con una notoria canícula en el mes de agosto; su correspondencia en el trazo inverso de la insolación, la cual presenta fluctuaciones amplias y caprichosas sobre todo en la capital chiapaneca y, finalmente, una regularidad en las temperaturas máximas de arriba de los 30°C durante todo el año en las estaciones de Arriaga y Tuxtla Gutiérrez, mientras que en Comitán se presentan por entre los 20° y los 30°C.

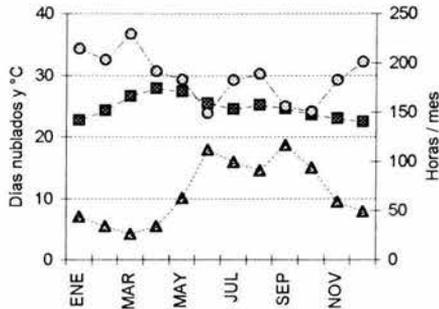
Arriaga, Chis.



Tuxtla Gutiérrez, Chis.



Comitán, Chis.



En las tres estaciones estudiadas desde el punto de vista de sus tendencias, Coatzacoalcos es la que cumple con la relación inversa entre insolación y nubosidad, sin embargo, tiene una incongruencia marcada en sus tendencias de insolación debido a la cortedad de sus series, en tanto que en las estaciones chiapanecas la confiabilidad de sus datos es alta indicando un incremento en ambos parámetros a lo largo de los más de cincuenta años de sus periodos.

GRAF No.	ESTACION	PERIODO EN GRÁFICAS	No. DE AÑOS	TENDENCIA DE LA		NIVEL (%) DE SIGNIFICANCIA (insolación)
				NUBOSIDAD DÍAS/AÑO	INSOLACIÓN HRS/AÑO	
6	Coatzacoalcos, Ver.	1977-90	14	-10.74	18.76	75.00
8	Comitán, Chis.	1941-93	53	1.60	15.80	99.95
35	Tapachula, Chis.	1941-94	54	1.45	7.36	99.50

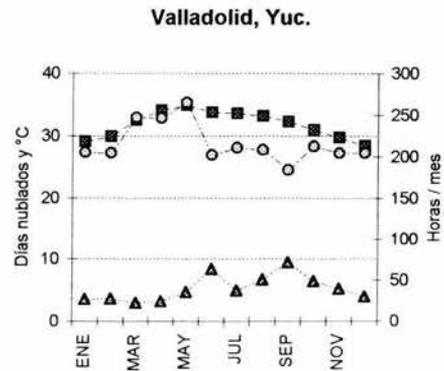
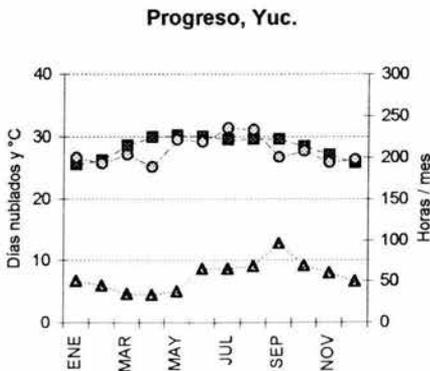
## 8. Región Península de Yucatán

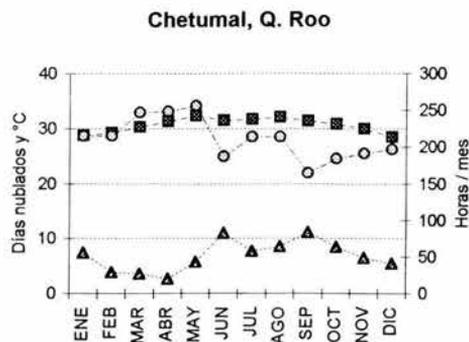
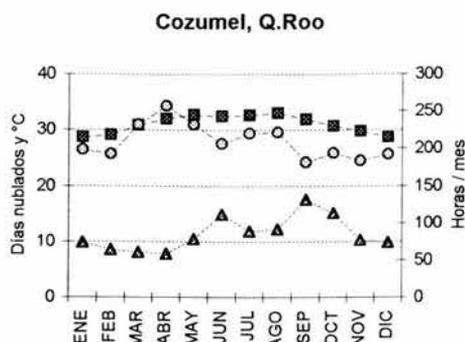
Esta región encierra los estados de Campeche, a excepción de un pequeño segmento suroccidental, Yucatán y Quintana Roo. Fisiográficamente, toda la península de Yucatán. Mapa No.11

Los valores de insolación de esta región se marcan por arriba de la isohelia de las 2400 horas anuales, siendo la localidad de Valladolid la que registra los más altos con 2591 horas y Progreso los más bajos con 2485 horas.

La nubosidad tiene su registro más bajo igualmente en Valladolid con 63 días nublados al año y con 136 días en Cozumel. En cuanto a las temperaturas máximas se revelan con medidas de entre 30° y 34°C, registrándose la más alta en la zona costera interestatal de Campeche y Yucatán, así como en la costa norte de Yucatán, en Progreso, donde se considera igualmente una franja costera con valores altos correspondientes a un pequeño borde de clima árido BS.

Las gráficas del recorrido anual de los elementos estudiados indican grandes similitudes en tres de ellas (Valladolid, Cozumel y Chetumal), la insolación y la nubosidad se contraponen en sus cúspides y bases, donde se advierte la canícula en el mes de julio, mientras que las temperaturas máximas sobrepasan los 30°C la mayor parte del año; en Progreso, las temperaturas máximas se encuentran en el límite de los 30°C y la insolación y la nubosidad son menos oscilantes que en el resto de las estaciones.





Los largos periodos que presentan estas estaciones tienen una gran confiabilidad en sus series de datos de insolación y su tendencia es a la alta, en los tres casos; al mismo tiempo, la nubosidad muestra valores insignificantes en su crecimiento, como en su retroceso en el caso de Mérida.

GRAF	No.	ESTACION	PERIODO EN GRÁFICAS	No. DE AÑOS	TENDENCIA DE LA		NIVEL (%) DE SIGNIFICANCIA (insolación)
					NUBOSIDAD DÍAS/AÑO	INSOLACIÓN HRS/AÑO	
2		Campeche, Camp.	1941-56, 1960-94	51	0.60	16.28	99.95
20		Mérida, Yuc.	1941-60, 1965-91	47	-0.05	18.84	99.95
27		Progreso, Yuc.	1941-86	46	2.23	2.54	97.50

### C. Análisis y Discusión.

Las Tablas No. 4, 5 y 6 las he dividido en dos grupos, las primeras 45 estaciones meteorológicas pertenecen al grupo seleccionado para el análisis de tendencia de la Insolación y la Nubosidad; este primer grupo ejemplifica los datos anuales en periodos largos o cortos, donde se observa la evolución de los elementos considerados. A fin de comprobar qué tan congruentes o significativas resultaron las series de datos de este primer bloque de 45 estaciones, se aplicó la prueba de significancia de la tendencia de Mann Kendall a los periodos anuales de insolación graficados en cada una de las estaciones. Esta prueba expresa por medio de un porcentaje el grado de confiabilidad de la serie y de su tendencia. Un porcentaje igual o superior al 90% representa una significancia relevante o altamente aceptable, un 75% expresa ya incongruencia en la tendencia, mientras que las estaciones que no alcanzan siquiera el 75%, su tendencia no representa significatividad alguna. Una de las razones posibles del porqué no se alcanza esta significancia se debe a que se cuenta con series menores a 20 años, un número no representativo para la aplicación de la prueba, la cual requiere un promedio de 30 registros. Obviamente, esta condición no se cumple en todas las estaciones ya

que en algunas, a pesar del poco número de años, alcanzaron altos grados de significancia. La siguiente tabla expone los resultados de esta prueba.

**TABLA No. 3 TENDENCIA DE LAS SERIES TEMPORALES DE LA INSOLACIÓN**

No. GRAF	ESTACION	PERIODOS EN GRÁFICAS	No. DE AÑOS	TENDENCIA DE LA INSOLACIÓN HRS/AÑO	NIVEL (%) DE SIGNIFICANCIA
3	Cd. Constitución, B.C.S.	1986-94	9	-36.19	75.00
4	Cd. Obregón, Son.	1961-91	31	17.03	99.90
14	La Paz, B.C.S.	1975-94	20	13.19	95.00
17	Loreto, B.C.S.	1980-94	15	2.35	< 75%
24	Nvo. Casas Grandes, Chih.	1977-94	18	0.43	< 75%
31	Santa Rosalía, B.C.S.	1981-91	11	-56.22	75.00
36	Temosachic, Chih.	1977-93	17	0.73	< 75%
37	Tepehuanes, Dgo.	1982-93	12	-9.61	< 75%
1	Aguascalientes, Ags.	1947-81	35	7.18	99.50
9	Culiacán, Sin.	1941-78	38	13.01	99.95
10	Durango, Dgo.	1954-94	41	10.45	99.95
12	Guanajuato, Gto.	1970-94	25	8.08	90.00
15	Lagos de Moreno, Jal.	1961-94	34	-1.41	75.00
19	Mazatlán, Sin.	1941-61, 1969-91	44	8.07	99.95
25	Pachuca, Hgo.	1960-94	35	7.55	95.00
38	Tepic, Nay.	1968-92	25	15.27	99.50
41	Torreón, Coah.	1976-89	14	26.98	90.00
42	Tulancingo, Hgo.	1941-82	42	2.56	75.00
45	Zacatecas, Zac.	1921-76	56	-1.54	95.00
5	Ciudad Victoria, Tamps.	1976-91	16	16.37	< 75%
21	Monclova, Coah.	1977-94	18	7.24	75.00
22	Monterrey, N.L.	1941-47, 1951-84	41	6.56	95.00
26	Piedras Negras, Coah.	1976-94	19	-0.23	< 75%
29	Río Verde, S.L.P.	1962-91	30	8.09	90.00
30	Saltillo, Coah.	1941-94	54	14.89	99.95
32	Soto la Marina, Tamps.	1975-91	17	21.55	95.00
11	Guadalajara, Jal.	1948-81	34	-4.83	95.00
16	León, Gto.	1921-75	55	8.47	99.90
23	Morelia, Mich.	1941-76	36	-39.18	99.95
28	Puebla, Pue.	1941-91	51	6.24	99.50
33	Tacubaya, D.F.	1921-67, 68-94	74	-19.20 y 31.48	99.95
39	Tlaxcala, Tlax.	1941-76	36	-6.00	99.50
40	Toluca, Edo. de Mex.	1947-94	48	16.55	99.95
13	Jalapa, Ver.	1941-94	54	5.54	99.95
34	Tampico, Tamps.	1971-92	22	8.51	75.00
43	Tuxpan, Ver.	1971-91	21	8.34	75.00
44	Veracruz, Ver.	1950-88	39	6.16	99.50
7	Colima, Col.	1958-94	37	2.68	95.00
18	Manzanillo, Col.	1968-94	27	6.27	95.00

No. GRAF	ESTACION	PERIODOS EN GRÁFICAS	No. DE AÑOS	TENDENCIA DE LA INSOLACIÓN HRS/AÑO	NIVEL (%) DE SIGNIFICANCIA
6	Coatzacoalcos, Ver.	1977-90	14	18.76	75.00
8	Comitán, Chis.	1941-93	53	15.80	99.95
35	Tapachula, Chis.	1941-94	54	7.36	99.50
2	Campeche, Camp.	1941-56, 1960-94	51	16.28	99.95
20	Mérida, Yuc.	1941-60, 1965-91	47	18.84	99.95
27	Progreso, Yuc.	1941-86	46	2.54	97.50
45	Estaciones				

De acuerdo al porcentaje alcanzado en esta prueba, los resultados fueron los siguientes:

Tendencias	No. de estaciones	% de significancia
Congruencia de las tendencias	31	>90
Incongruencia marcada de las tendencias	8	75
Insignificancia de las tendencias	6	<75
	45	

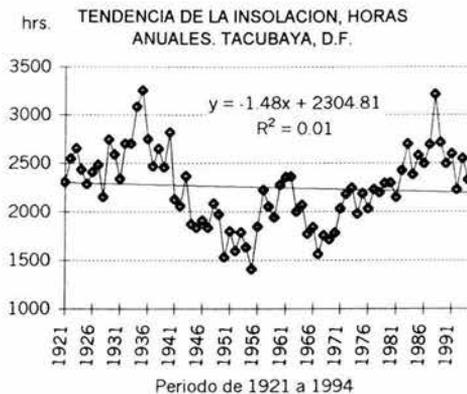
El 68.9% de las estaciones muestra un alto grado de confiabilidad, el 17.8% incongruencia y el 13.3%, insignificancia en sus tendencias.

En las líneas de tendencia de insolación y nubosidad, expresada en cada una de las gráficas, el comportamiento de ambos parámetros muestra que la relación directa más frecuente es: a mayor insolación, mayor nubosidad, ésta se presenta en 22 de las 45 estaciones, es decir, en el 48.9% de los casos. La otra relación directa: a menor insolación, menor nubosidad, se presenta únicamente en dos casos: Piedras Negras, Coahuila y Tepehuanes, Durango, constituyendo el 4.4%. En consecuencia, puede plantearse que, conforme al comportamiento de la línea de tendencia, en el 53.3% de las estaciones rastreadas, tanto la insolación como la nubosidad guardan una relación directa, generalmente, en forma de incremento.

Las estaciones que cumplen con la relación inversa suman 21, significando el 46.7%; de éstas, las que mostraron la relación: a mayor insolación, menor nubosidad son trece, el 28.9% y las que presentan: a menor insolación, mayor nubosidad son ocho, el 17.8%, del total.

Mención y análisis aparte merece la estación meteorológica de Tacubaya, de las pocas que cuentan con el registro completo de sus observaciones. La prueba de significancia se aplicó a la insolación en el largo periodo de 1921 a

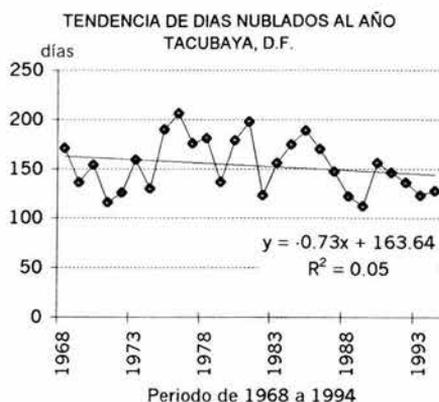
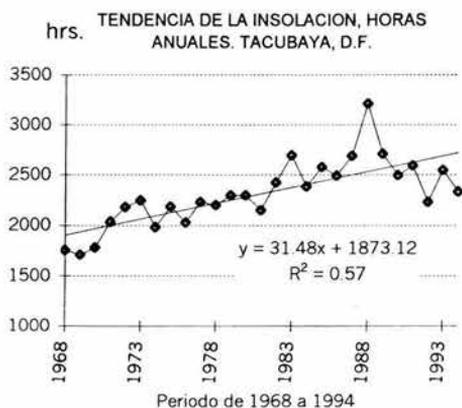
1994, ésta no alcanzó ni el 75%; sin embargo, al dividirla en dos periodos, el resultado de la prueba alcanzó el 99.95% en ambos periodos, aspecto que ofrece gran confiabilidad y certeza en los datos.



Como puede apreciarse, la tendencia de la insolación para el primer periodo (1921-1967), declina, mientras que la nubosidad aumenta; en el segundo periodo (1968-1994), sucede lo contrario a mayor insolación, menor nubosidad. Lo anterior manifiesta que en series muy largas de cuatro, cinco o seis décadas suelen existir fluctuaciones en los datos, fluctuaciones que pueden incidir en la confiabilidad de una serie tan extensa, pero, al comparar periodos cortos, los resultados pueden ser congruentes; en Tacubaya, la relación inversa evidenciada hace suponer un mayor cuidado en las observaciones y es congruente, asimismo, con la relación inversa planteada en la hipótesis.

En Tacubaya, durante el segundo periodo (1968-1994), los días con nublados bajan lo cual no significa necesariamente una declinación en las precipitaciones, al contrario, parece ser que se tiende a la concentración y fuerza

de los meteoros en determinadas épocas del año, en este fenómeno interviene el acelerado proceso de urbanización que ha sufrido la ciudad de México, el cual ha inducido un aumento en la frecuencia de aguaceros intensos. En Tacubaya se ha detectado un incremento en la precipitación mayo-octubre y en general, la ciudad presenta cambios en la frecuencia de aguaceros intensos ( $> 20 \text{ mm/h}$ ); de cuatro eventos en la década de los cuarenta a veinte en la de los ochenta.<sup>7</sup>



Con relación al segundo grupo de gráficas, anexadas a cada una de sus regiones, fueron agrupadas de acuerdo al comportamiento similar en sus datos y a su distribución y vecindad regional; este grupo de gráficas como se menciona oportunamente, es producto de las "Normales Climatológicas 1951–1980" y se utilizaron únicamente las que poseían los tres elementos (Insolación, Nubosidad y Temperaturas Máximas). Éstas ilustran el comportamiento estacional, a lo largo del año; por tanto, las gráficas estacionales fueron consideradas para complementar, enriquecer e incluso modificar, en algunos casos, la regionalización de la insolación.

Ahora bien, una de las conjeturas respecto al porqué tanto la insolación como la nubosidad se han incrementado no solo en nuestro país, sino en otras latitudes es, aparentemente, por el incremento de los gases de invernadero (bióxido de carbono y vapor de agua, principalmente) responsables del aumento en la temperatura planetaria por su capacidad radiativa, al mismo tiempo, el daño a la capa de ozono ha repercutido en el aumento de las temperaturas superficiales terrestres. La radiación y el fenómeno radiativo de los elementos climáticos han favorecido la generación de calor, lo que ha aumentado la "anormalidad" del clima al observarse paralelamente, el incremento en la fuerza de los meteoros, ya sean lluvias torrenciales o sequías. La oscilación térmica en algunas zonas del planeta se ha hecho evidente causando daños materiales y humanos. Así, diversos

<sup>7</sup> Ernesto Jáuregui, *El Clima de la Ciudad de México*, Temas selectos de Geografía de México, Instituto de Geografía, UNAM y Plaza y Valdéz, México, 2000, págs. 32 y 33.

factores se han conjugado para elevar el calor del planeta. Insolación y nubosidad parecen haberse tornado extremos, habituales y extensivos en nuestro país de acuerdo al incremento en sus tendencias, al menos, en un 77.8% en insolación y en un 66.7% en nubosidad, de las 45 estaciones trabajadas.

En el contexto de un mundo en proceso de calentamiento o de plano, en un Cambio Climático Global, se han expresado diversas opiniones: por un lado se cree que estas alteraciones son parte de un proceso que altera el balance energético del sistema climático global, a esto se le denomina: mecanismos forzados de radiación; éstos pueden ser externos e internos, los primeros pueden ser, las variaciones de la órbita terrestre y los cambios en el flujo solar. Estas variaciones están sujetas a cierta ciclicidad, que determina una fluctuación hasta cierto punto normal en el clima de la Tierra; por el momento, nos encontramos en un periodo interglaciar regido por altas temperaturas que la misma Tierra tenderá a regular.

Por otro lado, los mecanismos forzados de radiación interna pueden ser, por ejemplo, la actividad volcánica, el efecto invernadero y la composición atmosférica; se piensa que la emisión de gases testigo como el bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), el metano, el óxido nitroso y el ozono, calientan la atmósfera y son emitidos natural o artificialmente por el hombre, en este periodo de alta industrialización, son generadores del efecto invernadero, del cual, aunado a los excesos en la contaminación y en la deforestación, han inducido a un calentamiento global del planeta de entre 0.3 a 0.6°C en la temperatura media superficial del planeta, durante todo el siglo XX.<sup>8</sup>

Otra explicación al incremento de insolación y nubosidad en nuestro país, gira en torno a las diferencias en el registro de ambos parámetros, como se ha mencionado en el primer capítulo, la insolación es registrada por medio de instrumentos, mientras que la nubosidad, a criterio del observador. La relación entre insolación y nubosidad es difícil de establecer porque la nubosidad es apreciada a lo largo de todo un día y la lectura se registra al día siguiente, en este procedimiento se confía en la memoria del observador, aunque se tiene el recurso de consultar la tira quemada por el heliógrafo y deducir la nubosidad del día anterior.

Por otro lado, en el caso de las estaciones meteorológicas establecidas en zonas urbanas, éstas pueden enfrentar diversos avatares, desde un cambio físico en la ubicación de la estación, el crecimiento urbano vertical en las colindancias, incluso, el crecimiento de un árbol, hasta una sustitución de observador u operario de la estación, todos estos, cambios difíciles de detectar.

Un elemento más a considerar es la cubierta vegetal; las zonas con vegetación (bosques, selvas), absorben grandes cantidades de calor, alcanzan

---

<sup>8</sup> Mogens Gallardo, *El Cambio Climático Global*, Chile, Universidad de Concepción Centro EULA- Chile, Tesis doctoral, 1997, en el sitio web sobre Cambio Climático Global/ Climate Change/ Global warming.

entre 5-10% de albedo (la reflectividad total se expresa en un 100%), cuanto mayor es el albedo, menos energía puede absorber esa superficie. La vegetación absorbe gran cantidad de calor que es empleado en la evapotranspiración de las plantas manteniendo frescas estas áreas, lo que provoca el ascenso de aire frío en las cubiertas vegetales. La evapotranspiración y el calor crean corrientes térmicas ascendentes, el aire húmedo se enfría y forma pequeñas nubes convectivas que al acumularse, pueden provocar nubosidad y lluvia.<sup>9</sup>

Otra consideración es que se ha observado que el clima urbano, al menos en el caso de la ciudad de México, se ha tornado extremoso, paradójicamente, mientras la nubosidad declina, los fuertes aguaceros son más frecuentes, la insolación aumenta y las temperaturas son más altas, concentrándose en determinadas épocas del año. Una de las causas de esta manifestación se le atribuye al proceso de urbanización que ha sufrido la ciudad.

En cuanto al análisis general espacial, si examinamos el comportamiento de la insolación y la nubosidad (Mapas No. 2 y 5) y su distribución en el territorio nacional: a las regiones de menor nubosidad, entre 60 y 80 días con nublados al año, le corresponden valores de entre 2800 a 3000 horas anuales de insolación; en el caso de la isohelia de las 2400 horas, se relaciona con las isonefas de 100 a 120 días nublados al año. La más alta nubosidad anual se advierte con la isonefa envolvente de los 140 días, que abarca la llanura costera del Golfo de México, desde Tampico hasta Comitán, registrando los valores más altos en la isonefa que comprende los 220 días nublados al año en la zona de Orizaba; a esta región le pertenecen valores de insolación de entre 1000 a 2200 horas al año.

En la Región Centro Norte (Mapa No. 11), en las poblaciones de Aguascalientes, Lagos de Moreno y Guanajuato con valores arriba de las 2800 horas, le competen valores de entre 70 a 118 días con nublados.

Llama la atención el efecto de los factores geográficos en poblaciones ubicadas a una similar latitud como es el caso de Mérida, Tuxpan y Guanajuato (Tabla No. 2, Mapas Nos. 2 y 5) en estas poblaciones las diferencias entre los valores de los elementos estudiados son marcadas: Mérida 2544.8, Tuxpan 1921.2 y Guanajuato 2817.9, en insolación; en nubosidad: 86.6, 168.7 y 118 días al año, respectivamente; debido seguramente, a la influencia de los factores geográficos, entre los que podemos citar: el sistema de circulación general de vientos, la altitud, la continentalidad y los sistemas climáticos regionales que inciden en la zona, tales como Frentes Fríos (Nortes), Huracanes, Ondas Tropicales, Alisios del Noreste, Este y Sureste.

En cuanto a las temperaturas máximas, la isoterma de los 30°C abarca las llanuras costeras del Pacífico y parte de la llanura costera del Golfo, incluyendo todo el Istmo de Tehuantepec y la península de Yucatán, zonas, éstas, con climas

<sup>9</sup> Philip Eden y Clint Twist, *Miniguía Tiempo y Clima*, Publicaciones CITEM en edición conjunta con CONACULTA, imp. En Italia, 2001, pp. 54 y 80.

tropicales húmedos, donde el vapor de agua juega un papel muy importante en la retención y elevación de las temperaturas. Por todo el estado de Sinaloa, Sonora y la península de Baja California se extiende la isoterma de los 30°C, donde se ubican climas semiáridos, áridos y muy áridos. Mención especial merece la Cuenca del Balsas con temperaturas máximas de 34°C, una insolación de entre 2400 a 2600 horas anuales y un promedio de 50 días con nublados al año. En este punto, los factores altitud y continentalidad son evidentes puesto que se trata de una depresión intermontana que la aísla de la influencia marítima, a sotavento, donde como en otras regiones de nuestro país, encontramos climas áridos, e.g. la zona seca del estado de Puebla: el Valle de Tehuacán- Cuicatlán.

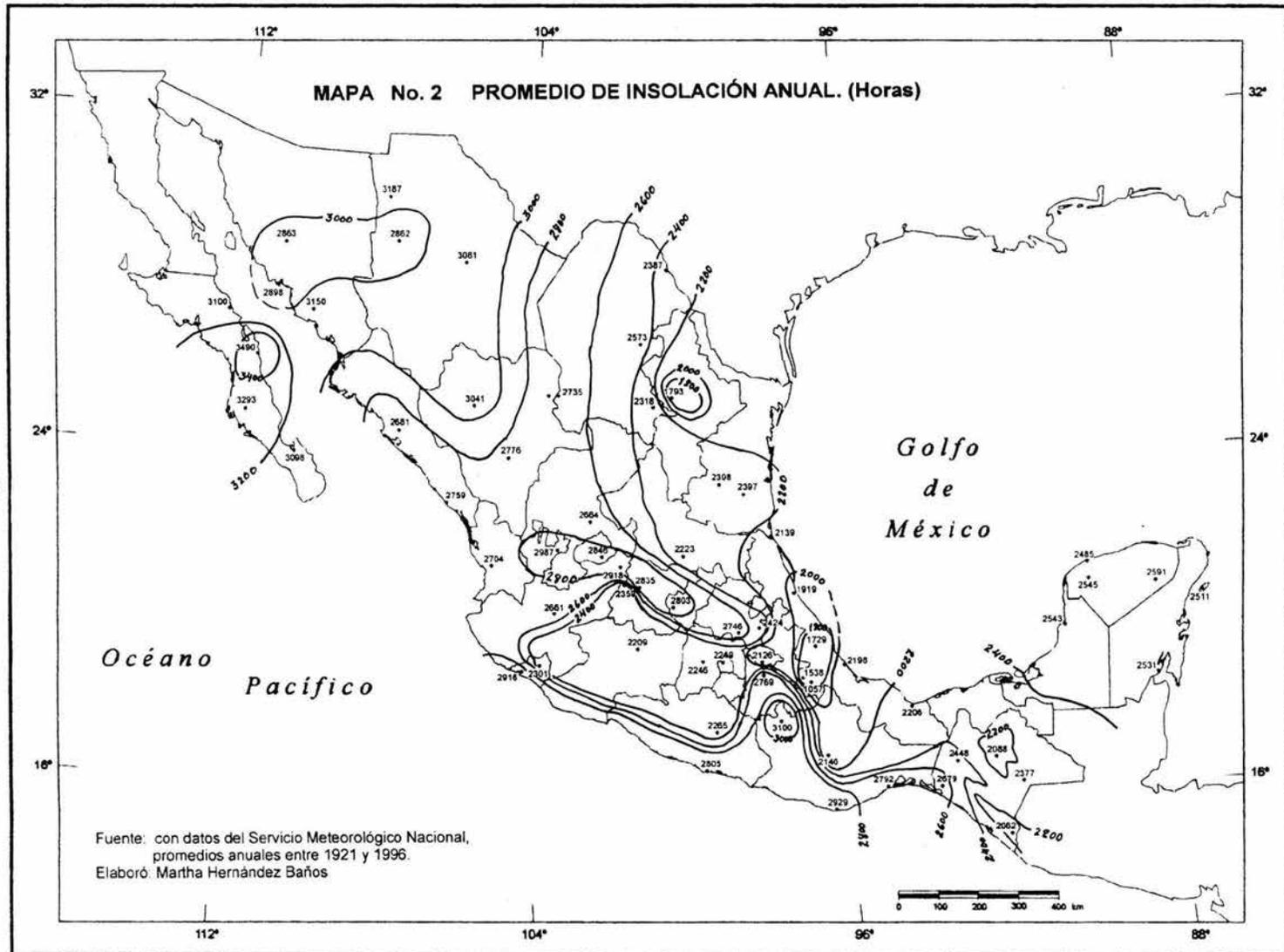
El cotejo entre la distribución espacial de la insolación y las temperaturas máximas realizado a través de la confrontación de los Mapas No. 2 y 8, no arroja resultados fehacientes de una relación directa; es posible apreciar que las zonas altas poseen menores temperaturas a las cuales corresponden valores de baja insolación, atenuada seguramente por la nubosidad; sin embargo, a grandes rasgos, en su distribución espacial, la relación entre insolación y temperaturas máximas no está claramente definida, no es factible establecer una relación directa entre insolación y temperaturas máximas. Desde luego, las temperaturas alcanzadas son producto de factores y elementos climáticos conjugados que dan por resultado un tiempo y clima determinados, donde la insolación juega un papel importante pero no único; como ya se mencionó, en la generación de calor intervienen diversos aspectos: la humedad, la nubosidad, el albedo, el efecto radiativo del océano, un relieve accidentado, la cubierta vegetal cercana y, entre otros, la afectación de diversos sistemas climáticos recurrentes o no, a lo largo de un año.



FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS  
COLEGIO DE GEOGRAFIA

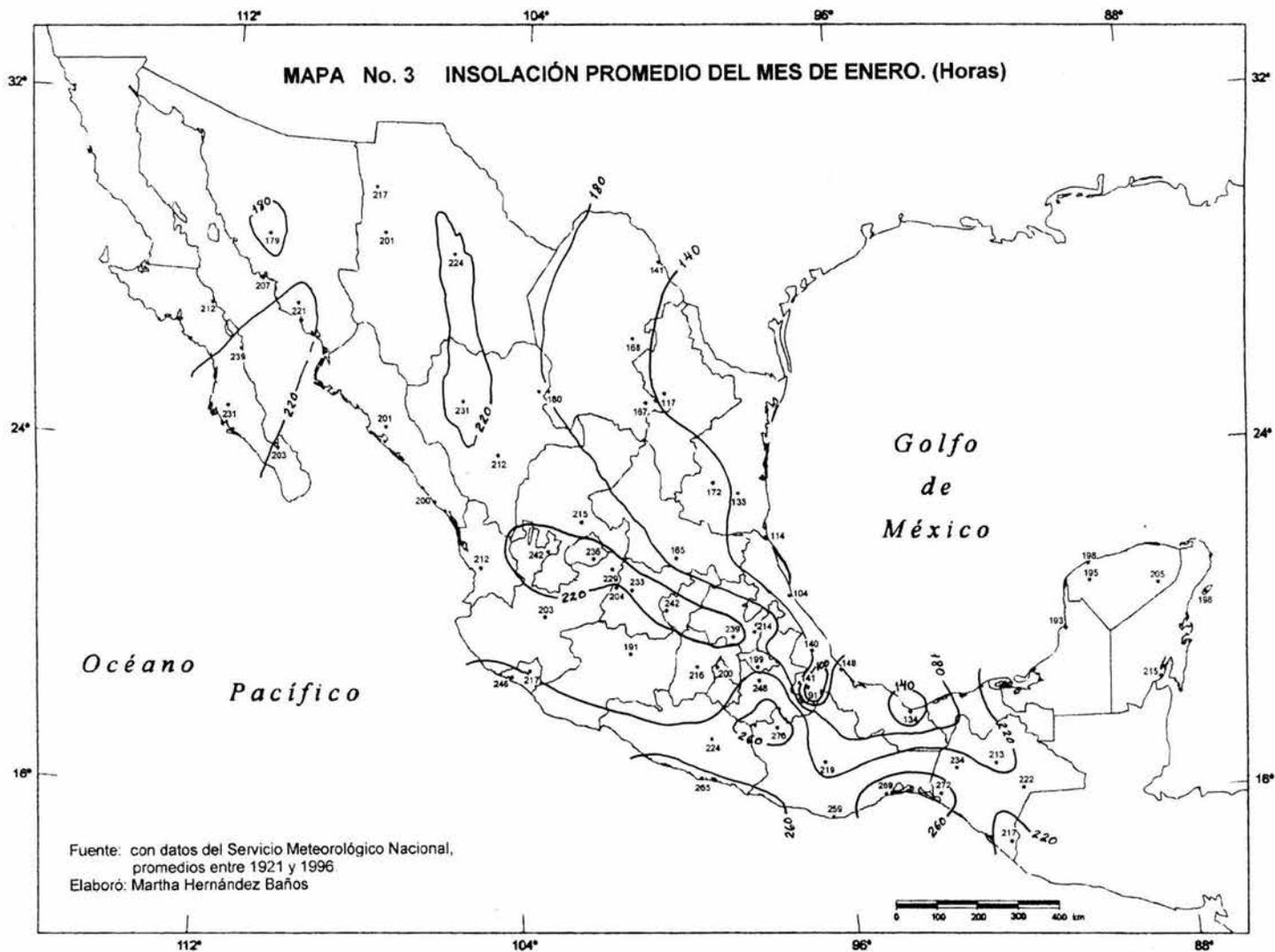
MAPA No. 1 ESTACIONES Y OBSERVATORIOS METEOROLÓGICOS CON DATOS DE INSOLACIÓN Y NUBOSIDAD





MAPA No. 3 INSOLACIÓN PROMEDIO DEL MES DE ENERO. (Horas)

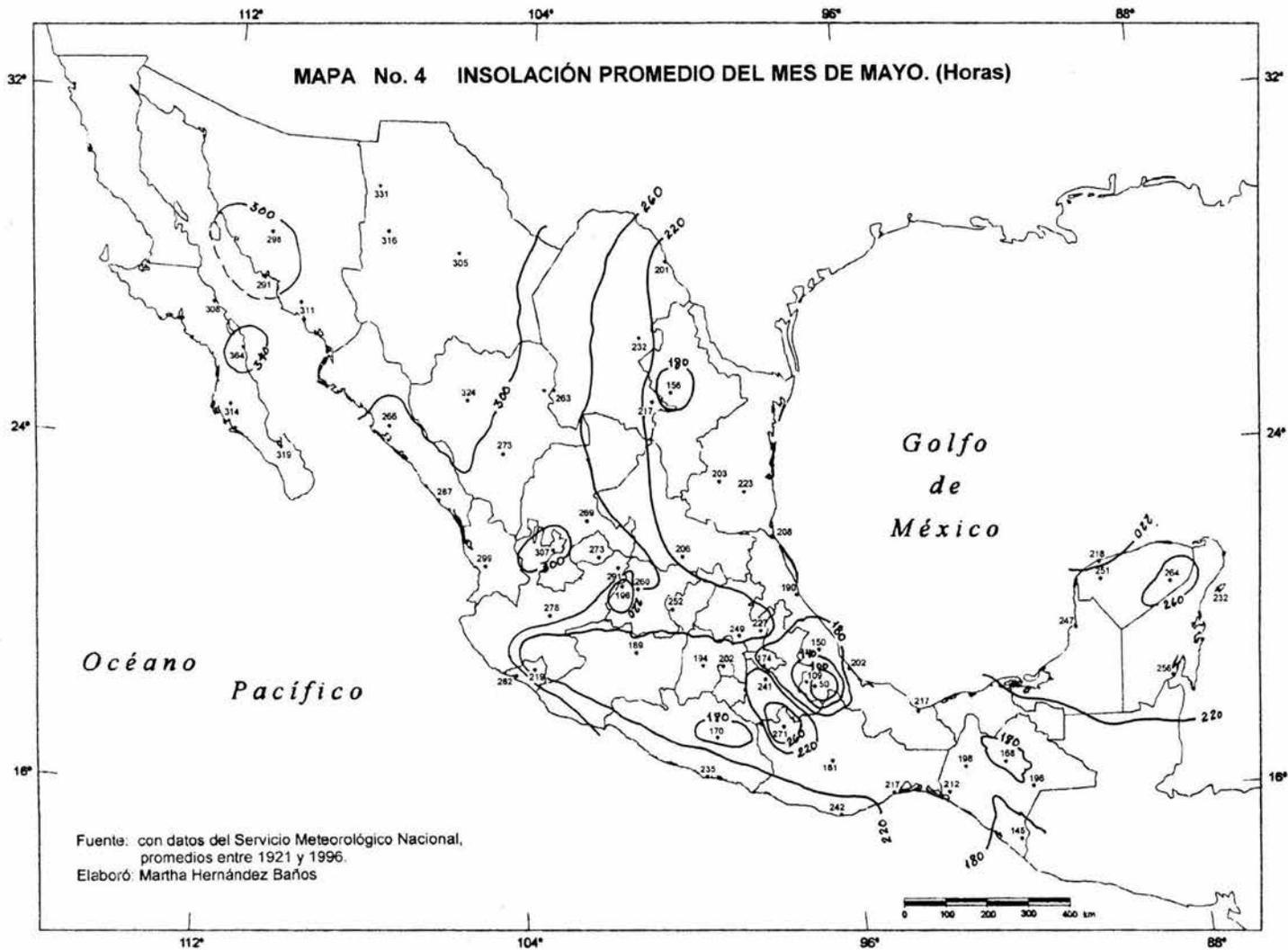
69



Fuente: con datos del Servicio Meteorológico Nacional,  
promedios entre 1921 y 1996.

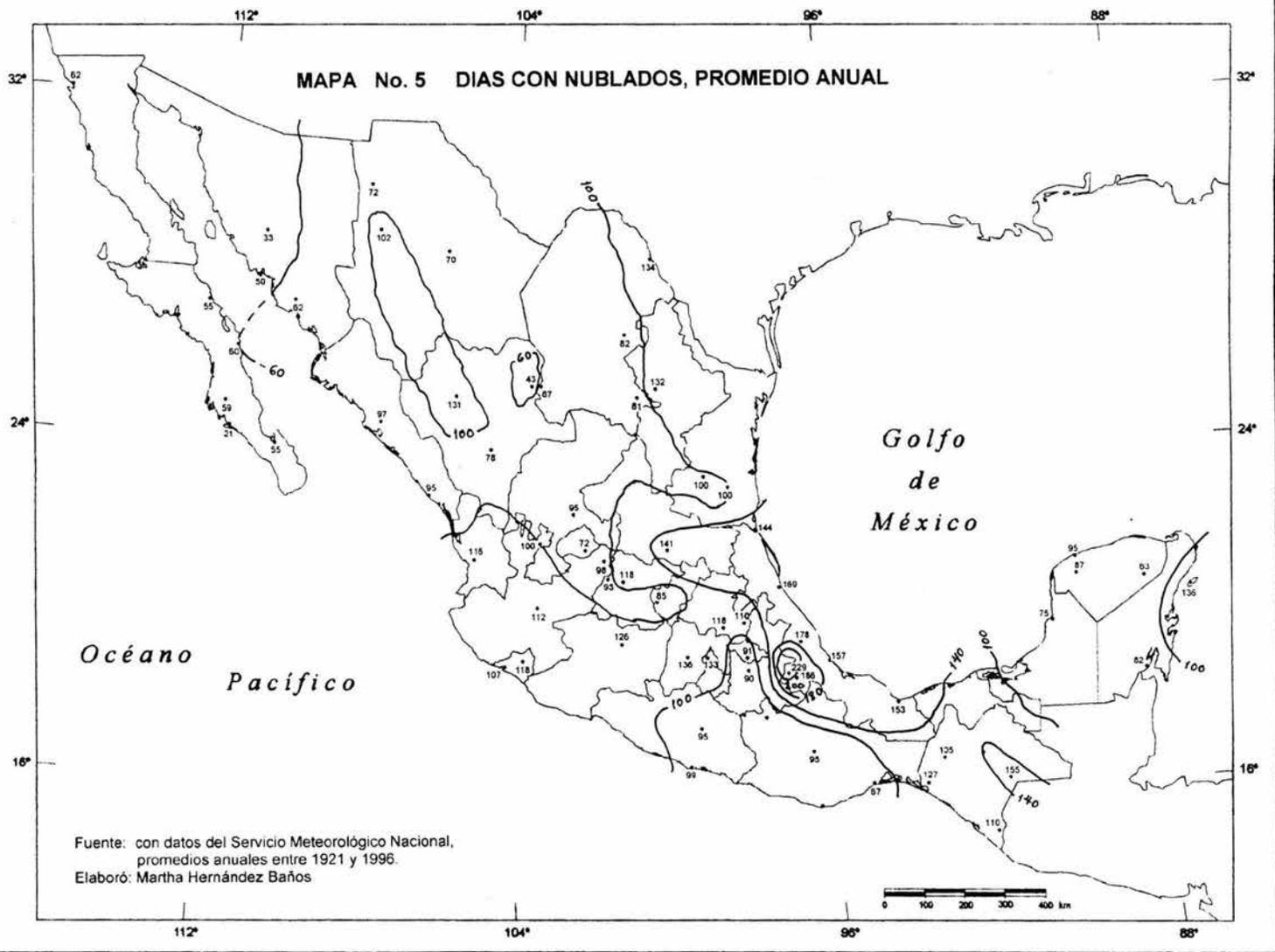
Elaboró: Martha Hernández Baños

MAPA No. 4 INSOLACIÓN PROMEDIO DEL MES DE MAYO. (Horas)

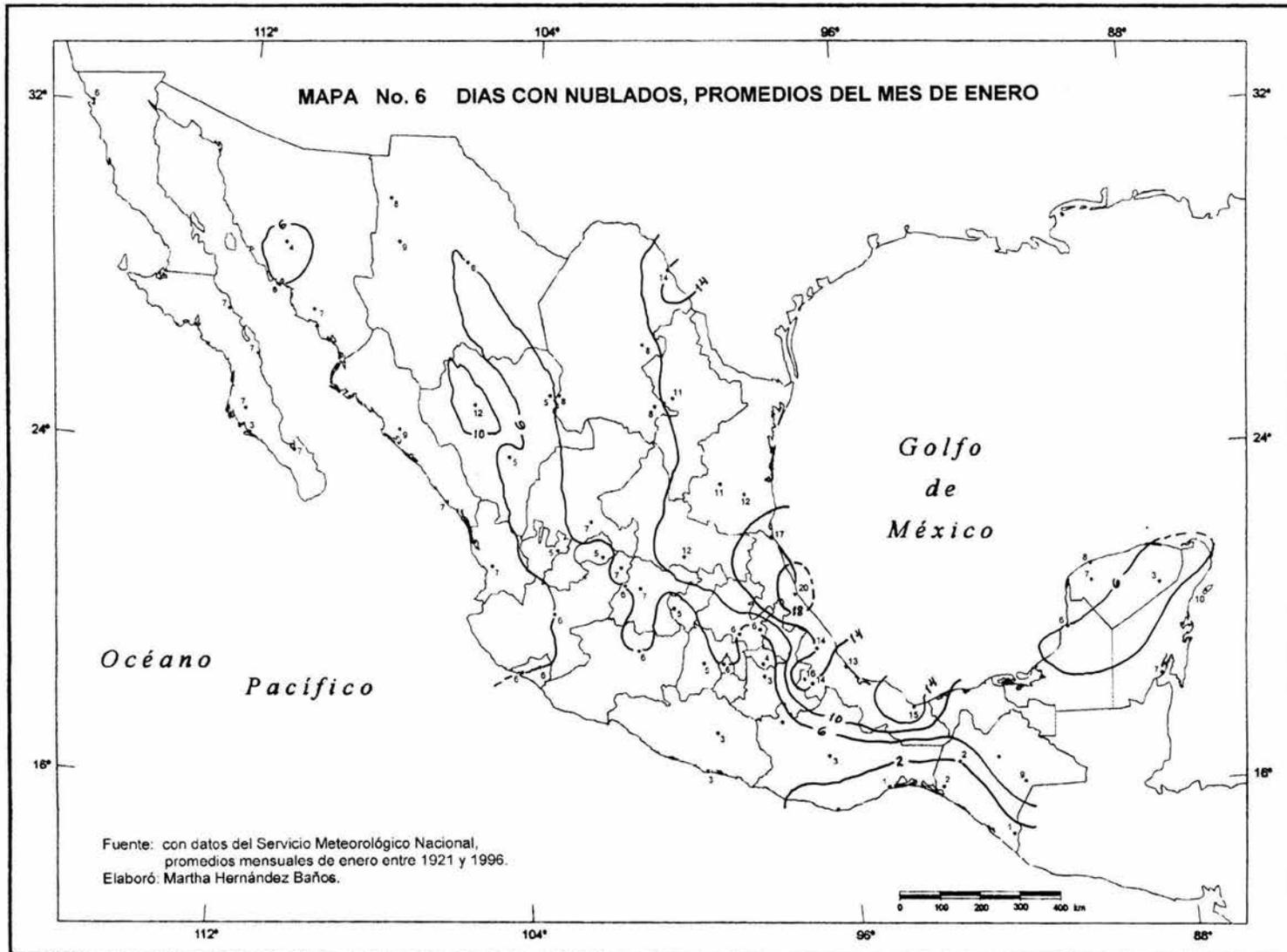


Fuente: con datos del Servicio Meteorológico Nacional,  
promedios entre 1921 y 1996.  
Elaboró: Martha Hernández Baños

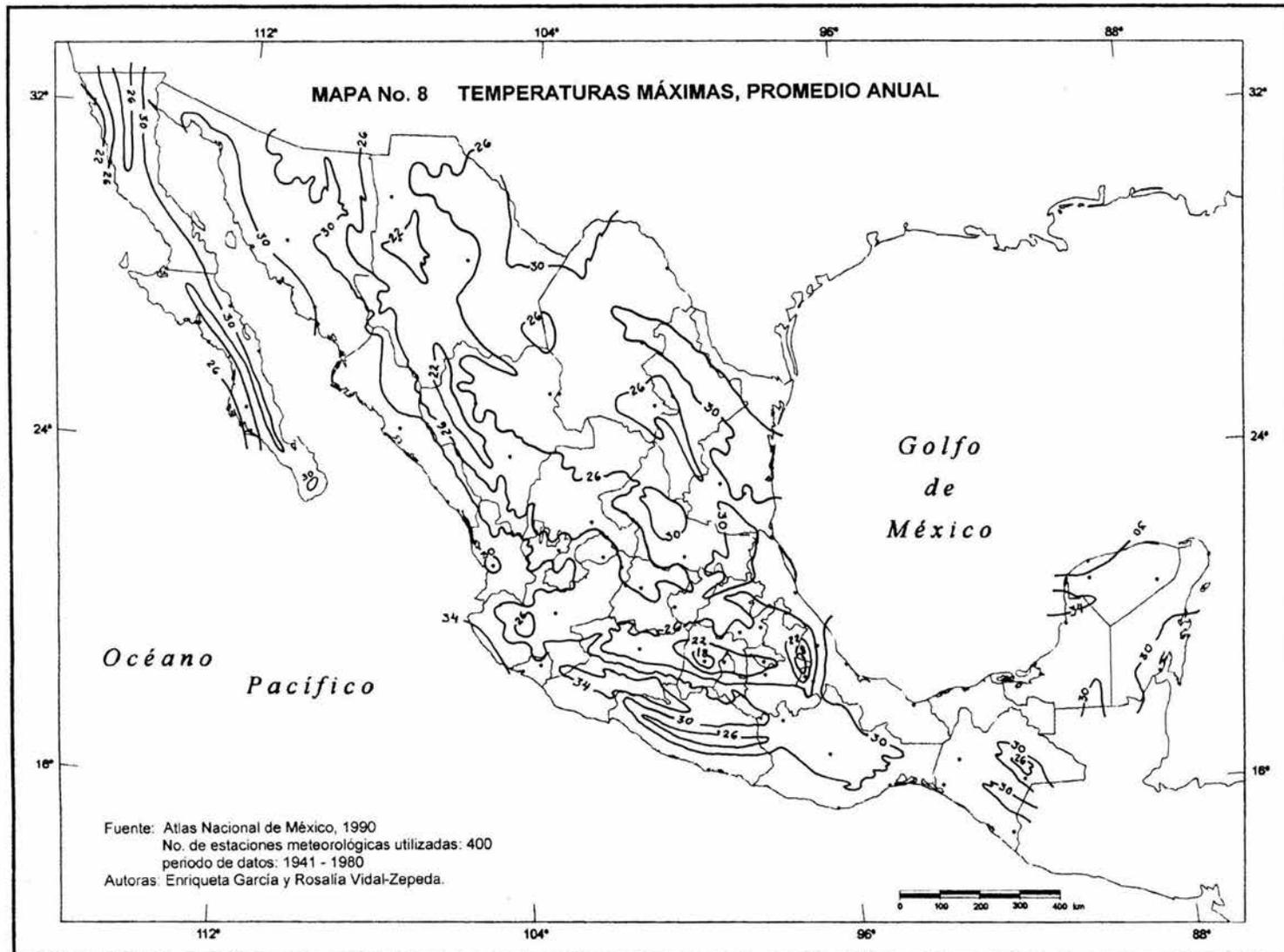
MAPA No. 5 DIAS CON NUBLADOS, PROMEDIO ANUAL

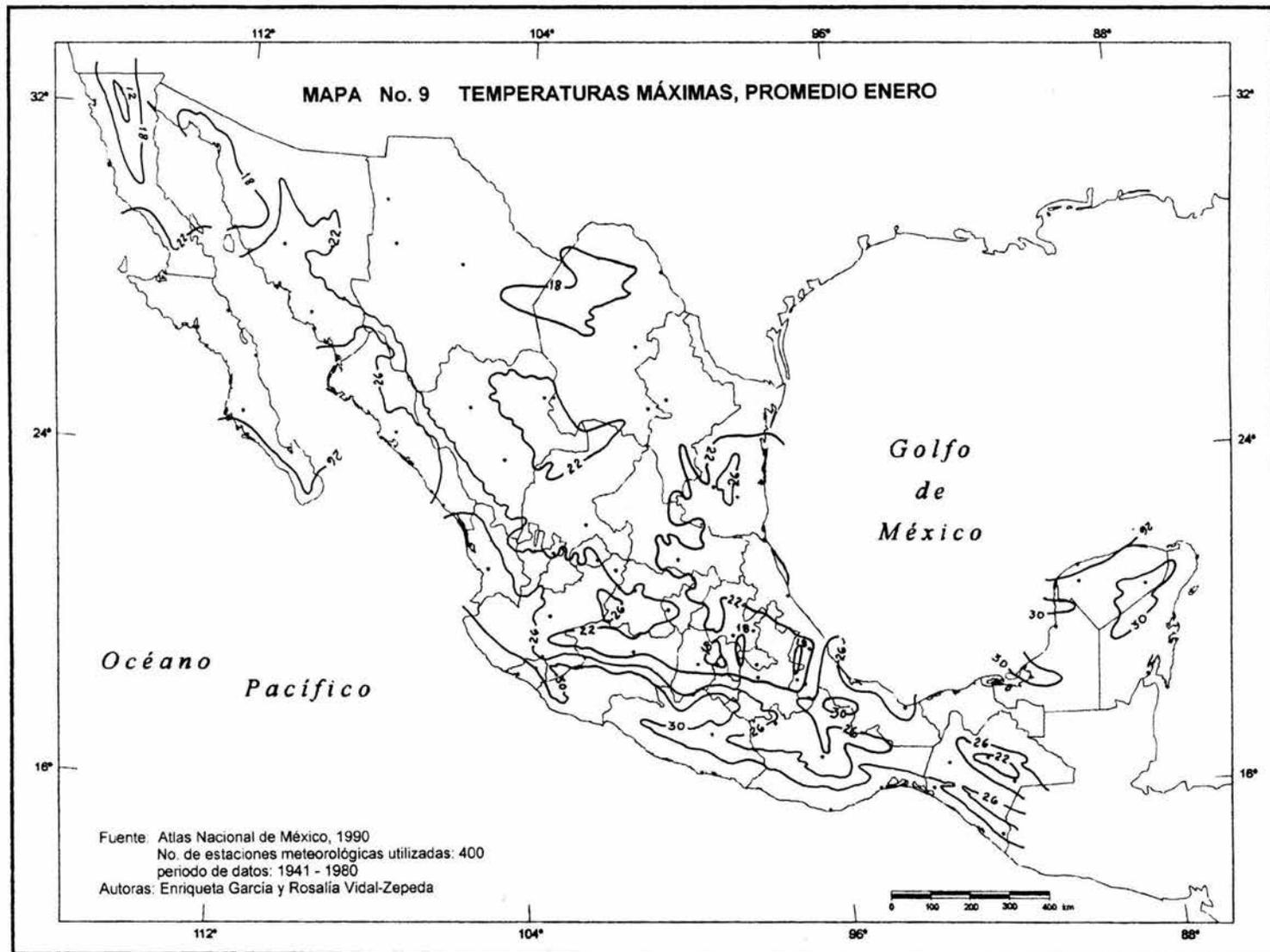


Fuente: con datos del Servicio Meteorológico Nacional,  
promedios anuales entre 1921 y 1996.  
Elaboró: Martha Hernández Baños

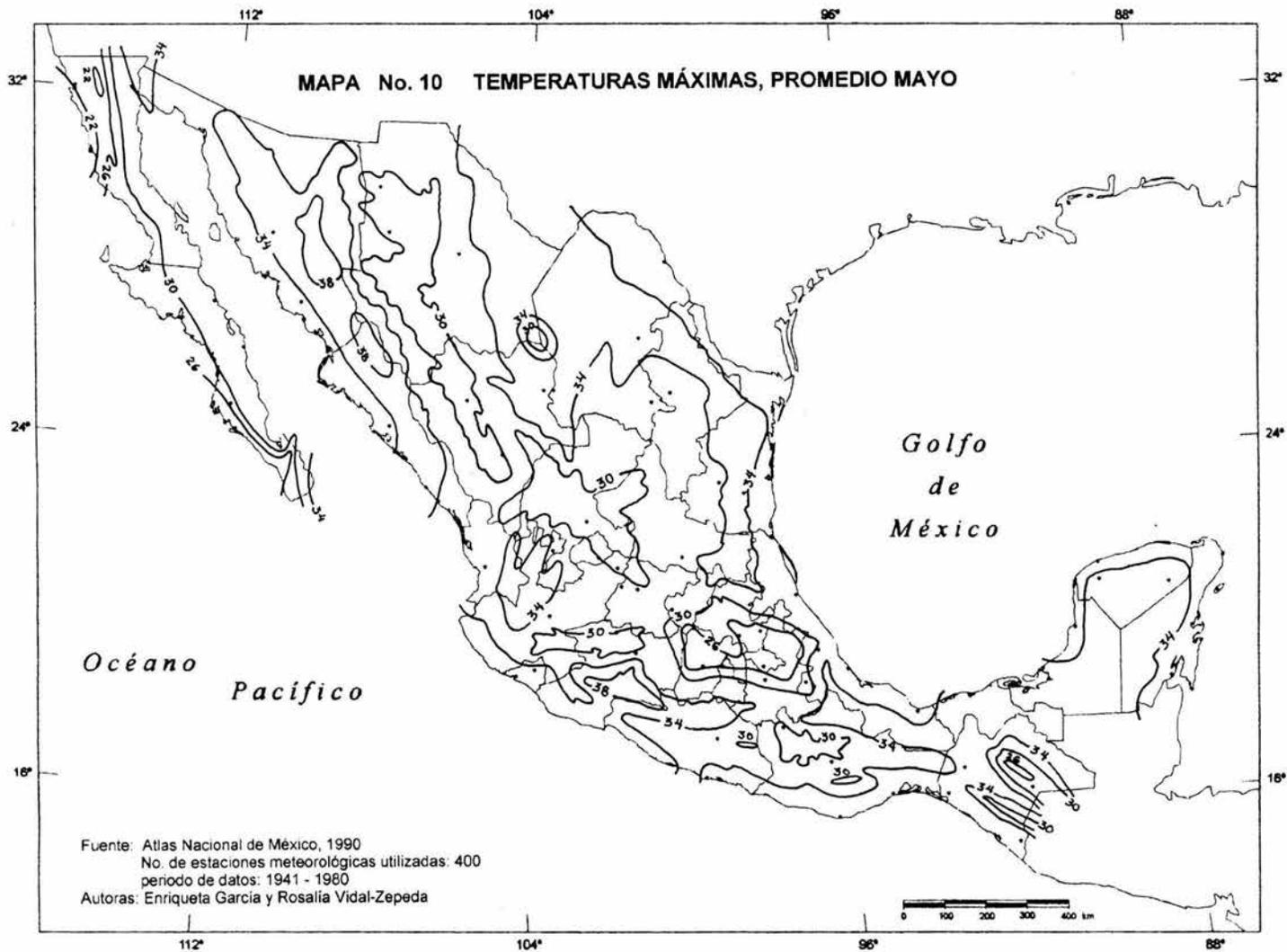




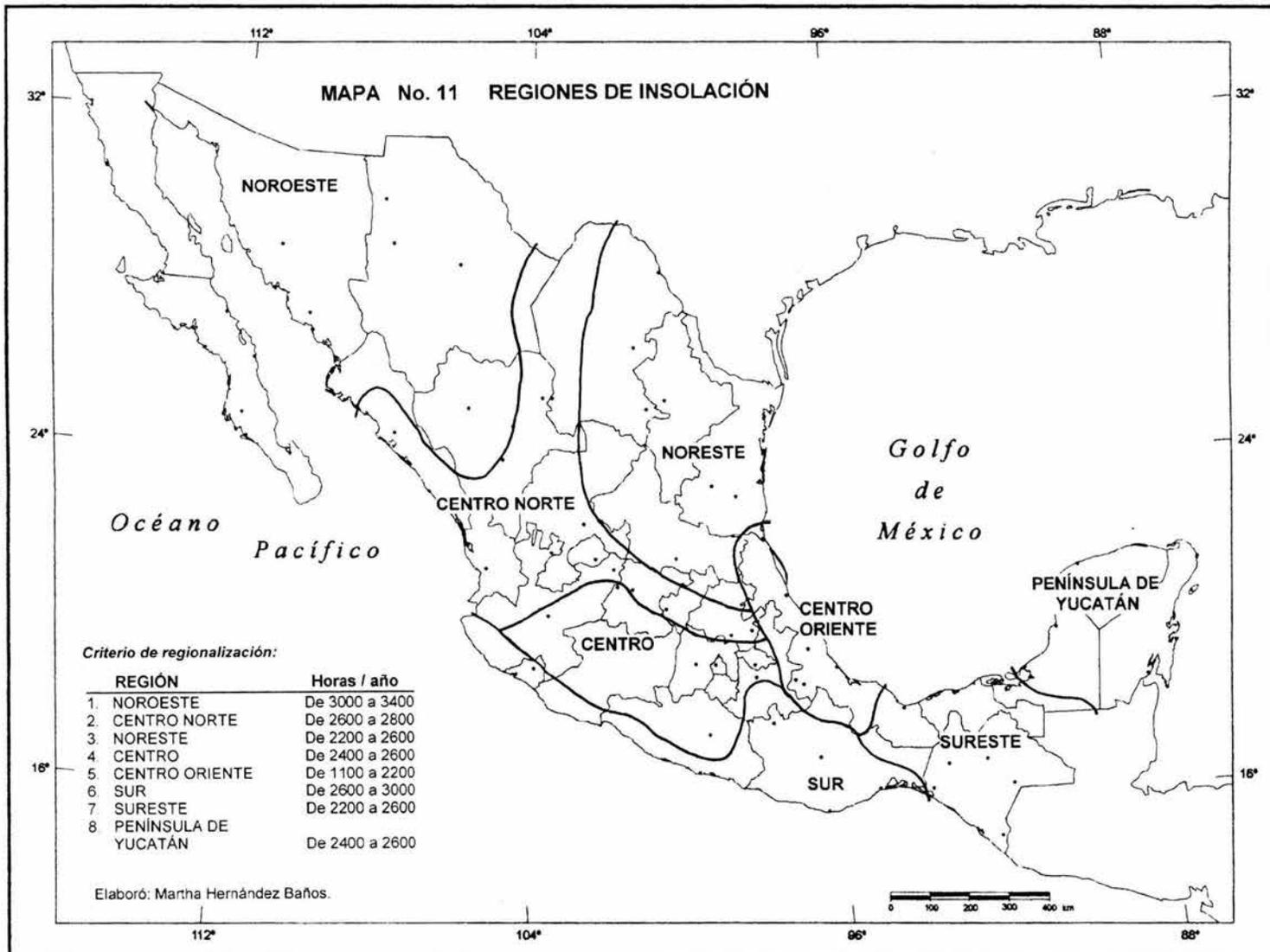




MAPA No. 10 TEMPERATURAS MÁXIMAS, PROMEDIO MAYO



Fuente: Atlas Nacional de México, 1990  
No. de estaciones meteorológicas utilizadas: 400  
periodo de datos: 1941 - 1980  
Autoras: Enriqueta García y Rosalía Vidal-Zepeda



**TABLA No. 4**

**PROMEDIOS DE INSOLACIÓN MENSUAL Y ANUAL, HORAS  
POR ESTACIÓN METEOROLÓGICA**

No.	ESTACIONES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1	Aguascalientes, Ags.	236.1	236.1	259.2	252.7	273.0	227.6	225.5	232.9	205.9	237.1	244.9	215.1	2846.0
2	Campeche, Camp.	192.6	205.4	228.9	229.3	247.4	208.1	219.8	234.2	193.4	208.0	191.9	173.4	2532.3
3	Ciudad Constitución, B.C.S.	230.8	234.1	275.8	287.3	313.9	326.0	307.8	284.7	290.5	283.2	242.4	218.3	3292.8
4	Ciudad Obregón, Son.	221.3	226.1	263.7	278.8	311.1	314.4	270.3	266.7	264.8	274.6	240.6	218.2	3150.4
5	Ciudad Victoria, Tamps.	172.4	171.2	204.4	189.3	203.5	239.1	241.0	242.1	202.3	201.9	180.1	150.5	2397.8
6	Coatzacoalcos, Ver.	134.1	137.4	203.7	229.5	217.0	201.0	222.5	217.5	183.7	179.5	153.6	126.2	2205.8
7	Colima, Col.	217.0	228.1	241.5	220.2	218.9	159.3	146.5	163.8	136.2	181.3	202.3	186.5	2301.4
8	Comitán, Chis.	222.3	207.4	241.8	209.3	196.1	162.1	204.9	203.9	165.6	166.1	191.7	205.8	2376.9
9	Culiacán, Sin.	201.1	201.5	246.7	235.4	266.3	241.2	207.3	211.1	206.0	241.3	228.0	195.4	2681.1
10	Durango, Dgo.	211.9	227.2	269.7	261.6	273.4	253.2	215.1	209.3	198.3	233.9	235.2	187.4	2776.2
11	Guadalajara, Jal.	203.3	230.6	264.4	263.2	278.5	207.1	189.9	206.9	189.1	223.1	219.8	184.9	2660.8
12	Guanajuato, Gto.	233.3	245.8	275.4	263.3	260.4	209.5	207.8	225.8	202.4	246.0	245.9	219.4	2834.9
13	Jalapa, Ver.	139.9	138.3	158.9	145.4	150.2	138.4	153.1	165.1	124.9	137.4	144.7	132.5	1728.8
14	La Paz, B.C.S.	202.6	235.4	270.5	285.0	319.1	314.2	275.9	257.5	251.2	272.3	229.5	184.4	3097.6
15	Lagos de Moreno, Jal.	229.2	239.1	274.5	285.4	260.9	235.1	218.4	236.6	210.3	238.2	246.1	214.5	2918.2
16	León, Gto.	203.9	213.2	221.7	203.3	196.6	176.6	169.6	191.8	172.3	210.5	206.1	193.8	2359.4
17	Loreto, B.C.S.	239.3	237.0	291.2	315.1	363.9	357.6	325.5	307.2	285.2	290.0	246.2	232.1	3490.3
18	Manzanillo, Col.	246.4	250.4	282.3	275.6	282.0	235.7	209.4	215.6	202.4	239.7	241.6	235.1	2916.4
19	Mazatlán, Sin.	199.8	210.2	250.1	253.7	287.5	258.8	216.2	225.4	201.6	239.8	224.4	191.4	2759.0
20	Mérida, Yuc.	194.8	186.1	223.2	227.4	251.4	219.6	230.0	232.8	195.9	201.4	193.1	187.3	2543.0
21	Monclova, Coah.	168.6	162.0	218.1	230.3	232.1	264.1	258.9	259.7	214.5	213.9	186.4	164.9	2573.5
22	Monterrey, N.L.	117.6	119.4	155.6	140.1	156.6	183.3	209.7	189.7	151.4	127.9	130.1	111.7	1793.2
23	Morelia, Mich.	190.7	203.8	220.0	200.7	189.2	160.0	152.0	170.8	151.9	190.9	192.5	187.0	2209.6
24	Nuevo Casas Grandes, Chih.	217.0	234.4	281.6	294.4	331.3	306.6	275.5	256.0	252.1	270.0	245.4	222.3	3186.7
25	Pachuca, Hgo.	239.4	235.5	254.7	229.1	249.2	210.7	216.4	230.9	186.9	227.7	236.1	230.0	2746.5
26	Piedras Negras, Coah.	140.7	160.3	199.3	195.4	201.5	241.8	275.4	270.9	213.5	197.0	153.4	137.7	2386.9
27	Progreso, Yuc.	198.5	190.5	203.8	195.8	218.6	212.7	230.7	232.5	203.8	210.5	194.9	193.8	2486.0
28	Puebla, Pue.	248.0	242.7	267.6	251.6	241.0	198.9	206.5	221.3	179.7	230.9	239.8	241.5	2769.5
29	Río Verde, S.L.P.	165.0	171.5	197.6	191.5	206.5	203.5	211.0	217.6	169.3	170.5	166.1	153.0	2222.9
30	Saltillo, Coah.	167.1	177.9	210.2	191.7	217.7	217.2	206.3	206.7	176.9	196.1	190.2	160.2	2318.0
31	Santa Rosalía, B.C.S.	211.9	230.8	279.2	275.4	305.2	290.8	273.6	259.9	273.0	269.5	230.1	200.8	3100.2
32	Soto la Marina, Tamps.	133.4	150.5	202.4	205.3	223.3	258.3	247.1	266.5	205.1	207.9	169.4	128.4	2397.6
33	Tacubaya, D.F.	199.8	211.9	243.9	204.0	202.1	165.2	160.4	171.0	142.5	177.2	186.0	185.1	2249.1
34	Tampico, Tamps.	113.9	125.9	175.1	181.8	207.8	233.0	211.5	229.1	188.5	207.2	161.2	104.3	2139.1
35	Tapachula, Chis.	217.3	193.3	187.9	147.4	144.9	137.2	162.4	164.5	136.9	170.4	196.8	203.2	2062.1
36	Temosachic, Chih.	200.9	214.0	256.5	288.6	316.1	253.8	227.0	212.6	216.6	242.9	229.2	203.9	2862.0
37	Tepic, Dgo.	231.0	250.3	297.4	294.3	324.0	271.3	210.7	230.3	206.3	259.5	257.5	208.4	3041.0
38	Tepic, Nay.	212.6	233.5	272.0	284.1	298.9	222.0	175.3	180.6	173.6	227.0	228.9	195.8	2704.2
39	Tlaxcala, Tlax.	199.4	190.2	195.0	158.4	174.3	150.6	153.7	158.4	150.6	194.7	205.1	195.9	2126.3
40	Toluca, Edo. de Mex.	216.3	209.9	227.5	195.9	194.1	154.8	158.3	163.4	144.6	180.0	197.8	204.0	2246.6
41	Torreón, Coah.	180.4	200.6	221.5	217.9	263.7	281.5	259.4	268.2	224.3	220.7	216.0	180.7	2734.8
42	Tulancingo, Hgo.	214.2	213.0	225.5	214.2	226.7	193.1	190.2	205.8	147.8	188.9	201.8	202.9	2424.0
43	Tuxpan, Ver.	104.6	112.3	164.9	169.8	190.1	177.7	190.7	217.9	170.0	171.6	150.0	99.8	1919.4

TABLA No. 4

PROMEDIOS DE INSOLACIÓN MENSUAL Y ANUAL, HORAS  
POR ESTACIÓN METEOROLÓGICA

No.	ESTACIONES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ANUAL
44	Veracruz, Ver.	148.6	162.5	180.1	187.2	201.8	207.3	201.1	228.7	178.1	190.2	168.7	143.5	2197.7
45	Zacatecas, Zac.	214.7	218.0	244.3	243.8	269.0	223.2	212.5	223.1	181.4	211.0	225.6	197.9	2664.4
PROMEDIOS		195.2	201.7	234.0	228.9	244.1	224.5	216.3	221.5	193.8	214.7	205.9	184.6	2565.1

Fuente: con datos del Servicio Meteorológico Nacional, de 1921 a 1996.

PROMEDIOS MENSUALES Y ANUALES EN EL SEGUNDO GRUPO DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS

No.	ESTACIÓN	años	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL	
1	Acapulco, Gro.	15	265.3	246.0	264.0	237.4	235.6	202.3	217.1	211.2	182.3	234.8	254.7	254.6	2805.3	
2	Arriaga, Chis.	10	272.0	256.4	266.9	239.6	212.3	161.0	193.5	189.1	156.3	225.8	245.7	260.1	2678.7	
3	Chetumal, Q. Roo	28	219.6	212.9	233.4	201.0	172.2	144.2	162.5	168.0	138.1	174.6	193.7	210.7	2230.9	
4	Chihuahua, Chih.	10	223.7	245.0	263.6	282.8	304.9	299.5	272.4	248.7	220.4	259.1	244.0	216.8	3080.9	
5	Chilpancingo, Gro.	28	219.6	212.9	233.4	201.0	172.2	144.2	162.5	168.0	138.1	174.6	193.7	210.7	2230.9	
6	Colotlán, Jal.	9	241.7	250.6	278.4	283.1	307.6	245.7	223.7	226.2	209.4	246.8	251.4	222.5	2987.1	
7	Córdoba, Ver.	19	91.2	83.8	82.4	57.3	50.5	103.4	114.9	124.3	85.7	96.6	86.4	80.8	1057.3	
8	Puerto Cortés, BCS						No hay datos									
9	Cozumel, Q. Roo	9	198.0	192.3	232.0	267.0	231.9	206.5	220.1	221.7	181.5	193.7	183.9	192.2	2510.8	
10	Ensenada, BC						No hay datos									
11	Guaymas, Son.	23	207.2	216.1	230.2	251.8	291.6	302.4	246.5	241.2	237.7	253.7	219.5	200.4	2898.3	
12	Hermosillo, Son.	9	179.6	178.2	227.5	231.7	298.0	283.8	268.7	279.7	239.9	257.3	221.3	197.1	2862.8	
13	Cd. Lerdo, Dgo.						No hay datos									
14	Oaxaca, Oax.						No hay datos									
15	Orizaba, Ver.	25	140.8	131.6	142.7	113.9	108.9	119.8	128.7	144.1	120.0	131.5	124.5	131.4	1537.9	
16	Querétaro, Qro.	11	241.8	237.7	268.4	264.2	252.1	208.5	213.8	225.1	210.7	235.3	231.5	213.6	2802.7	
17	Río Verde, SLP	28	174.3	171.0	197.3	188.5	208.5	191.4	207.4	210.8	166.8	169.9	158.2	158.6	2202.7	
18	Salina Cruz, Oax.	6	264.2	253.2	283.0	228.6	225.6	176.6	198.2	227.9	159.7	225.4	253.4	236.5	2732.3	
19	San Cristóbal de las Casas, Chis.	22	212.8	199.6	203.7	180.7	168.4	137.9	174.9	178.5	116.2	152.5	173.0	189.8	2088.0	
20	Tuxtla Gutiérrez, Chis.	16	141.0	194.2	185.8	142.6	163.8	137.5	160.4	165.3	120.5	150.4	168.4	153.2	1883.1	
21	Valladolid, Yuc.	10	204.7	204.3	246.3	246.2	264.4	201.8	210.7	208.0	183.9	212.4	204.5	204.3	2591.5	

Fuente: Normales Climatológicas 1951-1980, SMN

1	Oaxaca, Oax	219.1	214.5	221.8	173.6	181.3	135.3	147.2	140.9	116.4	178.2	207.8	210.2	2146.3
2	Acapulco, Gro.	261.5	246.9	264.6	228.8	223.6	195.9	221.2	220.5	178.6	227.4	252.6	255.1	2776.7
3	Puebla, Pue.	252.3	248.8	273.1	253.1	242.0	201.7	210.5	221.0	180.3	232.9	244.9	247.8	2808.4
4	Puerto Ángel, Oax	259.0	264.2	287.6	295.7	242.4	159.9	201.5	210.2	205.5	244.2	273.6	285.8	2929.6
5	Coatzacoalcos, Ver.	133.7	138.4	198.8	226.8	223.5	202.9	223.2	218.2	179.5	182.1	159.2	130.9	2217.0
6	Tuxtla Gutiérrez, Chis.	233.7	225.0	243.8	205.0	198.6	164.2	199.0	193.1	157.2	191.4	214.5	222.7	2448.2
7	San Cristóbal de las Casas, Chis.	199.5	192.8	195.6	177.6	161.8	127.4	171.5	176.9	122.1	156.7	175.2	189.1	2046.1
8	Salina Cruz, Oax	268.8	257.4	284.7	237.8	217.1	168.9	216.7	222.0	173.0	231.0	254.5	260.6	2792.5
9	Huajapan de León, Oax.	276.5	273.5	306.6	284.8	270.8	208.7	237.0	226.3	202.4	256.5	274.2	282.8	3100.0
10	Chilpancingo, Gro.	224.0	213.1	236.0	188.9	170.3	154.4	174.1	173.1	138.2	181.4	201.5	209.8	2264.7
PROMEDIOS		215.8	213.3	235.2	217.8	214.8	184.7	199.2	201.5	167.4	202.8	209.8	208.4	2470.8

Fuente: Dra. Ma. Engracia Hernández Cerda, Instituto de Geografía, UNAM.

Mes de mínima  
Mes de máxima

TABLA No. 5

**PROMEDIOS MENSUAL Y ANUAL, No. DE DIAS CON NUBLADOS  
POR ESTACIÓN METEOROLÓGICA**

No.	ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1	Aguascalientes, Ags.	5.6	3.5	3.3	3.6	3.6	7.6	10.7	9.1	9.5	5.6	3.6	6.0	71.7
2	Campeche, Camp.	5.9	4.1	3.1	2.4	3.8	9.5	8.4	8.8	10.8	7.1	5.7	5.6	75.2
3	Ciudad Constitución, B.C.S.	7.6	5.8	7.5	4.5	3.9	2.0	4.4	5.1	3.8	3.0	4.5	7.2	59.1
4	Ciudad Obregón, Son.	6.7	5.2	5.3	3.5	2.0	1.5	10.0	8.7	4.9	2.8	4.2	7.0	61.8
5	Ciudad Victoria, Tamps.	11.3	9.2	8.6	10.1	8.6	7.0	5.1	4.7	8.9	7.8	7.6	11.1	100.0
6	Coatzacoalcos, Ver.	15.1	11.1	8.7	6.9	7.0	14.5	15.5	16.3	16.3	14.4	12.4	14.6	152.8
7	Colima, Col.	5.7	3.3	3.6	3.9	5.5	15.8	19.8	19.0	19.0	11.0	4.8	6.3	117.6
8	Comitán, Chis.	9.2	7.0	6.5	8.2	12.8	20.7	17.2	16.3	20.4	17.0	10.0	10.2	155.5
9	Culiacán, Sin.	9.0	7.5	6.1	5.5	3.5	6.0	14.8	14.0	10.7	4.3	5.6	10.0	97.1
10	Durango, Dgo.	5.4	3.5	2.7	3.7	3.9	6.5	12.3	11.8	11.6	5.4	3.7	7.2	77.8
11	Guadalajara, Jal.	6.3	4.1	4.4	4.1	4.9	13.2	19.3	17.5	16.3	9.5	4.9	8.0	112.5
12	Guanajuato, Gto.	7.4	5.3	4.7	5.9	7.8	14.5	17.8	15.3	14.9	9.6	6.7	8.2	118.1
13	Jalapa, Ver.	14.5	13.0	12.6	12.2	13.5	17.4	15.9	14.9	17.8	16.3	15.0	15.3	178.1
14	La Paz, B.C.S.	7.0	4.7	4.1	3.7	2.2	1.1	4.7	6.9	5.5	3.1	4.5	7.7	55.0
15	Lagos de Moreno, Jal.	7.2	5.0	4.7	5.5	4.7	10.7	14.5	12.3	11.5	8.3	5.0	8.4	97.7
16	León, Gto.	6.3	3.5	4.9	4.0	6.4	9.6	14.0	13.0	11.1	8.7	4.1	7.5	93.1
17	Loreto, B.C.S.	6.9	5.8	5.7	4.0	1.8	0.7	5.4	6.8	4.8	4.4	5.4	8.4	59.9
18	Manzanillo, Col.	6.0	3.5	3.5	4.1	4.2	13.0	17.2	16.8	16.8	9.2	5.5	7.1	106.9
19	Mazatlán, Sin.	7.3	6.1	5.9	5.6	3.3	6.6	15.2	13.9	12.1	5.2	4.6	9.1	94.9
20	Mérida, Yuc.	7.3	5.2	5.1	4.5	5.8	9.8	9.2	8.4	10.7	7.7	6.3	6.8	86.8
21	Monclova, Coah.	8.4	8.0	6.9	6.7	7.6	4.3	4.9	5.7	7.1	6.5	6.8	8.8	81.8
22	Monterrey, N.L.	11.3	10.0	10.3	10.6	12.8	10.0	9.1	9.1	13.0	12.0	11.3	12.3	131.7
23	Morelia, Mich.	5.9	3.6	4.3	5.3	7.3	16.3	21.0	20.1	19.4	10.4	5.8	6.7	126.4
24	Nuevo Casas Grandes, Chih.	7.7	5.4	5.5	4.0	3.3	3.6	9.3	9.6	6.5	4.6	5.2	7.2	71.9
25	Pachuca, Hgo.	5.9	4.4	5.2	7.2	9.5	15.4	15.8	14.9	15.7	10.9	6.4	6.5	117.8
26	Piedras Negras, Coah.	14.2	11.8	13.1	12.9	14.9	9.8	6.9	6.8	9.9	10.2	10.7	12.8	133.9
27	Progreso, Yuc.	7.7	6.1	6.0	5.7	7.1	9.6	8.9	8.9	11.5	8.7	7.3	7.5	94.9
28	Puebla, Pue.	3.0	2.1	2.2	4.2	7.8	14.2	13.2	13.1	14.8	7.9	3.8	3.6	89.8
29	Río Verde, S.L.P.	12.0	9.6	10.0	9.9	10.6	11.5	13.3	11.4	14.9	12.9	12.1	12.9	141.1
30	Saltillo, Coah.	8.3	6.4	6.6	6.2	5.9	6.1	6.2	6.9	8.5	6.6	6.0	8.1	81.6
31	Santa Rosalía, B.C.S.	7.2	4.8	7.9	5.2	2.0	1.9	5.2	6.0	3.0	2.7	3.9	5.2	54.9
32	Soto la Marina, Tamps.	11.9	10.1	9.1	9.4	8.0	6.1	4.6	4.5	7.1	7.5	9.2	12.1	99.7
33	Tacubaya, D.F.	5.9	4.0	4.5	5.7	8.5	17.2	20.7	19.3	20.3	13.7	7.0	6.3	132.9
34	Tampico, Tamps.	17.3	13.4	13.2	11.5	10.3	8.8	9.3	9.1	11.8	9.9	12.9	16.3	143.7
35	Tapachula, Chis.	1.4	1.9	3.8	6.9	13.5	18.0	14.3	14.5	18.3	12.8	3.9	1.1	110.4
36	Temosachic, Chih.	9.3	6.0	6.5	4.6	4.6	8.4	17.6	17.3	9.3	5.3	5.6	7.9	102.4
37	Tepehuanes, Dgo.	12.5	8.5	7.1	9.2	7.4	9.3	17.5	16.1	16.0	8.6	7.9	10.4	130.6
38	Tepic, Nay.	6.7	4.6	3.9	3.7	2.8	12.2	21.4	20.4	19.6	9.3	4.2	7.1	116.0

TABLA No. 5

**PROMEDIOS MENSUAL Y ANUAL, No. DE DIAS CON NUBLADOS  
POR ESTACIÓN METEOROLÓGICA**

No.	ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
39	Tlaxcala, Tlax.	3.9	2.7	2.9	5.2	7.8	14.2	13.9	12.4	13.5	7.2	3.7	3.6	91.0
40	Toluca, Edo. de Mex.	4.9	3.9	4.1	5.9	10.3	19.2	22.0	20.7	19.7	12.4	6.4	5.8	135.2
41	Torreón, Coah.	8.4	6.8	6.3	7.4	5.7	5.4	9.1	9.3	8.0	5.8	5.5	9.1	86.9
42	Tulancingo, Hgo.	6.0	4.6	3.9	5.9	7.9	13.4	13.4	12.1	16.7	11.3	8.2	6.7	110.0
43	Tuxpan, Ver.	20.4	15.7	15.3	13.6	12.8	11.6	11.3	9.4	12.6	12.1	15.2	18.7	168.7
44	Veracruz, Ver.	13.7	11.0	10.1	9.0	9.0	14.7	16.7	15.0	16.8	13.9	12.9	14.0	156.7
45	Zacatecas, Zac.	7.2	5.4	5.0	4.8	5.5	9.4	12.6	12.3	12.8	7.3	5.1	8.0	95.4
<b>PROMEDIOS</b>		<b>8.4</b>	<b>6.4</b>	<b>6.3</b>	<b>6.4</b>	<b>6.9</b>	<b>10.2</b>	<b>12.7</b>	<b>12.1</b>	<b>12.5</b>	<b>8.7</b>	<b>6.9</b>	<b>8.7</b>	<b>106.2</b>

Fuente: con datos del Servicio Meteorológico Nacional

**PROMEDIOS MENSUAL Y ANUAL DEL 2o. GRUPO DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS**

	ESTACIÓN	años	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1	Acapulco, Gro.	29	2.9	2.2	1.8	3.3	5.7	15.8	17.0	15.8	16.7	10.3	4.0	3.4	99.0
2	Arriaga, Chis.	11	1.8	1.5	3.1	3.6	9.8	19.2	21.2	21.5	23.8	14.0	4.9	2.5	126.8
3	Chetumal, Q. Roo	28	0.7	0.5	0.5	0.8	2.2	7.2	8.0	8.0	8.1	3.9	1.4	1.5	42.7
4	Chihuahua, Chih.	28	6.0	4.5	4.8	4.8	4.4	4.7	11.1	9.2	8.1	4.5	4.2	4.4	70.6
5	Chilpancingo, Gro.	28	0.7	0.5	0.5	0.8	2.2	7.2	8.0	8.0	8.1	3.9	1.4	1.5	42.7
6	Colotlán, Jal.	10	5.2	4.7	4.5	4.1	5.5	11.1	16.3	15.6	14.4	7.1	3.6	8.4	100.4
7	Córdoba, Ver.	22	14.3	12.7	13.2	11.3	13.7	17.0	19.2	16.0	19.3	19.0	15.9	14.7	186.2
8	Puerto Cortés, BCS	24	3.6	2.3	1.9	1.3	1.8	0.6	1.8	1.5	1.0	1.7	2.3	1.7	21.5
9	Cozumel, Q. Roo	30	9.8	8.5	8.1	7.7	10.4	14.9	11.8	12.2	17.8	15.1	10.3	9.8	136.1
10	Ensenada, BC	25	6.0	5.2	6.1	5.7	7.3	6.0	5.1	3.6	4.0	4.0	4.0	5.2	62.1
11	Guaymas, Son.	24	5.8	4.7	3.7	3.7	2.5	1.7	7.8	6.3	3.0	2.0	3.7	5.3	50.0
12	Hermosillo, Son.	29	4.1	3.1	3.1	2.2	1.1	0.9	6.0	3.9	1.7	1.5	2.0	3.5	32.9
13	Cd. Lerdo, Dgo.	25	5.3	3.9	3.1	3.2	1.9	2.4	3.4	3.7	4.7	3.5	2.7	5.1	42.8
14	Oaxaca, Oax.	16	3.3	1.9	2.3	3.4	5.4	15.6	13.6	14.8	16.8	9.9	4.5	3.9	95.4
15	Orizaba, Ver.	25	16.3	13.7	13.8	15.1	16.9	23.9	23.6	22.8	24.0	23.0	18.6	17.3	228.8
16	Querétaro, Qro.	30	5.5	3.5	4.1	3.9	4.5	11.4	12.1	11.4	11.7	6.4	4.6	6.2	85.5
17	Río Verde, SLP	29	10.2	9.0	9.1	8.2	8.7	10.6	10.9	11.0	13.9	12.2	11.5	11.3	126.4
18	Salina Cruz, Oax.	25	1.4	0.9	1.7	2.3	4.1	14.1	11.0	10.1	12.2	6.1	1.5	1.5	66.9
19	San Cristóbal de las Casas, Chis.							No hay datos							
20	Tuxtla Gutiérrez, Chis.	21	2.4	2.0	2.2	3.8	7.8	18.4	15.7	16.0	18.4	11.4	5.0	2.5	105.6
21	Valladolid, Yuc.	11	3.5	3.6	3.0	3.3	4.7	8.4	5.0	6.7	9.4	6.5	5.2	4.0	63.3
<b>PROMEDIOS</b>			<b>5.4</b>	<b>4.5</b>	<b>4.5</b>	<b>4.6</b>	<b>6.0</b>	<b>10.5</b>	<b>11.4</b>	<b>10.9</b>	<b>11.8</b>	<b>8.3</b>	<b>5.6</b>	<b>5.7</b>	<b>89.3</b>

Fuente: Normales Climatológicas 1951-1980

Mes de mínima nubosidad  
 Mes de máxima nubosidad

TABLA No. 6

**PROMEDIOS DE TEMPERATURA MÁXIMA MENSUAL Y ANUAL, °C  
POR ESTACIÓN METEOROLÓGICA, DE 1951 A 1980**

CAPITAL DE ESTADO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM / ANUAL
1 Auascalientes, Ags.	22.3	24.0	27.0	29.0	30.8	29.2	27.2	27.0	26.3	25.6	24.6	22.2	26.3
2 Mexicali, B.C.	20.4	23.2	25.8	29.7	34.1	39.4	41.7	40.9	38.7	32.8	25.5	20.9	31.1
3 La Paz, B.C.S.	23.5	25.1	27.1	30.1	33.1	35.1	36.4	36.1	35.1	32.9	28.6	24.8	30.7
4 Campeche, Camp.	27.8	28.7	31.6	33.4	34.0	33.5	32.8	32.4	31.8	30.2	28.8	27.7	31.1
5 Saltillo, Coah.	19.7	20.7	25.7	28.1	29.9	30.1	29.4	28.8	26.5	24.7	22.2	20.2	25.5
6 Colima, Col.	31.2	31.7	32.9	34.2	34.7	33.5	32.3	32.0	31.0	31.4	32.1	31.1	32.3
7 Tuxtla, Gutiérrez, Chis.	30.4	31.7	33.5	35.4	35.3	33.8	32.7	32.5	31.8	31.0	31.0	31.0	32.5
8 Chihuahua, Chih.	18.1	20.1	23.5	27.4	30.9	33.5	31.6	30.5	28.6	26.0	21.5	18.1	25.8
9 Distrito Federal	21.2	22.9	25.7	26.6	26.5	24.6	23.0	23.3	22.3	22.2	21.8	20.8	23.4
10 Durango, Dgo.	19.3	21.2	23.9	26.9	28.7	29.4	27.0	26.3	25.2	24.2	22.3	19.1	24.5
11 Guanajuato, Gto.	21.2	22.7	25.4	27.3	28.2	26.5	25.0	25.0	24.0	23.9	22.8	21.1	24.4
12 Chilpancingo, Gro.	27.7	28.7	30.5	31.4	30.9	28.3	27.4	27.7	27.0	27.6	28.2	27.9	28.6
13 Pachuca, Hgo.	18.7	20.0	22.6	23.4	22.9	20.7	19.4	19.8	18.9	18.8	18.8	18.4	20.2
14 Guadalajara, Jal.	24.0	25.6	28.4	30.5	31.8	29.4	26.3	26.4	26.1	25.9	25.5	23.6	27.0
15 Toluca, Mex.	17.0	18.1	20.4	21.3	21.1	19.5	18.0	18.3	18.1	18.3	17.6	16.9	18.7
16 Morelia, Mich.	21.6	23.0	25.6	27.0	27.5	25.6	23.5	23.6	23.2	23.2	22.8	21.5	24.0
17 Cuernavaca, Mor	25.7	27.2	29.6	30.5	30.1	27.6	26.5	26.4	25.6	26.0	26.3	25.8	27.3
18 Tepic, Nay.	26.0	26.8	28.1	29.2	30.9	30.0	29.3	29.1	28.9	28.9	28.0	26.4	28.5
19 Monterrey, N.L.	20.3	22.6	26.3	29.8	31.3	33.1	34.1	33.7	30.7	26.9	22.7	20.6	27.7
20 Oaxaca, Oax	27.9	29.3	31.5	32.6	32.1	29.1	28.0	28.1	27.2	27.4	28.0	27.5	29.1
21 Puebla, Pue.	21.8	23.0	25.7	26.8	26.6	24.5	23.6	24.0	23.2	23.5	22.9	21.8	24.0
22 Querétaro, Qro.	23.3	24.7	27.7	29.7	30.4	28.7	27.0	27.1	26.1	25.5	24.6	23.0	26.5
23 Chetumal, Q. Roo	28.8	29.2	30.3	31.3	32.3	31.5	31.7	32.0	31.4	30.8	30.0	28.5	30.7
24 San Luis Potosí, S.L.P.	20.8	21.7	25.4	26.9	27.7	25.2	23.5	22.8	23.0	22.2	21.3	19.8	23.4
25 Culiacán, Sin.	27.7	29.3	31.1	33.5	35.3	36.1	35.9	35.3	35.0	34.4	31.8	28.6	32.8
26 Hermosillo, Son.	23.6	25.7	27.8	32.1	35.7	39.6	39.2	38.2	37.8	34.6	28.5	24.1	32.2
27 Villa Hermosa, Tab.	31.1	33.1	34.4	36.0	36.7	36.2	35.5	36.3	36.0	34.9	33.4	31.7	34.6
28 Ciudad Victoria, Tamps.	23.6	24.9	28.9	33.0	34.2	35.0	34.9	35.5	33.1	29.7	25.7	23.9	30.2
29 Tlaxcala, Tlax.	20.2	21.4	23.8	24.8	24.7	22.8	21.7	22.1	21.5	21.8	21.3	20.1	22.2
30 Jalapa, Ver.	19.7	20.5	23.4	25.5	25.9	24.8	23.9	24.5	23.9	22.5	21.2	20.0	23.0
31 Mérida, Yuc.	28.5	29.5	32.6	34.2	34.7	33.7	33.1	33.2	32.2	30.6	29.4	28.2	31.7
32 Zacatecas, Zac.	13.6	15.0	17.7	20.3	21.5	20.7	18.8	18.6	17.6	16.6	16.0	13.5	17.5
<b>PROMEDIOS</b>	<b>23.3</b>	<b>24.7</b>	<b>27.3</b>	<b>29.3</b>	<b>30.3</b>	<b>29.7</b>	<b>28.8</b>	<b>28.7</b>	<b>27.7</b>	<b>26.7</b>	<b>25.2</b>	<b>23.4</b>	<b>27.1</b>

Fuente: página en internet del Servicio Meteorológico Nacional (<http://smn.cna.gob.mx/>)

Mes de mínima

Mes de máxima

TABLA No. 4

**PROMEDIOS DE TEMPERATURA MÁXIMA MENSUAL Y ANUAL, °C  
POR ESTACIÓN METEOROLÓGICA, DE 1951 A 1980. 2o. GRUPO DE ESTACIONES**

ESTACIÓN	años	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM / ANUAL
1 Acapulco, Gro.	30	31.0	31.0	31.1	31.6	32.3	32.3	32.5	32.7	31.9	32.2	31.9	31.3	31.8
2 Arriaga, Chis.	11	32.6	32.8	34.2	35.0	34.8	33.3	34.2	33.3	32.3	33.0	32.6	32.1	33.4
3 Chetumal, Q. Roo	29	27.7	28.7	30.5	31.4	30.9	28.3	27.4	27.7	27.0	27.6	28.2	27.9	28.6
4 Chihuahua, Chih.	29	18.1	20.1	23.5	27.4	30.9	33.5	31.6	30.5	28.6	26.0	21.5	18.1	25.8
5 Chilpancingo, Gro.	29	27.7	28.7	30.5	31.4	30.9	28.3	27.4	27.7	27.0	27.6	28.2	27.9	28.6
6 Colotlán, Jal.	10	24.2	25.7	28.8	31.4	33.2	32.1	29.6	29.0	28.6	28.5	26.2	24.1	28.5
7 Córdoba, Ver.	22	22.9	24.0	26.0	29.0	29.3	28.6	27.1	27.7	27.2	25.8	24.1	22.9	26.2
8 Puerto Cortés, BCS	26	23.2	23.4	23.1	23.6	24.1	25.1	29.2	30.9	31.0	29.3	27.1	24.5	26.2
9 Cozumel, Q. Roo	30	28.6	29.1	30.9	32.0	32.7	32.4	32.6	33.0	31.9	30.7	29.7	28.6	31.0
10 Ensenada, BC	27	19.1	20.0	19.6	20.7	21.3	23.2	24.9	25.8	26.0	24.2	22.1	20.4	22.3
11 Guaymas, Son.	24	23.9	24.6	26.1	28.5	31.9	34.2	35.5	35.4	35.3	32.5	27.7	24.0	30.0
12 Hermosillo, Son.	29	23.6	25.7	27.8	32.1	35.7	39.6	39.2	38.2	37.8	34.6	28.5	24.1	32.2
13 Cd. Lerdo, Dgo.	25	21.6	24.1	28.0	31.9	33.9	34.4	33.4	32.6	30.6	28.1	25.1	21.7	28.8
14 Oaxaca, Oax.	17	27.9	29.3	31.5	32.6	32.1	29.1	28.0	28.1	27.2	27.4	28.0	27.5	29.1
15 Orizaba, Ver.	25	21.6	22.5	24.9	26.8	27.2	26.3	25.1	25.7	25.5	24.1	22.5	21.7	24.5
16 Querétaro, Qro.	30	23.3	24.7	27.7	29.7	30.4	28.7	27.0	27.1	26.1	25.5	24.6	23.0	26.5
17 Río Verde, SLP	29	23.5	26.1	30.1	32.8	34.0	32.3	30.9	31.2	29.3	27.1	24.7	23.0	28.8
18 Salina Cruz, Oax.	27	31.1	31.4	32.6	34.0	34.7	33.7	33.9	34.4	33.1	32.9	32.4	31.4	33.0
19 San Cristóbal de las Casas, C	28	20.6	21.4	22.9	23.5	23.1	21.8	21.9	22.1	21.1	20.9	20.7	20.5	21.7
20 Tuxtla Gutiérrez, Chis.	16	30.4	31.7	33.5	35.4	35.3	33.8	32.7	32.5	31.8	31.0	31.0	31.0	32.5
21 Valladolid, Yuc.	11	29.1	29.9	32.5	34.0	34.9	33.7	33.5	33.1	32.2	30.9	29.7	28.4	31.8
<b>PROMEDIOS</b>		<b>25.3</b>	<b>26.4</b>	<b>28.4</b>	<b>30.2</b>	<b>31.1</b>	<b>30.7</b>	<b>30.4</b>	<b>30.4</b>	<b>29.6</b>	<b>28.6</b>	<b>27.0</b>	<b>25.4</b>	<b>28.6</b>

Fuente: Normales Climatológicas 1951-1980

Mes de mínima

Mes de máxima

## CAPITULO IV

### APROVECHAMIENTO DE LA INSOLACIÓN, EFECTOS EN EL SER HUMANO

En el presente capítulo se mencionan algunos de los efectos físicos que causa en el ser humano la insolación, resultado de ésta tenemos a la radiación solar, elemento externo que juega un papel fundamental en la circulación general de la atmósfera y en la distribución climática; las consecuencias en el ser humano varían desde darle color a la piel, hasta ocasionar lesiones graves como el cáncer de piel; en modo contrario, la exposición en forma gradual y mesurada tiene efectos benéficos, como los baños de sol que fijan vitaminas y minerales en el cuerpo humano. Por otro lado, los usos posibles de este elemento como recurso energético son múltiples, al día de hoy, su potencial aún no ha sido explotado al máximo; su utilización significa sobretodo, el no dañar ambientalmente la naturaleza, cosa que sucede con otros tipos de energía que emplea actualmente el hombre.

#### A. Efectos en los seres humanos

Los efectos de los rayos solares sobre el hombre son muchos y muy diversos, es tema de un constante estudio tanto por científicos de la salud como por meteorólogos, incluso ha dado origen a la especialización y surgimiento de nuevas ramas del conocimiento como lo son la Geografía Médica, la Bioclimatología y la Biometeorología. Motivo de estudios actuales es la relación entre la actividad solar (manchas, viento, y perturbaciones solares) con la salud humana; se busca asimismo la relación entre actividad solar y fenómenos meteorológicos y por ende, sus repercusiones en el hombre, tanto en el corto como en el largo periodo.

La radiación solar contiene un amplio espectro de rayos de diversas longitudes de onda; aparte del espectro visible, el no visible consta de rayos infrarrojos, rayos ultravioleta (UV), rayos X y rayos gamma, entre los más conocidos; de éstos son los rayos UV los que pueden resultar dañinos para los seres vivos, sobre todo cuando su longitud de onda es baja.

La radiación ultravioleta es una radiación electromagnética cuyas longitudes de onda van aproximadamente desde los 400 nm, el límite de la luz violeta, hasta los 15 nm, donde empiezan los rayos X. (Un nanómetro, o nm, es una millonésima de milímetro).

La atmósfera terrestre protege a los organismos vivos de la radiación ultravioleta del Sol, si toda la radiación ultravioleta procedente del Sol llegara a la superficie de la Tierra, acabaría probablemente con la mayor parte de la vida en el planeta. Esta radiación es detenida en gran parte por la capa de ozono situada a

20 km. de altura, quien absorbe casi toda la radiación UV de baja longitud de onda y gran parte de la de alta longitud de onda

En los seres humanos, la exposición a esta radiación con longitudes de onda inferiores a los 310 nm, puede llegar a lesionar células generando quemaduras en las exposiciones intensas y de corta duración, o formaciones neoplásicas degenerativas (tumores y cáncer de piel) en las exposiciones prolongadas durante años; sin embargo, en dosis bajas, adecuadas a las necesidades del organismo, son indispensables para éste, pues permiten la síntesis del precursor de la vitamina D en la piel, que pasa al hígado y riñón y luego se transforma en la vitamina D, encargada de regular la fijación y asimilación del calcio en los huesos y por lo tanto, una osificación normal, sin la vitamina D se producen deformaciones en los huesos.

Al alcanzar nuestra piel los rayos ultravioleta provocan una reacción de defensa: la producción de melanina, pigmento que le confiere un color oscuro a la piel y genera un efecto de pantalla que evita los efectos nocivos de estos rayos; si la adaptación no tiene tiempo de manifestarse se produce una insolación, una quemadura de piel o pérdida excesiva de líquidos en el organismo, lo que puede conducir a una deshidratación.<sup>43</sup>

Un ejemplo de los efectos de la radiación solar es el condicionamiento ontogénico de la piel, el color de la misma; la pigmentación cutánea como consecuencia del asoleamiento, es producto de una adaptación ancestral y se manifiesta hereditaria y racialmente. En la población negra de EU se observó que el raquitismo era mucho más frecuente que en los blancos debido a que no recibían la cantidad suficiente de rayos UV que sirve para la síntesis de la vitamina D, provocada por la intercepción de su pigmentación. La carencia de esta vitamina se traduce en raquitismo, enfermedad de la primera infancia caracterizada por el retardo en la osificación de los cartílagos de crecimiento y en un estado general deficiente.

Otro efecto importante de los rayos UV es la llamada supresión dramática del sistema inmune, la exposición a esta radiación provoca la destrucción de células que alertan al sistema inmune contra agentes invasores, éstas se encuentran debajo de la epidermis, y el efecto es una alteración en este sistema; son especialmente vulnerables las personas de piel muy clara.

Los rayos ultravioleta se presentan en tres tipos de longitudes de onda:

UVA entre 320-400 nm esta longitud de onda penetra por completo la capa de ozono, no tiene mucha energía, pero entra en grandes cantidades; actualmente se ha demostrado que afecta la estructura de la piel porque penetra en mayor cantidad.

---

<sup>43</sup> Olivier, Georges, *La Ecología Humana*, Colección ¿Que sé?, 1ª. ed., publicaciones Cruz O., S.A., México D.F., 1993, p. 18.

UVB entre 280-320 nm, es casi por completo filtrada por la capa de ozono, pero la que penetra es muy peligrosa para los seres vivos.

UVC entre 200-280 nm, es filtrada por la atmósfera y no representa ningún problema.

En nuestros días con el adelgazamiento de la capa de ozono, estamos más expuestos a la influencia de la radiación solar, por lo que se deben tener cuidados especiales como el uso de protectores solares con el factor adecuado, para las condiciones de nuestro país se recomienda por lo menos +15 y no asolearse entre las 11:00 y 15:00 horas.

Buffon escribió: el hombre blanco en Europa, negro en África, amarillo en Asia, rojo en América, no es sino el mismo hombre teñido por el color del clima.<sup>44</sup>

Una de las consecuencias de la insolación es la absorción de la radiación solar por los distintos cuerpos o elementos del medio ambiente, ésta energía es acumulada hasta lograr cierta temperatura, variable de acuerdo a la constitución física y química de estos elementos; una vez que se alcanza dicha temperatura, es vuelta a emitir hacia el ambiente en forma de radiaciones de onda larga.

La temperatura es un factor ecológico fundamental; un organismo viviente funciona como una máquina térmica. Los seres humanos somos homeotérmicos: propiedad consistente en mantener la temperatura interna de nuestro cuerpo entre ciertos límites. Somos sensibles a variaciones de temperatura ambiental de algunos grados; cuando hace frío, se produce una reacción fisiológica común, disminuye la pérdida de calor periférica, y aumenta si hace calor; esto se produce por constricción o dilatación de los vasos sanguíneos subcutáneos; de esta forma se muestra la plasticidad de nuestro organismo ante la presencia de variaciones del medio. La adaptación verdadera y definitiva del ser humano a su ambiente se efectúa durante los procesos de termogénesis y de termólisis.

La termogénesis es la producción de calor, resultado de nuestra actividad metabólica a escala celular, mientras que la termólisis es la pérdida de calor; ella se efectúa a nivel de la superficie de nuestro cuerpo por radiación térmica (convección) y por evaporación de sudor (transpiración).<sup>45</sup>

Estos mecanismos inherentes al ser humano sugieren la adaptabilidad física del hombre al clima, de donde surge la diversidad racial que observamos; la Ley Scherider (1951) lo expresaba ya de esta forma: En las razas o especies homeotérmicas, el valor relativo de la superficie del cuerpo, en relación con el volumen o la masa, aumenta en los climas que, al menos durante parte del año fuerzan los mecanismos termolíticos. Esto puede resumirse en una frase: la superficie relativa del cuerpo aumenta en los países calientes y disminuye en los países fríos.

---

<sup>44</sup> Georges Olivier, *Op. Cit.*, p. 19

<sup>45</sup> *Ibidem.*, p. 20

De cualquier forma parece ser que no existe un determinismo geográfico bien comprobado, el mismo autor (Scherider) estima que en todos los fenómenos biológicos, existe una "anarquía residual", una parte que no se sabe interpretar actualmente. Por su parte, Rensch admite de un 10 a un 20% de excepciones a las reglas ecológicas, porque existe una complejidad de fenómenos diversos; ciertamente, la adaptación al calor no lo explica todo.

Otro autor: Roberts ha mostrado que existe una correlación negativa entre, por una parte, la temperatura anual y por otra, el metabolismo basal medio, la estatura y el peso de diversas poblaciones. Morfología y fisiología van pues, a la par. En tanto que el autor (Georges Olivier) ha mostrado que a estatura igual las poblaciones de los países cálidos aún tienen un tronco corto y miembros inferiores relativamente largos. De cualquier manera, con frecuencia, el conflicto entre factores adaptativos diversos y las vías de la selección natural son innumerables.<sup>46</sup>

Desde épocas pasadas se reconocía ya la influencia del clima y en general del medio ambiente en el hombre, el padre de la Medicina, Hipócrates, expresaba lo siguiente: para cualquiera que desee investigar medicina adecuadamente debe proceder de la siguiente manera: considerar la estación del año y los efectos que cada una produce. Después el viento, el calor, el frío y especialmente aquellos que son comunes a otros países y los que son particulares de cada localidad. Debemos considerar las cualidades del agua, ya que difiere en sabor, peso y cualidades. En el mismo sentido, cuando uno es extranjero en determinado lugar se debe considerar la situación del lugar, cómo se encuentra con relación a los vientos y a las puestas de sol y su orientación en los puntos cardinales.<sup>47</sup>

El doctor, Claudio Bernard, a mediados del siglo XIX, reconoce que las condiciones necesarias para la salud se centran tanto en el organismo como en el ambiente. La teoría germinal de la enfermedad consideraba la investigación de microorganismos, de influencias dietéticas y del ambiente físico.

Federico Sargento II puntualiza que los componentes atmosféricos del tiempo raramente están presentes en la misma proporción, lo que dificulta obtener modelos ambientales físicos exactos.

Por otro lado, la variabilidad de los organismos vivos no es menos simple debido a su bioquímica y fisiología individual. Fenómenos bioquímicos, fisiológicos y ambientales en los organismos vivos cambian en el tiempo y están regulados por el reloj biológico; la variabilidad puede ser durante el día (ritmo circadiano), por semana, por mes, por estación, por año o más; propiedades químicas de la sangre, funciones de órganos importantes, incluso el comportamiento del individuo pueden variar por grandes periodos.<sup>48</sup>

---

<sup>46</sup> Georges Olivier, *Op. Cit.*, p. 20.

<sup>47</sup> James A., Ruffner, and Frank E. Bair, , A review of some atmospheric factors in health and disease, *The Weather Almanac*, Gale Books, fifth edition, Detroit, Michigan, 1987, p. 176

<sup>48</sup> *Ibidem*.

El ritmo circadiano es modulado por el fotoperiodo ambiental, es decir por las fases de luz y oscuridad; éstas son percibidas por el ojo y enviadas a la glándula pineal, la cual segrega la melatonina, hormona que se difunde conforme al ciclo circadiano. Los biometeorólogos tienen claro que ciertos componentes de la atmósfera alteran la composición en hormonas y neurotransmisores que circulan por nuestro organismo, lo que perturba la bioquímica cerebral, la vasodilatación, la resistencia capilar, la función hormonal y en definitiva, el equilibrio corporal. El bioclimatólogo Javier Mantera explica que no es la temperatura, la humedad o el viento lo que hace que una persona sea meteorosensible, sino los cambios bruscos de las propiedades electromagnéticas de la atmósfera, es decir, el grado de ionización, de conductividad eléctrica del aire y el campo eléctrico.<sup>49</sup>

En algunos casos ha sido posible demostrar, por medio de procedimientos estadísticos apropiados, que cambios característicos en el medio ambiente atmosférico están correlacionados con el conjunto biológico; el evento biológico es identificado como meteorotropismo. El término se ha acuñado para referir la repetición de eventos relacionados con las alteraciones atmosféricas. La identificación y análisis de tales eventos biológicos es el objeto de estudio de la Biometeorología, su propósito fundamental es encontrar la variabilidad de las funciones del organismo debida a cambios ambientales atmosféricos.<sup>50</sup>

Entre las enfermedades más frecuentes directamente relacionadas con la insolación, tenemos las siguientes:

- La deshidratación, debida a la vasodilatación periférica que favorece la pérdida de agua por la piel en forma excesiva.
- Efectos sobre las proteínas y células cutáneas; manchas, envejecimiento, destrucción de células de la piel y DNA, reacciones cutáneas como enrojecimiento, comezón y quemaduras, cuya gravedad está relacionada con el color de la piel y al tiempo de exposición a los rayos ultravioleta.
- Los melanomas, tumores malignos (cáncer de piel) que se desarrollan en zonas expuestas de la piel por exposición prolongada al Sol.
- La ceguera parcial o total debido a lesión de la retina por exposición a la luz solar directa.
- La alteración en la producción y/o función de algunos glóbulos blancos, lo cual favorece el desarrollo de procesos infecciosos virales o bacterianos, y

En resumen, los efectos benéficos más relevantes de la luz solar en el hombre son los siguientes:

- Interviene en el metabolismo para la formación de vitamina D, que fija el calcio en huesos, previniendo el raquitismo en niños.

---

<sup>49</sup> Coperías, Enrique M., *Psicometeorología, Revista Muy Interesante*, año XVII, No. 4, ed. Televisa, México D.F., 2000, p. 28.

<sup>50</sup> James A. Ruffner, *Op. cit.*, p. 177

- Reacciones fotoquímicas que pueden ser positivas como la estimulación de la pigmentación y el proporcionar calor al cuerpo.
- Determinación de la actividad fisiológica del hombre por medio de los periodos de luz y oscuridad, como lo explica el referido ritmo circadiano; durante el día se estimula el sistema nervioso central por medio de fotorreceptores oculares que desencadenan algunas funciones en el organismo, mientras que por la noche, durante las fases de sueño profundo, se libera la hormona de crecimiento, la cual interviene en el desarrollo integral del organismo.

## B. Aprovechamiento

La energía solar tiene múltiples aplicaciones en la vida del hombre y representa un reto para el mismo obtener su máximo aprovechamiento y aplicación por medio del desarrollo de una tecnología adecuada, puesto que es una energía natural, su transformación y utilización no implica daño alguno al medio ambiente.

Algunos ejemplos de estas aplicaciones son los siguientes:

Estaciones meteorológicas tienen instalaciones automáticas abastecidas con energía solar, suministrada a través de paneles solares; pueden ser boyas meteorológicas que siguen a la deriva las corrientes marinas o estaciones terrestres cuyas lecturas se transmiten vía satélite a los centros de previsión del tiempo.

Satélites espaciales que llevan un gran número de celdillas solares por medio de las cuales convierten directamente la luz solar en electricidad.

Espejos utilizados para producir fuego en el proceso de evaporación de agua para la explotación de salinas. Para el calentamiento de agua, ya sea de uso doméstico, industrial o recreativo.

La radiación ultravioleta con longitudes de onda inferiores a 300 nm se emplea para esterilizar superficies debido a que elimina bacterias y virus.

Se ha utilizado para la producción de energía eléctrica y fusión de metales.

En usos domésticos su aplicación tecnológica se ha extendido en diversos aparatos, entre los que se pueden mencionar: calentadores domésticos para agua y ambiente, para albercas, en calculadoras, teléfonos, relojes, etc.

En otros lugares del mundo se ha aplicado esta tecnología con el fin de aprovechar la energía solar en usos muy específicos; por ejemplo, en Francia se han construido hornos solares que generan temperaturas cercanas a los 3000 °C; en EUA existen plantas solares que proporcionan electricidad a comunidades de hasta medio millón de habitantes;<sup>51</sup> en Japón se han instalado alrededor de ocho millones de calentadores para baño y en Israel medio millón de ellos, además de

<sup>51</sup> Teresa Ayllón, *Elementos de Meteorología y Climatología*, Trillas, México, 1996, p. 37.

estanques solares en el Mar Muerto para procesos industriales, generación de energía eléctrica y desalinización del agua de mar.

En México, concretamente, en los estados de Baja California, Sonora y Chihuahua, que, como se observó en el capítulo anterior, son los estados que poseen el mayor potencial de energía solar, se han hecho instalaciones en comunidades rurales, para la extracción de agua y la generación de energía eléctrica, debido a que su tecnología es muy sencilla. En Tlaxcala, Morelos y el Distrito Federal se han construido casas autosuficientes para producir la energía que consumen.<sup>52</sup>

De acuerdo a lo expresado por los climatólogos Barry y Chorley respecto a la recepción de la radiación solar en diferentes latitudes, se deduce que México posee una radiación solar dos veces y media superior a la de Europa o Estados Unidos de América.<sup>53</sup>

Lo anterior significa que la energía solar representa un recurso energético con un potencial enorme; debidamente aprovechada, a futuro tendrá la oportunidad de sustituir a otras fuentes energéticas, el ejemplo de su aplicación en otros países es un reto. México la puede hacer rendir como una tecnología alterna en la generación de energía eléctrica, ya sea para la transportación de agua del sureste tropical al árido norte o para la desalinización de agua de los océanos, en este caso, el Estado puede y debe utilizarla en el desarrollo económico y "sustentable" de la nación.

En nuestro país el sector eléctrico es uno de los más vulnerables, la generación de energía eléctrica es apenas suficiente para satisfacer la demanda interna; su generación por tipo de fuente es: por hidrocarburos (termoeléctricas) 73.94%, por medio de carbón (carboeléctricas) un 8.74%, nuclear (nucleoeléctricas), un 6.08%, es decir el 88.76% de la generación de electricidad produce algún peligro para el medio ambiente; el restante 11.23%, se reparte entre las hidroeléctricas con un 8.29%, geotérmicas 2.94% y eólicas con un 0.003% (información al 31 de marzo del 2003).<sup>54</sup> Estas últimas como fuentes compatibles con el medio ambiente; por lo que la opción de las helioeléctricas es todavía una tecnología alterna pendiente.

Actualmente la energía solar es considerada la fuente energética del futuro ya que es un recurso inagotable que no contamina y que resulta, a la larga, económico; su captación y almacenamiento son los retos tecnológicos que deben resolverse a corto plazo por el inminente agotamiento de los combustibles fósiles y por la lucha que a todos niveles, representa su posesión en el ámbito internacional.

---

<sup>52</sup> Teresa Ayllón, *Op. cit.*, p. 39

<sup>53</sup> Juan Carlos Gómez Rojas, y Jaime Márquez Huitzil, *Geografía General*, 2ª. México, Cultural, 1997, pág. 134.

<sup>54</sup> Página Web de la Comisión Federal de Electricidad, <http://www.cfe.gob.mx>

## CONCLUSIONES

Con base a investigaciones que sobre insolación y nubosidad se han realizado en otras latitudes<sup>1</sup>, la hipótesis de este trabajo surgió ante el planteamiento de que en un mundo cada vez más caluroso, la evaporación ha aumentado y por consiguiente la nubosidad; esta última modula de manera natural y directa a la insolación.

Los objetivos del estudio quedaron satisfactoriamente cubiertos con los productos resultantes: gráficas, mapas, cuadros, análisis comparativo de los tres elementos y correlaciones, lo cual se sintetiza en la regionalización elaborada a partir de la insolación. In extenso del trabajo, en particular en el capítulo III, apartado C, se demuestra que para la hipótesis a) la existencia de una relación inversa de carácter y evolución temporal entre insolación y nubosidad, es confirmada en treinta y una de las cuarenta y cinco estaciones, el 69%; en cambio, se aprecia una correlación directa en catorce estaciones, el 31%, como se aprecia en la Tabla No. 2. Lo anterior significa que conforme la insolación se ha ido incrementando, la nubosidad ha decrecido o viceversa. La correlación no llega en ninguno de los casos a  $+ - 1$ , siendo únicamente siete las estaciones que se encuentran por encima de  $-0.6$ .

En lo que respecta a la hipótesis, b) a mayor insolación, mayores temperaturas, la comparación espacial entre los mapas de insolación y los de temperaturas máximas no comprueba categóricamente la hipótesis. Entre otras cosas porque en la generación o elevación de las temperaturas no intervienen únicamente la incidencia de los rayos solares, sino otros factores geográficos como la altitud, la humedad del viento y la cubierta vegetal. Considerando que entre los datos de insolación y los de temperaturas máximas no se realizó un análisis profundo y exhaustivo como entre la insolación y la nubosidad, no fue posible establecer una relación directa y fehaciente entre estos elementos.

En el análisis de las líneas de tendencia graficadas en las cuarenta y cinco estaciones, los resultados expresan que en 22 estaciones, el 48.9% de los casos, la insolación y la nubosidad aumentan al unísono; en dos casos, disminuyen al mismo tiempo y en veintiún estaciones, el 46.7%, mientras una aumenta, la otra disminuye, o viceversa. Estas consideraciones se hicieron a partir de la inclinación de la línea de tendencia trazada en las gráficas y del valor de "y" en la fórmula adjunta a todas ellas, que indica el crecimiento o decrecimiento de la serie de datos.

---

<sup>1</sup> A. Henderson - Sellers, "Increasing Cloud In A Warming World." *Climatic Change*, 9, 1986, pág. 267-309.  
R. Weber, "Spatial and Temporal Variation of Sunshine in the Federal Republic of Germany", *Theoretical and Applied Climatology* 41, 1990, p. 1-9, y J.K. Angell, J. Korshover and G.F. Cotton, "Variation in United States Cloudiness and Sunshine, 1950-82", *Journal of Climate and Applied Meteorology*, volume 23, May 1984, p. 752-761.

Es el análisis de correlación entre la serie de datos de Insolación y Nubosidad el que ofrece, de acuerdo a la hipótesis, la mayor aproximación a la relación inversa, casi el 70% de los casos, un resultado aceptable para el universo de datos y para la forma y condiciones en que son recabados.

Entretanto, en el segundo grupo de estaciones y gráficas consideradas en el apartado B del capítulo III, en general, las líneas de temperaturas máximas y de insolación siguen la misma trayectoria, contraria a la de nubosidad, que se contrapone a la de la insolación en crestas y bases.

Ahora bien, el estudio de Angell<sup>2</sup> advierte acerca del ser cuidadosos en generalizar los resultados a escalas y tiempos mayores, y particularmente, relacionar el incremento de nubosidad en EUA, a cualquier efecto de CO<sup>2</sup>. Señala que a futuro, el uso de datos satelitales para delinear la extensión espacial de los cambios de nubosidad, como el registrado en EUA entre 1950 -82, será uno de los propósitos del Proyecto Internacional Satelital de Climatología de las Nubes.

Por su parte, Weber<sup>3</sup> (Variación espacial y temporal de la Insolación en la RFA), relaciona la insolación con otros parámetros climáticos con los que no encuentra correspondencia alguna y finalmente concluye que la baja de la insolación presentada en Alemania, es atribuible a los cambios a gran escala en las características de la circulación general, en tanto que la distribución regional de la insolación está relacionada con la topografía y los patrones predominantes de la circulación atmosférica.

Por consiguiente, independientemente de la existencia en poco o mayor grado de relación entre los parámetros estudiados, es evidente que el método de medición de la nubosidad es altamente inconstante y subjetivo, esto explicaría gran parte de esa inconsistencia. En un futuro próximo inmediato, el estudio de la nubosidad debe considerar la nueva Climatología Satelital de Nubes, incluyendo al Nephánálisis; el empleo de estaciones satelitales tanto como la continuidad de las observaciones terrestres.

Queda por comprobar, a través de métodos modernos de medición que muestren mayor confiabilidad y precisión, la existencia de una mayor aproximación inversa entre Insolación y Nubosidad, esto podría lograrse a través de un análisis prospectivo que otorgue mayor certeza a los datos; para el efecto, sería necesario contar con equipos de medición e instrumentos de mayor sensibilidad; es decir, poseer una infraestructura y una tecnología actualizada en la medición y registro de las nubes y de la insolación.

En tanto a su distribución geográfica, la regionalización plantea una base para su utilización y aprovechamiento en actividades humanas. La tendencia de la

<sup>2</sup> J.K. Angell, J. Korshover and G.F. Cotton, "Variation in United States Cloudiness and Sunshine, 1950-82", *Journal of Climate and Applied Meteorology*, volume 23, May 1984, p. 752-761

<sup>3</sup> R. Weber, Spatial and Temporal Variation of Sunshine in the Federal Republic of Germany, *Theoretical and Applied Climatology* 41, 1990, p. 3.

insolación y la nubosidad interesa a propuestas ecologistas o ambientalistas, a especialistas de ciencias como la Biología, la Geofísica y la Economía, de esta manera, el conocimiento de su trayectoria sirve en el pronóstico y planeación de actividades humanas en regiones donde se incremente o no su incidencia. La insolación es un factor que incumbe a la agricultura, al turismo, a la industria eléctrica, debido a sus aplicaciones y aprovechamiento, incluso a la Medicina, a fin de prevenir consecuencias en la piel, en lugares de alta incidencia.

Por su parte, el turismo es generador de divisas en México y promueve el desarrollo social y económico para lo cual se requiere información climatológica entre las que se destaca además de la temperatura y los días con lluvia, las horas de insolación y número de días soleados al año, tanto como su ubicación geográfica.

La información sobre la radiación solar y horas de insolación de una zona, es básica en la planeación de tipos de cultivos y épocas de siembra, igualmente, otra importante consideración es la referente al futuro de la agricultura y a la participación de ésta en el PIB de los países así como el grado de afectación que un aumento o disminución en la insolación provoquen sobre esta importante actividad económica.

En cuanto a la conveniencia de los estudios de insolación, junto con los de radiación, éstos son la base para el aprovechamiento del recurso solar en el país, puesto que a través de una tecnología alterna es posible convertir esa energía luminosa en energía eléctrica; aunque este campo no este lo suficientemente explotado, por la simple razón de que la economía mundial privilegia todavía, la energía obtenida a través de los hidrocarburos debido al gran interés de las compañías petroleras de continuar explotando ese recurso y mantenerlo vivo en el ambiente y la economía mundial.

La energía solar ofrece las ventajas que requiere el desarrollo sustentable y en este caso, son los países que reciben mayor insolación los potencialmente más ricos. Falta todavía que esta tecnología sea reconocida y utilizada para que represente esa alternativa, puesto que aún no figura como generadora importante de energía eléctrica en nuestro país.

De cualquier manera, el potencial de energía solar que tiene nuestro país es bastante grande y deberá ser aprovechado a mediano o largo plazo una vez que la tecnología solar represente una competencia a los energéticos actuales, o un recurso paralelo que ofrezca ser una alternativa real y una respuesta ambientalista a las necesidades humanas.

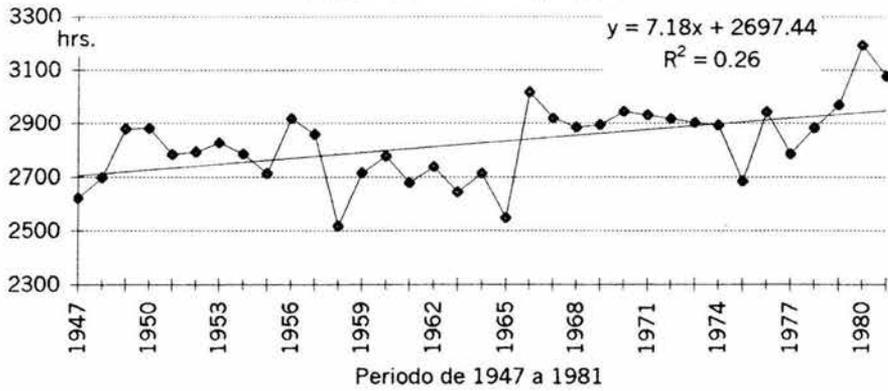
El conocimiento de la distribución geográfica de la insolación, puede ser utilizado en la prevención de afecciones comunes de la piel causadas por rayos ultra violeta, como las habituales quemaduras de Sol; a largo plazo, su acción acumulativa promueve los melanomas o tumores malignos. Al contrario, los beneficios en la salud son grandes empezando en los niveles celulares donde

sintetiza la vitamina D que interviene en el metabolismo y fijación del calcio en los huesos y es por lo demás, absolutamente indispensable en la regulación del ciclo biológico y ritmo circadiano del ser humano,

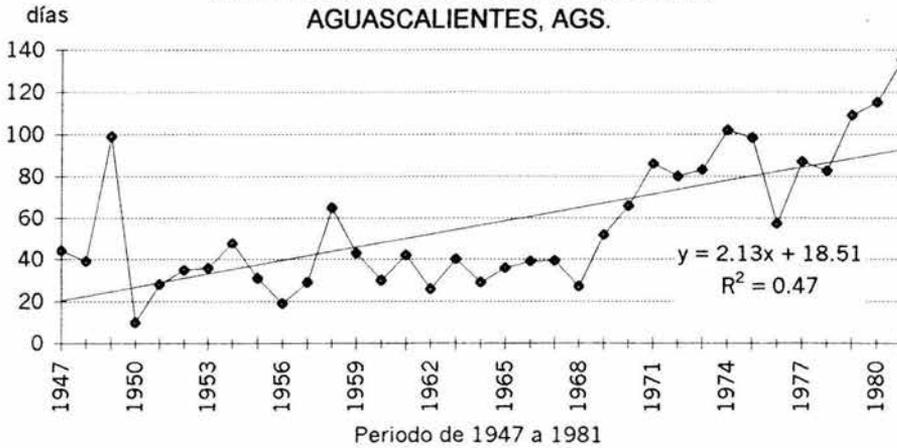
El conocer la distribución espacial de la insolación tiene el objeto de contribuir al desarrollo económico y sustentable de México, puesto que es una forma de dar a conocer nuestros recursos naturales para que en un futuro próximo sea viable aplicar tecnologías que conduzcan a la explotación de este noble y fundamental recurso: la energía solar. México es un país rico en Sol, un país solar, aprovechémoslo.

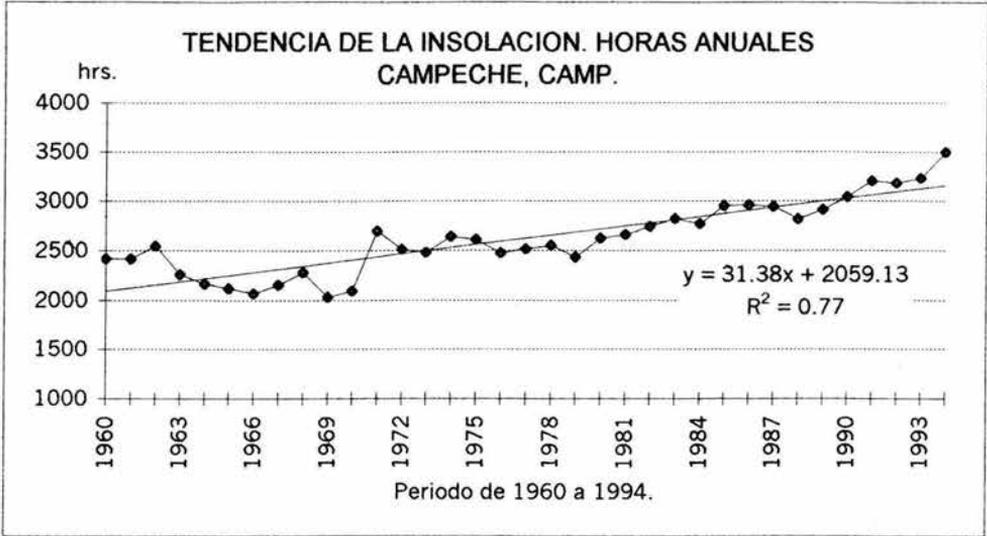
## **ANEXO**

**TENDENCIA DE LA INSOLACION. HORAS ANUALES  
AGUASCALIENTES, AGS.**

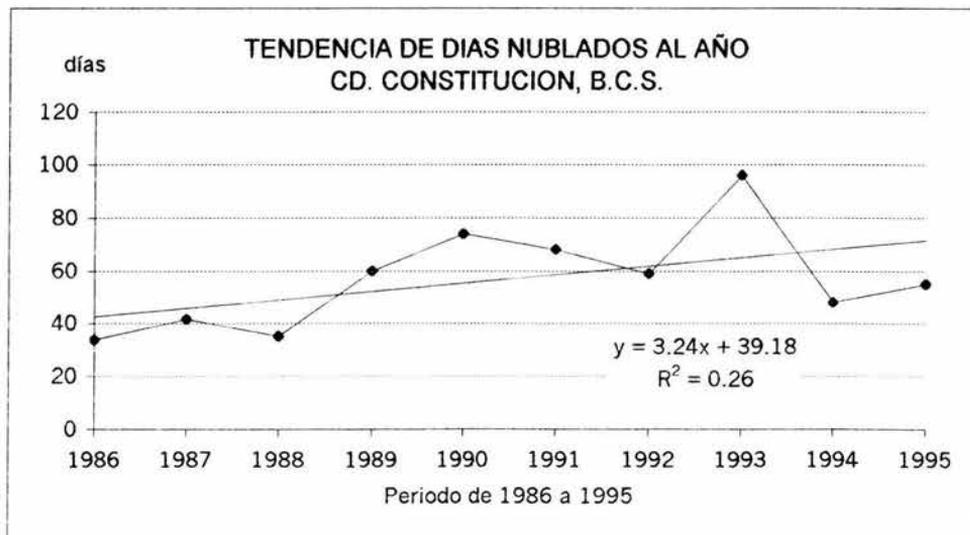
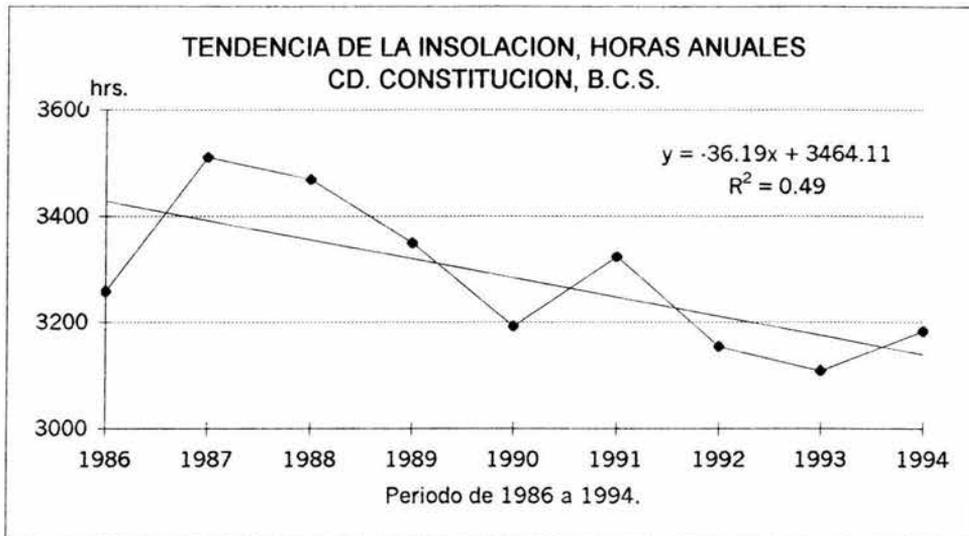


**TENDENCIA DE DIAS NUBLADOS AL AÑO.  
AGUASCALIENTES, AGS.**



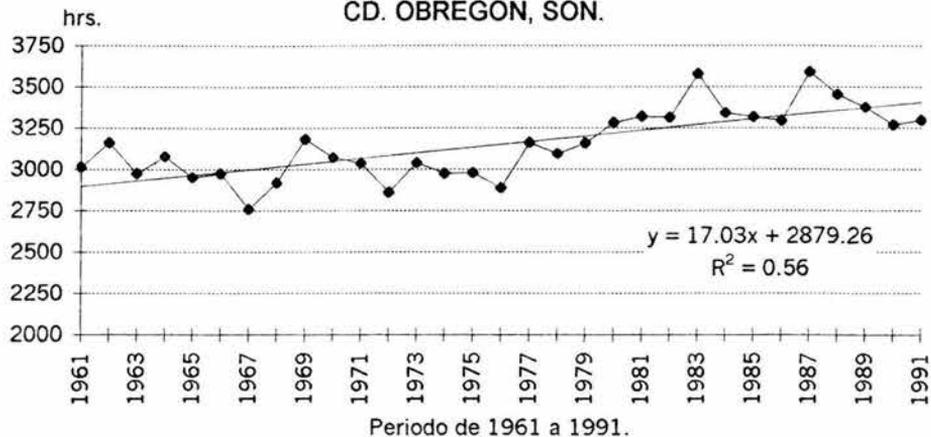


Gráfica No. 2

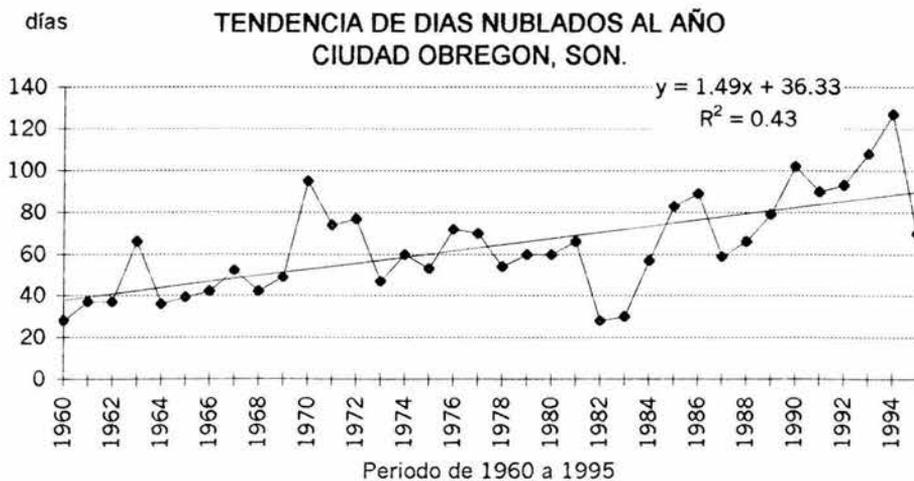


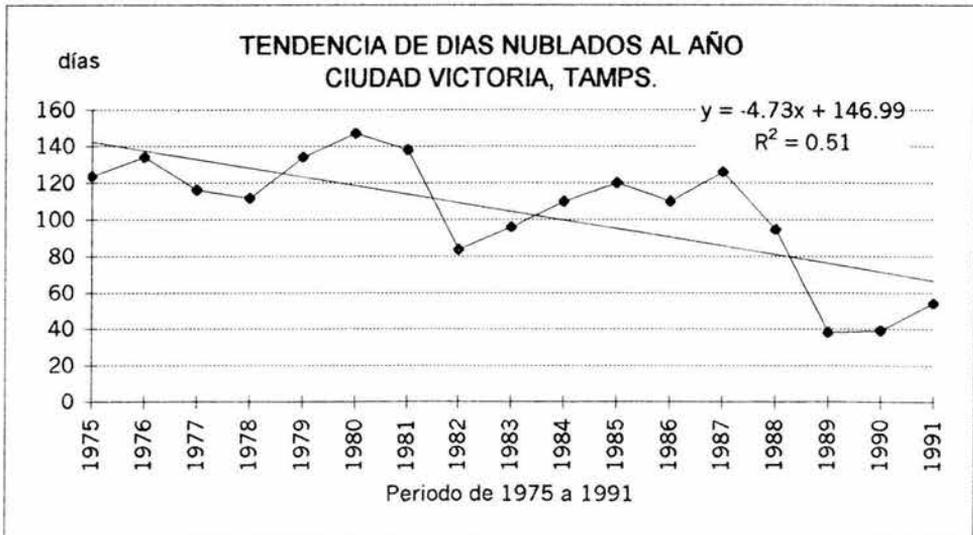
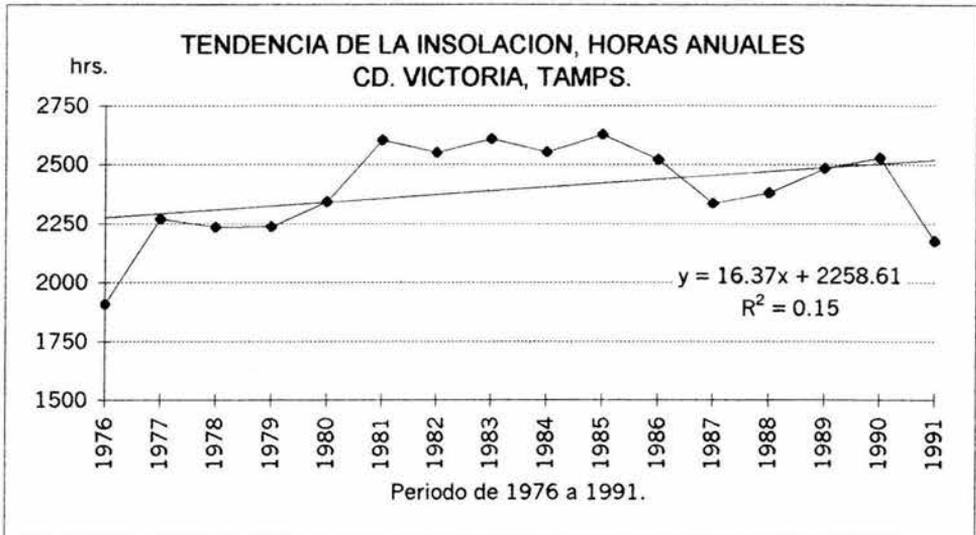
Gráfica No. 3

**TENDENCIA DE LA INSOLACION, HORAS ANUALES  
CD. OBREGON, SON.**

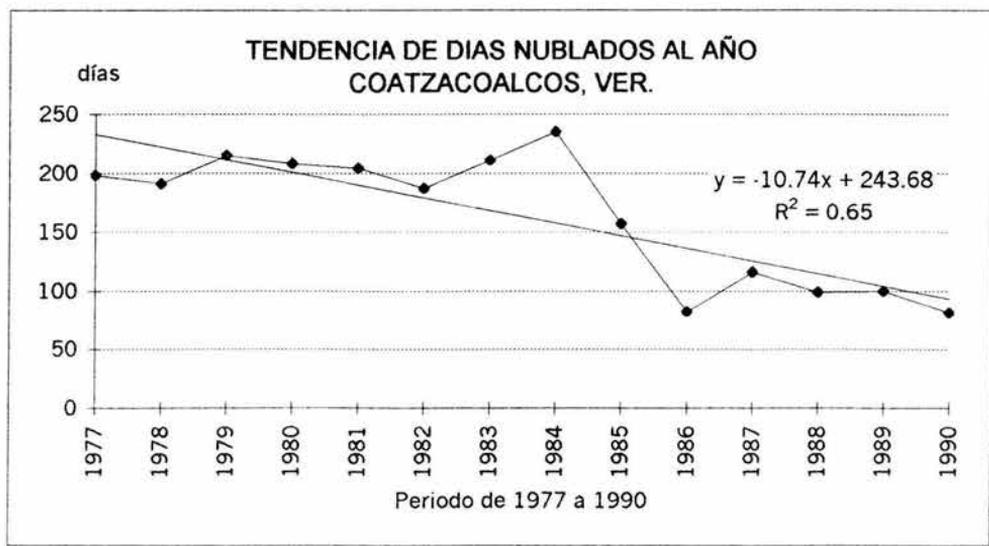
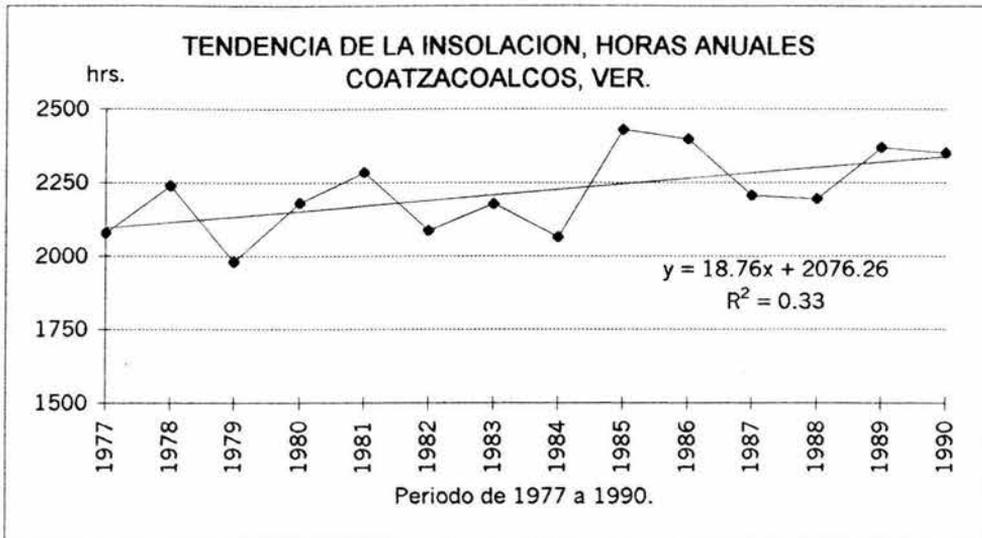


**TENDENCIA DE DIAS NUBLADOS AL AÑO  
CIUDAD OBREGON, SON.**

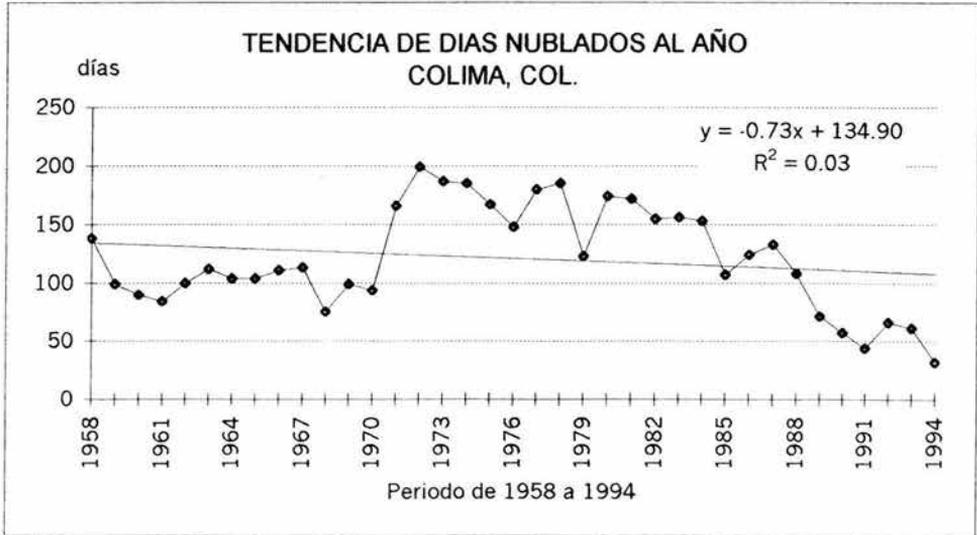
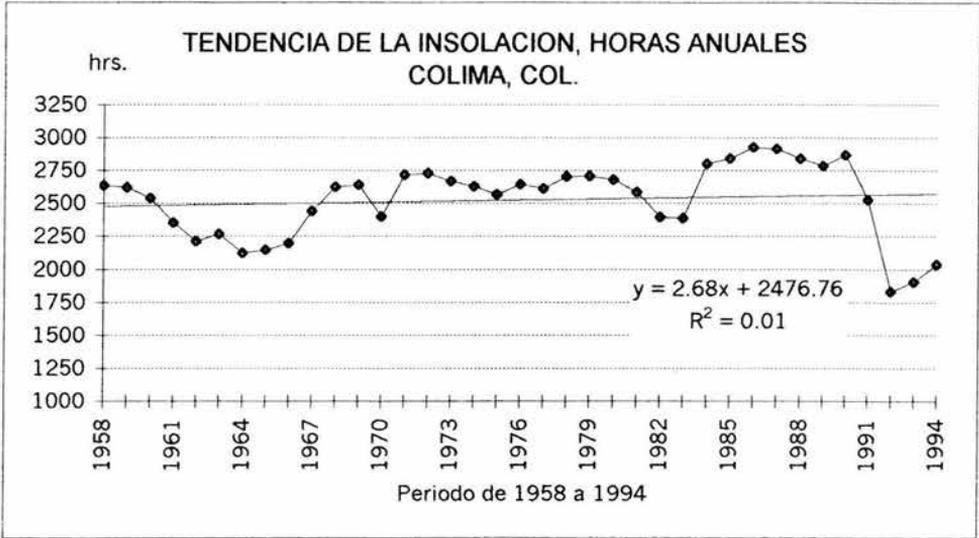




Gráfica No. 5

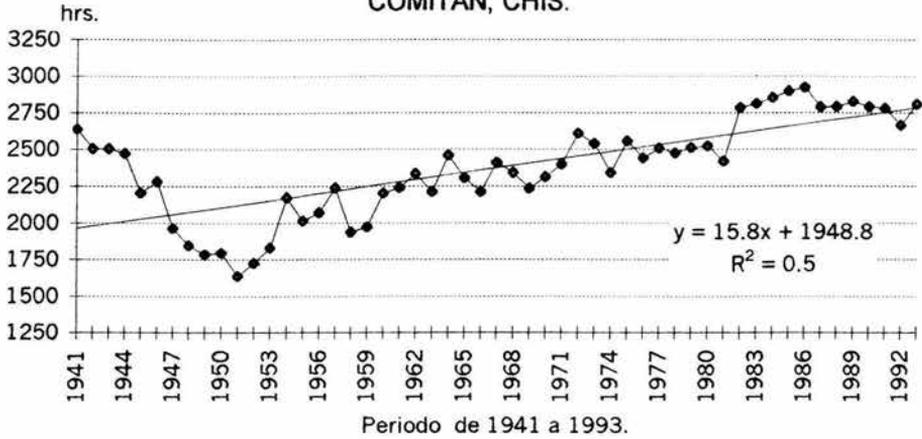


Gráfica No. 6

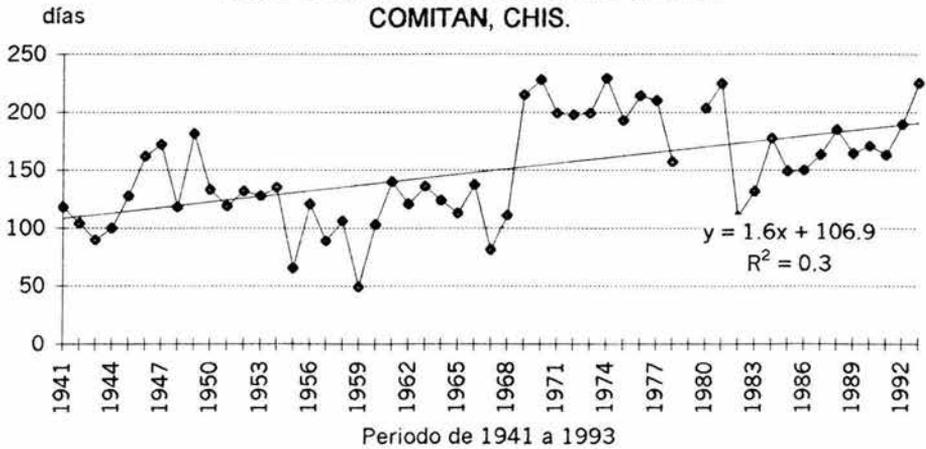


Gráfica No. 7

TENDENCIA DE LA INSOLACION, HORAS ANUALES  
COMITAN, CHIS.

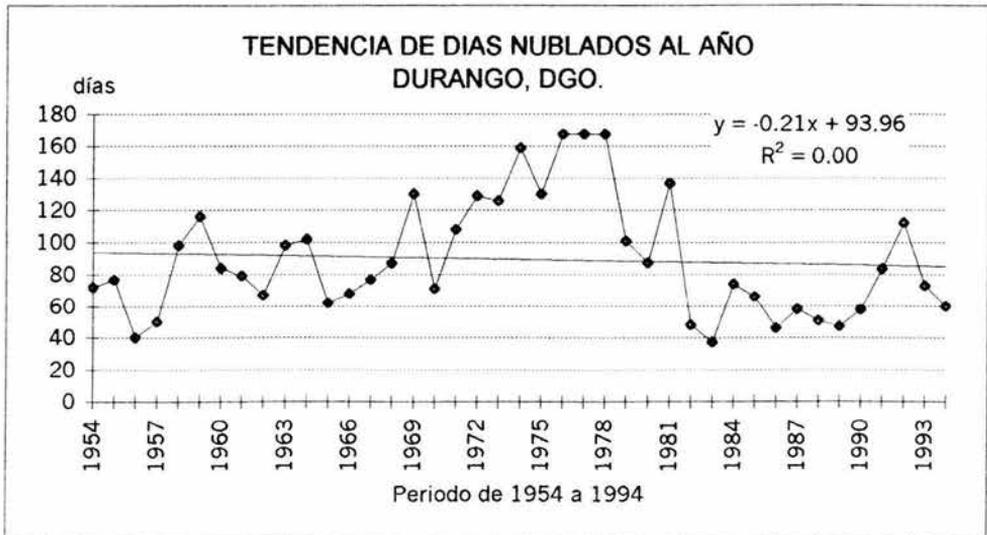
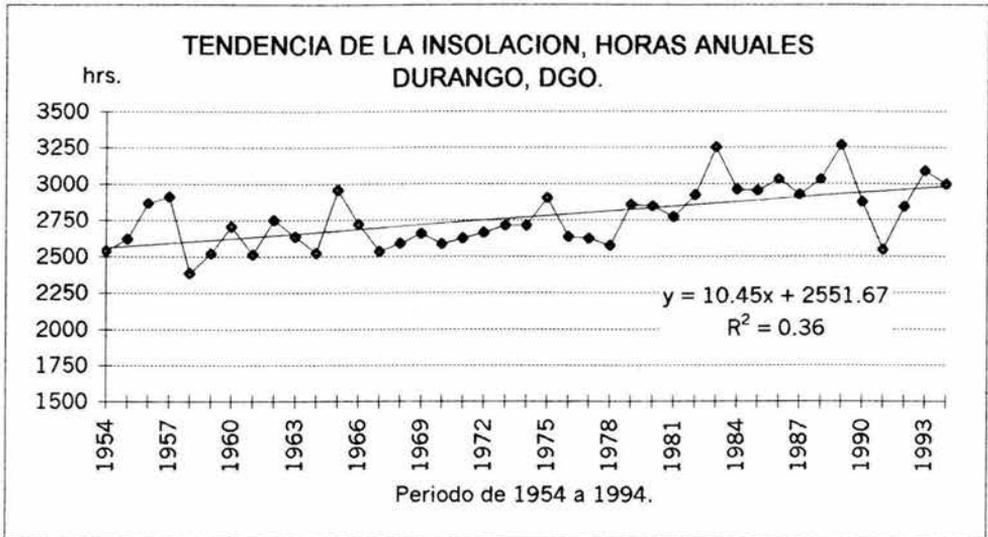


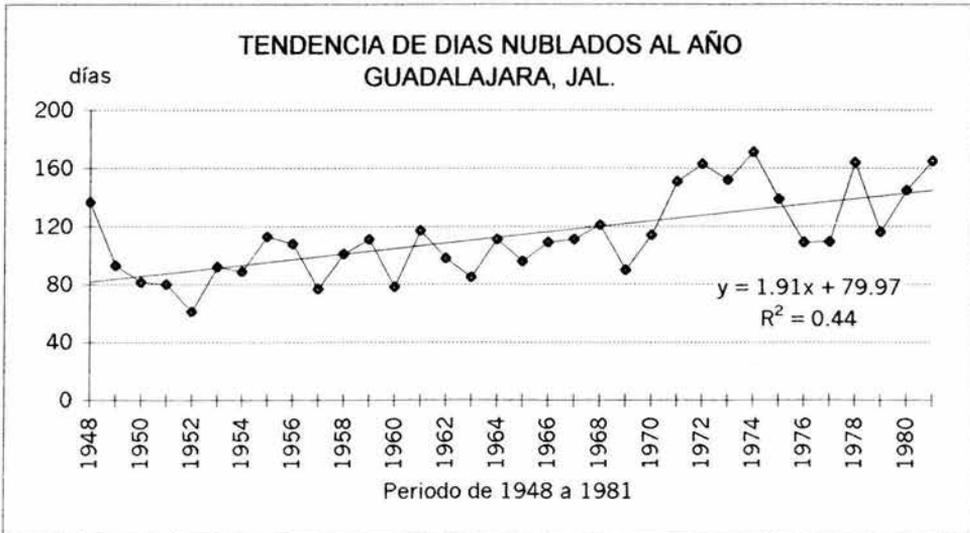
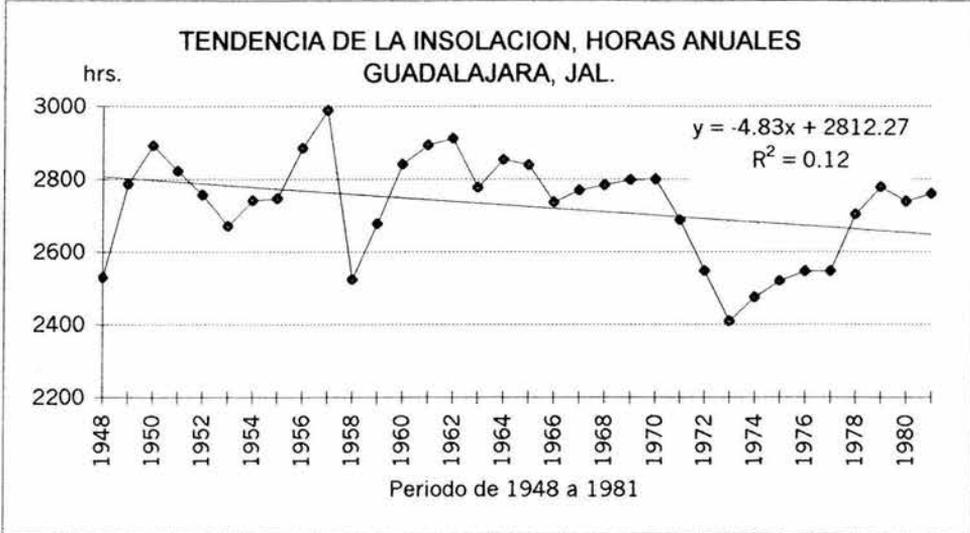
TENDENCIA DE DIAS NUBLADOS AL AÑO  
COMITAN, CHIS.

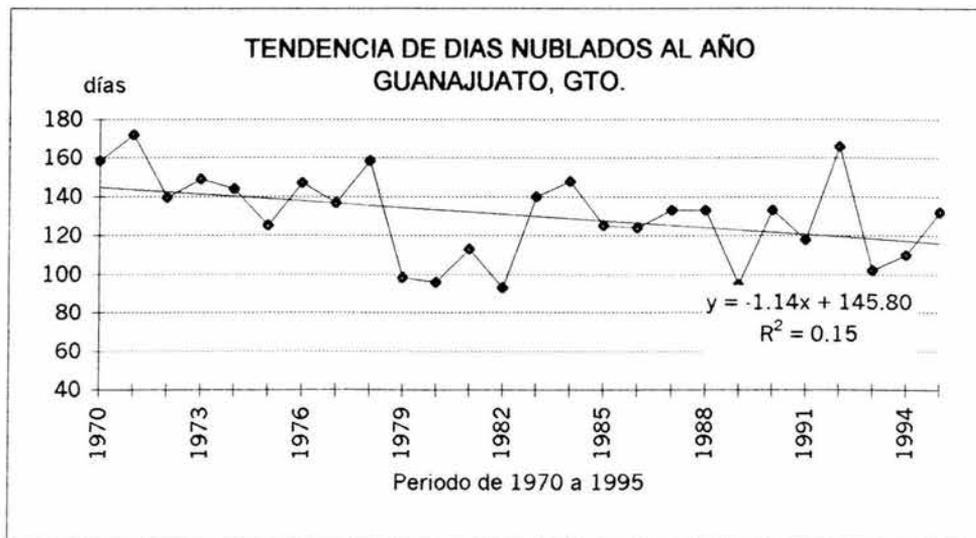
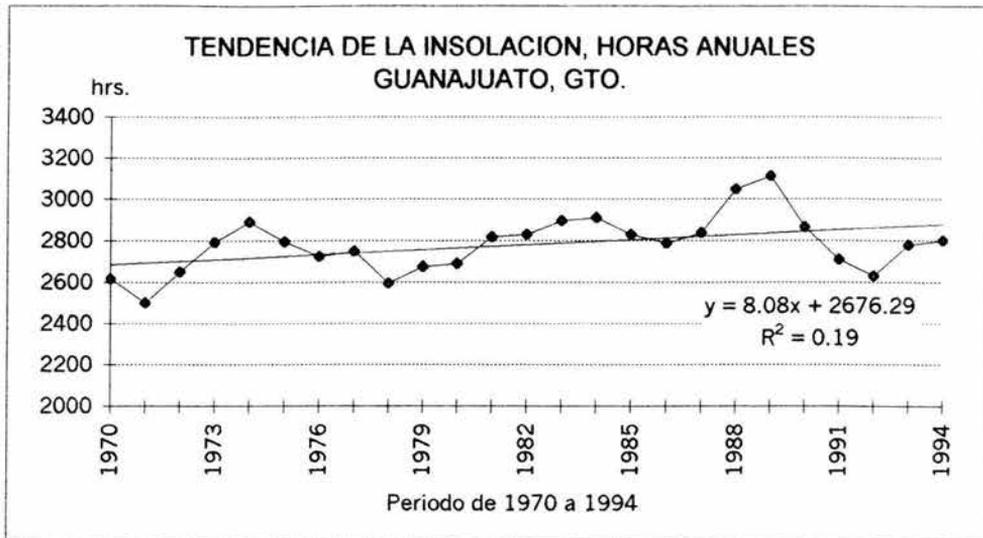




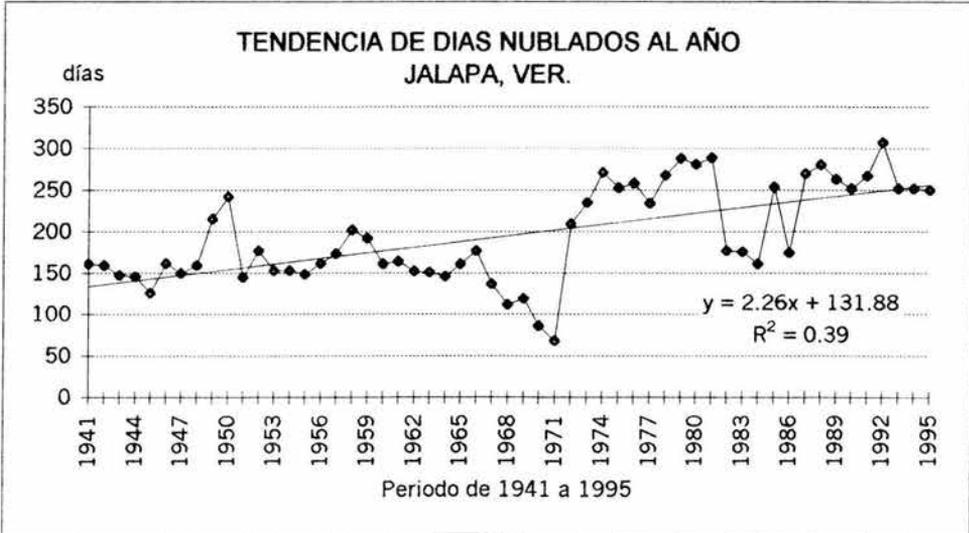
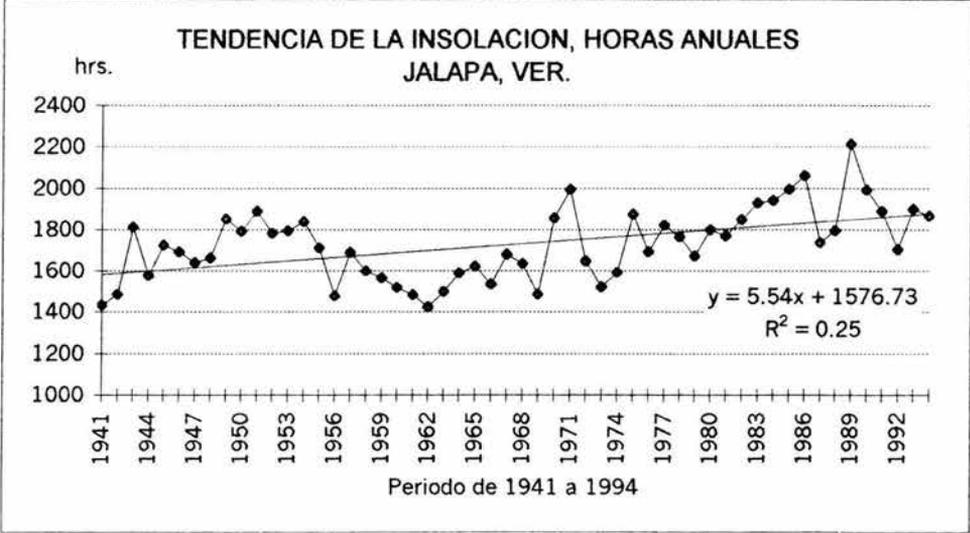
Gráfica No. 9



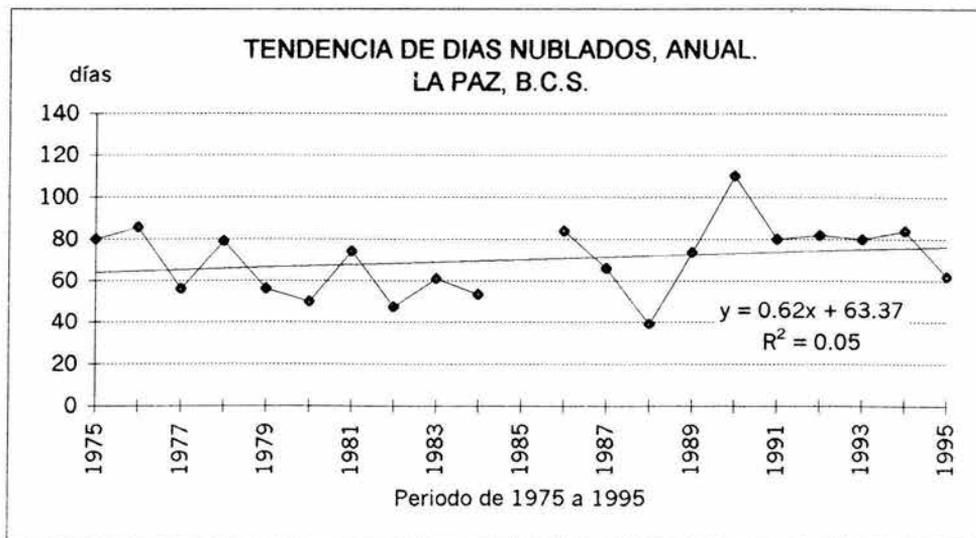
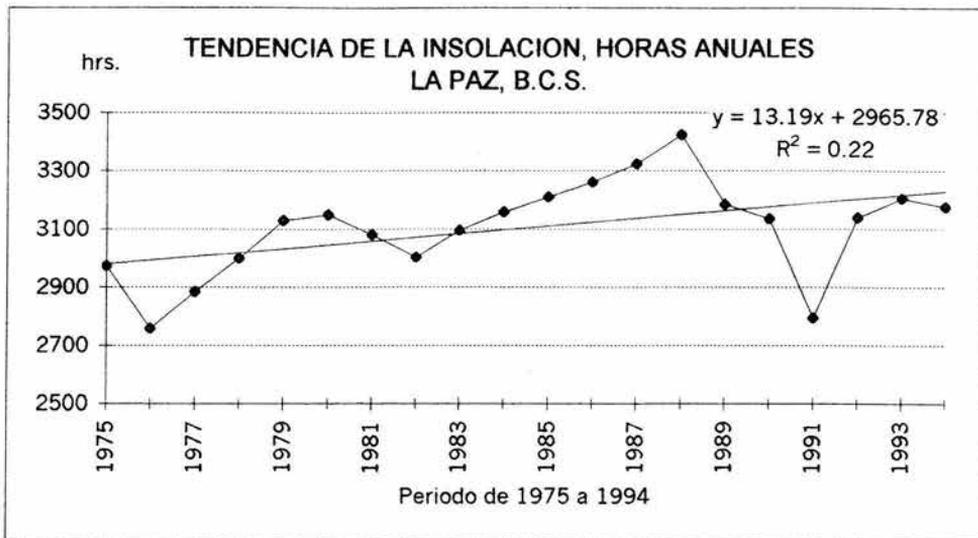


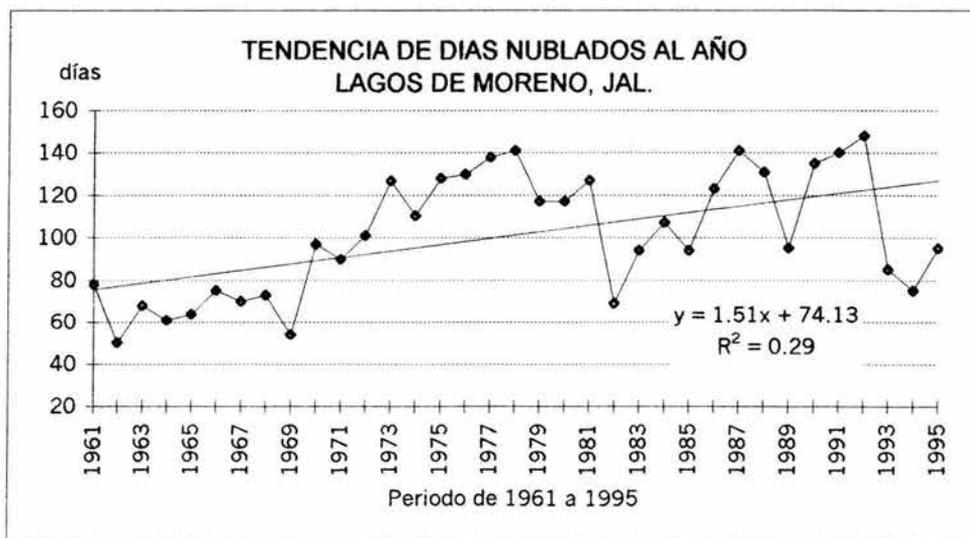
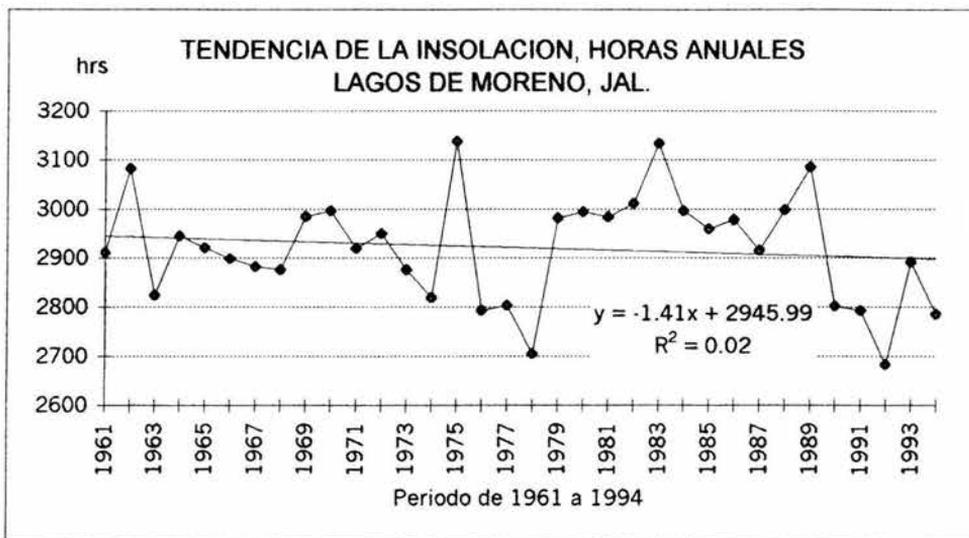


Gráfica No. 12



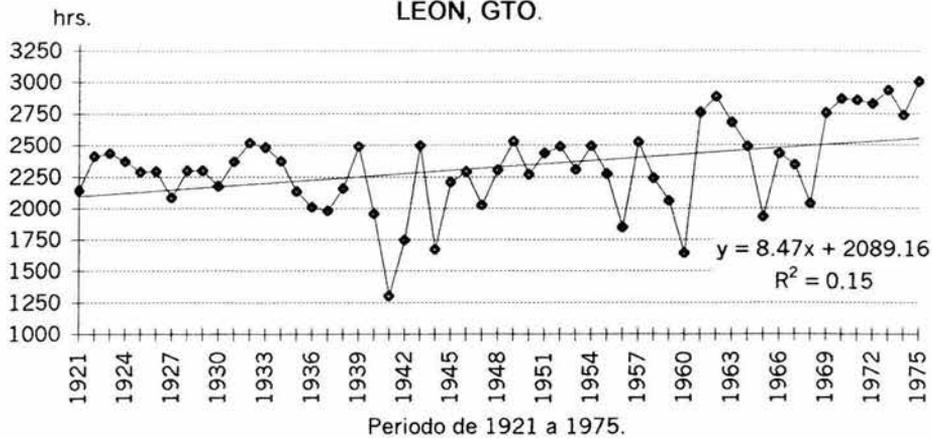
Gráfica No. 13



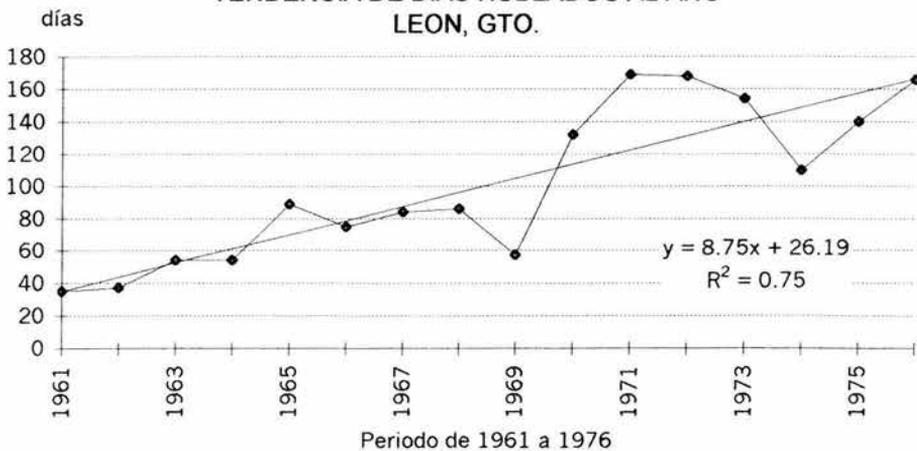


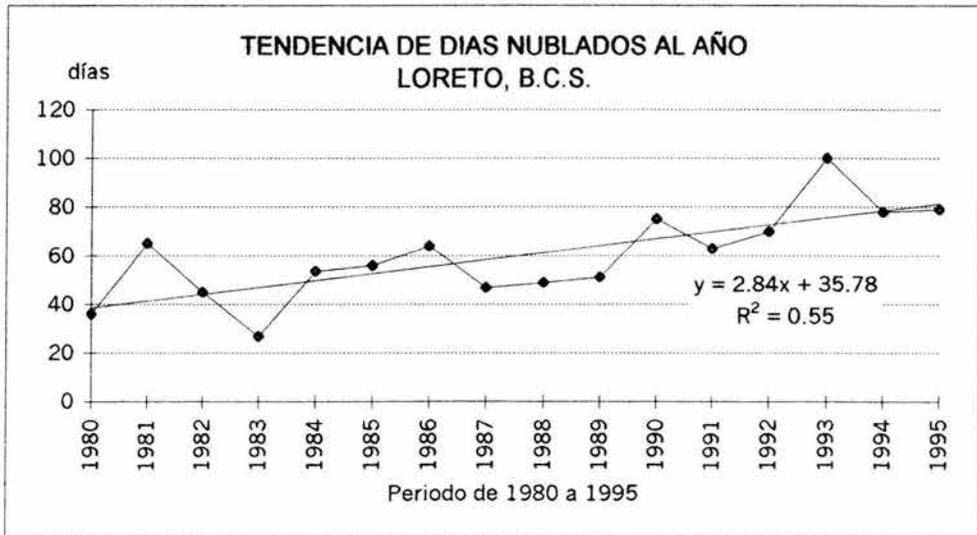
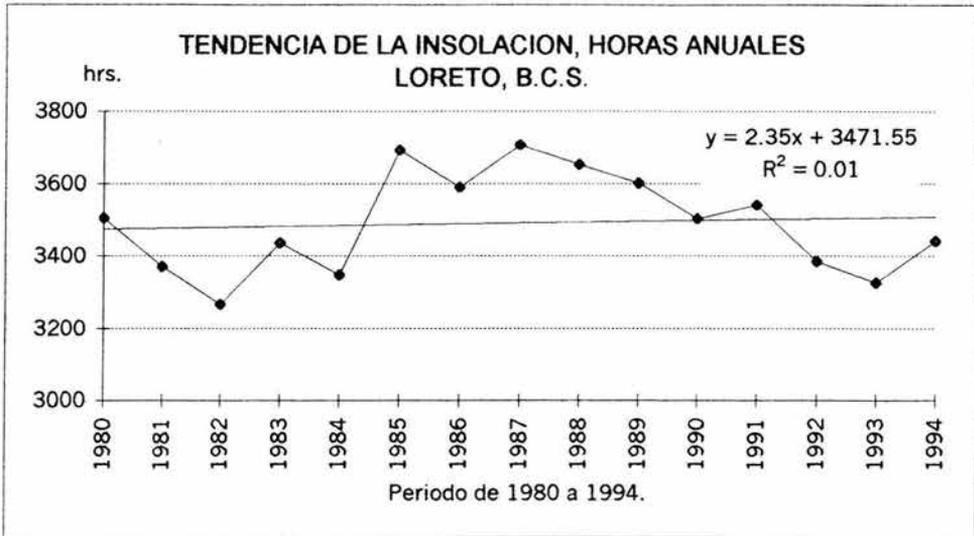
Gráfica No. 15

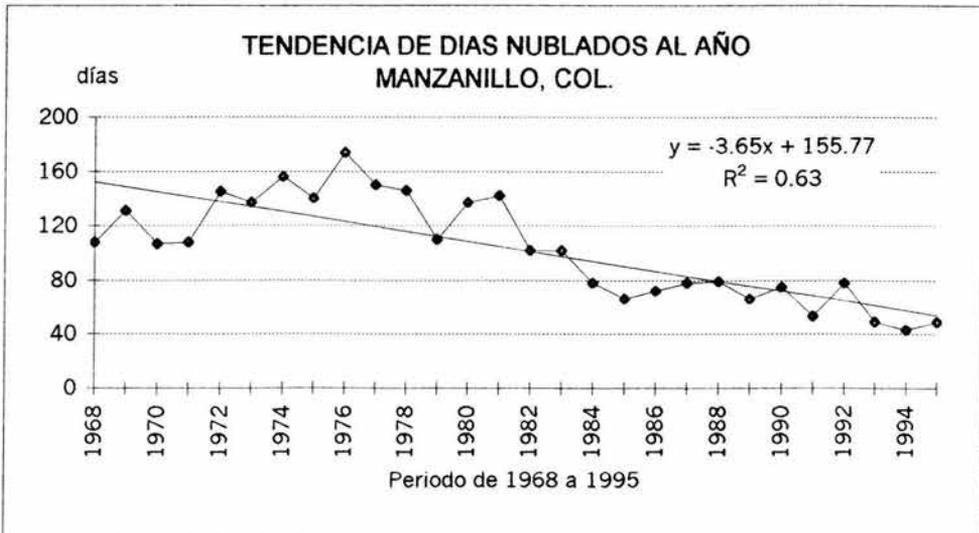
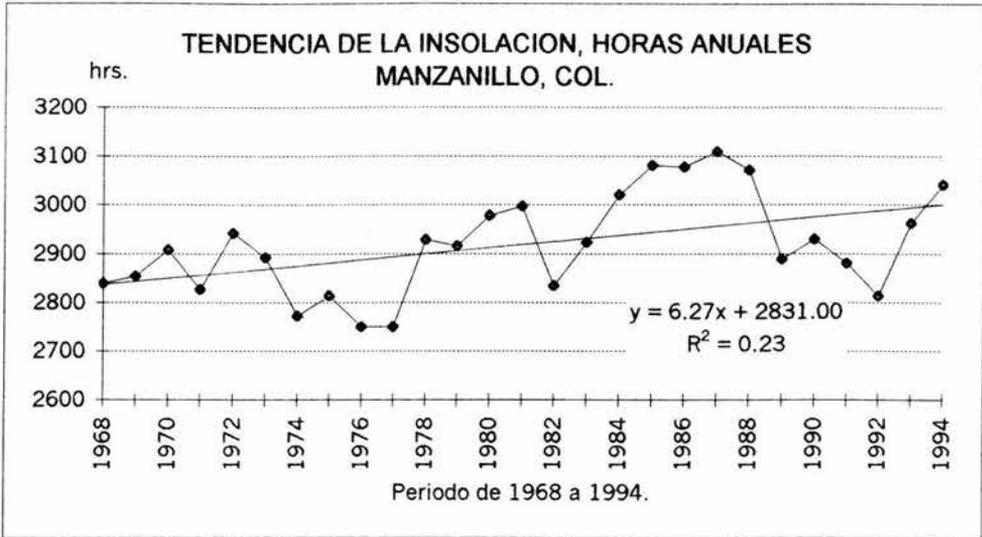
### TENDENCIA DE LA INSOLACION, HORAS ANUALES LEON, GTO.



### TENDENCIA DE DIAS NUBLADOS AL AÑO LEON, GTO.

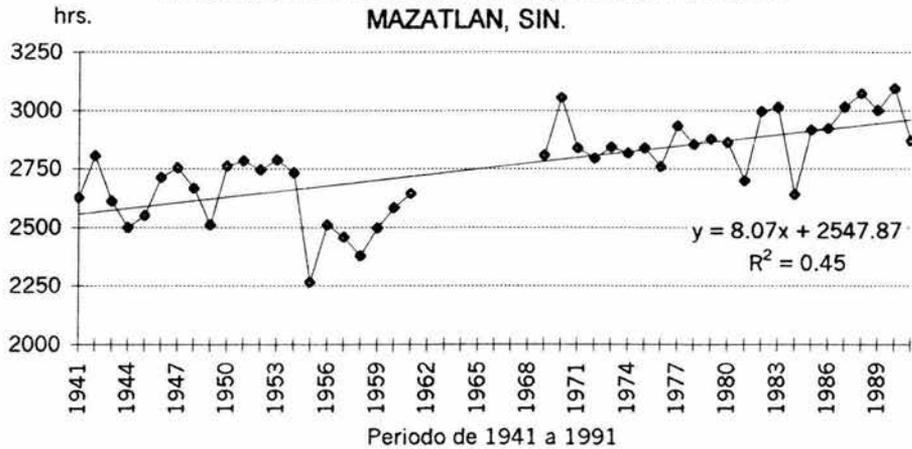




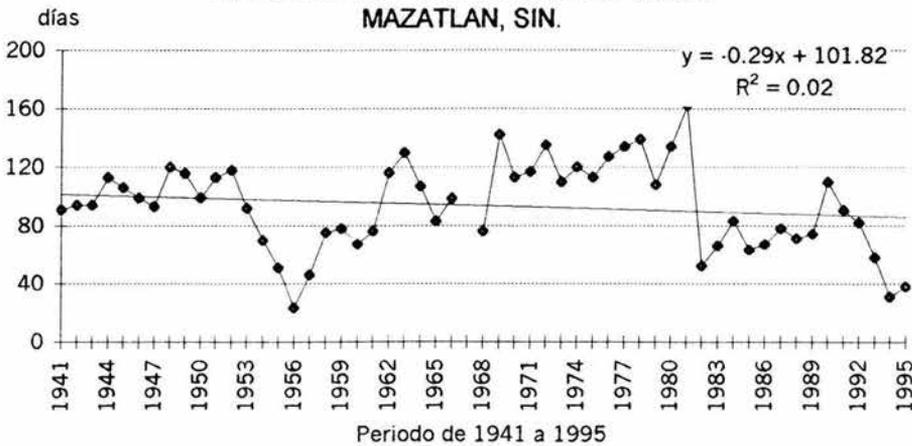


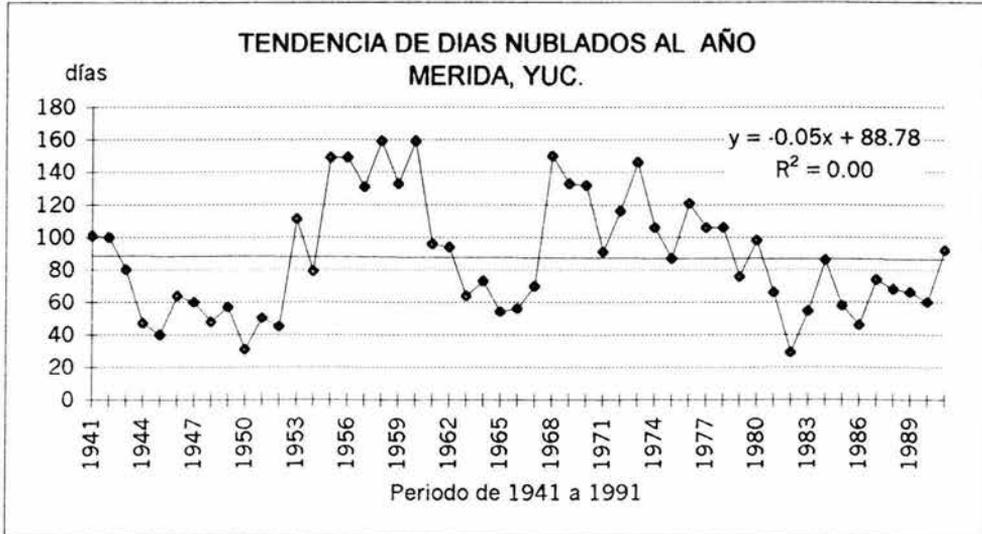
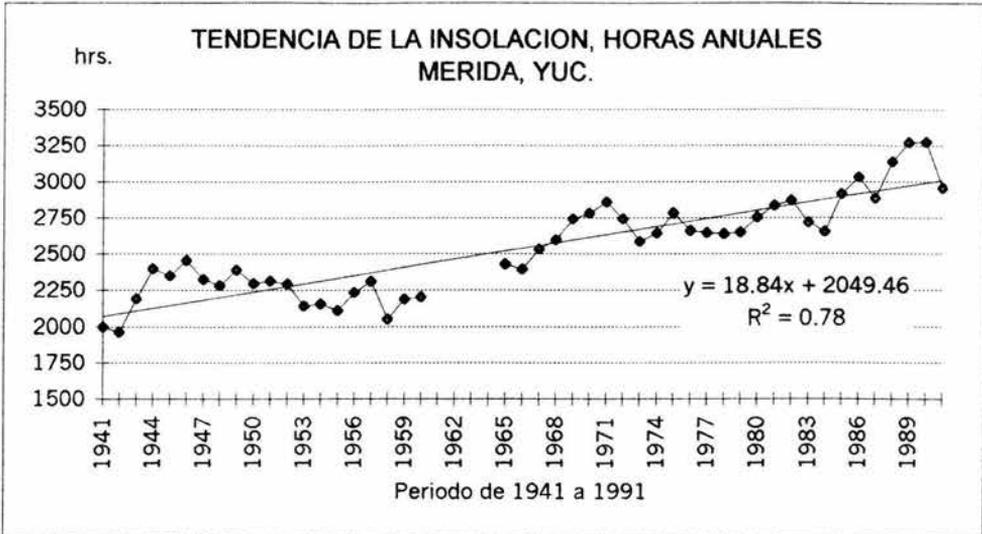
Gráfica No. 18

**TENDENCIA DE LA INSOLACION, HORAS ANUALES  
MAZATLAN, SIN.**

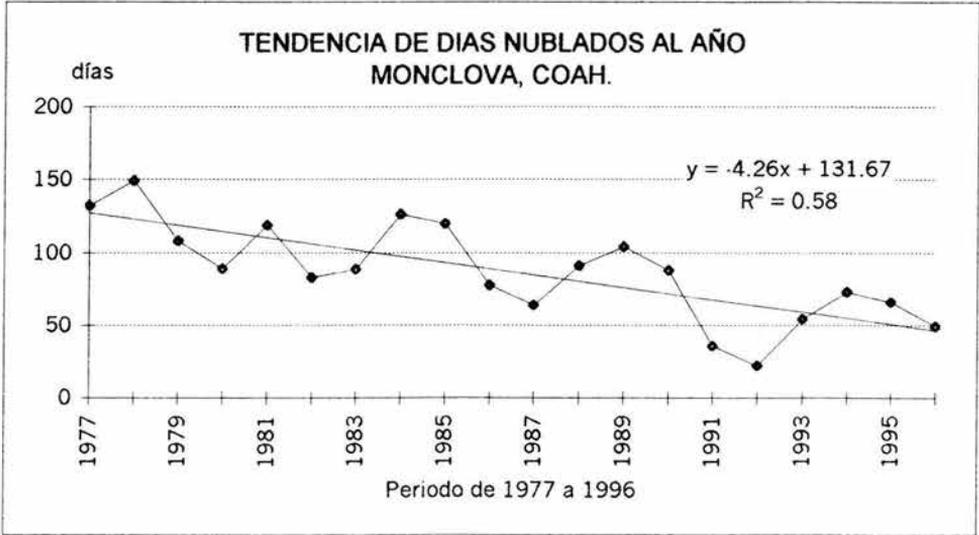
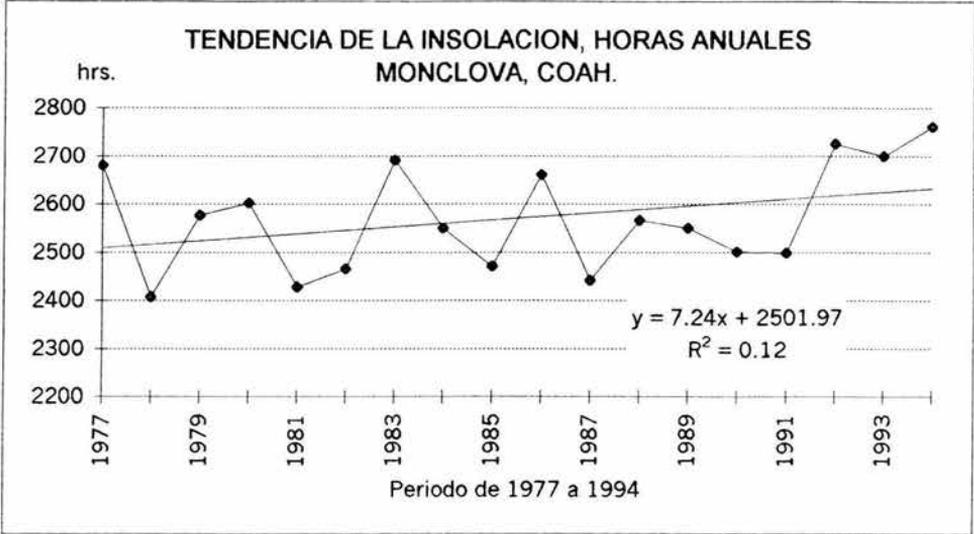


**TENDENCIA DE DIAS NUBLADOS AL AÑO  
MAZATLAN, SIN.**

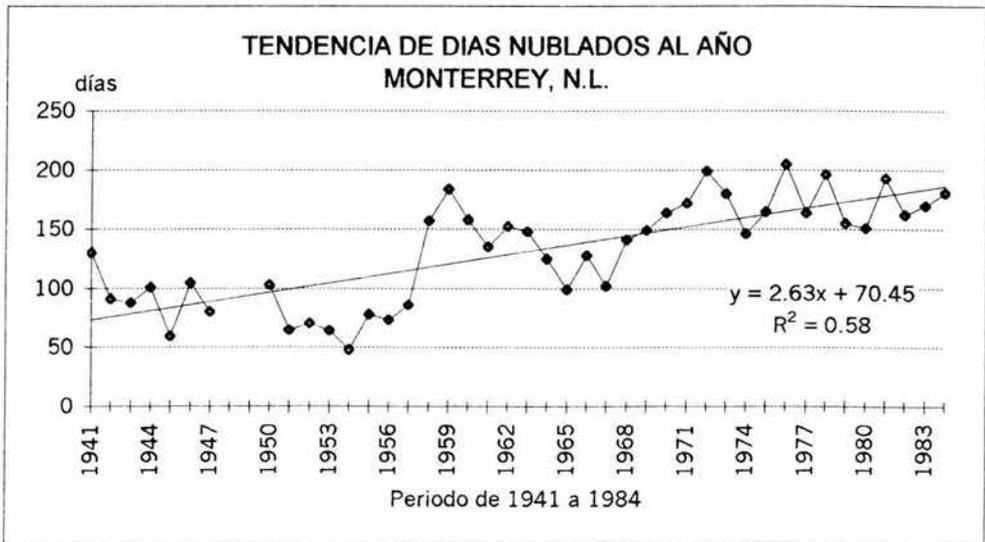
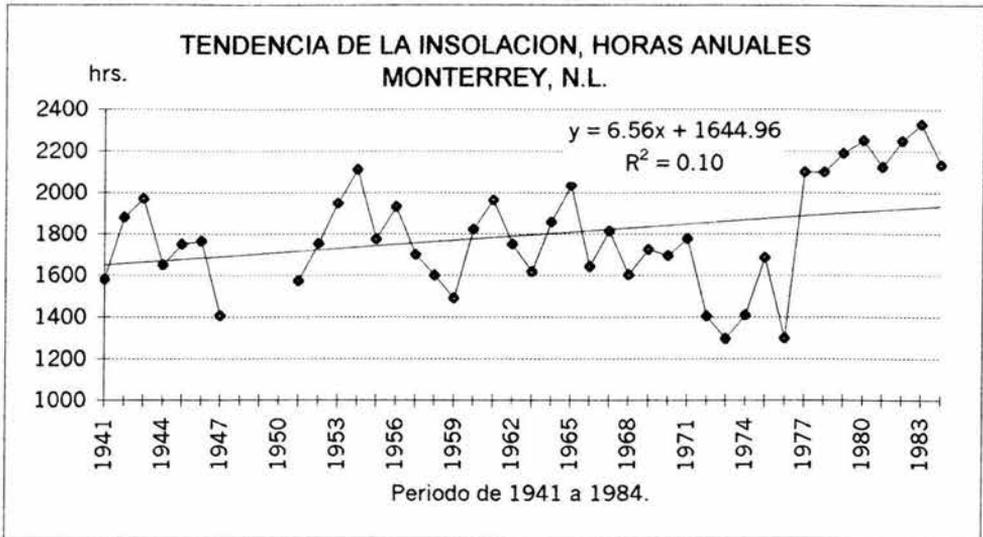


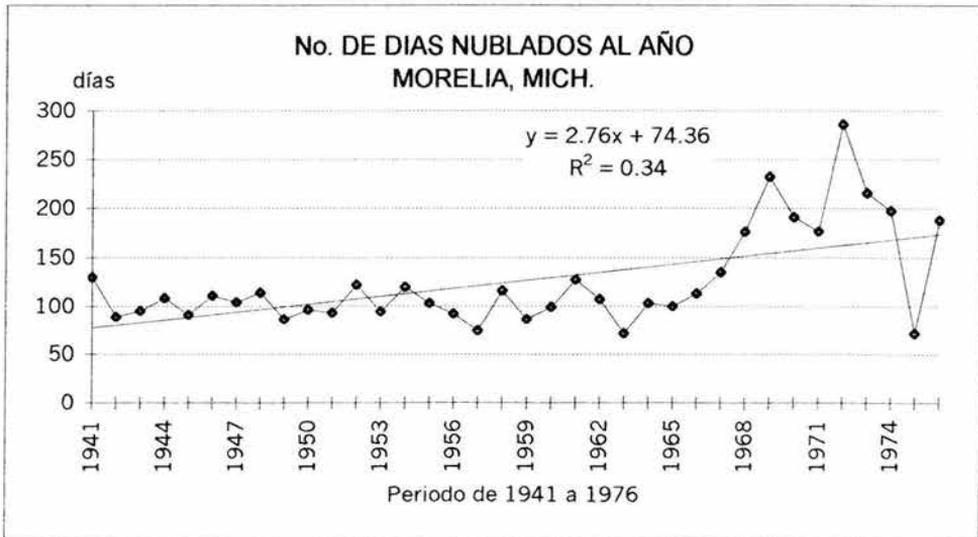
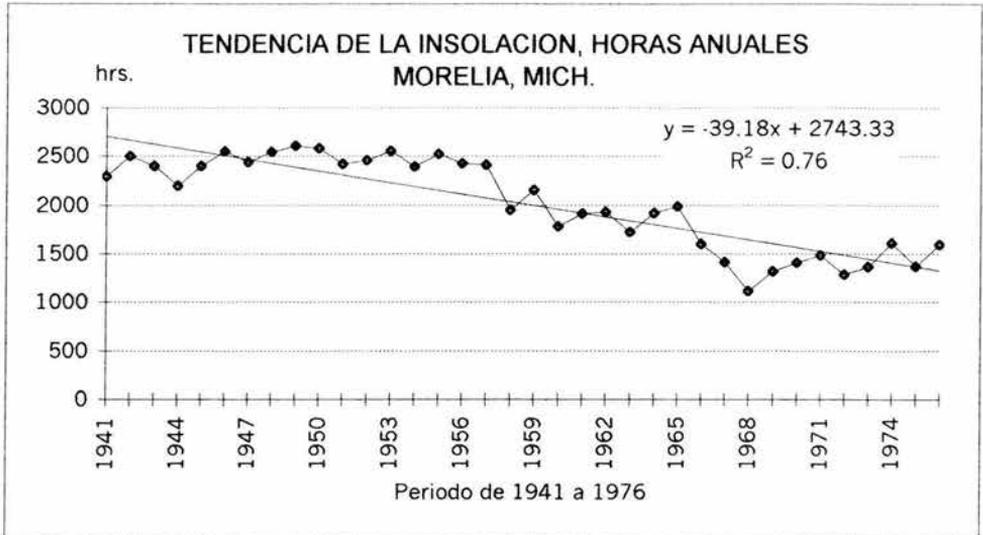


Gráfica No. 20



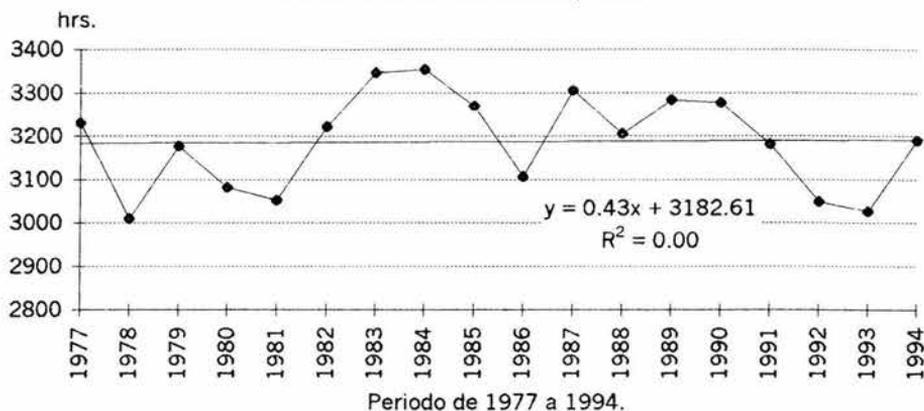
Gráfica No. 21



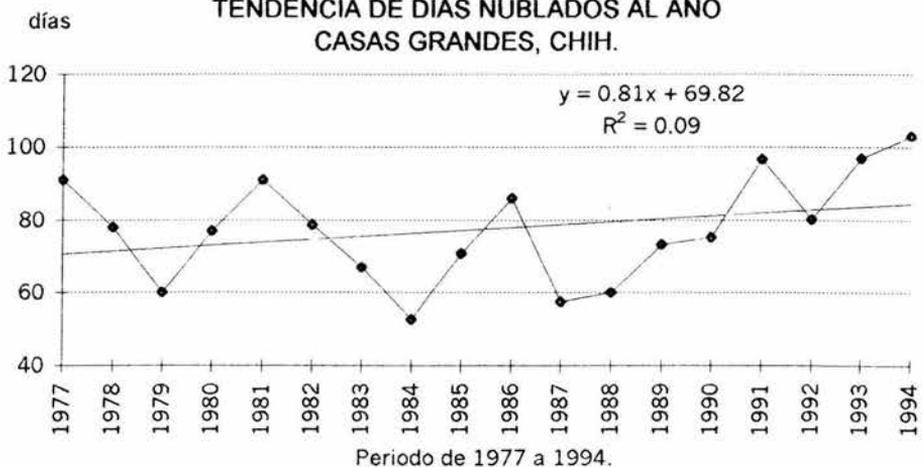


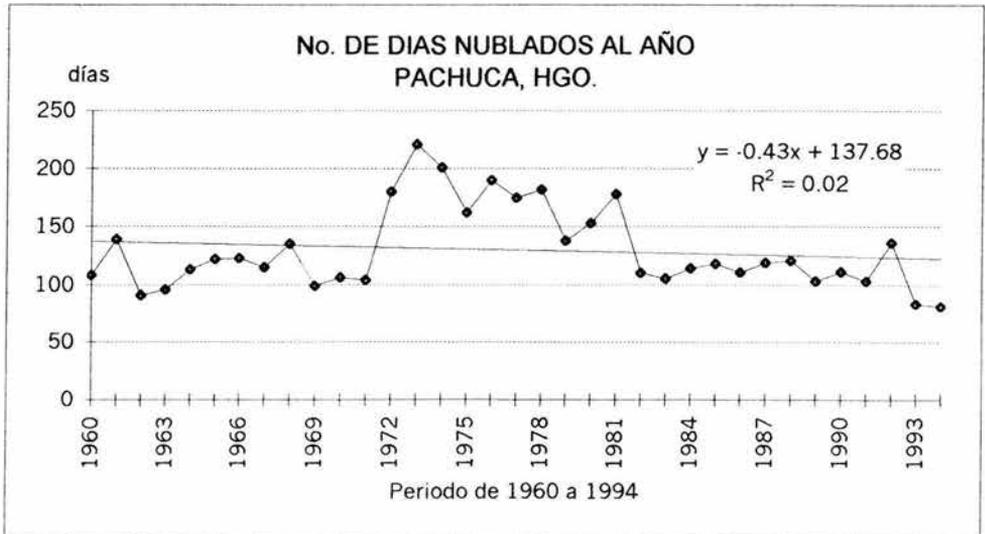
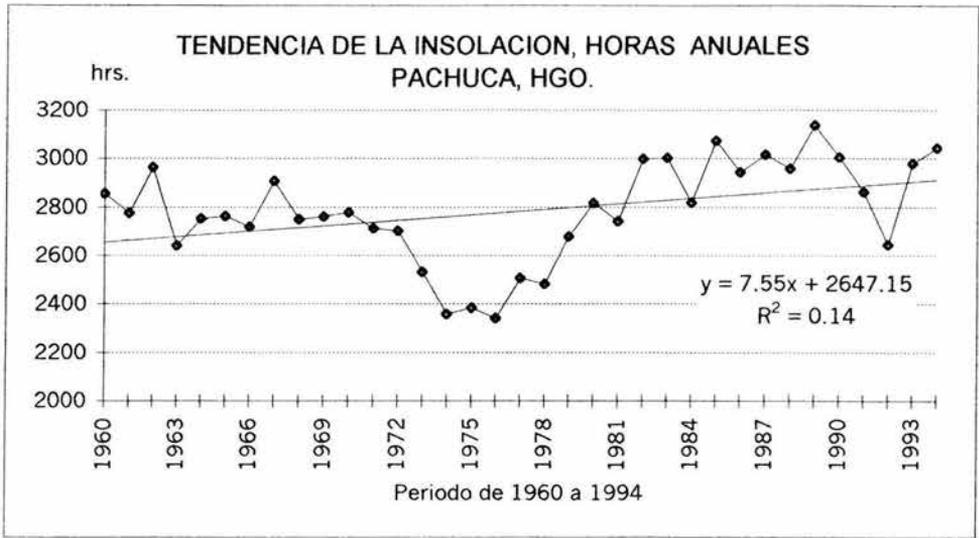
Gráfica No. 23

TENDENCIA DE LA INSOLACION, HORAS ANUALES  
NVO. CASAS GRANDES, CHIH.



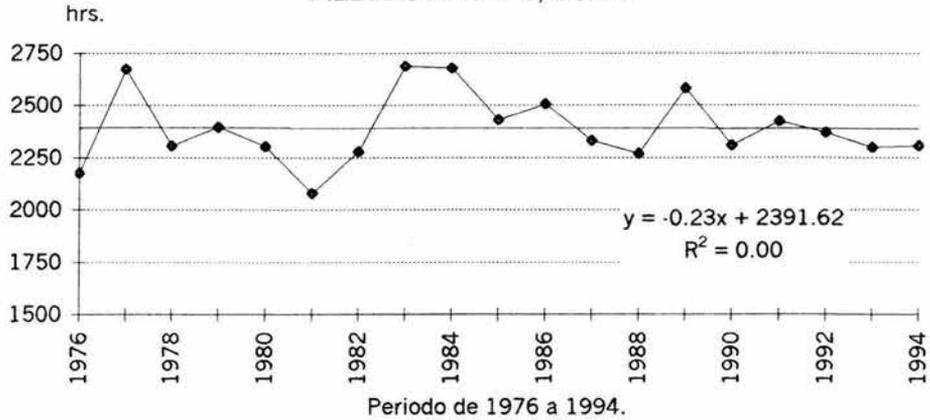
TENDENCIA DE DIAS NUBLADOS AL AÑO  
CASAS GRANDES, CHIH.



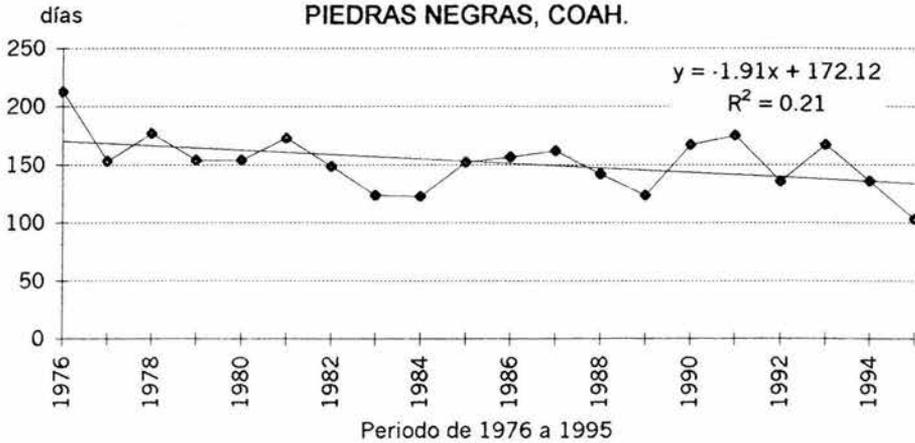


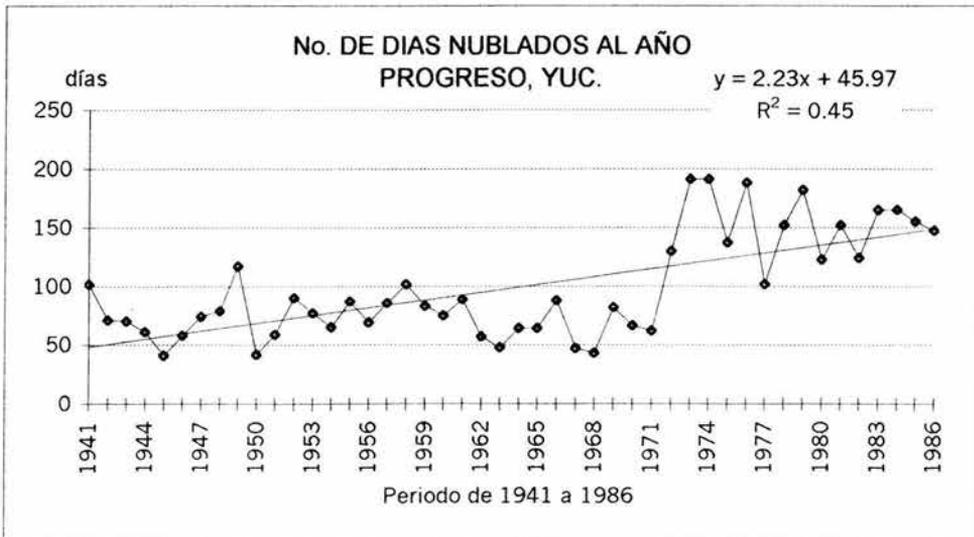
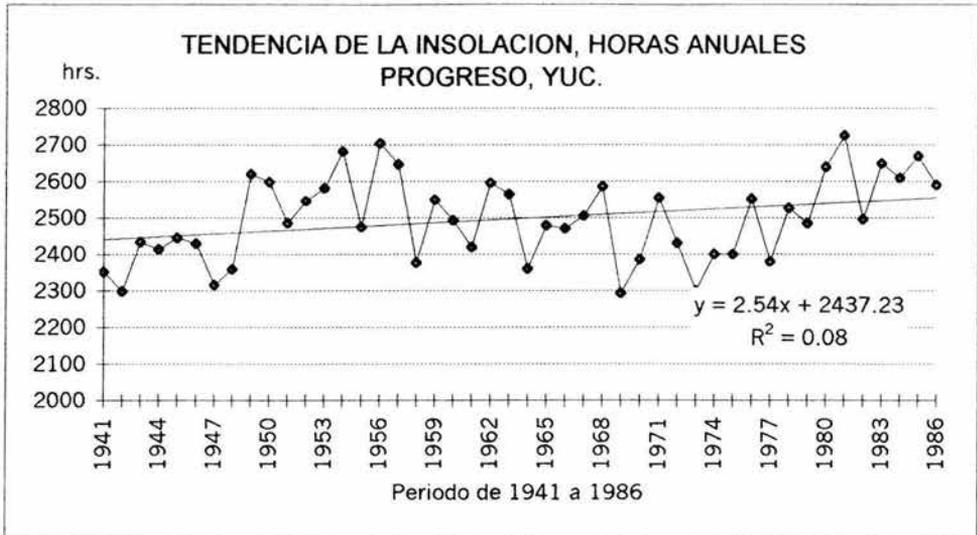
Gráfica No. 25

TENDENCIA DE LA INSOLACION, HORAS ANUALES  
PIEDRAS NEGRAS, COAH.

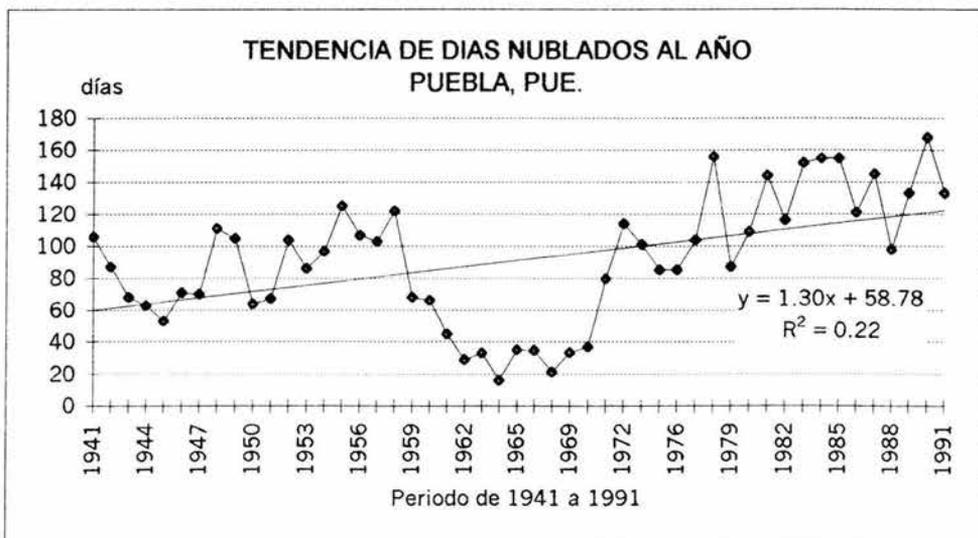
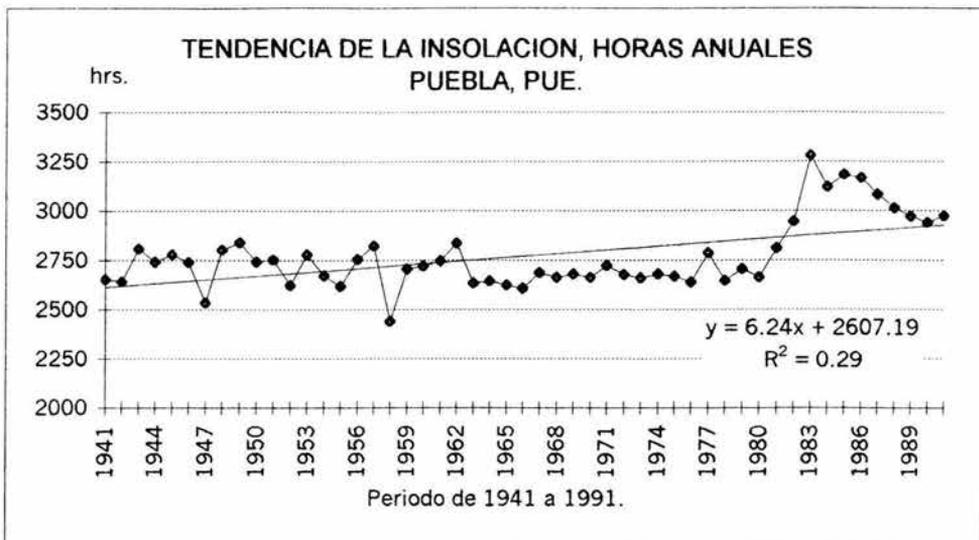


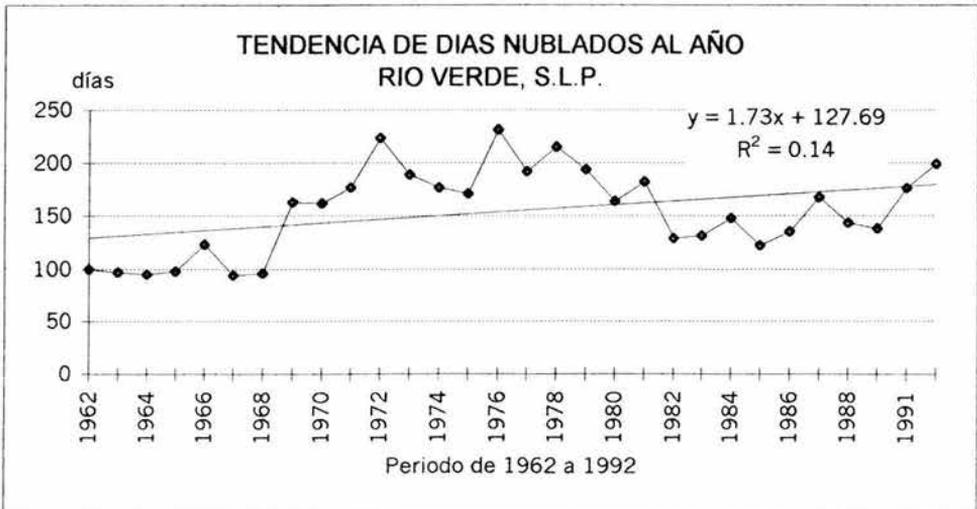
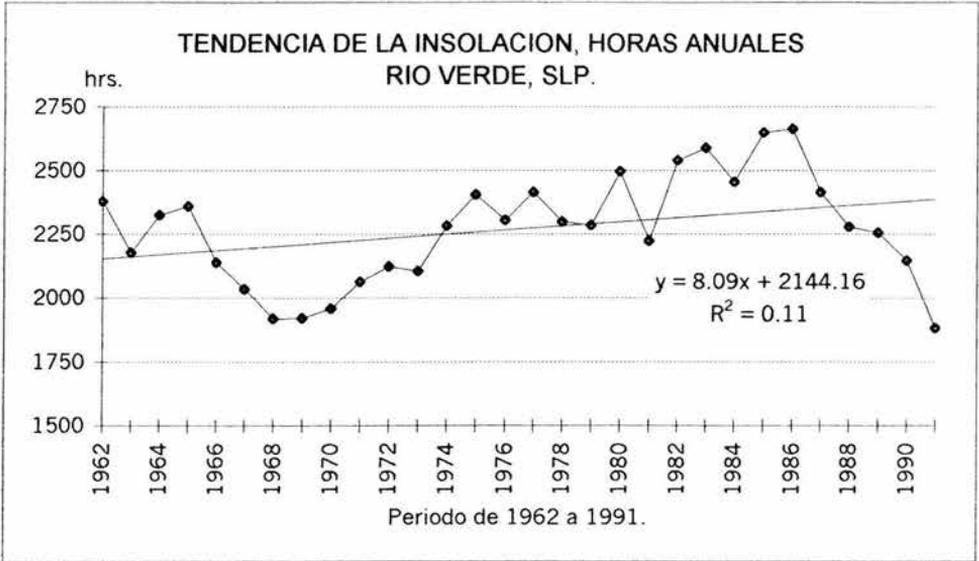
TENDENCIA DE DIAS NUBLADOS AL AÑO  
PIEDRAS NEGRAS, COAH.

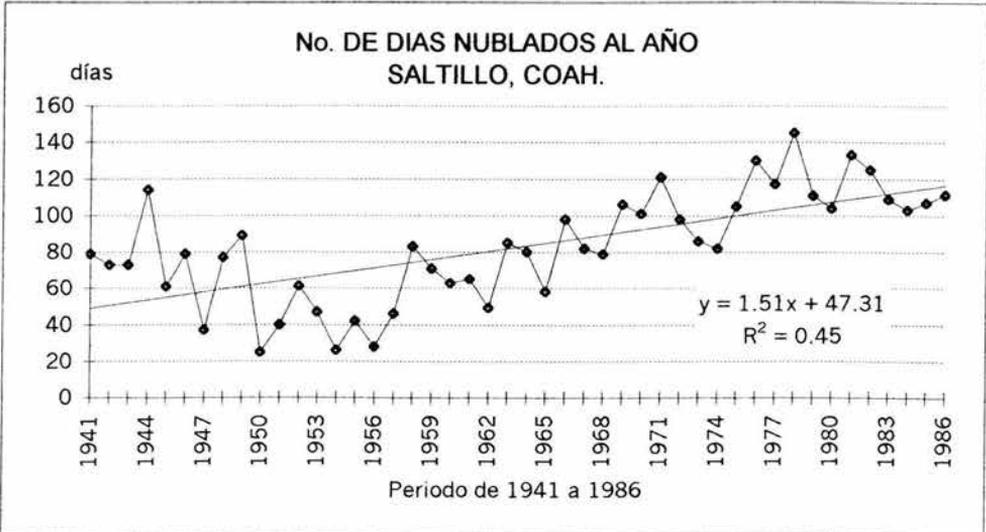
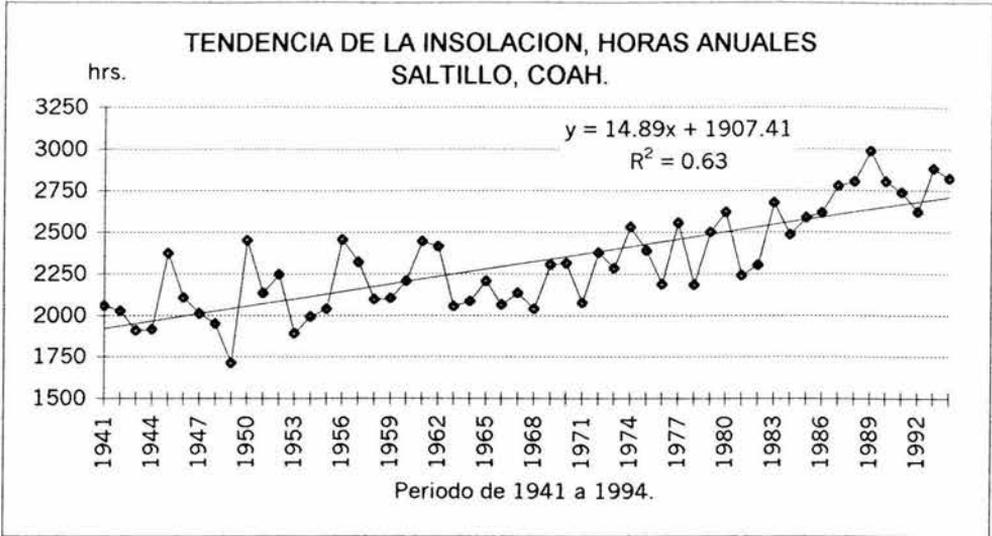


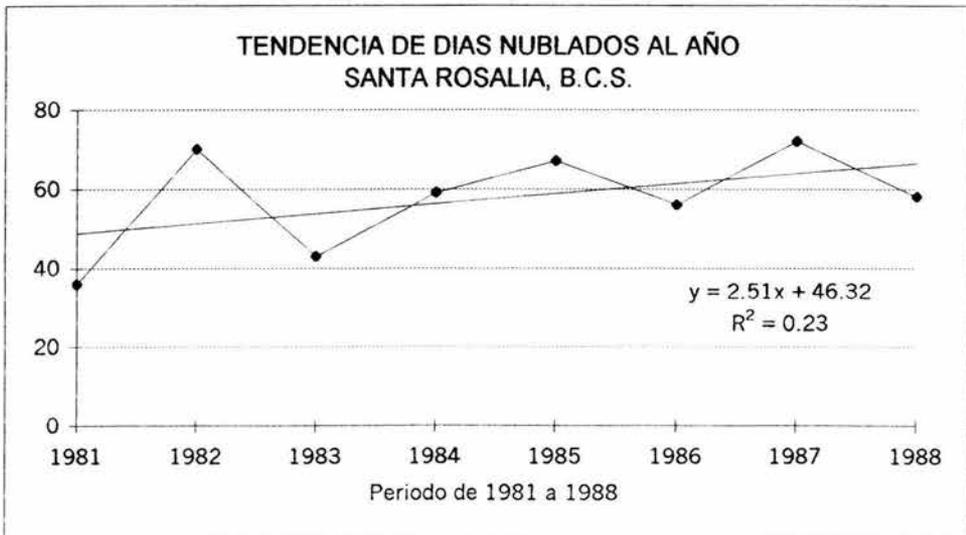
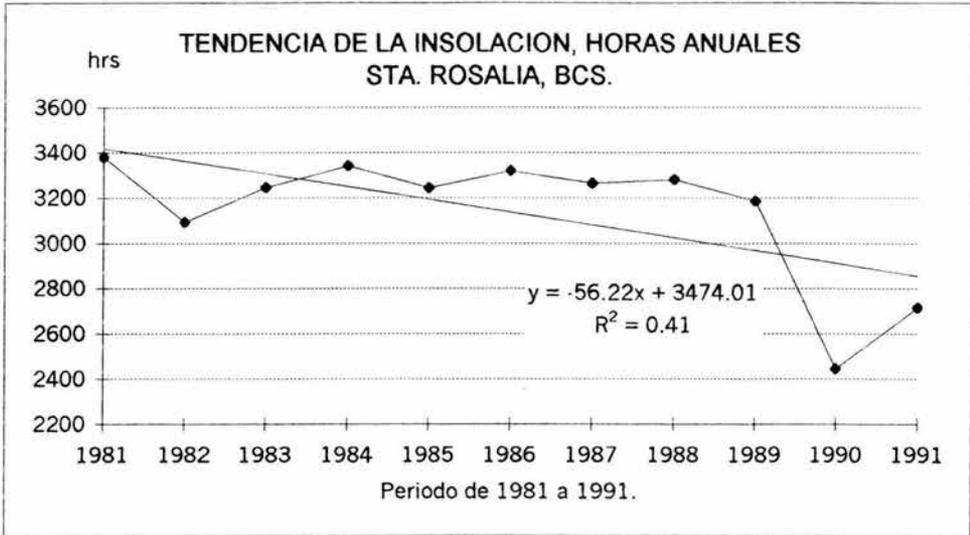


Gráfica No. 27

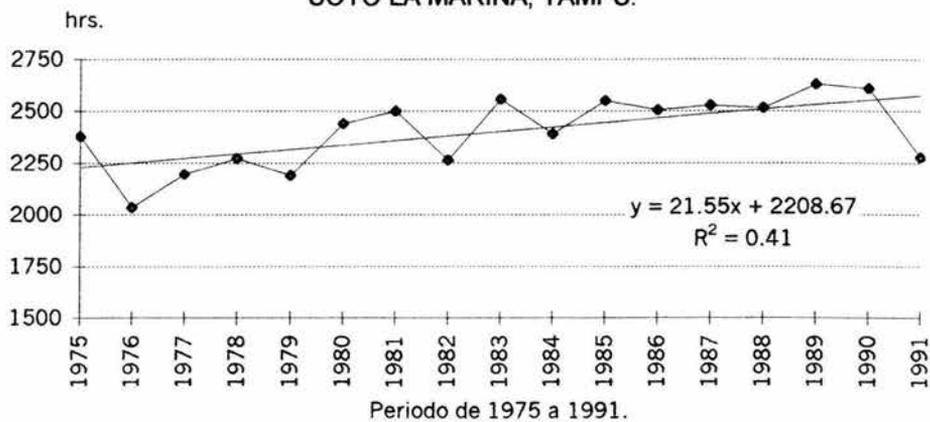




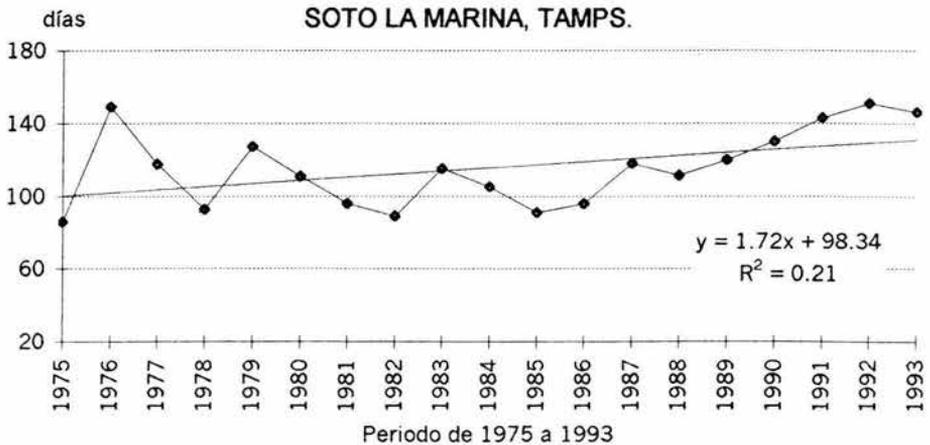


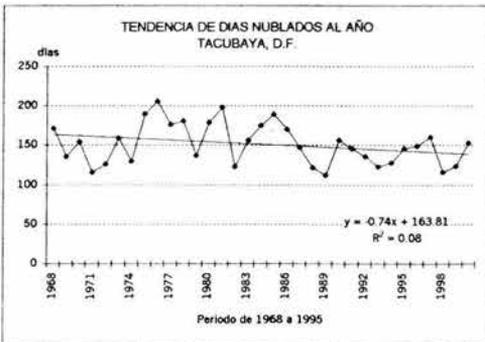
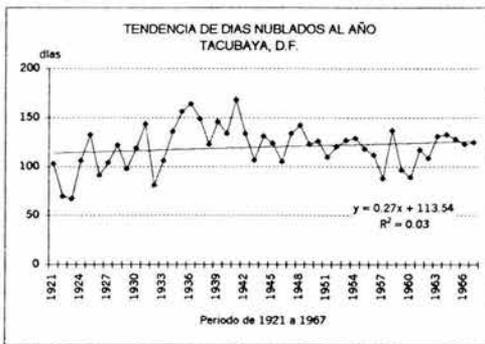
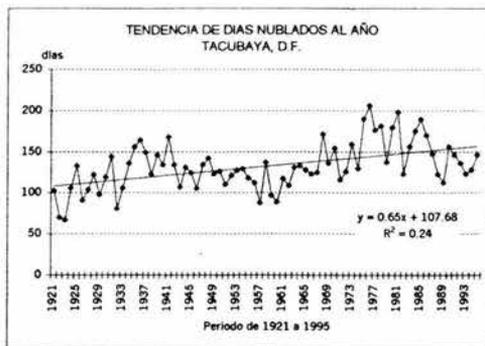


**TENDENCIA DE LA INSOLACION HORAS ANUALES  
SOTO LA MARINA, TAMPS.**

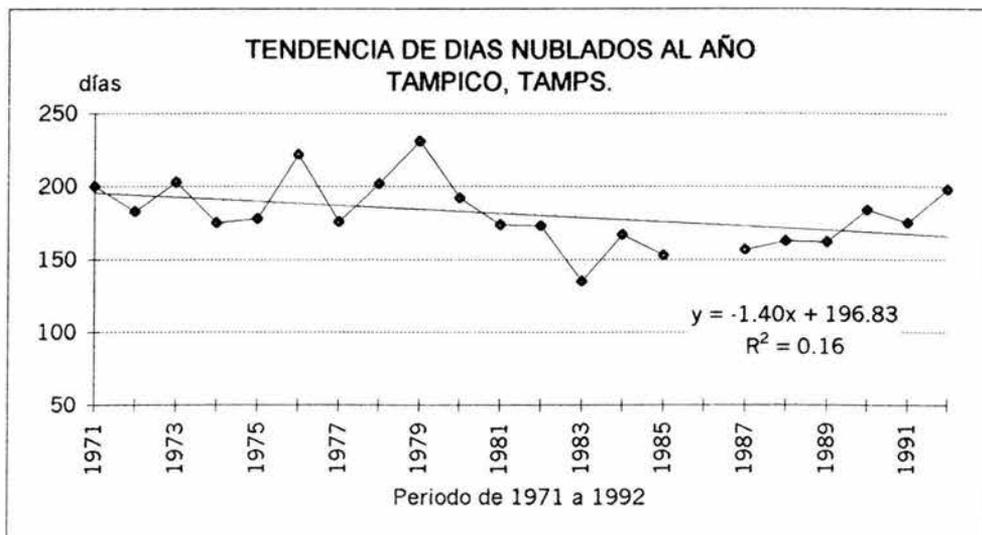
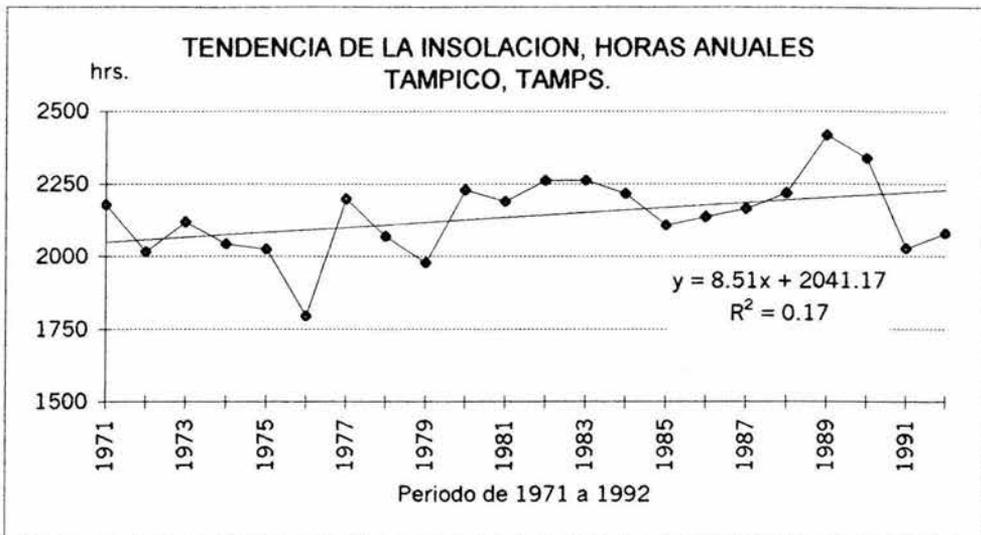


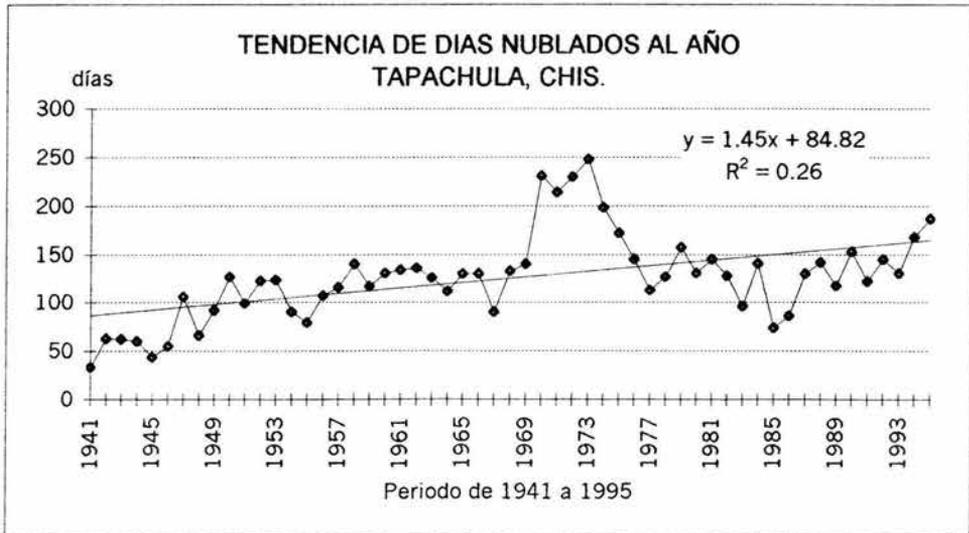
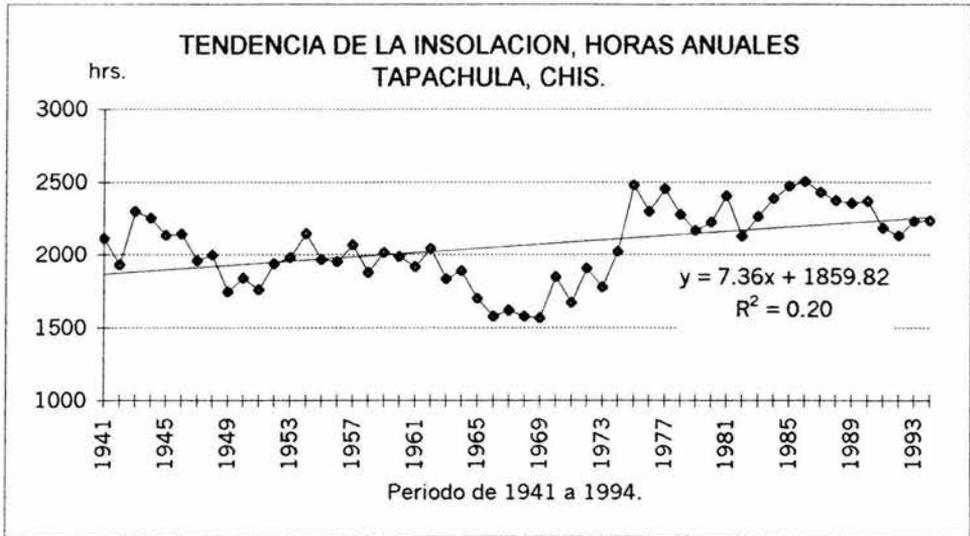
**TENDENCIA DE DIAS NUBLADOS AL AÑO  
SOTO LA MARINA, TAMPS.**

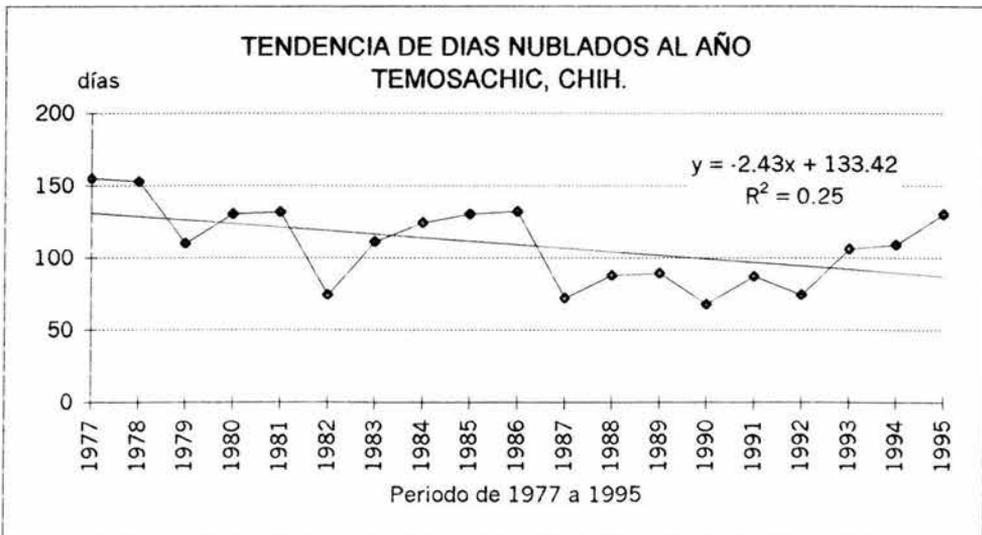
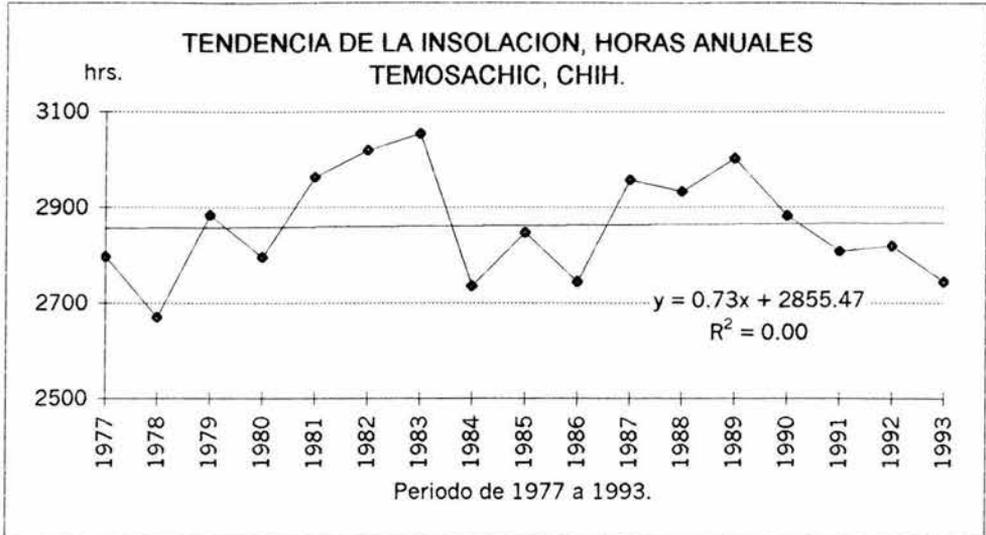


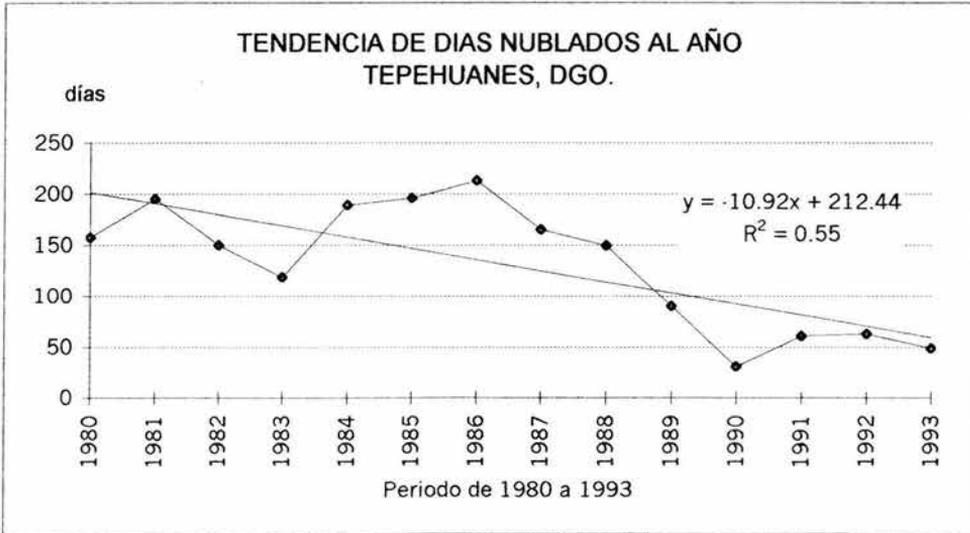
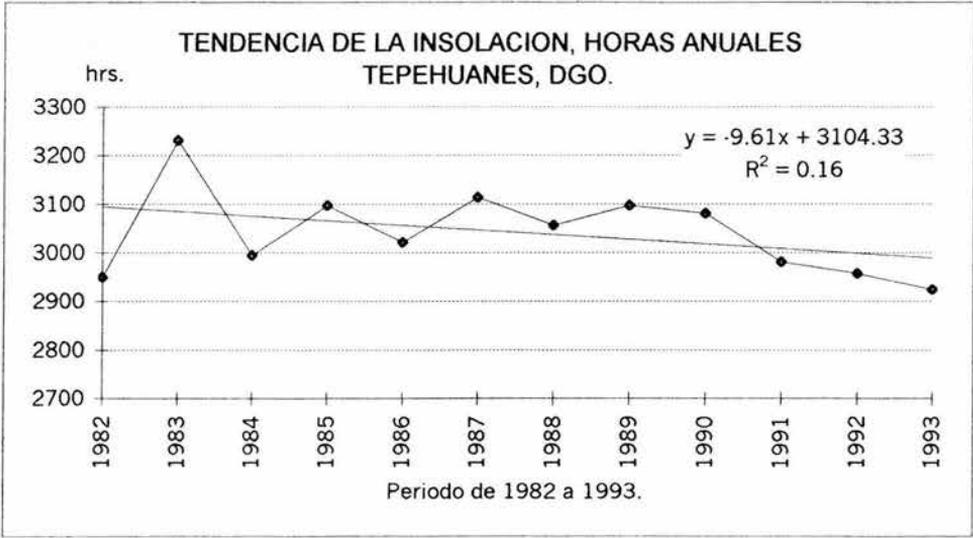


Gráfica No. 33

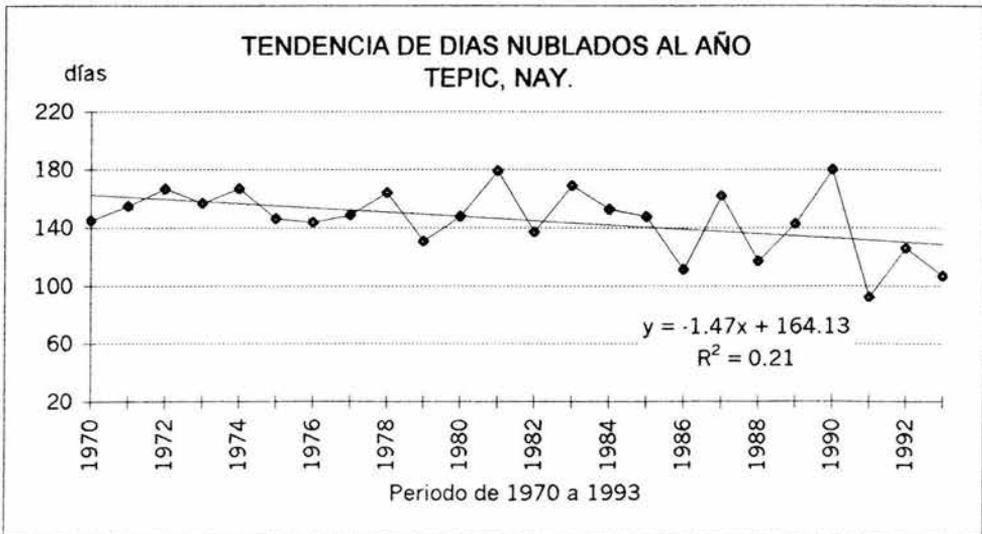
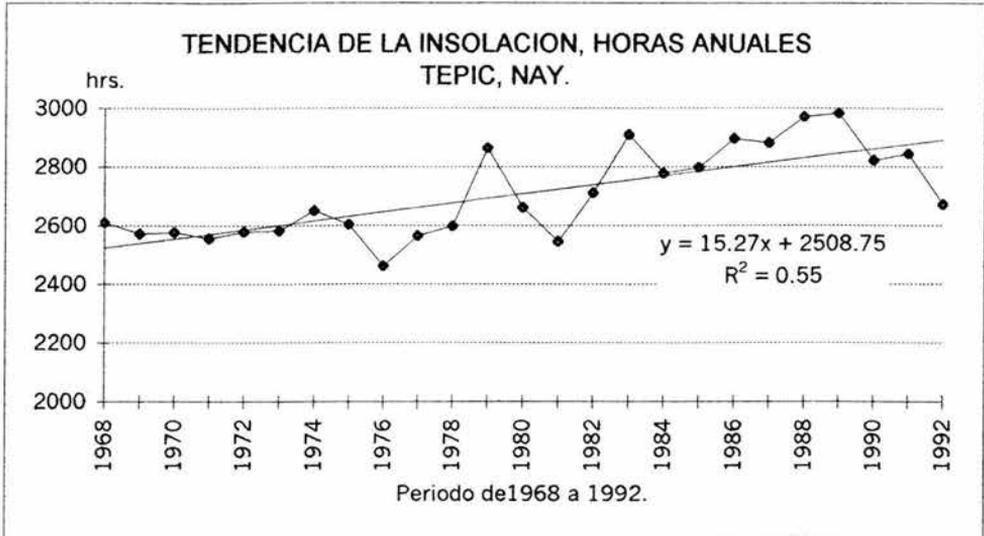


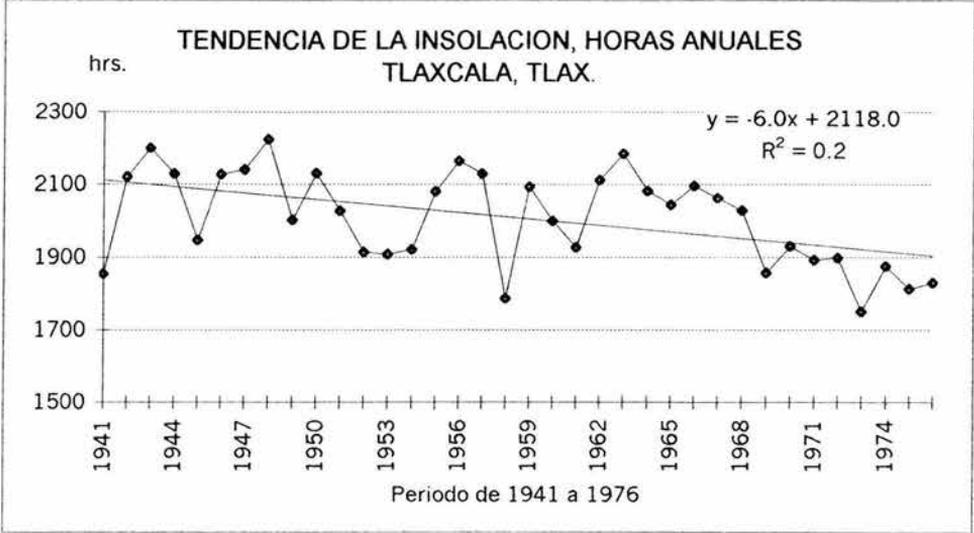


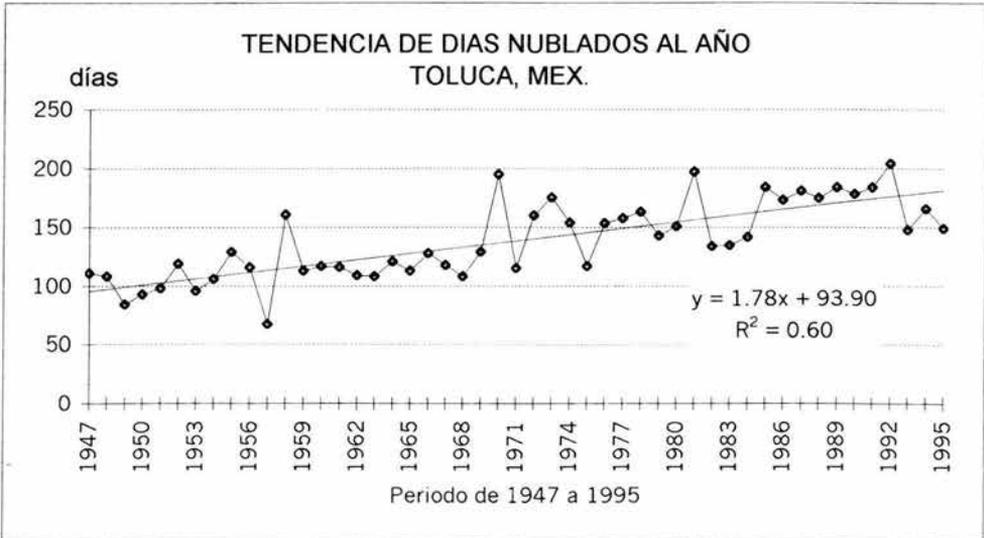
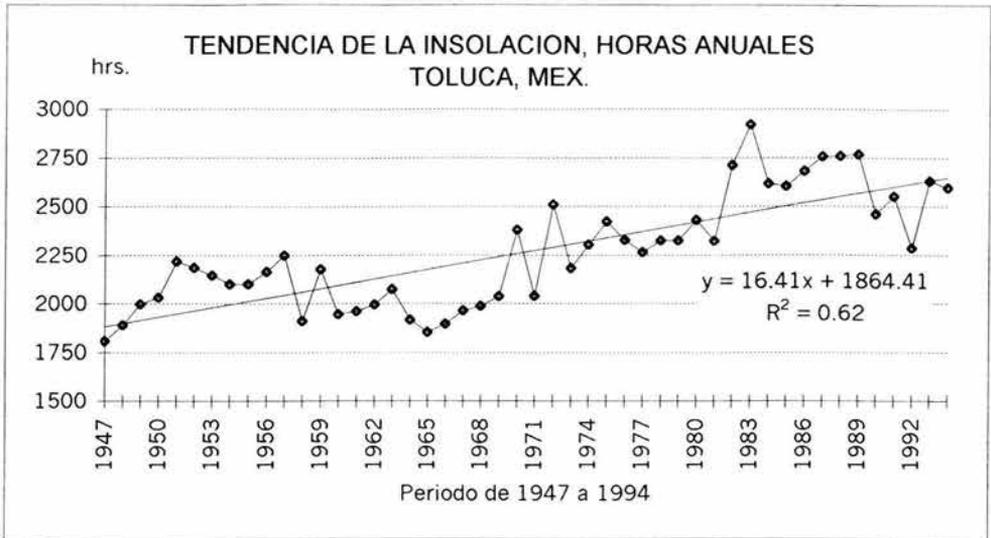




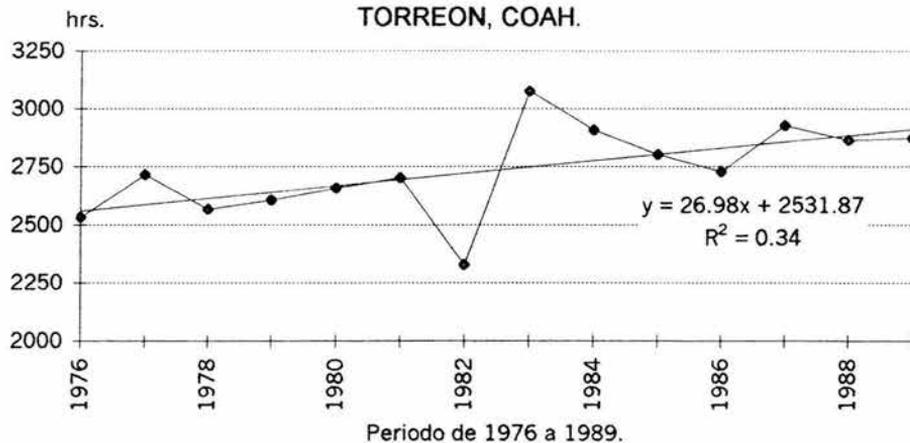
Gráfica No.37



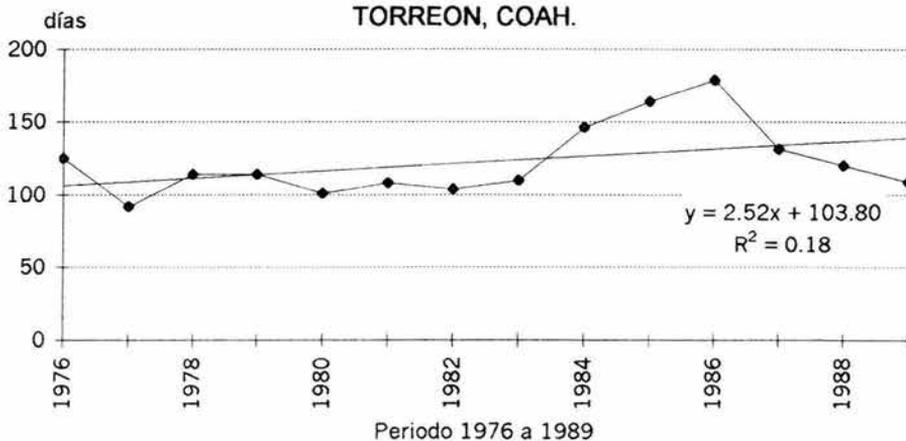


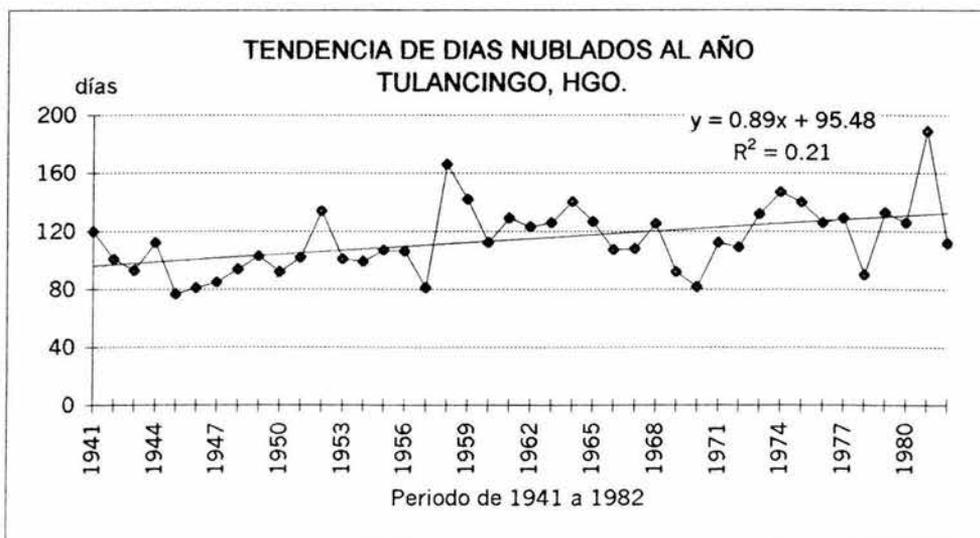
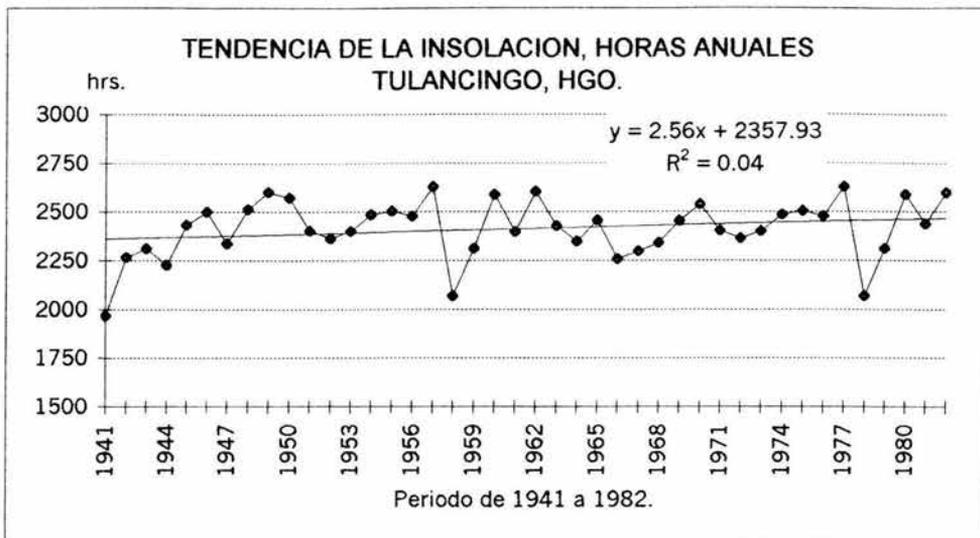


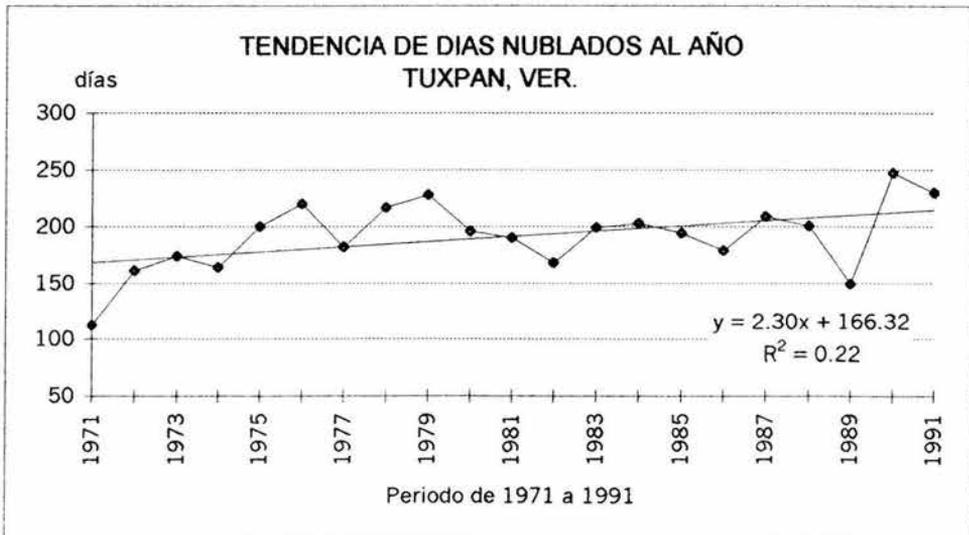
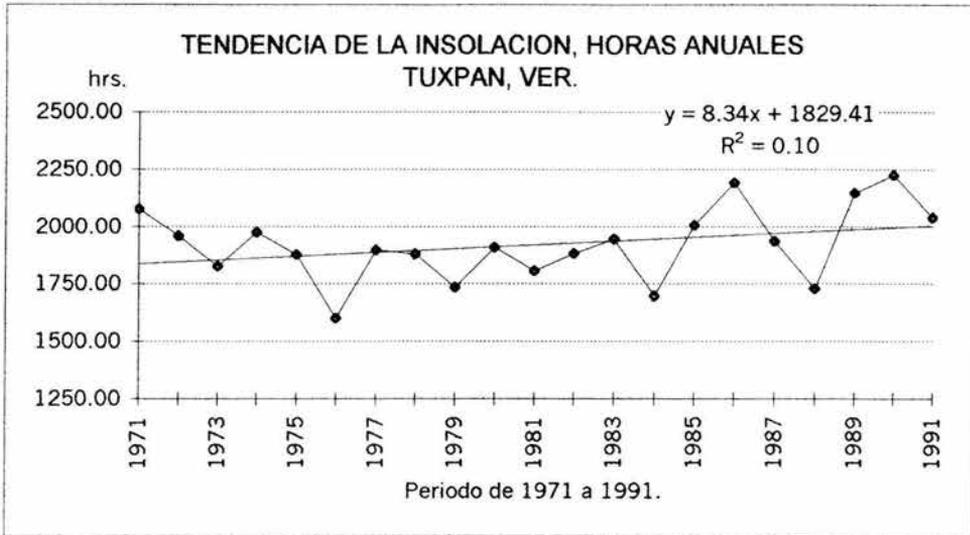
**TENDENCIA DE LA INSOLACION, HORAS ANUALES  
TORREON, COAH.**

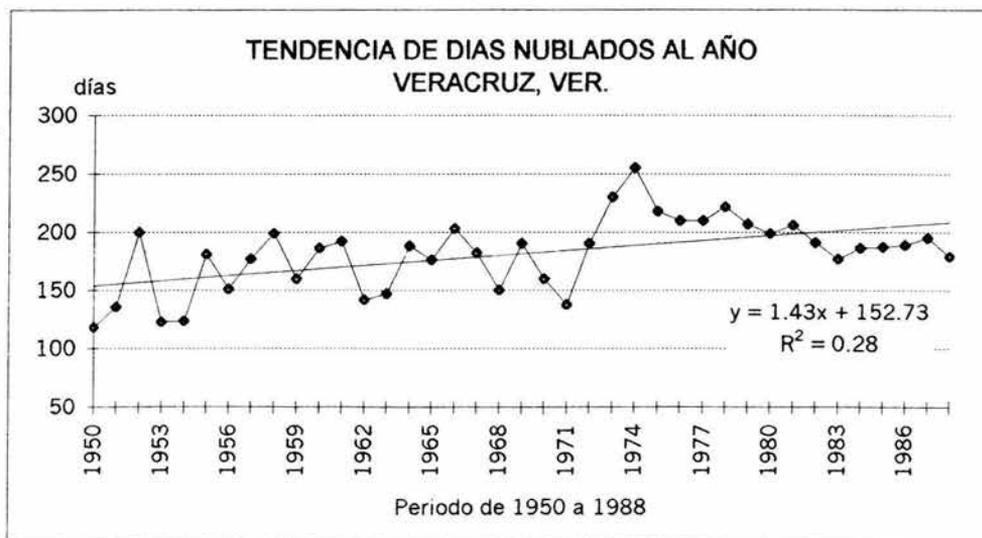
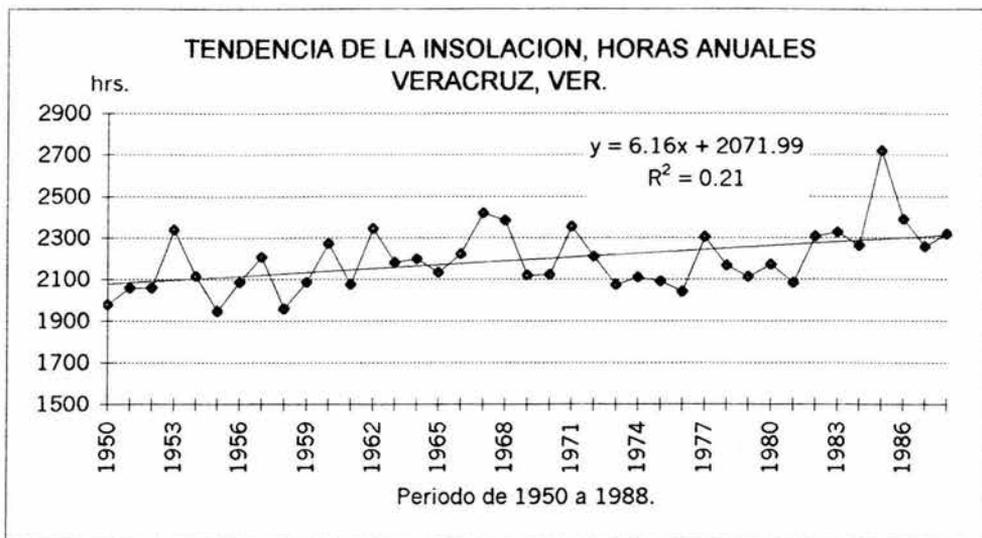


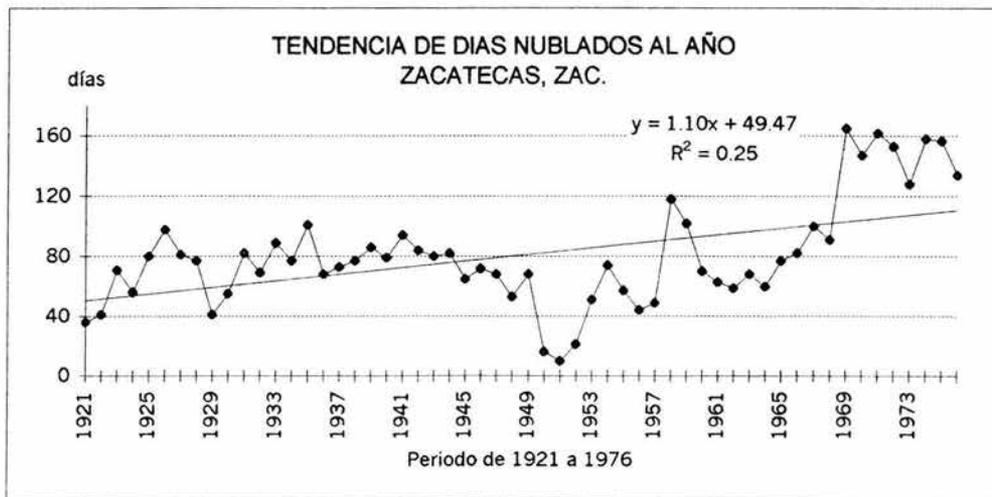
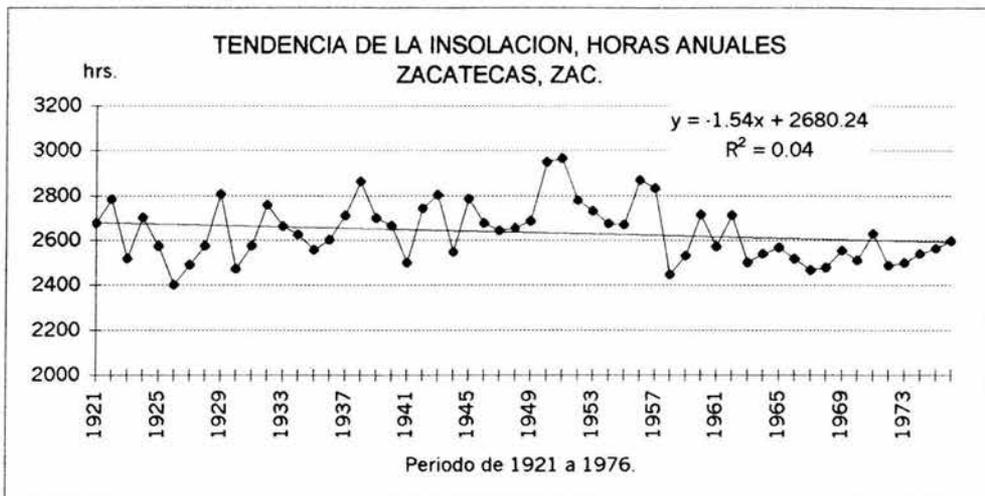
**TENDENCIA DE DIAS NUBLADOS AL AÑO  
TORREON, COAH.**











## BIBLIOGRAFÍA

- Almanza, Rafael y Serafín López, *Radiación Solar Global en la República Mexicana, mediante datos de insolación*, UNAM, octubre de 1975, Series Instituto de Ingeniería No. 357.
- Angell, J.K., J. Korshover and G.F. Cotton, "Variation in United States Cloudiness and Sunshine, 1950-82", *Journal of Climate and Applied Meteorology*, volume 23, May 1984, p. 752-761
- Ayllón, Teresa, *Elementos de Meteorología y Climatología*, Trillas, México, 1996.
- Candel Vila, R. "Atlas de Meteorología", 8ª. Ed., Barcelona, Jover, 1978.
- Coperías, Enrique M., "Psicometeorología", *Revista Muy Interesante*, ed. Televisa, México D.F., 2000, año XVII, No. 4, p. 19-28.
- Estrada Cajigal, Vicente, *Análisis crítico de procedimientos para estimar la Radiación Solar*. Tesis 1985.
- Fernández Zayas, José Luis y Vicente Estrada-Cajigal, *Cálculo de la Radiación Solar Instantánea en la República Mexicana*, UNAM, octubre de 1983, Series del Instituto de Ingeniería, No. 472.
- Galindo, Ignacio, Chávez, Adolfo, *Estudio del Clima Solar en la República Mexicana. Radiación Solar Total*. UNAM, Instituto de Geofísica, Dir. Gral. del Servicio Meteorológico Nacional, sept. de 1977.
- Galindo, Ignacio, *Estudio del Clima Solar en la República Mexicana I. Radiación Total*, UNAM, Instituto de Geofísica, Dirección General del Servicio Meteorológico Nacional, septiembre 1977.
- Gallardo, Mogens, Cambio Climático Global, Chile, Universidad de Concepción, Centro EULA- Chile, Tesis doctoral, 1997, en: <http://www.proinco.net>.
- García, Enriqueta, *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*, México, 1981.
- Henderson - Sellers, A., "Increasing Cloud In A Warming World." *Climatic Change*, 9, 1986, pág. 267-309.
- Henning, Dieter, *Atlas of the Surface Heat Balance of the Continents*. Berlin: Gebruder Borntraeger 1989.
- Jáuregui Ostos, Ernesto, *El Clima de la Ciudad de México*, UNAM, Instituto de Geografía y Plaza y Valdéz, México, 2000, 131 págs., Temas selectos de Geografía de México, I.4.1.
- Jáuregui Ostos, Ernesto, *La radiación global en México ; Una primera estimación de la distribución de la Radiación global y Neta en México*, México, Boletín de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, vol. VII, 1978, no. 2.
- Kondatiev, Kirill Jakovlevich. *Radiation in the atmosphere*. N.Y. Academy 1969.

- Kondratiev, Kirill Jakovlevich, *Changes in Global Climate; A Study of the effect of radiation and other factors during the present century*, Ed. V. Pandit. Rotterdam: A. A. Balkema, 1986.
- Lehr, Paul E., Burnett, R. Will y Zim Herbert S, *Meteorología*, Ed. Daimon, Barcelona, España, 1972, 159 págs.
- Mercado Mancera, Gustavo, *Manual de Prácticas: Meteorología y Climatología*, UNAM, México, 1993.
- México, Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, *Miniguía : Tiempo y Clima*, 2ª. reimp., Italia, CONACULTA y CITEM, 2001, 160 págs.
- México, Secretaría de Agricultura y Fomento, *Atlas Climatológico de México*, Dirección de Geografía, Meteorología e Hidrología, Servicio Meteorológico Mexicano, Tacubaya, D.F., septiembre de 1939.
- México, Secretaría de Agricultura y Ganadería, "Normales Climatológicas 1941-1970", Dirección General de Geografía y Meteorología, Servicio Meteorológico Nacional, 1976.
- Monkhouse, F.J., *Diccionario de Términos Geográficos*, Ed. Oikos-tau, Barcelona, España, 1978.
- Olivier, Georges, *La Ecología Humana*, 1ª. ed., publicaciones Cruz O., S.A., México D.F., 1993, 112 págs. Colección ¿Que sé?
- Organización Mundial de Meteorología, *Vocabulario Meteorológico Internacional*, 2ª. ed. WMO/OM/BMO, No. 182, Ginebra, Suiza, 1992.
- Pankrath, J. *Circulación Atmosférica, Radiación Solar*. Berlín, Institut fur Theoretische Meteorologie, 1968.
- Ruffner, James A. and Frank E. Bair, "A review of some atmospheric factors in health and disease", *The Weather Almanac*, Gale Books, fifth edition, Detroit, Michigan, 1987, p. 176-185.
- Solow, Andrew R., *El Calentamiento de La Tierra*, compilado por Rudiger Dornbusch y James M. Poterba, (Trad. Marcela Pineda C.), 1ª. ed. en español, México, CONACYT, 1994, cap. 1 "¿Hay un problema de calentamiento en la Tierra?", p. 1-27.
- Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía, *Atlas Nacional de México*, vol. II, México, 1990.
- Van Nostrand Reinhold, *The Encyclopedia of Climatology*, ed. by John E. Oliver, Rhodes W. Fairbridge, New York, 1987, 986 págs.
- Weber, R., "Spatial and Temporal Variation of Sunshine in the Federal Republic of Germany", *Theoretical and Applied Climatology* 41, 1990, p. 1-9
- Welch, Ronald M., *Solar Radiation and Clouds*, American Meteorological Society, Boston Massachusetts, 1980.
- Wetherald, R. T. and S. Manabe, 1986 "An Investigation of Cloud Cover Change in Response to Thermal Forcing". *Climatic Change*, 8, p. 5-23

