

VARIACIONES DE LARGO PERIODO DE LA VISIBILIDAD EN LA CIUDAD DE MEXICO

E. JAUREGUI O.*

(Recibido: 11 de junio, 1982)

(Aceptado: 5 de julio, 1983)

RESUMEN

Se examinan las variaciones de largo periodo de la visibilidad horizontal en dirección del centro de la Ciudad de México.

La transparencia del aire se ha deteriorado en general, en el periodo 1937-75, sin embargo, en la segunda mitad de los años setenta, se observa un incremento en la visibilidad promedio. Este aumento se debe a una disminución de la frecuencia de visibilidades malas (menores de 1 km) y a una mayor frecuencia de visibilidades regulares (de 2 a 10 km).

Este cambio coincide en general con el tiempo a partir del cual las autoridades sanitarias de la ciudad comenzaron a tomar medidas para controlar y reducir las emisiones de contaminantes del aire.

ABSTRACT

Visibility data for a 43 year period is used to determine changes in the transparency of air in Mexico City. On the average a general decrease in visibility is observed. During the 1940's average visibilities (at noon) were from 4 to 10 km decreasing steadily to 1 to 2 km up to the first half of the seventies. However, the five year average variation of visibility for the second half of the seventies shows a marked increase. When five year average frequency of various visibility categories was determined, a significant decrease in the frequency of low (bad) visibilities during the 1975-79 period was observed. Also, an increase in the frequency of intermediate (1 to 10 km) visibilities was noted for the above mentioned period. The observed changes in visibility toward a better air quality, could be related to actions taken by sanitation authorities in reducing pollution.

* *Instituto de Geografía, UNAM, 04510, México, D. F., MEXICO.*

INTRODUCCION

Las partículas muy finas de polvo, así como los aerosoles que flotan en el aire de las ciudades, son los contaminantes más persistentes debido a su estabilidad y a su velocidad de caída casi despreciable. Es sabido que estas partículas finas en suspensión producen (junto con otros gases) la bruma urbana (smog) reduciendo la transparencia del aire.

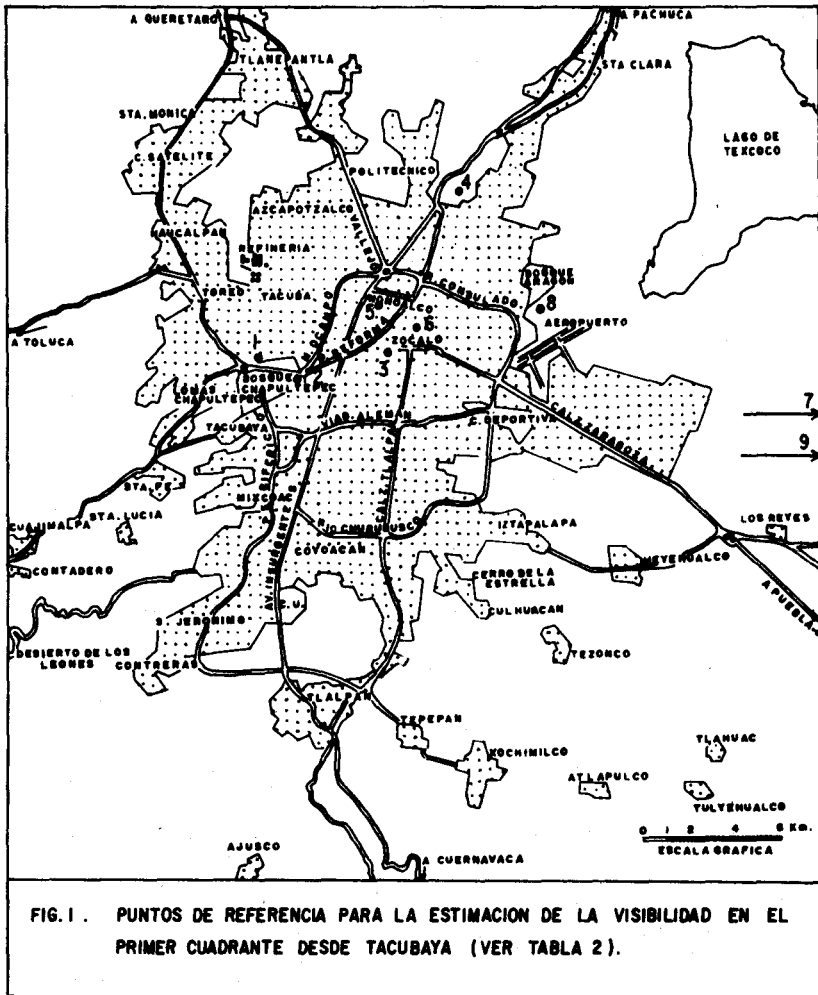
En ocasiones la disminución de la visibilidad se usa, en forma cualitativa, para juzgar el grado de contaminación atmosférica. En un trabajo anterior (Jáuregui, 1969) se examinaron las variaciones de la transparencia del aire, ocurridas hasta el año 1967 en Tacubaya.

En el presente estudio se utilizan los datos de visibilidad del aire observados en Tacubaya, desde la década de los años treinta para examinar las variaciones ocurridas desde entonces hasta el presente y en esta forma poder juzgar si los cambios observados en los últimos años se pueden atribuir a las acciones tomadas por las autoridades sanitarias, para reducir en general las emisiones (vehiculares e industriales) hacia la atmósfera urbana de la Ciudad de México.

LA VISIBILIDAD Y LA TURBIEDAD DEL AIRE

La *visibilidad* se define como la mayor distancia en una dirección dada, en la cual puede distinguirse un objeto oscuro prominente contra el horizonte. La *visibilidad predominante* es aquella que prevalece en más de la mitad del horizonte (Hueschke, 1959).

Las partículas suspendidas en el aire reducen la visibilidad al dispersar y absorber la luz que viene de un objeto y de su fondo, aminorando el contraste entre ambos. Por otra parte, las partículas en suspensión dispersan la luz en la trayectoria de la visual, iluminando el aire a lo largo de ésta y, en consecuencia, disminuyendo el contraste entre el objeto y su fondo. La dispersión de la luz en la línea de la visual tiene mayor efecto sobre la visibilidad cuando las partículas son de tamaños de 0.1 a 1 micra. Las partículas que se encuentran en esta categoría de tamaños provienen principalmente de combustiones y de aerosoles fotoquímicos (Air Quality Criteria for Particulate Matter, 1971). Asimismo este rango de tamaños de partículas queda comprendido dentro de los tamaños llamados *respirables* (el rango completo va de 0.1 a 5-10 micras, Suess, 1979) por lo que no tan solo es significativo en la reducción de la visibilidad, sino también por los efectos desfavorables que sobre la salud tienen al penetrar profundamente en el aparato respiratorio. Algunas de estas par-



tículas que pasan del tracto respiratorio a la linfa, la sangre o el sistema gastrointestinal pueden tener efectos en otras partes del organismo.

Si se desea mayor precisión en la estimación de la visibilidad se recurre al concepto de *alcance visual*, que se define como la distancia desde un punto de observación hasta la cual el contraste entre un objeto negro y el fondo brillante tienen una relación de 0.02. Esta razón de contraste es la mínima para poder distinguir un objeto a la distancia sin ayuda óptica.

El *alcance visual* está relacionado con el coeficiente de extinción atmosférica σ (Johnson, 1954) por la relación siguiente y para una longitud de onda de 0.55μ :

$$V = \frac{\ln 0.02}{\sigma} = \frac{3.912}{\sigma}$$

en donde σ tiene dos componentes, una debida a la extinción por las moléculas de aire, σ_A , y la otra originada por la extinción por las partículas en suspensión en el aire urbano, σ_p . Sin embargo, para visibilidades de unos cuantos kilómetros como las que se observan en la ciudad de México $\sigma_p \gg \sigma_A$ y la extinción está determinada casi completamente por σ_p .

Una relación aproximada entre el alcance visual V (en km) y la concentración de partículas en suspensión G , (en micro gramos/m³) está dada por la expresión (Air Quality Criteria for Particulate Matter, 1970):

$$V \cong \frac{A \times 10^3}{G} \text{ ----- } 1)$$

donde $A = 1.2 \frac{2.4}{0.6}$, siendo 1.2 la media geométrica.

La relación anterior no es válida para humedades mayores de 70%.

Los valores de A se han obtenido empíricamente (AQCPM, 1970) de observaciones en diversas condiciones de contaminación en ciudades de los Estados Unidos.

Si aplicamos la fórmula 1 para una visibilidad de 4 km en la Ciudad de México, las concentraciones resultantes pueden variar de 150 a 600 microgramos/m³, que es una gama demasiado amplia y quizá excesiva en su límite superior.

Para determinar valores más apropiados de A a nuestro medio, en la ciudad de México se requeriría hacer observaciones simultáneas del alcance visual (por medio de un nefelómetro, por ejemplo) y de la concentración de partículas en suspensión de la fracción respirable.

LOS DATOS

Las observaciones de visibilidad se han llevado a cabo en forma rutinaria en el Observatorio de Tacubaya desde finales de la década de los años treinta. Se determina la visibilidad (cada hora del día) que prevalece en cada uno de los cuatro cuadrantes: el primero, del N al E, el segundo del E al S, el tercero del S al W y el cuarto del W al N. Para determinar la visibilidad el observador cuenta con referencias visuales a diversas distancias. Una vez estimada la visibilidad predominante en cada cuadrante (en km) la codifica, según una clave que va del 1 al 8, como sigue:

Tabla 1
Clave para codificar la visibilidad
en el Observatorio de Tacubaya

clave	km	clave	km
1	< 0.5	5	4 - 10
2	0.5 - 1.0	6	10 - 15
3	1.0 - 2.0	7	15 - 20
4	2.0 - 4.0	8	> 20

Una vez codificada la visibilidad, se anotan los cuatro números correspondientes a la observación horaria en los cuatro cuadrantes. A partir del año 1975 se abandonó el uso de la clave y la visibilidad se asienta directamente en km. Para homogeneizar los datos, este último periodo se ha traducido a la clave.

El cuadrante que se seleccionó para hacer el presente análisis fue el comprendido entre el Norte y el Este, ya que entre estas direcciones queda comprendido el centro de la ciudad, donde usualmente la nube de contaminantes es más densa (Jáuregui, 1979). Algunos de los puntos prominentes en este cuadrante son:

Tabla 2
Puntos de referencia para estimar la visibilidad desde Tacubaya
en el primer cuadrante

Punto de referencia	Distancia (km)	Dirección	Localización en figura 1
Hotel Presidente Chapultepec	2.5	N	1
Castillo de Chapultepec	2.0	NNE	2
Torre Latinoamericana	6.7	NE	3
Cerro Gachupín (La Villa)	14.0	NE	4
Torres Tlatelolco	8.0	NE	5
Catedral	7.5	ENE	6
Cerro Tlaloc	45.0	E	7
Cerro Peñón (Aeropuerto)	12.7	ENE	8
Volcán Ixtaccíhuatl	60.0	ESE	9
Palacio de los Deportes	10	E	10
Peñón del Marqués	16	E	11

La observación escogida para el análisis de visibilidad fue la correspondiente a las 10 de la mañana ya que por una parte, a esa hora la turbidez del aire debida a la concentración de partículas (fracción respiratoria) alcanza un máximo (figura 2), y

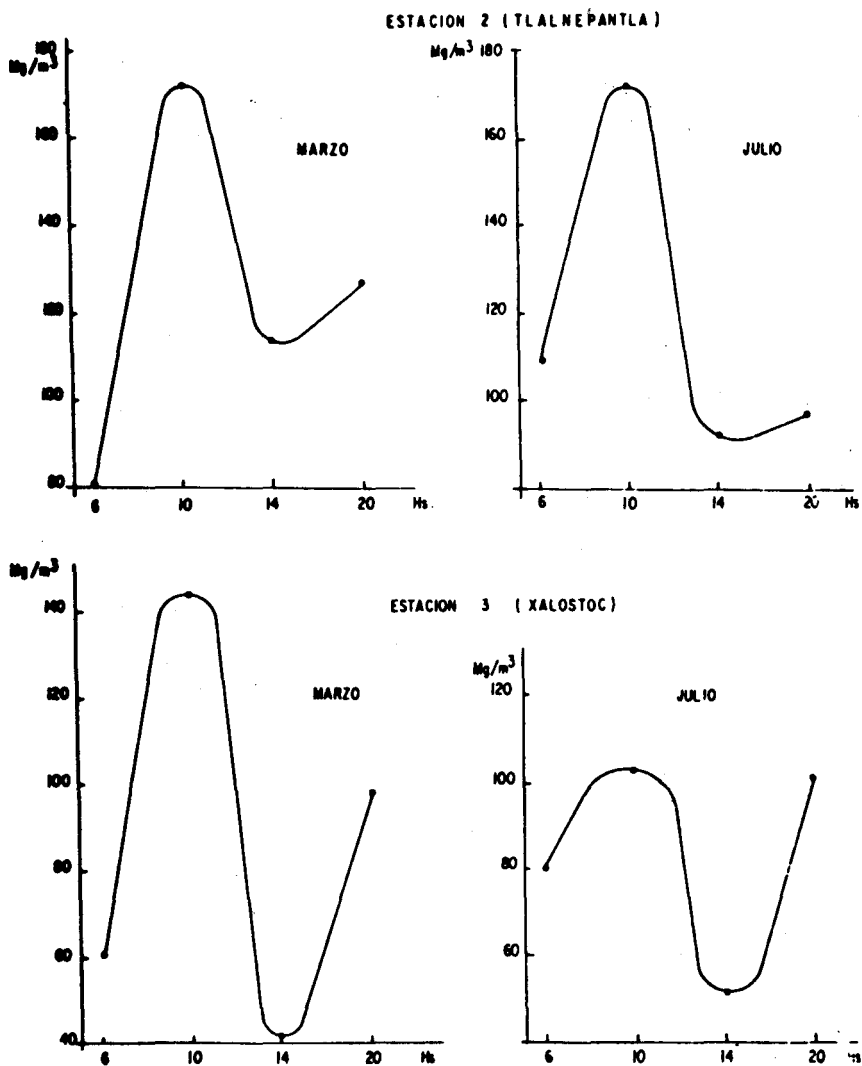


FIG. 2 VARIACION DIURNA DEL POLVO EN SUSPENSION FRACCION RESPIRATORIA EN DOS PUNTOS AL N DE LA U-
DAD (PROMEDIOS DE 10 DIAS CENTRALES DEL MES).

por otra, la humedad del aire está en general por debajo de la saturación (figura 3) de modo que no se podrían atribuir los cambios observados en la visibilidad a una mayor o menor frecuencia de nieblas. Además, a esta hora queda descartada la po-

sibilidad de que las variaciones registradas en la visibilidad se pudieran adjudicar a variaciones en la frecuencia de tolvaneras, que normalmente se presentan después del mediodía, según se aprecia en la tabla 3.

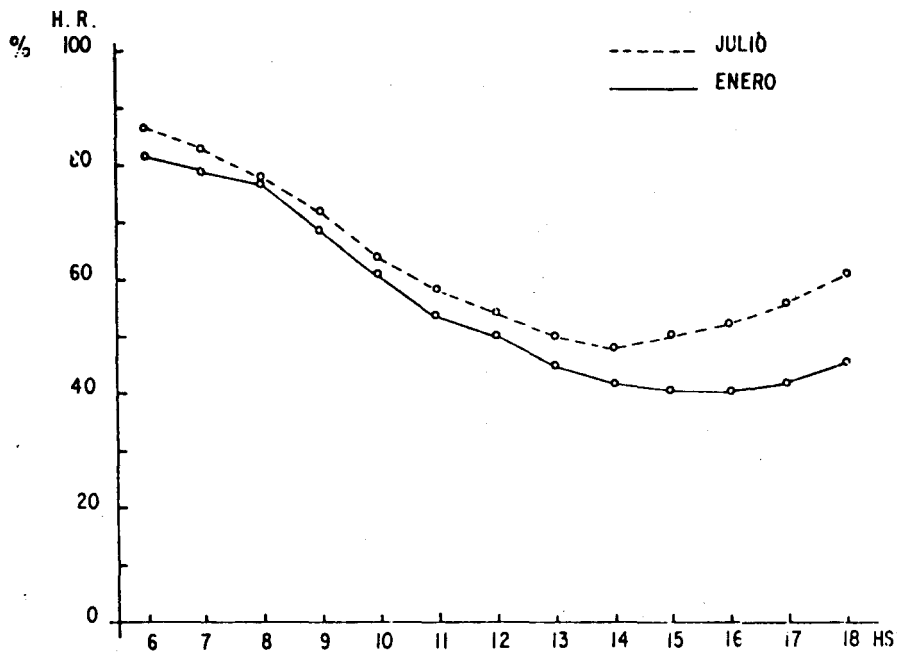


FIG. 3. HUMEDAD RELATIVA (en %) EN TACUBAYA EN ENERO Y JULIO DE 1979

Tabla 3

Frecuencia de tolvaneras observadas en Tacubaya a diversas horas del día. Periodo 1970 - 79.

Periodo del día	10-11	11-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22 hs
No. de eventos	4	9	32	70	140	58	4
Frec. (%)	1	3	10	22	44	18	1

Se advierte en la tabla 3 que más de la mitad (66%) de las tolvaneras ocurren entre las 14 y 18 hs y entre las 14 y 20 hs, se observó el 84% del total durante la década. Sólo el 1% ocurrió a las 10 de la mañana.

FLUCTUACIONES DE LA VISIBILIDAD PROMEDIO

En la figura 4 se muestran las curvas de los valores mensuales promedio de la visibilidad observada desde el Observatorio de Tacubaya, a las 10 A.M., para el periodo de 1937 a 1979. Se advierte en general una tendencia decreciente en la mayoría de los meses. Mientras que en la década de los años cuarenta la visibilidad (a las 10 am) observada era de 4 a 10 km (clave 5), para los años cincuenta había decrecido a 2-4 km (clave 4). En los años sesenta y principios de los setenta el decrecimiento continuó y las visibilidades se redujeron a 1 - 2 km (clave 3) aproximadamente.

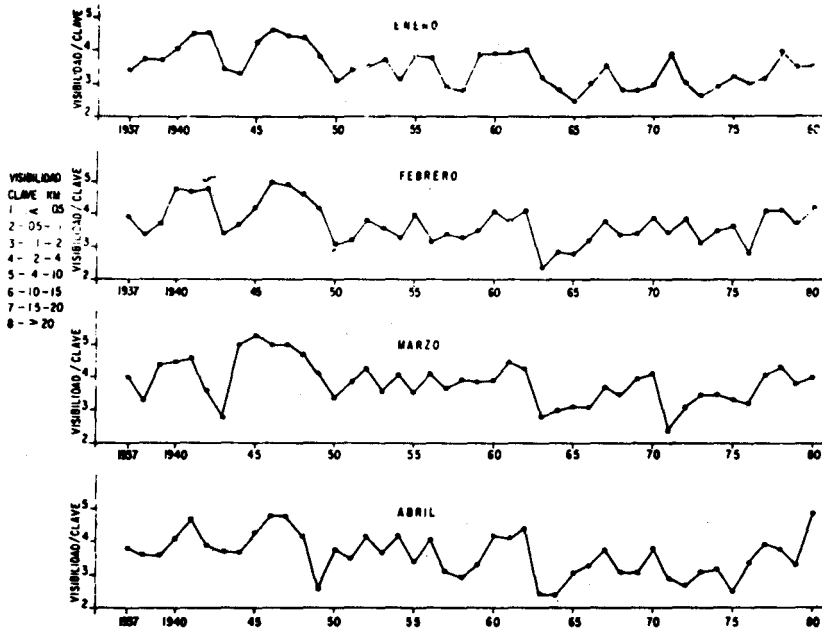


FIG 4 VISIBILIDAD EN TACUBAYA, PROMEDIO A LAS 10 HS PERIODO 1937-80.

En el segundo quinquenio de los años setentas se advierte un incremento en los valores medios de la visibilidad en casi todos los meses (excepto en el último trimestre).

Los cambios que ha sufrido la visibilidad, señalados arriba y basados en la inspección de las curvas de la figura 4, sólo pueden ser muy generales y subjetivos.

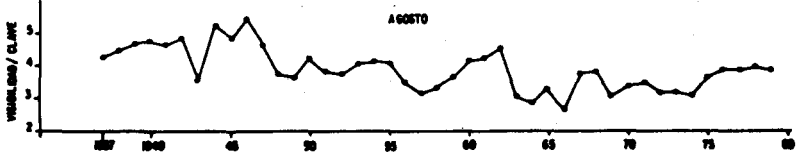
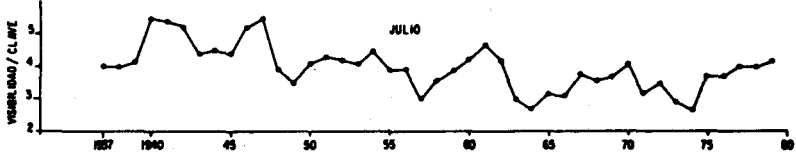
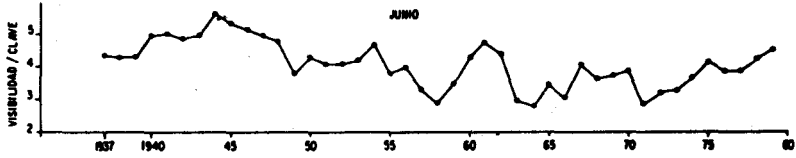
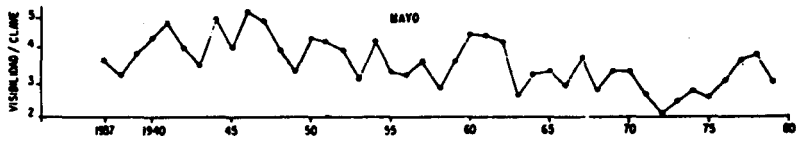


FIG. 4 (Continúa)

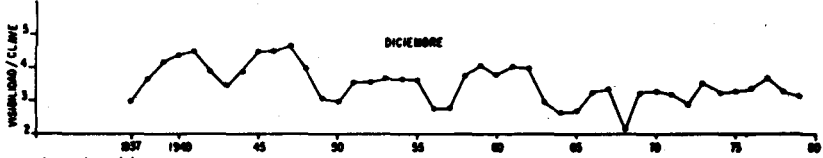
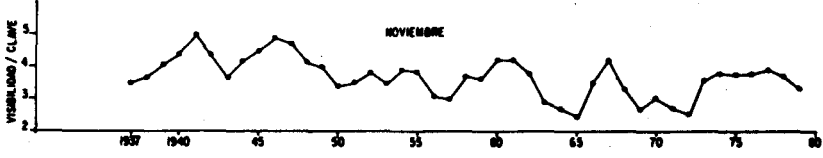
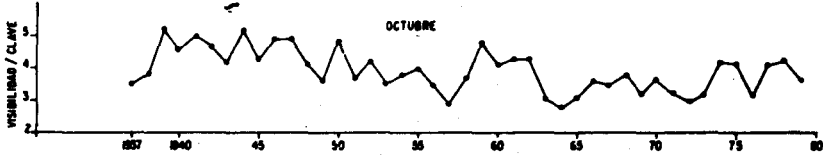
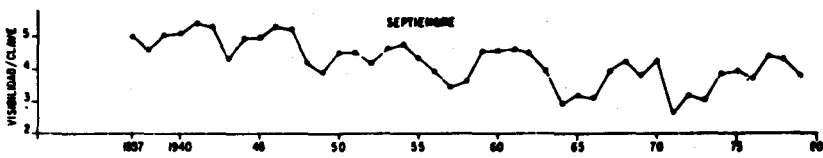


FIG. 4 (Continúa)

Con objeto de ver si se podían precisar un poco mejor los años en que se manifiestan los cambios en la serie de datos, se utilizó el método de las desviaciones acumulativas respecto al promedio. Este método consiste, como su nombre lo sugiere, en acumular las diferencias de cada valor de la visibilidad respecto al promedio para todo el periodo.

Los resultados para el mes de enero aparecen en la figura 5. En esta gráfica, se aprecia que hasta 1948 (la primera década del periodo) la visibilidad se mantuvo por arriba del promedio. La meseta entre 1949 - 1962 (con un pequeño valle al final), señala el primer cambio importante en el deterioro de la visibilidad durante la década de los años cincuenta. El quiebre de la curva entre 1963 y 1977 acusa el periodo más largo en el que la transparencia del aire continuó desmejorándose por una frecuencia creciente de valores, menores que el promedio. Finalmente a partir de 1977 se observa nuevamente un cambio de pendiente que indica el inicio de un aumento de la transparencia del aire capitalino.

Las gráficas de las desviaciones acumulativas de la visibilidad para otros meses del año fueron en general, semejantes a la del mes de enero, con excepción de los últimos meses del año.

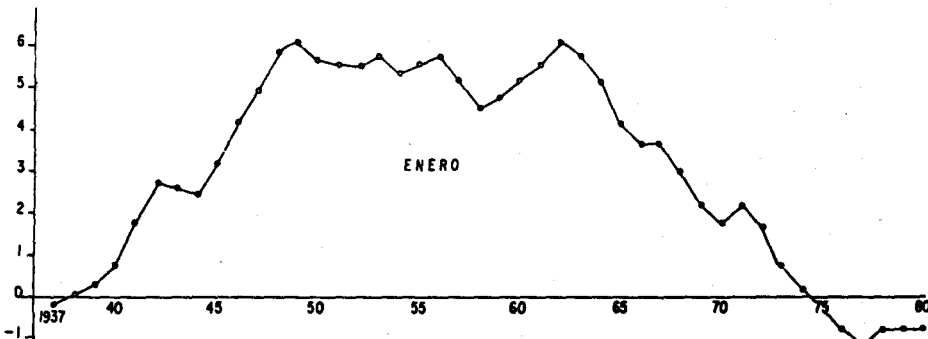


FIG. 5 DESVIACIONES CUMULATIVAS DEL PROMEDIO DE LA VISIBILIDAD A LAS 10 A.M. EN ENERO

VARIACION POR QUINQUENIOS DE LOS PROMEDIOS DE VISIBILIDAD

a) *Década de los años setenta*

De los cambios que se observaron en la curva de desviaciones acumulativas de la visibilidad de la figura 5, el más interesante es el último, ocurrido en el segundo quinquenio de los años setentas. Al comparar los dos quinquenios de esta década, los promedios de las categorías de la visibilidad en el último quinquenio resultan consistentemente mayores que los correspondientes al primer quinquenio, como se aprecia en la tabla 4.

Tabla 4

Valores promedio mensuales de las categorías de visibilidad en Tacubaya para los quinquenios 1970-74 y 1975-79

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Año
1970-1974	3.1	3.5	3.3	3.2	2.7	3.4	3.2	3.3	3.4	3.5	3.1	3.3	3.3
1975-1979	3.4	3.7	3.9	3.4	3.5	4.2	3.9	3.9	4.0	3.8	3.7	3.4	3.7
Incremento (%)	10	6	18	6	30	24	22	18	18	9	19	3	12

Los incrementos en la visibilidad del segundo quinquenio respecto al anterior varían de menos de 10% (febrero, abril, diciembre) entre 18 y 30% que son la mayoría (enero y de mayo a septiembre); el mayor incremento se registró en el mes de mayo (30%). En el promedio de todos los meses el mejoramiento de la visibilidad fue de un 12% entre los dos quinquenios.

Se aplicó la prueba t de estudiante para determinar la significancia de los incrementos observados entre los dos quinquenios.

En la mayoría de los casos las diferencias de las categorías de visibilidad mensual entre los dos quinquenios, resultaron estadísticamente significativos al nivel de 0.1%, dicho de otro modo, los aumentos de la visibilidad observados en el segundo quinquenio (respecto del primero) de los años setenta, no pueden ser atribuidos al azar.

b) *Décadas de los años cuarenta, cincuenta y sesenta*

Se podría pensar que la tendencia de la visibilidad a aumentar, observada al final de los años setenta se notó también en las décadas anteriores. Sin embargo, la tendencia de la visibilidad en dicho periodo de 30 años fue consistentemente decreciente.

Esto se aprecia en la tabla 5 donde aparecen los promedios quinquenales de la visibilidad en Tacubaya para cada mes del año, así como su variación porcentual a partir del primer quinquenio de la década de los años cuarenta.

Tabla 5

Promedios mensuales de la visibilidad en Tacubaya (10 am) por quinquenios

Quinquenio	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Año
1940-44	3.9	4.3	4.1	4.0	4.4	5.1	5.0	4.7	5.0	4.7	4.3	4.0	4.5
45-49	4.3	4.6	4.8	4.1	4.3	4.8	4.5	4.5	4.7	4.4	4.4	4.2	4.5
%	+36	+7	+17	+3	-2	-6	-10	-4	-14	-6	+2	+5	0
1950-54	3.4	3.4	3.9	3.9	4.0	4.3	4.2	4.1	4.5	4.0	3.6	3.5	3.9
55-59	3.4	3.5	4.0	3.4	3.6	3.5	3.7	3.6	3.9	3.8	3.4	3.4	3.6
%	0	+3	+3	-13	-10	-19	-12	-12	-13	-5	-6	-3	-8
1960-64	4.1	3.5	4.3	3.5	3.9	3.9	3.8	3.8	4.1	3.7	3.6	3.5	3.3
65-69	2.9	3.3	3.5	3.3	3.3	3.6	3.5	3.4	3.6	3.5	3.2	3.0	3.3
%	-29	-6	-19	-6	-15	-8	-8	-11	-12	-5	-11	-14	-13

En la figura 6, construida con datos de la tabla 5, se puede apreciar un decrecimiento de los valores (especialmente en el periodo de lluvias mayo - octubre) de la visibilidad del segundo quinquenio, respecto del primero en las décadas de los años cuarenta, cincuenta y sesenta. El decrecimiento mayor ocurre en la década de los años sesenta, cuando la visibilidad decreció en el promedio anual un 13% (tabla 5). En la década de los años cincuenta la reducción de la visibilidad fue de un 8% en el promedio anual. Finalmente, en la década de los años cuarenta, si bien se observó un decrecimiento de la visibilidad en los meses de lluvia (tabla 5), durante el periodo de seca hubo incrementos de la transparencia del aire, los que quizá se debieron, en parte, a una mayor incidencia de invasiones de aire polar en la segunda mitad del decenio.

Por otra parte, durante los años cuarenta los cambios en el volumen de emisiones (vehiculares y de fuentes fijas) no fueron tan drásticas como en las décadas subsecuentes.

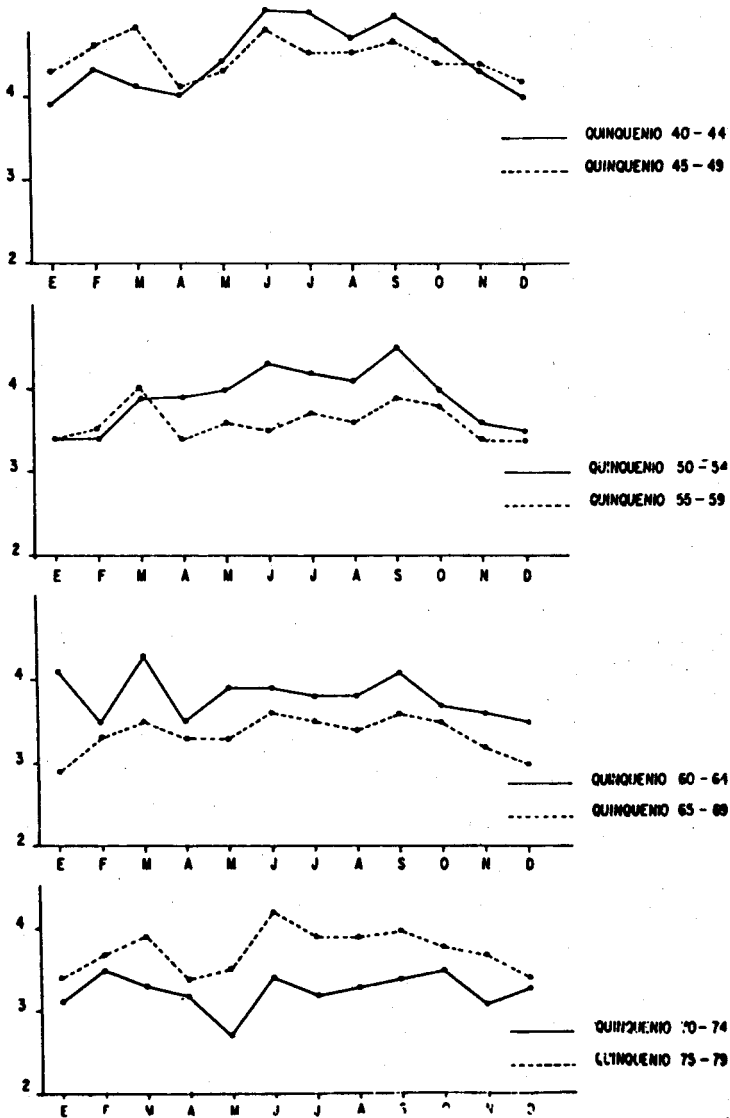


FIG. 6. VARIACION DE LA VISIBILIDAD PROMEDIO EN TACUBAYA

VARIACION DE LA FRECUENCIA DE DIVERSAS CATEGORIAS DE VISIBILIDAD EN TACUBAYA

Con objeto de examinar con más detalle el origen de los incrementos en los valores promedio de la visibilidad en los dos últimos quinquenios, se determinó la frecuencia quinquenal de las diversas categorías de visibilidad para cada mes. Los resultados aparecen en la tabla 6 y gráficamente en la figura 7. Se puede apreciar que en la

Tabla 6

Frecuencia relativa mensual de las categorías de visibilidad en Tacubaya (1er. cuadrante)
para los quinquenios de la década 1970 - 79 (en %) (a las 10 am)

Categoría	E		F		M		A		M		J		Clave (km)
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	
1	4	4	1	6	2	1	0	2	3	5	1	1	0.5
2	45	16	28	12	37	5	41	16	51	13	33	5	0.5 - 1
3	15	36	22	29	22	31	23	36	30	30	27	22	1 - 2
4	20	30	32	26	21	39	21	34	9	34	24	35	2 - 4
5	11	12	8	18	7	18	8	10	6	16	4	30	4 - 10
6	4	2	2	6	6	6	4	1	1	2	5	3	10 - 15
7	2	0	4	2	1	0	0	0	1	0	4	4	15 - 20
8	0	0	3	1	4	0	2	0	0	0	3	1	20

Categoría	J		A		S		O		N		D		Clave (km)
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	
1	1	1	0	0	1	0	2	0	3	3	3	3	0.5
2	39	10	34	5	33	12	35	14	40	17	31	22	0.5 - 1
3	20	24	31	26	25	19	19	27	25	23	28	32	1 - 2
4	27	31	21	45	21	33	21	32	20	34	25	25	2 - 4
5	10	30	7	23	10	29	10	22	6	17	5	17	4 - 10
6	1	2	5	0	6	5	6	3	2	4	4	1	10 - 15
7	2	2	3	1	1	1	4	2	2	1	3	1	15 - 20
8	1	0	0	1	1	1	3	0	2	1	1	0	20

a - quinquenio 1970 - 74

b - quinquenio 1975 - 79

mayoría de los meses los incrementos de los promedios de la visibilidad en el segundo quinquenio (respecto del primero) de los años setenta, se debieron, por una parte a una disminución considerable (de 20% o más) en la frecuencia de las categorías 2 (visibilidad entre 0.5 y 1 km) y por otra, a un aumento de la frecuencia de visibilidades 4 y 5 correspondientes a alcances visuales de 2 a 10 km.

CLAVE

1-	< 0.5
2-	0.5 - 1
3-	1 - 2
4-	2 - 4
5-	4 - 10
6-	10 - 15
7-	15 - 20

----- QUINQUENIO 1970 - 74

———— QUINQUENIO 1975 - 79

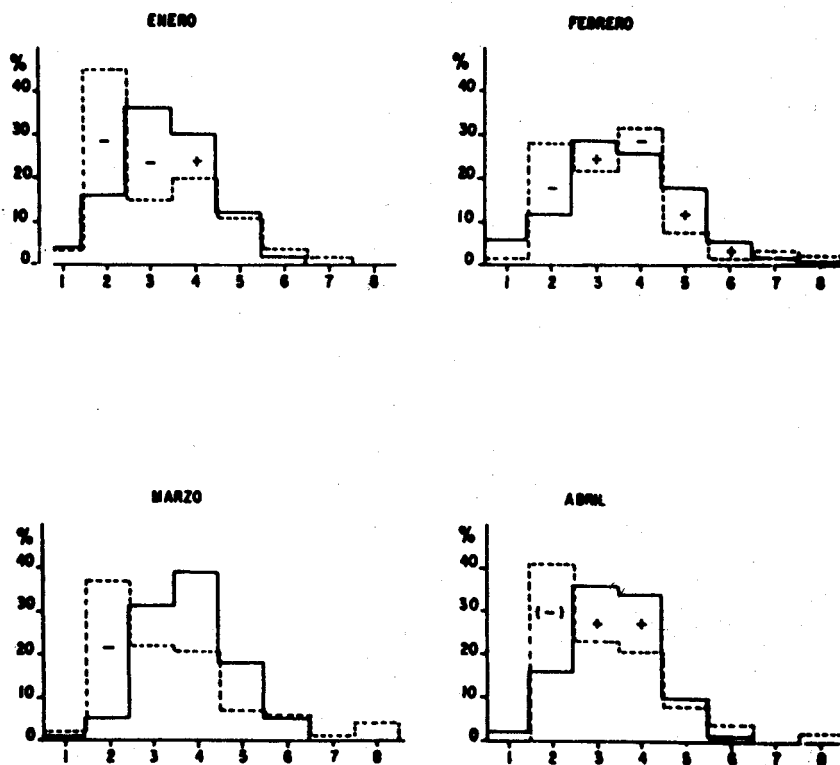


FIG. 7. FRECUENCIA DE LAS CATEGORÍAS DE VISIBILIDAD EN TACUBAYA PARA QUINQUENIO DE LA DÉCADA 1970 - 79 (10 A.M.).

En resumen, en el último quinquenio ha disminuido la frecuencia de visibilidades muy malas (menores de 1 km), al mismo tiempo que se ha incrementado la frecuencia de visibilidades intermedias (de 1 - 10 km). En la misma figura 7 se puede apreciar que las visibilidades mayores de 10 km continuaron siendo infrecuentes en ambos quinquenios de los años setenta, lo que significa que si bien ha habido un cambio significativo consistente en una mejoría en la transparencia (y consecuentemente en una reducción de la contaminación) atmosférica en la capital en el último quinquenio, dicho cambio no ha sido drástico sino muy gradual y por lo tanto, casi imperceptible para los habitantes de la ciudad.

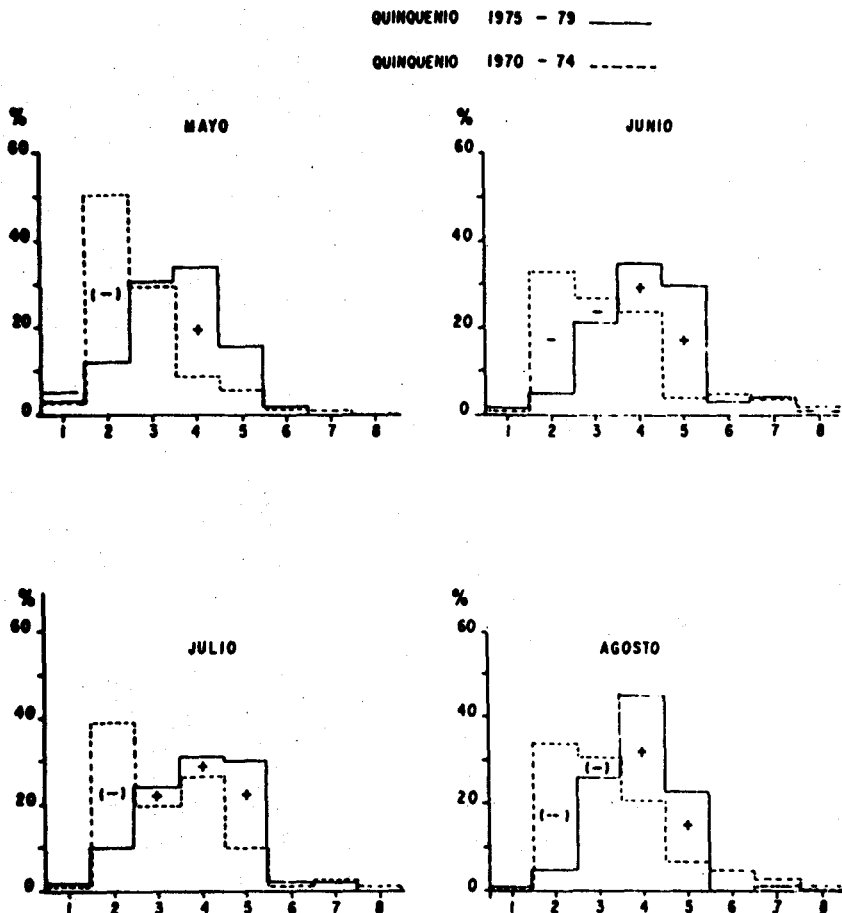


FIG. 7. (continúa)

QUINQUENIO 1975 - 79 ———
QUINQUENIO 1970 - 74 - - - -

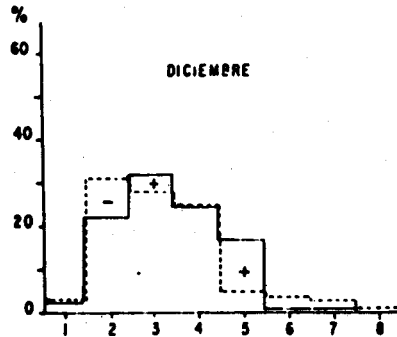
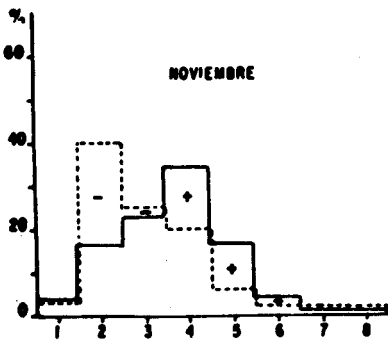
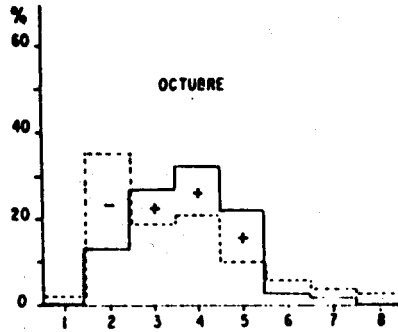
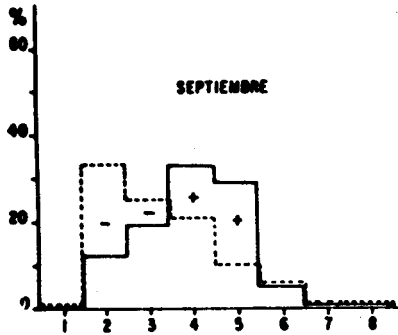


FIG. 7 (continua)

FRECUENCIA ACUMULADA DE LAS CATEGORIAS DE VISIBILIDAD EN TACUBAYA EN LA DECADA DE LOS AÑOS SETENTA

Otra forma de mostrar los cambios ocurridos en la frecuencia de las visibilidades es por medio de las frecuencias acumuladas. En la figura 8 aparecen las distribuciones de las frecuencias acumuladas de las categorías de visibilidad en Tacubaya para los dos quinquenios de los años setenta. Puede apreciarse que la *mediana* de todos los valores de visibilidad aumentó en el segundo quinquenio (1975-79) respecto del primero. Este incremento fue más acentuado (de 3.4 a 4.4) en el semestre de lluvias (mayo - octubre) que durante la estación seca.

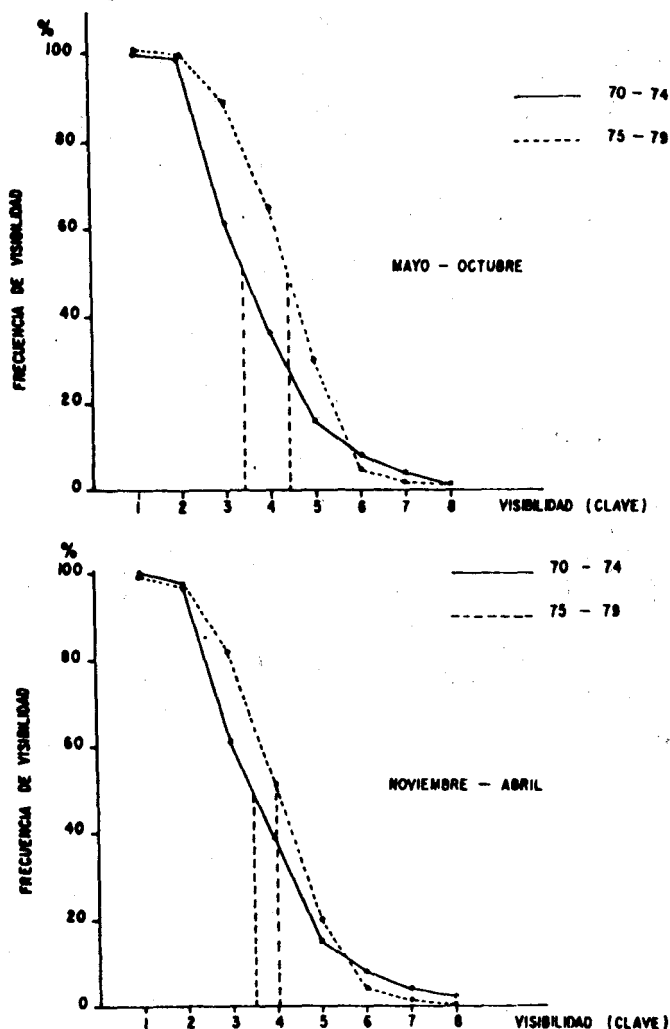


FIG. 8 DISTRIBUCION DE LA FRECUENCIA ACUMULADA DE LAS CATEGORIAS DE LA VISIBILIDAD EN TACUBAYA (1er cuadrante) PARA LOS QUINQUENIOS 1970 - 74 Y 1975 - 79.

VARIACION DE LA FRECUENCIA DE LAS CATEGORIAS DE VISIBILIDAD EN EL PERIODO 1950-69

Como comprobación de los resultados anteriores, se compararon las frecuencias de las visibilidades de los dos quinquenios de la década de los años cincuenta y sesenta, cuando no existía regulación sobre las emisiones a la atmósfera (vehiculares y de fuentes fijas). Sólo se muestran los resultados, para la década de los años cincuenta (figura 9) ya que para los años sesenta se obtuvieron resultados semejantes. En el

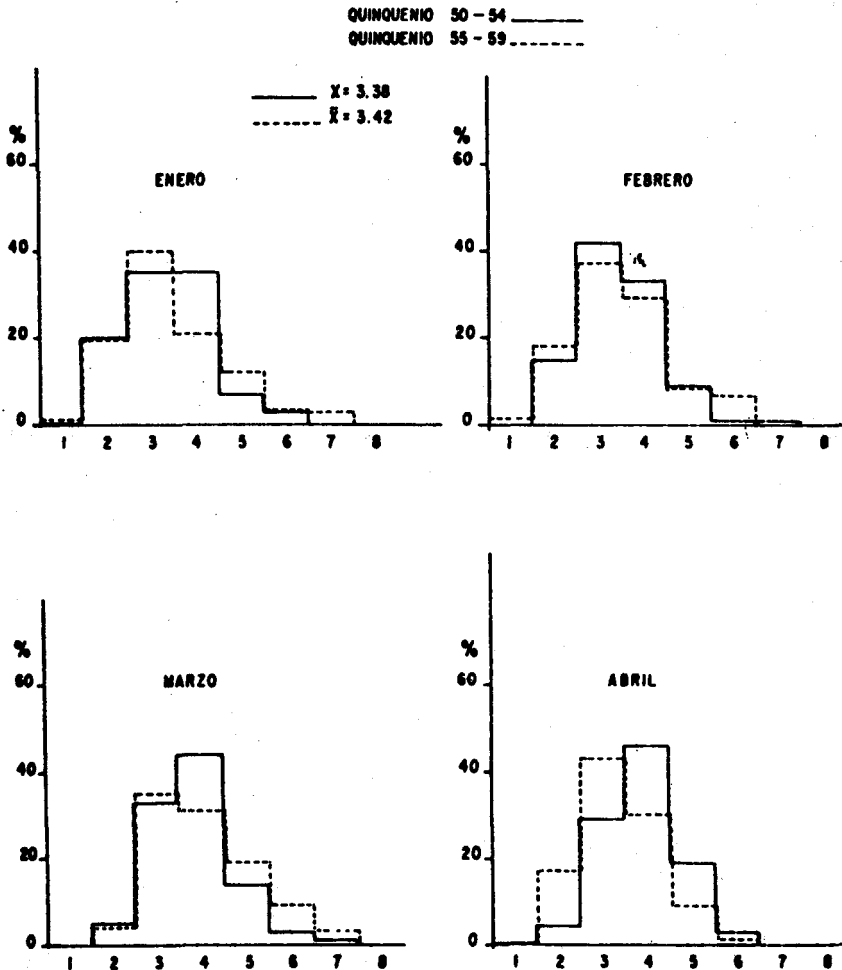


FIG. 9 FRECUENCIA DE LAS CATEGORIAS DE VISIBILIDAD EN TACUBAYA PARA QUINQUENIOS DE LA DECADA 1950 - 59 (10 A.M.)

segundo quinquenio de la década de los años cincuenta aumentó la frecuencia de las visibilidades malas (categorías 1, 2 y 3), mientras permaneció invariable o disminuyó la frecuencia de las visibilidades regulares de 4 a 10 km (categorías 4 y 5). Estas diferencias fueron en la mayoría de los meses, estadísticamente significativas (en junio, julio y agosto, al nivel de 0.1%) por lo que puede afirmarse que en dicha década de los años cincuenta, la transparencia del aire se deterioró considerablemente en la segunda mitad del decenio.

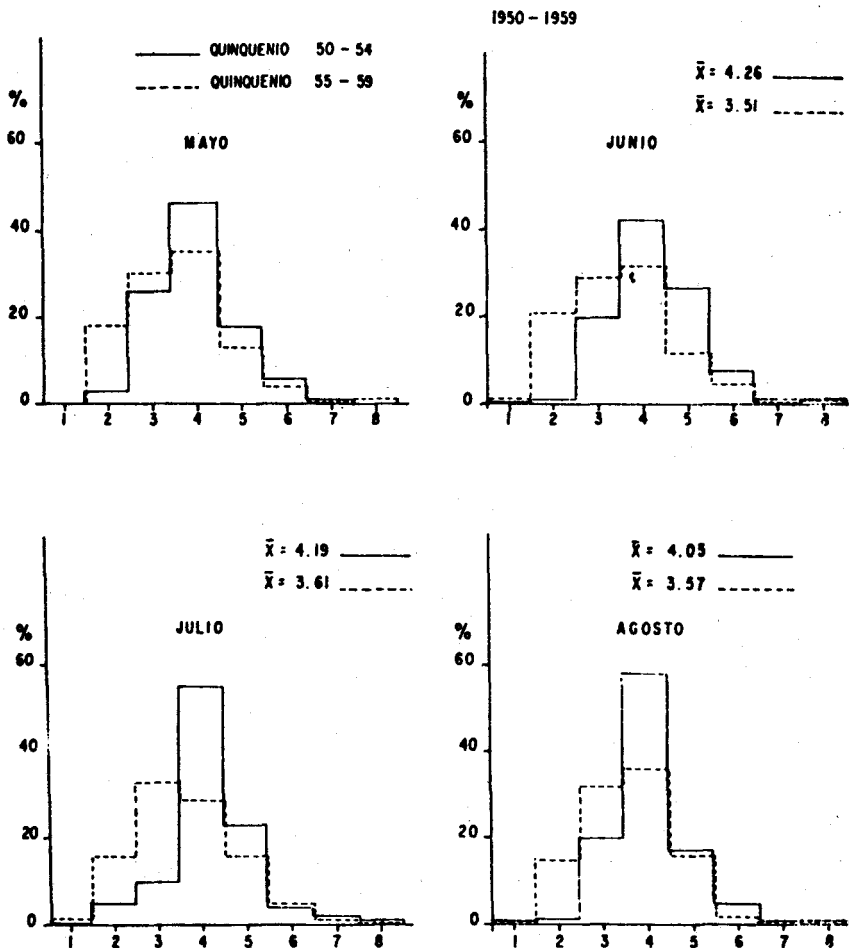


FIG. 9 (continua)

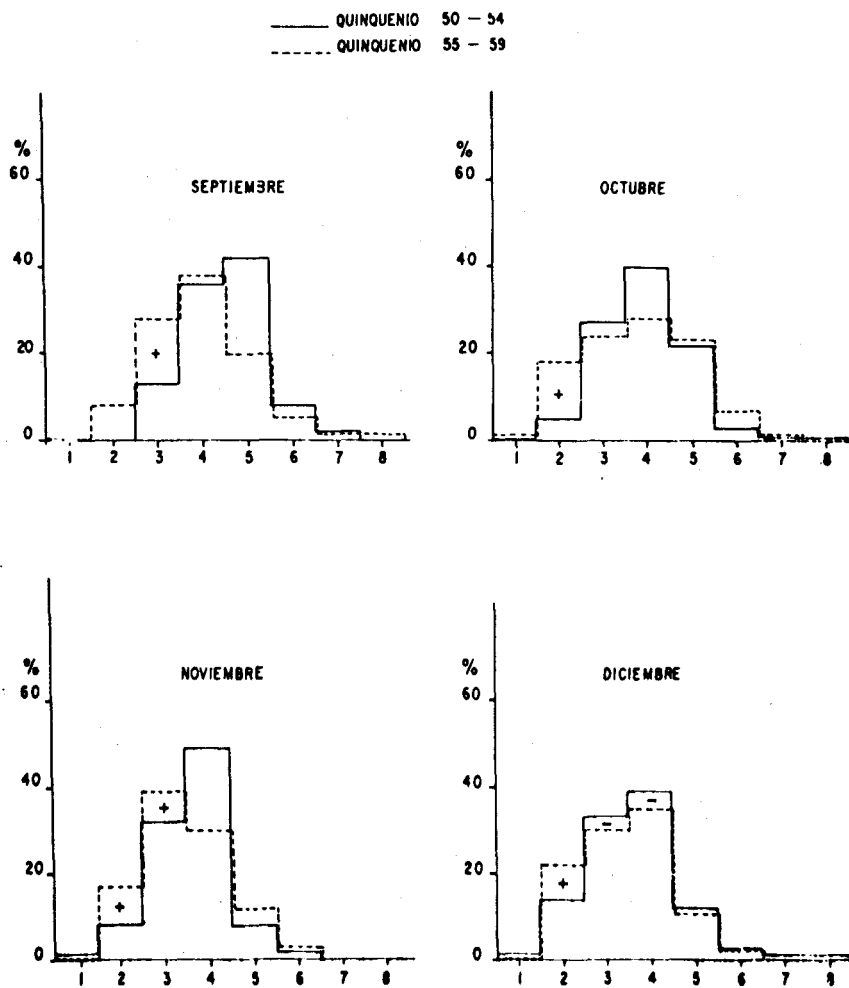


FIG 9 (continúa)

LA INTENSIDAD DEL VIENTO Y LA VISIBILIDAD

Es sabido el efecto que sobre la transparencia del aire tienen los movimientos turbulentos del aire. Mientras mayor sea la velocidad del viento, mayor será la dilución y transporte de los contaminantes que flotan en el aire de la Ciudad de México. En consecuencia, los cambios en la transparencia del aire examinados en las secciones anteriores podrían ser atribuidos a fluctuaciones de largo periodo de la intensidad del viento en el área que ocupa la ciudad. Así, el mejoramiento de la visibilidad en el último quinquenio de los años setenta, podría haberse originado por una mayor frecuencia de vientos más vigorosos.

Para dilucidar este punto se determinó el coeficiente de correlación entre la intensidad media (semestre nov-abr) del viento en Tacubaya y la visibilidad media correspondiente (a las 10 am), para el periodo 1941 - 1979. El coeficiente de correlación fue de 0.46. Elevando al cuadrado este coeficiente se obtiene el coeficiente de determinación que indica que sólo un 21% del total de las variaciones de la visibilidad pueden ser explicadas por las fluctuaciones de la intensidad del viento. Las variaciones de largo periodo de la visibilidad y el viento se muestran en la figura 10.

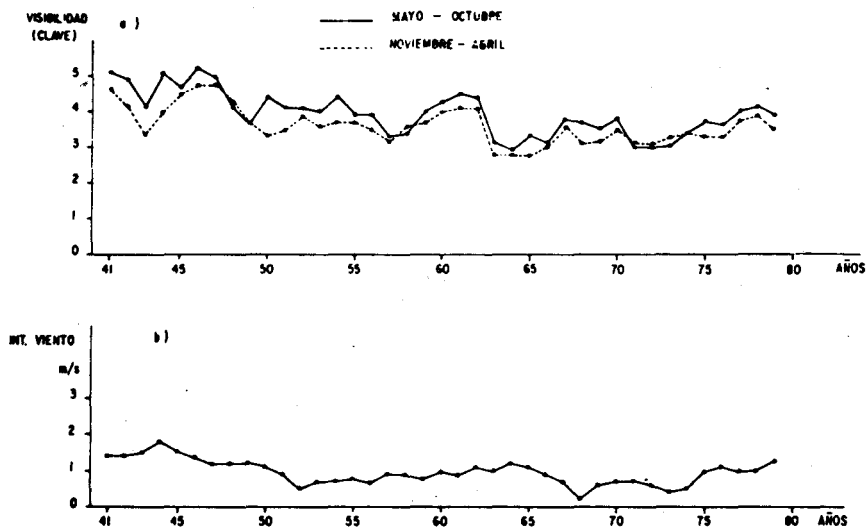


FIG. 10. FLUCTUACIONES DE LA VISIBILIDAD (10 AM) A) Y DE LA INTENSIDAD MEDIA DEL VIENTO, B) EN TACUBAYA PARA PERIODO 1941 - 79

FRECUENCIA DE LAS CATEGORIAS DE VISIBILIDAD EN EL PRIMER TERCIO DEL AÑO 1980

Al comparar la frecuencia de categorías de visibilidad correspondientes a los primeros cuatro meses del año 1980, respecto a la observada en el quinquenio 1970-74, se obtienen las mismas tendencias que destacan al comparar los dos quinquenios de la década de los años setenta, aunque en este caso quizá más acentuadas (figura 11). Se advierte en esta figura la reducción acentuada (mayor de 20%) que ha ocurrido

en los cuatro primeros meses del año 1980 de la frecuencia de visibilidades malas (categorías 2 y 3) respecto de la correspondiente al quinquenio 1970-74. Coincidentemente, se aprecia un aumento de las frecuencias de visibilidades regulares (categorías 4 y 5, de 2 a 10 km), permaneciendo poco frecuentes las visibilidades buenas (categorías 6, 7 y 8, de 10 a más de 20 km).

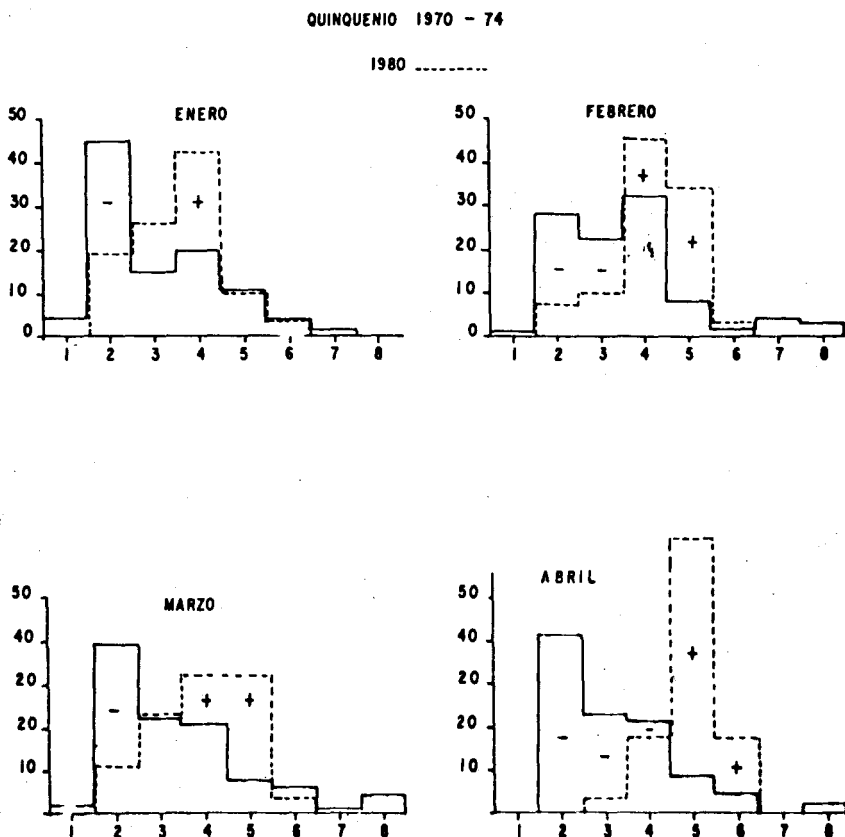


FIG. II VARIACION DE LAS FRECUENCIAS DE CATEGORIAS DE VISIBILIDAD EN EL PRIMER TERCIO DE 1980 RESPECTO DEL QUINQUENIO 1970 - 74

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se examinan las variaciones ocurridas en la visibilidad horizontal en el Observatorio de Tacubaya, y en dirección del centro de la ciudad, durante el periodo 1937-1979.

La transparencia del aire capitalino se ha deteriorado durante dicho periodo mientras que al principio del periodo las visibilidades promedio fluctuaban de 4 a 10 km, al principiar la década de los años setenta, éstas se habían reducido a 1 ó 2 km. En la segunda mitad de los años setenta se advierte un incremento de las visibilidades promedio. Este aumento respecto del primer quinquenio de los años setenta resultó ser estadísticamente significativo.

El incremento observado en las visibilidades promedio se debe a una disminución de la frecuencia de visibilidades malas (menores de 1 km) y a un aumento en la frecuencia de visibilidades regulares (de 2 a 10 km). La frecuencia de visibilidades buenas (a las 10 am) ha permanecido baja, es decir, el cambio que se puede advertir entre las visibilidades de la década pasada (los setentas) ha sido muy gradual, pero en la dirección de un mejoramiento de la transparencia del aire capitalino. Los mismos resultados se observan al comparar el primer cuarto del año 1980 con el primer quinquenio de los años setenta.

Al correlacionar las variaciones de la visibilidad promedio con la intensidad del viento se llega a la conclusión de que sólo el 20% de dichas fluctuaciones se pueden explicar por variaciones en la intensidad del viento observado en la Ciudad de México.

Los resultados anteriores llevan a la conclusión de que la reducción de la frecuencia de las visibilidades bajas observadas a partir de 1976-77 en la ciudad, no puede ser atribuida completamente al azar o a las fluctuaciones en la intensidad de los vientos locales y que quizá tenga su origen en las medidas que para regular y reducir las emisiones (vehiculares y de fuentes fijas) fueron tomadas por las autoridades sanitarias, las cuales comenzaron a tomar efecto a partir del último tercio de la década de los años setenta.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece las facilidades otorgadas para la extracción de los datos al Director del Servicio Meteorológico Nacional. El Lic. Francisco Cruz tuvo a su cargo la colección, procesado y tabulación de la información climatológica, así como la revisión del texto y las figuras. La Sra. Cristina Medina se encargó del trabajo estenográfico. Asimismo, el Lic. Juan Vidal procesó y graficó los datos a partir de 1970.

BIBLIOGRAFIA

HUSCHKE, R. (ed.), 1959. Glossary of Meteorology. Amer. Meteor. Soc., 638 pp.

- JAUREGUI, E., 1969. Aspectos meteorológicos de la contaminación del aire en la ciudad de México. *Ing. Hidr. en México*, 23 (1), 17-28.
- JAUREGUI, E., 1979. Distribución espacial y temporal del SO₂ en la ciudad de México. SMA/DGS At/03 - 78.
- JOHNSON, J., 1954. *Physical Meteorology*. The MIT Press, 68-104.
- SUESS, M. 1979. An approach to air quality monitoring. *Atm. Env.*, 13, 211-221.