



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS

**CIRCULACION DE LOS VIENTOS
SUPERFICIALES EN LA CUENCA DE
MEXICO Y SU RELACION CON EL
TRANSPORTE DE CONTAMINANTES
ATMOSFERICOS.**



SET. 3 1991

T E S I S

SECRETARIA DE

QUE PARA ~~OBJETOS ESCOLARES~~ DE:

LICENCIADO EN GEOGRAFIA

P R E S E N T A:

ELDA LUYANDO LOPEZ



MEXICO, D. F.

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA

1991.

FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE

INTRODUCCION

1.	Antecedentes	1
2.	Descripción de la circulación del aire en un valle, aspectos teóricos.	5
2.1	Vientos de valle y de montaña	5
2.2	Vientos que induce la ciudad	11
2.3	Vientos regionales	12
3.	Climatología de la Cuenca de México	14
4.	Análisis de rosas de viento y líneas de flujo	20
4.1	Estaciones meteorológicas	20
4.1.1	Sector Poniente	22
4.1.2	Sector Oriente	29
4.1.3	Estaciones Rurales	52
4.1.4	Resumen del análisis de rosas de viento superficial en la Cuenca de México	66
4.2	Análisis de líneas de flujo	68
5.	Variación de la intensidad del viento: diaria y estacional	77
5.1	Variación de intensidad diaria para los meses de enero y julio de 1982	77
5.1.1	Estaciones urbanas	78
5.1.2	Estaciones suburbanas	78
5.1.3	Estaciones rurales	79
5.2	Variación estacional de la intensidad del viento	

	para el año 1962 _____	84
6.	La contaminación y la salud de los habitantes _____	88
	6.1 Tipos de contaminantes _____	92
7.	La circulación del viento superficial y la concentración de contaminantes atmosféricos en la Ciudad de México. _____	95
	7.1 Contaminante PST, Partículas Totales de Polvo en Suspensión _____	100
	7.2 Contaminante SO ₂ , Dióxido de Azufre _____	107
	7.3 Contaminante O ₃ , Ozono _____	110
	Conclusiones _____	114
	Bibliografía _____	118

INTRODUCCION

El aire rara vez está en reposo, su movimiento obedece a la diferencia de presión producida por un cambio de temperatura. En la atmósfera libre las corrientes pueden tener una dirección cualquiera, tanto horizontal como vertical, sin embargo el aire que se encuentra cercano al suelo encuentra obstáculos como montañas o simplemente ciudades que pueden modificar su curso. Por todo el mundo se observan vientos de meso escala cuyas características dependen de la topografía local, este es el caso de los vientos del Valle de México, donde el aire sopla del fondo del valle hacia las laderas de las montañas durante las horas cálidas del día, y de las laderas hacia el valle durante la noche cuando la temperatura del aire es menor. Sin embargo esto no ocurre de manera tan ideal y puede variar a distintas horas del día, o bien, esta circulación puede incluso desaparecer si el área se viera afectada por la influencia de sistemas de mayor escala o sinópticos.

Los cambios físicos que ocasiona la ciudad hacen que el clima urbano sea cada vez más complejo. Un ejemplo de esto es la isla de calor, esto debido a la dificultad que ofrecen las construcciones al obstruir la salida de la radiación, lo cual indica una diferencia de temperatura bastante acentuada entre la ciudad y el campo a su alrededor, generando de esta manera, una circulación centripeta de la parte rural al centro de la ciudad.

Se puede decir que la circulación de vientos locales ha sido la misma o ha variado relativamente poco desde que se formó el valle, sin embargo se han notado cambios en sus características como la pérdida de humedad por la desaparición de los lagos, calmas, vientos de menor intensidad etc., ocasionados por la existencia de tantos edificios que de alguna manera hacen variar su dirección y su intensidad. Pero es hasta hace apenas unos años, con el desarrollo industrial moderno, que la atmósfera se ve afectada de manera importante pues el crecimiento de la sociedad se basa en la utilización de combustibles fósiles lo cual causa alteraciones en el aire que respiramos.

Estudiar la ventilación o drenaje de los vientos superficiales en un valle tienen relevancia para la determinación de la difusión y transporte de contaminantes particulados y gaseosos que la ciudad está generando. En la Cuenca de México, las altas montañas que la limitan, restringen dicho transporte hacia afuera del área urbana y en ocasiones ayudan a la elevación de los niveles de contaminación, ya que el viento provoca el estancamiento de los contaminantes sobre áreas cercanas a las montañas. De esta manera, conocer la circulación de los vientos superficiales se hace importante, pues se podrá estimar la mayor o menor concentración de contaminantes atmosféricos en las distintas zonas de la ciudad.

A modo de aclaración, se trabajó con datos del año 1982 tanto en viento como en contaminación, si bien han transcurrido

casi diez años, el cambio en la circulación del viento, si la hay, deberá ser mínima, no así la cantidad de contaminantes suspendidos en la atmósfera, sin embargo fue el único año en que se encontraron datos completos en todas las estaciones anemométricas.

Los resultados al tratar de establecer un patrón de circulación en la Cuenca de México fueron logrados casi en su totalidad, sin olvidar que se estudió un solo año, aunque su relación con el transporte de los contaminantes atmosféricos no pudo establecerse con precisión debido a la falta de datos horarios que hubiesen sido necesarios para obtener resultados más específicos.

Para la realización de este trabajo se llevó a cabo una recopilación de datos anemométricos como dirección y velocidad en forma bihoraria de cada una de las ocho estaciones para posteriormente ser procesados por computadora. Se utilizaron métodos estadísticos sencillos sumando el número de veces que el viento sopla de cada una de las direcciones para establecer la frecuencia y sacando una media aritmética de la velocidad en cada una de las direcciones. De esta manera se obtuvieron los resultados para la configuración de las rosas de vientos, parte medular del trabajo, y a partir de éstas, los mapas de líneas de flujo. La intensidad del viento se procesó con medias aritméticas mostrando resultados a partir de gráficas.

Los datos mensuales de contaminación fueron tratados de manera semejante obteniendo promedios para cada una de las estaciones separando el año 1982 en época de sequía (nov.-dic., ene-abr.) y época de lluvias (mayo-oct.)

Se analizó el aspecto teórico del movimiento de los vientos superficiales a partir de estudios hechos por investigadores que ya han trabajado sobre el tema, aunque no en el caso específico de México.

1. ANTECEDENTES

El clima del Valle de México ha sido un tema que ha merecido la atención de diversos escritores y autores científicos a lo largo de los años. Aunque en un principio la referencia que se hace de los vientos es muy breve, con el paso del tiempo ha adquirido mayor importancia y un estudio más específico.

Ejemplos de breves y muy generales alusiones a la circulación del aire en el Valle de México, se hacen en las descripciones que sobre el clima del valle escribe el Dr. Francisco Hernández en La Primera Expedición Científica en América de Germán Somolinos (1971), en donde se refiere al clima de la Ciudad de México como intermedio entre frío y caliente pero húmedo debido a la laguna. Habla también de la temporada de lluvias con los beneficios y los problemas que ocasionaba, es cuando se refiere a la época de estio (calor) que menciona a los vientos:

" En el estio comienzan las lluvias y en el tiempo sereno de los vientos, principalmente de los boreales, adquiere vigor el campo ".

Hay que tomar en cuenta que esta expedición se realizó en los años de la colonia en donde todo se reducía a una descripción o explicación derivada de la simple observación, sin utilizar todavía instrumentos ni registros.

Otro ejemplo semejante, pero ya más elaborado es el que analiza Roberto Moreno en su libro Joaquín Velázquez de León y sus trabajos científicos sobre el Valle de México. Aquí se habla ya de la utilización del barómetro, pero con el fin de establecer la altitud de un lugar con respecto a otro, y es debido a esto que se habla de los vientos:

* Los vientos se influyen también por la altitud. En México eran más puros que en regiones bajas. La situación del Valle, abierto hacia el norte, sólo permite vientos de esa dirección y muy rara vez de otra, que, cuando se producen, causan enfermedades. El aire es húmedo por las lagunas y es benéfico y saludable, según Velázquez, quien manifiesta que Bartolache hacia tiempo que estudiaba los vientos de México como médico que era. La electricidad de la atmósfera del valle era baja por la misma razón; los vientos que soplan del sur y poniente "es sabido que en todas partes inficionan y calientan la atmósfera y así la vuelven más eléctrica" dice Velázquez". Estos trabajos científicos fueron realizados a finales del siglo XVIII y aunque es hasta fines del siglo XIX que se inician las observaciones y estudios meteorológicos, se puede notar que tenían ya conocimientos de la predominancia y los efectos que causaban.

En el año 1893, el Sr. Mariano Sárcena, en ese entonces director del Observatorio Meteorológico Central, realiza una breve reseña llamada "El Clima de la Ciudad de México", donde se hace una descripción o revisión de los elementos del clima dados los pocos datos de registro de que se disponía en ese

entonces (16 años). Aquí se establece que el viento dominante en México es del NW la mayor parte del año y la velocidad media anual de 0.8 m/s. El avance consistió en poder conocer no sólo la dirección del viento dominante, sino también su velocidad.

Con el tiempo, la ciencia y la tecnología han avanzado, volviéndose el conocimiento cada vez más específico, no solo el clima ha merecido una mayor atención sino que se estudia de manera muy especial cada uno de sus elementos. En México, el registro de datos comienza hasta 1877 cuando se crea el Servicio Meteorológico Nacional. Así, por medio de los datos, la ventilación ha sido objeto de estudios más profundos en el Valle de México, compartiendo con otros elementos del clima (temperatura, humedad, precipitación), un estudio realizado por el Dr. E. Jáuregui llamado "Mesoclina y Bioclina del Valle de México" en donde se hace una descripción de las condiciones climáticas que hay en el Valle de México, determinando áreas donde el clima tenga un menor o mayor grado de conveniencia para diversas actividades. Para los vientos se toman datos bihorarios de intensidad para las cuatro estaciones del año, estableciendo ciclos de máxima y mínima, además de la dirección predominante para la estación de Tacubaya.

Realizado por el mismo autor, "The urban climate of Mexico City", trata no solo de describir el clima del Valle de México sino de relacionarlo con el fenómeno que le ha causado diversas transformaciones: la ciudad. Aquí se habla de la diferencia de ventilación existente entre la Ciudad de México y sus alrededores (rural) en época de sequía y de lluvia.

En otro estudio denominado "Local wind and air pollution interaction in de Mexico Basin" (Interacción de vientos locales y contaminación en la Cuenca de México) , realizado en 1988 por el Dr. E. Jáuregui, se observa una mayor profundización en el conocimiento de los vientos locales además de la circulación que genera la ciudad, como es la ocasionada por la existencia de la isla de calor. Además se establece la relación entre circulación de vientos superficiales y contaminación atmosférica, explicando el porqué el aire contaminado tiende a permanecer cerca de la superficie.

2. DESCRIPCION DE LA CIRCULACION DEL AIRE EN UN VALLE, ASPECTOS TEORICOS.

2.1 Vientos de valle y de montaña.

La circulación de los vientos en un valle se puede decir que es bastante compleja, pues aunque es un sistema local, muchas veces se ve afectado por sistemas más grandes que lo modifican o incluso pueden desaparecerla.

Este tipo de circulación basa su movimiento en la topografía del lugar, y es más o menos definido según el valle de que se trate, su amplitud, la inclinación de las pendientes montañosas y su altura, además de la exposición al Sol, por lo que algunas partes adquieren mayor temperatura que otras. Esta diferencia térmica crea un sistema de circulación el cual, en el día, fluye del valle a las montañas y en la noche de las montañas al valle. Oke (1978) dice que el movimiento del aire sobre terreno no uniforme resulta difícil de generalizar. Cualquier colina, valle, depresión, árbol, roca, barrera etc., crea una perturbación en los patrones de flujo, así que el detallado comportamiento del viento en cada zona es único.

Los primeros estudios realizados acerca de este tema simplificaban las características del fenómeno, quizá debido a la dificultad de obtener datos cuantificables o medibles. Al cabo del tiempo, se ha avanzado en su conocimiento pues se han desarrollado modelos con mayor detalle y por lo tanto más

reales basados en observaciones. Incluso la terminología ha cambiado pues es necesario definir los distintos componentes de los sistemas de circulación local, es así como al viento que fluye del valle a la montaña se le da el nombre de anabático y el de la montaña al valle como catabático. Sin embargo algunos autores consideran que el término catabático debe ser utilizado de manera más específica para referirse de forma muy local a una sola pendiente. Otro término es "corriente de drenaje", usado con bastante frecuencia, el cual se refiere al viento procedente de la montaña pero más extenso que un simple viento catabático, podría decirse que es un viento a escala intermedia entre el sencillo catabático de una pendiente y un viento de montaña a mayor escala que abarca una mayor superficie en extensas pendientes.

Sturman (1987) dice que los fundamentos teóricos de este sistema local llamado generalmente de viento de valle-montaña, fueron establecidos por Prandtl (1942;1952) y Defant (1951), pero los aspectos cuantitativos estaban restringidos a una velocidad del viento relacionado con la superficie de enfriamiento y el ángulo de la pendiente. Recientemente investigaciones sobre estos vientos, revelan modelos más reales y diferenciados con características especiales para cada situación. Aún así, se ha puesto mayor interés a las corrientes de aire nocturnas en los últimos estudios, utilizando fórmulas para saber con precisión su altura, profundidad, velocidad, etc., relegando las corrientes anabáticas a un segundo plano.

Sin embargo para Flohn (1968), los vientos locales son generalmente más fuertes de día que de noche por lo que considera a los vientos catabáticos (de la montaña al valle) como bastante flojos pues no llegan a ocasionar lluvia dado que la convergencia es débil.

De lo dicho anteriormente, se puede comprender que este sistema de vientos, aunque local, es bastante complejo por lo cual se tratará de dar una explicación más general y más sencilla acerca de su comportamiento.

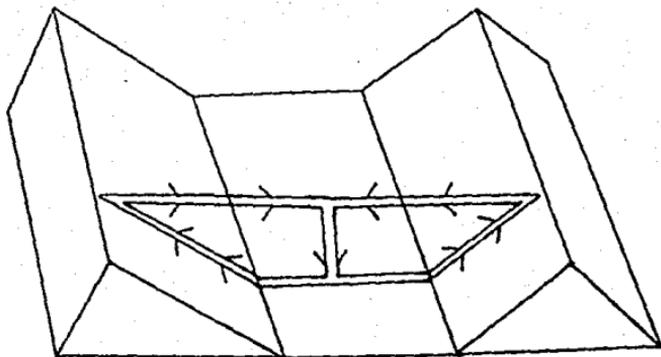
Según Oke (1978), los valles, especialmente aquellos situados en regiones montañosas, producen su propio sistema de circulación local como resultado de diferencias térmicas. Así como la brisa de mar y tierra, los vientos locales de valle se desarrollan mejor en condiciones de anticiclón, con cielos despejados y una presencia débil de los sistemas a gran escala, el calentamiento y enfriamiento diferencial de las distintas zonas de un paisaje ocasiona una elevación de los gradientes de presión, siendo el resultado aire en movimiento o viento.

Al igual que en las áreas costeras, con la brisa diurna y nocturna, la diferencia de temperaturas y consecuentemente de densidad del aire entre el valle y la montaña, crea un sistema de circulación el cual, en el día, consiste en una corriente que viaja del valle a la montaña. El aire que se encuentra en contacto con las laderas, adquiere una mayor temperatura que el aire que se encuentra a la misma altura pero sobre el valle, por estar en inmediato contacto con el suelo, adquiere movimientos

ascendentes lo cual produce que el aire se deslice hacia arriba a lo largo de la ladera. El fenómeno empieza aproximadamente de un cuarto de hora a tres cuartos de hora después del amanecer y sopla ladera arriba hasta la puesta de sol. La máxima intensidad se da casi al mismo tiempo que la máxima insolación y cambia radicalmente de dirección durante la noche, aproximadamente de un cuarto de hora a tres cuartos de hora después de la puesta de sol. A este viento se le da el nombre de anabático. Fig. 1.

Durante la noche, el aire que está en contacto directo con las laderas, que han perdido calor con mayor rapidez que el aire sobre el valle a la misma altura, también se enfría, lo cual hace que adquiera un mayor peso dando como resultado un viento que se desliza cuesta abajo. Barry (1972) dice que la máxima velocidad del viento catabático ocurre justo antes del amanecer, a la hora del máximo enfriamiento durante el día. Es un aire frío que al fluir por gravedad, llega a asentarse en el valle y estratificarse, de una baja temperatura en contacto con la superficie a una mayor en capas más altas, produciéndose una inversión térmica. Esta se disipa en las primeras horas de la mañana cuando el Sol calienta la superficie, y por ende, el aire en contacto con ella. La inversión térmica es un fenómeno natural meteorológico que se registra con mayor frecuencia en la temporada invernal, durante la cual el perfil de la temperatura no sigue un patrón normal pues una capa de aire frío atrapa a otra de aire

Circulación Anabática



Circulación Catabática

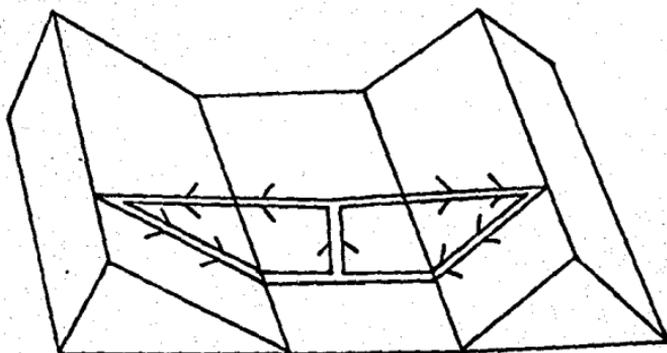


Fig. 1. Ilustración esquemática de la variación de la circulación diurna (anabática) y nocturna (catabática) de las corrientes de aire en un valle.

caliente impidiendo así que se produzca la turbulencia vertical, que haría posible una mezcla homogénea de los gases. Se dan inversiones térmicas durante todo el año en el Valle de México.

La intensidad del viento en las pendientes varía grandemente con las diferencias locales existentes entre las pendientes y la exposición al Sol. Aunque teóricamente se sabe el funcionamiento de este sistema, raramente puede observarse en su forma pura o exacta, pues continuamente los vientos se ven acelerados o debilitados por condiciones de otros vientos extraños o ajenos al sistema. La existencia de la circulación valle-montaña puede verse indicada por la presencia de nubes cumulus aisladas en las cumbres montañosas o cadenas de nubes a lo largo de cadenas de montañas. Una característica especial es que la velocidad de los vientos provenientes del valle es mayor que la registrada para los vientos de montaña. Estas corrientes son extremadamente sensitivas, y aunque también se dan cuando hay nublados, responden a los cambios de insolación pues se ha llegado a observar que una sombra temporal sobre las pendientes, causa una inmediata respuesta en el viento.

Además, según Oke (1978) en valles con orientación que no sea norte-sur o posean geometrías complejas, los patrones de flujo serán posiblemente asimétricos o incompletos.

Tomando en cuenta la ubicación de la Ciudad de México dentro de una cuenca, se puede entender lo complejo que resulta su situación si como dice Ross (1974) cualquier elevación

puede acarrear condiciones que ocasionen la precipitación de los contaminantes. Cuando una chimenea se encuentra cerca de irregularidades topográficas, los humos quizá quedan atrapados en una cavidad y la dispersión será muy escasa. Esta situación es típica de una fábrica situada en un valle.

2.2 Vientos que induce la ciudad.

El crecimiento de las ciudades suele producir cambios en el clima, la naturaleza del suelo indicará diferencias en el calentamiento de la superficie, siendo en el caso de la Ciudad de México, una proporción más elevada de pavimento y concreto con respecto a la de vegetación. Las superficies secas y de colores oscuros reciben más calor que las húmedas o que los colores brillantes, por lo que el aire en contacto con ellas se calentará en forma desigual. Esto indica que el aire adquiere un movimiento de ascenso diferente según la temperatura, dando como resultado un movimiento desordenado de las partículas de aire, pudiendo llegar a formar algunas corrientes convectivas.

La ciudad adquiere una mayor temperatura que las áreas rurales vecinas debido a la mayor capacidad térmica y conductiva de los materiales con que está construida por lo que permiten más absorción de calor. La existencia de estos materiales de mayor densidad, el calor antropogénico, el factor de obstrucción del cielo (por tantos y tan grandes edificios), y la contaminación, impiden que el calor en la noche se pierda con facilidad, ocasionando un gran contraste térmico entre la ciudad y el campo, siendo este contraste más acentuado entre

más grande sea la ciudad y la falta de vegetación en ella. Este fenómeno recibe el nombre de "Isia de Calor", producto de la mancha urbana, que por efecto de su mayor temperatura ocasiona una circulación del viento en forma centripeta, de las afueras de la ciudad hacia el centro que es todavía más caliente (aproximadamente 10°C de diferencia), desalentando que los contaminantes puedan dispersarse.

En la Ciudad de México esto sucede principalmente en las noches de la época de sequía (noviembre-abril), pero puede desaparecer su efecto cuando interfiere el viento regional. Vientos de intensidad considerable en las tardes de la época de lluvias, pueden ser atribuidos a las nubes de lluvia inducidas por la ciudad y a las turbulencias asociadas a ellas, sin embargo estos vientos, en promedio, son menos fuertes que los vientos de la época de sequía.

2.3 Vientos Regionales.

El Valle de México se encuentra bajo la influencia de dos grandes sistemas atmosféricos (sinópticos) a lo largo del año. En la época fría y seca (noviembre-abril), predominan los vientos del Oeste con características de cielos despejados y baja humedad, por lo que la oscilación térmica durante el día es bastante amplia. En los meses más cálidos (mayo-octubre), el Valle de México se ve invadido por los vientos Alisios, con características de cielos nublados y fuertes tormentas por las tardes. Sin embargo, existen condiciones extraordinarias que

pueden modificar la circulación "normal" del Valle, como es el paso de un ciclón por las costas o de un norte, que si bien no lo afectan directamente, si puede sentirse su llegada y su influencia, interfiriendo con el establecimiento de los vientos locales.

3. CLIMATOLOGIA DE LA CUENCA DE MEXICO.

El tema de la Climatología del Valle será tratado de manera muy general y breve, ya que no es el fin de este trabajo, a fin de dar una idea de las características más importantes que guardan relación con la circulación de los vientos, o más bien una interrelación pues la variación de un elemento climático causa un efecto en otro.

Tomando en cuenta el Atlas de la Rep. Mexicana de la Maestra Enriqueta García se puede decir que la parte noroeste de la Cuenca tiene clima semiseco, aunque en algunas regiones es templado semiseco al igual que casi toda la porción noreste y este. El suroeste es templado subhúmedo y semifrío subhúmedo en las alturas superiores a 2800m. En la porción sureste, a medida que aumenta la altitud en las eminencias montañosas, se torna cada vez más fresco y más húmedo, así que el clima en gran parte de esta zona es templado subhúmedo y en los picos más altos llega a ser semifrío o incluso frío como el Popocatepetl e Iztaccihuatl (límite suroriental de la Cuenca). La temporada lluviosa en toda la Cuenca es en el verano y parte del otoño, un porcentaje de lluvia invernal relativamente bajo y poca oscilación térmica anual.

Observando las condiciones generales de temperatura y precipitación, pueden distinguirse tres regiones mesoclimáticas, según Jáuregui (1965):

1) Planicie semiárida: en la región centro y norte del valle. Las lluvias son deficientes todo el año, menos de 600 mm en promedio, y dada la escasez de humedad del aire, la pérdida de calor en la noche es considerable, por lo que la oscilación térmica es más acentuada. La vegetación es bastante rala y los suelos están predominantemente desnudos dando origen a la erosión eólica que en ocasiones es fuerte en los meses de sequía, el viento transporta grandes cantidades de polvo que, a medida que avanza se va depositando sobre la ciudad.

En cuanto a la humedad, como es usual, es máxima al amanecer (cuando la temperatura es mínima) y mínima al medio día (cuando alcanza la temperatura máxima) para después recuperarse al atardecer, aumentando de manera importante en la época de lluvias.

La visibilidad, que es la mayor distancia a la que se distinguen objetos como cerros, edificios etc. en el horizonte ya de por sí bastante deficiente, por encontrarse ahí las fuentes de polvo (Valle de Chalco y Lago de Texcoco), se ha visto bastante perjudicada por el aumento de zonas industriales. La capacidad de difusión del aire es variable a lo largo del día, siendo baja durante la noche y en la mañana, cuando se presentan las inversiones térmicas, mejorando cuando el Sol comienza a calentar la superficie.

2) La región de lomeríos o piemontana:

Son lugares como : Naucalpan, las Lomas de Chapultepec, Tacubaya, San Angel, San Jerónimo, Contreras, al oeste; Xochimilco, Ixtapaluca, Milpa Alta en el sur, como ejemplos. En esta región la precipitación es más alta que en la planicie, en la época de secas la oscilación térmica es bastante acentuada y las temperaturas mínimas llegan a 5° y 8°C al amanecer, en los meses de diciembre, enero y febrero. En los meses de marzo, abril y mayo, que es la estación calurosa en el valle, la temperatura asciende a cerca de 30°C después del mediodía. Cuando comienzan las lluvias, la oscilación térmica se reduce notablemente, elevándose las temperaturas mínimas (por una elevación de la humedad) y disminuyendo las máximas, ya que a esa hora las nubes convectivas interceptan parte de la radiación solar.

Las lluvias son en forma de fuertes chubascos en las tardes o al anochecer, comienzan en mayo y terminan en octubre representando casi el 90% de las lluvias totales en el año, las lluvias invernales son de poca importancia.

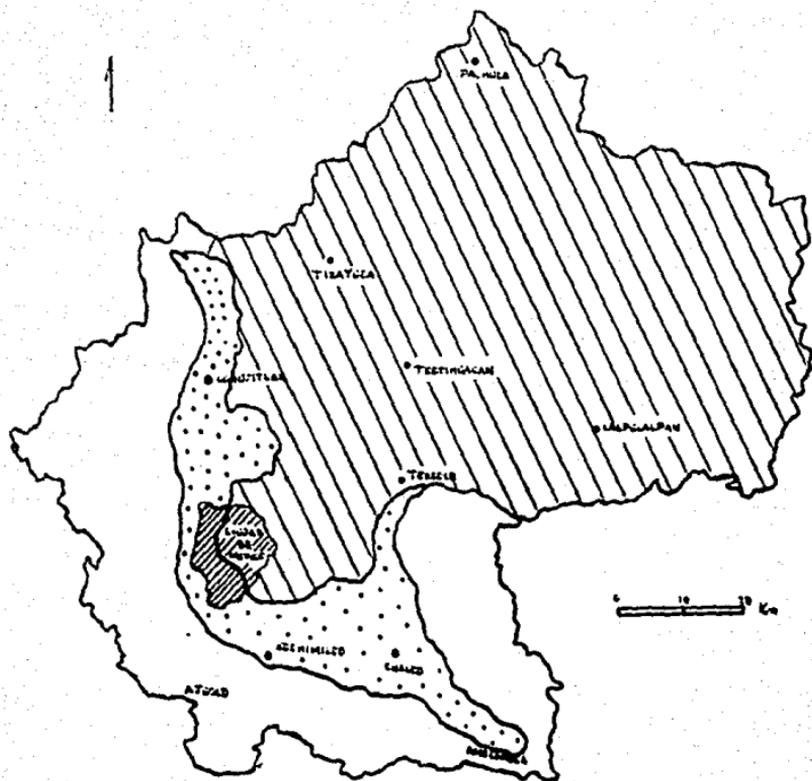
La difusión atmosférica está más favorecida en esta región que en la planicie pues tiene la influencia de los vientos catabáticos (de montaña) durante la noche, además, la zona piemontana del oeste del valle recibe los primeros rayos solares, por lo que la inversión térmica se disipa más rápidamente ahí que en otros lados.

3) La región montañosa:

Esta región se ubica en los límites de la cuenca (que es una especie de olla rodeada de montañas) la temperatura es por lo general más baja que en el resto del valle, con diferencia de 5° a 7°C con respecto a la más alta registrada en Tacubaya, sucediendo lo mismo con la mínima. La oscilación térmica es fuerte en época de secas pero no tan acentuada como en la planicie o en la región piemontana, por la topografía y la vegetación existente.

La precipitación es mucho mayor en cuanto a intensidad, recibe más del doble que la región de lomeríos, se distribuye igual que en el resto del valle, de mayo a octubre.

Un fenómeno importante en estos lugares son las nieblas, gracias a la abundante humedad, un pequeño enfriamiento del aire por radiación nocturna origina la saturación del aire nocturno en época de lluvias.



semiárido



Clima de montaña



Clima piemontano

Los mesoclimas del Valle de México

Fuente: Jáuregui (1965)

4. ANALISIS DE ROSAS DE VIENTO Y LINEAS DE FLUJO.

4.1 Estaciones Meteorológicas:

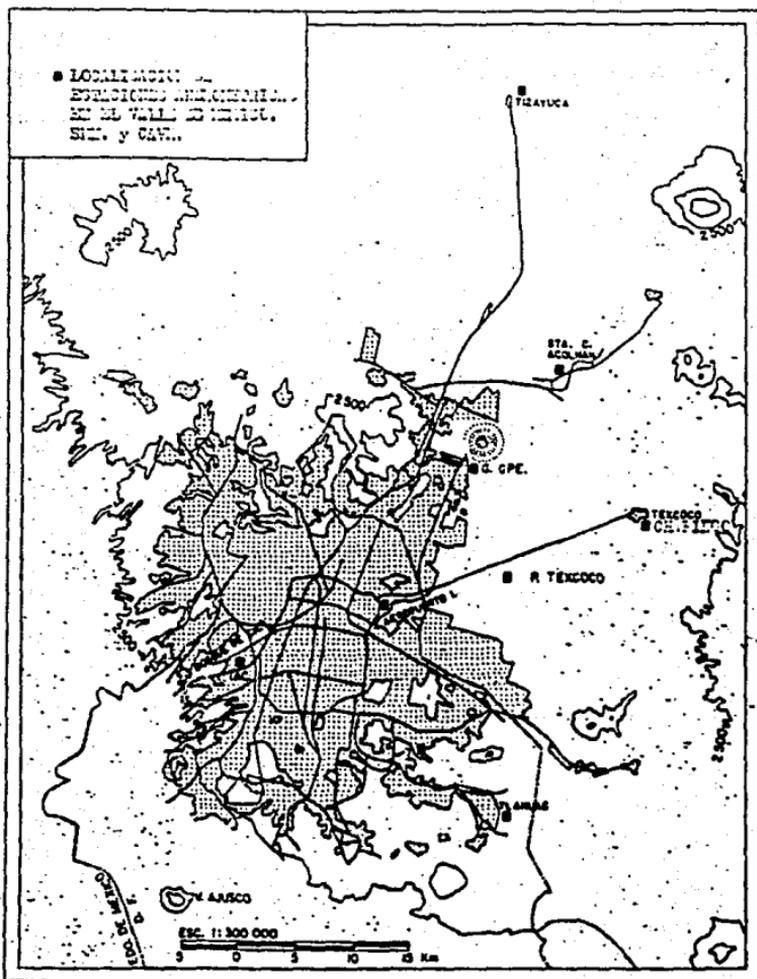
Para la realización de este análisis se procedió a dividir a la ciudad en sectores, considerando a las estaciones que están fuera de los límites urbanos como un sector aparte, pues es de suponerse que no sufren una influencia directa por parte de la ciudad.

En el sector poniente, al centro, se localiza la estación Tacubaya con todas las características de una estación urbana y de pie de monte dada su cercanía con la Sierra de las Cruces.

En el sector oriente, al norte se localiza la estación Granjas Guadalupe, al centro Aeropuerto y al sur Tiáhuac que pueden considerarse como estaciones suburbanas pues se asientan prácticamente en las orillas de la ciudad. Igualmente al oriente, dentro del valle, pero ya totalmente fuera de la ciudad se encuentran las estaciones: Tizayuca que es la más lejana hacia el norte, Acolman, Chapingo y Plan Texcoco.

Para una mejor comprensión de la circulación de los vientos superficiales, es recomendable remitirse al mapa de la Cuenca de México, pag. 19 del capítulo de Climatología de la Cuenca de México, para ubicar con mayor claridad las montañas que la rodean.

● LOCALIDADES
ESTACIONES AERONAUTICAS
EN EL VALLE DE TENECA,
SIM. y CAV.



De cada una de las estaciones anteriores se procedió a realizar rosas de viento para distintas horas y bloques de horas las cuales indican la frecuencia en la dirección del viento, calmas e intensidad en metros por segundo, tomando como meses indicativos a enero (época de sequía) y a julio (época de lluvias) del año 1982.

4.1.1 SECTOR PONIENTE

Estación Tacubaya.

Temporada de sequía.

Para el mes de enero, temporada de secas, las rosas de viento de aire superficial, demuestran las siguientes características que pueden observarse directamente en las figuras correspondientes:

De las 2 a.m. a las 8 a.m. considerado como un bloque de horas, la incidencia de vientos es bastante escasa, con un porcentaje de calmas del 94%, esto puede deberse de alguna manera, a la localización de la estación, rodeada de edificios y de espacios construidos en general que llegan a obstaculizar el libre movimiento del aire. Sin embargo los pocos vientos que soplan provienen del norte y del oeste, lo cual indica una circulación de montaña a valle, de viento catabático, muy lógico si se toma en cuenta las horas en que sucede. La rosa de vientos de las 6 a.m. señala únicamente viento del norte. El viento proveniente de la montaña, al llegar a la planicie se estratifica produciéndose entonces una inversión térmica, es

por eso también que se registra un tan alto porcentaje de calmas en horas de la madrugada y primeras de la mañana.

El siguiente bloque de horas, 10 a.m. a las 12 p.m., puede considerarse de transición, las calmas son importantes, 60%, pero los vientos soplan de siete direcciones con una frecuencia semejante entre ellas, predominando principalmente, viento del norte y del noreste; se puede decir que ha comenzado la circulación anabática, del valle hacia las montañas pero todavía indefinida. En la rosa de viento de las 10 hrs., puede notarse más clara todavía la transición pues solo indica cinco direcciones, las más importantes el norte y noroeste pero con un porcentaje de calmas del 77%.

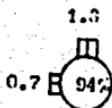
El tercer bloque que comprende de las 14 a las 18 hrs, tiene un 25% de calmas y viento predominantemente de noroeste y del noreste. En la rosa de vientos de las 14 hrs., son importantes los vientos provenientes del este, noreste y sureste, con lo que se puede decir que el fenómeno de circulación valle-montaña es bastante claro a esta hora, comenzando a disminuir en las siguientes de la tarde, como puede observarse en la rosa de bloque de horas (14 a 18 hrs.) donde ya aparece viento del oeste, suroeste y el noroeste adquiere mayor fuerza. Hay que hacer notar la presencia de viento del noroeste durante toda la tarde, ya que está indicando la influencia del viento regional o sinóptico que desciende hasta la superficie en las horas vespertinas, tratándose en este caso del Viento del Oeste, propio de esta época del año.

A las horas del anochecer, 20 a 24 hrs. que constituyen el cuarto bloque, las calmas superan a la incidencia de vientos con un 60% de frecuencia siendo los vientos predominantes del norte y noroeste, sin embargo, cuando se observa por separado la rosa de las 20 hrs. y la de las 24 hrs. la diferencia entre ellas es notable. A las 20 hrs. el viento predominante proviene del noroeste seguido del noreste y el este con un porcentaje de calmas del 29%, lo cual indica que a esa hora hay todavía bastante movimiento, en comparación, la rosa de las 24 hrs. denota ya calmas el 81% del tiempo y el poco viento existente proviene del N y del W. Este aire, como se mencionó en el primer bloque, desciende de las montañas a la planicie formando una capa de aire estable, misma que se destruye con el calentamiento solar durante la mañana.

Temporada de lluvias.

En la temporada de lluvias, representada por el mes de julio, Tacubaya muestra en el primer bloque de horas de 2 a 8 a.m., un porcentaje de calmas mucho menor al presentado en la temporada de sequía (de 94% disminuye a 56%). La circulación es catabática, de la montaña a la planicie del valle y el viento predominante es del noroeste. Según el índice de calmas, es posible que el aire no llegue a estratificarse y por lo tanto, que no exista inversión térmica.

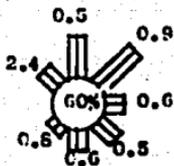
Después, en el segundo bloque de 10 a 12 hrs, al que se ha denominado como de transición, Tacubaya, además de la presencia de viento del noroeste y norte, comienza a registrar



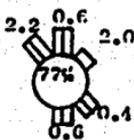
2 - 4 - 6 - 8 hrs.



6 hrs.



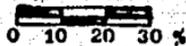
10 - 12 hrs.



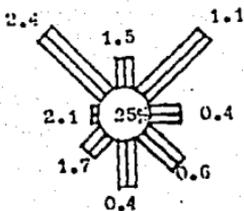
10 hrs.

Tacubaya

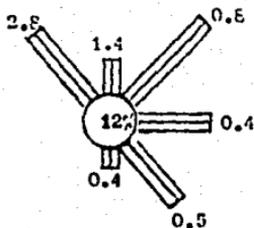
Rosas de viento de superficie
Enero 1982



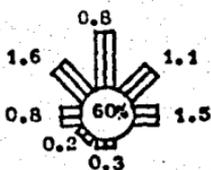
int. m/s



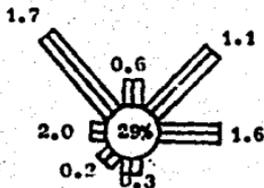
14 - 16 - 18 hrs.



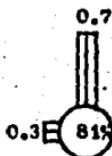
14 hrs.



20 - 22 - 24 hrs.



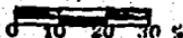
20 hrs.



24 hrs.

Tacubaya

Rosas de viento de superficie
Enero 1962



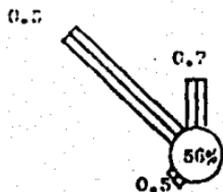
int. m/s

26

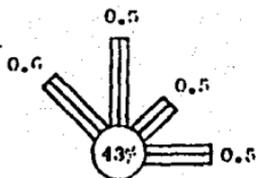
vientos provenientes del noreste y este, indicando que la circulación ha comenzado a invertirse, que sopla del valle a la montaña (circulación anabática), en este caso a las montañas del poniente de la ciudad, aunque las calmas están todavía presentes en un porcentaje considerable del 43%.

En el tercer bloque de hrs., 14 a las 18 hrs., la circulación es predominantemente del norte y noreste, lo cual pudiera indicar movimiento del valle a la montaña, pero aquí, a estas horas y en esta época del año, la circulación no es ya del todo local, es decir, que el viento sinóptico o viento regional ha descendido hasta la superficie, en este caso los Vientos Alisios, reforzando el transporte hacia la zona poniente de la ciudad. El porcentaje de calmas se redujo notablemente a un 8%.

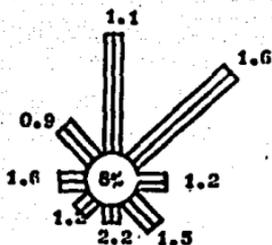
El cuarto bloque, 20 a 24 hrs. muestra un cambio total en la circulación que sopla predominantemente del noroeste con una frecuencia del 45% sobre los vientos de las demás direcciones. Este cambio radical en tan poco tiempo, puede indicar que, con el ocultamiento del Sol, la superficie de las montañas se enfría de manera bastante rápida, a diferencia de la superficie de la ciudad lo cual revierte la circulación volviéndose catabática. Además a estas horas el viento regional ha dejado de ejercer su influencia. Este reforzamiento por temperatura indica la presencia de la isla de calor, donde la ciudad es más caliente que los alrededores, aún en época de lluvias.



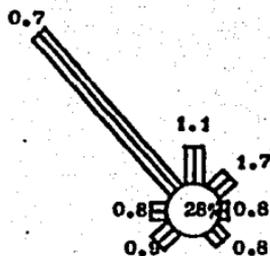
2 - 4 - 6 - 8 hrs.



10 - 12 hrs.



14 - 16 - 18 hrs.

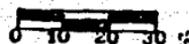


20 - 22 - 24 hrs.

Tacubaya

Regim de viento de superficie
Julio 1982.

int. m/s



Es importante hacer la observación de que en todas las rosas de bloques de horas o las individuales, se encuentra siempre presente el viento del norte, tanto en el mes de secas (enero) como en el de lluvias (julio). Una explicación a esto consiste en que la estación Tacubaya se encuentra viento abajo de un angostamiento entre las sierras La Muerta o Tepotzotlán por un lado, y la Sierra de Guadalupe por el otro, (Carta de México Topográfica 1:250 000, SPP, carta E 14-2 Ciudad de México) dejando en el medio un pasillo donde el viento se encajona y desemboca al poniente del valle, al poniente de la ciudad, haciéndose prácticamente permanente.

4.1.2 SECTOR ORIENTE

Estación Granjas Guadalupe

Temporada de sequía

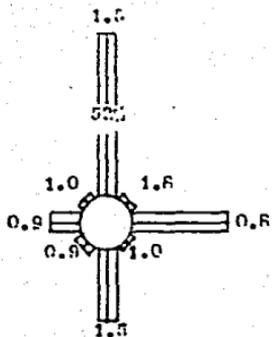
Esta estación está situada en la parte norte del sector oriente, prácticamente en los suburbios de la Ciudad de México.

De las 2 a.m. a las 8 a.m. la rosa de los vientos para el mes de enero (secas), muestra una predominancia de viento del norte, con un porcentaje del 52% sobre todas las demás direcciones. Este viento se puede clasificar dentro de las corrientes catabáticas, de la montaña al valle, dada la cercanía de la estación con la Sierra de Guadalupe. Lo mismo

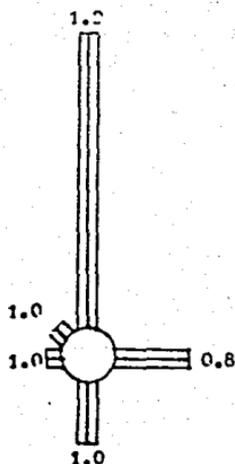
muestra la rosa de las 6 hrs. a.m. pero aún más acentuado siendo la frecuencia de viento del norte superior al 60%.

Para el segundo bloque de horas, de las 10 a.m. a las 12 p.m., el viento del norte ha perdido importancia, el viento del este se hace más frecuente incrementándose también el sureste y el suroeste. Es así como se puede observar un periodo de transición en el cambio de dirección del viento, de catabático a anabático a esta hora todavía no bien definida, como puede notarse al medir la frecuencia del viento del norte, sureste, sur y suroeste que resultan prácticamente iguales. La rosa de las 10 hrs. muestra casi lo mismo, una predominancia de viento del este pero de menor intensidad que en el segundo bloque de horas.

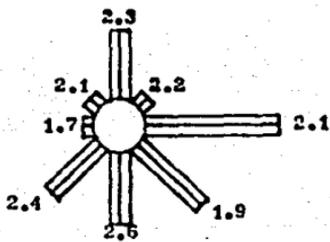
En el tercer bloque, 14 a 18 hrs., la predominancia del viento ha cambiado de este al sur adquiriendo gran importancia puesto que, aunque existe viento de todas direcciones, la frecuencia es bastante baja en comparación con los demás. En cambio si se observa la rosa de las 14 hrs., siendo el sur el predominante, la frecuencia de las direcciones noreste, sureste, suroeste y noroeste es todavía importante. Esto indica que a esa hora la circulación no ha acabado por definirse y es hasta las 16 y 18 hrs. en que el viento del sur, actuando como corriente anabática, predomina sobre todas las demás; además cabe observar que la intensidad del viento del sur, tanto en el bloque de horas como a las 14 hrs. es bastante elevada, de 4.9 y



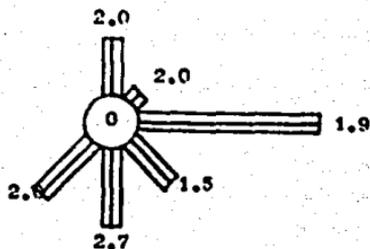
2 - 4 - 6 - 8 hrs.



6 hrs.



10 - 12 hrs.



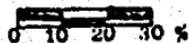
10 hrs.

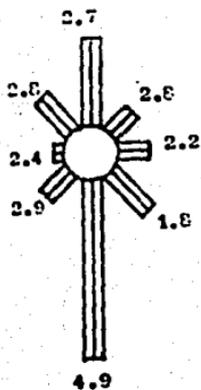
Granjas Guadalupe

Rosas de viento de superficie

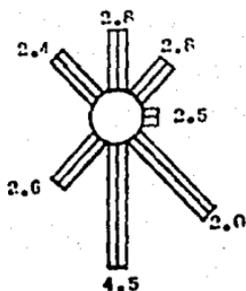
Enero 1982

int. m/s

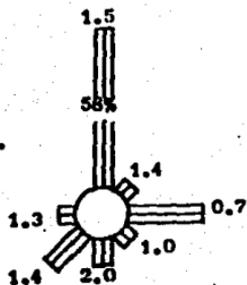




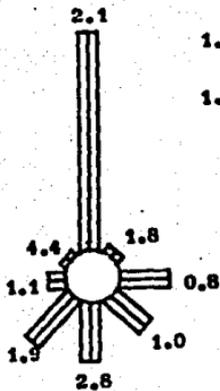
14 - 16 - 18 hrs.



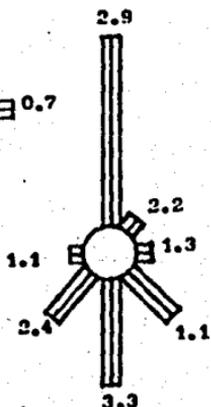
14 hrs.



24 hrs.



20 - 22 - 24 hrs.

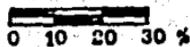


20 hrs.

Granjas Guadalupe

Rosas de viento de superficie
Enero 1982

int. m/s



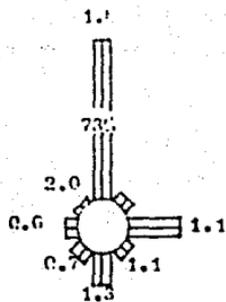
4.5 m/s en comparación a las otras direcciones de 1.8 a 2.8 m/s.

Pasando al cuarto y último bloque, de 20 a 24 hrs., el resultado que la rosa muestra puede ser desconcertante si se compara con la rosa de viento del tercer bloque, esto es, que la dirección del viento predominante es ahora exactamente la contraria, del norte y con una frecuencia bastante elevada con respecto a las demás direcciones. A las 20 hrs. según la rosa de vientos, aunque el norte es el predominante, el sur todavía mantiene una frecuencia considerable y una intensidad mayor, lo que no ocurre ya a las 24 hrs, como puede observarse en la rosa de esa hora, en donde el viento del sur pierde casi toda influencia registrando una frecuencia muy baja. Tomando en cuenta que se trata de las horas de la noche, puede considerarse como viento catabático, montaña al valle, proveniente de la Sierra de Guadalupe.

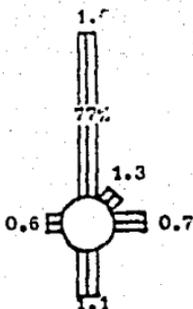
Temporada de lluvias.

En temporada de lluvias (mes de julio), para el primer bloque de horas, el viento del norte muestra una fuerte predominancia con un porcentaje del 73%, su comportamiento es básicamente igual a la época de secas, considerando que se trata de viento catabático proveniente de la Sierra de Guadalupe, lo mismo muestra la rosa de las 6 hrs.

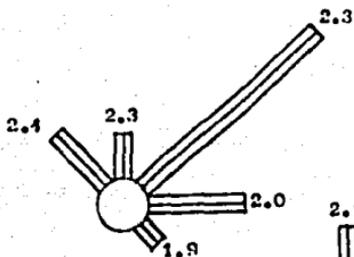
En la rosa del segundo bloque, 10 a 12 hrs, llamado de transición, el viento del norte ha disminuido notablemente,



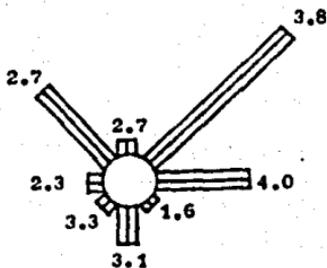
2 - 4 - 6 - 8 hrs.



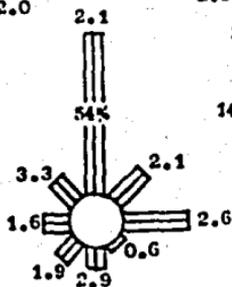
6 hrs.



10 - 12 hrs.



14 - 16 - 18 hrs.



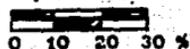
20 - 22 - 24 hrs.

Granjas Guadalupe

Rosas de viento de superficie

Julio 1982

int. m/s



Incrementándose de manera importante el viento del noreste con una intensidad de 2.3 m/s, misma que en el tercer bloque, 14 a 18 hrs., llega hasta 3.8 m/s. Esta predominancia de viento del noreste durante todo el periodo vespertino se debe a las corrientes anabáticas que van del centro del valle a las montañas del poniente, quienes probablemente ejercen una mayor influencia por su altura y longitud que la Sierra de Guadalupe, que aunque más cercana, quizá influya menos debido a sus dimensiones. Sin embargo la razón principal es que durante las horas de la tarde, el viento sinóptico o regional (vientos alisios) ejerce su influencia, recorriendo el valle de noreste a suroeste, borrando por completo o reforzando la circulación de tipo local.

Para el cuarto bloque, 20 a 24 hrs. el movimiento del viento ha vuelto a la normalidad, registrándose viento del norte con un 54% sobre todas las demás direcciones, proveniente de las montañas al norte de la estación, misma circulación que se verá intensificada durante las horas siguientes de la madrugada hasta que el calentamiento solar la modifique durante las horas de la mañana.

Estación Aeropuerto.

Temporada de sequia.

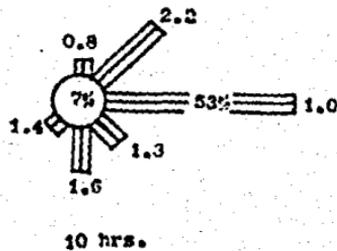
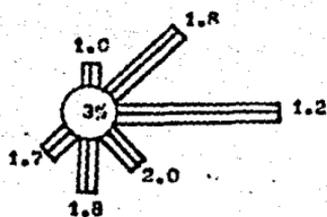
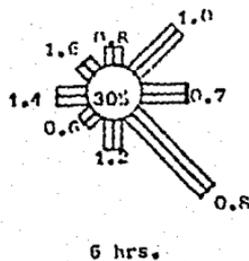
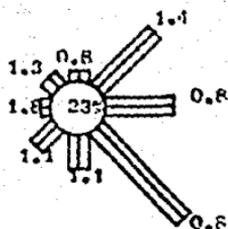
Esta estación está localizada en los suburbios de la ciudad, pertenece al sector oriente, dentro de la previa

clasificación, casi al centro-oriente de la ciudad. La situación de esta estación es un tanto compleja dado que se encuentra prácticamente en el centro de la cuenca (en el eje este-este) a la mitad de la planicie lo cual tiene como consecuencia que sufra la influencia de las montañas del este, del oeste y de las pequeñas elevaciones que sobressalen cerca de la estación.

Durante el mes de enero, temporada de secas, en el primer bloque de horas que comprende la madrugada y las primeras horas de la mañana, (2 a 8 hrs.), los vientos predominantes son del noreste, este y sureste lo cual pudiera indicar la influencia de las montañas del este que por sus dimensiones tanto en altura como en extensión, el viento ahí generado tiene la suficiente fuerza como para afectar cuando menos esa parte oriental de la ciudad, por lo que se le clasifica como una corriente catabática, además, esta circulación puede estar siendo reforzada por la isla de calor ya que se dirige directamente a la ciudad. También existe viento de las demás direcciones pero en un porcentaje sumamente bajo que aunque puede indicar la llegada de vientos de las montañas del oeste y del norte, su influencia es menor. Hay que hacer notar la presencia de calmas, 23%, mostrando una muy posible estratificación del aire sobre la ciudad ocasionando durante las primeras horas de la mañana una inversión térmica. La rosa de las 6 hrs. para enero muestra lo mismo aunque con un porcentaje de calmas del 30%.

En el segundo bloque, 10 a 12 hrs. el predominio del viento del este es mucho mayor que el de las demás direcciones, y aunque se trata de un periodo de transición, la circulación ha empezado a definirse, en esta ocasión el viento comienza a dirigirse a las montañas del oeste, lo cual pudiera indicar la influencia de las montañas del oriente por la noche y la madrugada con la circulación catabática, y la de las montañas al poniente con la circulación anabática, tomando en cuenta que la estación aeropuerto se localiza prácticamente en el centro del valle (en un eje este-oeste) y por lo tanto está sometida a la influencia casi por igual de las dos cadenas montañosas. La rosa de las 10 hrs. indica casi lo mismo.

Durante el tercer periodo, 14 a 19 hrs., además de la existencia de viento del este, ha tomado importancia el noroeste y sobretudo el sur, cuya frecuencia es aun mayor que el resto de las direcciones con un porcentaje del 31%. Este cambio en la circulación indica la presencia del viento regional o sinóptico que en la época de sequía se trata de los vientos del Oeste, manifestándose en el valle como vientos del sur, suroeste o noroeste. Es a estas horas vespertinas generalmente cuando la circulación de tipo local se ve desplazada, o en ocasiones reforzada por estos sistemas de mayor importancia. En este caso la circulación de los vientos regionales modifican la circulación local, anabática, que debiera prevalecer en las horas de la tarde. Sin embargo, si se observa la rosa de vientos de las 14 hrs., el este es todavía el más frecuente lo cual

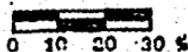


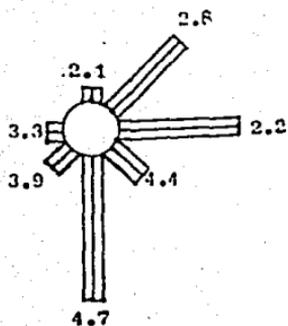
Aeropuerto

Rosas de viento de superficie

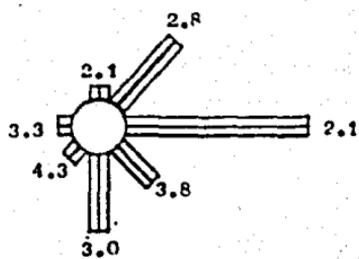
Enero 1982

int. m/s

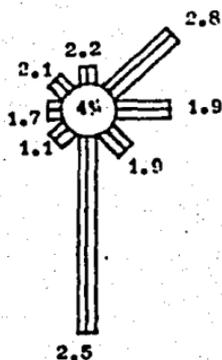




14 - 16 - 18 hrs.



14 hrs.



20 - 22 - 24 hrs.

Aeropuerto

Rosas de viento de superficie
Enero 1982

int. m/s



indica que la influencia del viento regional se inicia en horas posteriores, a las 16 o 18 hrs.

El cuarto bloque, 20 a 24 hrs., muestra todavía la influencia del viento regional, representado por la dirección sur, las calmas comienzan a manifestarse (4%) hasta la madrugada cuando la circulación cambia nuevamente tornándose del este.

Temporada de lluvias.

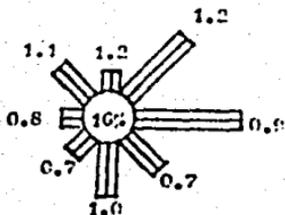
En la temporada de lluvias (julio), en el primer bloque de horas, la estación Aeropuerto registra, al igual que en la temporada de sequía, una predominancia de viento proveniente del este y noreste, circulación que se clasifica como catabática porque desciende de las montañas del oriente misma que puede reforzarse con la existencia de la isla de calor. Las calmas han descendido a un 16%, menor que en la temporada de sequía, no siendo frecuente en esta época del año que se produzcan inversiones térmicas, pues el aire no llega a estratificarse sobre la planicie. La rosa de las 6 hrs., sin embargo, muestra un porcentaje de calmas del 37% que es bastante elevado, lo cual indica que es a las 8 hrs. cuando, el aire que ha llegado a estratificarse en las horas de la madrugada, comienza a moverse, desapareciendo por completo en las siguientes horas de la mañana.

En el segundo bloque de horas, 10 a 12 hrs., de transición, la circulación se ha vuelto casi completamente anabática, con

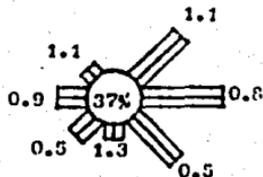
una predominancia de viento del este, 59%, dirigiéndose a las montañas del poniente del valle.

El tercer bloque, 14 a 18 hrs, muestra un aspecto diferente con respecto a las horas anteriores, el viento del noreste ha cobrado importancia con un 42 % sobre el resto de las demás direcciones, aunque pudiera tomarse como viento que se dirige a las montañas, circulación anabática, este movimiento se debe principalmente a la existencia del viento regional o sinóptico que corresponde a los vientos Alisios, en este caso, reforzando la circulación local hacia el poniente, y en especial hacia el suroeste. La influencia de este viento es especialmente notoria si se observa la rosa de las 14 hrs, donde el viento del noreste predomina en un 58%, pudiendo decir que es la hora clave tanto de la circulación anabática como de la circulación regional que la refuerza.

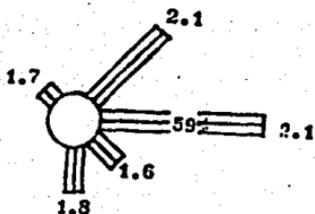
Durante el cuarto bloque (20 a 24 hrs.) la rosa de vientos indica todavía la presencia del viento del noreste aunque con menor importancia que en las horas de la tarde, aumentando la presencia de viento de las demás direcciones como el norte o noroeste, por lo que de alguna manera se le puede clasificar como un periodo de transición en donde los vientos de drenaje han comenzado a manifestarse, para actuar plenamente en las horas de la madrugada. Algo importante que hay que observar es como la rosa de vientos de las 24 hrs. muestra un porcentaje importante en el viento del oeste 16% y un 29 % para el viento del noreste, pero siendo casi contrarios, indica como la



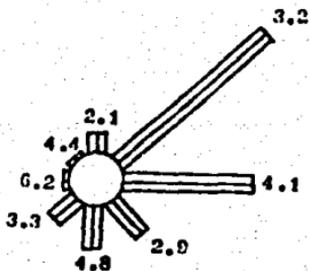
2 - 4 - 6 - 8 hrs.



6 hrs.



10 - 12 hrs.

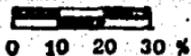


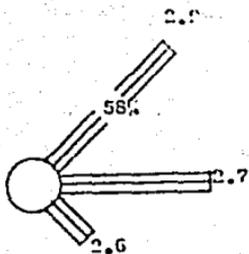
14 - 16 - 18 hrs.

Aeropuerto

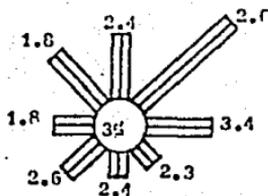
Rosas de viento de superficie
Julio 1982

int. m/s

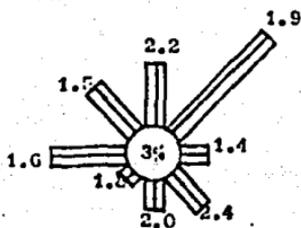




14 hrs.



20 - 22 - 24 hrs.

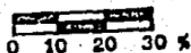


24 hrs.

Acropuerto

Rosas de viento de superficie
Julio 1982

int. m/s



estación Aeropuerto al estar casi al centro del valle (en un eje este-este) constituye un punto de convergencia donde los vientos de drenaje provenientes de las montañas del poniente y del oriente se encuentran.

Estación Tláhuac.

Temporada de sequía.

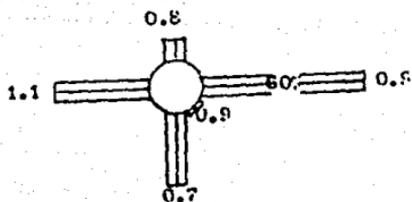
La estación Tláhuac se encuentra localizada en la parte sur del sector oriente de la ciudad, en las orillas de esta, por lo que se le clasifica como suburbana. Su situación cerca de la sierra al sur, bajo la influencia de las montañas del oriente, del poniente y de las pequeñas elevaciones que se encuentran a su alrededor, hacen que la circulación sea bastante compleja y en ocasiones de difícil interpretación.

Para el primer bloque de horas, 2 a 8 hrs., para la temporada de secas representada por el mes de enero, la rosa de vientos muestra como el viento del este es predominante, con un 60% sobre todas las demás direcciones, aunque el viento del oeste no es despreciable contando con un 20%. Esta circulación es de tipo catabático proveniente principalmente de la Sierra Santa Catarina, y en menor escala del poniente y del sur por lo que se puede decir que es un punto de confluencia dada su situación. Además, debe tomarse en cuenta la influencia que ejerce la isla de calor en la ciudad.

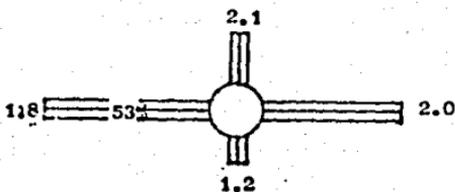
En el segundo bloque, de 10 a 12 hrs., la rosa muestra algo completamente opuesto a las horas anteriores, el viento ha cambiado, siendo ahora predominantemente del oeste con un porcentaje del 53%, aunque el viento del este sigue presente. Este bloque es considerado de transición, pero en este caso la circulación se encuentra lo suficientemente definida como para clasificarla como viento anabático (del oeste) que se dirige a las montañas del oriente de la ciudad, es posible que estas montañas ejerzan una mayor influencia a esta hora dado que entre ellas y la estación no se interpone prácticamente ningún medio urbano.

La circulación varía nuevamente durante el tercer bloque, 14 a 18 hrs., tornándose del este (40%) mientras que el oeste ha disminuido a 20%. Es posible que durante estas horas vespertinas, la isla de calor ejerza alguna influencia ocasionando que el viento se dirija a la ciudad reforzando la circulación anabática pero ahora hacia las montañas del poniente, sobretodo considerando que entre estas y la estación, sí se encuentra presente el medio urbano. Sin embargo debe observarse que a las 14 hrs., la rosa de vientos muestra todavía una fuerte predominancia del viento del oeste, lo cual significa que es en las horas posteriores cuando la circulación cambia de manera tan radical.

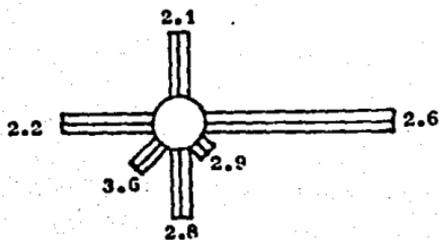
Durante el cuarto bloque, 20 a 24 hrs, parece que el lugar donde se localiza la estación se ha vuelto un punto de confluencia en donde los vientos del norte, este y oeste tienen



2 - 4 - 6 - 8 hrs.



10 - 12 hrs.

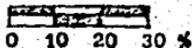


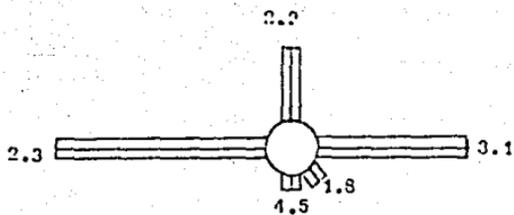
14 - 16 - 18 hrs.

Tláhuac

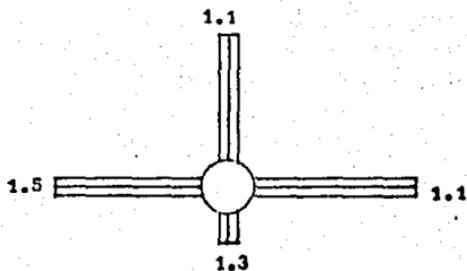
Resas de viento de superficie
Enero 1982

int. m/s

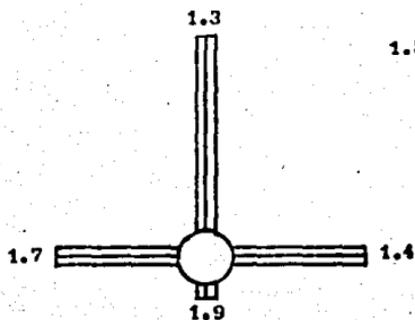




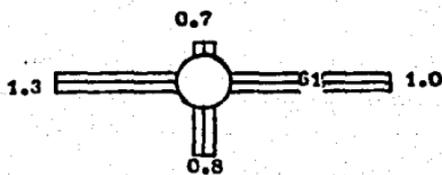
14 hrs.



20 - 22 - 24 hrs.



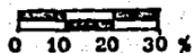
20 hrs.



24 hrs.

Tláhuac

Rosas de viento de superficie
Enero 1982



int. m/s

casi la misma frecuencia, pero si se observa la rosa de las 20 hrs., el norte predomina sobre todos los demás, dirigiéndose hacia las montañas del sur en una circulación todavía del tipo anabático o bien que está sufriendo la influencia del sistema sinóptico o viento regional; otra posible explicación a esta circulación particular sería la influencia ejercida por la Sierra de Santa Catarina en el viento proveniente del norte, por gravedad, y con respecto al viento proveniente del oeste, puede deberse al viento que desciende de la Sierra del Ajusco por gravedad, en cambio, la rosa de las 24 hrs. indica ya la presencia del viento de drenaje, proveniente de las montañas del este en circulación catabática.

Temporada de lluvias.

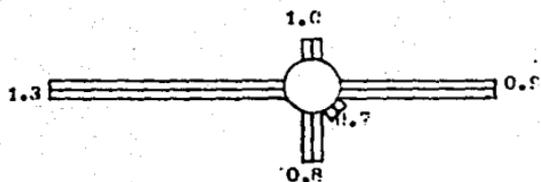
Para la temporada de lluvias (julio), la rosa del primer bloque, 2 a 8 hrs., muestra una fuerte predominancia del viento del oeste con un 50% sobre todas las demás direcciones, siendo la siguiente del este con un 33 %. Esto indica como la corriente catabática de las montañas del oeste es más fuerte que la del oriente, al menos en las horas de la madrugada ya que si se observa la rosa de las 6 hrs., la diferencia disminuye notablemente, siendo el este de 39% y el oeste 45% de frecuencia.

En el segundo bloque, 10 a 12 hrs., la situación es un poco confusa ya que el viento proveniente del oeste sigue predominado fuertemente sobre las demás direcciones a lo cual se le puede dar explicaciones como que todavía prevalece la

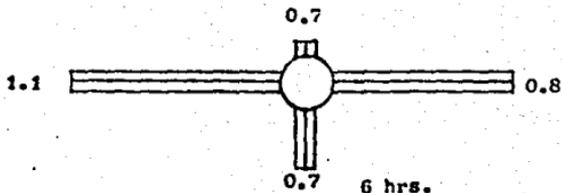
circulación catabática reforzada por la posible existencia de la isla de calor, o bien una circulación anabática que se dirige a las montañas del oriente.

En todo caso, es en el tercer bloque, 14 a 18 hrs., que la rosa de vientos muestra la influencia igual de los vientos del este y del oeste, lo cual indica que la circulación anabática se da tanto hacia la sierra del poniente como a la del oriente, y además si se le agrega el viento proveniente del sur (15%) se puede decir que es un punto importante de confluencia. Lo que resulta desconcertante es como la rosa de las 14 hrs. en lugar de mostrar una igual predominancia de viento del oeste como a las 10-12 hrs., muestra una mayor frecuencia de viento proveniente del este, 42%, y el oeste una cantidad menor, 35%.

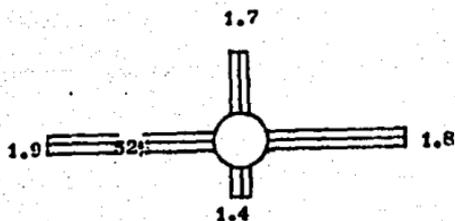
Para el último bloque, 20 a 24 hrs., la circulación se ha vuelto catabática, de viento del oeste principalmente, tal y como lo muestra también la rosa de las 20 hrs., aunque en la de las 24 hrs. esta influencia principal del viento del oeste ha disminuido, igualándose considerablemente con el viento proveniente del este. Con esto se puede decir que, si se toma en cuenta también, aunque de menor importancia, al viento proveniente del sur, en la estación Tláhuac convergen los vientos de drenaje y está sometida a la influencia de las montañas que tiene a los lados, que aunque un poco lejanas, ocupa un punto central entre unas y otras.



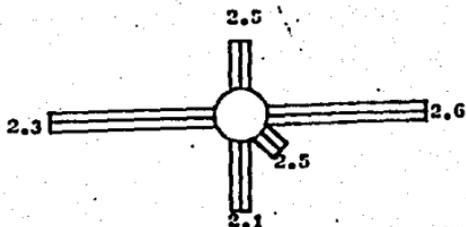
2 - 4 - 6 - 8 hrs.



6 hrs.



10 - 12 hrs.

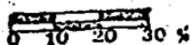


14 - 16 - 18 hrs.

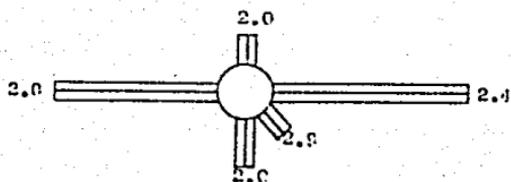
Tláhuac

Resas de viento de superficie
Julio 1982

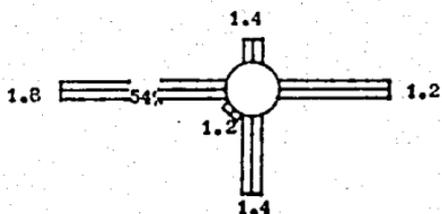
int. m/s



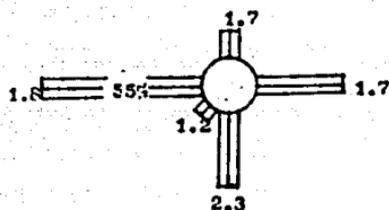
50



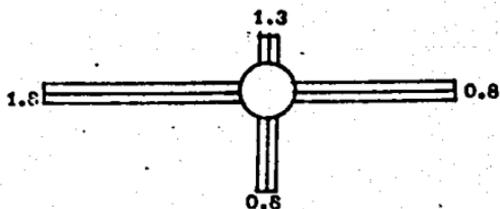
14 hrs.



20 - 22 - 24 hrs.



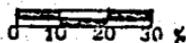
20 hrs.



24 hrs.

Tláhuac

Rosas de viento de superficie
Julio 1982



int. m/s

51

4.1.3 ESTACIONES RURALES

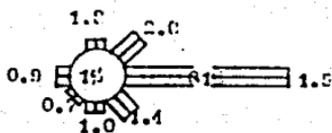
Las estaciones rurales, Tizayuca, Acolman, Plan Texcoco y Chapingo, al encontrarse totalmente fuera de la ciudad, han debido de considerarse como una cuestión aparte, que aunque están dentro de la cuenca y la circulación diurna es la misma, no sufren el efecto de la ciudad, los vientos no son atraídos por la isla de calor ni sufren desviaciones. Además, se les resta importancia en cuanto al desplazamiento o la dispersión de los contaminantes atmosféricos puesto que éstos afectan directamente a la zona urbana.

Sin embargo, se han utilizado y analizado sus datos ya que dan una idea más clara de la circulación del aire en el resto o en gran parte del valle.

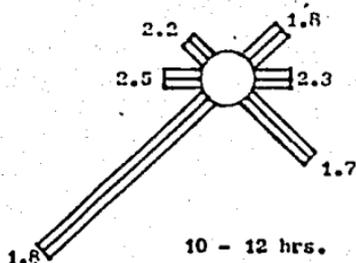
Estación Tizayuca.

Esta estación está situada en la parte noroeste de la cuenca, muy cerca de la Sierra de Tezontlalpan.

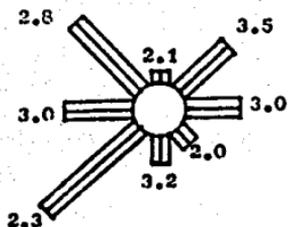
Presenta en la temporada de secas (mes de enero) una clara influencia de las montañas que tiene al oriente, que aunque no tienen las dimensiones de la Sierra Nevada, al menos sí son importantes para determinar la circulación catabática en esa estación, además, esta población parece estar en la desembocadura de un valle de menores dimensiones al oriente en el cual circulan corrientes de agua intermitentes provenientes de Pachuca y algunas lagunas más al este como la de Tecocomuico. Es posible que el aire se encajone entre las



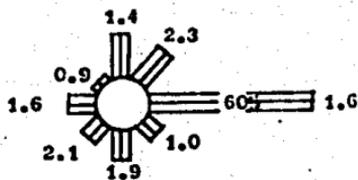
2 - 4 - 6 - 8 hrs.



10 - 12 hrs.



14 - 16 - 18 hrs.



20 - 22 - 24 hrs.

Tizayuca

Rosas de viento de superficie
Enero 1982



int. m/s

53

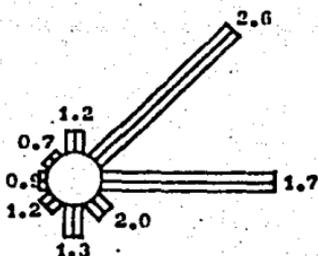
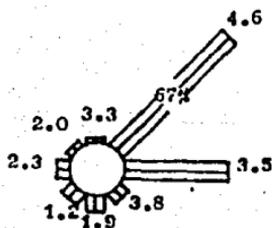
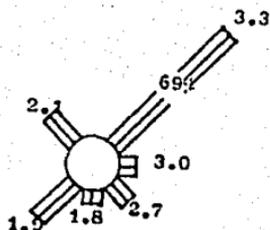
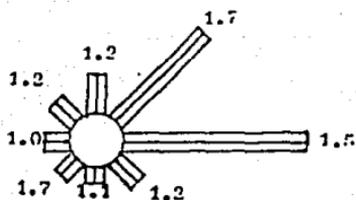
montañas a lo largo de este pequeño valle y llegue a Tizayuca registrando una frecuencia tan alta de viento del este como es un 81%. (Rosa de 2 a 8 hrs.)

Durante las siguientes horas del día, 10 - 18 hrs., se nota de manera muy clara la influencia del viento sinóptico o regional, que para enero son los vientos del Oeste, registrando altas frecuencias en las direcciones noroeste y suroeste (rosas 10 a 12 hrs y 14 a 18 hrs.)

Ya para las horas de la noche, la circulación se ha vuelto local nuevamente, con predominancia del viento proveniente del este, al igual que en la madrugada pero con un porcentaje menor (60%).

En la época lluviosa (julio), nuevamente se muestra la predominancia del viento del este, con una frecuencia menor, en las horas de la madrugada y las primeras de la mañana, aunque ahora el viento proveniente del noreste tiene una considerable importancia. Esta circulación, al igual que en la temporada de sequía, es de tipo catabático, que desciende de las montañas. (rosa de 2 a 8 hrs.)

En las horas siguientes del día, de las 10 a las 18 hrs., según muestran las rosas de los vientos, el viento predominante es el noreste, lo cual indica que la circulación de tipo local ha prácticamente desaparecido, quedando básicamente bajo la influencia de los vientos regionales (vientos Alisios) que en el valle se manifiestan en vientos provenientes del noreste.



Tizayuca

Rosas de viento de superficie
Julio 1982



int. m/s

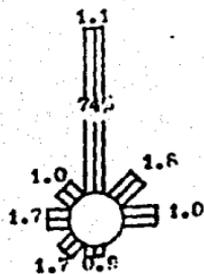
Todavía en las horas del anochecer, se puede apreciar la influencia del viento del noreste, aunque a la par pues la frecuencia es casi la misma, el viento del este ha hecho aparición para permanecer durante toda la madrugada y primeras horas de la mañana.

Estación Acolman.

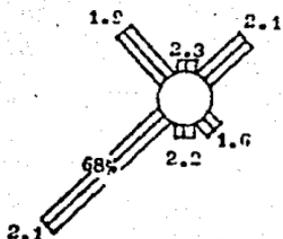
Esta estación se encuentra localizada en la parte central de la cuenca, cerca de algunas elevaciones de poca altura como el Cerro Chiconautla, el Cerro Patlachico y no muy lejos de las inmediaciones del Cerro Gordo. Durante el mes de enero, en la madrugada y primeras horas de la mañana, el viento predominante proviene del norte, quizá de las pequeñas elevaciones existentes en esa dirección. (Rosa de 2 a 8 hrs.).

De las 10 a las 18 hrs, la circulación ha cambiado por completo, siendo el viento predominante del suroeste, esto indica una circulación tanto anabática (hacia las montañas) como la influencia del viento regional, los vientos del Oeste, que se manifiestan en las direcciones suroeste y noroeste, más claramente observable en la rosa de las 14 a las 18 hrs.

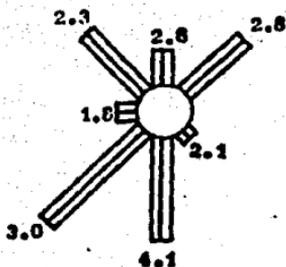
En las horas del anochecer, esta influencia del viento regional ha casi desaparecido, pues el viento del suroeste tiene una frecuencia del 14 % y el viento del noroeste es prácticamente insignificante, 4%. En cambio los que predominan son el norte y el noreste provenientes de las elevaciones circundantes.



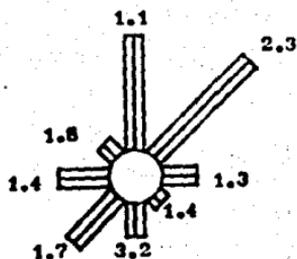
2 - 4 - 6 - 8 hrs.



10 - 12 hrs.



14 - 16 - 18 hrs.



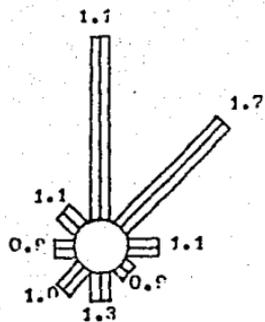
20 - 22 - 24 hrs.

Acclman

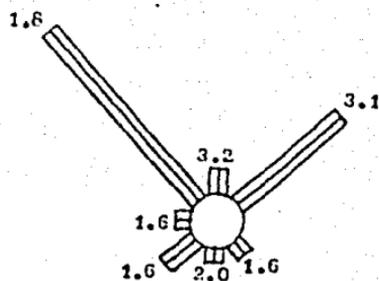
Rosas de viento de superficie
Enero 1992

int. m/s

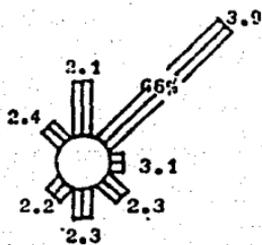




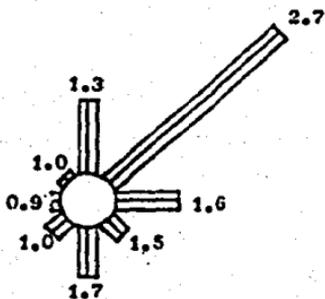
2 - 4 - 6 - 8 hrs.



10 - 12 hrs.



14 - 16 - 18 hrs.

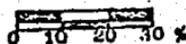


20 - 22 - 24 hrs.

Acolman

Rosas de viento de superficie
Julio 1982

int. m/s



Para el mes de julio (temporada de lluvias aunque la región es muy seca) las primeras horas, 2 a 8 hrs, igualmente muestran viento del norte y noreste, indicando circulación catabática.

A las 10-12 hrs., la circulación se vuelve un tanto confusa pues el viento predominante es del noroeste, seguido del noreste lo cual pudiera indicar una circulación catabática pero ya fuera de hora, o bien se trata de la presencia de viento Alisio que toma dos direcciones diferentes debido a la presencia de las montañas.

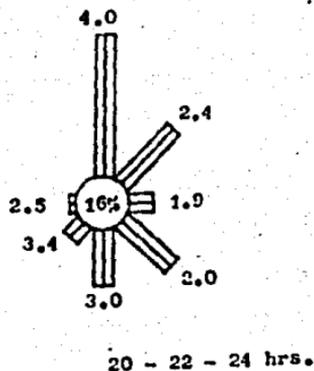
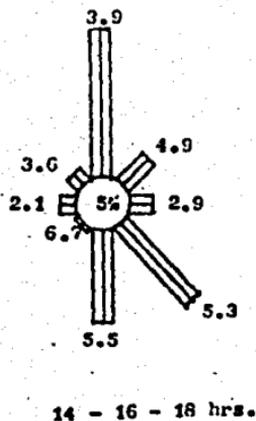
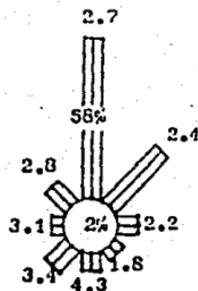
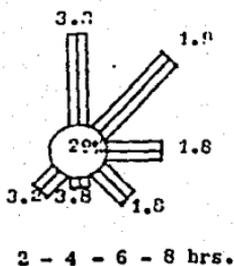
Es hasta las 14 a 18 hrs en que el viento del noreste (66%) indica la presencia del viento regional o sinóptico, vientos Alisios.

Al anochecer (20 a 24 hrs.) el viento continúa siendo del noreste pudiendo interpretarse como movimiento catabático, que puede sufrir todavía el refuerzo del viento regional.

Estación Plan Texcoco.

La estación Plan Texcoco se encuentra localizada al oriente de la ciudad en el lugar del proyecto del mismo nombre.

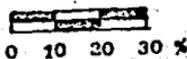
Durante el mes de enero, en las primeras horas de la mañana, la frecuencia de calmas supera a la frecuencia de vientos, siendo de estos últimos los más importantes los provenientes del norte y noreste. Puede observarse en la rosa de 2 a 8 hrs. En este caso es difícil de establecer un patrón ya



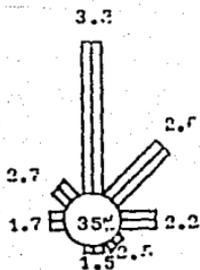
Plan Texcoco

Rosas de viento de superficie
Enero 1982

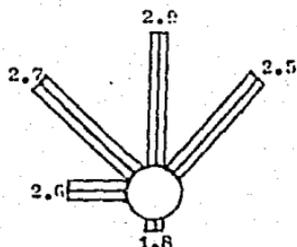
int. m/s



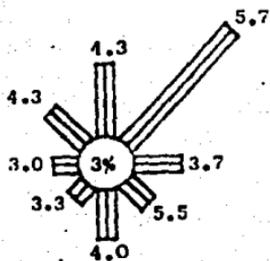
FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLUMIO DE GEOGRAFIA



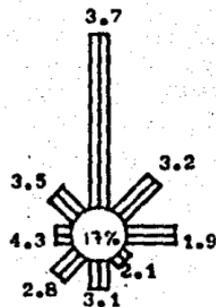
2 - 4 - 6 - 8 hrs.



10 - 12 hrs.



14 - 16 - 18 hrs.

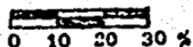


20 - 22 - 24 hrs.

Plan Texcoco

Rosas de viento de superficie
Julio 1982

int. m/s



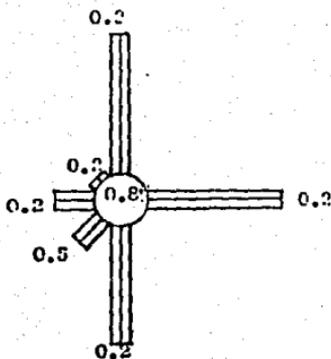
Presenta durante la época de secas (enero), en las primeras horas de la mañana viento catabático proveniente del norte, este y sur, pues esta zona ya se encuentra más cerca de algunas elevaciones, sobretodo al oriente.

En el transcurso del día, 10 a 18 hrs., hace aparición el viento regional manifestándose en vientos del noroeste y suroeste, además de que en el bloque de transición (10 a 12 hrs), el viento del oeste es el más frecuente, dando indicio de un viento anabático que se dirige a las montañas en el oriente, importancia que desaparece en las horas vespertinas con el viento sinóptico.

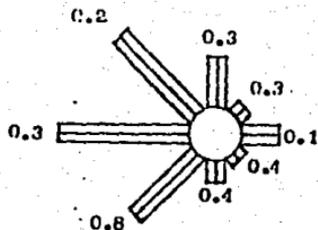
Al anochecer (20 a 24 hrs) la situación es diferente pues el viento más frecuente es del sur, situación que en la madrugada cambia compartiendo frecuencias semejantes con el norte y el este.

Para el mes de julio, Chapingo registra en las horas de la mañana (2 a 8 hrs.) viento catabático proveniente del norte, este y sur, además de la influencia de la dirección oeste, la cual no tiene una explicación lógica pero que junto a las demás direcciones forman un punto de confluencia en la zona.

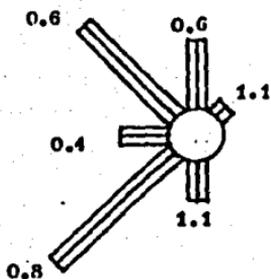
A las 10 - 12 hrs, la rosa registra un cambio total en la circulación pues ahora el viento predominante es del noroeste, con una alta frecuencia seguida del viento del oeste lo cual puede indicar un movimiento de tipo anabático, dirigiéndose a las montañas del oriente de la estación.



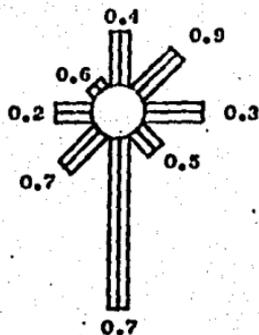
2 - 4 - 6 - 8 hrs.



10 - 12 hrs.



14 - 16 - 18 hrs.

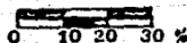


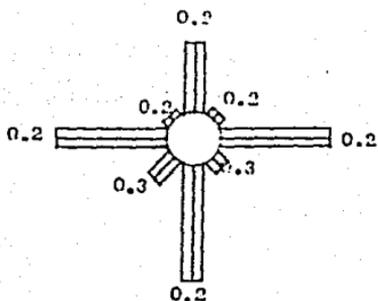
20 - 22 - 24 hrs.

Chapingo

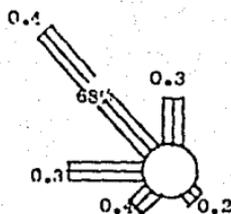
Rosas de viento de superficie
Enero 1982

int. m/s

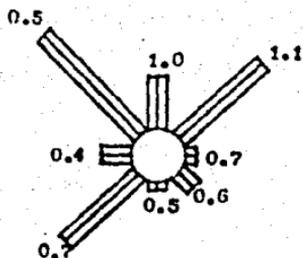




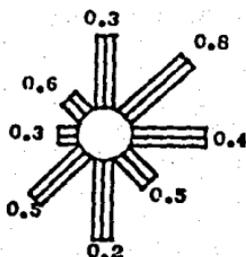
2 - 4 - 6 - 8 hrs.



10 - 12 hrs.



14 - 16 - 18 hrs.

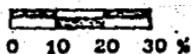


20 - 22 - 24 hrs.

Chapingo

Rosas de viento de superficie
Julio 1982

int. m/s



Durante la tarde continúa la circulación anabática, ahora reforzada por viento del suroeste, sin embargo también se registra viento del noreste lo cual indica la presencia del sistema sinóptico, los vientos Alisios, aunque con una frecuencia un poco menor a los provenientes del oeste.

En la noche, 20 a 24 hrs., la circulación no está definida pareciendo ser transitoria, ya que la frecuencia de las direcciones es muy semejante.

4.1.4 Resumen del análisis de rosas de viento superficial en la Cuenca de México.

Se puede decir que la Cuenca de México se encuentra sometida a dos sistemas de circulación que actúan en diferentes horas del día y distintas épocas del año: el sistema local con vientos anabáticos (del valle a la montaña), los catabáticos (de la montaña al valle) por una parte, y el sistema de vientos regionales (Vientos del Oeste y Vientos Alisios). Además se cuenta con la presencia de los vientos que induce la ciudad con motivo de la isla de calor, sobretudo en la época de sequía reforzando de alguna manera la circulación catabática, deslizándose hacia los centros de mayor temperatura por diferencia de presión.

Durante las primeras horas de la mañana, la circulación se caracteriza por la incidencia de vientos de poca intensidad o en ocasiones la existencia de calmas durante casi todo el año, 66

como es en el caso de la estación urbana de Tacubaya, lo cual propicia la formación de inversiones térmicas. A las 10 o 12 hrs. aproximadamente, el aire en la superficie comienza a calentarse y a adquirir mayor movimiento, dirigiéndose de las zonas bajas en el valle hacia las montañas, lo que se llama circulación anabática. Durante las horas vespertinas, esta circulación local anabática se ve interrumpida por la presencia de los vientos regionales que han descendido hasta la superficie, vientos del oeste y vientos alisios en temporada de sequía y de lluvia, respectivamente. Esta circulación ve disminuida su importancia en horas nocturnas dando paso de nuevo a la circulación de tipo local con los vientos catabáticos, de la montaña al valle, la cual se mantiene hasta las primeras horas de la mañana.

4.2 ANALISIS DE LINEAS DE FLUJO

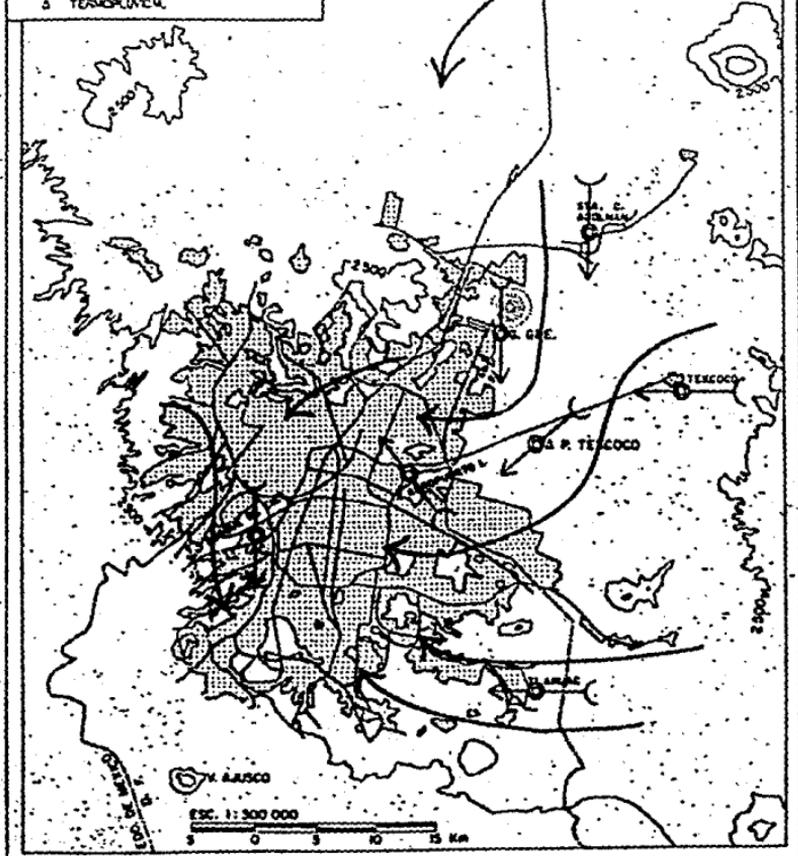
Las líneas de flujo presentan de manera más ilustrativa la circulación del viento en base a las ocho estaciones urbanas, suburbanas y rurales en la cuenca. Estas líneas ya no representan bloques de horas como en el caso de las rosas de vientos, sino que se tomaron horas específicas, 6, 14 y 24, pues resultaron ser las más representativas al encontrarse la circulación casi totalmente definida tanto para el mes de enero (secas) como para julio (lluvias).

De esta manera, los mapas de líneas de flujo para las 6 hrs., en enero y julio muestran un total movimiento del aire hacia la ciudad, un movimiento catabático (es decir, que desciende de las montañas), tanto de las grandes sierras como de las elevaciones de menor importancia distribuidas en el interior de la cuenca, como es la Sierra de Guadalupe, el Cerro Gordo, la Sierra Patlachique (ver pag. 19). En el caso de las estaciones urbanas y suburbanas este movimiento puede verse reforzado por la existencia de la isla de calor, sobretodo en la temporada de sequía.

Los mapas de las 14 hrs. son totalmente distintos para cada época del año. En el mes de enero, las líneas de flujo muestran de manera bastante clara como el aire se dirige hacia afuera de la ciudad, y en las estaciones rurales hacia las montañas que ejercen influencia sobre el lugar. Este movimiento anabático se verá modificado en algunas horas más adelante,

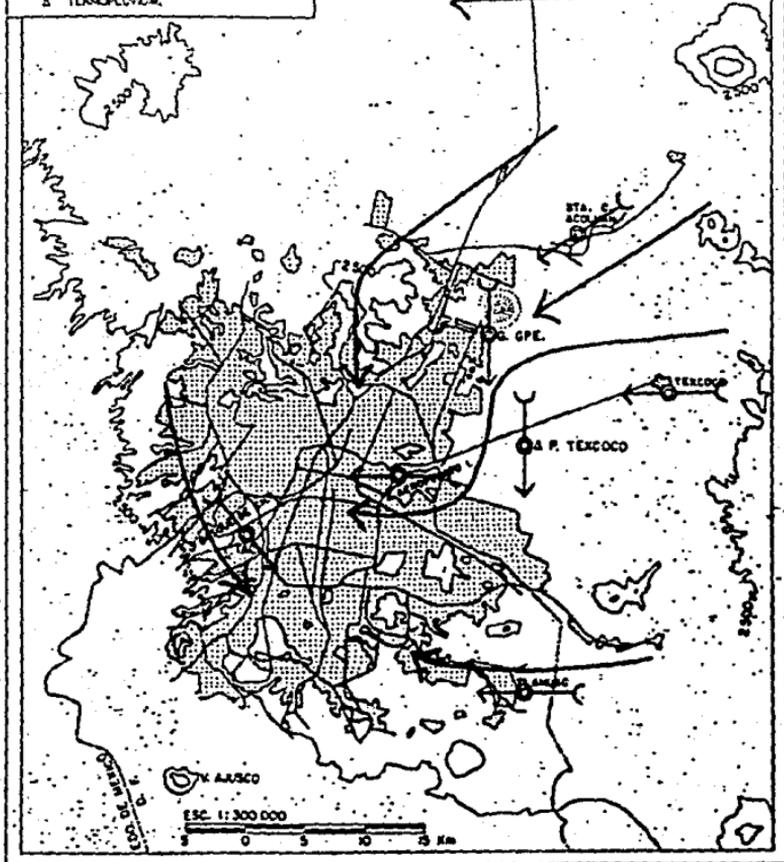
Líneas de flujo para
Enero 1982, 6 hrs.

□ ANEMOMETRO
○ TERMOPILVICA



líneas de flujo para
Julio 1982, 6 hrs.

□ ANEMOMETRO
△ TERMOPLUVIO.



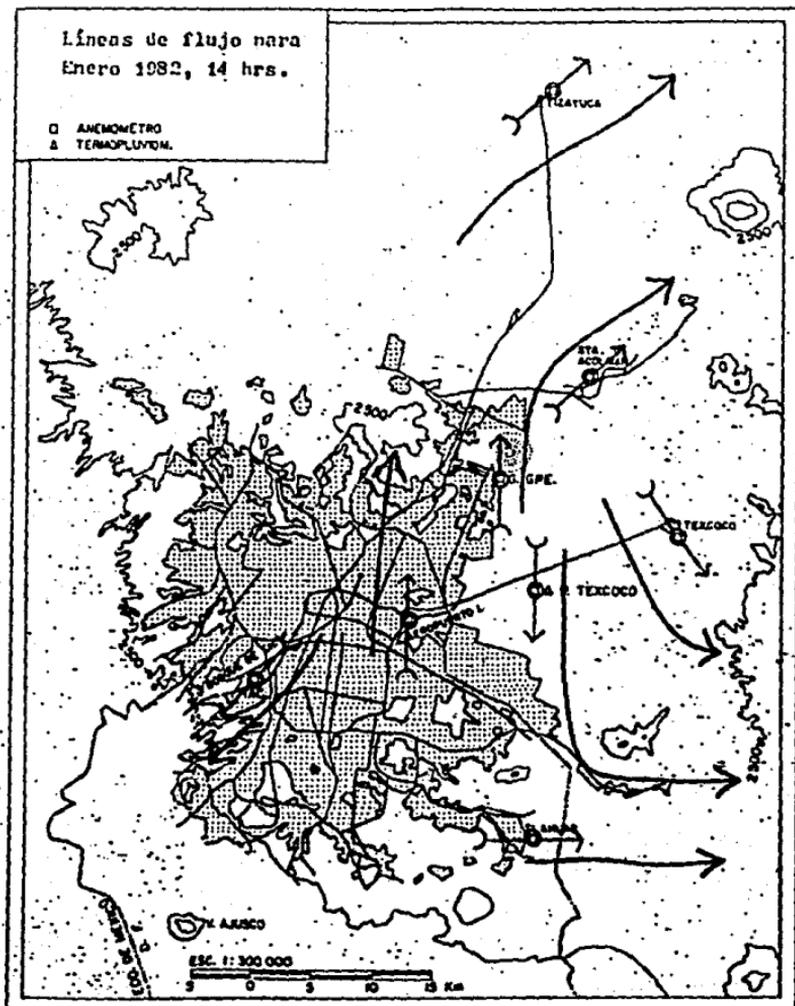
tal y como lo muestran las rosas de bloque, por la influencia del viento regional o sinóptico, Vientos del Oeste, los cuales se manifiestan en la cuenca provenientes del suroeste y noroeste. Si bien en algunos casos refuerza la circulación anabática, en otras la destruye por completo como es en el caso de la estación Tacubaya, donde el viento regional actúa exactamente en sentido contrario a la dirección del movimiento anabático.

En el mes de julio la situación es totalmente diferente, el mapa de líneas de flujo para las 14 hrs. muestra una dirección predominante en los vientos de todas las estaciones: noreste. Aquí, esta hora el es definitiva en cuanto a la influencia del sistema sinóptico que ha descendido a la superficie barriando toda la cuenca de noreste a suroeste, eliminando por completo la circulación anabática en todas las estaciones suburbanas y rurales del oriente de la ciudad, cuya circulación local debería ser proveniente del oeste en dirección a las montañas. Este sistema regional corresponde a los vientos Alisios que acarrearán humedad ocasionando, en los meses de verano, lluvias por la tarde y primeras horas de la noche generalmente.

Para las 24 hrs., la circulación se ha vuelto local nuevamente, tanto en el mes de enero como en julio, indicando las líneas de flujo como el aire se dirige hacia la ciudad o simplemente desciende de las montañas y pequeñas elevaciones en las estaciones rurales, en donde la isla de calor generada por

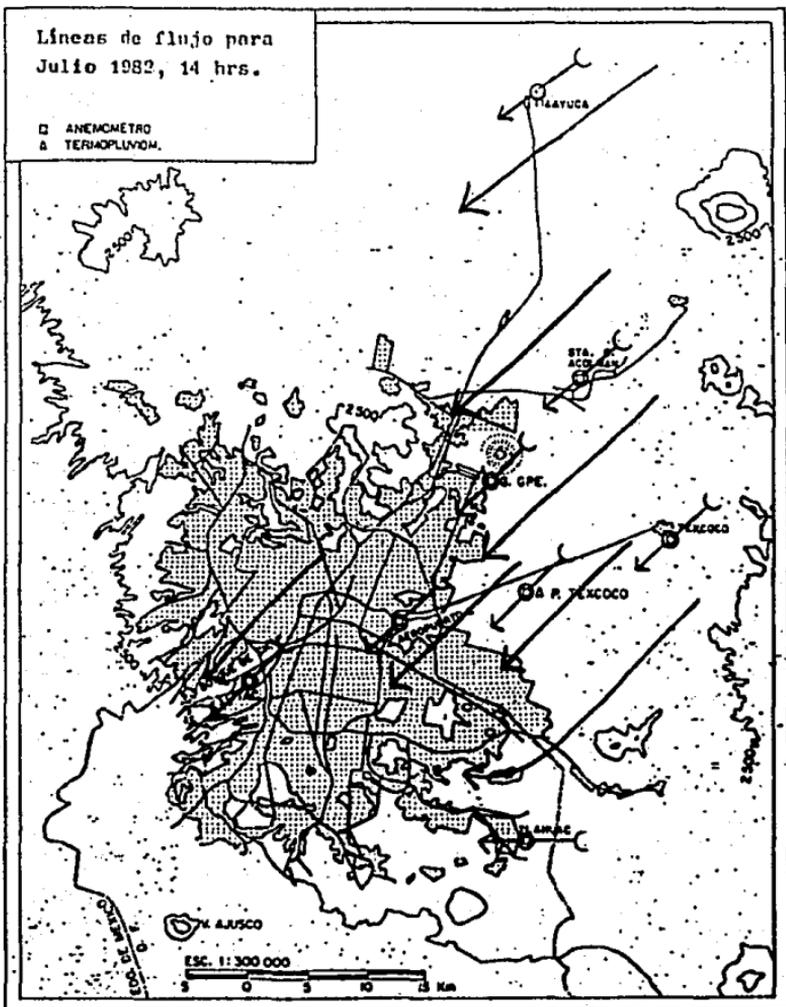
Líneas de flujo para
Enero 1982, 14 hrs.

□ ANEMOMETRO
△ TERMOPLUVIOM.



Líneas de flujo para
Julio 1982, 14 hrs.

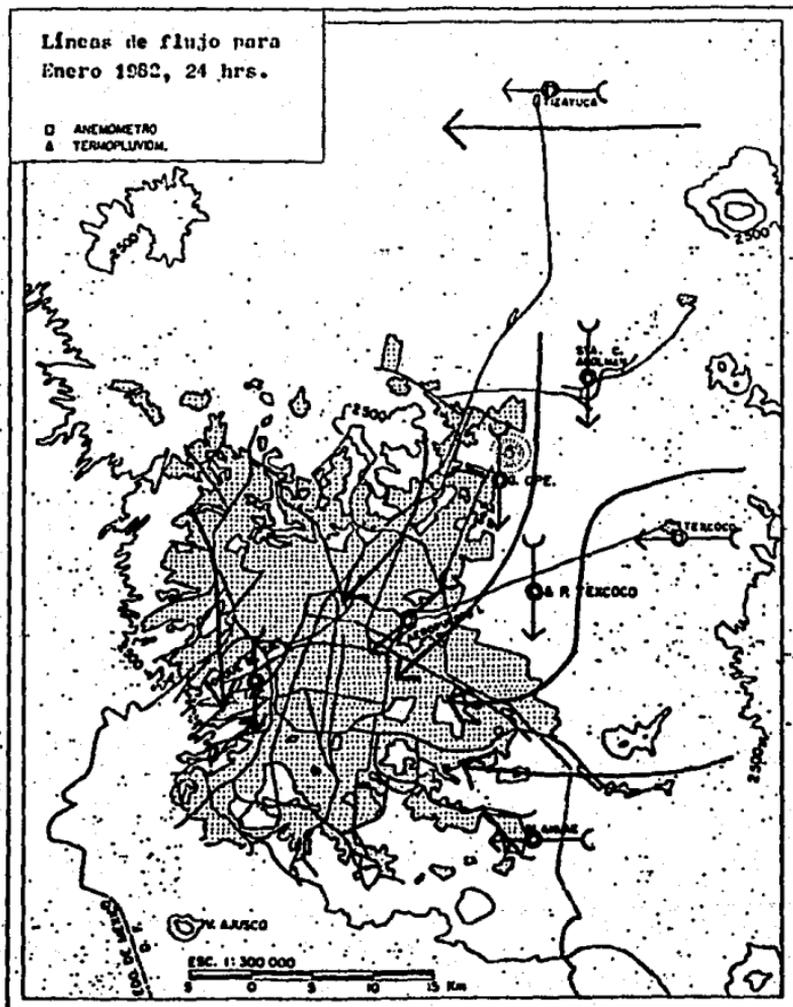
□ ANEMOMETRO
& TERMOPLUVIOM.



la ciudad no puede ejercer su influencia dada su lejanía. Esta circulación catabática se verá interrumpida en las horas de la mañana (10 hrs. aproximadamente) cuando el Sol comienza a calentar la superficie, primero de la planicie y las montañas situadas al poniente, y al mediodía, a las laderas de las montañas localizadas al oriente de la cuenca.

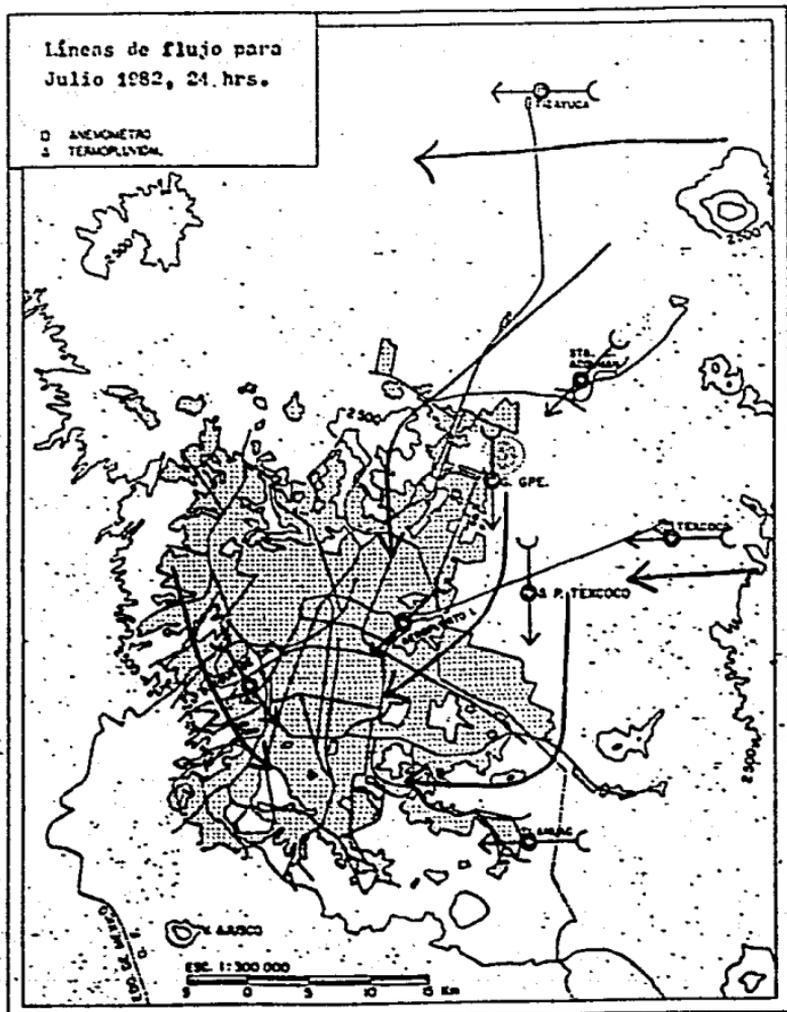
Líneas de flujo para
Enero 1962, 24 hrs.

□ ANEMOMETRO
▲ TERMOPLUVIO.



Líneas de flujo para
Julio 1982, 24 hrs.

□ ANEMOMETRO
3 TERMOPILVEM



5. VARIACION DE LA INTENSIDAD DEL VIENTO: DIURNA Y ESTACIONAL

Además de analizar las direcciones predominantes del viento para distintas épocas del año y horas del día, tratando de establecer un patrón en la circulación, es importante tomar en consideración la intensidad con que estos vientos soplan, igualmente a distintas horas del día y en el transcurso del año en las estaciones anemométricas que tienen datos para todos los meses.

Para la realización de este análisis se recurrió al uso de gráficas para cada una de las ocho estaciones anemométricas, las cuales muestran el promedio de la intensidad del viento en metros por segundo (m/s) durante los meses de enero y julio en forma bihoraria. Así puede apreciarse de manera bastante clara las variaciones, en ocasiones muy grandes, que sufre el viento a lo largo de un día.

Se ha utilizado la clasificación previa de estaciones urbanas, suburbanas y rurales.

5.1 VARIACION DE INTENSIDAD DE VIENTO DIURNA PARA LOS MESES DE ENERO Y JULIO DE 1982.

5.1.1 Estaciones Urbanas.

Tacubaya (fig. 1)

Muestra para el mes de enero una intensidad del viento en promedio, menor que en el mes de julio, pues desde medianoche hasta las 8 hrs. de la mañana registra calmas, y alcanza un máximo en intensidad de las 14 a las 20 hrs. de solo 0.9 m/s. Estas calmas son características de esta época del año propiciando así las inversiones térmicas.

En julio la situación es diferente, pues aunque la intensidad es sumamente baja en las horas de la madrugada y primeras horas de la mañana, el promedio no desciende hasta llegar a una calma total. El máximo de intensidad se observa a las 18 hrs. con 1.6 m/s. Es posible que este registro tan bajo de intensidad se deba a la situación en que se encuentra la estación, como se está analizando únicamente viento de superficie, la cantidad de edificios alrededor interfiere o actúa como una barrera que absorbe la energía del viento.

3.1.2 Estaciones suburbanas.

Estas estaciones, Aeropuerto, Granjas Guadalupe y Tlahuac, como se dijo anteriormente en el capítulo de rosas de viento, están localizadas en las orillas del oriente de la ciudad de México, pero aunque no están totalmente dentro, sí llegan a sufrir el efecto de ella, dada su extraordinaria extensión.

De las tres estaciones, la que registra viento de mayor intensidad es Aeropuerto, con 4.3 m/s a las 18 hrs., tanto en el mes de enero como en julio, con una diferencia bastante acentuada en comparación con la velocidad más baja que es de

0.5 m/s a las 6 hrs. Las curvas en enero y julio son muy semejantes mostrando un pico que desciende bruscamente durante las tres horas siguientes. (fig. 1)

La estación que le sigue en intensidad es Granjas Guadalupe, cuya máxima se produce a las 16 hrs. tanto en enero, 3.8 m/s, como en julio 4.2 m/s. Las mínimas se registran a las 6 hrs. El ascenso y descenso en la intensidad se produce de manera menos brusca pues la mínima nunca llega a 0. (fig. 2)

Tláhuac en apariencia muestra una diferencia en la máxima intensidad en cada uno de los meses pues en enero registra 3 m/s a las 16 hrs. y en julio 2.5 m/s a las 18 hrs. aunque en general para el resto del día el comportamiento es muy semejante, con velocidades siempre superiores a 0.5 m/s. (fig. 2)

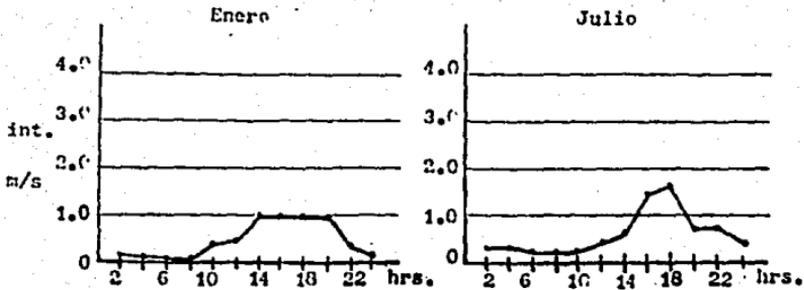
5.1.3 Estaciones rurales.

Plan Texcoco, Tizayuca, Acolman y Chapingo se ubican totalmente fuera de la ciudad y por lo tanto de su influencia sobre el comportamiento de la circulación del viento en esas estaciones. (figs. 3 y 4)

Así, estas estaciones muestran velocidades más o menos elevadas, excepción hecha a Chapingo en donde el máximo registra 1.6 m/s, pero al igual que las demás, la mayor intensidad se da en el mes de julio, en horas vespertinas lo cual podría indicar que la presencia de los vientos Alisios

ESTA TESIS NO PUEDE SALIR DE LA BIBLIOTECA

TACUBAYA



AEROPUERTO

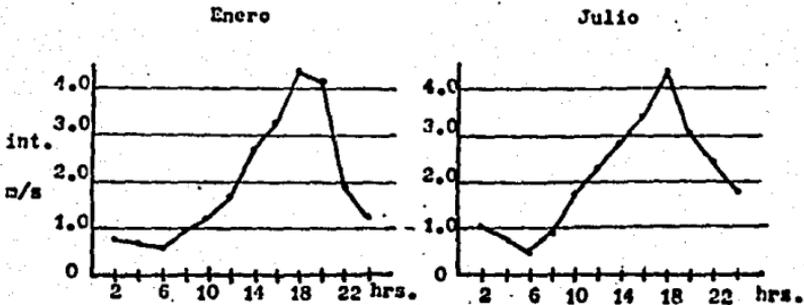
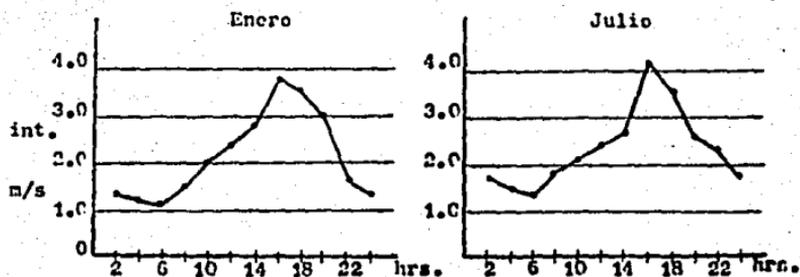


Fig.1 Variación diurna de la intensidad (m/s) del viento superficial. Año 1982.

GRANDES GUADALUPE



TLAHUAC

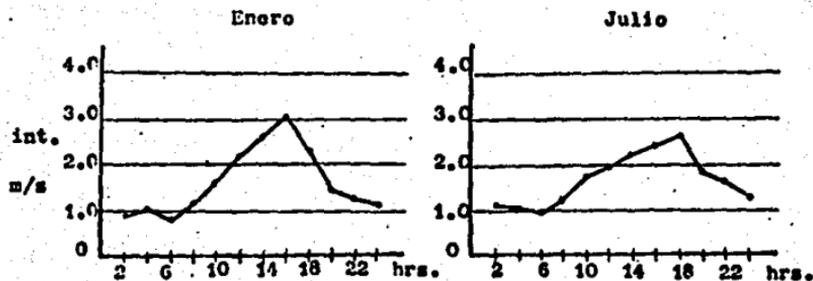


Fig. 2 Variación diurna de la intensidad (m/s) del viento superficial. Año 1982.

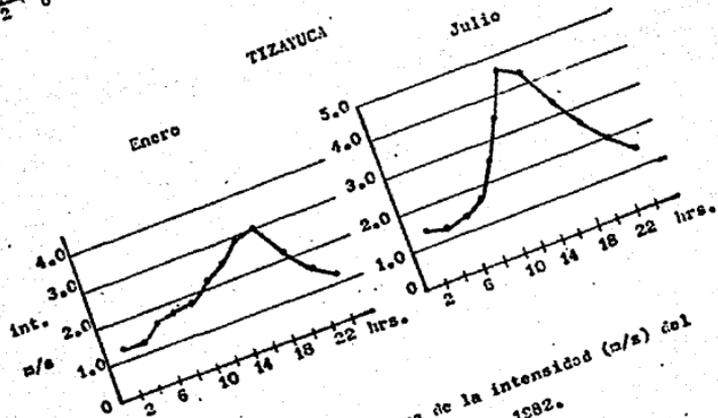
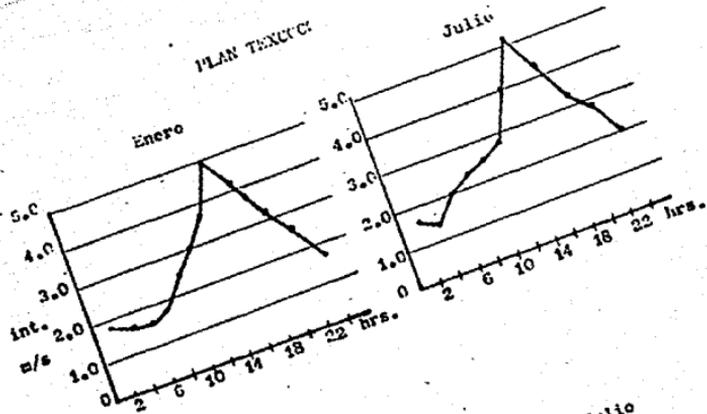
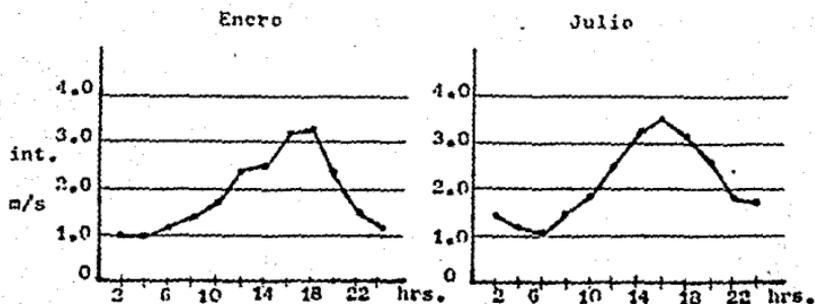


Fig. 3 Variación diaria de la intensidad (m/s) del viento superficial. Año 1982.

ACOLMAN



CHAPINGO

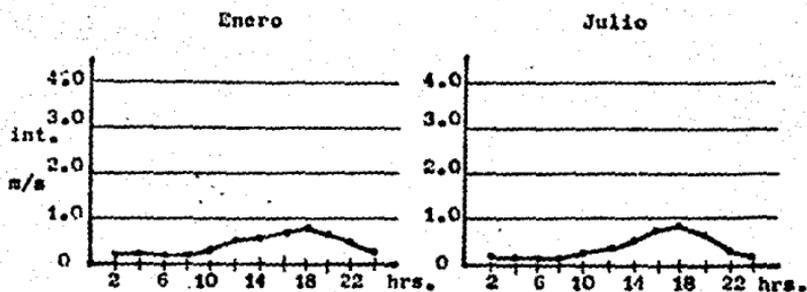


Fig. 4 Variación diurna de la intensidad (m/s) del viento superficial. Año 1982.

provenientes del Este son más fuertes que la circulación durante el periodo invernal.

5.2 VARIACION ESTACIONAL DE LA INTENSIDAD DEL VIENTO PARA EL AÑO 1982.

En el caso de las estaciones para las cuales se tienen datos mensuales de todo el año 1982, se realizaron gráficas donde se tomaron en cuenta dos horas clave en la circulación del viento superficial, las 8 y las 18 hrs. Se trata de Tacubaya, Aeropuerto y Tláhuac, estación urbana y suburbanas respectivamente donde se puede apreciar fácilmente la diferencia de intensidad en el viento matutino en comparación con el vespertino. (fig. 5)

En la estación urbana de Tacubaya, el viento a las 8 hrs. es prácticamente inexistente no llegando a los 0.5 m/s a lo largo del año, lo cual indica que el aire es estable y propicio para la formación de inversiones térmicas. La situación cambia en horas vespertinas registrándose velocidades arriba de 1 m/s a las 18 hrs., sin embargo esta intensidad no sobrepasa los 2 m/s a lo largo del año con lo que se puede deducir que el viento superficial encuentra suficientes obstáculos en la ciudad como para registrar altas velocidades en cualquier época del año.

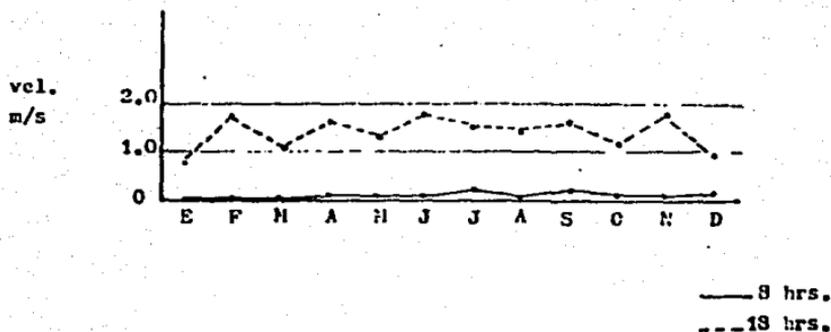
La estación Aeropuerto muestra un panorama muy diferente, debido posiblemente a su situación suburbana de orillas de la ciudad. A las 8 hrs. registra velocidades entre los 0.8 y 3 m/s

a lo largo del año y una velocidad muy fluctuante a las 18 hrs. con velocidades entre los 3.3 y 5.4 m/s , no presentando un comportamiento definido en ninguna época del año.

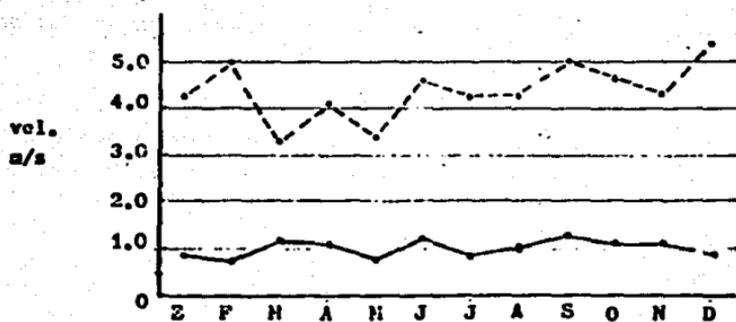
La estación Tláhuac, clasificada como suburbana, se caracteriza por mantener a lo largo del año, casi una misma velocidad a las 8 hrs elevándose únicamente durante el mes de septiembre sin ninguna causa aparentemente especial, cambiando de 1 a 1.6 m/s. En el mes de abril se presenta una repentina elevación en la intensidad a las 18 hrs (4.3 m/s), descendiendo súbitamente en el mes de mayo, para luego comportarse de manera uniforme dirigiéndose hacia menores velocidades en el resto del año alcanzando una intensidad mínima de 1.8 m/s en el mes de noviembre. La estación más o menos progresiva y el brusco descenso en lo que corresponde a las 18 hrs., puede apreciarse en la gráfica correspondiente (fig. 5), refleja posiblemente el viento regional imperante en ese momento, en abril, los vientos del Oeste de la temporada de sequía, sistema que se muestra preferentemente en horas vespertinas cuando logra descender hasta el nivel de la superficie.

Si bien cada estación suele mostrar un comportamiento diferente, se puede generalizar que las 8 hrs. siempre mostrarán viento de menor intensidad, cuando la capa estable superficial se encuentra desacoplada del viento regional, llegando en ocasiones a no levantar siquiera los 0.3 m/s hasta las 10 hrs. a lo largo del año, en las estaciones urbanas

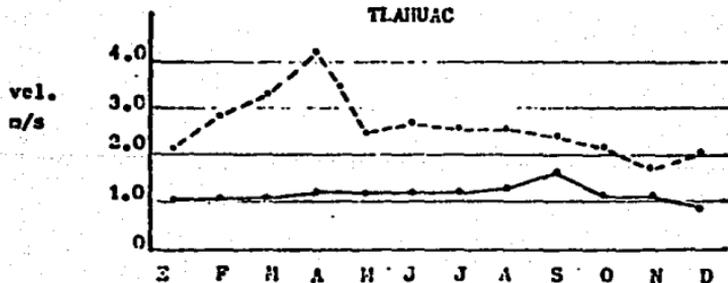
TACUBAYA



AEROPUERTO



TLAHUAC



Viento de superficie 1932.

Fig. 5 variación estacional de la intensidad (m/s) del viento superficial.

preferentemente, estas calmas están asociadas a la formación de inversiones térmicas.

6. LA CONTAMINACION Y LA SALUD DE LOS HABITANTES.

Dado que el fin de este trabajo es relacionar la circulación del viento en la Ciudad de México con los contaminantes atmosféricos, es necesario dar una breve explicación de sus características principales y la manera en que se generan.

La Ciudad de México, como todas las grandes urbes del mundo, conforme avanzan en su desarrollo han ido sufriendo alteraciones en su equilibrio natural. Esto es debido principalmente a la expansión de los asentamientos humanos, aumento de la población y lógicamente la contaminación de un número cada vez más grande de automóviles e industrias.

Pero el caso de esta ciudad es muy particular dadas sus características físicas, es casi un cuarto cerrado que se encuentra rodeado de montañas donde el viento varía de dirección constantemente y no es lo suficientemente fuerte como para limpiar la atmósfera del valle más allá de las montañas.

La composición del aire natural es como sigue (Ross 1974):

Componentes:	Concentración aproximada, por ciento en volumen:
Nitrógeno (N ₂) _____	78.03
Oxígeno (O ₂) _____	20.99
Dióxido de Carbono (CO ₂) _____	0.03
Argón (A) _____	0.94

Hidrógeno (H ₂) _____	0.01
Vapor de Agua (H ₂ O) _____	variable
Partículas _____	variable en tipo y cantidad
Ozono (O ₃) _____	variable por la rad. ultravioleta de 0 a 0.07 ppm (partes por millón)

Comparación del porcentaje en volumen con las partes por millón:

Porcentaje en volumen	Partes por millón
100	1,000,000
10.0	100,000
1.0	10,000
0.1	1,000
0.01	100
0.001	10
0.0001	1

La actividad humana arroja diariamente enormes cantidades de contaminantes, se entiende por contaminación cuando hay una alteración de la atmósfera al aire libre por las actividades del hombre, aunque la contaminación del aire puede darse de manera natural, como es la dispersión del polen, los gases y partículas arrojados por erupciones volcánicas o los incendios en los bosques donde el hombre no tuvo nada que ver. Sin

embargo, hasta hace unos años, la atmósfera había podido recibir gases y partículas sin alterarse de forma grave, pero ahora tiene suspendidas sustancias tóxicas sumamente dañinas para los habitantes de esta ciudad, plantas y edificaciones.

En los últimos años ha sido muy notorio el aumento de la turbidez del aire, lo cual nos impide ver más allá de dos o tres kms. (según la época del año), y el resto de la ciudad o las montañas más o menos cercanas se pierden en una densa niebla. Esto es el resultado de la enorme cantidad de industrias que operan dentro y en los alrededores de la Ciudad de México, en Cuautitlán y Texcoco como son:

Industria de la Fundición	Ind. Textil
Siderurgia	Acido Sulfurico
Ind. de Minerales Metálicos	Ind. Automotriz
Ind. de Minerales no Metálicos	Ind. de Papel y
Ind. Cementera	Celulosa
Ind. Farmacéutica	Generación de
Ind. del Vidrio	Energía
Ind. Química	
Fertilizantes	

Antes de comenzar a clasificar los contaminantes es necesario indicar cuales son las fuentes de contaminación y en que porcentaje contaminan la atmósfera. Existen dos tipos:

- Fuentes fijas: Fábricas (papel, cemento, refinerías, etc.)
- Fuentes móviles: automóviles, transporte aéreo.

Los vehículos (fuente móvil) son los que más contaminan, 80% del total, la industria 15% y 5% de otras fuentes (naturales). Los contaminantes que estas fuentes emiten, en porcentaje, son:

Fuentes fijas:	58% Dióxido de Azufre	
	17% Partículas	
	13% Óxidos de Nitrógeno	
	7% Monóxido de Carbono	15%
	5% Hidrocarburos	

Fuentes móviles:	89% Monóxido de Carbono	
	9.4% Hidrocarburos	
	1.3% Óxidos de Nitrógeno	80%
	0.2% Dióxido de Azufre	

Fuentes naturales:	100 % Polvos y partículas	5%
--------------------	---------------------------	----

100%

(SEDUE, Informe sobre el estado del medio ambiente en México, 1986)

Desgraciadamente (para los lugares de la ciudad que casi no tienen industria) los contaminantes desprendidos de estas fuentes no se quedan en el lugar donde se emiten, siendo el caso de este estudio determinar hacia donde se dirigen tomando en cuenta la circulación superficial a que está sometido el Valle de México.

6.1 Tipos de contaminantes.

La clasificación de los contaminantes atmosféricos fue obtenida a partir de el libro de Turk, (Ecología, Contaminación, Medio Ambiente) como a continuación se indica:

- Contaminantes gaseosos del aire:

a) Oxidos de Carbono. Las moléculas de dióxido de carbono, a diferencia de los demás componentes del aire puro, poseen la propiedad de absorber la radiación infrarroja (calor) del Sol. Por consiguiente, cuanto más CO₂ haya en la atmósfera, tanto más calor puede ésta absorber.

El monóxido de carbono, CO, no es un componente del aire seco normal, sino un producto de la combustión incompleta de carbón o de compuestos de carbón. Este gas, aunque sea incoloro, inodoro y no irritante, es muy tóxico, es producido principalmente por el escape de los automóviles. La concentración máxima permisible en la industria, para trabajadores sanos, en una jornada de ocho horas es de 50 ppm.

b) Compuestos que contienen carbono e hidrógeno, o carbono . hidrógeno y oxígeno. La diversidad de los efectos de tales sustancias es muy grande. Algunos de estos materiales son carcinogénicos, algunos son irritantes o malolientes, algunos experimentan cambios químicos en la atmósfera para producir otros contaminantes, y algunos son inofensivos.

c) Compuestos que contienen azufre. Altas concentraciones de SO_2 se han relacionado con los principales desastres de contaminación del aire, del tipo de los que han tenido lugar en grandes ciudades que causaron numerosas muertes. Los óxidos importantes del azufre son el bióxido de azufre, SO_2 , y el trióxido de azufre, SO_3 .

d) Compuestos que contienen nitrógeno. Los óxidos importantes de nitrógeno que se encuentran en el aire como contaminantes son el óxido de nitrógeno, NO , y el bióxido de nitrógeno, NO_2 . Los dos son producidos por cualquier proceso de combustión que tenga lugar en el aire. Así pues, el gas de escape de los autos constituye una fuente significativa de óxido de nitrógeno.

e) Ozono y oxidantes. El ozono, O_3 , se encuentra en cierto grado en el aire "normal", pero, en concentraciones mayores, es una sustancia tóxica. La concentración máxima permisible para los trabajadores industriales sanos en una jornada de ocho horas, es de 0.1 ppm.

- Contaminación por partículas.

a) Partículas viables. Estas comprenden los granos de polen, microorganismos como las bacterias, los hongos, los mohos o las esporas, e insectos o partes de insectos.

b) Partículas no viables. Este grupo comprende una gran cantidad de materiales, algunos de fuentes naturales y otros resultantes de actividades del hombre. Los materiales naturales

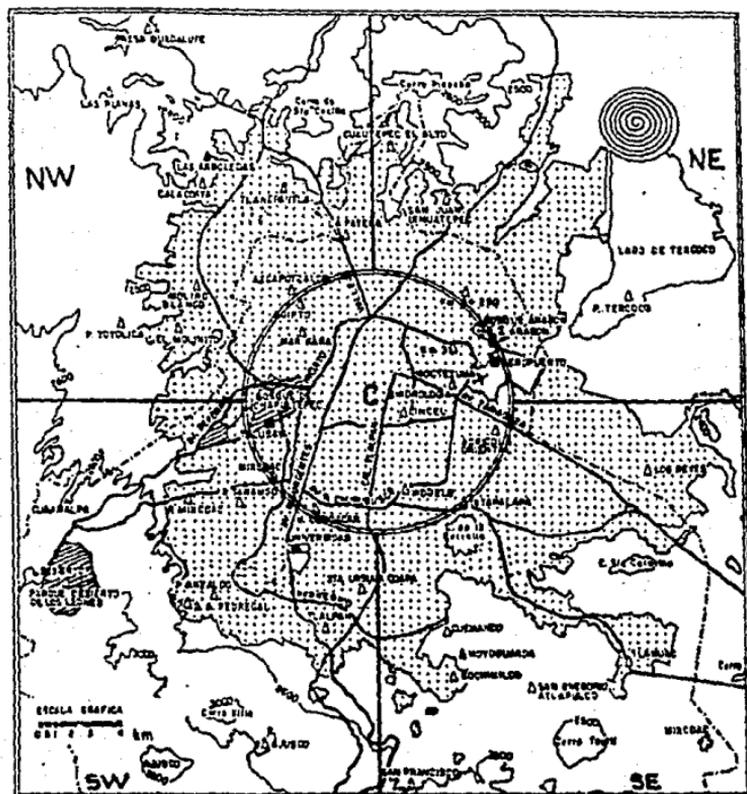
incluyen la arena y partículas de tierra, gotitas saladas cerca de la orilla del mar, polvo volcánico e inclusive partículas de origen extraterrestre, los contaminantes en partículas producidas por el hombre incluyen tanto materia orgánica, como inorgánica. Una gran parte de la materia orgánica en partículas en forma de humo proveniente de la combustión de carbón, petróleo, madera y basura. La materia inorgánica en partículas proviene en gran parte de las actividades metalúrgicas, de las industrias productoras de mineral no metálico, de la manufactura química inorgánica y del plomo utilizado en la gasolina.

La contaminación atmosférica ha alcanzado niveles peligrosos para la salud de los habitantes de la Ciudad de México, se respira una excesiva concentración de gases y partículas cuyos efectos pueden sentirse diariamente en ojos, piel y vías respiratorias.

7. LA CIRCULACION DEL VIENTO SUPERFICIAL Y LA
CONCENTRACION DE CONTAMINANTES ATMOSFERICOS EN LA CIUDAD DE
MEXICO.

Para el estudio de la Ciudad de México se ha utilizado una red de estaciones que representan de manera numérica la calidad del aire, IMECA (Índice metropolitano de calidad del aire), la cual proporciona información a la población acerca de los niveles de contaminación atmosférica a los que está expuesta. Se ha dividido a la ciudad en cinco zonas, (SEDUE) que cuentan con un determinado número de estaciones, y son: centro, noroeste, noreste, suroeste y sureste, siendo el norte el que cuenta con un mayor número de estas por ser el más industrializado. Las estaciones para las cuales se obtuvieron datos del año 1982 son:

Museo.....Mu	Lomas.....Lo
Xalostoc.....Xa	Portales.....Po
Villa.....Vi	
La Patera.....LP	
Cuchilla del T.....Cu	
Mariano Escobedo.....ME	
Sra. Hacienda.....Ha	
Texcoco.....Tx	
Vicentina.....Vc	
Nezahualcoyotl.....Nz	
Aeropuerto.....Ap	
Felipe Angeles.....FA	



Zonas en que se divide la Ciudad de México, dada su extensión, a fin de reportar los valores IMECA:

- NW - Noroeste
- NE - Noreste
- SW - Suroeste
- SE - Sureste
- C - Centro

Los datos que se trabajaron correspondientes al año 1982, son de carácter mensual, por lo que se tratarán por épocas de sequía y de lluvia.

Antes de comenzar a establecer la relación existente entre el viento superficial y la concentración de contaminantes, es necesario dar a conocer las normas de calidad del aire establecidas por la Environmental Protection Agency, las cuales sirven para determinar las características del aire que se está respirando:

	I	PST ₃ µg/m ³	SO ₂ 24 ^{hrs.} µg/m ³	CO 8 hrs. µg/m ³	O ₃ 1 ^{hrs.} µg/m ³	NO ₂ 1 ^{hrs.} µg/m ³
norma (periodo corto)	100	260	365	10	160	-
nivel de alerta	200	375	800	17	400	1130
nivel de precaución	300	625	1600	34	800	2260
nivel de emergencia	400	875	2100	46	1000	3000
nivel de daño sig- nificati- vo	500	1000	2620	57	1200	3750

I = Índice

Los resultados obtenidos del INECA se convierten a una escala para que la población pueda conocer si es conveniente o no realizar actividades al aire libre y los posibles peligros a que está expuesta.

Indice:	Significa:
0 a 50	Muy favorable, se pueden realizar todo tipo de actividades.
50 a 100	Satisfactorio. Favorable para realizar todo tipo de actividades.
101 a 200	No satisfactorio. Pequeñas molestias en personas sensibles.
201 a 300	Malo. Presentan mayores molestias personas con padecimientos respiratorios y cardiovasculares. Aparición de algunas molestias en personas menos sensibles.
300 a 500	Muy malo. Intolerancia al ejercicio de la población en general.

La SEDUE (Sria. de Desarrollo Urbano y Ecología) en su Informe sobre el estado del medio ambiente en México, 1986, establece un criterio sobre estos contaminantes como promedios diarios u horarios máximos que pueden tolerar los habitantes de la ciudad:

Contaminante	Criterios para evaluar la calidad del aire.
PST (Partículas totales de polvo en suspensión)	Un promedio diario de 275 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
SO ₂ (Dióxido de Azufre)	Un promedio diario de 340 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.13 ppm)
O ₃ (Ozono)	Un promedio horario máximo de 216 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.11 ppm)
CO (Monóxido de Carbono)	Promedio en 8 horas de 13 ppm
NO ₂ (Dióxido de Nitrógeno)	Promedio horario máximo de 395 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.21 ppm)
Plomo	Criterio recomendable 1.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante tres meses.
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ - Microgramos por metro cúbico. ppm - Partes por millón.

Estos niveles variarán a lo largo del año, como se mostrará mas adelante en los mapas, debido a la influencia de la inversión térmica, a los vientos y a la presencia o no de lluvias.

7.1 CONTAMINANTE PST, PARTICULAS TOTALES DE POLVO EN SUSPENSION

Temporada de sequía:

Las concentraciones máximas de PST en la Ciudad de México y zonas suburbanas, se encuentran principalmente al noreste, siendo la estación Xalostoc (Xa) poseedora del más alto nivel disminuyendo conforme se pasa al oeste y suroeste donde se encuentran los valores mínimos. El noreste rebasa la norma de $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$ alcanzando un máximo en el mes de enero con $958 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como se puede apreciar en la tabla de valores para PST, disminuyendo hasta $373 \mu\text{g}/\text{m}^3$ que es el mínimo registrado en la estación Lomas (Lo).

Esta alta concentración prevalece a lo largo del año, casi siempre superando la norma, pero es más elevada durante la época de sequía como puede observarse en los meses de enero a abril, noviembre y diciembre donde los valores en la zona noreste superan los $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la tabla correspondiente al contaminante PST. Haciendo una relación con los vientos imperantes en ese momento, los polvos se manifiestan principalmente en la zona noreste, y aunque no se tienen datos horarios ni diarios de contaminación, puede observarse con los datos mensuales la alta concentración que puede deberse a la ausencia de lluvias y a la circulación proveniente del suroeste (viento seco), lo cual ayuda a que este contaminante se establezca en esa zona la cual, además, es su fuente de origen.

Temporada de lluvias:

Durante la época lluviosa (mayo a octubre), la concentración de PST se sigue dando en la zona noreste aunque pueden observarse varias diferencias en comparación a la temporada de sequía. Los niveles en la zona noreste, la más afectada, disminuyen considerablemente hasta los 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, disipándose hacia el oeste y sureste con valores menores a 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Esto indica cómo la presencia de los vientos provenientes del noreste, los vientos Alisios, son determinantes en la disminución de los índices de PST ya que además de la circulación que tienen sobre el valle, las lluvias que estos vientos llevan consigo, abaten las grandes cantidades de polvo que se generan en la zona donde se localiza la estación Xalostoc, la cual registra los números más elevados durante todo el año. (fig. 2)

Es posible que en los últimos años, a partir de 1982, las características hayan podido variar aunque sea mínimamente, con el funcionamiento del proyecto "Lago Nabor Carrillo" localizado en la principal fuente de polvo, ayudando la repastización y la humedad a que el viento arastre menor cantidad de partículas hacia la ciudad, disminuyendo de alguna manera el número de tolvaneras (tormentas de polvo) o bien su intensidad (visibilidad a 1 m de distancia).

CONCENTRACION MEDIA MENSUAL POR ESTACION
 RED MANUAL DE MONITOREO ATMOSFERICO
 VALLE DE MEXICO

CONTAMINANTE: P.S.T ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
 AÑO: 1982

ESTACION	HU	XA	YI	L.I.	Ca	H.P.	S.H.	Tx	Vc	Nt	Ap	F.A.	Po	Lo	C.P.E	X	%	
ENERO	433	958	436	706	487	529	276	---	509	674	412	442	403	376	6401	310.8	13.2	
FEBRERO	351	831	482	643	496	488	281	365	505	591	451	393	339	182	6418	458.4	12.2	
MARZO	326	770	345	438	388	381	310	356	377	508	343	289	303	259	5394	385.3	10.2	
ABRIL	282	545	422	506	---	324	283	260	333	446	384	282	255	213	4537	349.0	9.2	
MAYO	198	428	249	257	317	259	219	287	256	271	287	177	214	165	3584	256.0	7.1	
JUNIO	178	470	236	260	167	220	172	253	199	255	188	187	136	109	2980	213.2	5.6	
JULIO	162	409	195	116	220	178	153	205	132	170	177	90	98	79	2411	172.2	4.6	
AGOSTO	172	404	200	118	214	190	160	233	263	225	182	134	132	81	2708	193.4	5.1	
SEPTIEMBRE	220	379	206	216	219	197	169	248	210	234	177	151	149	96	2871	205.0	5.4	
OCTUBRE	186	439	208	224	211	198	169	201	176	226	187	152	143	139	2920	209.5	5.6	
NOVIEMBRE	361	631	352	532	479	300	271	395	375	480	397	283	244	194	172	5306	379.0	10.2
DICIEMBRE	281	459	280	359	524	339	253	259	313	473	346	303	180	---	108	4369	336.0	9.2

Temporada de lluvias:

Abarca los meses de mayo a octubre, caracterizada por la presencia de los vientos Alisios y por lo tanto de lluvias de verano. Los índices de concentración de SO₂ son menos elevados durante esta época por la presencia de las lluvias que abaten considerablemente los niveles de contaminantes, aunque las cifras más representativas se sigan registrando en la zona centro de la ciudad.

Las líneas que unen puntos de igual concentración de contaminantes se encuentran menos cerradas y menos cercanas unas de otras, además se ejerce una menor atracción del viento hacia la zona centro pues la isla de calor no siempre se genera en esta época, por la existencia de las lluvias.

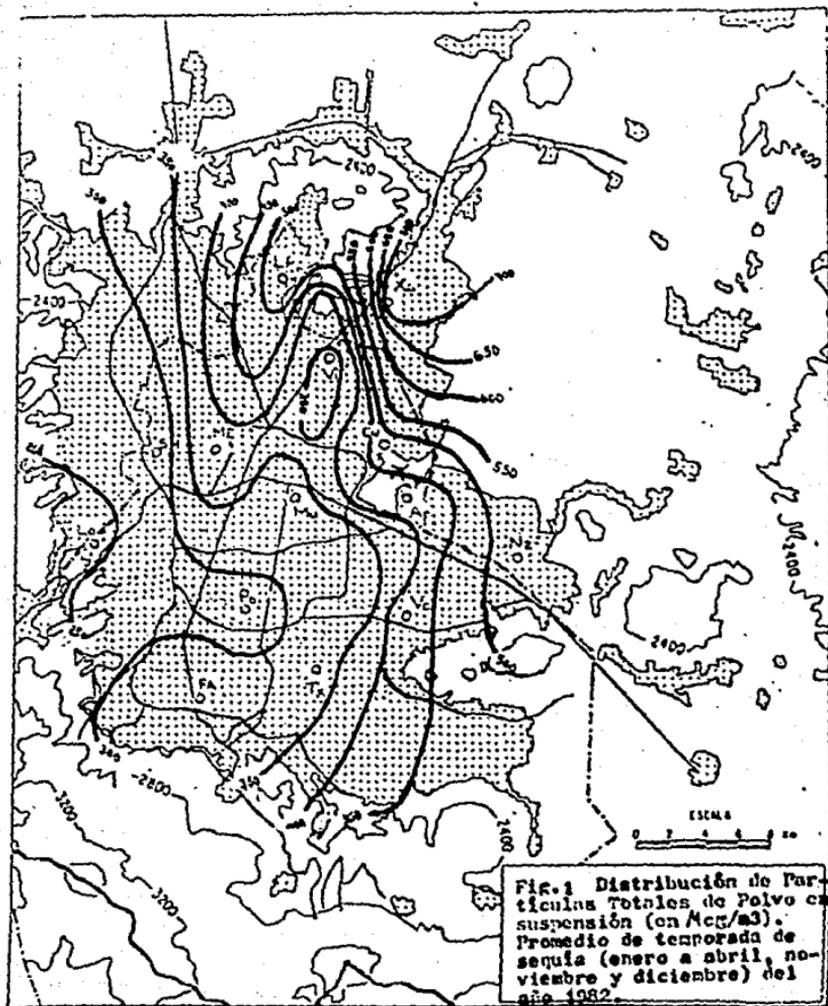
La circulación de tipo anabático (del valle a las montañas) debe durar más que la catabática (de la montaña al valle) dada la mayor duración del día, lo cual ayuda a la desconcentración de los contaminantes aunque no los dispersa totalmente.

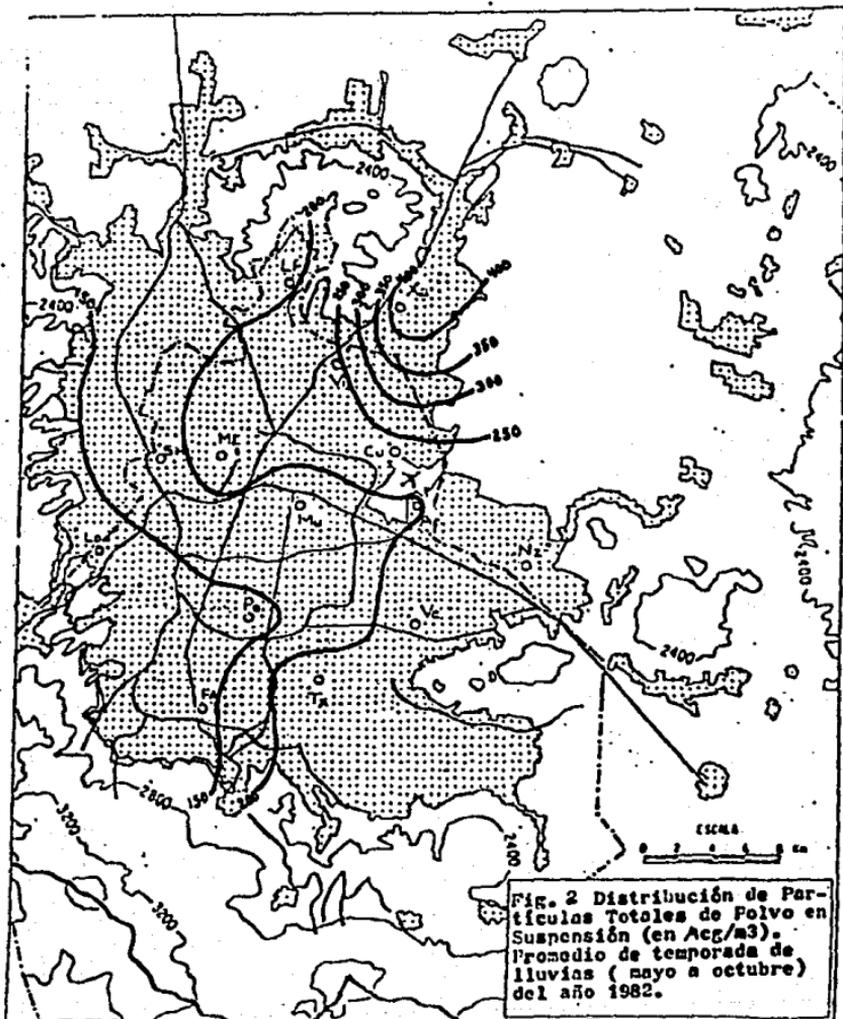
CONCENTRACION MEDIA MENSUAL POR ESTACION
 RED NACIONAL DE MONITOREO ATMOSFERICO
 VALLE DE MEXICO

CONTAMINANTE: SO₂ (µg/m³)

AÑO: 1982

ESTACION ES	NU	XA	V1	L.P.	Cu	H.E.	S.H.	Tx	Ve	Nt	Ap	F.A.	Po	Lo	CFE	Σ		
																Σ	X	%
ENERO	240	169	164	92	58	322	502	---	72	68	96	224	155	113	2283	175.6	19.0	
FEBRERO	152	153	150	60	88	207	01	68	55	32	56	105	107	26	1339	95.6	10.0	
MARZO	241	129	146	54	62	206	121	63	77	42	66	77	87	---	1301	100.0	10.0	
ABRIL	82	86	82	83	---	133	86	80	52	58	64	74	136	27	1043	80.2	8.7	
MAYO	71	68	59	80	78	123	85	71	17	30	47	46	89	15	879	62.7	6.8	
JUNIO	79	70	56	104	---	33	34	34	34	12	---	25	39	14	534	44.5	4.8	
JULIO	96	83	45	14	22	71	71	41	18	22	18	26	32	53	609	43.5	4.7	
AGOSTO	111	111	43	53	11	118	72	58	34	14	113	44	85	23	890	63.5	6.0	
SEPTIEMBRE	118	65	51	32	18	70	64	62	36	---	24	32	77	17	666	51.2	5.5	
OCTUBRE	88	53	34	17	7	111	88	51	29	38	24	36	81	29	686	49.0	5.3	
NOVIEMBRE	225	86	---	72	10	185	138	114	65	29	32	40	137	60	33	1203	92.5	10.0
DICIEMBRE	105	46	66	29	33	124	57	45	29	28	73	52	89	---	48	776	59.6	6.4





7.2 CONTAMINANTE SO₂, BÍOXIDO DE AZUFRE.

Temporada de sequía:

Durante esta temporada (enero a abril, noviembre y diciembre), los índices suelen ser bastante elevados teniendo su principal concentración en la zona centro, estación Mariano Escobedo (ME), con valores superiores a los 160 µg/m³, disminuyendo en todas direcciones hasta llegar a los 60 µg/m³. Aunque estas cifras indican que permanece dentro de la norma, hay que tomar en cuenta que se está trabajando con un promedio de seis meses, si se observa la tabla de datos de SO₂ se pueden encontrar estaciones que registran 322 µg/m³ (est. ME) o 502 µg/m³ en el mes de enero (est. SH) la cual, supera la norma ubicándose en el nivel de alerta.

Al observar el mapa correspondiente , fig. 3, la disposición de las líneas es de manera concéntrica y muy cercanas unas de otras. Debido a la ausencia de lluvias, esta época registra índices más elevados además de la influencia que ejercen la inversión térmica y la posible formación de la isla de calor. En la temporada invernal, al ser las noches más largas que los días, la circulación catabática tiene un efecto más prolongado, viento que se dirige de las montañas hacia el valle, en este caso hacia la ciudad que además de estar localizada en la base del valle, posee una mayor temperatura ocasionando una circulación centripeta, movilizandolos hacia esa zona para depositarlos en una capa estable sobre la superficie.

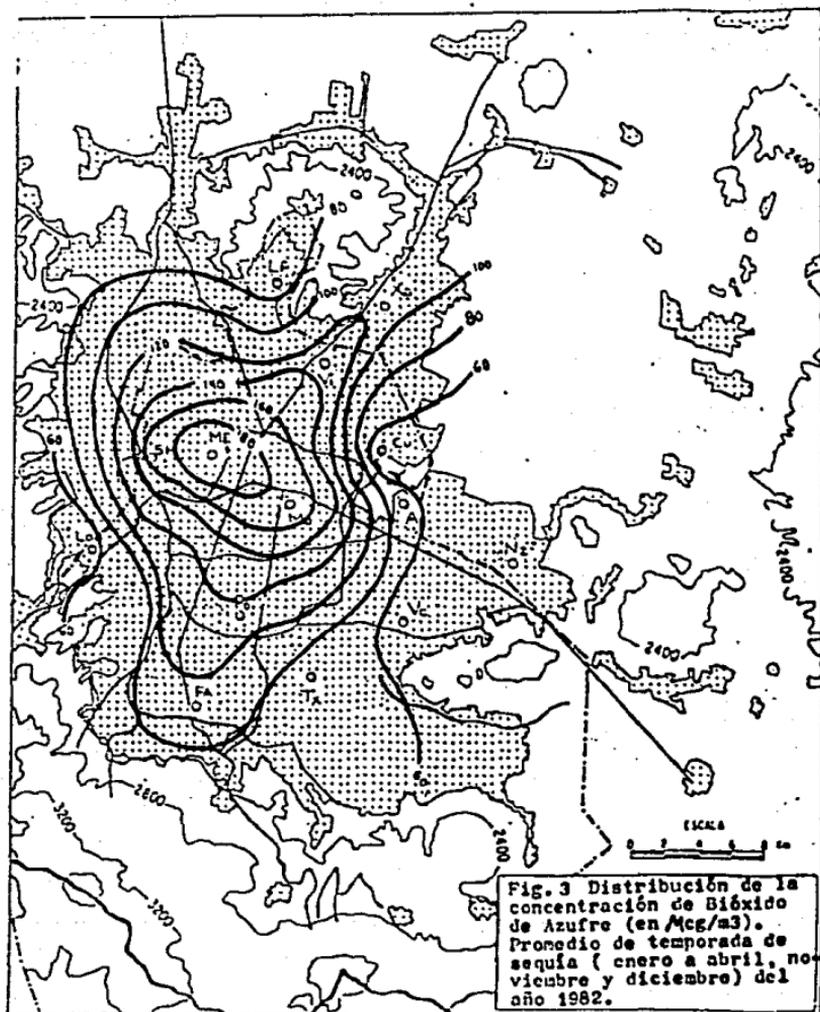


Fig. 3 Distribución de la concentración de Dióxido de Azufre (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Período de temporada de sequía (enero a abril, noviembre y diciembre) del año 1982.

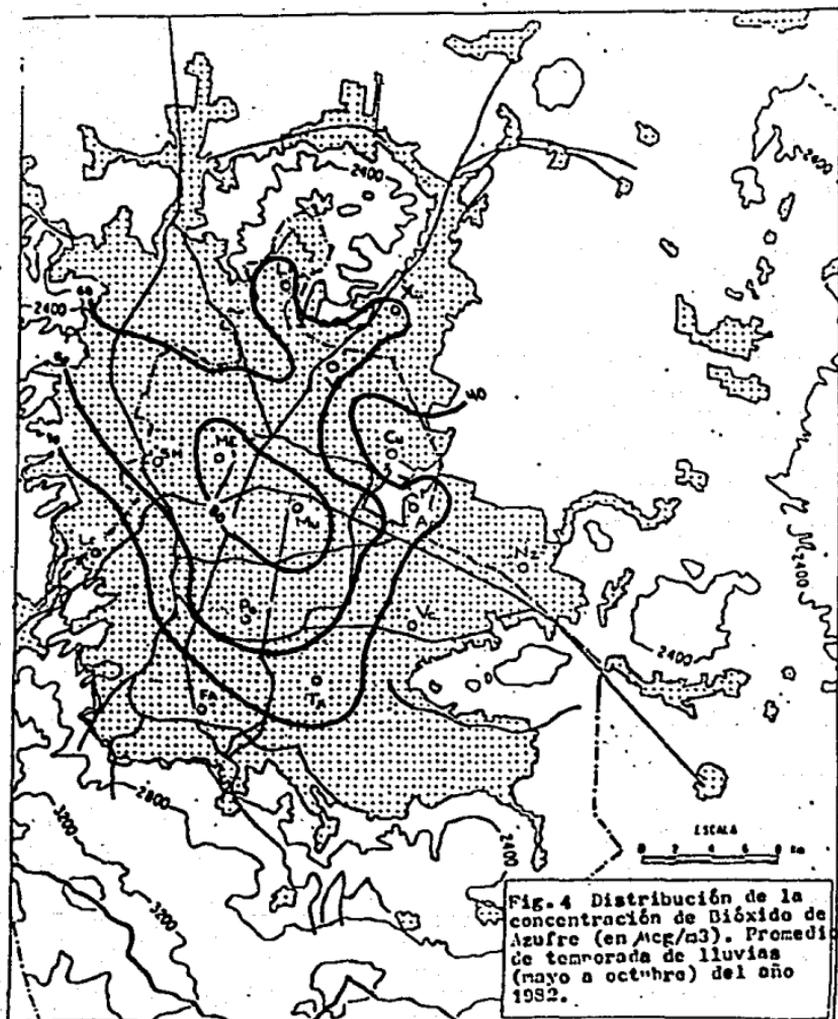


Fig. 4 Distribución de la concentración de Dióxido de Azufre (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Promedio de temporada de lluvias (mayo a octubre) del año 1982.

7.3 CONTAMINANTE O3, OZONO.

Contaminante cuya presencia es casi permanente en el medio que se respira en el centro y sur de la Ciudad de México, sus índices varían a lo largo del día y también el transcurso de las estaciones del año. Sus efectos sobre el ser humano han sido descritos anteriormente, al igual los índices que según la norma son considerados peligrosos.

Los datos obtenidos para ozono pertenecen al año 1986 a diferencia de los otros contaminantes y de los datos de viento trabajados para el año 1982. Además fueron tratados en partes por millón, por lo que se hace necesario establecer la equivalencia entre el índice, microgramos por metro cúbico y las partes por millón:

Índice	µcg/m ³ (1 hr.)	ppm (1 hr.)
100 norma	160	0.08
200 nivel de alerta	400	0.20
300 nivel de precaución	800	0.40
400 nivel de emergencia	1000	0.50
500 nivel daño significativo	1200	0.60

Únicamente se trató de esquematizar de manera precisa la principal ubicación del contaminante sobre la ciudad en la época que se considera más peligrosa por la escasez de lluvias y la gran cantidad de insolación existente en época de invierno-primavera, ya que el ozono se presenta en presencia de la radiación solar, manifestándose el periodo más crítico alrededor de las 15 hrs., aproximadamente.

El resultado que se muestra en el mapa de la Ciudad de México (fig. 5) es el promedio de los meses de enero a abril, noviembre y diciembre del año 1986 que representan la temporada de sequía y la predominancia de el sistema de vientos del Oeste, los cuales actúan en el movimiento de la atmósfera superficial al igual que los vientos de tipo local, anabáticos y katabáticos, dando como resultado una acumulación del ozono en el costado poniente de la ciudad al no tener salida, dada la topografía del lugar.

Aunque no se observó el mapa correspondiente a la temporada de lluvias (mayo a octubre) es de suponerse que la acumulación de ozono con los índices más elevados se localiza también en la misma zona poniente aunque atenuado por la nubosidad, pudiendo afirmar esto si se analiza el mapa de líneas de flujo para el mes de julio 1982 (esp. coras de viento y líneas de flujo) en específico a las 14 hrs., cuando las emisiones vehiculares de la mañana producen los gases precursores (NO e hidrocarburos) reaccionando con la radiación ultravioleta y produciendo un pico por la tarde una vez que los vientos

regionales (Alisios) han descendido hasta la superficie de la ciudad, transportando los contaminantes de noreste a sur o más localizado, hacia el suroeste.

CONCLUSIONES

La circulación de los vientos en la Cuenca de México es bastante compleja, pues aunque responde a una circulación de tipo local (anabática-catabática), se ve también afectada por sistemas más grandes que modifican esta circulación o bien pueden incluso hasta desaparecerla.

Sin embargo, los patrones de flujo del aire superficial en la Cuenca de México son el resultado de la interacción de tres tipos principales de circulación, que son:

- 1) los vientos locales originados por la existencia del valle o cuenca, de tipo topográfico.
- 2) los vientos que ocasiona la presencia del gran núcleo urbano que es la Ciudad de México con motivo de la isla de calor.
- 3) los grandes sistemas de vientos regionales o sinópticos como son los Vientos del Oeste y los Vientos Alisios.

El análisis de la dirección del viento por bloques de horas representados por las rosas de vientos de cada estación anemométrica ubicadas en distintos puntos de la ciudad y de sus alrededores, dió como resultado la clasificación de dos periodos principales de circulación del viento a lo largo del día, con características diferentes dada la interacción de los tipos de circulación presentes por ser un valle, por la presencia de la Ciudad de México y por la influencia de los sistemas sinópticos según la época del año.

Estos periodos son:

a) nocturno y matutino, donde el viento local de montaña a valle (catabático) es el principal, contribuyendo a la formación de una capa de aire estable sobre el fondo del valle, manifestándose también esta circulación convergente gracias a la presencia de la isla de calor ocasionada por la diferencia de temperaturas entre la ciudad y sus alrededores sobretodo en temporada de sequia o invernal.

b) vespertino, en donde se puede llegar a apreciar la circulación local anabática del valle a la montaña cuando los vientos regionales aún no están completamente definidos, si bien por lo general, estos grandes sistemas sinópticos predominan durante el periodo vespertino hasta que anochece, para dar paso entonces a la circulación de tipo local nuevamente.

Los mapas de líneas de flujo ejemplifican de manera clara la existencia de estos dos periodos principales de circulación.

Además de conocer la dirección del viento o los vientos predominantes, ha sido interesante analizar de igual manera la intensidad con que estos soplan, sobretodo si se toma en cuenta la presencia de los contaminantes atmosféricos, lo cual dió como resultado un distinto comportamiento de la intensidad del viento a lo largo del día, y en algunas estaciones anemométricas también a lo largo del año.

En general se puede apreciar una muy baja intensidad en las primeras horas de la mañana, alrededor de 1 m/s y un cambio total en las horas vespertinas, donde se tomó a las 18 hrs como representativa registrando intensidades hasta de 5 m/s.

En cuanto a la diferencia estacional, meses representativos enero y julio, en todas las estaciones anemométricas se observó una mayor intensidad en el mes lluvioso sobretodo en horas vespertinas, lo cual puede indicar una mayor turbulencia del viento regional de los Alisios en comparación con el sistema de Vientos del Oeste, predominantes en la temporada de sequía, sin embargo, estos resultados corresponden al análisis de únicamente el año 1982 y de manera promediada, lo cual impide afirmar categóricamente que la estación lluviosa sea siempre más intensa en cuanto a vientos que la de sequía, pues es en esta última cuando se presentan las mayores intensidades en el viento aunque de forma aislada, que al promediar con los demás días en calma, da como resultado una intensidad promedio menor que la de la época lluviosa.

Los altos niveles de contaminación guardan estrecha relación, o mejor dicho dependencia, con la dirección e intensidad del viento antes descritas, por lo que el conocimiento del comportamiento de la capa atmosférica superficial sobre la Cuenca de México indica como se lleva a cabo el transporte de los contaminantes atmosféricos, habiéndose estudiado Partículas Totales de Polvo en Suspensión (PST), Dióxido de Azufre (SO₂) y Ozono (O₃) durante

las temporadas de sequía y lluvias de 1982, excepción hecha al ozono donde se trabajó el año 1986.

Los índices de contaminación comparando las dos temporadas de sequía y lluvia, observan una diferencia substancial, lo cual coloca a los meses lluviosos, por la influencia de los Vientos Alisios, como favorables para la salud de los habitantes de la Ciudad de México pues traen las lluvias que lavan parcialmente el aire.

Sin embargo, la relación específica de circulación del aire con el movimiento de los contaminantes no pudo mostrarse en mapas dada la dificultad para obtener datos horarios de los distintos gases y partículas para 1982, no se logró hacer coincidir los resultados horarios en vientos con lo obtenido en contaminación por lo que se intentó hacer una relación de manera "indirecta", deduciendo el posible movimiento de los contaminantes a partir de la circulación superficial del aire, y sobretodo, por la benéfica presencia de las lluvias traídas por los Vientos Alisios. Los contaminantes se encuentran presentes siempre en la atmósfera, solo que algunas veces se concentran en ciertos lugares específicos y otras los niveles se abaten por la presencia de lluvias que lavan la atmósfera o bien por la presencia de fuertes vientos que los dispersan.

BIBLIOGRAFIA

- AMERICAN Met. Soc. Compendium of Meteorology. Boston, Mass. 1951.
- BARCENA, M. El clima de la Ciudad de México. Breve reseña. Oficina Tip. de la Sria. de Fomento. México, 1893.
- BARRADAS, V.L. y Seres, R.J. "Los pulmones urbanos". Ciencia y Desarrollo. México D.F. Conacyt, enero-febrero. núm. 78, año XIII, 1968.
- BARRY, R.G. Atmósfera, tiempo y clima. Barcelona, ed. Omega, 1972.
- DURAND-DASTES, F. Climatología. Barcelona, Ed. Ariel, colec. Elcano "La Geografía y sus problemas". España 1972.
- GARCIA, Enriqueta. Nuevo Atlas Porrúa de la República Mexicana. Ed. Porrúa, Mex. 1977.
- GIRON, H.E. "El cielo de mi ciudad" Información Científica y Tecnológica. México, D.F. Conacyt, 1984.
- GOMEZ Rojas, J.C. "El clima de la Ciudad de México" Notas de Investigación, Col. de Geografía. Cuaderno No. 1. México D.F. 1989.
- JAUREGUI, O. E. "Local wind and air pollution interaction in the Mexico Basin" Atmósfera I. UNAM 1988.
- JAUREGUI, O. E. "Mesoclina y Bioclina del Valle de México". Publicaciones del Instituto de

Geografía. Vol. I UNAM 1965.

JAUREGUI, O. E. "The urban climate of Mexico City" Urban Climatology and it's applications with especial regard to tropical areas. OMM, 1973.

MORENO, Roberto. Joaquín Velázquez de León y sus trabajos científicos sobre el Valle de México, 1773-1775. UNAM 1977.

OCAMPO, Z.M., "Inversión Térmica y Contaminación" Información Científica y Tecnológica. México D.F. Conacyt, 1986.

OKE, T.R. Boundary layer climates. Londres, Melhuen. "A Halsted press book" 1978.

ROSS, R. La industria y la contaminación del aire. México, Ed. Diana, 1974.

SEDUE. Informe sobre el estado del medio ambiente en México. Contaminación. Aspectos Ambientales. Mex. 1986.

SOMOLINOS, D'Ardois, G. La primera expedición científica en América. SEP-Setentas. 1971.

STURMAN, A.P. "Thermal influences on airflow in mountainous terrain" Progress in Physical Geography. Vol. II 1987.

TURK, A. Ecología, Contaminación, Medio Ambiente. México, D.F. Ed. Interamericana, 1982.

YOSHINO, M.M. "Orographically-induced atmospheric circulation". Progress in Physical Geography. Vol. 5, 1981.

CARTAS

SPP, Carta Topográfica Cd. de Mexico. E14 2, 1:250 000.

**GARCIA, Enriqueta, Mapa Cuenca de México, Nvo. Atlas
Porrúa de la Rep. Mexicana.**

**SEDUE, Mapa de zonas en la Ciudad de Mexico para efecto de
contaminación , IMECA.**

**SRIA, de la Presidencia, Mapa climático de México,
1:500 000.**