



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFÍA

"ANÁLISIS DE ALGUNAS VARIABLES METEOROLÓGICAS Y SU ÁREA DE
INFLUENCIA, EN CIUDAD UNIVERSITARIA, D.F., DURANTE EL PERÍODO
1963 A 1983"

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN GEOGRAFÍA
P R E S E N T A
JOSÉ BENITO CRESCENCIO SÁNCHEZ
HUERTA

MÉXICO, D.F.

1990

ÍNDICE

	Página
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1 GENERALIDADES	3
CAPÍTULO 2 INTERACCIÓN DEL SISTEMA SOL-ATMÓSFERA- ESPACIO GEOGRÁFICO.	11
CAPÍTULO 3 CIRCULACIÓN GENERAL DE LA ATMÓSFERA...	14
CAPÍTULO 4 LAS VARIABLES CLIMÁTICAS Y SU RÉGIMEN ANUAL	17
- TEMPERATURA	22
- TEMPERATURAS EXTREMAS	26
- TEMPERATURA MÁXIMA MAXIMORUM	29
- TEMPERATURA MÍNIMA	32
- TEMPERATURA MÍNIMA MINIMORUM	35
- PRESIÓN ATMÓSFERICA	37
- VIENTO	40
- EVAPORACIÓN	47
- HUMEDAD RELATIVA	55
- NUBOSIDAD	58
- PRECIPITACIÓN MEDIA	62
CAPÍTULO 5 TENDENCIAS DE LAS VARIABLES OBSERVADA	67

- INSOLACIÓN	68
- TEMPERATURAS: MEDIA, MÁXIMA Y MÍNIMA	71
- PRESIÓN ATMOSFÉRICA	75
- HUMEDAD RELATIVA	77
- PRECIPITACIÓN	80
CAPÍTULO 6. ALGUNOS ÍNDICES CLIMATOLÓGICOS	83
- OSCILACIÓN TÉRMICA	83
- INTENSIDAD DE LA LLUVIA	86
- CONCENTRACIÓN DE LA LLUVIA	88
- VARIABILIDAD DE LA LLUVIA	93
- ÍNDICE DE ARIDEZ	98
CAPÍTULO 7. CLIMA	100
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	109
BIBLIOGRAFÍA	113

Te doy gracias Señor, por haberme permitido llegar hasta este momento. A mis hermanos y demás familiares, por el apoyo moral y económico que me brindaron durante mis estudios.

A los maestros que de una u otra forma, crearon en mí el sentido humano, el respeto y el amor a la Naturaleza. En particular al maestro Arturo Jiménez Román, por su dedicación en la revisión y asesoría de este trabajo.

Al pueblo de México, que con sus impuestos, voluntarios o no, hace que en este país se mantenga la educación de manera accesible.

A los estudiosos de todos los tiempos, que sepan valorar, criticar y superar este trabajo.

INTRODUCCIÓN

El comportamiento de las diversas variables climatológicas en el tiempo y en el espacio, desde la antigüedad han llamado la atención al hombre, ya que éstas condicionan parte del medio ambiente en el cual desarrolla éste sus actividades.

El presente trabajo tiene la finalidad de analizar y clasificar algunos de estos fenómenos atmosféricos, que por veinte años se han registrado en el Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional Autónoma de México, es decir, durante el período 1963 a 1983.

Durante el desarrollo de cada tema se trata de detectar la causalidad que da origen al fenómeno y se hace el análisis cuantitativo y cualitativo sobre su comportamiento anual, para que de esta forma se pueda determinar su tendencia, tanto en el tiempo como en el espacio y poder así establecer su correlación con los demás elementos del clima, para encontrar de esta forma los factores que intervienen en su régimen.

El propósito de elaborar este trabajo, se basa en la inquietud de mostrar a los interesados en esta materia, una información que se apegue a la realidad científica sobre la variedad de las condiciones atmosféricas, que por veinte años se ha podido recabar y cuantificar en dicho observatorio. Actualmente, éste depende de la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad Nacional Autónoma de México. Los datos recabados en esta estación meteorológica, corresponden a los fenómenos de la insolación, la temperatura media, la temperatura máxima, la temperatura mínima, la presión atmosférica, el viento, la humedad relativa, la evaporación y la precipitación.

Pero el conocimiento vertiginoso de cada uno de estos elementos atmosféricos observados, no fue suficiente para lograr el objetivo que se perseguía, por lo que hubo que hacer una presuposición de un análisis cuidadoso de esta información, para lo cual se incluyeron algunos cálculos matemáticos con los que se obtuvieron resultados favorables en relación a los objetivos de este trabajo.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

El área de estudio se localiza al sur de la Altiplanicie Mexicana y dentro de la Cuenca del Valle de México. Esta gran cuenca pertenece a la región fisiográfica del Sistema Volcánico Transversal, y cuenta con una superficie de 9 600 km² que está limitada por los paralelos de 19°00' y 20°15' de latitud norte y, los meridianos 98°15' y 99°30' de longitud oeste (Figura 1).

La geología histórica demuestra que esta cuenca se formó por procesos tectónicos y volcánicos ocurridos en el Eoceno hace 50 millones de años, y a partir de entonces ha predominado en su evolución la actividad tectónica. Así, durante el Oligoceno Medio Superior las erupciones volcánicas dieron lugar a la formación de cerros como el Peñón de los Baños, el Tigre y el Santa Isabel. La formación de estos cerros produjo un gran número de fallas por las que fluyeron grandes volúmenes de lava, que sepultó los depósitos del Eoceno, los cuales habían sido originados por la revolución geológica Laramidiana.

Al continuar el desplazamiento de la corteza terrestre durante el Oligoceno, se produjeron una serie de fosas y pilares tectónicos que constituyeron valles y montañas alineadas de noreste a sureste, por las cuales empezaron a escurrir ríos en la misma dirección, los que rellenaron esos valles con material clástico. Al final de este período y principios del Mioceno, hubo una nueva actividad volcánica, la cual originó una serie de volcanes o humaredas de diversas composiciones. Por ejemplo, en la construcción del tajo de Nochistongo quedaron al descubierto una gran cantidad de carbonatos de calcio, no así el complejo Tepetzotlán-Guadalupe, el cual se formó por material ígneo.

Más tarde, en el plioceno, se formaron los volcanes de la Sierra Nevada, los cuales arrojaron material piroclástico de cenizas y pomitas, las que fueron transportadas por la acción del viento hacia los flancos de los antiguos volcanes de Huehuetoca, Humaredas y Tepetzotlán, donde fueron depositados. Finalmente, en el Cuaternario continuó desarrollándose la actividad volcánica, formándose los cerros de

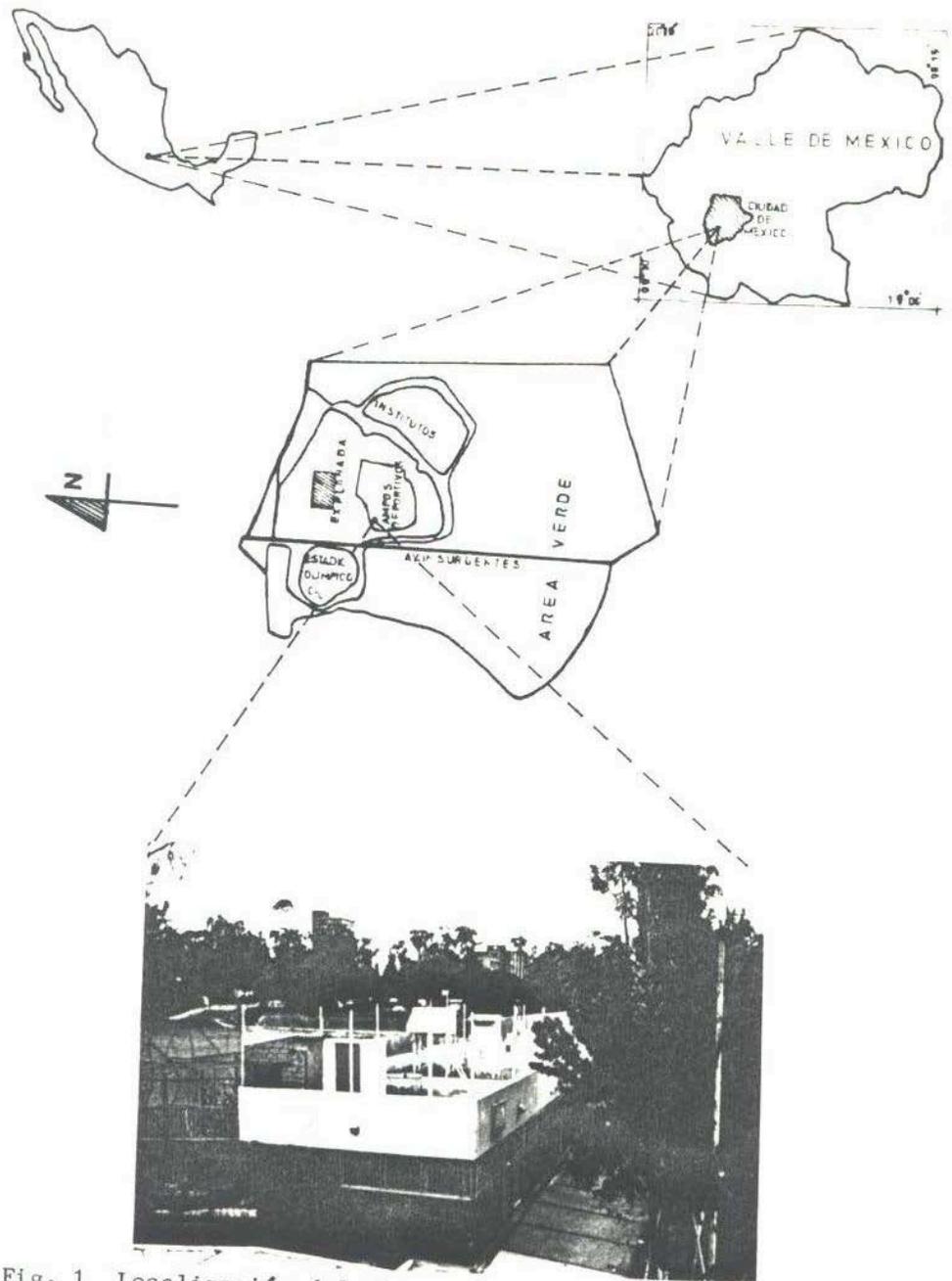


Fig. 1 Localización del Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Chimalhuacán, La Estrella, Los Pinos y el Peñón del Marqués; todos ellos al sur de la cuenca. Por el norte de la misma se formaron los cerros de

Chiconautla y el cerro Gordo, al mismo tiempo las erupciones basálticas y andesíticas formaron los Llanos de Apan. Durante el Cuaternario superior se formó la Sierra de Chichinautzin, la cual obstruyó el drenaje natural de la cuenca por la parte sur, quedando ésta totalmente cerrada ya que junto con la formación de esta sierra se formaron el Iztaccíhuatl y el Popocatepetl.

Por las características geológicas que presenta esta Cuenca del Valle de México, se infiere que tanto los ríos como los arroyos que escurren de las partes altas de las montañas que la limitan, desaguan en la llanura lacustre donde se forman grandes lagos y ciénegas. En el pasado estos cuerpos de agua fueron de gran importancia por su extensión ya que se alimentaron libremente por esos escurrimientos torrenciales; pero actualmente la mayoría de estos ríos vierten sus aguas en presas y otras obras reguladoras, que se han construido sobre sus cauces. Estas presas y obras de infraestructura además de controlar sus avenidas distribuyen sus aguas por medio de canales y oviductos, los cuales se han entubado al pasar por la zona urbana de la Ciudad de México, D.F., evitándose así las inundaciones. Estos ríos entubados también recogen las aguas negras de la zona urbana, para desalojarlas de la cuenca hacia el río Tula en el estado de Hidalgo a través del gran canal del desagüe. Los ríos que sobresalen por su importancia son: Magdalena, Los remedios, Cuautitlán y la Piedad que, junto con otros de menor importancia vertieron sus caudales en los lagos de Chalco, Xochimilco, Texcoco y Zumpango, de los cuales solamente quedan algunos vestigios.

Estas remanencias lacustres pueden ser observadas en la figura 2, en la cual se demuestra por medio de las curvas de nivel que efectivamente, estos ex-lagos están en las partes más bajas del Valle o Cuenca de México. En esta figura se muestra la topografía que presenta actualmente este valle; se observa que está limitado hacia el norte por las Sierras de Tezontlalpan, Tepetzotlán y Pachuca, éstas son las menos elevadas pues sólo alcanzan alturas hasta 3 000 m.s.n.m. Hacia el sur del valle se elevan las sierras del Ajusco y el Chichinautzin, que alcanzan alturas entre 2 500 y 3 500 m.s.n.m. Por el oriente aparece la Sierra Nevada, de la que sobresalen por su elevación los picos del Popocatepetl y el Iztaccíhuatl, con alturas de 5 747 y 5 286 m.s.n.m., respectivamente. Hacia el poniente se localizan las Sierras de las

Cruces, Monte Alto y Monte Bajo, con alturas hasta de 3 600 m.s.n.m. En el interior del Valle, el relieve es suave dominando la planicie lacustre casi en su totalidad, pues sólo la interrumpe algunos montículos o elevaciones entre las que sobresalen las Sierras de Guadalupe y Santa Catarina.

En general, la vegetación de esta cuenca se agrupa en relación a la fisiografía que se presenta allí mismo, lo que hace que se diferencie el estrato arbóreo de diversos tipos de bosques y matorrales.

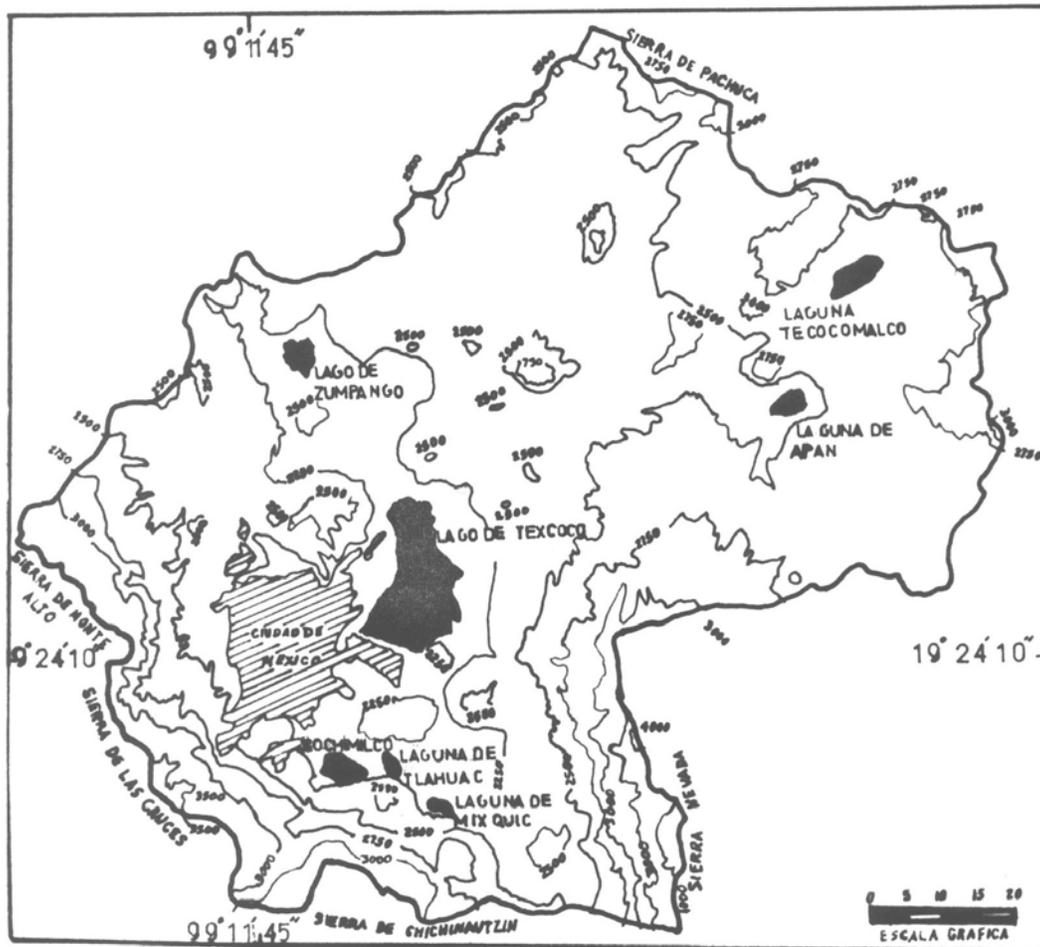


Fig. 2 Vestigios lacustres del Valle de México

El Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional Autónoma de México, se localiza al suroeste de este gran valle; a los $19^{\circ}20'$ de latitud norte y $99^{\circ}11'$ de longitud oeste, con una altura sobre el nivel del mar de 2 270 m.

Su ubicación específica está dentro de los campus deportivos de la Ciudad Universitaria, D.F. El ambiente de este lugar es de un suelo rocoso de origen volcánico, la topografía es casi plana de poca pendiente. El piso del suelo que se encuentra en los alrededores del observatorio ha sido rellenado, nivelado y empastado por la mano del hombre, y actualmente es utilizado como campos de recreación y prácticas deportivas. Estos campos o áreas verdes están separados por corredores con pisos pavimentados y en cuyos lados aparecen hileras de árboles que miden de 8 a 10 metros de altura, a excepción del extremo norte, donde aparece la alberca olímpica de la propia Universidad. Fuera de este ambiente se presenta un medio más urbanizado por la presencia de edificios y estacionamientos, aunque no deja de haber áreas verdes principalmente hacia el suroeste de la estación meteorológica, como se puede ver en la figura 1, mostrada anteriormente.

Para determinar el área de influencia que tiene este observatorio, fue necesario considerar la ubicación de otras estaciones climatológicas que estuvieron lo más próximas a éste, con la idea de que sirvieran de apoyo para la determinación de esta área de influencia.

Estas estaciones se especifican en la figura 3, con el símbolo de ▲ y corresponden a: Presa Ansaldo, Presa Mixcoac, Colonia Marte, Morelos Iztapalapa, Santa Úrsula Coapa y El Calvario.

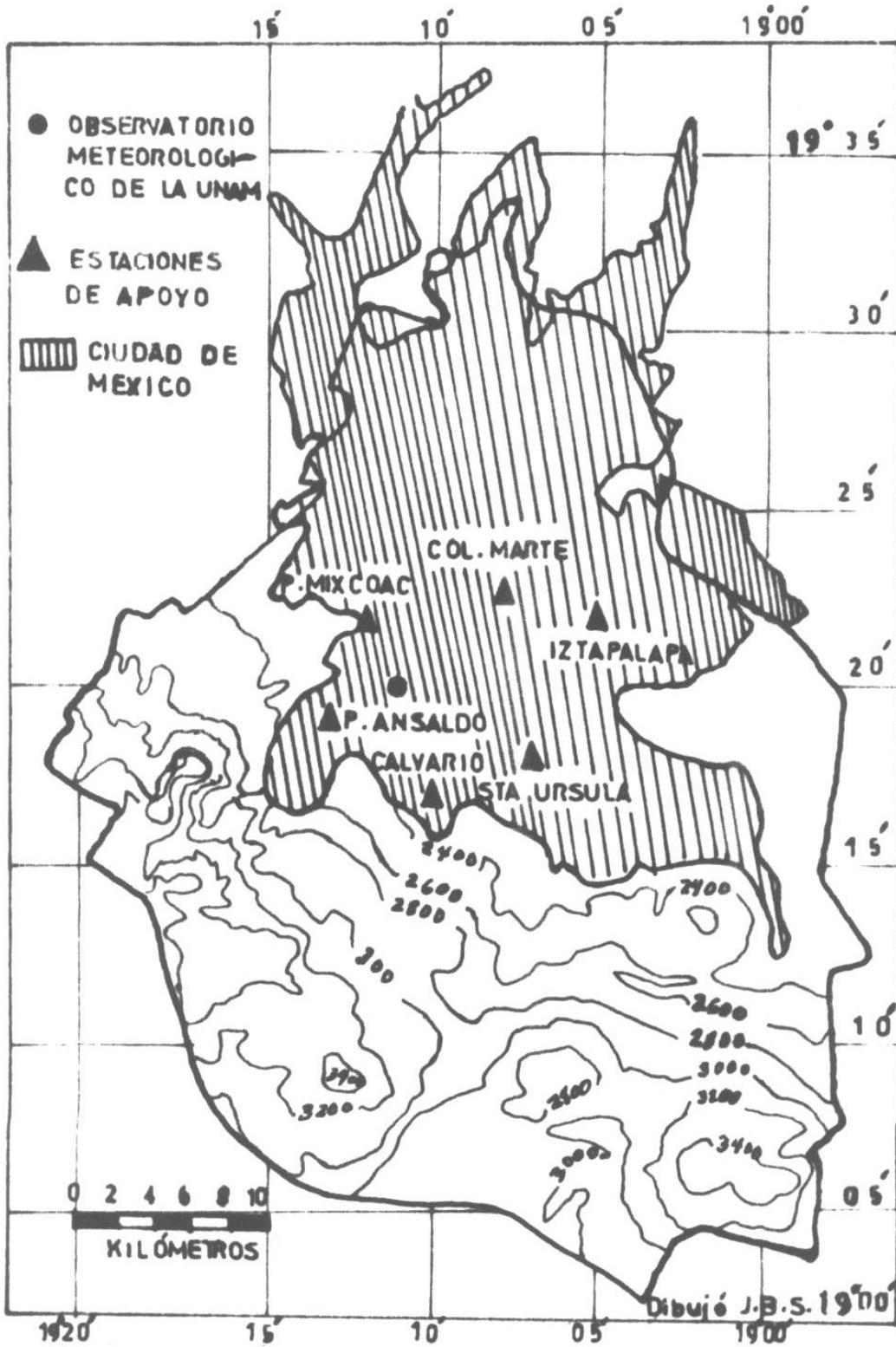


Fig. 3 Localización de las estaciones

Para calcular dicha área se tomaron los puntos medios de las distancias que hay entre el mencionado observatorio y cada una de estas estaciones de referencia. Por otra parte, el hecho de haber adoptado esta técnica se fundamenta en la naturaleza topográfica del espacio aledaño a dicho observatorio y cada una de estas estaciones de referencia. Por otra parte, el hecho de haber adoptado esta técnica se fundamenta en la naturaleza topográfica del espacio aledaño a dicho observatorio meteorológico. Tomando en consideración lo expuesto se unieron los puntos equidistantes señalados para conformar esa área que es de 4.03 km² aproximadamente, en la que los fenómenos atmosféricos registrados son cuantificados con mayor exactitud por el referido observatorio.

Por el ambiente que rodea al observatorio, esta área de influencia.



Fig. 4 Localización del área de influencia

INTERACCIÓN DEL SISTEMA SOL-ATMÓSFERA-ESPACIO GEOGRÁFICO

El sol, al igual que las demás estrellas se formó por concentración gravimétrica de materia interestelar. Este es un cuerpo luminoso eléctricamente neutro, en su interior existen reacciones termonucleares que al fusionarse con el hidrógeno, éste se convierte en helio. Esas reacciones que se generan en el Sol, dan como resultado la liberación de masa convertida en energía, la que se propaga en el espacio en longitudes de onda corta sin necesidad de un soporte material y cuando encuentra un cuerpo, éste absorbe parte de esa energía convirtiéndola en calorífica.

Al llegar estas ondas luminosas a la magnetósfera de la Tierra, son absorbidas ciertas longitudes de onda corta por el plasma que presenta esa capa magnética que envuelve al planeta, de tal forma que la radiación solar que llega a la superficie de la atmósfera terrestre, es de una dos mil millonésima parte de la emitida.

Gran parte de esta radiación parcial no llega al suelo de la superficie terrestre ya que los componentes atmosféricos la absorben, la difunden y la reflejan selectivamente, de esta manera el oxígeno y el ozono absorben la mayor parte de la radiación ultravioleta en las capas superiores de la atmósfera; sin embargo, el vapor de agua y el dióxido de carbono que se encuentran en las capas bajas, especialmente en la tropósfera, absorben poco a esta radiación solar; pero en los niveles bajos de esta capa troposférica, la energía vuelve a ser absorbida por las partículas de gases tóxicos, el polvo y otra parte de esta energía es difundida y devuelta al espacio, la radiación solar que es absorbida por el suelo, se transforma en calor para ser liberado a la atmósfera en longitud de onda larga y calentarla, ya que este tipo de ondas son absorbidas en un porcentaje alto por el dióxido de carbono y el vapor de agua que existe principalmente en la biósfera terrestre.

La forma en que se transmite este calor a la atmósfera se hace primero por contacto del aire con el suelo y después por la convección de las corrientes de este aire, que lo llevan a las capas superiores, desplazándose después de cierta altura hacia latitudes altas, principalmente sobre la zona intertropical del planeta. La radiación que así se libera de la superficie terrestre a la atmósfera sólo se percibe en

forma de calor, es decir, es invisible, y corresponde a la banda de 4.0 Mm a 8Mm del espectro electromagnético. Al igual que con la radiación solar, una parte de la radiación terrestre es absorbida y difundida por los componentes atmosféricos. En consecuencia, el suelo recibe tanto la energía radiante directamente del Sol, como la energía difusa de las nubes.

La energía terrestre que no es absorbida por los componentes atmosféricos se escapa directamente al espacio desde la superficie del suelo, a través de la ventana atmosférica, la cual se localiza en la banda de los 8.0 Mm a los 13.0 Mm, en el espectro electromagnético. Esto sucede porque los componentes atmosféricos son transparentes a las radiaciones de longitud de onda más grande. En contraste la radiación que se refleja al espacio exterior por el sistema Tierra-Atmósfera, se conoce como albedo o brillo del planeta, si se considera a este brillo como la relación que hay entre la cantidad de radiación global reflejada por la superficie del planeta y la cantidad de radiación incidente sobre esa superficie, se inferirá que debido a la heterogeneidad que hay en esta superficie y en la atmósfera, este brillo no es uniforme para todos los lugares de la superficie del planeta.

CAPÍTULO 3

CIRCULACIÓN GENERAL DE LA ATMÓSFERA

La atmósfera terrestre es un elemento dinámico cuyas variaciones constantes están vinculadas a la energía proveniente del espacio exterior.

Como se ha dicho, la energía que recibe la Tierra engendra cambios y movimientos en función del proceso de la radiación que recibe del Sol y del ángulo de inclinación que presenta al llegar al suelo del planeta donde se transforma en calor; de allí, que la temperatura o el calentamiento disminuya del ecuador hacia los polos.

Entre otras características la atmósfera como parte de la Tierra, registra una densidad determinada que fluctúa en función de la temperatura del aire que la integra, por lo tanto, dichos cambios en la presión atmosférica origina el flujo del aire, desde los centros de altas hasta los de bajas presiones, generando así movimientos circulatorios que dan como resultado el movimiento general de la atmósfera. Esta circulación general que se registra en la atmósfera define cuatro zonas de alta presión y tres de baja presión, donde se originan los diversos sistemas de vientos y corrientes de aire que la conforman; dichos movimientos atmosféricos no son uniformes ya que existen heterogeneidades en el planeta, los cuales rompen la continuidad de las zonas en cuestión originando en sus lugares respectivos celdas o centros de altas y bajas presiones, cuyas localizaciones e intensidades se modifican a lo largo del año.

Todas estas características son generadas principalmente por los cambios en la posición del eje terrestre durante el movimiento de traslación alrededor del Sol. Los movimientos de este eje, forman un ángulo de $23^{\circ}27'$ en relación al plano vertical de la órbita terrestre, este ángulo es lo suficientemente amplio como para modificar la incidencia de los rayos solares que, como se dijo, llegan a la superficie del planeta, lo cual repercute en el cambio constante de las celdas mencionadas, las que se mueven del norte hacia el sur y viceversa; lo que conlleva a la definición de cuatro periodos con características bien definidas, conocidas como estaciones del año. Estas estaciones se suceden en un mismo lugar por el efecto de la presión baja que se encuentra sobre el ecuador térmico, al correrse éste hacia el sur del ecuador geográfico en invierno y hacia el norte de éste en el verano.

Por otro lado, la localización geográfica del Valle de México y específicamente la del área de estudio, se ubica muy cerca de la Zona Intertropical de Convergencia (Z.I.C.), donde predominan los vientos alisios, los ciclones y las tormentas tropicales; sin embargo, durante el invierno la zona de altas presiones está representada por los anticiclones Bermudas-Azores, en el Océano Atlántico y la del Pacífico del Norte que invaden el territorio nacional periódicamente con masas de aire frío, como se vera más adelante.

Durante el verano, la incidencia perpendicular de los rayos solares en esa zona intertropical, hacen que se generen temperaturas altas, lo que origina un calentamiento del aire y el suelo produciéndose con ello, áreas de baja presión atmosférica hacia la que fluyen los vientos procedentes del mar.

Estos vientos denominados alisios, se originan en el Atlántico, especialmente al suroeste de la celda anticiclónica Bermudas-Azores y cuya influencia alcanza el área de estudio, moviéndose desde el noroeste o del este y al pasar sobre el Océano sus aguas cálidas les proporcionan humedad, la cual es transportada hacia el interior traspassando la Sierra Madre Oriental y llegando hasta el Valle de México, donde provocan importantes precipitaciones, ya que en esta época del año se presentan en ambos litorales del país los ciclones y las tormentas, que generan la presencia de otros elementos climáticos, los que modifican a los ya existentes. Algunos de estos fenómenos meteorológicos no afectan directamente a la zona de interés, sin embargo, sus remanencias están presentes durante su ocurrencia.

En invierno, el desplazamiento del ecuador térmico hacia el sur en el hemisferio norte, permite que avance el cinturón de altas presiones continentales sobre este hemisferio, las cuales al pasar por el centro, vienen acompañadas de masas de aire frías o nortes, los cuales se caracterizan al inicio de la estación con lloviznas intermitentes.

Con respecto a las estaciones de primavera y otoño, éstas se consideran como de transición, ya que presentan características propias de un calentamiento y un enfriamiento paulatinos.

CAPÍTULO 4

LAS VARIABLES CLIMÁTICAS Y SU RÉGIMEN ANUAL

Después de haber abordado el tema de la radiación solar, su comportamiento y su influencia en la circulación general de la atmósfera; se prosigue con el análisis del comportamiento cualitativo y cuantitativo de las variables meteorológicas registradas en la estación meteorológica ya mencionada.

Querer analizar el comportamiento de cada variable por separado dentro de un sistema tan complejo, es muy difícil porque los fenómenos atmosféricos están determinados directa e indirectamente por los efectos de la radiación solar que llega a la Tierra. Es muy importante considerar que el comportamiento de cada uno de esos fenómenos ocurrientes, no son independientes sino que se vinculan unos con otros de manera muy diversa, y al mismo tiempo reciben la influencia de una serie de factores que modifican su régimen.

Estos factores son de dos tipos: los físicos y los sociales. Los primeros están constituidos por la radiación solar, la posición astronómica de la Tierra, la inclinación del eje terrestre con respecto al plano ecuatorial, la forma del planeta, el tipo de relieve, la forma y composición de la atmósfera, etc. Los segundos están constituidos por el grado de contaminación, debido al crecimiento de las ciudades que se encuentran dispersas por todo el planeta y a la tala inmoderada de los bosques por la expansión de la agricultura y las áreas urbanas; con esto se han originado grandes cambios en el clima, principalmente de las zonas urbanas.

INSOLACIÓN. La insolación es el tiempo en que brilla el sol sobre un punto de la superficie terrestre. Esta es la variable meteorológica más importante de la que dependen en cierta medida las otras variables que conforman al clima y modifican el estado del tiempo.

La figura 5 permite apreciar a primera vista que la insolación presenta un máximo en primavera y un mínimo a principios de verano, sin embargo, para encontrar una explicación más precisa sobre dicho comportamiento es pertinente buscarla en su principal modificador que es el número de días despejados, con la finalidad de hacer una comparación que evidencie de manera visual la causa de su variabilidad. Para ello se ha trazado la figura 6 con sus dos curvas respectivas.

En esta figura se muestra el comportamiento medio que siguió la insolación en el área de interés durante los años analizados. En las curvas que la integran se observa que hubo un incremento en las horas de insolación durante el invierno y primavera, lo cual se debe a que en esta estación predominan los cielos despejados en esta zona.

Sin embargo, ese aumento en la insolación sigue siendo alto, sobre a todo a principios de primavera, en el que sobresale el mes de marzo con 230.3 horas coincidiendo con el mayor número de días despejados, 25.68. Cabe mencionar que durante el invierno y principios de primavera, esta área de estudio está bajo la influencia de los centros de altas presiones. Por lo tanto, a partir de marzo la insolación se abate como resultado del decremento de los días despejados. Esto es, conforme la atmósfera se va cargando de humedad, ya que es la misma insolación la que propicia un mayor calentamiento en el aire, lo que hace que éste tenga mayor capacidad para retener el vapor de agua.

Durante la última parte del otoño y el invierno el paralelismo que presentan las curvas se aparta cada vez más a pesar del incremento de los días despejados ya que el heliógrafo no puede registrar la insolación porque se lo impide la acumulación de smog y las brumas comunes durante estas estaciones del año en la Ciudad de México.

El número de días despejados se calculó de los registros mensuales que establece el Servicio Meteorológico Nacional para las observaciones de las ocho horas. Esta información se especifica en la columna de dicho registro con un encabezado que dice: "estado del cielo"; la columna consta de 31 círculos, correspondiendo un círculo para cada día del mes. La forma en que se anota esta información es rellenando en el círculo la cantidad de nubosidad que exista en la bóveda celeste a la hora mencionada.

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	A
Insolación en horas y décimas	180.9	196.9	230.3	188.0	164.5	142.1	124.8	126.8	111.5	154.0	166.2	163.6	177.5

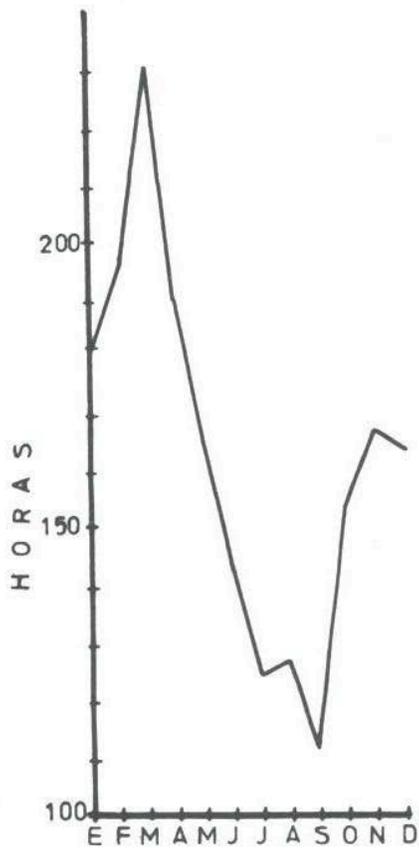


Fig. 5 Insolación en horas

En consecuencia, si el círculo se encuentra así ●, quiere decir que el cielo estaba nublado totalmente; pero si está así ◐ quiere decir que solamente la mitad del cielo estaba nublado; o si está así ◑ quiere decir que había tres cuartas partes del mismo cubiertos de nubosidad, etc.

El criterio que se tomó para obtener los días despejados, fue dando valores a esta información gráfica, es decir, que:

● = 1.00, o un día nublado

◐ = 0.50, o medio día nublado

◑ = 0.75, o tres cuartos de días nublados

◒ = 0.25, o un cuarto de día nublado

○ = cielo despejado

Por lo tanto, lo que hizo fue sumar con calculadora estas cantidades, con las que se obtuvieron el total de días nublados de cada mes; después se sumaron estos valores mensuales para sacar una suma total mensual del período de años analizados. Por ejemplo, la suma de los días nublados para el mes de enero, de los 20 años analizados es de 132. Como el mes de enero tiene 31 días, éstos se multiplicaron por el número de años en que para este mes se contó con información; entonces, este número fue 18; ya que durante tres años del período analizado en enero no hubo datos de nubosidad.

Por lo tanto: $31 \times 18 = 558$ días; a los que se les restaron los 132 días nublados del período; obteniéndose una diferencia de 426; la cual corresponde al número de días despejados. Estos 426 se dividieron entre 18, obteniéndose un promedio mensual de 23.66 días despejados para ese mes. Estos datos son los que se graficaron con la insolación del lugar en la figura 6.

Debe mencionarse que esta información de días despejados es muy relativa ya que es lo que se observa a las 8 horas; pero no sé sabe

MESES	E	F	M	A	M	A	J	J	J	A	S	O	N	D	A
Insolación en horas y décimas	180.9	196.9	230.3	188.0	164.5	142.1	124.8	126.8	111.5	154.0	166.2	163.6	177.5		
Días despejados y centésimas	23.66	22.05	25.68	24.64	22.47	15.64	12.68	13.81	11.23	15.17	20.22	22.06	229.31		

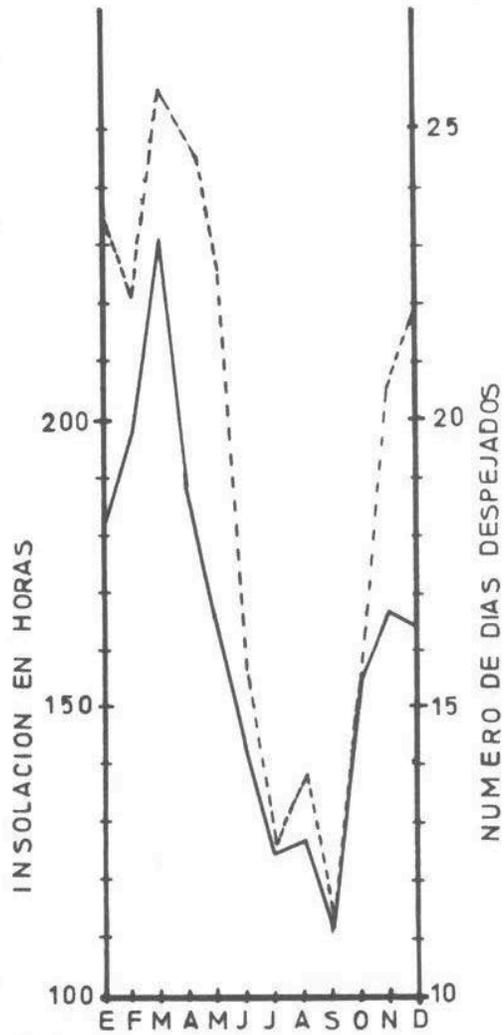


Fig. 6 Insolación y días despejados

lo que hubo después. Es decir, que a esa hora el cielo puede estar nublado y despejarse después o viceversa. Esta fue la razón por la que se dieron valores de días enteros y fracciones a cada uno de los círculos expuestos.

TEMPERATURA. La temperatura es la variable meteorológica en que se manifiesta el calentamiento del suelo, agua y aire, producido por la radiación solar, como ya se mencionó.

Los factores que determinan la variabilidad de la temperatura son: la hora local, la estación del año, la situación geográfica del lugar y la constitución del suelo.

La temperatura media resulta del valor medio calculado inicialmente cuyos parámetros son las temperaturas correspondientes a los registros de las observaciones hechas durante las 24 horas.

Para la realización de este parámetro los valores utilizados fueron los correspondientes a las observaciones de las 7, 12 y 18 horas; así en la figura 7 se aprecia a manera de cotejo que en las curvas de los elementos señalados hay un gran desplazamiento entre ellos.

Sin embargo, esa asimetría está justificada por el hecho de que primero debe existir la insolación como fuente de energía proveniente del Sol y al transformarse en calor y acumularse para calentar la atmósfera requiere un determinado tiempo el cual marca la diferencia con el régimen térmico, esto es más sobresaliente durante el incremento de la radiación del invierno y su consecuente aumento en la primavera y a la inversa con el abatimiento de insolación durante el verano y el otoño, y su correspondiente enfriamiento del invierno, pero aun así la interrelación es muy lógica.

El comportamiento térmico registrado en el observatorio meteorológico de Ciudad Universitaria y su área de influencia presenta un máximo y un mínimo a lo largo del año, el primero se inicia propiamente dicho con la primavera y finaliza a principios del otoño como resultado del avance aparente del Sol hacia el hemisferio norte donde el ángulo de incidencia se reduce con el tiempo a medida que se

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	A
Temperatura en °C	11.8	12.7	15.4	16.9	17.8	17.6	17.0	16.8	16.6	14.8	13.2	11.7	15.1
Insolación en horas y décimas	180.9	196.9	230.3	188.0	164.5	142.1	124.8	126.8	111.5	154.0	166.2	163.6	177.5

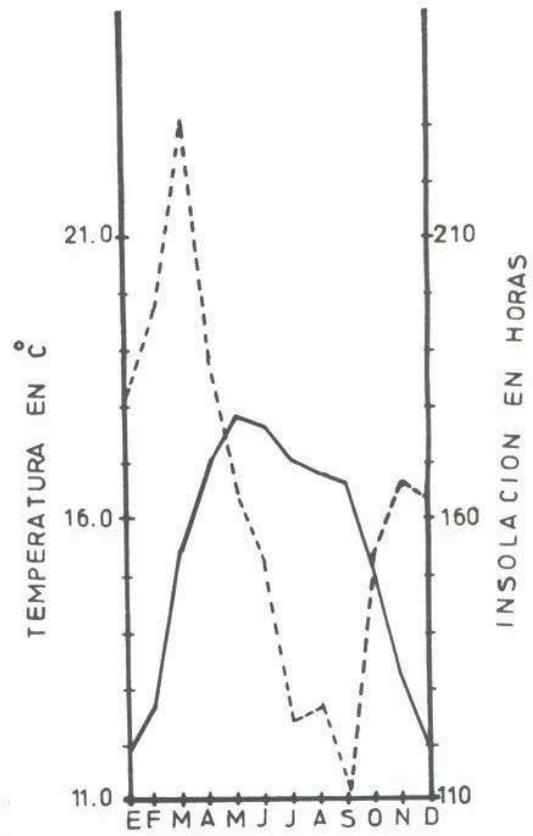


Fig. 7 Temperatura e insolación

acerca al área de estudio y con ella la temperatura se incrementa a su máximo de 17.6°C en el mes de mayo, y como el observatorio mencionado se localiza en esa trayectoria, en el movimiento de retroceso que ocurre después del mes de julio, el segundo paso del sol por la vertical de este sitio, debería de sobresalir con otro máximo de temperatura, más es sólo insinuado ya que en este caso el factor lluvia hace descender dicha temperatura, como se observa en la figura 8.

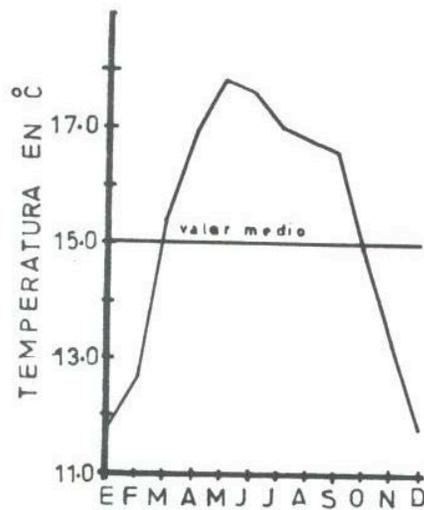


Fig. 8 Temperatura media

Este descenso continuo, después de septiembre es más acentuado hasta llegar el invierno, en donde sobresale como mes más frío del año, diciembre, con 11.7°C de temperatura promedio, lo cual es lógico si se tiene presente que en esta época del año, el área de estudio se encuentra bajo la influencia de la zona de presiones altas.

Por otra parte, en la figura 8 se muestra también la marcha de esta variable media mensual y su relación con la media anual, del período de los 20 años analizados y de cuya curva sobresalen siete meses al promedio mencionado que es de 15.1°C, esto es de marzo a septiembre, mientras que los cinco meses restantes están por debajo de dicha media, lo cual representa al lapso de octubre a febrero.

Considerando la temperatura media anual calculada para el período en cuestión, el área de estudio se ubica en una zona templada a pesar de que geográficamente corresponde a la región intertropical debido al efecto modificador del relieve.

TEMPERATURAS EXTREMAS. Las temperaturas extremas promedio, constituyen otros aspectos importantes de este elemento y su presencia está dada por las fluctuaciones diarias y estacionales a lo largo del año y debido a su influencia en el medio es importante quizá de manera más sobresaliente que la temperatura media anual ya que constituyen el marco térmico que diversos seres vivos son capaces de soportar.

En capítulos anteriores se dijo que, cuando la energía que llega del Sol supera a la que sale de la tierra, la temperatura empieza a aumentar, dando su valor máximo después del momento en que la energía solar incidente deja de superar a la que sale del planeta. Por tal motivo, la temperatura máxima se define como el valor más alto que se registra durante el día, y con estos valores máximos se obtienen promedios para un mes, año o período de años.

En la figura 9, se aprecia la marcha de la temperatura máxima promedio, para el período de los 20 años analizados.

Se observa que las temperaturas máximas de este lugar aumentan a partir de enero y finalizan en abril con un valor medio de 29.5°C; este aumento está en función del calentamiento que adquiere la Tierra durante la primavera, debido a que el Sol pasa del hemisferio sur al hemisferio norte, y como se mencionó, sus rayos llegan cada vez más perpendiculares a este lugar.

A partir de abril la temperatura máxima promedio presenta un descenso que finaliza en el mes de agosto con un valor de 25.5°C; este descenso es consecuencia del decreciente número de días despejados por el incremento en la nubosidad como se verá en su momento, todo esto incide en que los rayos solares que llegan al suelo no son de la

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	A
Temperatura máxima en °C	24.6	26.0	28.3	29.5	29.3	27.9	26.1	25.5	25.7	25.7	25.2	24.1	26.4
Días despejados y décimas	23.66	22.05	25.68	24.64	22.47	15.64	12.68	13.81	11.23	15.17	20.22	22.06	229.31

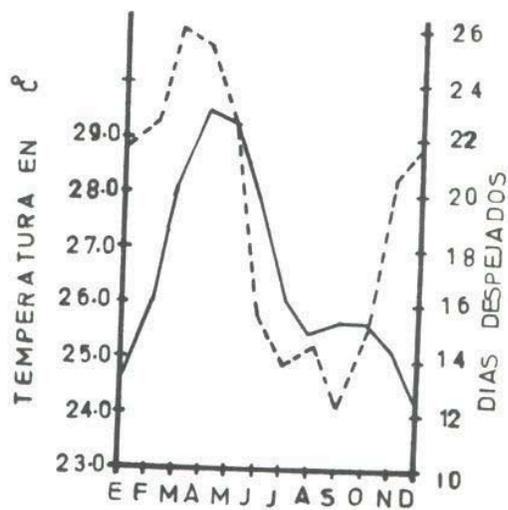


Fig. 9 Temperatura máxima y días despejados

misma intensidad a pesar de que su ángulo de incidencia sea el más indicado para que la temperatura alcance sus valores más altos, ya que es en el verano cuando éstos llegan más perpendiculares en el área de estudio. En consecuencia, la temperatura máxima sufre un retraso que no coincide con las máximas y mínimas radiaciones, esto es producto de la variación que hay en el tiempo requerido para el calentamiento y enfriamiento tanto del suelo como del agua y el aire.

TEMPERATURA MAXIMA MAXIMORUM. La temperatura máxima maximorum o máxima extrema, es la temperatura más alta que tiene lugar en cualquier momento de un período de tiempo determinado. La temperatura máxima extrema se considera o maneja como el límite extremo que alcanza la temperatura en cualquier momento respecto a la época del año en que ocurra, de allí que el marco térmico citado quede detalladamente afinado.

La figura 11, señala el comportamiento de la temperatura máxima maximorum conformado por la temperatura más alta que ocurrió en la fecha señalada de cada uno de los meses del período considerado para este estudio, lo que da lugar a lo que sería un año ideal que ilustra el régimen de referencia.

En la figura mencionada las curva de temperatura máxima maximorum no presenta una secuencia cronológica mensual ya que los valores que la integran corresponden a esas fechas precisas que se presentaron de una manera esporádica que sólo obedeció a las condiciones atmosféricas prevalecientes en el momento de su ocurrencia, aun así su comportamiento general se manifestó por lógica a las condiciones estacionales del año, esto se corrobora al visualizar el dato y la fecha en que presentó, de tal manera que la temperatura máxima registrada durante el período 1963-1983 fue de 33.0°C el 17 de abril de 1969. Estos datos no son casuales ya que se presentó directamente en primavera que se caracteriza por ser cálida y en este caso coincide también con el mes de la temperatura máxima promedio, por lo que se refiere al resto del año las temperaturas máximas extremas son muy relativas a la época del año en que se presentaron.

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	A
Temperatura máxima en °C	24.6	26.0	28.3	29.5	29.3	27.9	26.1	25.5	25.7	25.7	25.2	24.1	26.4

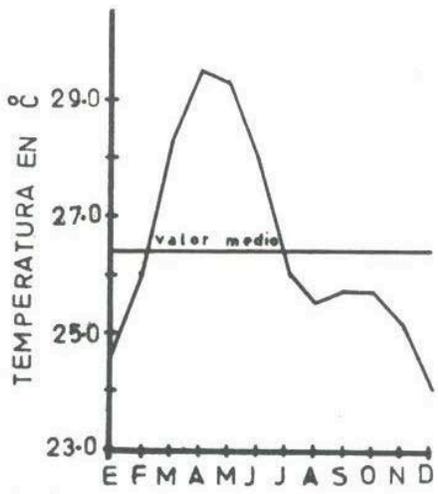


Fig. 10 Temperatura máxima promedio

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	A
Temperatura maximorum en °C	27.7	28.8	29.8	33.0	32.7	31.3	31.5	29.2	29.2	28.3	27.0	26.6	33.0

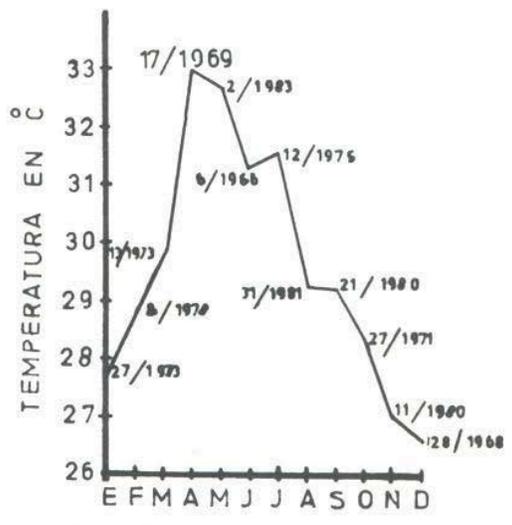


Fig. 11 Temperatura
Máxima maximorum

En otro orden de ideas, el límite superior de la temperatura no es rígido o estricto sino manejado con determinada flexibilidad es posible que funcione, pues como ejemplo se tiene que el valor de 29.8°C ocurrió en dos fechas diferentes: 13 y 18 de marzo de 1973 y 1977 respectivamente, esto es, concuerdan el dato y el mes, por ende, la estación del año.

TEMPERATURA MÍNIMA. La temperatura mínima es la temperatura más baja registrada en un día, mes o año, este valor puede ser negativo si su registro se da por debajo del cero grados en la escala centígrada.

En el inciso anterior se mencionó que cuando la energía que llega del Sol supera a la que sale del planeta, sus valores se incrementan. En el caso de la mínima sucede lo contrario, es decir, la temperatura irá descendiendo, cuando la energía que irradia la Tierra al espacio supera a la energía que llega. En consecuencia, cuando ambas radiaciones se equilibran, en el momento que la energía que entra supera a la que sale se registra la temperatura mínima.

En la figura 12, se aprecia de primera intención que la curva de temperaturas mínimas promedio se presenta de manera alargada con gran uniformidad en su comportamiento, lo cual revela la presencia de un elemento regulador muy importante que influye en este elemento y que bien podría ser las áreas verdes que conforman los campos deportivos que rodean al observatorio en cuestión, sin embargo dicho efecto se rompe en el invierno porque las condiciones de esta estación del año superan a las locales.

Por otra parte, la misma figura indica que la temperatura mínima promedio tiene valores promedio sobre cero grados en la mayor parte del año, a excepción del mes de enero, febrero y diciembre en sus valores fueron negativos ya que corresponden al invierno del lugar. También se muestra que a partir de febrero esta variable meteorológica aumenta por el efecto del calentamiento que empieza a tener importancia porque los cielos despejados de la época lo permiten. Este calentamiento culmina en los meses de julio y agosto con valores de 8.1°C, a partir de este último desciende hasta llegar a un mínimo de -1.0°C en el mes de enero, por el efecto del enfriamiento del aire y del suelo, que empieza a sentirse en este lugar desde el mes de

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	A
Temperatura mínima en °C	-1.1	-0.4	2.6	4.6	6.6	7.5	8.1	8.1	6.8	4.2	0.9	-0.3	3.9

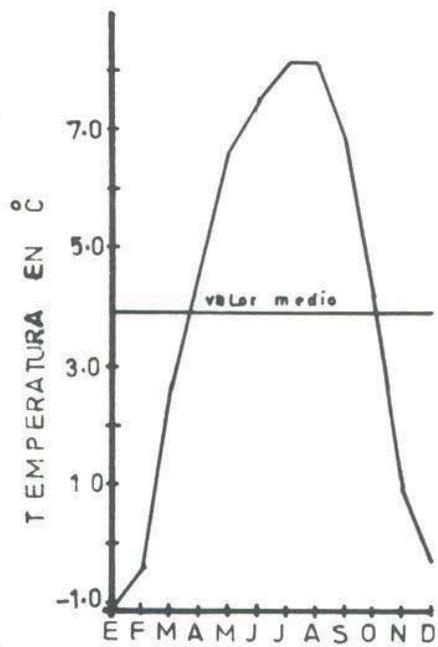


Fig. 12 Temperatura mínima promedio

septiembre, generado por la presencia de las masas de aire polar. Por último, durante los meses de marzo a octubre, sus valores promedio están por arriba del dato medio calculado para el período en cuestión y fue de 3.9°C, los demás meses del año tienen sus promedios por debajo de este valor, lo cual es lógico por ser la época invernal.

TEMPERATURA MÍNIMA MINIMORUM. La temperatura mínima minimorum o temperatura mínima absoluta, es la temperatura más baja que se registra en un momento determinado de un día, de un mes o período de años.

La temperatura mínima minimorum o mínima absoluta, al inverso de la temperatura máxima maximorum puede en su momento, representar la frontera inferior del espacio medio ambiental y, por ende, la existencia de muchos seres vivos incluyendo al hombre.

En la figura 13, la curva esta integrada por los valores más bajos registrados en sus fechas y años respectivos en que se presentó la temperatura mínima extrema correspondiente, sin embargo, a pesar de que son fechas aisladas el comportamiento de la curva reiterada indica que las temperaturas mínimas absolutas más importantes ocurren durante el invierno, cuyos registros están por debajo de 0.0°C y parte del otoño, lo cual es de esperarse, pues los efectos de las masas polares llegan hasta este punto. Por otro lado, la estabilidad térmica de la época cálida permite que la temperatura mínima extrema tienda a repetirse, como ocurre en los meses de mayo y agosto a pesar de que en este caso las temperaturas mínimas carezcan de importancia. La temperatura mínima más baja que se registró es de -5.0°C y tuvo lugar el 18 de diciembre de 1980.

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	A
Temperatura Minimorum en °C	-3.2	-3.6	0.0	1.0	4.8	3.5	5.4	7.0	0.5	1.1	-3.0	-5.0	-5.0

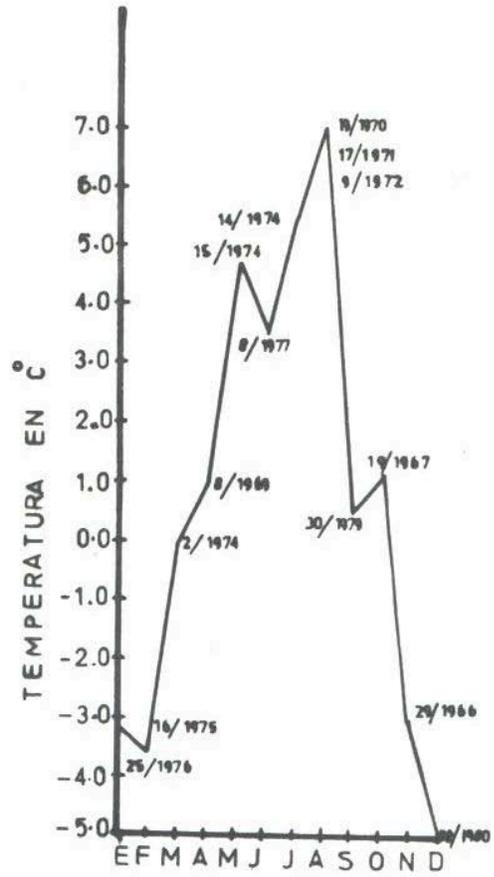


Fig. 13 Temperatura mínima minimorum

PRESIÓN ATMOSFÉRICA. La presión atmosférica se define como el peso que ejercen las capas de aire sobre la superficie terrestre. Esta variable meteorológica está íntimamente relacionada con los cambios de temperatura, en los niveles altos de la atmósfera terrestre.

En la figura 14, se muestra la relación de esta variable y la temperatura del aire del lugar en cuestión, durante los 20 años analizados.

En esta figura se observa que mientras la temperatura del aire aumenta del mes de enero al de marzo, la presión atmosférica disminuye pero solamente hasta marzo y a partir de este mes empieza a aumentar hasta obtener un máximo de 779.0 mb o hpa en el mes de julio. La explicación de este aumento se debe a que desde el mes de marzo, los vientos húmedos del NE empiezan a soplar en el lugar de estudio, lo que hace que el aire se empiece a cargar de humedad aumentando su peso por la tensión del vapor de agua que se acumula en el aire. El descenso tanto de la presión como de la temperatura del aire de julio a septiembre, se debe a que la atmósfera descarga su humedad acumulada por convección haciendo que el aire baje su peso, a lo que se agrega las altas temperaturas de la época.

El aumento de la presión que se observa de septiembre a noviembre, se debe al enfriamiento del suelo y el aire característico del otoño, lo que hace que aumente ligeramente la presión atmosférica.

En la figura 15, se observa que de los meses de febrero a abril, los promedios mensuales de presión están por arriba del valor medio que fue de 777.7 mb o hpa.

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	A
Presión en mb o h p a	778.1	777.6	777.2	777.6	777.9	778.3	779.0	778.8	778.4	778.8	778.8	778.3	777.7
Temperatura ambiente en °C	11.8	12.7	15.4	16.9	17.8	17.6	17.0	16.8	16.6	14.8	13.2	11.7	15.1

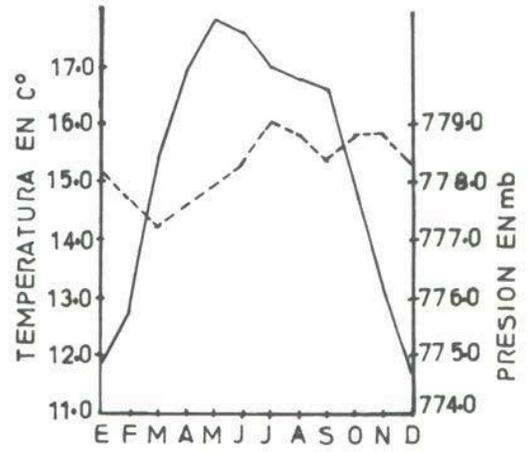


Fig. 14 Presión atmosférica ---- y temperatura promedio —

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	A
Presión en mb	778.1	777.6	777.2	777.6	777.9	778.3	779.0	778.8	778.4	778.8	778.8	778.3	777.7
o h p a													

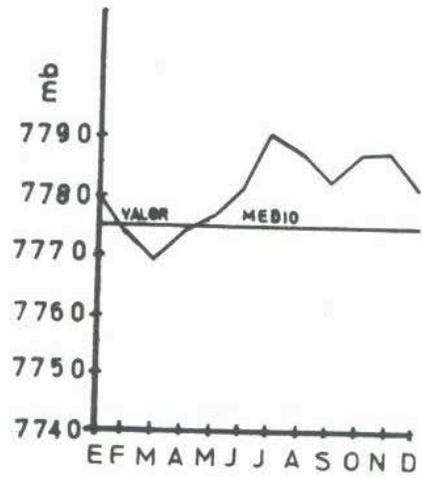


Fig. 15 Presión atmosférica

La presión media más alta del año ideal fue de 779.0 mb o hpa y corresponde al mes de julio, por otro lado marzo obtuvo el valor más bajo de 777.2 mb o hpa y los meses de febrero a abril registraron promedios por abajo del valor medio del período mencionado.

VIENTO. Se define como el movimiento de las grandes masas de aire que rodean al planeta. El aire está lleno de partículas líquidas, sólidas y gaseosas, que son agitadas por el viento y llevadas de un lugar a otro, para poner en movimiento al aire, el cual va a generar zonas de buen o mal tiempo, en cierta época del año.

Las corrientes de aire se forman como una consecuencia de la diferencia de presiones y temperaturas superficiales, así como, las de las capas altas de la atmósfera. Estas corrientes son de carácter horizontal y vertical como los ya tratados en el capítulo de la circulación general de la atmósfera.

El resultado del movimiento de rotación o fuerza de Coriolis, produce desviaciones del viento hacia la derecha en el hemisferio norte y hacia la izquierda en el hemisferio sur durante su desplazamiento. En consecuencia, el viento circula de los centros de altas a los de bajas presiones funcionando como un catalizador, que iguala esos centros de presiones diferentes. Así, que existe un equilibrio relativo de las corrientes de aire, determinado por el gradiente de presión y la fuerza de Coriolis.

El gradiente de presión que existe entre los centros de altas y bajas presiones, es el gran motor que pone en movimiento las masas de aire. Cerca de la superficie terrestre, esta condición del viento no se cumple del todo, por la existencia del rozamiento que se genera y cuyos efectos dependen del tipo de relieve y la vegetación; este rozamiento frena la velocidad del viento y distorsiona su dirección. En este caso el viento no sopla paralelo a las isobaras, sino según sea ese rozamiento, así también será la magnitud angular con que entre en el interior de las depresiones.

En la figura 16, se aprecia la dirección mensual del viento, predominante en el área de estudio, durante los 20 años analizados.

Los datos de esta figura se obtuvieron leyendo las gráficas diarias del anemómetro, de donde se sacó el número de horas en que soplo el

viento y la dirección registrada. En la información recabada se vio el número de horas y se determinó la dirección del viento dominante para cada día. Después de esto el criterio que se siguió fue sumar cada una de las direcciones que se habían presentado durante los días del mes y determinar en cuál de esas sumas aparecía el número más alto en horas; y de esta manera tomar esa dirección como la dominante del mes. De la misma manera se calculó la dirección mensual del período de años analizados. Con respecto a la velocidad no se abordará el tema por falta de información.

En la figura se aprecia a primera vista que el viento predominante en el lugar de estudio, fue para el período mencionado del NE y corresponde a las estaciones de primavera y parte del verano, sobresaliendo el mes de junio con 433 horas. Durante la influencia de estos vientos se deja entrever que existieron las presiones bajas, lo que permitió la llegada de los vientos alisios que se forman en la zona de calmas tropicales, a la altura de los 30° de latitud norte. Durante septiembre y octubre estos vientos fueron reemplazados por los vientos polares del norte de Canadá y centro de Estados Unidos de Norte América, que se desplazan hacia el sur por el alejamiento del ecuador térmico, también hacía el sur del ecuador geográfico. Los demás meses del año, corresponden a los vientos dominantes del NW, como sucedió en diciembre y enero, febrero que presenta un viento dominante del sur es por el mismo efecto del ecuador térmico, el surgimiento del viento del NE en noviembre, puede obedecer a la actividad ciclónica del Océano Atlántico, que para esa época del año, tiende a desaparecer.

A partir de esta gráfica de viento, surgió la idea de ver cómo se entrevera éste a lo largo del año en este lugar; para lo cual se optó por graficar el mayor número de frecuencias en que se presentó la misma dirección mensual del viento dominante, durante los 20 años analizados. Al graficar estas frecuencias, como se muestra en la figura 17, se observa a primera vista cómo se da esta influencia, que consiste en el desplazamiento de la dirección de un viento dominante por la dirección de otro. Es decir que, se trata de ver cómo va entrando cada dirección

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Dirección del viento dominante	NW	S	NE	NE	NE	NE	NE	NE	N	N	NE	NW
Horas	79	119	149	228	324	433	252	135	227	231	125	143

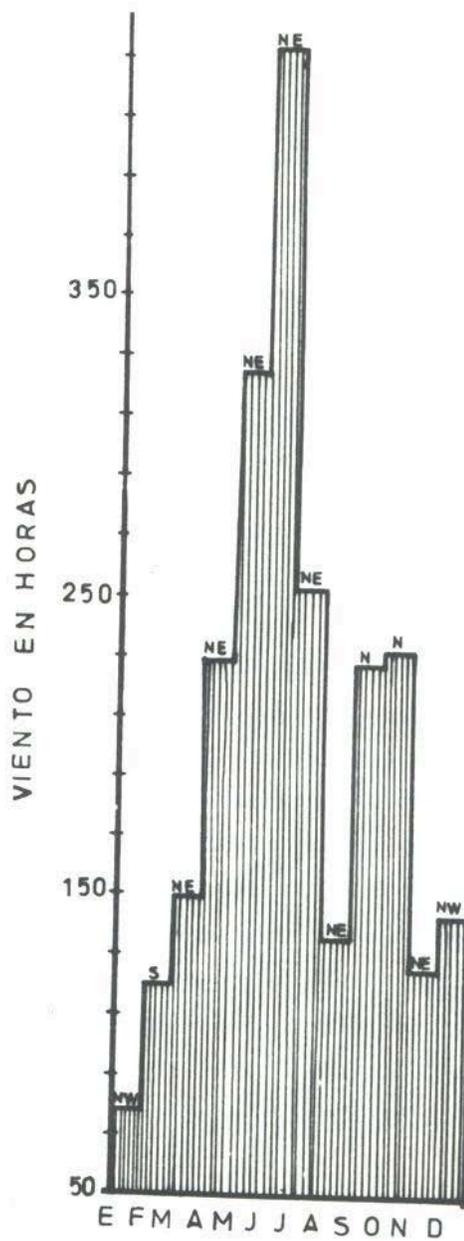


Fig. 16 Dirección del viento dominante mensual en horas.

del viento ya vistas y en qué momento sale o desaparece en el lugar de estudio. Por ejemplo: en la figura mencionada se ve claramente cómo va desapareciendo la influencia del SW durante los primeros meses del año, por la entrada del NE, que prácticamente sopla todo el año, en el lugar. En la gráfica cada frecuencia equivale a 1 mm.

A partir de este análisis mensual del viento dominante, nació el interés de ver su comportamiento a lo largo del período de años que se analizan en este trabajo, ya que de lo contrario el estudio de este fenómeno hubiera quedado truncado, lo cual no debía suceder por ser de gran evidencia

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	A
Frecuencia del viento dominante Dirección													
N	0	2	1	1	1	5	1	5	10	7	5	4	
S	1	4	2	1	1	0	1	0	0	0	1	1	
E	2	3	2	1	1	1	4	5	0	2	0	0	
W	3	1	7	3	2	1	0	0	0	0	2	2	
NE	3	3	6	6	9	10	8	7	1	7	8	2	
SW	1	1	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	
NW	4	4	1	4	3	1	5	2	5	1	2	6	
SE	4	1	1	0	1	1	1	0	2	2	0	1	

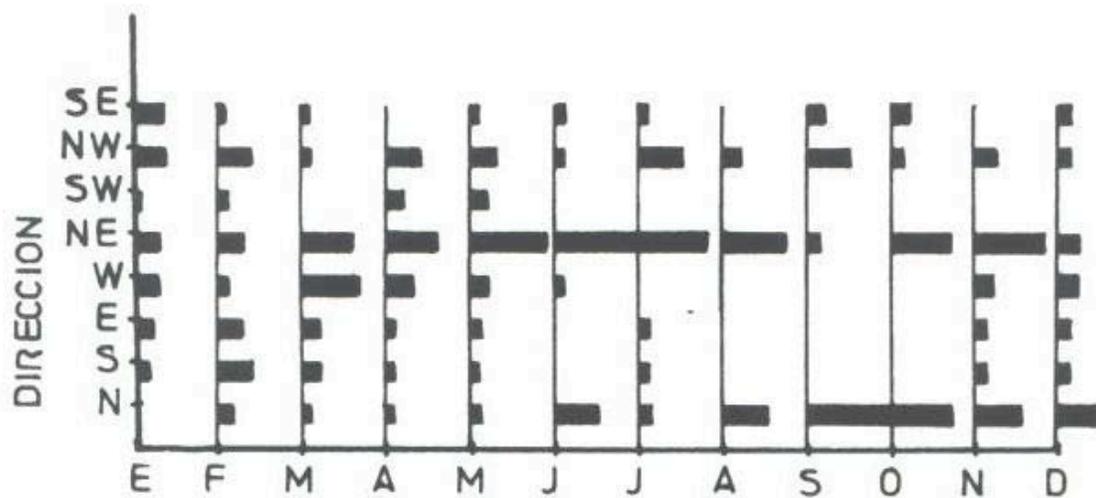


Fig. 17 Frecuencia mensual del viento dominante, periodo 1963 - 1983.

en la repercusión de otros parámetros, como se verá en su momento.

El criterio que se siguió para obtener los datos anuales fue el mismo que se hizo para la información mensual ya explicada. Es decir, se sumaron las direcciones presentadas durante los meses del año, tomándose como anual la dirección del viento en la que había mayor número de horas, para que quedara como el viento dominante.

En la figura 18, se muestra este comportamiento anual de la dirección del viento dominante en este lugar, durante los veinte años analizados. Se aprecia que hubo un dominio del NE seguido del N y el NW, pues tan solo de los veinte años mencionados, ocho tuvieron viento dominante del NE, seis del N, 3 del NW y solamente hubo un año con viento del W y otro con SE; para 1977 no se sabe lo que pasó, porque no se encontró información. La característica de esta gráfica, es que a pesar de haber años con la misma dirección de viento, éstos muestran un alejamiento importante en cuanto al número de horas, a tal grado que se pierde un viento dominante para dar paso a otro. Por ejemplo: el NE que dominó en 1963 desaparece en 1964, vuelve a surgir en 1965 y 1966 para perderse nuevamente en 1967, y volver a surgir en el siguiente año y así sucesivamente.

De esta característica se infiere, que la dirección del viento dominante en este lugar, cambia por lo menos cada uno o dos años consecutivos. Esto puede deberse a dos situaciones: una a que los centros de presiones altas y bajas que influyen en la circulación del viento del área de estudio, sufran un desplazamiento en el mismo lapso de tiempo en que cambia la dirección del viento; lo cual puede atribuirse a cambios en el comportamiento físico de la circulación general de la atmósfera terrestre, causados por la contaminación ambiental, y la otra causa puede deberse a la influencia que tuvo la siembra de los huracanes que practicó Estados Unidos durante las décadas de los sesentas y setentas en le Caribe, mediante el famoso proyecto "Stormfury" del cual se hablará más adelante en este trabajo.

Con el resultado del análisis frecuencial del viento dominante se observa, que las probabilidades que hay para que este fenómeno se presente en el lugar de estudio, son de acuerdo con el orden frecuencial obtenido tanto mensual como anualmente, primero del NE, segundo del N, tercero del NW y después estaría el SE y el SW; o sea, que todos los vientos que pudieran soplar en el área de estudio en un período de tiempo considerado, el que mayor posibilidad tendría para presentarse sería el NE y el de menor posibilidad sería el SW. (Figura 19)

EVAPORACIÓN. La evaporación se define como el paso lento del agua líquida al estado de vapor, pero sin alcanzar la temperatura de ebullición. Existen dos tipos de evaporación: la potencial y la real. La primera es la cantidad de agua que se podría evaporar si existiera una lámina constante de este líquido en el suelo.

En realidad esta evaporación potencial, mide el poder evaporante de la atmósfera, dependiendo de la temperatura y la humedad que contenga el aire y el agua disponible en la superficie terrestre, ya que entre más cálido y seco esté el aire, mayor capacidad tiene para retener la humedad en forma de vapor de agua.

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Dirección del viento dominante	NW	S	NE	NE	NE	NE	NE	NE	N	N	NE	NW
Horas	79	119	149	228	324	433	252	135	227	231	125	143

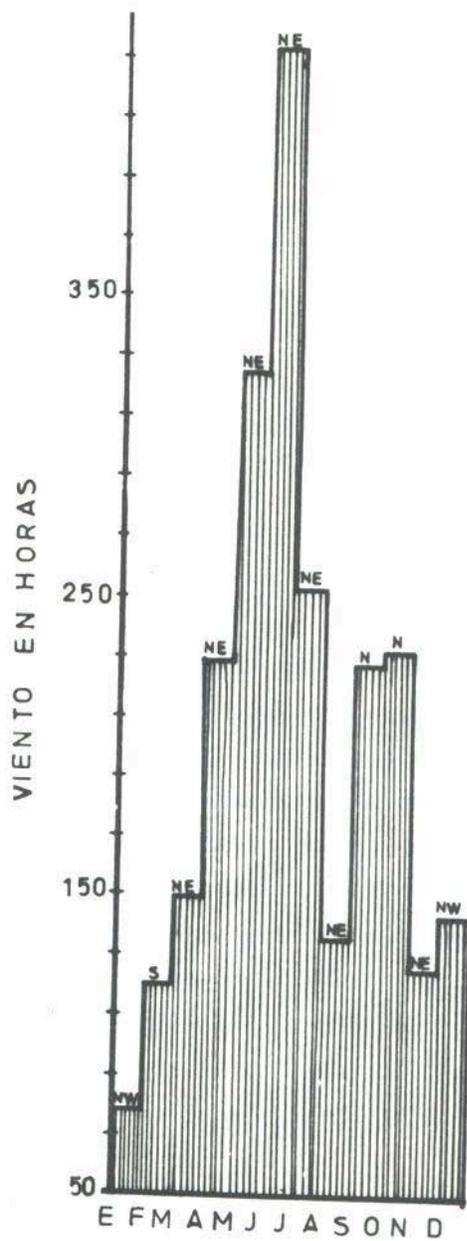


Fig. 16 Dirección del viento dominante mensual en horas.

La cantidad de evaporación, se cuantifica poniendo a disposición de la atmósfera una lámina de agua a través del evaporímetro, la cual se mide diariamente para ver la disminución de su altura. El segundo tipo de evaporación, es la que en realidad tiene lugar considerando no sólo el agua que se desprende directamente de las superficies líquidas sino también la que es transpirada por los seres vivos, de allí que también se le llame evapotranspiración real.

La evaporación se produce cuando la tensión del vapor del medio ambiente es inferior a la tensión real de saturación y si la temperatura del líquido es inferior al punto de ebullición. El fenómeno de la evaporación provoca un descenso de temperatura en el líquido que se evapora; los elementos meteorológicos que intervienen en este fenómeno son: temperatura, tensión real del vapor de agua en ese momento y la velocidad del viento.

La intensidad de la evaporación, es mayor cuanto más elevada sea la temperatura del líquido y la del aire, mientras más baja sea la presión atmosférica y mientras más rápido fluya el aire sobre la superficie de ese líquido.

La evaporación máxima que se realiza sobre la superficie terrestre, se efectúa sobre los océanos, mares, lagos y ríos de latitudes medias y bajas. Durante el verano, la evaporación es mayor tres veces a la que se genera en invierno y durante el día es mayor cuatro veces que la que se produce por la noche.¹

¹ José María Lorente. Meteorología. Ed. Labor, S.A. pág. 60.

AÑOS		1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983
Frecuencia del viento dominante		1	2	1	1	1	1	2	1	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dirección		SE	9	3	5	3	4	6	6	1	5	2	6	0	1	1	0	2	4	3	5	3
		NE	0	4	1	1	2	1	3	2	1	5	1	0	4	1	0	4	1	5	3	2
		N	0	1	0	2	1	0	1	0	2	0	1	1	1	2	2	2	2	2	1	0
		W	0	1	1	0	1	3	0	1	1	2	2	2	2	2	8	2	2	1	1	6
		NW	0	1	2	1	0	0	1	3	0	1	1	1	3	3	1	0	2	1	0	0
		E	0	0	2	4	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	2	1	0
		S	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	2	0
		SW	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1

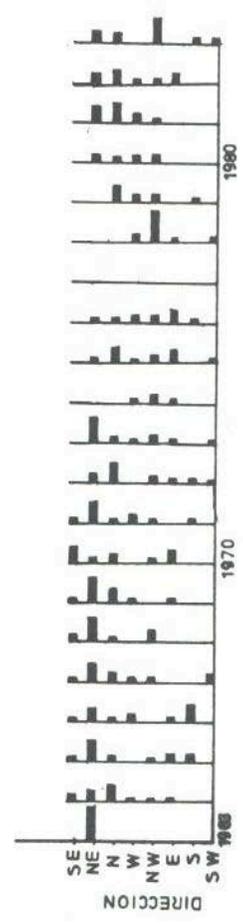


Fig. 19 Frecuencia anual del viento dominante, periodo 1963 - 1983

Por medio de la evaporación se determina el transporte de calor que hay en la atmósfera, pues las calorías que requiere el agua para evaporarse, son cedidas al aire al momento de condensarse el vapor de agua y formar a las nubes. Así, el calor del mar se transporta a los continentes y el de las latitudes bajas se transporta hacia las latitudes altas, por medio del vapor de agua. Se entiende como poder evaporante a la capacidad del aire para absorber agua, la cual está íntimamente vinculada a la temperatura de dicha masa.

La lámina de evaporación que se genera a partir de cualquier superficie húmeda, no sólo depende del poder evaporante que contenga la atmósfera del lugar, sino que también intervienen otros parámetros meteorológicos como las ya mencionados e inclusive la disponibilidad del agua y la capacidad que tenga la superficie húmeda para ceder el agua y responder al poder evaporante de la atmósfera. Es por eso que este poder evaporante difiere de un lugar a otro sobre la superficie terrestre y durante las estaciones del año.

En la figura 20, se muestra el poder evaporante que tiene la atmósfera de este lugar. Se aprecia que durante el invierno este poder evaporante es el más bajo del año, ya que como se recordará, en esta época el área de estudio está bajo la influencia de las masas de aire frío, que por su baja temperatura tiene poca capacidad para absorber humedad; esto se muestra más evidente en el mes de diciembre en que su valor se reduce a 58.32 mm. de la lámina de agua evaporada.

A partir de este mes los registros observados son mayores, lo cual indica que la atmósfera está empezando a recibir calor, con lo que se incrementa el poder evaporante mencionado. Cabe mencionar que los días son cada vez más despejados, como se muestra en la figura 21, lo que trae un aumento en la insolación y por ende en la temperatura.

Durante la primavera, la capacidad para absorber humedad por parte de la atmósfera, sigue un ascenso rápido, hasta alcanzar su registro máximo de 139.72 mm de evaporación, en el mes de abril, y no en el mes más caliente que sería marzo, lo que es obvio si se considera que las primeras lluvias causadas por la introducción de humedad del Océano Atlántico, por el efecto de los vientos alisios que durante esa

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	A
Evaporación en mm	77.39	95.05	129.57	139.72	124.29	116.62	98.41	98.82	88.09	82.26	68.94	58.32	98.10

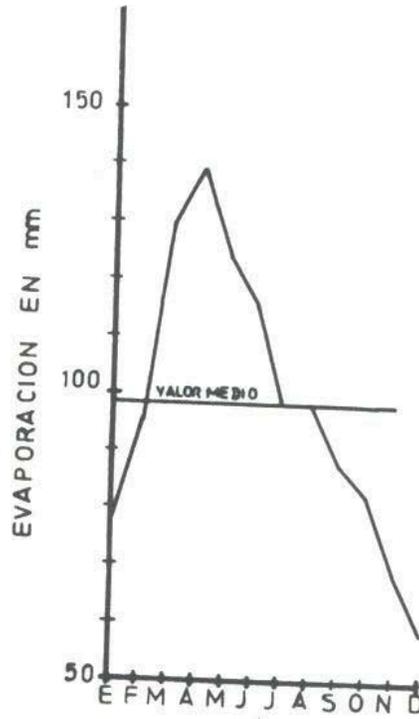


Fig. 20 Evaporación potencial en mm.

temporada empiezan a presentarse, con lo cual el aire de este lugar retendrá parte de esa humedad y definirá el límite de dicho incremento

A pesar de que la insolación se reduce por la disminución de los días despejados, la temperatura es aún alta, con esto se demuestra la intervención modificadora de la lluvia que reduce el poder evaporante de la atmósfera por el exceso de humedad introducida por los vientos alisios, es decir, comienza a cubrirse sus requerimientos.

Las precipitaciones del verano satisfacen desde mediados de mayo, las necesidades de agua de la atmósfera como se infiere en la figura 22, por lo que desde este momento la evaporación potencial total se convierte en evaporación real; esto es el agua precipitada es la que en realidad se evapora, pero siempre va a existir un déficit que sólo se cubre de mayo a octubre.

Los valores de la evaporación potencial se refieren a la suma total de los promedios mensuales de los 20 años analizados.

La evaporación real prosigue el descenso que le marca la evaporación potencial, como una repercusión del descenso de la temperatura que las lluvias de la época generan, no sólo en el verano, sino también durante el otoño en donde a partir de mediados de septiembre, época en que la capacidad de absorción de agua por el aire, vuelve a superar a la cantidad de agua disponible y por lo tanto desde ese momento el área de estudio estará bajo la influencia del poder evaporante moderado de la atmósfera, por las temperaturas bajas que predominan hasta llegar a su mínimo de 58.3 mm de evaporación en el mes de diciembre, o sea, en pleno invierno.

HUMEDAD RELATIVA. La humedad relativa que contiene el aire, penetra a la atmósfera a través de la evaporación de los cuerpos de agua, la transpiración de las plantas, de los animales y de la superficie terrestre, como se mencionó en el inciso anterior.

La composición general del aire vista anteriormente es más o menos uniforme y sus gases permanentes se mantienen casi constantes, en aproximadamente todas sus partes y hasta cerca de los 90 km. de altura. El vapor de agua juega un papel importante en la termodinámica de la atmósfera, ya que el problema del aire se trata como si fuera una mezcla de dos gases ideales, es decir, aire seco y vapor de agua, a esta

mezcla se le denomina aire húmedo y por esto la humedad relativa se define como el porcentaje de vapor de agua que contiene el aire en determinado momento en relación al que contendría si se encontrara saturado a la misma temperatura y presión atmosférica.

La cantidad de vapor que contiene ese aire varía en tiempo y espacio, por los cambios de temperatura que se dan dentro del mismo aire y que le permiten expanderse o comprimirse dentro de la capa atmosférica. Geográficamente la humedad relativa del aire disminuye desde las costas hacia el interior de los continentes, donde fluctúa entre los 10% y 50%, mientras que sobre el océano es del 80% al 100% aproximadamente.²

La humedad relativa registrada en la estación meteorológica de Ciudad Universitaria, D.F., es de 62% en promedio, lo que indica que hay un grado alto de humedad en el aire de este lugar, a pesar de estar a 430 km del Golfo de México y a 421 km. del Océano Pacífico. Sin embargo es posible que la altura de 2 270 metros sobre el nivel del mar, de este punto de la superficie terrestre intervenga en este hecho, ya que la altitud modifica la temperatura.

En la figura 23, se observa el comportamiento de la humedad relativa en este lugar de Ciudad Universitaria, D.F. y su área de influencia.

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	A
Humedad relativa en %	59	53	50	52	58	65	73	73	73	69	65	64	62

² Antonio Alba. Elementos de Meteorología. Editorial Sintesis; pag. 155.

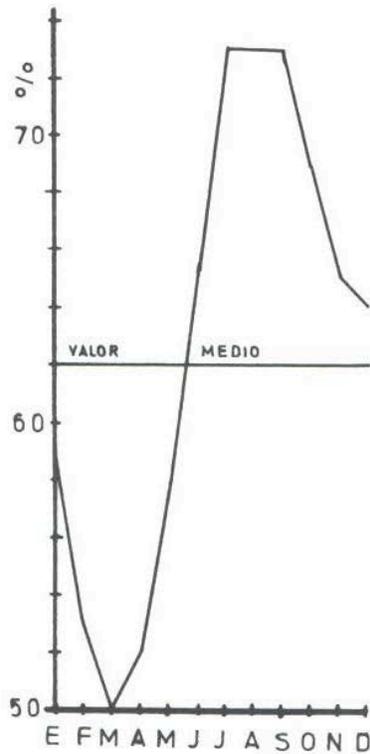


Fig. 23 Humedad relativa

En la gráfica de esta figura se aprecia que la humedad relativa se reduce bruscamente desde el mes de diciembre hasta el mes de marzo, es decir, que durante todo el invierno el medio ambiente del lugar tiende a secarse, por el efecto del alejamiento de los vientos alisios, como ya se mencionó; pero al comenzar la primavera, tanto el suelo como el aire se empiezan a calentar como ya se vio, desciende la presión y empiezan a soplar los vientos alisios del NE, con lo que se incrementa la humedad relativa del aire desde el mes de abril, este incremento es paulatino ya que el océano no cede abundante humedad debido a que el calentamiento de sus aguas no lo permite. Sin embargo, a esto debe adicionarse el incremento paulatino de la temperatura en los cuerpos evaporantes que ya empiezan a desprender las moléculas de agua, con las cuales se incrementa la humedad relativa del aire del

lugar. Este proceso es relativamente lento sólo hasta el mes de abril, pero a partir de este mes y hasta finales del verano, la evaporación queda bajo la influencia de los vientos alisios.

En otoño, este elemento disminuye a causa de que los vientos del noreste se van alejando del lugar, y la humedad sigue descendiendo, como se muestra en la figura 24; por el enfriamiento que empieza a sentirse en el aire y el suelo, el cual se agudiza en invierno por lo que la humedad relativa desciende durante esta estación fría del año.

Por otro lado, se observa que los meses de enero a mayo sus valores promedio de humedad relativa son inferiores al promedio anual del período en cuestión, siendo marzo el mes con menor humedad, ya que llega al 50%; pero el resto de los meses del año, tienen valores superiores a 62% que es el promedio anual del período analizado, siendo julio, agosto y septiembre los más altos pues alcanzan el 73% de la humedad relativa en este lugar.

En la figura 24, se aprecia que la evaporación es más brusca de diciembre a marzo, y coincide con el descenso de la humedad relativa por el efecto del calentamiento del aire y el suelo, como ya se ha visto.

NUBOSIDAD. Las nubes es la concentración de las gotas de agua y pequeños cristales de hielo o ambos a la vez, que resultan de la condensación y congelación del vapor de agua del aire y que son sostenidos a mayor o menor altura por los movimientos de éste.

Las condiciones requeridas para que se formen las nubes son que en primer lugar exista suficiente humedad en las capas bajas de la atmósfera, a tal grado que el aire sufra una saturación por el enfriamiento adiabático y llegue a condensarse dicho vapor de agua. Esta condensación es tanto más activa cuando más partículas de materia estén suspendidas en el aire, ya que éstas sirven de núcleos hidroscópicos sobre los que se va acumulando la humedad en forma de capas semejantes a las capas de una cebolla.

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	A
Humedad relativa en %	59	53	50	52	58	65	73	73	73	69	65	64	62
Evaporación real en mm	9.8	4.7	12.3	22.4	61.5	116.6	98.4	98.8	88.0	53.7	7.9	5.5	66.8

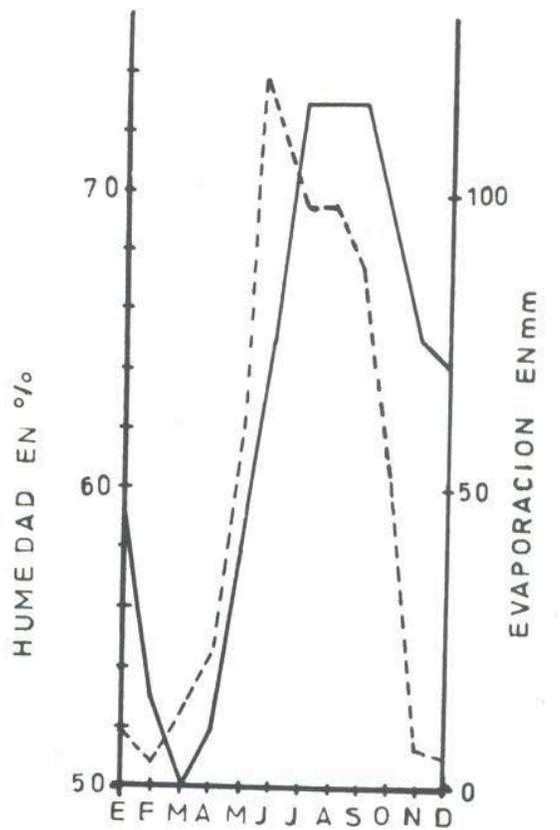


Fig. 24 Humedad relativa y evaporación real

En la zona de estudio los tipos de nubes que predominan durante el año son: los estratus en primavera, los cumulus en verano y otoño y los cirrus en invierno. Existen algunas nubes de transición entre cada estación del año; por ejemplo, entre otoño e invierno se forman los estratocumulus, los altustratos, cirrustratos, etc.

La nubosidad en el área de estudio está dada en la cantidad de días en que se presentó, con la cual se conformó la gráfica de la figura 25, en la que se aprecia que su comportamiento está íntimamente relacionado a las tres etapas que le anteceden, esto es, a la evaporación, temperatura y la humedad relativa. Esto se hace más evidente confrontando las curvas de los cuatro parámetros en cuestión, en la misma figura 25 que muestra un régimen parecido que se hace cada vez más paralelo en el lapso de mayo a diciembre, condicionado a la disponibilidad de agua principalmente y a las altas temperaturas, reduciendo su abundante nubosidad que en algunos casos superan a la mitad del mes, como sucede en julio, agosto y septiembre, en los que predominan los cumulus con distintos orígenes propios de la época, o sea, de desarrollo vertical, convectivo, ciclónico, etc.

Por otro lado, de enero a abril está condicionado además del agua disponible que es muy escasa, a las bajas temperaturas de los meses de enero y febrero, es decir durante los dos primeros meses del año, en que la evaporación es escasa porque el aire está frío, lo que hace que la humedad relativa si bien es alta, es también de acuerdo a la temperatura, no así la nubosidad, la cual es escasa y del tipo estratiforme o nubes altas, mientras que en los meses de marzo y abril la evaporación real se incrementa, pero como también lo hace la temperatura y con ello la capacidad del aire para absorber vapor de agua, pero como existe poca disponibilidad del líquido la nubosidad decrece, dicho de otro modo, la evaporación que proporciona humedad a la atmósfera no es suficiente como para incrementar la nubosidad en el lugar de estudio.

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	A
Temperatura media en °C	11.8	12.7	15.4	16.9	17.8	17.6	17.0	16.8	16.6	14.8	13.2	11.7	15.1
Evaporación real en mm	9.8	4.7	12.3	22.4	61.5	116.6	98.4	98.8	88.0	53.7	7.9	5.5	66.8
Humedad relativa en %	59	53	50	52	58	65	73	73	73	69	65	64	62
Días nublados en décimas	7.33	5.94	5.31	5.35	8.52	14.35	18.31	17.18	18.76	15.82	9.77	8.93	135.57

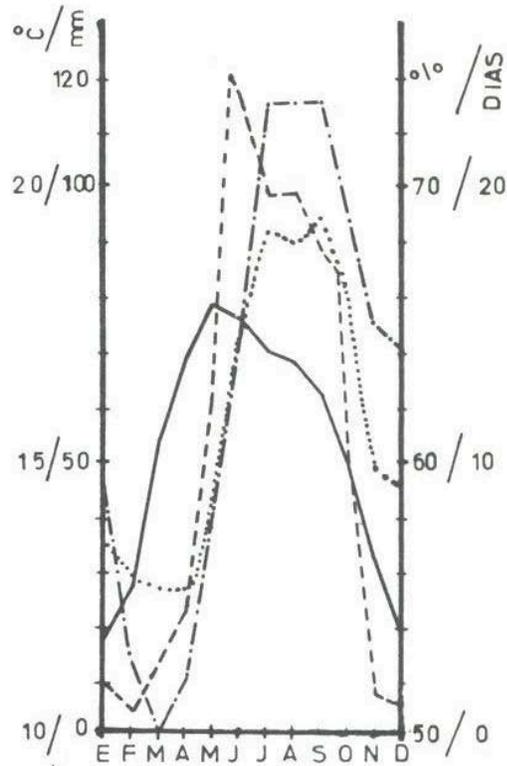


Fig. 25 Temperatura media —
 Evaporación real - - -
 Humedad relativa - · -
 Nubosidad ·····

PRECIPITACIÓN MEDIA. La precipitación es la cantidad de agua líquida o sólida que llega desde la atmósfera hasta la superficie terrestre. Existen varias formas de precipitaciones, por ejemplo, están la lluvia, la nieve, la nevisca, el granizo, la helada y el rocío.

De estas formas, la más importante en este estudio es la lluvia ya que es la más evidente por su ocurrencia en este lugar. Existen varias teorías sobre el fenómeno que antecede al fenómeno de la lluvia; una de esas es la condensación, que consiste en que las gotas de agua que flotan dentro de las nubes se atraen eléctricamente, con lo cual se forman cada vez gotas más grandes, las que llegan a tener un peso que no es soportable por el aire y caen por el efecto de la atracción gravitacional del planeta.

Los tipos de lluvias que se producen en el área de estudio, son las convectivas, orográficas y frontales; cada una de ellas en su momento y con sus frecuencias e intensidades aumentan la altura de la lámina precipitada. La ocurrencia de este parámetro en la estación meteorológica en cuestión y su área de influencia requiere de un análisis detallado con el fin de encontrar no sólo su distribución media anual, sino también conocer las diversas características que presenta y los elementos que la generan.

La distribución temporal de este fenómeno se muestra en la figura 26, en la que se deja entrever la existencia de un período seco y otro húmedo. El análisis temporal de esta curva permite apreciar que durante el invierno, especialmente en el mes de febrero se presenta el estiaje ya que su registro mínimo es de 4.7 mm. de precipitación en promedio.

La escasez de la precipitación mostrada en esta curva se remonta a la segunda parte del año y durante todo el invierno las lluvias son mínimas puesto que los vientos alisios del Océano Atlántico, no logran penetrar con la humedad requerida para que se efectúe dicho fenómeno, desde esos cuerpos de agua y solo dominan los vientos fríos y secos del oeste provenientes de la celda continental subsidiaria del centro de alta presión Bermudas-Azores, como se muestra en la figura 27. Sin embargo, cuando las masas de aire polar modificado llegan hasta el área de estudio, se producen lluvias escasas producidas por

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	A
Precipitación media en mm	9.8	4.7	12.3	22.4	61.5	147.4	169.3	162.9	149.9	53.7	7.9	5.5	66.8

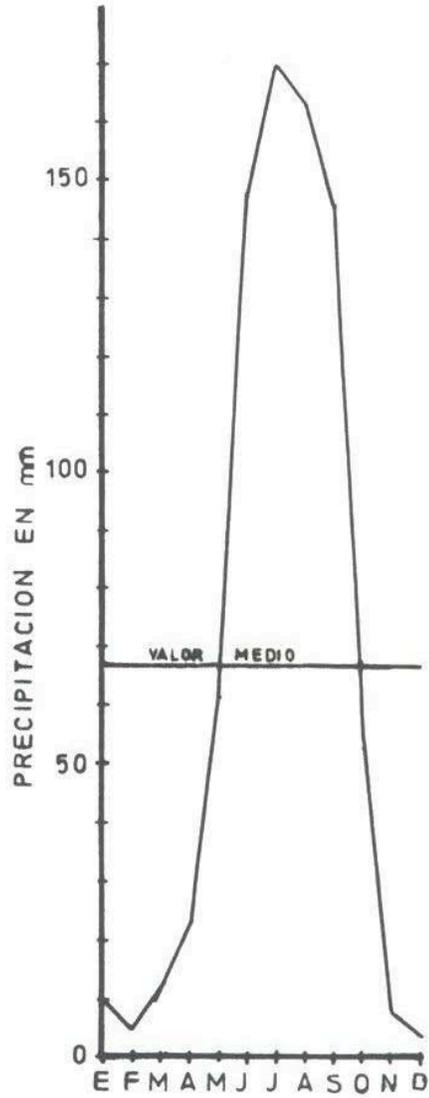


Fig. 26 Precipitación media mensual en mm.

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	A
Precipitación media en mm	9.8	4.7	12.3	22.4	61.5	147.4	169.3	162.9	149.9	53.7	7.9	5.5	66.8
Dirección del viento domi- nante en horas	79NW	119S	149NE	228NE	324NE	433NE	252NE	135NE	327N	231N	125NE	143NW	1256NE

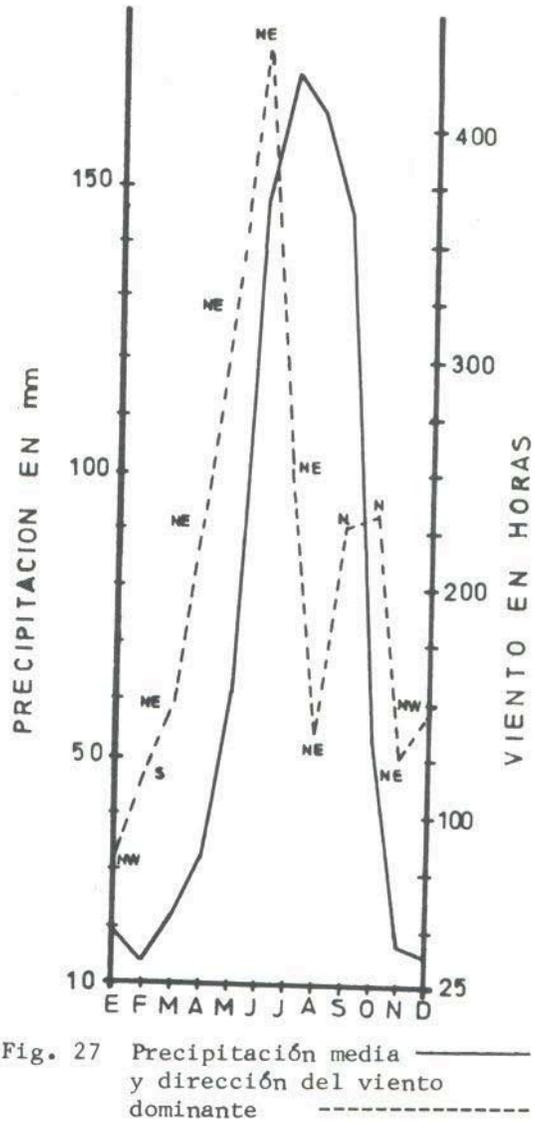


Fig. 27 Precipitación media ————— y dirección del viento dominante - - - - -

escasas nubes del tipo estratiformes, las cuales más bien producen lluvias frontales en forma de lloviznas.

Al entrar la primavera, por considerarse esta estación de transición existe una mezcla de elementos generadores de las lluvias, esto es las precipitaciones de origen frontal ocasionadas por las condiciones invernales que aún persisten y las de tipo convectivo, que provienen de las características veraniegas, estas últimas se inician en esta época del año. Así, desde abril hasta noviembre, el dominio de los parámetros meteorológicos intertropicales definen la época húmeda del año, puesto que los elementos que generan las lluvias son muy activos; de ellos sobresalen las ondas del este, los ciclones y las tormentas tropicales, cuyos remanentes llegan hasta el área de estudio, en donde las condiciones orográficas hacen que se formen convecciones con lo que se desarrolla una abundante nubosidad del tipo cumuliforme, lo que da lugar a fuertes precipitaciones de larga duración, haciendo que el tirante de agua se incremente significativamente en esta época del año, a tal grado que en el mes de julio ese aumento llega hasta los 169.3 mm. de altura, que es el registro más alto que se ha calculado hasta ahora.

Cabe hacer notar que si bien en los meses de septiembre y octubre predominan los vientos del norte, éstos al chocar con las masas de aire marítimas tropicales que cubren el área de estudio originan precipitaciones de tipo frontal, a las que en muchas ocasiones se les denomina nortes.

CAPÍTULO 5

TENDENCIAS DE LAS VARIABLES OBSERVADAS

Para analizar una serie de datos observados es necesario un método que permita desarrollar todos los pasos de la investigación. El método que relaciona la complejidad con que se dan los fenómenos meteorológicos es el procedimiento de la regresión ordinaria, ya que es el que mejor ajusta los valores observados y los aproxima a una curva o recta en la gráfica.

En los parámetros analizados en este estudio, la aproximación de dichas curvas se determina por la ecuación general de la línea recta, $y = a + bx$, en la que x y y son variables independientes; a y b son constantes que se determinan por el procedimiento de mínimos cuadrados, a través de las ecuaciones:

$$a = \frac{(\sum Y)(\sum X^2) - (\sum X)(\sum XY)}{N(\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

$$b = \frac{N(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{N(\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

En la ecuación de la línea recta, el coeficiente a es la ordenada en el origen y b es la pendiente de la curva, de tal forma que al unir los puntos a y b , en la gráfica se obtiene la dirección y la pendiente de la tendencia que sigue el fenómeno, x corresponde al número de años analizados y equivale a N en las ecuaciones simultáneas a y b .

A continuación se hace el análisis de las variables en cuestión, empezando con una introducción y después con la aplicación de estas ecuaciones a los datos registrados en esta estación meteorológica de Ciudad Universitaria, D.F.

INSOLACIÓN. Como ya se ha dicho, es el número de horas en que brilla el Sol sobre un punto de la superficie terrestre. Este parámetro meteorológico depende de la nubosidad, si se hace abstracción de esta última, la insolación máxima se registra en los polos durante el verano

que a cada hemisferio de la Tierra le corresponde y recíprocamente es nula en los mismos durante el invierno, a causa de la inclinación del eje terrestre y al movimiento de traslación del planeta.

En un lugar sobre la superficie terrestre, este fenómeno es máximo cuando el Sol pasa por el cenit de dicho lugar. En consecuencia, en las latitudes bajas se presentan dos máximos y dos mínimos por el hecho del movimiento aparente del Sol durante el año, como ya se ha expuesto.

En la figura 28, se muestra la tendencia que siguió esta variable durante los años analizados en este lugar. Se advierte que los valores con que se calculó esta tendencia, son meramente puntuales, es decir, corresponden a la relación que en cierto momento hubo entre el heliógrafo o instrumento de registro y alguna nube que interfirió la luminosidad sobre la esfera cristalina de este instrumento. Sin querer decir con ello que todo el cielo haya estado nublado o despejado en el momento de los registros.

En el cuadro siguiente los valores de x corresponden a los años analizados como ya se mencionó. En y aparecen los valores anuales de la insolación en horas; x^2 y xy resultan de las columnas x y y mencionadas antes.

Con los valores de las sumatorias de las columnas de este cuadro se calcularon los valores de a y b, mediante las ecuaciones simultáneas a las que ya se hizo referencia, quedando: $a = 1\ 694.04$ y $b = 15.08$. Sustituyendo estos valores de a y b en la ecuación $y = a+bx$,

X	Y	X^2	XY	Y
0	1 862.2	0	0	1 694.04
1	1 577.9	1	1 577.9	1 709.12

2	1 705.6	4	3 411.2	1 724.20
3	1 746.7	9	5 240.1	1 739.28
4	1 759.3	16	7 037.2	1 754.36
5	1 595.4	25	7 977.0	1 769.44
6	2 105.8	36	12 634.8	1 784.52
7	1 759.3	49	12 315.1	1 799.60
8	1 822.4	64	14 579.2	1 814.68
9	1 674.5	81	15 070.5	1 829.76
10	2 098.6	100	20 986.0	1 844.84
11	1 722.4	121	18 946.4	1 859.92
12	1 947.9	144	23 374.8	1 875.00
13	1 543.2	169	20 061.6	1 890.08
14	1 510.5	196	21 147.0	1 905.16
15	2 034.9	225	30 523.5	1 920.24
16	2 331.2	256	37 299.2	1 935.32
17	2 171.0	289	36 907.0	1 950.40
18	1 860.8	324	33 494.4	1 965.48
19	1 803.0	361	34 257.0	1 980.56
20	2 110.1	400	42 202.0	1 995.64

$$\Sigma x = 210 \quad \Sigma y = 38\,742.7 \quad \Sigma x^2 = 2\,870 \quad \Sigma xy = 399\,041.9$$

resultaron los valores de y , que aparecen en la quinta columna del cuadro mencionado, yendo de izquierda a derecha. Así, con los valores de esta columna y con los de la primera se trazó la gráfica de la figura 28. Los puntos que aparecen dispersos en dicha figura, corresponden a los valores reales de la insolación acumuladas en horas y décimas cada año, y en el cuadro, estos valores corresponden a la segunda columna.

Este será el procedimiento que se empleará para los demás parámetros estudiados en este capítulo, por lo que ya no habrá necesidad de explicarlo.

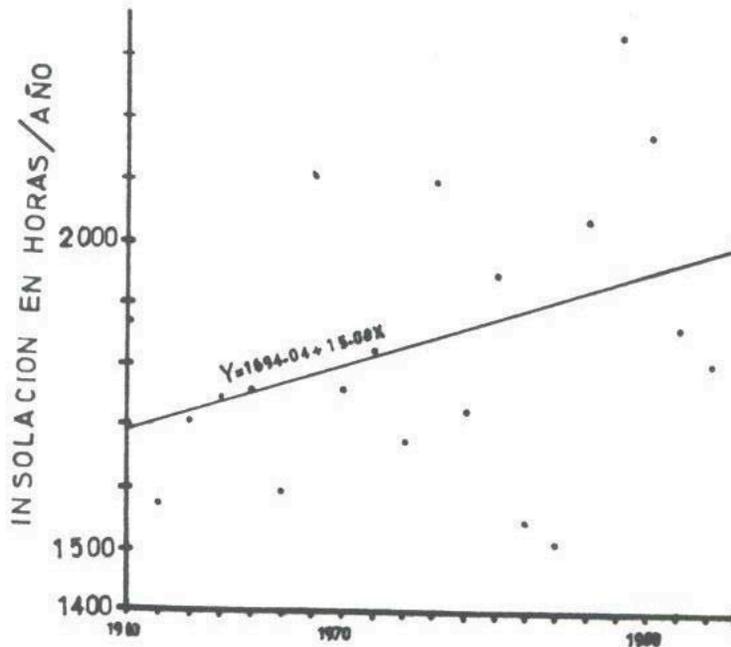


Fig. 28 Tendencia de la insolación anual acumulada, periodo 1963 a 1983.

Lo que se observa en esta figura, es que hubo un incremento en el número de horas de insolación, el cual se puede deber en parte a que en la década de los sesentas y setentas, los Estados Unidos de Norte América tenían en práctica el proyecto "Stormfury", con el que estuvieron desviando los ciclones tropicales en el Océano Atlántico, impidiendo así que estos meteoros llegaran a la del Golfo de México, con lo que hubo una reducción en la nubosidad del Valle de México.³

³ Información Científica y Tecnológica. Huracanes. Consejo Nacional de Ciencia y tecnología, Vol. III, núm. 37/15 de enero de 1981.

En relación con el margen de la variación del número de horas anuales de insolación ésta es de 820.7, comprendida entre el valor más bajo de 1510.5 acumuladas en 1977 y los registrados en 1979 que fueron de 2 331.2 horas de insolación en el observatorio en cuestión.

TEMPERATURAS: MEDIA, MÁXIMA Y MÍNIMA. Dentro de las condiciones medias de la temperatura se considera como años más fríos a 1967, con valor de 14.5°C y como más cálidos a 1973 y 1981, ambos con valor de 15.8°C. Sin embargo, dentro de las temperaturas extremas el año más caluroso del período fue 1980, con 27.5°C y el año más frío fue 1967, con 2.8°C.

En las figuras 29, 30 y 31, se muestra la tendencia que llevan estas temperaturas registradas en la Ciudad Universitaria, D.F., en las que el aumento en la tendencia de la temperatura depende en parte de la cantidad de partículas suspendidas en el aire, en cualquier estado físico. En consecuencia, en una ciudad tan grande como lo es la Ciudad de México, dentro de la que se encuentra el área de estudio, el ambiente está saturado de partículas contaminantes y gases tóxicos como el CO₂, que son el producto de un desarrollo industrial dependiente y mal planeado.

Bajo estas condiciones ambientales, la capa de aire de esta gran ciudad se calienta fácilmente por la absorción de la radiación solar, que es disipada por el suelo en forma de onda larga, ya que este tipo de energía es absorbido casi en su totalidad a diferencia de las radiaciones solares de onda corta que son más transparentes a los componentes atmosféricos, principalmente al vapor de agua y al bióxido de carbono. Así, que los efectos térmicos de esta ciudad son muy intensos por el efecto de conducción y absorción del calor que guardan las construcciones y los pavimentos, los cuales después de cierto tiempo reinvierten este calor al aire, donde es absorbido por la contaminación

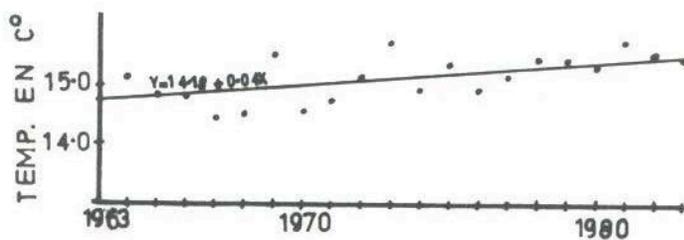


Fig. 29. Tendencia de la temperatura ambiente.
Promedio anual, periodo 1963 - 1983

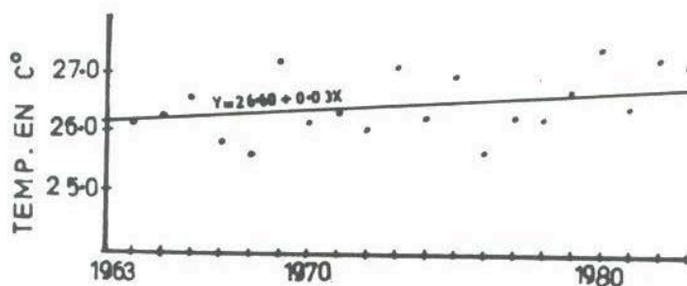


Fig. 30. Tendencia de la temperatura máxima.
Promedio anual, periodo 1963 - 1983

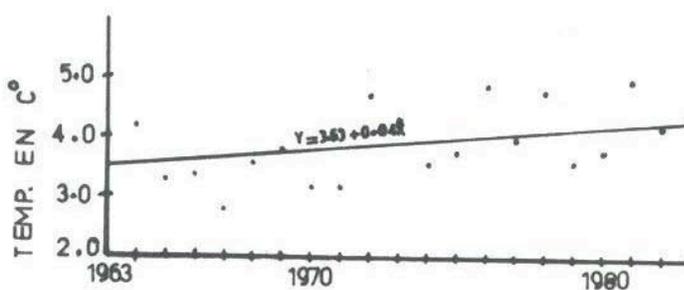


Fig. 31. Tendencia de la temperatura mínima.
Promedio anual, periodo 1963 - 1983

creándose así, una isla de calor que produce un desequilibrio en el

balance energético del medio ambiente de esta ciudad, principalmente en verano, época en que la temperatura del lugar de estudio es alta por el efecto de las inversiones y la adicción del calor doméstico que genera el hombre mediante sus actividades.

En el cuadro siguiente se suprimieron las columnas una y tres en las temperaturas máxima y mínima para simplificar en la parte donde dice tendencias la y_1 , corresponde a la temperatura ambiente, y_2 a la máxima y y_3 a la mínima.

Como en esta época la presión atmosférica es relativamente alta, como ya se vio, hay un predominio de las calmas, lo que hace que la capa de smog se mantenga por varias horas durante el día. Esto hace que las temperaturas lleven un incremento tal como se observa en las tendencias del ambiente y la mínima en las que este incremento es de 0.04 por año, mientras que en la máxima su incremento es de 0.03 en el mismo espacio de tiempo, con esto queda explícito el calentamiento que está ocurriendo en el área de estudio, a causa de la contaminación ambiental, por lo que habrá que tomar las precauciones necesarias para que este lugar no llegue a sufrir un caos por el impacto de la contaminación.

PRESIÓN ATMOSFÉRICA. Atendiendo a la correlación que existe entre la temperatura y la presión atmosférica registradas en este lugar, sería de esperarse que debido al aumento de la temperatura la presión tuviera un descenso. Sin embargo, en la figura 32, se muestra que hay también una tendencia ligeramente positiva de esta variable meteorológica. Esto indica que el aire al calentarse y cargarse de partículas contaminantes, sin poder tener una expansión en la vertical por la tensión que le opone la capa de contaminación, por lo que, queda comprimido entre esa capa y el suelo, con lo que aumenta su peso,

Temperatura ambiente	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Tendencias
----------------------	--------------------	--------------------	------------

X	Y	X ²	XY	Y	XY	Y	XY	Y ₁	Y ₂	Y ₃
0	15.0	0	0.0	25.6	0.0	4.5	0.0	14.78	26.20	3.53
1	15.2	1	15.2	26.2	26.2	4.2	4.2	14.82	26.23	3.57
2	14.9	4	29.8	26.3	52.6	3.3	6.6	14.86	26.26	3.65
3	14.9	9	44.7	26.6	79.8	3.4	10.2	14.90	26.29	3.65
4	14.5	16	58.0	25.9	103.6	2.8	11.2	14.94	26.32	3.69
5	14.6	25	73.0	25.7	128.5	3.6	18.0	14.98	26.35	3.73
6	15.6	36	93.6	27.3	163.8	3.8	22.8	15.02	26.38	3.77
7	14.6	49	102.2	26.2	183.4	3.2	22.4	15.06	26.41	3.81
8	14.8	64	118.4	26.4	211.2	3.2	25.6	15.10	26.44	3.85
9	15.2	81	136.8	26.1	234.9	4.7	42.3	15.14	26.47	3.89
10	15.8	100	158.0	27.2	272.0	4.3	43.0	15.18	26.50	3.93
11	15.0	121	165.0	26.3	289.3	3.6	39.6	15.22	26.53	3.97
12	15.4	144	184.8	27.0	324.0	3.8	45.6	15.26	26.56	4.01
13	15.0	169	195.0	25.7	334.1	4.9	63.7	15.70	26.59	4.05
14	15.2	196	212.8	26.3	368.2	4.0	56.0	15.34	26.62	4.09
15	15.5	225	232.5	26.3	394.5	4.8	72.0	15.38	26.65	4.13
16	15.5	256	248.0	26.7	427.2	3.6	57.6	15.42	26.68	4.17
17	15.4	289	261.8	27.5	467.5	3.8	64.6	15.46	26.71	4.21
18	15.8	324	284.4	26.5	477.0	5.0	90.0	15.50	26.74	4.25
19	15.7	361	298.3	27.3	518.0	4.2	79.8	15.54	26.77	4.29
20	15.6	400	312.0	27.2	544.0	4.4	88.0	15.58	26.80	4.33

$$\Sigma x=210 \Sigma y=319.2 \Sigma x^2=2870 \Sigma xy=3224.3 \Sigma y=557.4 \Sigma xy=5599.8 \Sigma y=83.1 \Sigma xy=863.2$$

no sólo por el aumento de partículas, sino por la reducción de su volumen. Es decir, que el aire encajonado entre la capa de smog y la superficie del suelo, adquiere una compresión lo que hace que aumente su densidad y, por consiguiente, su presión.

Considerando que en el Valle de México, hay un aumento progresivo de la infusión de partículas contaminantes en las últimas décadas por el desarrollo industrial, se infiere que esto sea la razón del comportamiento de la presión atmosférica, ya que en la actualidad se calcula que hay una emisión de cerca de cinco millones de toneladas de diversos contaminantes, que son vertidos a la atmósfera metropolitana de la Ciudad de México, cada año.⁴ La escasa tendencia positiva de esta variable hace que sobresalgan sus valores reales máximo y mínimo, del período de los veinte años analizados. En el primer caso está 1972 con el valor más alto de 779.33 mb o hpa y en el segundo, está 1964 con el valor más bajo de 777.06 mb o hpa, con lo que se marca una diferencia entre estos valores extremos del período analizado, de 2.27 mb o hpa.

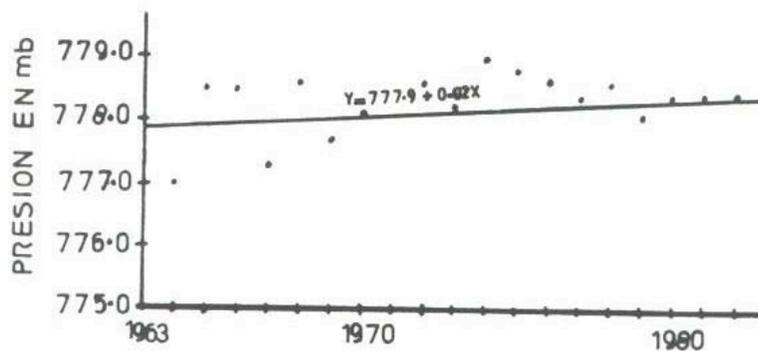


Fig. 32 Tendencia de la presión atmosférica. Promedio anual, periodo 1963 - 1983

X	Y	X ²	XY	Y
0	777.6	0	0.0	777.96
1	777.0	1	777.0	777.98
2	778.5	4	1 557.0	778.01

⁴ Según noticiero de la radio de esta capital.

3	778.5	9	2 335.6	778.04
4	777.3	16	3 109.2	778.06
5	778.6	25	3 893.3	778.09
6	777.7	36	4 666.4	778.12
7	778.1	49	5 446.9	778.14
8	778.1	64	6 225.0	778.17
9	778.6	81	7 008.0	778.20
10	778.2	100	7 782.6	778.22
11	779.0	121	8 569.7	778.25
12	778.8	144	9 345.6	778.28
13	778.6	169	10 122.6	778.30
14	778.4	196	10 897.6	778.33
15	778.6	225	16 680.0	778.36
16	778.1	256	12 450.1	778.38
17	778.4	289	13 232.8	778.41
18	778.4	324	14 011.2	778.44
19	778.4	361	14 789.6	778.46
20	777.7	400	15 554.6	778.49

$\Sigma x=210$ $\Sigma y=16\ 343.333$ $\Sigma x^2=2\ 870$ $\Sigma xy=163\ 455.46$

HUMEDAD RELATIVA. La humedad relativa se refiere a la cantidad de vapor de agua que contiene el aire y sus fluctuaciones están asociadas a la evaporación de los cuerpos de agua y del suelo, la transpiración de las plantas y animales y la capacidad del aire para contener esa agua, la cual a su vez está en relación directa con la temperatura.

La tendencia de esta variable observada en el lugar de estudio, se muestra en la figura 33, en la que se advierte que es de valores cada vez más decrecientes. Este decremento puede ser el resultado del crecimiento acelerado de esta ciudad, pues si bien en el aspecto térmico se indica una mayor capacidad para recibir el vapor de agua, la cuantificación de la humedad relativa es a la inversa, esto resulta obvio si se considera que al extenderse la capa asfáltica y las construcciones se reducen también las áreas verdes en esta metrópoli, entonces el agua precipitada escurre rápidamente por los alcantarillados, sin dar tiempo a que el agua caída se evapore. Esto reduce la evaporación real, y de allí la escasez de humedad cada vez mayor en el aire del lugar de estudio.

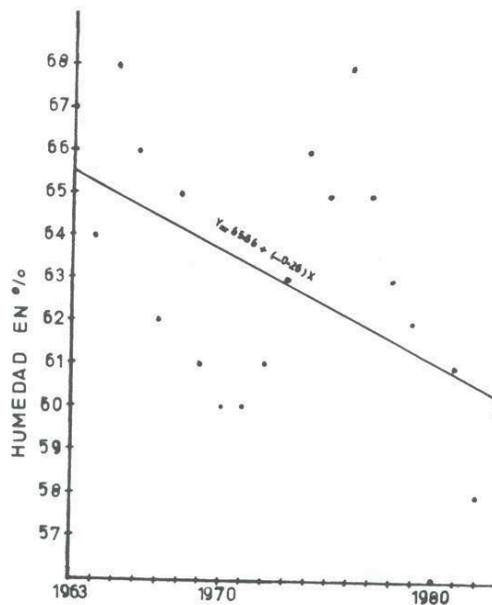


Fig. 33 Tendencia de la humedad relativa.
Promedio anual, periodo 1963-1983

En la figura 33 se muestra el fuerte decremento que lleva esta variable por año, pues se aprecia que la pendiente de la gráfica es de (-0.26) por año, y está sustentada por la diferencia del registro más alto ocurrido en 1965 y 1976 con valor de 68%, y el registro más bajo presentado en 1980, con

X	Y	X ²	XY	Y
---	---	----------------	----	---

0	67	0	0.0	65.56
1	64	1	64	65.30
2	68	4	136	65.04
3	66	9	198	64.78
4	62	16	248	64.52
5	65	25	325	64.26
6	61	36	366	64.00
7	60	49	420	63.74
8	60	64	480	63.48
9	61	81	549	63.22
10	63	100	630	62.96
11	66	121	726	62.70
12	65	144	780	62.44
13	68	169	884	62.18
14	65	196	910	61.92
15	63	225	945	61.66
16	62	256	992	61.40
17	56	289	952	61.14
18	61	324	1 098	60.88
19	58	361	1 102	60.62
20	60	400	1 200	60.36
<hr/>				
$\Sigma x=210$	$\Sigma y^2=1\ 321$	$\Sigma x^2=2\ 870$	$\Sigma xy=13\ 005$	
<hr/>				

valor de 56%, lo que hace una diferencia del 12%, lo que es bastante acelerado ya que sólo se trata de un período de veinte años. Por otro lado, en esta figura se observa que los valores reales están muy dispersos y se alejan la mayoría de ellos de esa tendencia central. Esto se debe a la escasa nubosidad que existió por la poca cantidad de agua disponible en el suelo, para que se generara la evaporación real, que es la que alimenta a la atmósfera de humedad, como ya se ha expuesto.

PRECIPITACIÓN. Se ha mencionado que la precipitación es la cantidad de agua que cae al suelo procedente de la atmósfera. En el área de estudio esta precipitación se revela en la tendencia de la figura 34, en la que se aprecia un aumento de 1.31 mm por año. Sin embargo, la humedad relativa tiende a reducirse como se ha visto, lo que indica que la lluvia está muy concentrada en un tiempo corto. Esta característica no es casual ni se toma en cuenta que los vientos húmedos del Océano Atlántico que llegan al Valle de México durante el verano se relacionan con el exceso de partículas suspendidas, las que aceleran la precipitación. Por otro lado, cuando hay humedad en el ambiente el efecto de las partículas suspendidas y las altas temperaturas del suelo, generan fenómenos convectivos que se caracterizan por producir lluvias muy intensas, a diferencia de las ocurridas en las demás épocas del año.

Al igual que con la humedad relativa ya vista, los valores observados de la precipitación en el período de años

X	Y	X ²	XY	Y
0	773.2	0	0.0	791.61
1	682.2	1	682.2	792.92
2	838.4	4	1 676.8	794.23
3	907.2	9	2 721.6	795.54
4	828.6	16	3 314.4	796.85

5	781.4	25	3 907.0	798.16
6	859.8	36	5 158.8	799.47
7	636.6	49	4 456.2	800.78
8	738.4	64	5 907.2	802.09
9	632.9	81	5 696.1	803.40
10	802.5	100	8 025.0	804.71
11	723.5	121	7 958.5	806.02
12	928.1	144	11 137.2	807.33
13	1 235.3	169	16 058.9	808.64
14	807.5	196	11 305.0	809.95
15	886.6	225	13 299.0	811.26
16	725.2	256	11 603.2	812.57
17	771.9	289	13 122.3	813.88
18	1 033.0	324	18 594.0	815.19
19	609.6	361	11 582.4	816.50
20	673.6	400	13 472.0	817.81

$$\Sigma x=210 \quad \Sigma y=16\,866.6 \quad \Sigma x^2=2\,870 \quad \Sigma xy=169\,677.8$$

considerado, están muy dispersos y se alejan considerablemente de dicha tendencia, pues en la figura mencionada se muestra variabilidad de este elemento; de esta manera se aprecia que el año más seco del período fue 1982, con sólo 609.6 mm de altura, y el más húmedo correspondió a 1976, con un lámina de 1 235.3 mm de precipitación. De tal manera que al hacer la diferencia de los valores extremos se observa que ésta es de 625.7 mm, lo que indica que el año más lluvioso obtuvo más del doble de precipitación que el año más seco.

Por otro lado, se infiere que de seguir esta tendencia, la precipitación puede llegar a producir grandes inundaciones en este lugar

de la Ciudad de México en los próximos años. De aquí que es evidente el conocer el comportamiento que lleva este fenómeno para una mejor planeación en cuanto a la red del drenaje y los alcantarillados de este lugar.

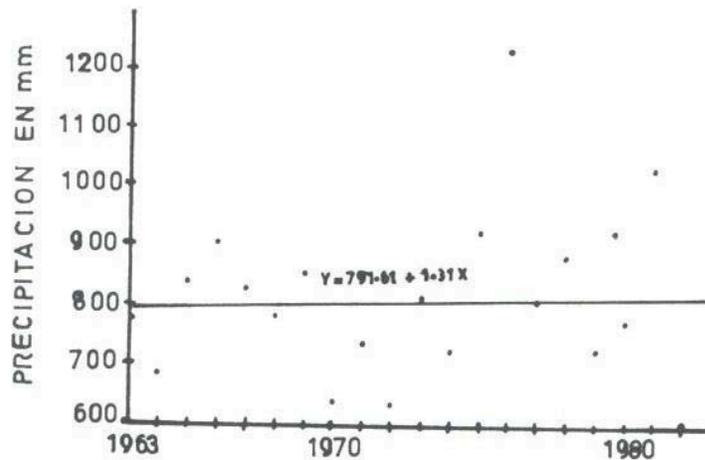


Fig. 34 Tendencia de la precipitación acumulada anual, periodo 1963 - 1983.

CAPÍTULO 6

ALGUNOS ÍNDICES CLIMATOLÓGICOS

Como un complemento adicional al conocimiento más preciso de algunas de las variables que se abordan en este trabajo son los índices climáticos, los que permiten además catalogarlos de acuerdo al rango que adquieren en una clasificación predeterminada.

OSCILACIÓN TÉRMICA. Para la zona intertropical de convergencia las variaciones de este parámetro climatológico está catalogado como de escaso significado; sin embargo, la diferencia entre la temperatura máxima y mínima media mensuales, esto es de 17.8°C en el mes de

mayo y 11.7 en el mes de diciembre resultan 6.1°C, este valor cataloga al área de influencia del observatorio Meteorológico de la Ciudad Universitaria, como de poca oscilación térmica.

Las fluctuaciones térmicas anuales a lo largo de veinte años, que se presentan en la figura 35 indican el importante dinamismo de este elemento, ya que mientras en 1980 la oscilación térmica fue de 10°C, considerándose un año extremo, y de esta manera nueve años más, a diferencia que en 1968 la oscilación fue de sólo 5.0°C, es decir de escasa fluctuación y con él los nueve años restantes al período considerado.

Para apreciar la tendencia de esta característica de la temperatura, la misma gráfica de la figura 35 indica que la pendiente de la recta es positiva con 0.053 como resultado del crecimiento paulatino de las construcciones urbanas que influyen a que de la misma manera se torne extremosa por el bajo calor específico del concreto y el asfalto.

Año	Mes más cálido	Mes más frío	Oscilación	Promedio
1963	Junio=19.2	Diciembre=10.0	9.2	14.6
1964	Abril=18.0	Enero=11.3	6.7	14.6
1965	Mayo=17.9	Diciembre=9.4	8.5	13.6
1966	Junio=19.1	Enero=10.9	8.2	15.0
1967	Mayo=17.5	Enero=10.7	6.8	14.1
1968	Agosto=16.9	Enero=11.9	5.0	14.4
1969	Junio=19.2	Enero=11.8	7.4	15.5
1970	Abril=17.7	Enero=10.9	6.8	14.3

1971	Mayo=17.2	Diciembre=10.8	6.4	14.0
1972	Junio=17.2	Diciembre=12.0	5.2	14.6
1973	Mayo=19.8	Diciembre=11.5	7.3	15.6
1974	Mayo=18.9	Enero=12.5	6.4	15.7
1975	Julio=19.8	Enero=10.1	9.7	14.9
1976	Mayo-junio=17.6	Enero=10.8	6.8	14.2
1977	Agosto=17.8	Diciembre=11.9	5.9	14.8
1978	Mayo=18.5	Diciembre=13.0	5.5	15.7
1979	Julio=18.9	Diciembre=12.6	6.3	15.7
1980	Julio-agosto=19.2	Diciembre=9.2	10.0	14.7
1981	Junio=19.4	Enero=10.7	8.7	15.0
1982	Junio=19.0	Diciembre=11.2	7.8	15.1
1983	Mayo=20.1	Enero=11.5	8.6	15.8

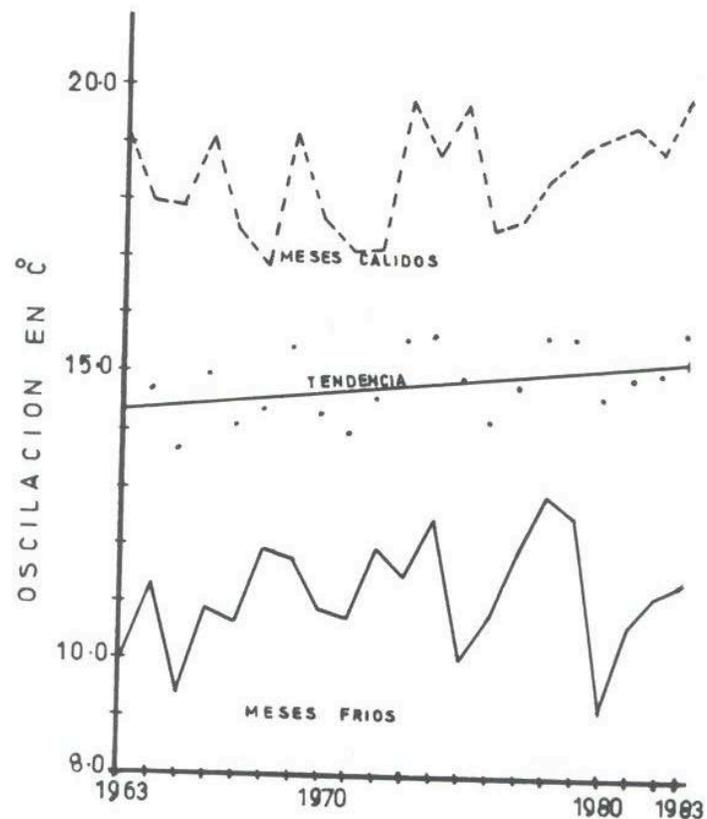


Fig. 35 Tendencia de la oscilación térmica.
Período 1963 - 1983

En esta figura la curva punteada corresponde a los meses más cálidos del período de años considerado y la curva continua se refiere a los meses más fríos del mismo período. La línea recta que aparece en el centro de la figura, es la tendencia promedio de esa oscilación, es decir que para calcular esta tendencia se utilizó el promedio de los meses extremos.

Por ejemplo, en 1963 el mes más cálido fue junio con 19.2°C , y el mes más frío fue diciembre con 10.0°C ; entonces el promedio de estos dos valores es de 14.6°C ; estos valores aparecen en el cuadro de los

datos, en el que se anotó el año, el mes más cálido y más frío, el promedio y la oscilación. Los puntos que se observan a ambos lados de la tendencia, corresponden a esos promedios en la figura 35.

INTENSIDAD DE LA LLUVIA. Es la cantidad de agua precipitada que cae al suelo en función del tiempo. Se mide en milímetros por hora sin embargo, como la información que se registra en el pluviógrafo no es lo suficientemente confiable, se tomó como recurso la lluvia máxima en 24 horas.

La intensidad de la lluvia es mayor al inicio de la tormenta, pero conforme pasa el tiempo disminuye su intensidad y obviamente el agua acumulada aumenta su altura conforme se prolonga el tiempo de precipitación; de allí que a menor duración de la lluvia haya más intensidad.

Este parámetro está en correlación con las características físicas de la atmósfera, como son la nubosidad, el viento dominante y la temperatura del aire. Una atmósfera contaminada trae como consecuencia que el gran número de partículas suspendidas en el aire, absorban gran cantidad de humedad y produzcan grandes precipitaciones de tipo convectivo al formarse las corrientes verticales del aire. En consecuencia, las intensidades máximas de la lluvia de este lugar ocurren desde mediados de primavera hasta finales del otoño, tal como se muestra en la figura 36. Aunque durante este período se muestran altibajos en el comportamiento de este parámetro, son los meses de mediados de abril a septiembre, en los que la intensidad de la lluvia está por arriba de su valor medio, de 41.4 mm de altura. Por lo tanto, las intensidades máximas se presentan en la época húmeda del año, y están asociadas a las masas de aire húmedo que llegan a este lugar a través de los vientos alisios.

Además, la atmósfera del área de estudio está cargada de contaminantes, los cuales sirven de núcleos hidroscopicos al vapor de agua, lo que ayuda a saturar rápidamente al aire, el cual termina en la producción de fuertes chubascos, destacándose el mes de agosto con una altura media de 69.8 mm.

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	A
Intensidad de la lluvia - via en mm	37.0	9.8	33.0	22.4	66.0	58.7	56.9	68.9	62.5	27.4	35.6	17.8	41.4

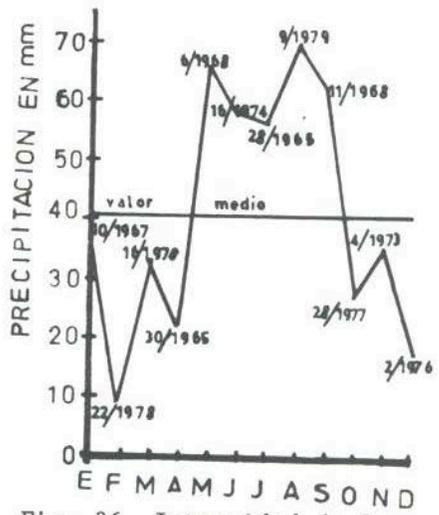


Fig. 36 Intensidad de la precipitación.

En los demás meses del año, esta intensidad está por debajo de ese valor medio anual, siendo el mes más bajo febrero con 9.8 mm, de lluvia acumulada para 24 horas. La escasez de la lámina acumulada en invierno, está caracterizada por láminas muy delgadas resultantes de la baja intensidad de lluvia generada por las precipitaciones de tipo frontal traducidas en ligeras lloviznas, que si bien en ocasiones son de larga duración éstas aportan escasos milímetros al tirante.

Los picos que se forman en esta intensidad de la lluvia, probablemente son producto de una precipitación en forma de chubasco.

CONCENTRACIÓN DE LA LLUVIA. Esta característica de la precipitación se refiere al promedio de la altura del agua precipitada en un día de ocurrencia.

Para conocer este índice se aplica la siguiente fórmula:

$$C_p = \frac{P}{D_p}$$

donde:

C_p = Concentración de lluvia en mm/día.

P = Precipitación en mm.

D_p = Promedio de días con lluvia apreciable

Este promedio de días con lluvia apreciable se obtuvo primero para la concentración mensual y después para la anual. El procedimiento consistió en sumar todos estos días, tanto para el período de años en cuestión como para cada año; los totales acumulados se dividieron entre 20 para el primer caso y entre 12 para el segundo caso.

La figura 37, muestra el comportamiento de la acumulación media de la lluvia diaria a lo largo del año; en su curva se advierte de manera general que la concentración que aquí se trata presenta un régimen semejante al de la precipitación media, lo cual indica que los días más húmedos están íntimamente identificados con la estación lluviosa, específicamente en el mes de junio con una lámina promedio de 8.1 mm al día, más en primavera se observa un incremento aparentemente

inusitado en el mes de marzo que pudiera deberse a las precipitaciones de origen convectivo generadas por el sobrecalentamiento del suelo; también existe a la mitad del invierno específicamente en el mes de enero, lo que bien pudiera ser el resultado de las lluvias de tipo frontal propias de la época.

En otro orden de ideas, como estas tormentas ciclónicas causan grandes desastres por los lugares donde pasan, durante la década de los sesentas y setentas diversos países se empeñaron en frenarlas o desviarlas para que no llegaran a sus costas, logrando mediante estas experiencias, que dichas tormentas ciclónicas disminuyeran su velocidad y descargaran la mayor parte de su humedad antes de llegar a las costas. Así, durante estos años, Estados Unidos de Norte América había puesto en práctica el proyecto llamado Stormfury⁵, el cual fue aplicado a varias de estas tormentas, principalmente en el Océano Atlántico, donde lograron sus objetivos satisfactoriamente. Por ejemplo, en 1969 se aplicó este proyecto al huracán "Debbie" logrando reducir su velocidad en un 15%.

Las consecuencias de estos experimentos se reflejaron en el área de estudio, en la concentración anual de la lluvia, como se muestra en la figura 38, en la que se aprecia una serie de altibajos en relación a la concentración media del período de 6.8 mm de altura, pues se ve que en 1969 estuvo la mayor concentración, con un valor de 106.1 mm, y el año de 1972 fue el más bajo con 57 mm de concentración, lo que arrojó una diferencia de 49.1 mm, con lo que se demuestra que la concentración más alta del período casi duplicó al valor más bajo.

Se infiere, en que los años con mayor concentración de lluvia es la respuesta a la que no puesta en marcha del proyecto reiterado, pues como se ha dicho, los vientos húmedos que llegan al área de estudio

⁵ Información Científica y Tecnológica. Huracanes. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Volumen III, Núm. 37/15 de enero de 1981, pag. 10.

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	A
Concentración de la lluvia en mm	5.4	2.1	4.1	3.1	4.9	8.1	7.4	7.3	7.5	5.3	3.2	2.6	6.5
Precipitación media en mm	9.8	4.7	12.3	22.4	61.5	147.4	169.3	162.9	149.9	53.7	7.9	5.5	803.1

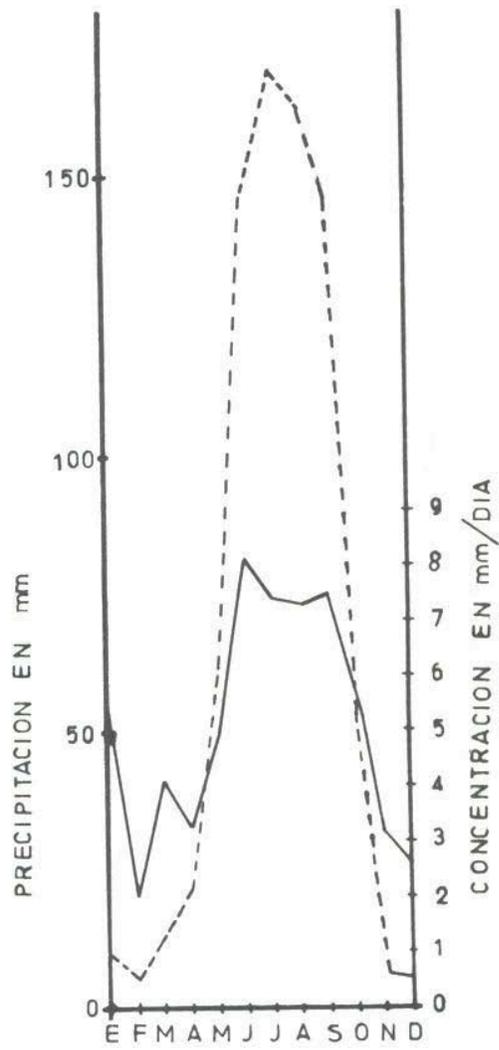


Fig. 37 Concentración mensual de la lluvia y precipitación media.
 Concentración —————
 Precipitación - - - - -

son procedentes del NE y algunos son las remanencias de los huracanes que se forman en el Mar de las Antillas.

Si estos vientos descargan su humedad antes de llegar a la Costa del Golfo de México, entonces al llegar al Valle del mismo nombre, son vientos cálidos y con poca humedad, lo que permite que el aire de este lugar no alcanza a saturarse para producir las lluvias y de allí estas deficiencias en la concentración de la lámina precipitada anualmente.

Año	Pmm	Promedio de días con lluvia apreciable en mm	Concentración de la lluvia en mm
1963	773.2	10.5	73.6
1964	682.2	10.1	67.5
1965	838.4	11.0	76.2
1966	907.2	10.2	88.9
1967	828.6	9.6	86.3
1968	781.4	10.7	73.0
1969	859.8	8.1	106.1
1970	636.6	8.3	76.6
1971	738.4	9.8	75.3
1972	632.9	11.1	57.0
1973	802.5	8.7	92.2
1974	723.5	8.6	84.1
1975	928.1	10.0	92.8
1976	235.3	12.0	102.9
1977	807.5	9.2	87.7
1978	886.6	10.4	85.2
1979	725.2	8.6	84.3
1980	771.9	10.6	72.8
1981	033.0	11.5	89.8
1982	609.6	7.5	81.2
1983	673.6	8.0	84.2

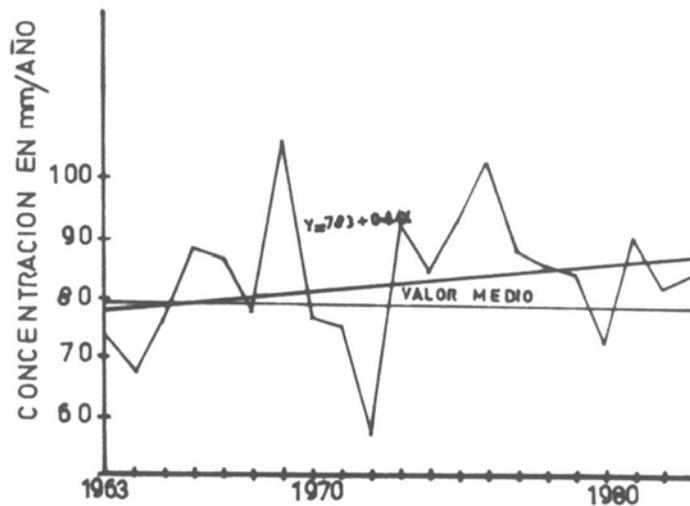


Fig. 38. Concentración anual de la precipitación y su tendencia, periodo 1963 - 1983.

En la misma figura también se observa que hay una tendencia ascendente, lo que es lógico si se consideran los atrasos mencionados y se espera que la lámina aumente su espesor en el futuro, porque además existen otros factores locales que causan este incremento ya que la ciudad es cada vez más cálida y la concentración desmesurada para que se originen intensas lluvias que incrementan la concentración.

VARIABILIDAD DE LA LLUVIA. Como la lluvia no es un elemento termodinámico como la temperatura, sus valores no pueden reducirse al nivel del mar o a un plano convencional de referencia. Sin embargo, está influenciada por factores como la topografía que hace que sus valores varíen grandemente en distancias relativamente cortas. Otros factores que influyen en este fenómeno son la presencia de convergencias y divergencias de los vientos, la cantidad de humedad que exista en el aire, así como su temperatura, la distancia a los cuerpos de agua de un lugar determinado, etc.

En base a estos factores el régimen pluviométrico de un lugar presenta una variabilidad anual y estacional, que rara vez se repite. Es decir, que la lluvia que cae en determinado mes o año casi nunca es

igual a la que cae en el mismo mes del siguiente año, e incluso, del siguiente año.

Por lo general la variabilidad de la lluvia aumenta, al aumentar la aridez de un lugar; por lo que en los climas secos es difícil predecir la cantidad de lluvia que caerá en un tiempo determinado.

El coeficiente de variabilidad de la lluvia, es de gran importancia en los estudios climatológicos ya que permite observar la distribución de este fenómeno tanto espacial como temporal; este último se refiere a la variación mensual, anual o de un período de años.

Este coeficiente se define por la desviación estándar de la muestra, expresada como porcentaje de la media muestral según la ecuación:

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100$$

de donde:

CV = coeficiente de variabilidad

= desviación estándar

X = media anual o mensual

Para calcular este índice se utilizaron los valores promedio de la precipitación, tanto mensuales como anuales. Así, en el primer caso se muestra la variabilidad mensual de este fenómeno durante los 20 años en cuestión.

En la figura 39, se aprecia cómo este coeficiente de variabilidad de la lluvia es mayor durante los meses más secos del año; sin embargo, se estabiliza en los meses húmedos, a tal grado que su valor más bajo se presentó en el mes de julio y fue del 24%, observando la curva de la precipitación que aparece en la misma figura se ve que este índice coincidió con el mes más lluvioso del año medio.

Esta relación inversa de las curvas del índice de variabilidad y la precipitación media, demuestra que en el lugar de estudio, entre más

bajo es el coeficiente de variabilidad de la lluvia, más regular es esta última, lo cual es lógico ya que entre mayor espacio de tiempo pase entre una precipitación y otra, mayor será su variabilidad y viceversa. Es decir, que entre menor tiempo transcurra entre la existencia de dos precipitaciones consecutivas, menor será también su variación; en otras palabras, entre más constantes sean las lluvias en el lugar, más bajo será su coeficiente de variabilidad y habrá una mayor concentración, como se vio en la figura de concentración de la lluvia para este lugar.

En la figura 40 se muestra la variabilidad anual de la precipitación en el lugar de estudio, durante los 20 años analizados. En esta figura también se trazó la curva de la precipitación media anual; para determinar su relación, en la que se aprecia que también cuando el coeficiente de variabilidad es bajo, la precipitación acumulada es alta y viceversa. En base a la relación de estas curvas se observa que durante los 20 años analizados hubo un período con lluvias irregulares que fue de 1963 a 1974, después de 1974 a 1978 hubo un período con lluvias regulares, de 1978 a 1980 vuelve a ser irregular, de 1980 a 1982 se regularizan nuevamente las lluvias y finalmente, en 1983, se inicia otro período de irregularidad de éstas. En el primer caso se infiere que esa irregularidad de la lluvia durante 11 años consecutivos, pudo haber sucedido por el efecto de la desviación de los ciclones tropicales en el Caribe hecha por los Estados Unidos durante esos años, como ya se explicó en el inciso anterior. En el caso de los períodos cortos que se muestra en esa figura, hace suponer que por lo menos cada dos años hay cambios en la regularidad de las precipitaciones en este lugar, lo cual puede ser consecuencia de la desviación natural de los ciclones hacía latitudes más altas, sin tocar las costas del Golfo de México.

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Variabilidad de la lluvia.	157%	112%	135%	65%	45%	40%	24%	49%	30%	82%	133%	149%
Precipitación media en mm	9.8	4.7	12.3	22.4	61.5	147.4	169.3	162.9	149.9	53.7	7.9	5.5

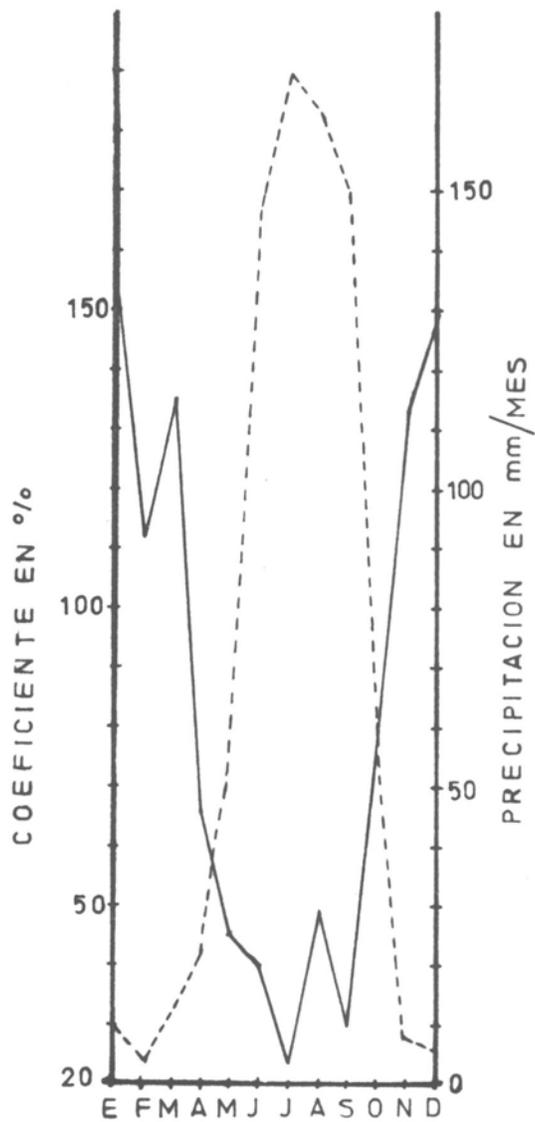


Fig. 39 Coeficiente de variabilidad de la lluvia y precipitación media.
 Coeficiente —————
 Precipitación - - - - -

AÑO	Coficiente de variabilidad de la lluvia en %	Promedio de la lluvia anual en mm
1963	111	64.4
1964	108	56.8
1965	128	69.8
1966	117	75.6
1967	101	69.0
1968	119	65.1
1969	149	71.6
1970	120	53.0
1971	111	61.5
1972	111	52.7
1973	110	66.8
1974	130	60.2
1975	108	77.3
1976	105	102.9
1977	107	67.2
1978	94	73.8
1979	126	60.4
1980	107	64.3
1981	110	86.0
1982	97	50.8
1983	135	56.1

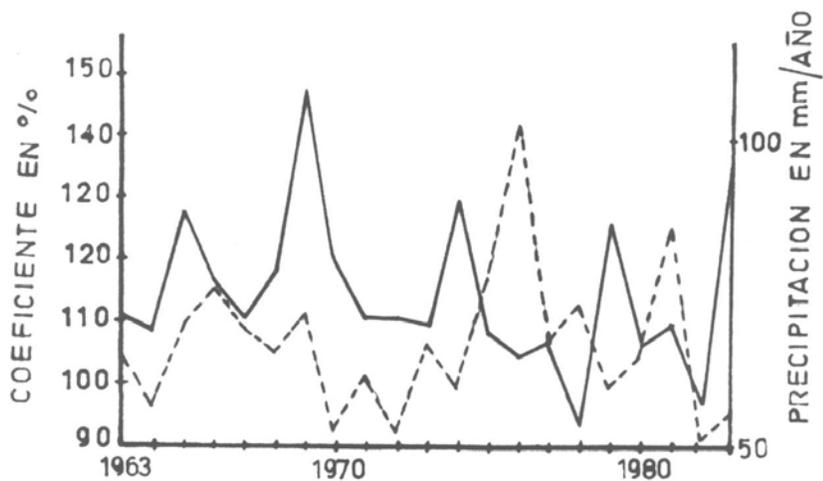


Fig. 40 Coficiente de variabilidad de la lluvia — y lluvia media - - - - -

INDICE DE ARIDEZ. Esta característica permite catalogar al clima de un lugar como húmedo o seco. El índice de aridez es un elemento

importante de la clasificación de un clima y se determina considerando originalmente como parámetros la lluvia y la evapotranspiración, sin embargo, en algunos casos este último se reemplaza por la temperatura.

Existen diversos índices de aridez que consisten en fórmulas diversas determinadas por otros tantos autores, entre los que pueden mencionarse: Martonne, Emberger, Mayer, Thornthwaite, Köppen, Lang, etc.

De los diversos climatólogos mencionados se decidió utilizar la fórmula de Lang,⁶ este índice también es conocido como de efectividad de la lluvia o factor de pluviosidad y ha sido escogido por la sencillez en el manejo de sus elementos y la confiabilidad de la información disponible, esto es:

$$I_p = \frac{P}{t}$$

de donde:

I_p = índice de pluviosidad o de aridez

P = precipitación en mm

t = temperatura media en °C

Para la utilización de los parámetros mencionados se recurrió a los valores de los cuadros anteriores.

De la aplicación de la relación anterior, el índice de aridez obtenido de 53.2 permite ubicar al observatorio en cuestión dentro de la zona húmeda que corresponde a la vegetación de estepa y sabana.

⁶ Lorente J. M. Meteorología , Barcelona, 1957, Pag. 197.

CAPITULO 7

CLIMA

Antes de abordar el tema propiamente dicho se consideró pertinente observar el comportamiento espacial de los elementos que lo integran, para esto se utilizó la información de las estaciones meteorológicas de apoyo, con la finalidad de conocer su ingerencia en el área de estudio en cuestión, para finalmente, concluir con el tipo de clima que definen parte de sus condiciones ambientales.

En la figura 41, se muestra la distribución de la precipitación media anual en el área de estudio mencionada. En las siguientes figuras los parámetros que se muestren se analizarán sobre esta misma área.

Volviendo a la distribución de la precipitación, se revela que ésta aumenta sus valores hacia la parte alta de la Sierra del Ajusco y disminuye hacia la parte baja de la Cuenca del Valle de México.

Esto es de suponerse puesto que se ha visto que llueve más en las partes altas de las montañas, por el enfriamiento adiabático del aire húmedo, que se eleva y al chocar con las laderas descarga la mayor parte de su humedad en forma de aguaceros o chubascos.

En la figura 42, se asienta la distribución de la temperatura media anual. En la que se demuestra que en las estaciones del Calvario y la Colonia Marte no hay información de este parámetro. Sin embargo, los valores de temperatura aumentan hacia la parte baja de este Valle, como generalmente debe ocurrir. Si se compara la distribución de la temperatura con la de la precipitación, se ve que llueve más en los lugares donde las temperaturas son más bajas y viceversa, esto es obvio ya que se ha comprobado que la temperatura disminuye con la altura, por lo que en este lugar, el fenómeno de la temperatura desciende hacia la parte alta de la Sierra del Ajusco mencionada, donde, como ya se ha visto, la precipitación se incrementa.

En la figura 43, se aprecia la distribución de la temperatura máxima promedio, en la que se puede mostrar un importante

incremento en el Observatorio de Ciudad Universitaria, desde donde se reduce hacia la periferia, lo cual puede ser el resultado de la naturaleza del suelo que rodea a este punto. Esto es porque el basalto alcanza altas temperaturas con facilidad por su coloración oscura, su espesor y la exposición solar a la que se encuentra.

Por último, en la figura 44 se ha trazado la distribución de la temperatura mínima promedio, en la que se observa que las curvas de este parámetro, una vez más, aumentan desde el Observatorio en cuestión hacia la periferia, lo cual confirma la influencia de la colada de lava en su calentamiento y enfriamiento, es decir, su alto calor específico.

Después de analizar la distribución espacial de los principales elementos climatológicos, el siguiente paso consiste en determinar las condiciones climáticas del área de estudio, no sin antes hacer una cronología de su evolución en el Valle de México.

MAPA

BASE



AREA DE INFLUENCIA
DEL OBSERVATORIO
METEOROLOGICO
DE LA U. N. A. M

- OBSERVATORIO MET
- ▲ OTRAS ESTACIONES
METEOROLOGICAS

TEMPERATURA MEDIA
EN C°

FUENTE: Segun datos del Ob-
servatorio Meteorolo-
gico Nacional y
el Observatorio de
la U N A M.
Carta Topografica
ENA39 CETENAL

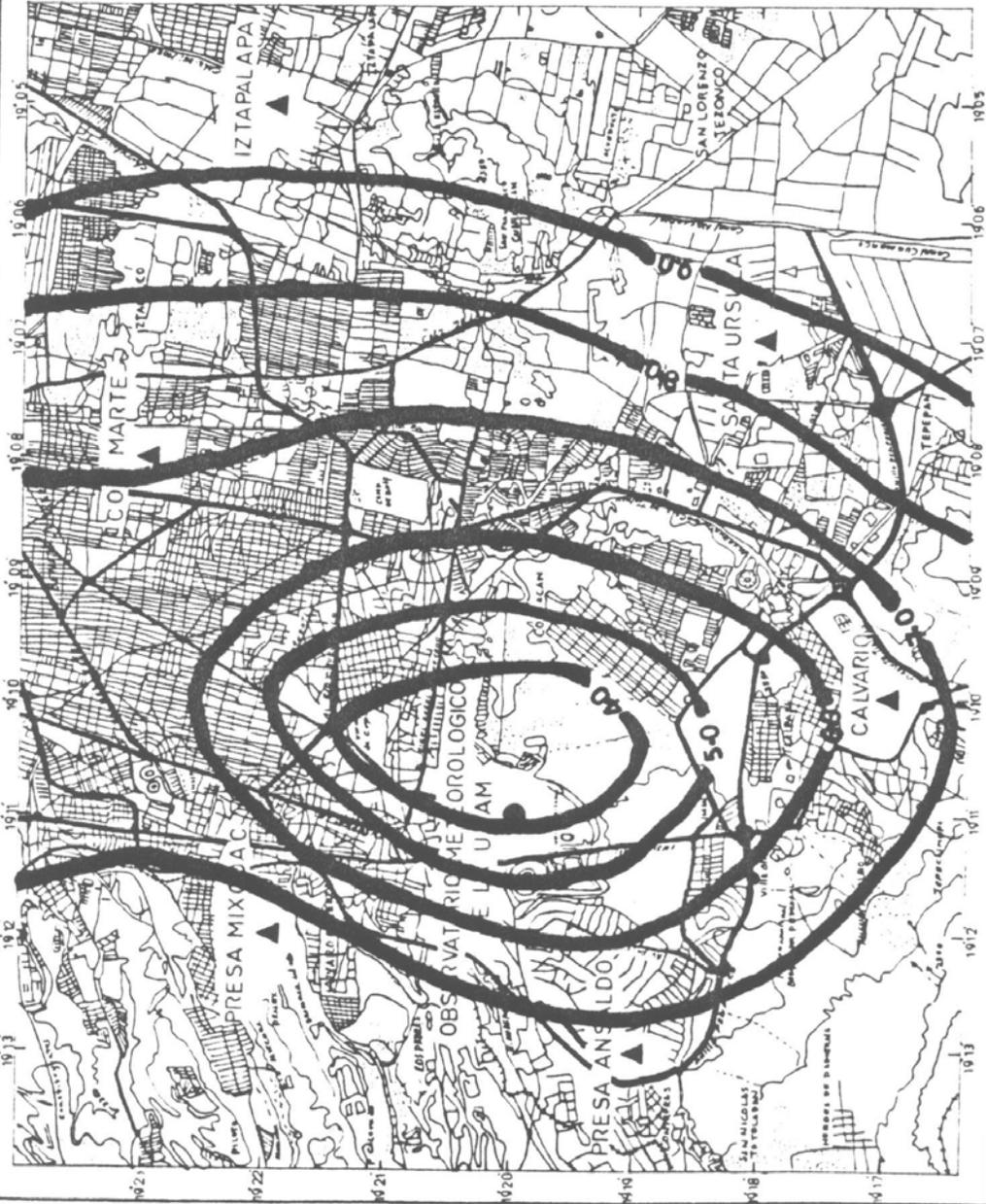


Fig.42

El Colegio de San...

MAPA

BASE



AREA DE INFLUENCIA
DEL OBSERVATORIO
METEOROLOGICO
DE LA U.N.A.M

- OBSERVATORIO MET
- ▲ OTRAS ESTACIONES METEOROLOGICAS

TEMPERATURA MINIMA
EN C

FUENTE: Segun datos del Observatorio Meteorologico Nacional y el Observatorio de la U.N.A.M. Carta Topografica EIMA39 CETENAL



Fig. 44

1:100,000

El clima de la cuenca del Valle de México ha tenido cambios susceptibles de mencionarse. Por ejemplo, en el Plioceno Superior predominó un clima semiárido, caracterizado por fuertes tormentas torrenciales, en el Plioceno, el clima que predominó fue húmedo y frío, caracterizado por las grandes glaciaciones, tanto del Iztaccíhuatl como del Popocatepetl. Después de una intensa depositación de cenizas volcánicas, transportadas por el viento y las corrientes de agua hacía las partes bajas de la cuenca, período llamado de "Tacubaya", vino un clima seco, caracterizado por suelos cementados con caliche. Posteriormente apareció un clima árido.⁷

Estudios recientes han demostrado que en la actualidad este valle tiene un clima templado y húmedo. Para corroborar esto en este trabajo se ha calculado el clima del área de estudio, en base al criterio de W. Köppen. La clasificación climática que hizo este autor, está basada en la coincidencia que hay entre sus límites climáticos y los grandes grupos de vegetación distribuidos sobre la superficie terrestre. W. Köppen utilizó los promedios de temperatura y precipitación, tanto mensuales como anuales.

De acuerdo con este modelo se ha calculado el tipo de clima para el área de estudio mencionada, cuyos resultados se muestran en la figura 45, en la que se aprecia que el clima de Ciudad Universitaria y su entorno inmediato es Cwx'bg; o lo que, traducido es: templado subhúmedo con lluvias de verano y principios de otoño, poca oscilación térmica y temperatura tipo ganges.

Este mismo tipo de clima es el que se aprecia en las demás estaciones de apoyo que contaron con la información requerida para dicho cálculo. Debe mencionarse que el clima de las estaciones de apoyo se calculó con la información allí registrada durante el período de años 1971 a 1980, y solamente en el Observatorio Meteorológico de la Universidad nacional Autónoma de México, el cálculo se hizo con la misma información, pero de 1963 a 1983.

⁷ The Subsoil of México City. By Raúl J. Marsal and Marcos Mazari. School of Engineering.

CLIMA DEL AREA DE ESTUDIO

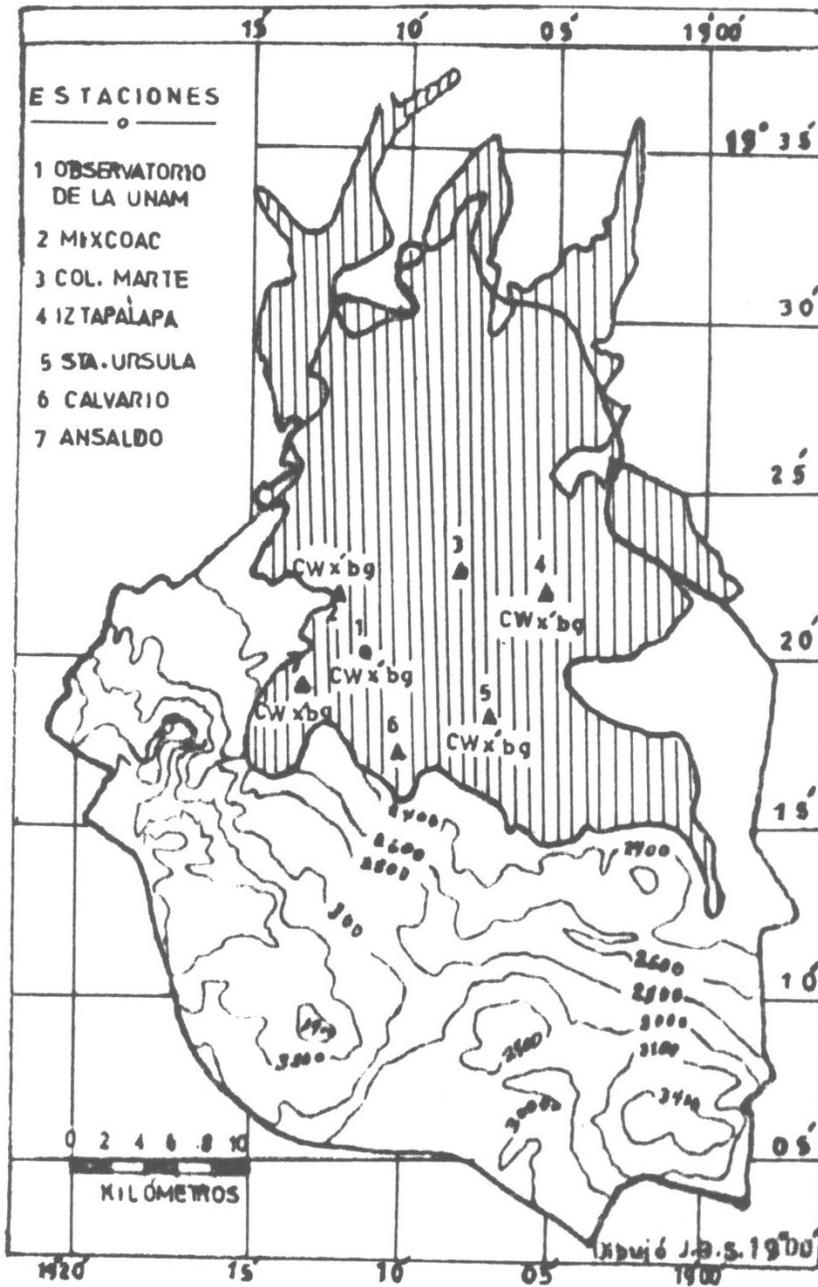


FIGURA 45

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los factores que intervienen en el comportamiento de los fenómenos atmosféricos son la posición astronómica del planeta, la influencia de la radiación solar, la situación geográfica y la constitución física del suelo y el aire de un lugar determinado.

El trabajo que se presenta se ha realizado con la información recopilada en el Observatorio Meteorológico de la UNAM, y las estaciones de apoyo de las que se ha hablado.

El Observatorio mencionado cuenta con instrumentos para medir los fenómenos meteorológicos que se han manejado durante el desarrollo del trabajo, a excepción de los días nublados y despejados, ya que no cuenta con nefoscopio; por lo tanto éstos se tuvieron que calcular. A pesar de que en dicho Observatorio se cuenta con el instrumental requerido, para hacer observaciones del estado del tiempo, como lo establecen los organismos nacional e internacional sobre este propósito, es necesario que se de un mantenimiento a esos instrumentos por lo menos cada año, ya que muchos de ellos llevan más de 30 años trabajando y no han sido revisados por algún técnico. Es cierto que para el personal científico que los maneja, éstos trabajan a la perfección, pero también es verdad que cualquier instrumento de alta sensibilidad como deben ser éstos, con el tiempo se desgastan o se desequilibran sus mecanismos sensibles y empiezan a marcar errores que llegan a salirse del margen de tolerancia que cada instrumento trae desde su fabricación. De allí, que se recomienda a las autoridades encargadas de dicho Centro, que se percaten del problema y manden a checar sus instrumentos, ya que la información que éstos generan está siendo utilizada en el campo de la investigación de trabajos científicos, que en su mayoría son aplicados a las diversas ramas de la economía nacional, principalmente en el sector agrícola, donde se trata de desarrollar cultivos en base a estudios climatológicos, entre otros.

De allí, que es importante el reajuste de estos instrumentos o, por qué no, una sustitución de algunos de ellos por instrumentos más modernos, que sean eficientes, para poder brindarle al usuario una información más confiable, ya que de ellos depende en gran medida el éxito de sus investigaciones; y lo que es más importante, que éstas tengan mayor aceptación en el sector productivo nacional.

Por otro lado, después de haber realizado el análisis de la información meteorológica que genera este Observatorio, o mejor dicho, que generó durante los años 1963-1983, es preciso decir que el comportamiento anual de las temperaturas muestra dos épocas bien marcadas, una cálida (primavera-verano) y otra fría (otoño-invierno); pero en cuanto a la tendencia que siguen estas variables se observa que el lugar adquirió un calentamiento paulatino, el cual pudo haber sido causado por la contaminación ambiental del aire y la deforestación que se hizo para dar paso al pavimento que prevalece en este lugar.

Esto trajo como consecuencia la reducción en la humedad relativa; a pesar de que la precipitación obtuvo una tendencia positiva. Sin embargo, esta última, al caer escurre rápidamente por los alcantarillados sin dar tiempo a que se evapore o se infiltre en el subsuelo, por lo que el aire vuelve a quedar con poca humedad después de una tormenta. Además, se vio que la lluvia se concentra en las estaciones de verano y otoño, que son las épocas del año en que llegan los vientos húmedos del NE, que predominan relativamente en el área de interés. La poca humedad que se registra diariamente, en la estación meteorológica, está acompañada de la humedad que se genera por el riego de aspersión que se hace en los campos deportivos que circundan al observatorio mencionado.

Por otro lado, se notó que las lluvias que suceden en este lugar, están influenciadas por las ondas del Este, que se generan en el mar de las Antillas durante el verano y el otoño. De allí, que cuando se trato de destruir a los huracanes que se forman en el Caribe hubo una disminución en el nivel de la lámina de agua acumulada que anualmente se registra en este lugar.

Otras variables que tendieron a aumentar durante los años analizados fueron: la insolación y la presión atmosférica. En cuanto al viento se concluye que predominan las calmas, ya que al observar los datos estos son muy bajos en relación al tiempo analizado.

Es posible que en la actualidad siga dándose este proceso en el comportamiento de las variables meteorológicas analizadas en este lugar de la Ciudad de México, Distrito Federal, por lo que se recomienda a todos los ciudadanos que traten de colaborar en la purificación del medio ambiente, a través de plantas árboles, no contaminar y ser

exigentes con las autoridades para que se descentralicen las industrias, que son los focos de mayor contaminación.

Aunque en realidad, el hecho de llevar las industrias fuera de la ciudad no es el mecanismo adecuado para eliminar la contaminación ya que de cualquier modo seguirán contribuyendo a este problema. Lo que se necesita hacer es crear nuevas tecnologías anticontaminantes, las cuales pudieran ser mediante el uso de la radiación solar y la energía eléctrica; como atinadamente se ha hecho con algunos medios de transporte como el metro y los trolebuses, o las fotoceldas solares que sirven para almacenar la energía en baterías o acumuladores.

De no llevarse a cabo estas recomendaciones lo que se espera para el futuro de este lugar, es terrible ya que llegará el momento en que las condiciones ambientales serán insoportables para los seres vivos que aquí se encuentran; principalmente la vida del hombre se pondrá en riesgo más de lo que ya está.

Para poder llevar a cabo este propósito es menester tomar conciencia del problema y colaborar con las autoridades indicadas o individualmente. Como se verá el problema es fácil de resolver, lo difícil es formar una sociedad consciente, por lo que se recomienda dejar a un lado el egoísmo y participar. Porque una sociedad que exige cambios es una sociedad preparada, que debe participar en el mejoramiento de su ambiente y en el desarrollo de su país.

BIBLIOGRAFÍA

Alba Antonio. *Elementos de Meteorología*. Editorial Sintés, España. 1983.

Ayllón Torres Teresa. *Introducción a la Observación Meteorológica*. Editorial Limusa, México, 1983.

Chamussy Henri y otros. *Iniciación a los Métodos Estadísticos en Geografía*. 1ª. Edición, España, 1980.

Durand-Dastés Francois. *Climatología*. Ediciones Ariel, S.A. Barcelona, 1972.

Editores, S.A. La Atmósfera y la Predicción del Tiempo. Grandes Temas Nº 42. Barcelona, 1973.

Engleman R. Joe. *Meteorology the Atmosphere in Action*. D. Van Nostrand Company Regional Offices, New York, 1981.

Flohn Hermann. *Climate and Weather*. Editorial McGraw-Hill Book Company. New York, 1969.

García de Miranda Enriqueta. *Apuntes de Climatología*. Editorial Larios e Hijos Impresores, S.A., México, 1980.

Gómez Morales S. B. y Arteaga Ramírez Ramón. *Elementos Básicos para el Manejo de Instrumental Meteorológico*. 1a. Edición. Editorial CECSA, México, 1987.

Gobierno del Estado de Coahuila, Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística. Memoria. *Memoria del VII Congreso Nacional de Geografía Aplicada*. Saltillo, Coah. 23-27 de mayo de 1978.

G. Remenieras. *Tratado de Hidrología Aplicada*. Editores Técnicos Asociados, S.A., Barcelona, 1971.

Hardy Ralph y otros. *El libro del clima*. Volumen II. Impreso y encuadernado por: Gráficas Estella, S.A. Estella (Navarra), 1985.

Hernández Lerma Onésimo. *Elementos de Probabilidad y Estadística*. Editorial Fondo de Cultura Económica, México, 1980.

Jáuregui O. Ernesto. *Mesomicroclima de la Ciudad de México*. Universidad nacional Autónoma de México. México, 1971.

Lorente José María. *Meteorología*. Editorial Labor, S.A. Barcelona, 1945.

Maderey, Laura Elena. *Geografía de la Atmósfera*. Universidad Nacional de México. México, 1982.

Marsal y Mazari. *El Subsuelo de la Ciudad de México*. Facultad de Ingeniería, UNAM. México, 1959.

Ortiz Condado María Lydia. *El Microclima de Ciudad Universitaria, D.F.* Tesis. Facultad de Filosofía y Letras, Colegio de Geografía, México, 1980.

P. Cole John. *Una Introducción al Estudio de Métodos Cuantitativos Aplicables en Geografía.* UNAM. Instituto de Geografía. México, 1981.

Parra María Enriqueta. *Nociones de Estadística.* Universidad Nacional Autónoma de México. México, 1984

Peña Alvarez Orlando. *Climas Urbanos, Medio Ambiente y Planificación del Espacio.* Centro de Ciencias Geográficas. Serie Temas y Conferencias Geográficas número 1. México, D.F.

Servicio Meteorológico Nacional. *Boletín Climatológico.* Julio. Mexico, 1982.

Springall G. Rolando. *Hidrología Primera Parte.* Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ingeniería. Abril de 1970. D7.

Strahler Arthur. *Modern Physical Geography.* 2ª. Edición. E.U.A., 1983.

Tajonar Espinosa Humberto. *Meteorología para Piloto Particular.* Centro Internacional de Adiestramiento de Aviación Civil. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Mexico, D.F. México, 1972.

Torres Ruíz Edmundo. *Agrometeorología.* Editorial Diana, S.A. México, 1983.

Viaut Andre. *La Meteorología.* Oikos-tau S.A. Barcelona, 1981.

Información Científica y Tecnológica "Huracanes". Revista del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología número 37. Volumen III. México, 1981. Pags. 4 a 12.

Carta Topográfica E14 a 39. CETENAL, Escala 1:50 000.

Información Estadística. *Archivo.* Del Observatorio Meteorológico de la UNAM.

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	A
Días despejados y décimas	23.66	22.05	25.68	24.64	22.47	15.64	12.68	13.81	11.23	15.17	20.22	22.06	229.31

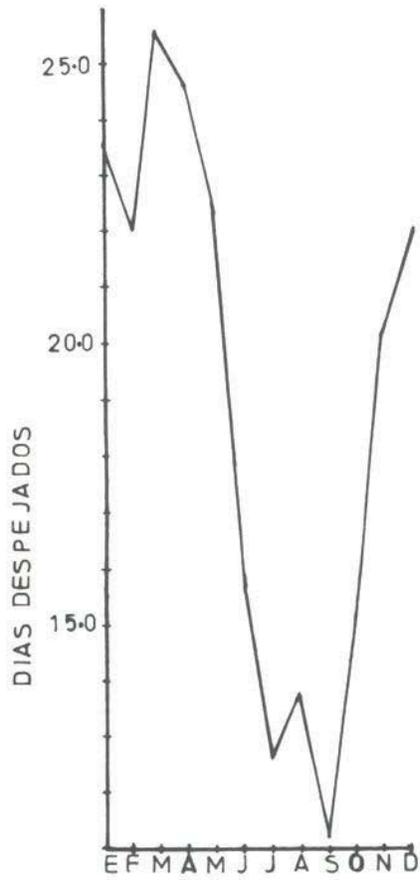


Fig. 21 Número de días despejados

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	A
Evaporación real en mm	9.8	4.7	12.3	22.4	61.5	116.6	98.4	98.8	88.0	53.7	7.9	5.5	66.8
Evaporación potencial en mm	77.3	95.0	129.5	139.7	124.2	116.6	98.4	98.8	88.0	82.2	68.9	58.3	98.1

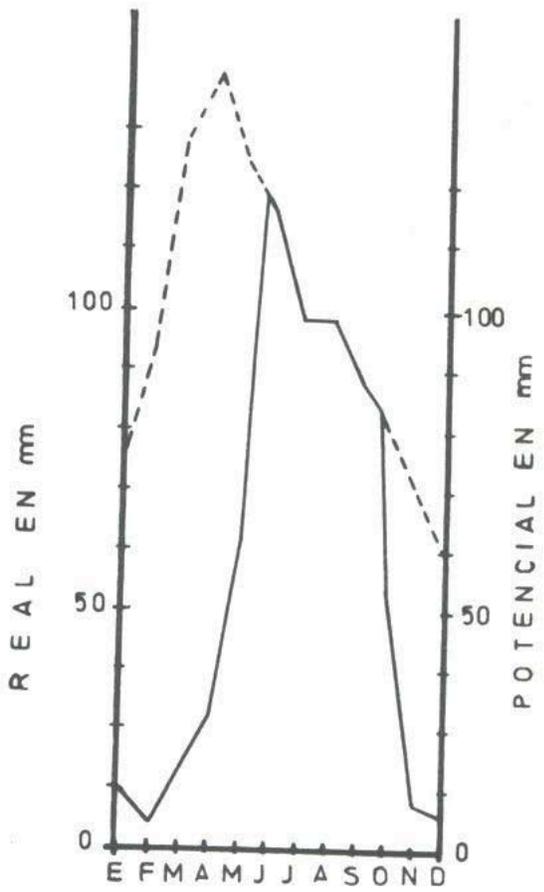


Fig. 22 Evaporación real — y potencial - - -