

UNA PRIMERA ESTIMACION DE LAS CONDICIONES DE DIFUSION
ATMOSFERICA EN LA REPUBLICA MEXICANA

Por Ernesto Jáuregui Ostos *

RESUMEN

Utilizando los datos de la red nacional de radiosondeo y siguiendo el método sugerido por Holzworth, se examina la variación espacial y estacional de la profundidad máxima de la capa de mezclado (PMCM) potencial de contaminantes atmosféricos. La PMCM está relacionada con la capacidad potencial de dilución de los polutantes aéreos. Asimismo, se cartografía la velocidad media del viento en la capa límite, para los distintos ámbitos del país, con el objeto de dar una idea del transporte y dilución en el sentido horizontal.

SUMMARY

Using data from the radio-sound network, monthly maps showing the regional distribution of Maximum Mixing Depts (MMD) are presented following the method suggested by Holzworth. The MMD is related to the potential for dilution of atmospheric pollutants in the boundary layer. Maps and graphs showing the average intensity of resultant wind within the boundary layer are also shown in order to give an idea of horizontal transport and dilution potential of pollutants.

1. INTRODUCCION

Es de todos conocido el crecimiento sostenido de la población urbana que se ha venido observando en las últimas décadas, principalmente en las ciudades del centro del país y de algunas situadas en la frontera norte. Este proceso acelerado de urbanización ha traído usual

* Investigador del Instituto de Geografía de la UNAM.

mente, consigo, un deterioro de la calidad del aire. La creciente actividad industrial y de vehículos redonda en un aumento de los contaminantes (gaseosos y sólidos) que se vierten en el aire urbano.

En la actualidad, las autoridades sanitarias encargadas de controlar las emisiones se esfuerzan por crear conciencia en los diversos sectores de la población urbana, con objeto de mantener a niveles aceptables las concentraciones de contaminación de modo que, en vez de que aumenten, disminuyan al transcurrir el tiempo.

Los niveles de contaminación que se observan en el aire urbano dependen, por una parte, de la cantidad de fuentes puntuales, de la intensidad de emisión de cada una de ellas, así como de su distribución en la ciudad. Por otra parte, el grado de contaminación del aire es función de la estabilidad atmosférica en la capa de aire superficial y de la dirección e intensidad del viento en el ámbito urbano. Estas dos propiedades (estabilidad del aire e intensidad del viento) de la capa de aire urbano, constituyen la información básica para el conocimiento de la climatología de difusión a escala nacional.

La capa de aire urbano cercana al suelo (llamada capa planetaria CP, capa límite CL) tiene un espesor variable (de unos cientos de metros a un par de kilómetros) y acusa una fluctuación diurna considerable en cuanto a su estructura térmica y también con respecto a la profundidad en que tiene lugar el mezclado de los contaminantes (llamada capa de mezclado CM). Esta profundidad de la CM y sus variaciones son propias de la ubicación geográfica de cada lugar y de los sistemas de tiempo que lo afectan. En el presente trabajo se examinan las variaciones de la capa de mezcla en las diversas regiones del país. También se ha cartografiado la velocidad media del viento en la capa de mezcla en los distintos ámbitos de México con objeto de dar una idea del transporte y dilución en el sentido horizontal. El trabajo es una ampliación de otro estudio enfocado a los valles del centro del país (JAUREGUI, 1979).

2. LOS DATOS

Para los problemas de contaminación atmosférica es de interés

conocer tanto la profundidad máxima de la capa de mezcla (PMCM) como las velocidades medias del viento dentro de esta capa y sobre la ciudad. Sin embargo, las observaciones meteorológicas que se requieren (radio-sondeos) se hacen usualmente en los aeropuertos que muchas veces se encuentran alejados de la ciudad, por lo que en ocasiones hay que ajustar los datos a las condiciones que prevalecen en la ciudad. Es un hecho ya conocido que las ciudades crean su propio clima y que la temperatura del aire en el interior de la ciudad es usualmente bastante mayor que en el área rural que la circunda (ver p.ej. KRATZER, 1956; CHANDLER, 1960; JAUREGUI, 1971). Por esta razón, para estimar la profundidad máxima de la capa de mezcla hemos utilizado la temperatura máxima ocurrida en el observatorio, que casi siempre se encuentra dentro del área urbana.

Los sondeos que se han utilizado corresponden a la observación de las 6 a.m. (hora local) y para las 9 estaciones que se muestran en la fig. 1. El periodo de los registros es variable, generalmente de 9 a 10 años entre 1964 y 1974. Las estaciones con periodo más corto fueron Isla Socorro e Isla Guadalupe (2 y 4 años respectivamente). Estos datos fueron proporcionados, mediante cinta magnética, por el Servicio Meteorológico Nacional y procesados en el Departamento de Computación de la Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente.

Los mapas que se presentan se han complementado en el área más allá de la frontera norte del país, con los valores de la PMCM obtenidos por Holtzworth (1964) para los Estados Unidos. El espaciamiento entre las estaciones es, en general, muy grande, de 800 a 1000 km; sólo en el caso de México-Veracruz la distancia se reduce a unos 400 km (que es la separación entre estaciones utilizadas por Holtzworth para Estados Unidos).

En consecuencia, los resultados que se obtengan del análisis en este trabajo deben considerarse como apreciaciones muy preliminares de las propiedades de difusión del aire en la capa planetaria en las diversas regiones del país.

TABLA 1 FRECUENCIA DE LAS INVERSIONES SUPERFICIALES
 EN MEXICO (en %) OBSERVACION DE LAS 12:00 Z.
 AÑO: 1973

ESTACION	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
MEXICO, D.F.	99	89	90	83	66	88	35	32	67	45	87	76
MONTERREY	63	50	68	52	77	33	21	30	33	53	64	80
MERIDA	84	79	61	73	77	90	97	90	93	94	90	94
I. GUADALUPE	0	21	3	7	3	13	7	10	13	19	17	7
GUAYMAS	97	93	94	93	97	73	61	64	86	94	100	100
CHIHUAHUA	90	79	81	70	87	83	48	68	100	100	100	94
MAZATLAN	100	96	100	100	97	87	90	83	87	100	97	93
VERACRUZ	90	65	81	78	97	83	93	93	90	84	89	89

ciales). Los mayores espesores se observan en los valles interiores de la mesa central, y en general en la altiplanicie y en los meses de seca (fig. 3) cuando el proceso de enfriamiento nocturno es más prolongado (por la mayor duración de la noche) y, al mismo tiempo, más intenso (por un menor contenido de humedad en las masas de aire polar continental).

Hacia las costas el espesor de las inversiones decrece, en general, excepto en las costas del NW donde la corriente marina fría de California influye para acentuar la altura de la inversión.

El aumento de humedad en la estación de lluvias se refleja en un decrecimiento de la profundidad de las inversiones en la altiplanicie, reduciéndose la discrepancia con respecto a las áreas costeras (fig. 4).

4. INTENSIDAD MEDIA DEL VIENTO EN LA CAPA DE MEZCLA

En la sección anterior se ha visto la distribución que tienen en el país las inversiones superficiales que señalan las condiciones menos favorables para la dilución de los contaminantes que, generalmente, ocurren por la noche y al amanecer. Ahora veremos la distribución que tiene la intensidad del transporte horizontal y las horas en que ocurren las inversiones. Para esto se han utilizado los vientos en superficie y el del nivel inmediato superior de los sondeos de las 12Z (es decir, 6 de la mañana). El valor que se ha escogido para representar el transporte horizontal a las horas en que el aire está estratificado es el del viento resultante; es decir, el promedio de la suma (vectorial) del viento diario del sondeo matutino.

En la tabla 2 aparecen los vientos resultantes medios mensuales para la red de estaciones de radiosondeo nacionales y de la frontera norte. En las figs. 5 y 6 se muestra la distribución de estos vientos (es decir, del transporte medio horizontal matutino) para los meses de enero y julio. La región menos ventilada corresponde a los valles y llanuras de la altiplanicie, aumentando la intensidad del viento, en general, hacia las costas y hacia el N y NW del país. En la estación llu

TABLA 2 INTENSIDAD Y DIRECCION MEDIA DEL VIENTO RESULTANTE EN LA CAPA DE MEZCLA (en m/s)

AÑO: 1975

HORA: 12:00 Z

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	* **	* **	* **	* **	* **	* **	* **	* **	* **	* **	* **	* **
MONTEREY	NW 1.7	NW 1.9	NW 1.2	E 1.1	E 1.1	SE 3.1	SE 3.0	SE 2.4	SW 1.7	S 1.9	W 1.1	NW 1.6
MAZATLAN	SW 1.4	NW 0.8	E 0.7	N 0.7	S 0.5	SE 1.6	SE 1.1	SW 0.8	SE .9	SE 1.2	NE .8	N 2.3
MEXICO, D.F.	S 0.8	SW 1.3	S 1.0	S .9	(1) 0.3	SE .4	SE 1.5	W 1.0	S 2.2	S 2.5	S 1.3	W 1.0
TUCSON, ARIZ.	S 1.6	S 1.6	S 2.2	S 2.3	S 1.7	S 2.0	SE 1.3	SW 1.6	SE 3.5	SE 2.5	S 2.3	SE 2.5
SAN DIEGO CALIF.	SE 0.6	SE .6	SE 1.	SW .7	SE .4	W .4	S .4	NW 1.2	SE 0.8	SE .8	SE .8	NE .7
EMPALME MEX.	N 2.1	NW 2.5	NW 2.3	N 2.6	N 0.9	E 1.2	SE 1.7	SE 2.2	NE 1.2	N 1.6	N 1.9	NW 3.1
ISLA GUADA LUPE, MEX.	NW 3.8	NW 4.5	NW 6.3	NW 7.2	NW 6.2	NW 5.5	NW 4.7	NW 4.2	SW 5.6	NW 3.5	NW 5.7	NW 4.3
CHIHUAHUA MEX	W 2.2	SW 2.5	SW 3.6	SW 9.7	W 1.2	W 1.1	S 0.5	SW 0.3	S 1.0	SW 1.5	SW 2.3	SW 1.8
MENIDA, YUC.	E 3.7	E 4.1	SE 5.2	SE 6,4	SE 6.4	SE 5.4	SE 4.2	E 3.8	E 2.6	E 3.3	E 2.7	E 3.1
BROWNSVILLE	SW 2.2	S 2.7	SE 4.2	SE 5.4	SE 4.3	SE 5.7	SE 4.5	SE 3.6	E 1.2	E 1.7	S 2.3	SW 1.6

* Dirección del Viento
 ** Intensidad del Viento
 (1) Sólo hay un dato

conocer tanto la profundidad máxima de la capa de mezcla (PMCM) como las velocidades medias del viento dentro de esta capa y sobre la ciudad. Sin embargo, las observaciones meteorológicas que se requieren (radiosondeos) se hacen usualmente en los aeropuertos que muchas veces se encuentran alejados de la ciudad, por lo que en ocasiones hay que ajustar los datos a las condiciones que prevalecen en la ciudad. Es un hecho ya conocido que las ciudades crean su propio clima y que la temperatura del aire en el interior de la ciudad es usualmente bastante mayor que en el área rural que la circunda (ver p.ej. KRATZER, 1956; CHANDLER, 1960; JAUREGUI, 1971). Por esta razón, para estimar la profundidad máxima de la capa de mezcla hemos utilizado la temperatura máxima ocurrida en el observatorio, que casi siempre se encuentra dentro del área urbana.

Los sondeos que se han utilizado corresponden a la observación de las 6 a.m. (hora local) y para las 9 estaciones que se muestran en la fig. 1. El periodo de los registros es variable, generalmente de 9 a 10 años entre 1964 y 1974. Las estaciones con periodo más corto fueron Isla Socorro e Isla Guadalupe (2 y 4 años respectivamente). Estos datos fueron proporcionados, mediante cinta magnética, por el Servicio Meteorológico Nacional y procesados en el Departamento de Computación de la Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente.

Los mapas que se presentan se han complementado en el área más allá de la frontera norte del país, con los valores de la PMCM obtenidos por Holtzworth (1964) para los Estados Unidos. El espaciamiento entre las estaciones es, en general, muy grande, de 800 a 1000 km; sólo en el caso de México-Veracruz la distancia se reduce a unos 400 km (que es la separación entre estaciones utilizadas por Holtzworth para Estados Unidos).

En consecuencia, los resultados que se obtengan del análisis en este trabajo deben considerarse como apreciaciones muy preliminares de las propiedades de difusión del aire en la capa planetaria en las diversas regiones del país.

3. LAS INVERSIONES SUPERFICIALES DE TEMPERATURA

La mezcla de contaminantes en la vertical está determinada por la estabilidad térmica que, a su vez, depende de la distribución vertical de la temperatura. Por la noche, el enfriamiento por radiación se propaga en la capa de aire superficial de abajo hacia arriba, de modo que el aire más denso se encuentra cerca del suelo. En estas condiciones se forma la inversión de temperatura que se caracteriza por una mínima turbulencia debido a la estratificación del aire. La dilución es, entonces, muy reducida.

Las inversiones superficiales son un fenómeno muy frecuente durante la noche y al amanecer en todo el país. En los valles y llanuras del altiplano son tan frecuentes como en las costas (aunque menos intensas), como puede apreciarse en la tabla 1 y fig. 2.

En los meses de junio, julio y agosto, en general decrece en todo el país (y particularmente en los valles del altiplano) la frecuencia de las inversiones superficiales debido al aumento de vapor de agua, lo que se refleja en una menor pérdida de calor por radiación nocturna. En lugares costeros semiáridos, como Guaymas, el decrecimiento de la frecuencia de inversiones es más notorio en los meses principales de lluvia que son julio y agosto.

En otras regiones costeras con mayor cantidad de precipitación la frecuencia de inversiones es elevada durante el año; por ejemplo, en Mazatlán y Veracruz (fig. 2).

En el ámbito de un régimen de clima marítimo, como es el caso de la Isla Socorro, la presencia de aire estable en la capa superficial, al amanecer, es poco frecuente por la mañana, ya que usualmente en ese periodo del día la temperatura del agua del mar alcanza su máximo valor (fig. 2).

Profundidad de la capa de inversión superficial

En las figs. 3 y 4 se muestra la variación de la profundidad que alcanzan las inversiones superficiales en el país (en metros geopoten-

TABLA 1 FRECUENCIA DE LAS INVERSIONES SUPERFICIALES
 EN MEXICO (en %) OBSERVACION DE LAS 12:00 Z.
 AÑO: 1973

ESTACION	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
MEXICO, D.F.	99	89	90	83	66	88	35	32	67	45	87	76
MONTERREY	63	50	68	52	77	33	21	30	33	53	64	80
MERIDA	84	79	61	73	77	90	97	90	93	94	90	94
I. GUADALUPE	0	21	3	7	3	13	7	10	13	19	17	7
GUAYMAS	97	93	94	93	97	73	61	64	86	94	100	100
CHIHUAHUA	90	79	81	70	87	83	48	68	100	100	100	94
MAZATLAN	100	96	100	100	97	87	90	83	87	100	97	93
VERACRUZ	90	65	81	78	97	83	93	93	90	84	89	89

ciales). Los mayores espesores se observan en los valles interiores de la mesa central, y en general en la altiplanicie y en los meses de seca (fig. 3) cuando el proceso de enfriamiento nocturno es más prolongado (por la mayor duración de la noche) y, al mismo tiempo, más intenso (por un menor contenido de humedad en las masas de aire polar continental).

Hacia las costas el espesor de las inversiones decrece, en general, excepto en las costas del NW donde la corriente marina fría de California influye para acentuar la altura de la inversión.

El aumento de humedad en la estación de lluvias se refleja en un decrecimiento de la profundidad de las inversiones en la altiplanicie, reduciéndose la discrepancia con respecto a las áreas costeras (fig. 4).

4. INTENSIDAD MEDIA DEL VIENTO EN LA CAPA DE MEZCLA

En la sección anterior se ha visto la distribución que tienen en el país las inversiones superficiales que señalan las condiciones menos favorables para la dilución de los contaminantes que, generalmente, ocurren por la noche y al amanecer. Ahora veremos la distribución que tiene la intensidad del transporte horizontal y las horas en que ocurren las inversiones. Para esto se han utilizado los vientos en superficie y el del nivel inmediato superior de los sondeos de las 12Z (es decir, 6 de la mañana). El valor que se ha escogido para representar el transporte horizontal a las horas en que el aire está estratificado es el del viento resultante; es decir, el promedio de la suma (vectorial) del viento diario del sondeo matutino.

En la tabla 2 aparecen los vientos resultantes medios mensuales para la red de estaciones de radiosondeo nacionales y de la frontera norte. En las figs. 5 y 6 se muestra la distribución de estos vientos (es decir, del transporte medio horizontal matutino) para los meses de enero y julio. La región menos ventilada corresponde a los valles y llanuras de la altiplanicie, aumentando la intensidad del viento, en general, hacia las costas y hacia el N y NW del país. En la estación llu

viosa se acentúa ligeramente el gradiente de la intensidad del viento hacia el litoral del Golfo de México. Algunas estaciones en la altiplanicie, como en ambos litorales, acusan un máximo principal de intensidad del viento alrededor de los meses de primavera (fig. 7a) aunque en otras no aparece un mes predominante de intensidad máxima. Por ejemplo, en el Valle de México los vientos más intensos ocurren en septiembre y octubre, mientras que en Monterrey se presentan de junio a agosto (fig. 7b). Los vientos en las costas del Golfo de California (Guaymas) y del Pacífico (Mazatlán) son, en general, menos intensos que los observados en el Golfo de México (Mérida, Brownsville), con excepción de la Isla Guadalupe que, por estar distante de la costa de Baja California y en pleno mar abierto, tiene vientos casi siempre mayores de 4m/s, con un máximo de 7 m/s en abril.

Resumiendo, se puede decir que la ventilación horizontal, a las horas en que la capa de aire superficial es muy estable, es reducida en los valles y llanuras del altiplano mexicano (ver p. ej. LAUER y KLAUS, 1975), mientras que en las planicies costeras el transporte horizontal es, a esas horas, algo más enérgico.

5. PROFUNDIDAD DE LA CAPA DE MEZCLA

A diferencia de la estratificación del aire superficial y vientos débiles que prevalecen por la noche, durante el día el calentamiento solar de la capa cercana al suelo propicia el establecimiento de gradientes térmicos inestables y movimientos turbulentos que favorecen la mezcla.

La profundidad que alcanzan estos torbellinos convectivos depende, así, de la distribución vertical de la temperatura en los niveles bajos y de la temperatura superficial. Cuando esta última alcanza su máximo valor, poco después del mediodía, la profundidad de la capa de mezcla llega también a su máximo.

En el presente trabajo se ha calculado la profundidad de la capa de mezcla (PCM) para dos horas del día:

- a) La PCM matutina. HOLTZWORTH (1967) ha propuesto que la PCM

TABLA 2 INTENSIDAD Y DIRECCION MEDIA DEL VIENTO RESULTANTE EN LA CAPA DE MEZCLA (en m/s)

AÑO: 1975

HORA: 12:00 Z

	E N E		F E B		M A R		A B R		M A Y		J U N		J U L		A G O		S E P		O C T		N O V		D I C	
	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**
MONTEVEY	NW	1.7	NW	1.9	NW	1.2	E	1.1	E	1.1	SE	3.1	SE	3.0	SE	2.4	SW	1.7	S	1.9	W	1.1	NW	1.6
MAZATLAN	SW	1.4	NW	0.8	E	0.7	N	0.7	S	0.5	SE	1.6	SE	1.1	SW	0.8	SE	.9	SE	1.2	NE	.9	N	2.3
MEXICO, D.F.	S	0.8	SW	1.3	S	1.0	S	.9	(1)	0.3	SE	.4	SE	1.5	W	1.0	S	2.2	S	2.5	S	1.3	W	1.0
TUCSON, ARIZ.	S	1.6	S	1.6	S	2.2	S	2.3	S	1.7	S	2.0	SE	1.3	SW	1.6	SE	3.5	SE	2.5	S	2.3	SE	2.5
SAN DIEGO CALIF.	SE	0.6	SE	.6	SE	1.	SW	.7	SE	.4	W	.4	S	.4	NW	1.2	SE	0.8	SE	.8	SE	.8	NE	.7
EMPALME MEX.	N	2.1	NW	2.5	NW	2.3	N	2.6	N	0.9	E	1.2	SE	1.7	SE	2.2	NE	1.2	N	1.6	N	1.9	NW	3.1
ISLA GUADA LUPE, MEX.	NW	3.8	NW	4.5	NW	6.3	NW	7.2	NW	6.2	NW	5.5	NW	4.7	NW	4.2	SW	5.6	NW	3.5	NW	5.7	NW	4.3
CHIHUAHUA MEX.	W	2.2	SW	2.5	SW	3.6	SW	9.7	W	1.2	W	1.1	S	0.5	SW	0.3	S	1.0	SW	1.5	SW	2.3	SW	1.8
MERIDA, YUC.	E	3.7	E	4.1	SE	5.2	SE	6.4	SE	6.4	SE	5.4	SE	4.2	E	3.8	E	2.6	E	3.3	E	2.7	E	3.1
BROWNSVILLE	SW	2.2	S	2.7	SE	4.2	SE	5.4	SE	4.3	SE	5.7	SE	4.5	SE	3.6	E	1.2	E	1.7	S	2.3	SW	1.6

* Dirección del Viento
 ** Intensidad del Viento

(1) Sólo hay un dato

matutina se obtenga agregando 5° a la temperatura mínima del día, y con esta temperatura ascender por una adiabática seca* en el diagrama termodinámico, hasta intersectar el perfil del radio sondeo observado a las 12:00Z (6 a.m. en casi todo el país, excepto Guaymas, Mazatlán e Isla Guadalupe donde corresponde a las 5 a.m.).

En general, esta temperatura se alcanza entre las 9 y las 10 de la mañana en la altiplanicie (fig. 8a) o aun antes si se toma en cuenta el incremento de la temperatura entre la periferia y el centro de la ciudad, que normalmente se observa debido al efecto de la isla de calor, sobre todo en el caso de la Ciudad de México (ver JAUREGUI, 1971). En el caso de las estaciones costeras la amplitud diurna de la temperatura es considerablemente menor (fig. 8b), de modo que al agregar 5° a la temperatura mínima, generalmente coincide o está muy cerca de la temperatura máxima que ocurre alrededor de las 15 horas. En los meses en que esto ocurre la PCM matutina es muy semejante a la PCM máxima.

b) La profundidad máxima de la capa de mezcla (PMCM). La PMCM se obtiene de modo semejante a como se estima la PCM matutina, con la diferencia de que en este caso se utiliza la temperatura máxima alcanzada durante el día.

6. METODO

Para estimar la PCM matutina y la PMCM se elaboró un programa de computadora** que consistió en transformar la $t: + 5^{\circ}$ y la t máx. diarias en temperatura potencial 0 y, en seguida, encontrar la altura correspondiente del sondeo que coincidiera con la temperatura potencial 0 de la superficie. La diferencia de niveles daría la PCM. Los resultados aparecen en la tabla 3.

* Una adiabática seca es una línea de temperatura potencial constante en el diagrama termodinámico.

** El físico César Moreno se encargó de elaborar el programa.

7. RESULTADOS

a) Distribución mensual de la PMCM

En las figs. 9 a 20 aparece la distribución espacial de la PMCM en el país. Los mayores valores de la PMCM se encuentran en la altiplanicie, decreciendo considerablemente hacia ambos litorales.

Los valores altos de la PMCM se extienden por el NW, hacia las Montañas Rocallosas, donde Holzworth (1964) detectó un área de máximos valores que alcanzan su culminación en el verano. Estos máximos valores de PMCM que se observan sobre toda la extensión de los sistemas montañosos de México y del oeste de los Estados Unidos se deben, probablemente, a las elevadas temperaturas que se registran en la primavera (en el centro de México) y en el verano (en el norte y NW del país, así como en los Estados Unidos).

Los valores bajos de la PMCM en las costas del NW se deben a la influencia de la corriente fría de California; sin embargo, hacia el sur de Cabo Corrientes las aguas más tibias del Pacífico Tropical hacen que la PMCM se eleve nuevamente.

En la planicie costera del Golfo de México la PMCM es menor que en el altiplano, produciéndose un gradiente muy acentuado entre México, D. F. y Veracruz, particularmente en la estación de secas. Al comenzar las lluvias el abatimiento de las temperaturas máximas en la altiplanicie reduce la diferencia de la PMCM respecto a los sitios costeros.

b) Variación estacional de la PMCM y de la PCM matutina

En la fig. 21 se muestra la variación mensual de la PMCM para varias estaciones de radiosondeo. Se advierte en esta figura que las estaciones de clima netamente marítimo (como Isla Socorro) y las costeras (como Guaymas y Veracruz) acusan variaciones estacionales poco acentuadas de la PMCM aunque, en general, registran un máximo en el verano y un mínimo en la estación fría. Sin embargo, cuando se trata de las estaciones continentales, como México, D. F., El Paso o Chihua-

hua, la variación de la PMCM en el año es muy marcada.

En la parte sur del altiplano, es decir, en la mesa central, la PMCM es mayor entre marzo y mayo, precisamente cuando la temperatura es la más alta, según se aprecia en la fig. 22. En cambio, hacia el norte del país, el máximo anual de la PMCM se desplaza a los meses de mayo a julio o agosto, justo en los meses más calurosos (fig. 22).

La capa de mezcla matutina. Como ya se señaló en la sección 5, la PCM matutina tiene por objeto estimar el grado de dispersión vertical que tienen los contaminantes a la hora de la mañana en que las emisiones vehiculares alcanzan un máximo (entre las 8 y las 10 h.). Ya se vio que, para las estaciones costeras, agregar 5°C a la temperatura de superficie del sondeo de la mañana resulta excesivo, y la altura de la PCM así obtenida es muy cercana a la PMCM como puede apreciarse en la fig. 23a. En cambio la diferencia entre la PCM matutina y la PMCM es marcada en las estaciones continentales (ver, p. ej. Chihuahua y México, D. F., figs. 23a y 23b).

Lo anterior significa que en los meses de seca la abundante insolación que prevalece, sobre todo en la altiplanicie, es la causa de que después del mediodía la profundidad de la capa en que se diluyen verticalmente los contaminantes se vuelva prácticamente ilimitada y la dispersión se lleve a cabo, entonces, en forma muy enérgica. Como contraste, en las regiones costeras la PMCM no es considerable y rara vez sobrepasa 1 km. por lo que la dispersión en la vertical es reducida comparativamente. Sin embargo, en estas áreas de influencia marina las brisas producen la turbulencia necesaria para diluir horizontalmente los contaminantes.

8. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha intentado, de modo muy general, describir las propiedades de difusión de la llamada capa planetario o capa límite, en las diversas regiones del país. Para esto se han estimado, por una parte, la profundidad de la capa de mezcla (máxima y matutina) que tiene una relación directa con la capacidad de dilución de

VALORES MEDIOS DE LA PROFUNDIDAD MAXIMA DE LA CAPA DE MEZCLA,
LA CAPA DE MEZCLA MATUTINA Y LA CAPA DE INVERSION (en m).

E S T A C I O N	E N E R O		F E B R E R O		M A R Z O		A B R I L			
	Capa mezcla temp. máxima + 5°C	Capa de inversión	Capa mezcla temp. máxima + 5°C	Capa de inversión	Capa mezcla temp. máxima + 5°C	Capa de inversión	Capa mezcla temp. máxima + 5°C	Capa de inversión		
AEROPUERTO INTERNACIONAL, D.F.	2270.4	226.7	462.7	381.1	3432.3	279.5	346.4	2952.9	451.9	277.9
MAZATLAN, SIN.	735.3	149.2	317.3	320.1	716.6	264.5	340.4	591.5	255.9	256.2
MONTERREY, N.L.	917.3	481.9	368.1	361.4	1351.4	495.1	284.8	1710.1	775.3	202.7
MERIDA, YUC.	1669.9	480.4	227.9	195.9	1979.7	652.8	137.9	1922.8	646.2	122.4
EMPALME, SON.	1203.3	291.3	241.0	256.8	1800.2	659.8	190.4	1522.8	287.5	284.3
ISLA GUADALUPE, B.C.	1185.0	1248.6	000.0	138.2	2559.9	1453.6	159.9	1982.9	975.1	125.5
CHIHUAHUA, CHIH.	1558.9	479.8	256.9	244.2	2601.5	879.1	157.2	2836.5	751.8	183.2
VERACRUZ, VER.	510.51	221.97	000.43	000.53	610.73	294.44	000.48	925.02	373.97	000.40

T A B L A 3

VALORES MEDIOS DE LA PROFUNDIDAD MAXIMA DE LA CAPA DE MEZCLA,
LA CAPA DE MEZCLA MATUTINA Y LA CAPA DE INVERSION (en m).

E S T A C I O N	M A Y O		J U N I O		J U L I O		A G O S T O					
	Capa mezcla temp. máxima + 5°C inver- sión	Capa mezcla temp. máxima + 5°C inver- sión	Capa mezcla temp. máxima + 5°C inver- sión	Capa mezcla temp. máxima + 5°C inver- sión	Capa mezcla temp. máxima + 5°C inver- sión	Capa mezcla temp. máxima + 5°C inver- sión	Capa mezcla temp. máxima + 5°C inver- sión	Capa mezcla temp. máxima + 5°C inver- sión				
AEROPUERTO INTERNACIONAL, D.F.	3000.7	669.1	416.1	2425.0	928.7	282.6	2089.5	959.9	196.5	2051.4	1134.2	147.2
MAZATLAN, SIN.	612.4	458.2	217.8	909.4	836.9	90.1	846.9	712.2	108.3	1048.7	825.5	127.6
MONTERREY, N.L.	1520.9	531.9	240.2	1431.0	908.7	168.7	1427.7	892.3	157.7	1404.8	850.0	219.1
MERIDA, YUC.	2105.7	633.2	173.3	2158.0	518.9	153.7	1574.7	409.1	218.4	1462.5	415.1	206.4
EMPALME, SON.	1343.5	272.6	260.6	1097.3	361.0	325.8	1261.8	639.4	248.8	1468.1	778.8	103.8
ISLA GUADALUPE, B.C.	1286.5	776.0	126.0	839.9	584.3	243.5	718.5	547.6	506.0	758.1	597.0	100.7
CHIHUAHUA, CHIH.	3094.7	525.5	175.5	3466.6	610.7	145.2	2599.0	931.8	183.7	2154.2	601.3	261.5
VERACRUZ, VER.	942.0	708.0	128.9	1000.4	769.4	79.2	1199.5	667.6	123.7	1325.1	593.8	135.6

T A B L A 3

VALORES MEDIOS DE LA PROFUNDIDA MAXIMA DE LA CAPA DE MEZCLA,
LA CAPA DE MEZCLA MATUTINA Y LA CAPA DE INVERSION (en m).

E S T A C I O N	S E P T I E M B R E			O C T U B R E			N O V I E M B R E			D I C I E M B R E		
	Capa mezcla temp. máxima + 5°C inver- sión	Capa mezcla temp. inver- sión	Capa mezcla temp. + 5°C inver- sión	Capa mezcla temp. máxima + 5°C inver- sión	Capa mezcla temp. inver- sión	Capa mezcla temp. + 5°C inver- sión	Capa mezcla temp. máxima + 5°C inver- sión	Capa mezcla temp. inver- sión	Capa mezcla temp. + 5°C inver- sión	Capa mezcla temp. máxima + 5°C inver- sión	Capa mezcla temp. + 5°C inver- sión	Capa mezcla temp. máxima + 5°C inver- sión
AEROPUERTO INTERNACIONAL D.F.	2186.4	978.9	123.8	2043.7	1006.4	210.7	2169.4	460.5	308.3	2206.1	369.7	378.0
HAZATLAN, SIN.	1032.6	921.5	94.2	791.9	483.2	176.2	754.5	204.9	305.8	586.9	144.1	427.0
MONTERREY, N.L.	1378.2	727.7	234.8	1052.6	634.8	171.1	880.9	479.9	227.6	888.6	338.8	252.0
MERIDA, YUC.	1259.8	378.9	182.4	1404.4	378.5	138.6	1630.6	465.8	189.4	1435.4	360.2	192.9
EMPAIME, SON.	1343.9	599.0	167.9	1189.4	186.0	412.8	1024.1	141.6	322.7	795.4	95.54	383.1
ISLA GUADALUPE, B.C.	941.6	700.3	245.2	882.9	618.8	265.0	951.5	933.7	323.8	713.5	719.2	262.0
CHIHUAHUA, CHIH.	334.5	72.1	450.0	2285.8	220.6	259.6	2040.3	246.4	246.3	1587.9	240.8	312.0
VERACRUZ, VER.	1131.6	618.8	117.0	1067.6	639.4	149.7	914.16	680.4	135.2			

los contaminantes en la vertical. Por otro lado, se ha calculado la intensidad del viento resultante, promedio, en la capa de mezcla, con objeto de tener una idea de la rapidez de la dilución y el transporte, en la horizontal, de los contaminantes emitidos en las áreas urbanas de México. También se examinan en las distintas regiones del país la frecuencia y profundidad que tienen las inversiones superficiales de temperatura.

Aun cuando la red de radiosondeo es todavía rala, se han podido distinguir contrastes de las propiedades de difusión del aire entre los lugares ubicados en el altiplano y las regiones costeras, que pueden resumirse así (tabla 4):

La intensidad media del viento, que es un índice de la rapidez del transporte horizontal de los contaminantes, es reducida en los valles y llanuras de la altiplanicie y aumenta en las costas.

Dado el gran espaciamiento de las estaciones de radiosondeo, no es posible, en la actualidad, demarcar con mayor precisión los límites entre las diversas regiones del país, en cuanto a sus propiedades para difundir contaminantes.

TABLA 4. PROPIEDADES GENERALES DE DIFUSION
ATMOSFERICA EN DIVERSAS REGIONES DE
MEXICO.

	VARIACION DIURNA DE LAS PROPIEDADES DE DIFUSION		VARIACION ESTACIONAL
	NOCHE (19 h. a 10 a.m.)	DIA (11 a 18 h. aprox)	
VALLES INTERIORES Y LLANURAS EN LA ALTI PLANICIE	Frecuencia alta de inversiones super- ficiales en la esta- cion seca y, conse- cuentemente, una difusion muy redu- cida de los conta- minantes.	Después del medio día elevación rápida de la capa de mezcla y, en conse- cuencia, una disper- sion enérgica de los contaminantes	Las mayores PCM ocurren en marzo- mayo en la mesa central y en junio- agosto en el N y NW, llegando a so- brepasar 2 o 3 km. Las menores PMCM se presentan en invierno.
REGIONES COSTERAS	Frecuencia reducida de inversiones su- perficiales. Buena difusion atmosférica excepto al final del período. En la región costera del NW de BCN la inversión superficial se refuerza con el efecto de la corrient te fría de California	El establecimiento de las brisas pro- porciona buenas condiciones de di- fusión, a pesar de una PCM relativa- mente baja.	Las variaciones esta- cionales de la PM CM son pequeñas, con un máximo en la estación lluviosa

BIBLIOGRAFIA

- CHANDLER, T. J. (1962) "London's Urban Climate". Geogr. Journal. Vol. 128 (2).
- HOLTZWORTH, G. (1964) "Estimates of Mean Maximum Mixing Depth in the Contiguous U.S. Mo". Weather Rev. Vol. 92 (5); 235-242.
- HOLTZWORTH, G. (1967) "Mixing Depth, Windspeeds and Air Pollution Potential in U.S.". Journ. Appl. Meteor. Vol. 6; 1039-1044.
- JAUREGUI, E. (1971) Micromesoclima de la Ciudad de México. Instituto de Geografía, UNAM. México.
- JAUREGUI, E. (1979) "La Contaminación Atmosférica Potencial en los Valles del Centro de México". Comunicaciones, Vol. 16 Puebla.
- KRATZER, P. A. (1957) "Das Stadtklima", Die Wissenschaft, Vol. 90, Brunswich, Vieweg, 184 pp.
- LAJER, W. y I. KLAUS (1975) "Thermal Circulation of Central Mexican Meseta", Arch. Met. Geophys. Biokl., Ser. B, 23, 343-366.

RECONOCIMIENTO

El autor desea expresar su agradecimiento al Cap. Silvino Aguilar Anguiano por las facilidades otorgadas para la extracción de los datos de radiosondeo. El Lic. Francisco Cruz N. se encargó de la recopilación de la información. La Sra. Cristina Medina realizó el trabajo estenográfico.

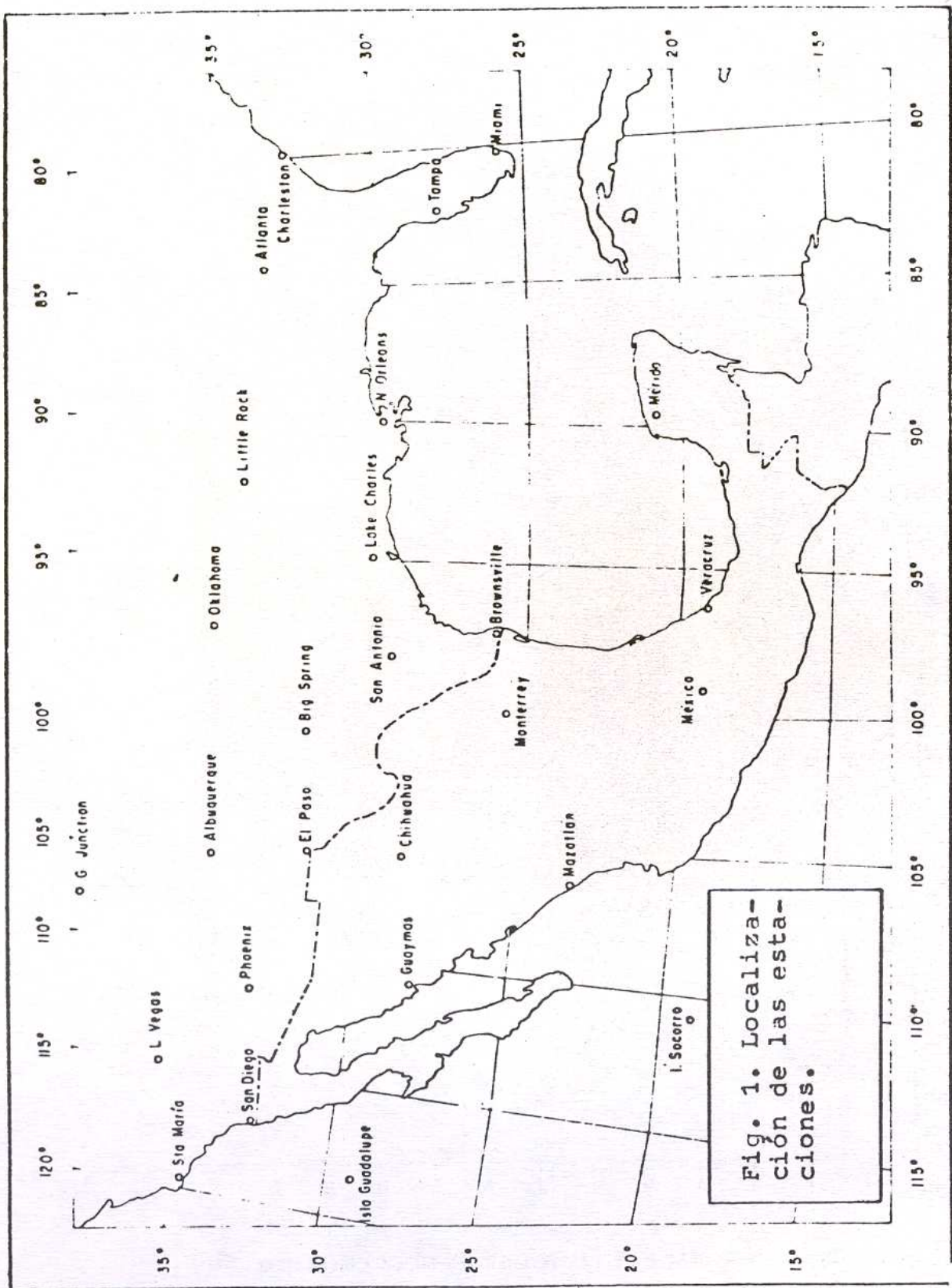


Fig. 1. Localiza-
 ción de las esta-
 ciones.

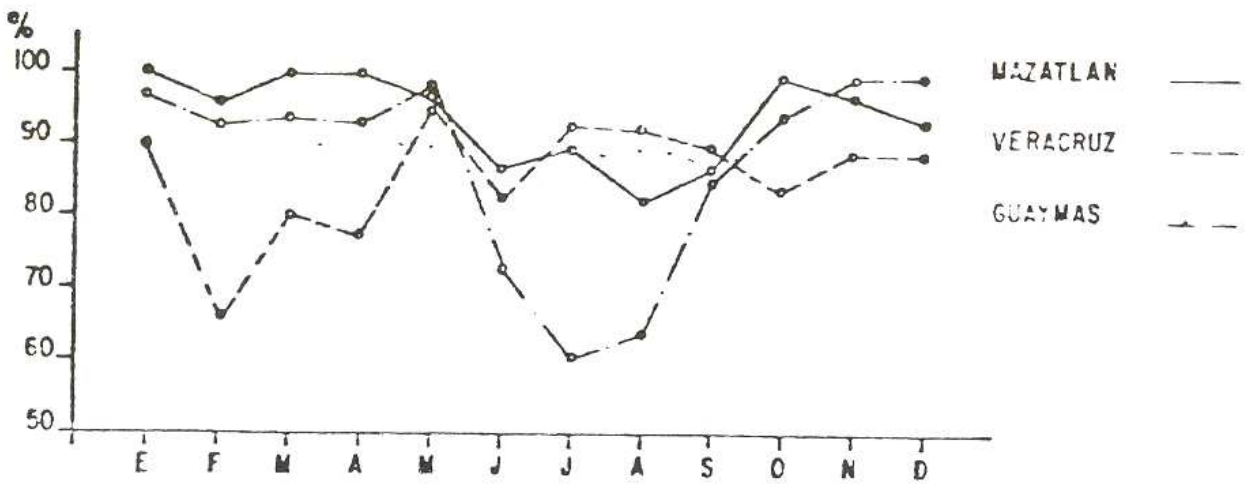
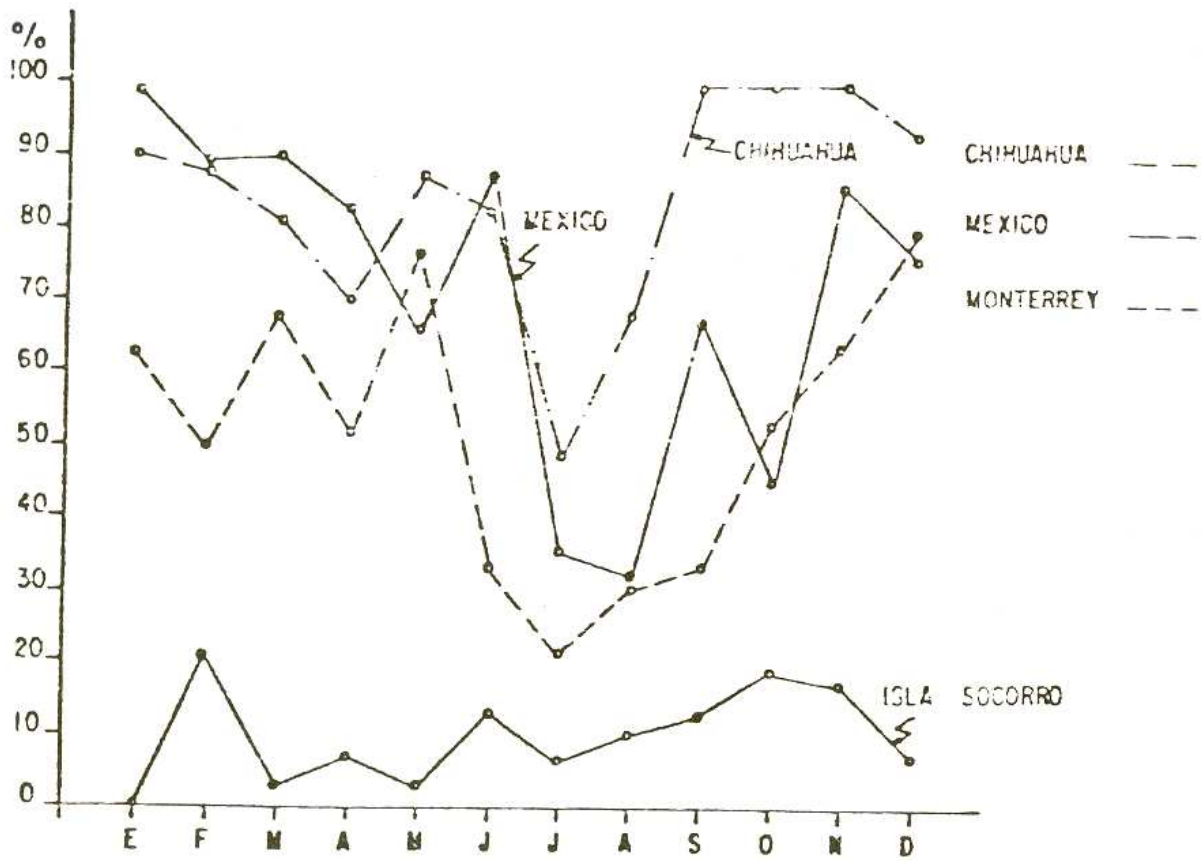


FIG. 2. FRECUENCIA DE LAS INVERSIONES SUPERFICIALES EN 1973

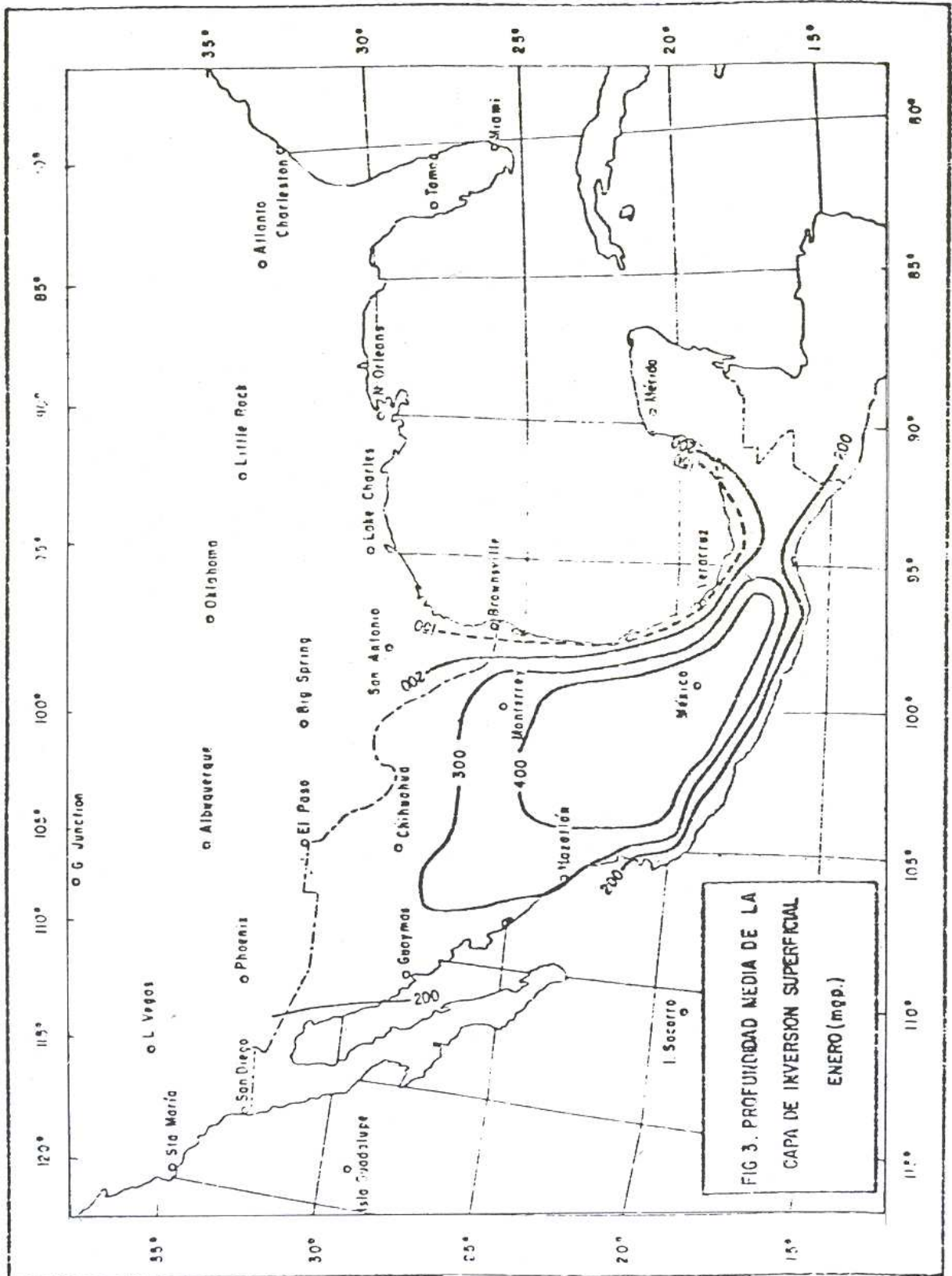


FIG 3. PROFUNDIDAD MEDIA DE LA
CAPA DE INVERSION SUPERFICIAL
ENERO (mgp.)

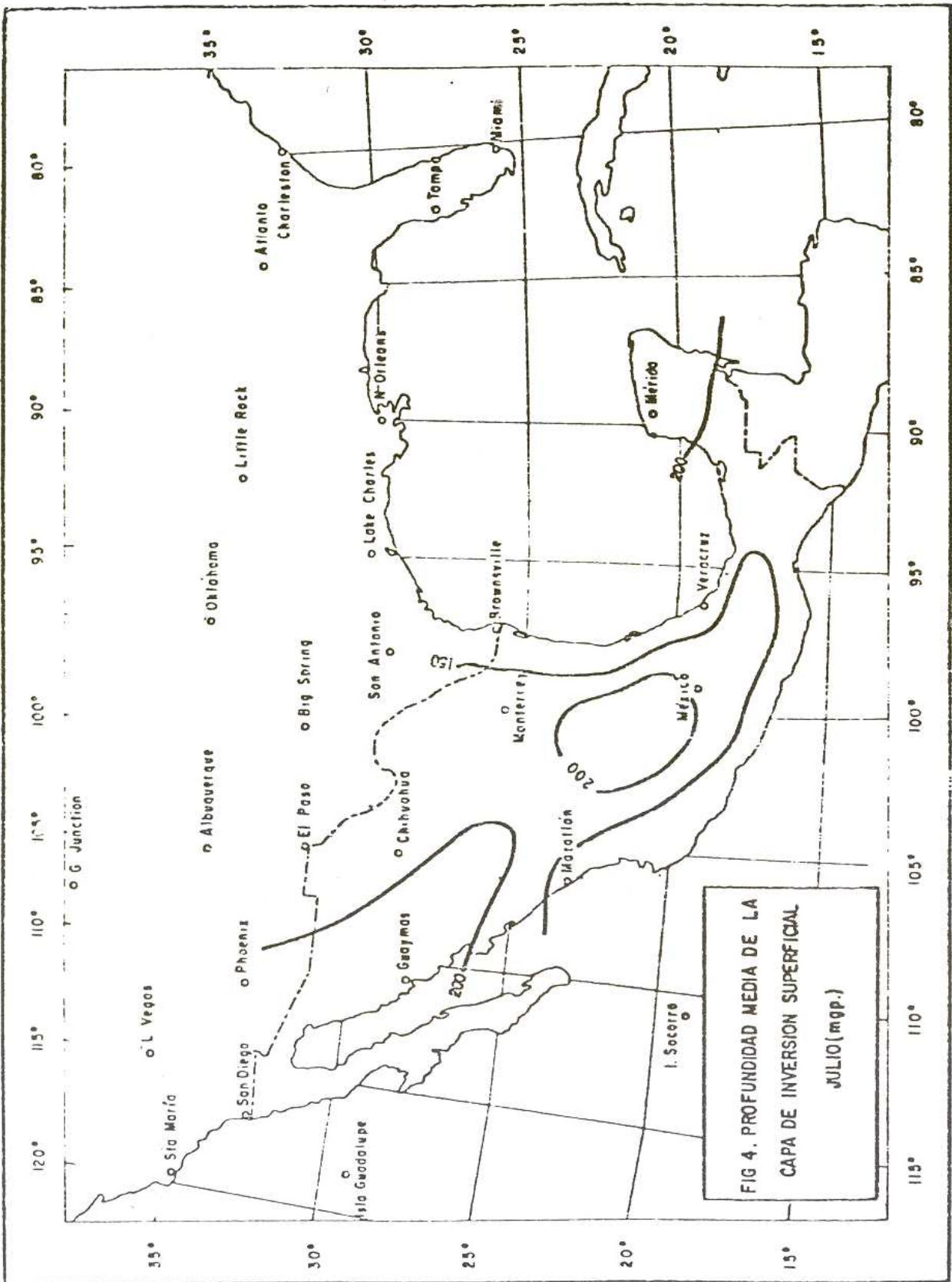
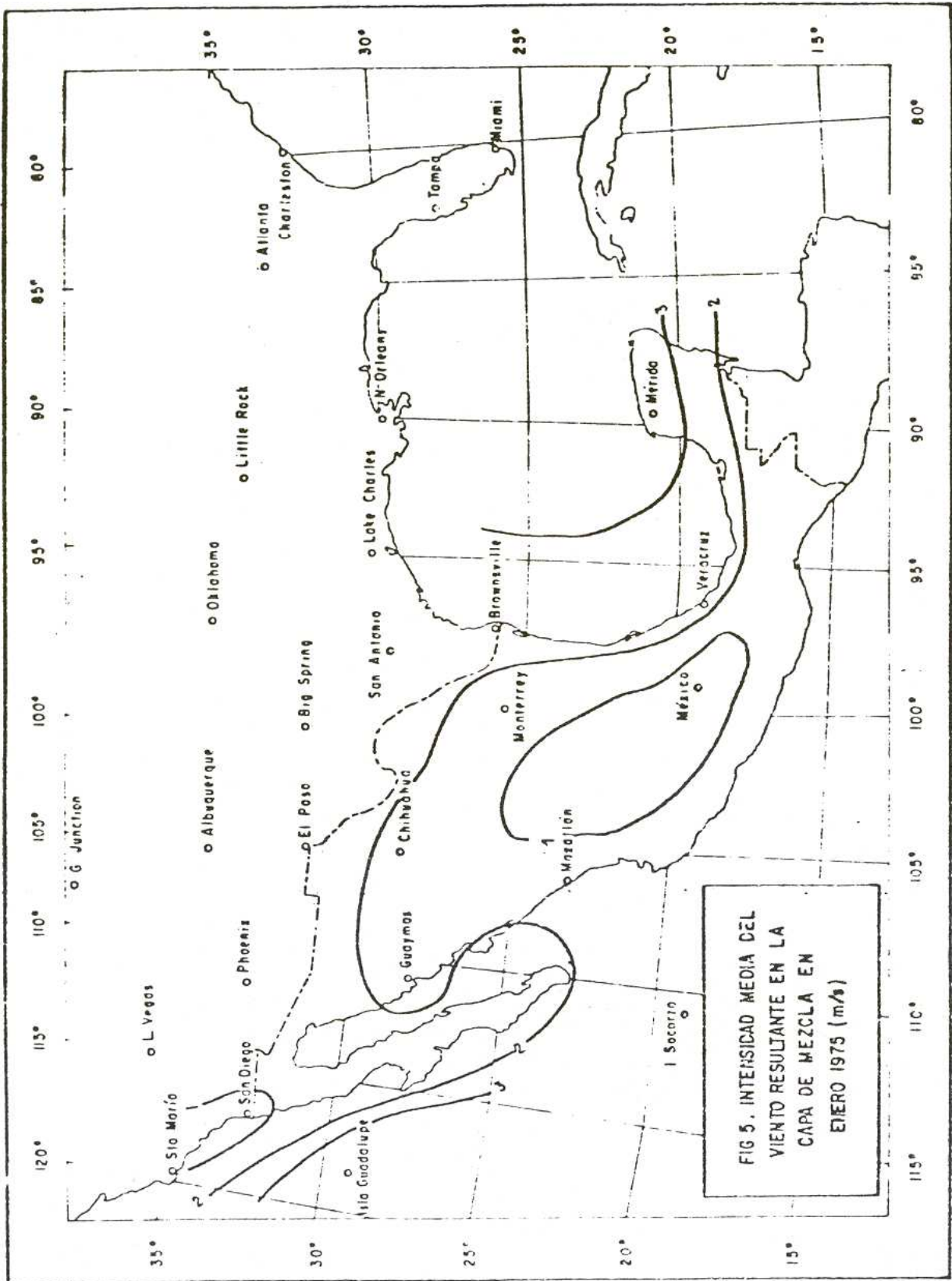
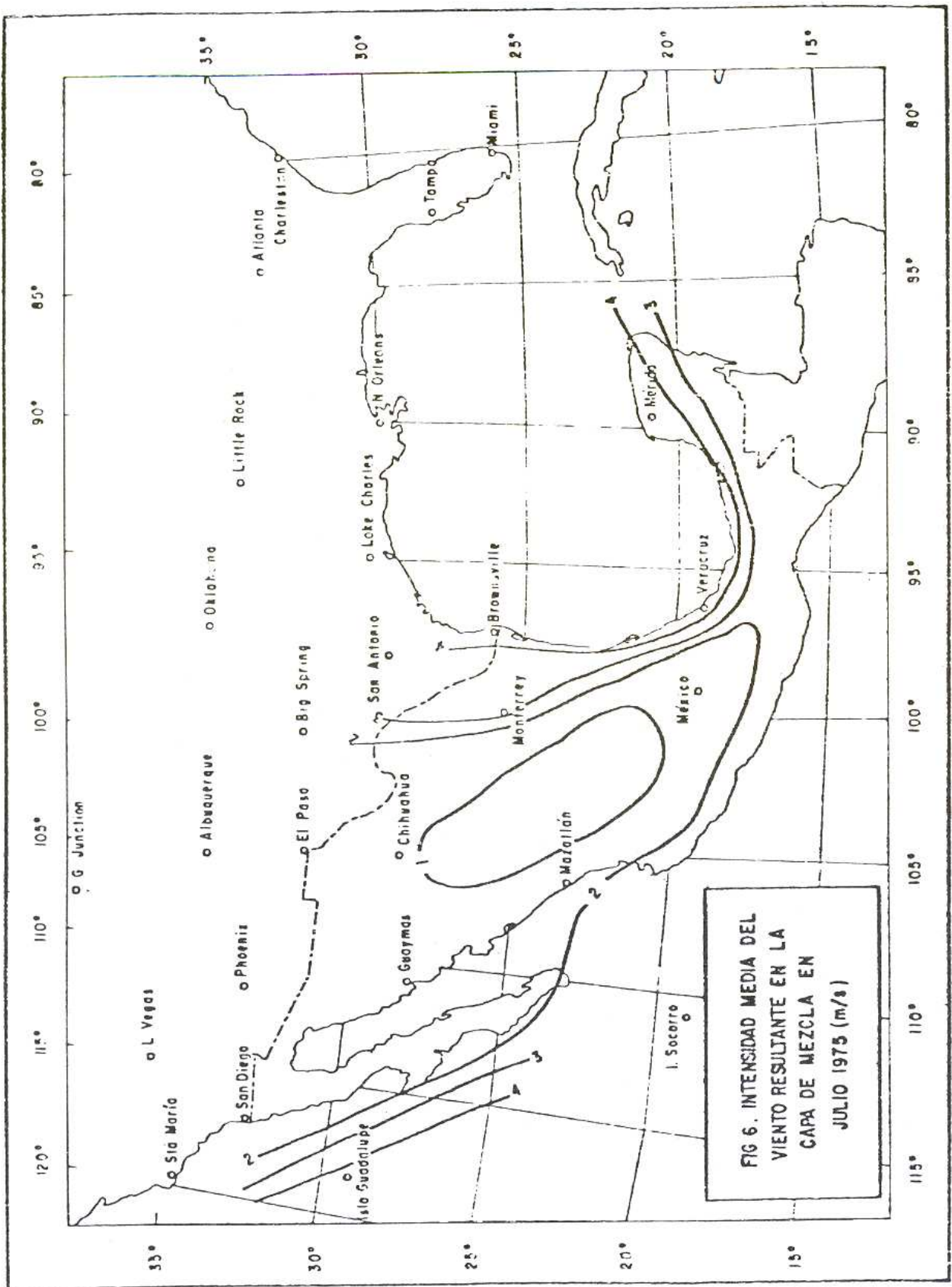


FIG 4. PROFUNDIDAD MEDIA DE LA
CAPA DE INVERSION SUPERFICIAL
JULIO (m.p.)





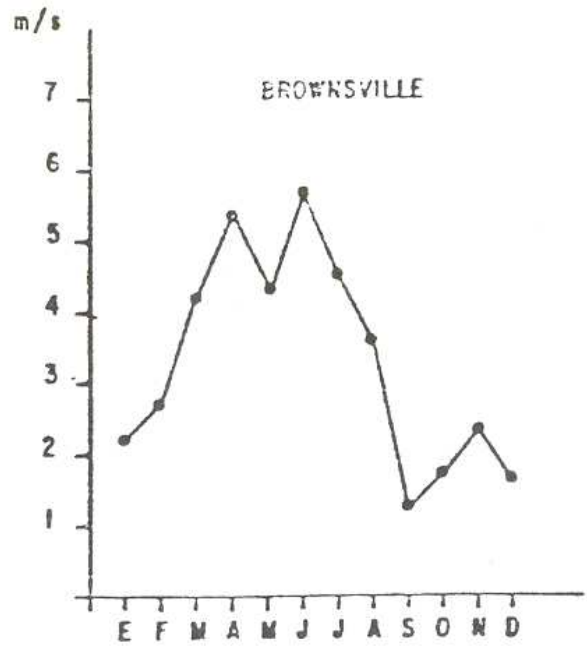
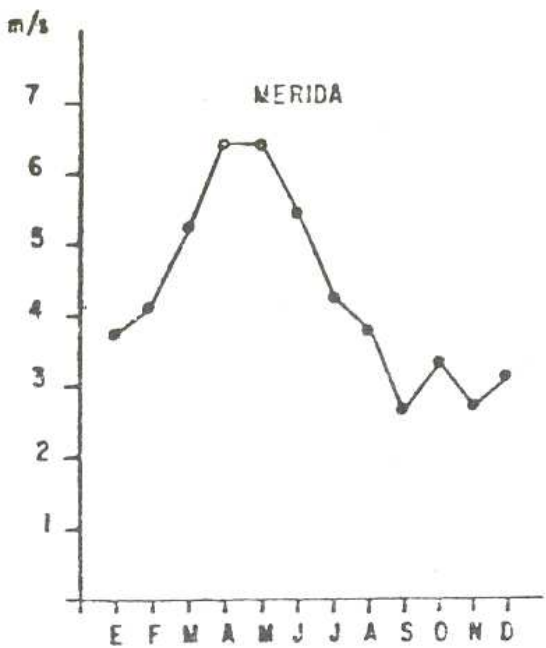
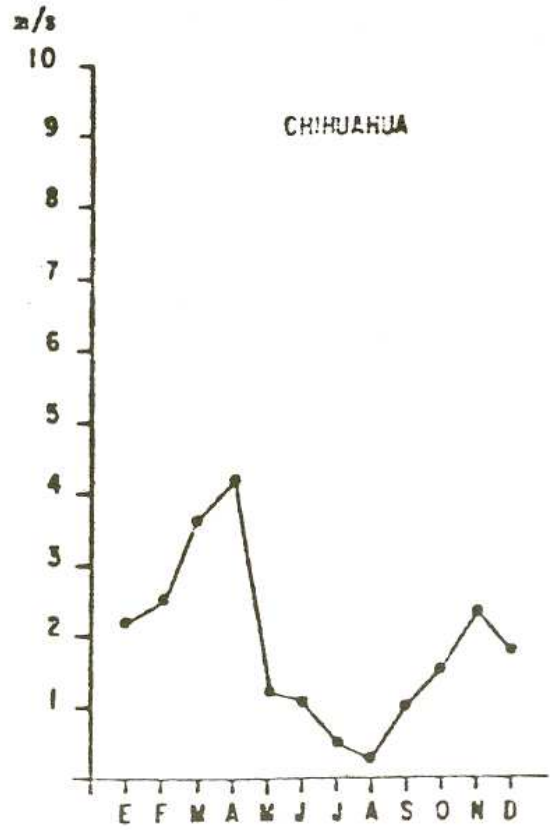
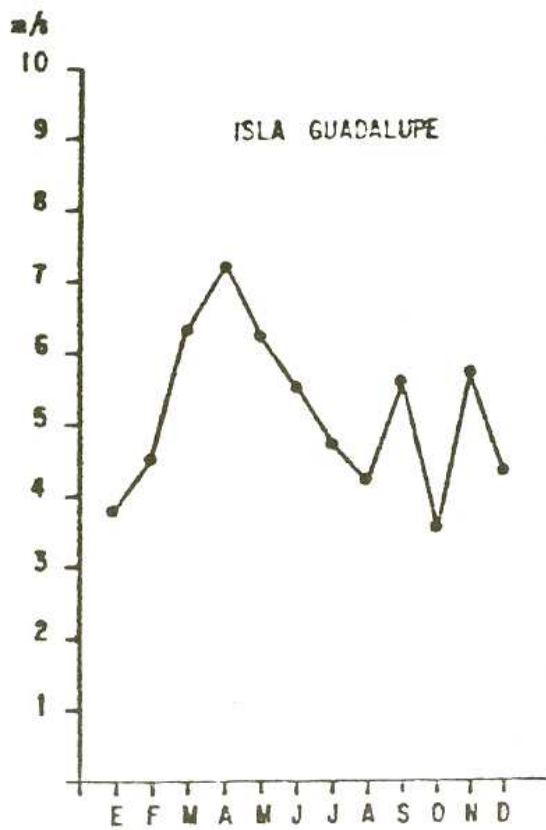


FIG , 7a INTENSIDAD DEL VIENTO RESULTANTE EN LA CAPA DE MEZCLA EN 1975

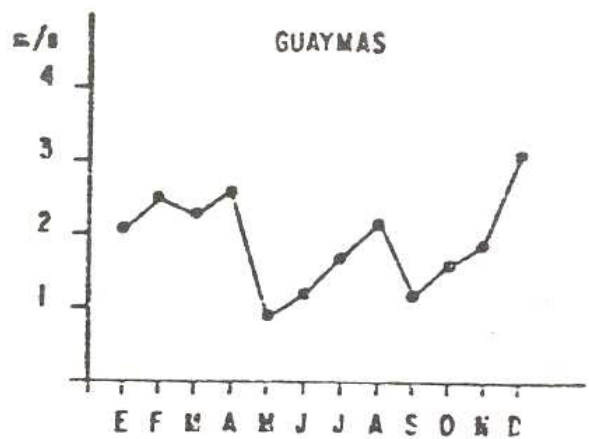
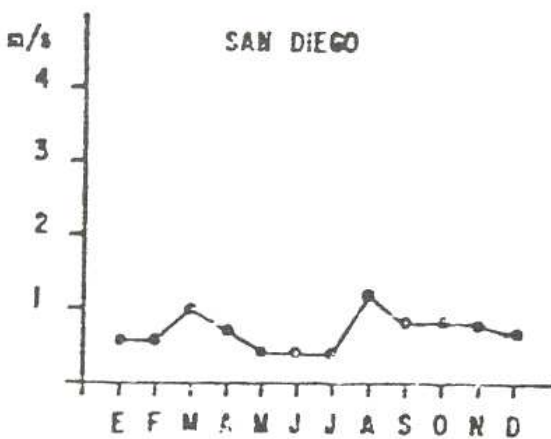
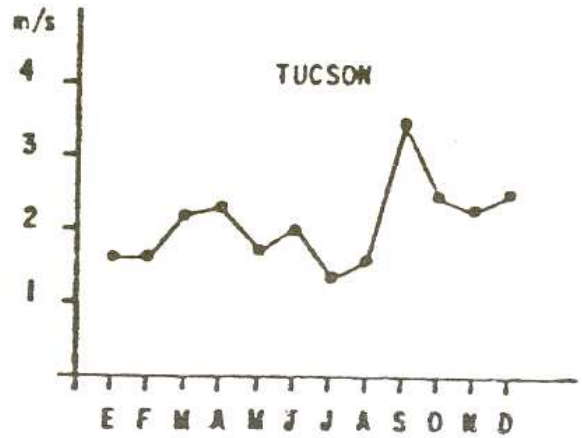
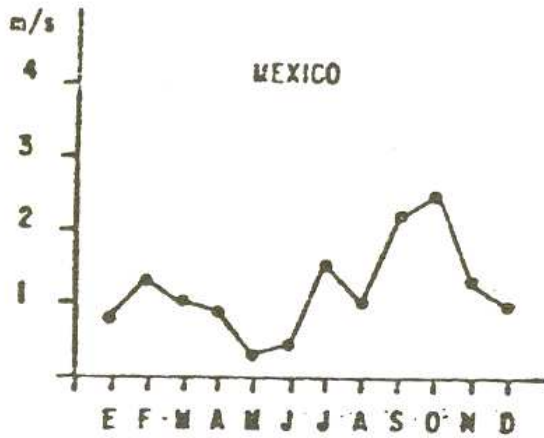
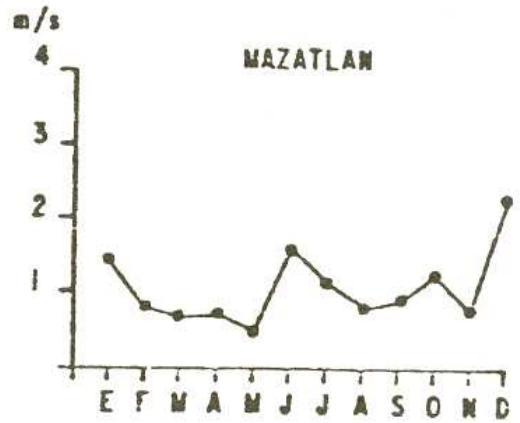
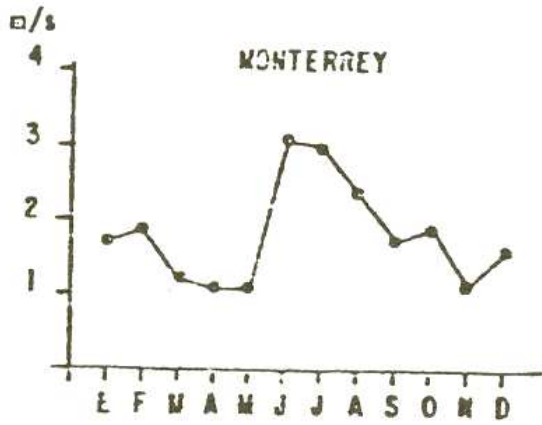


FIG. 7b. INTENSIDAD DEL VIENTO RESULTANTE EN LA CAPA DE MEZCLA EN 1975.

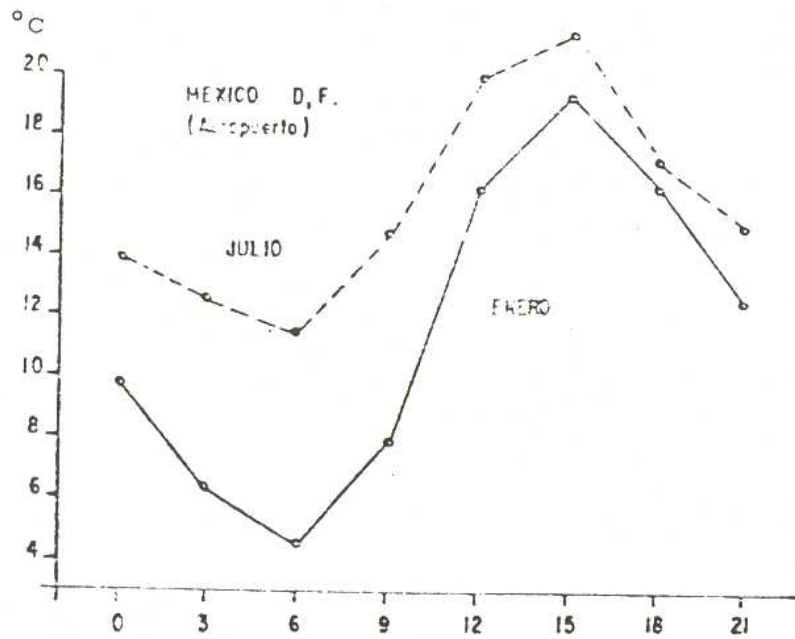


FIG. 8c VARIACION DIURNA DE LA TEMPERATURA

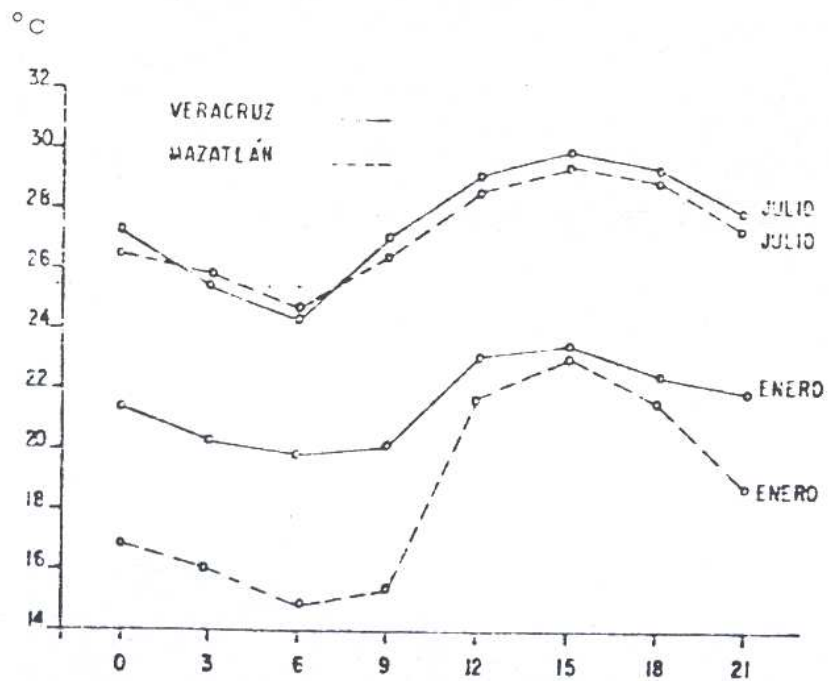
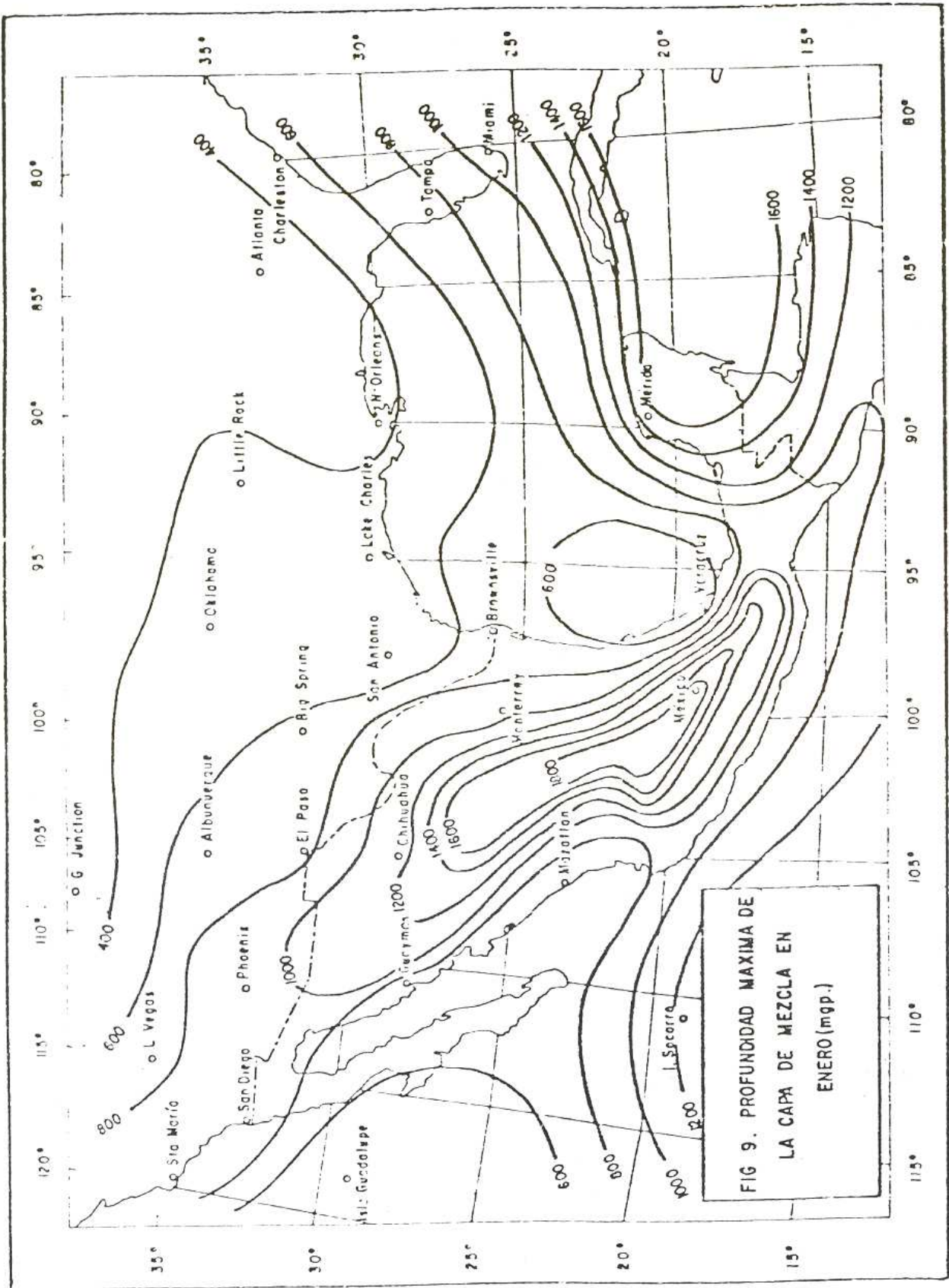


FIG. 8d VARIACION DIURNA DE LA TEMPERATURA



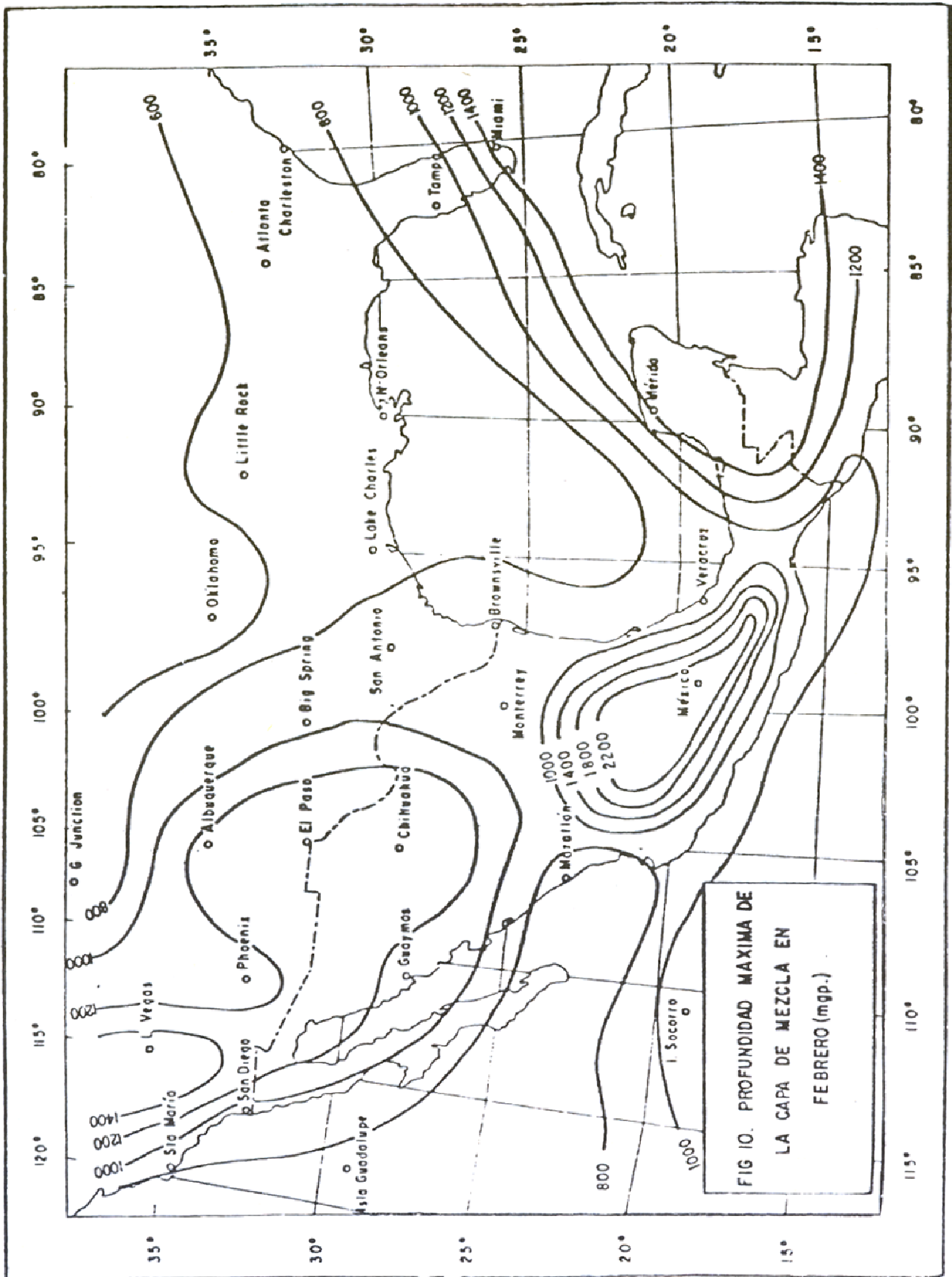


FIG 10. PROFUNDIDAD MAXIMA DE LA CAPA DE MEZCLA EN FEBRERO (m.p.)

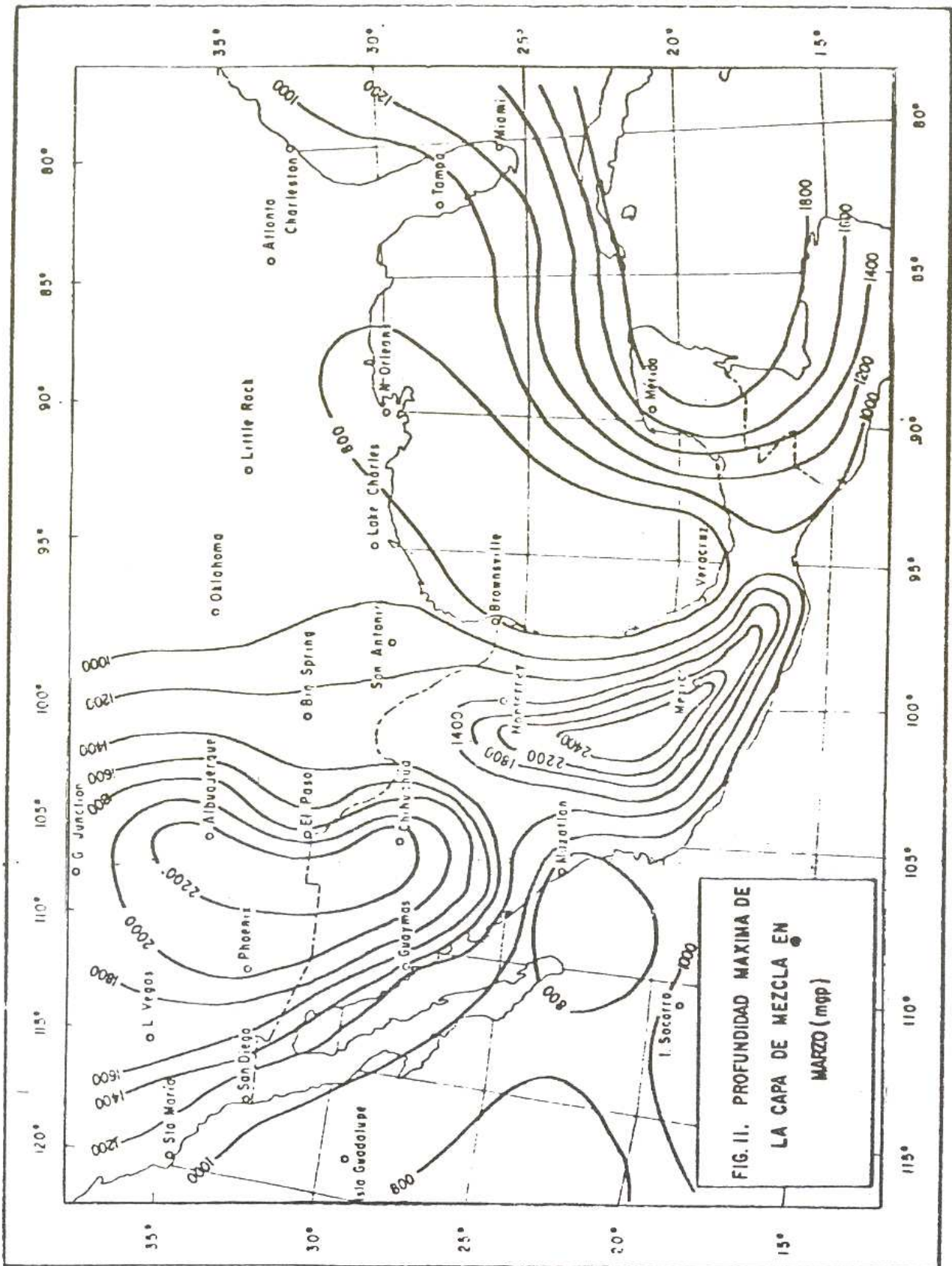


FIG. II. PROFUNDIDAD MAXIMA DE LA CAPA DE MEZCLA EN MARZO (mop)

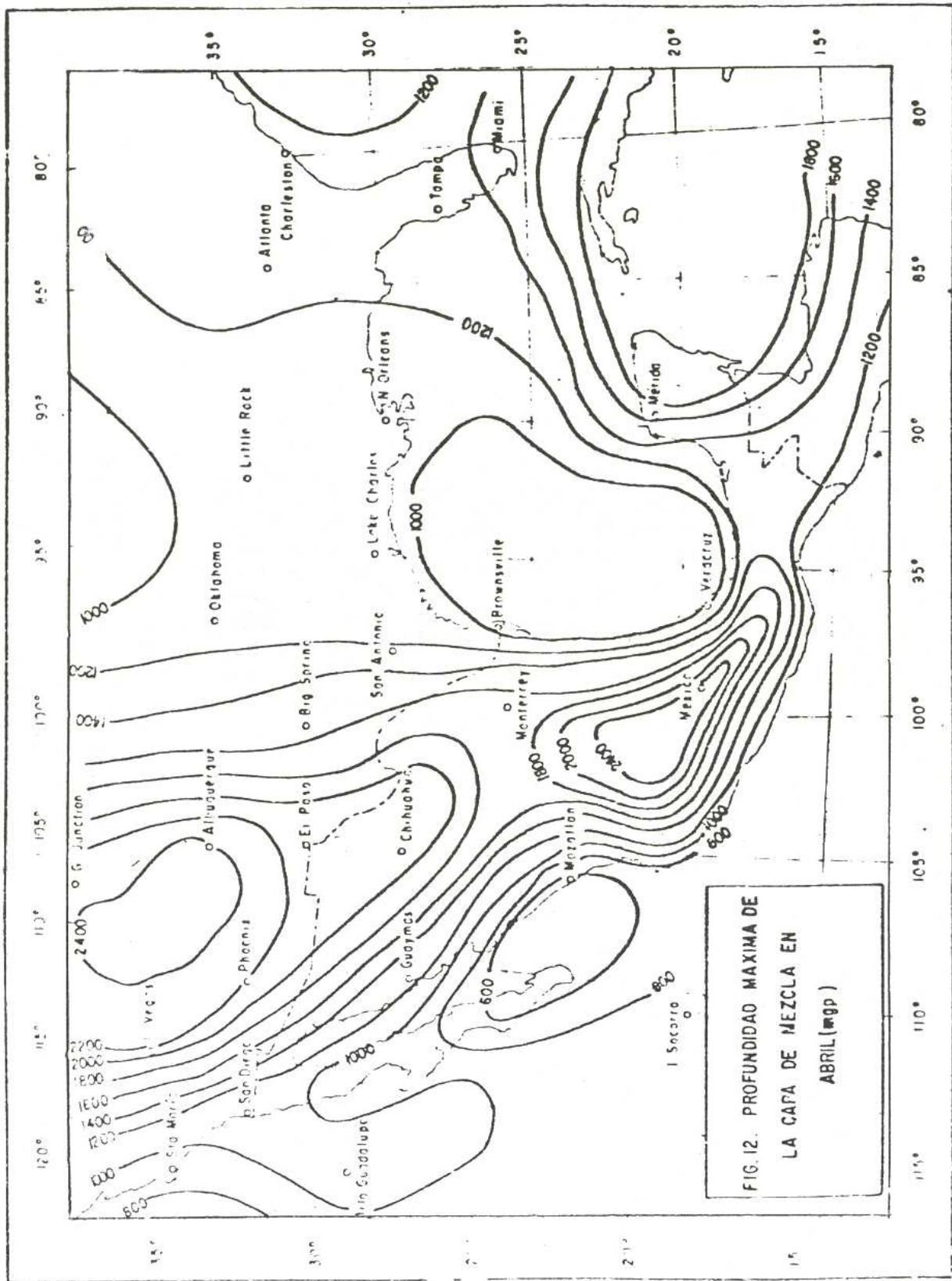


FIG. 12. PROFUNDIDAD MAXIMA DE LA CAPA DE MEZCLA EN ABRIL (mop)

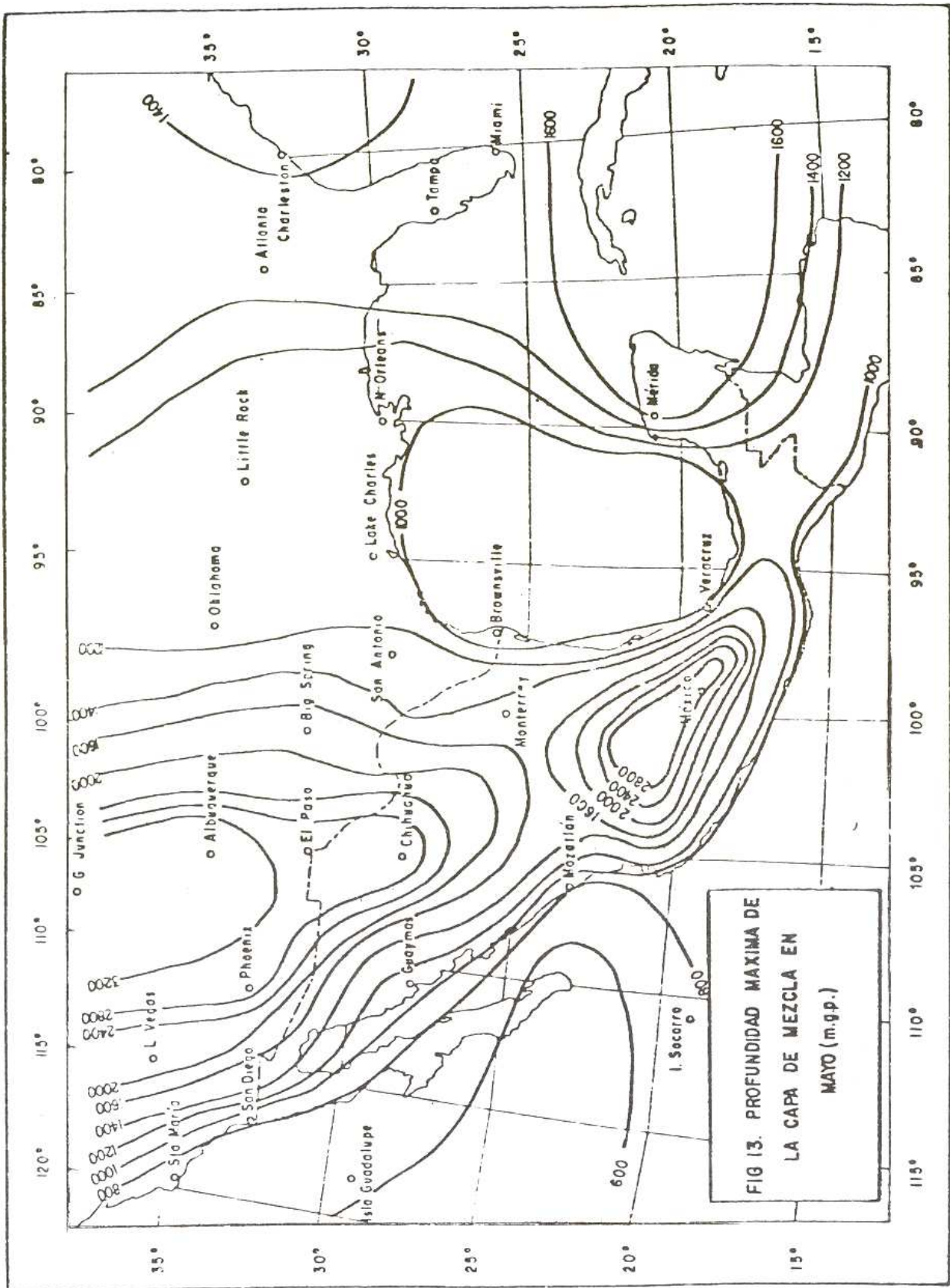
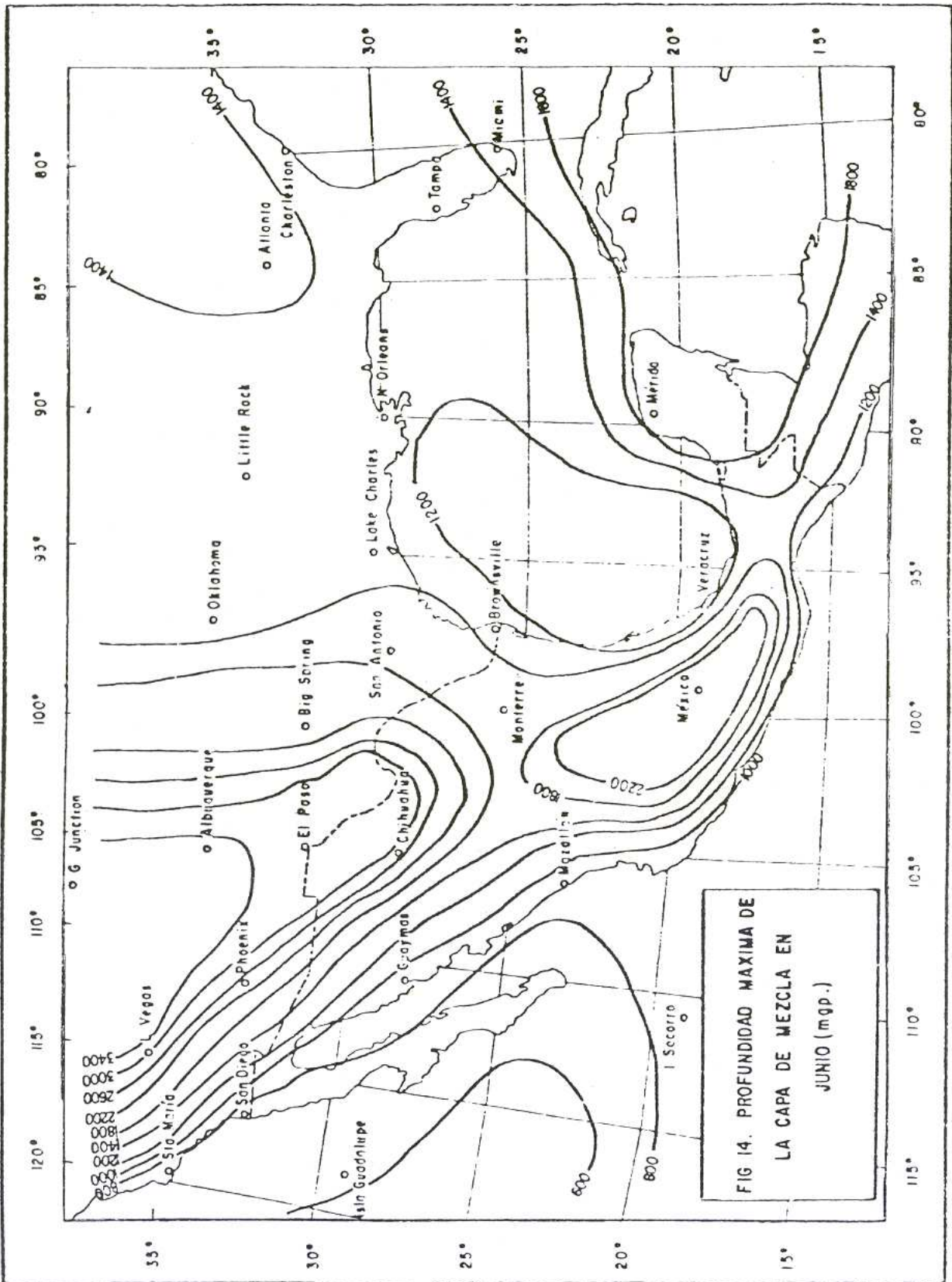


FIG 13. PROFUNDIDAD MAXIMA DE
LA CAPA DE MEZCLA EN
MAYO (m.g.p.)



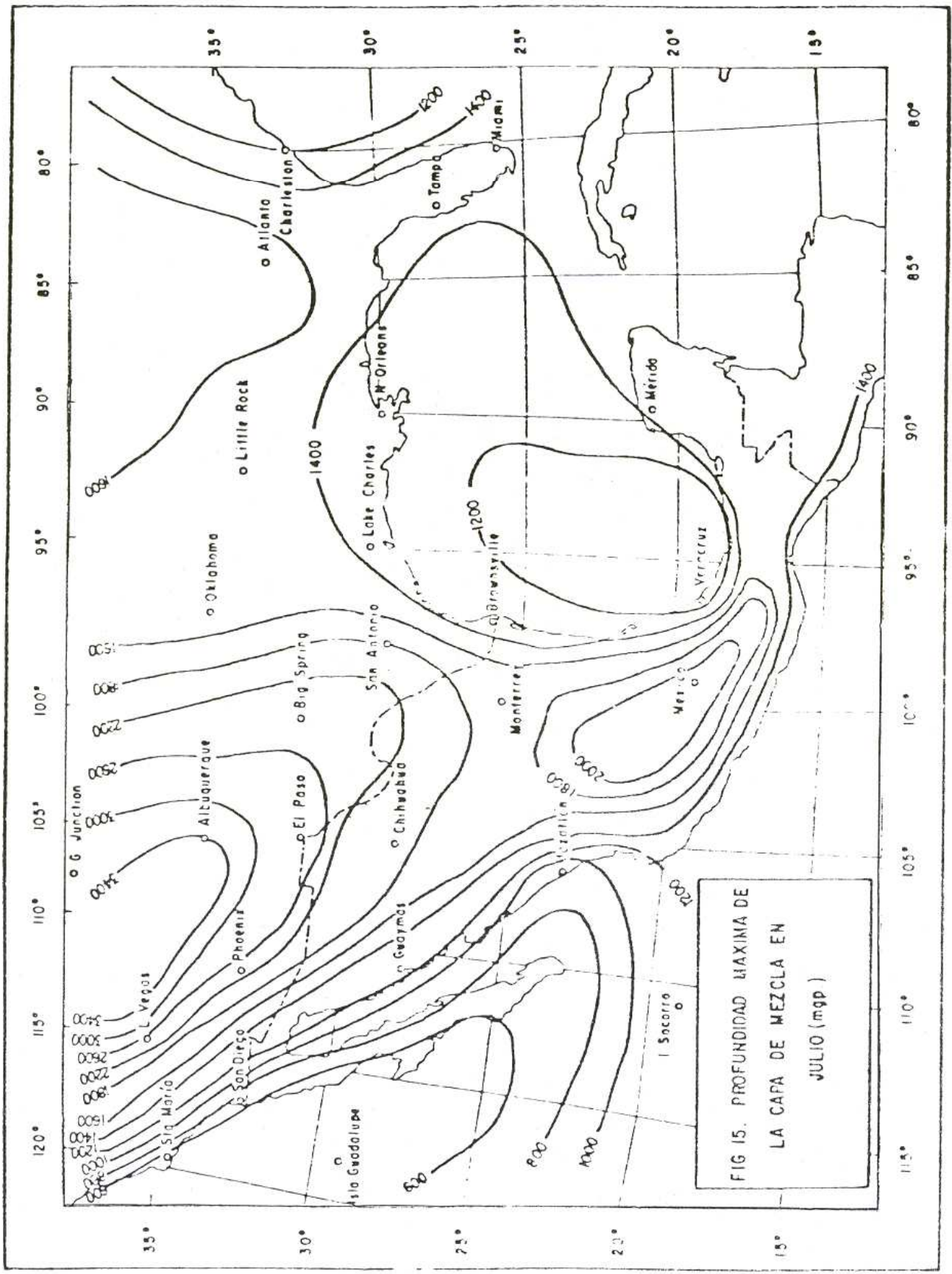


FIG 15. PROFUNDIDAD MAXIMA DE LA CAPA DE MEZCLA EN JULIO (mgs)

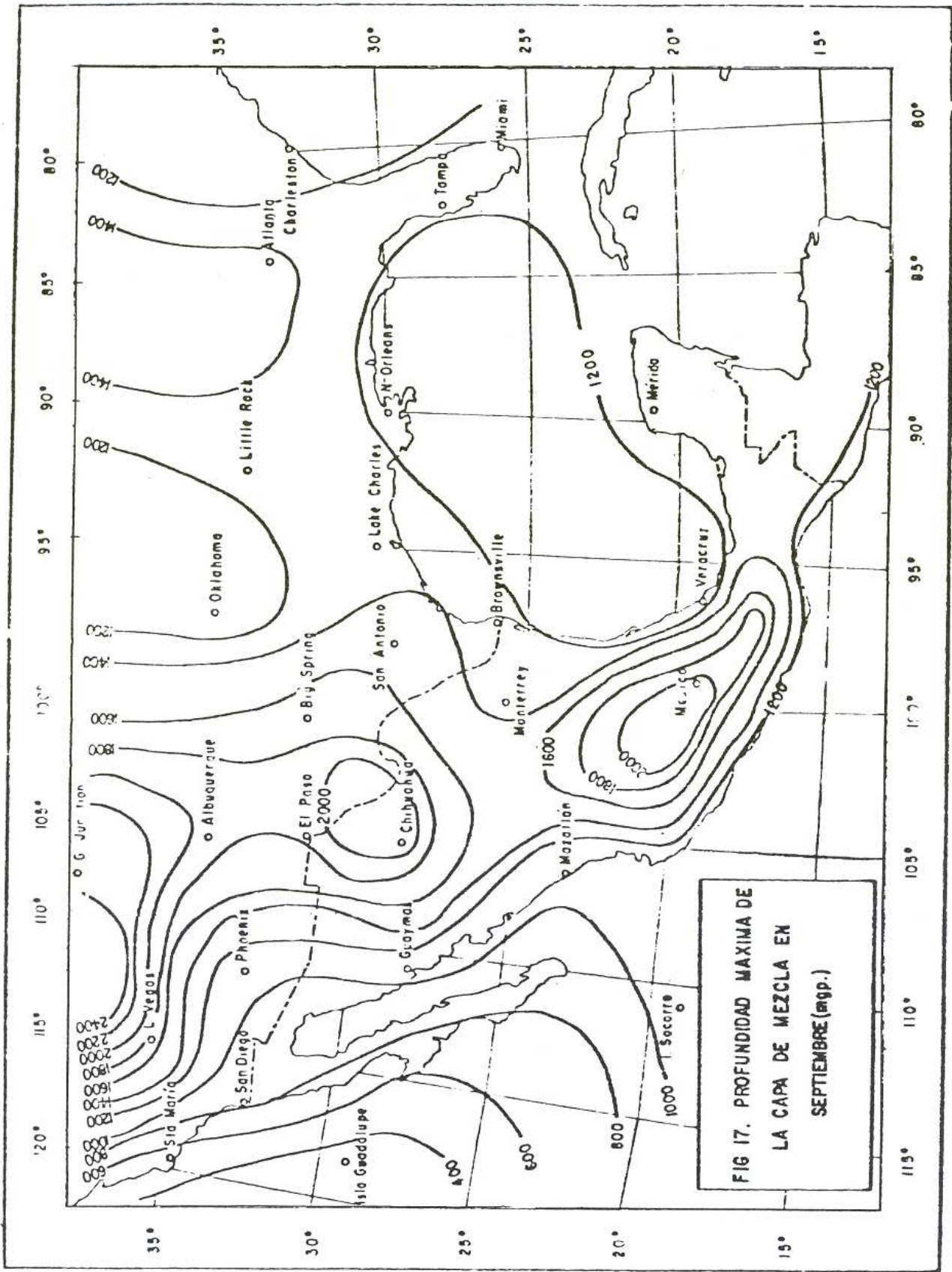


FIG 17. PROFUNDIDAD MAXIMA DE LA CAPA DE MEZCLA EN SEPTIEMBRE (mgs.)

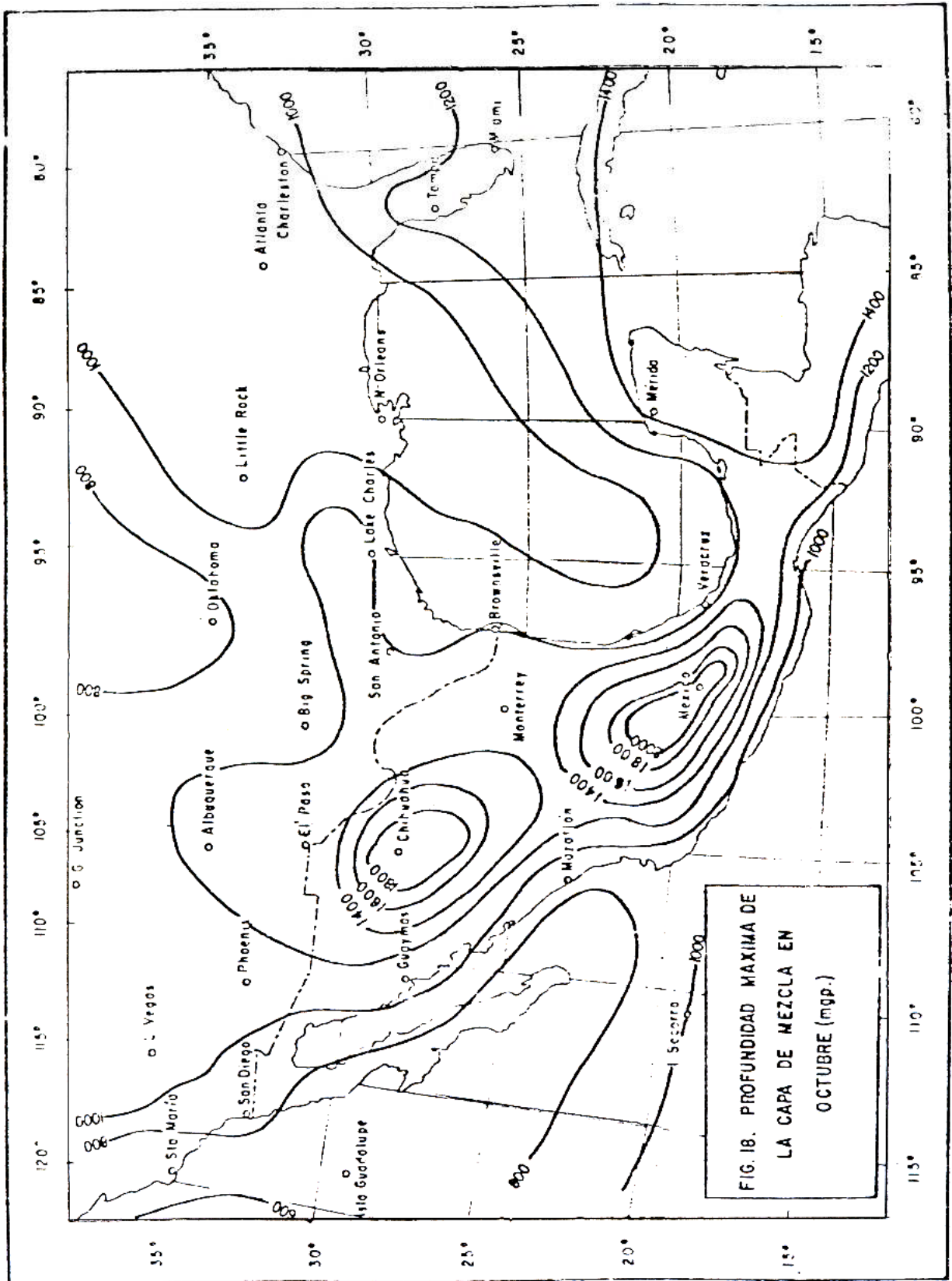
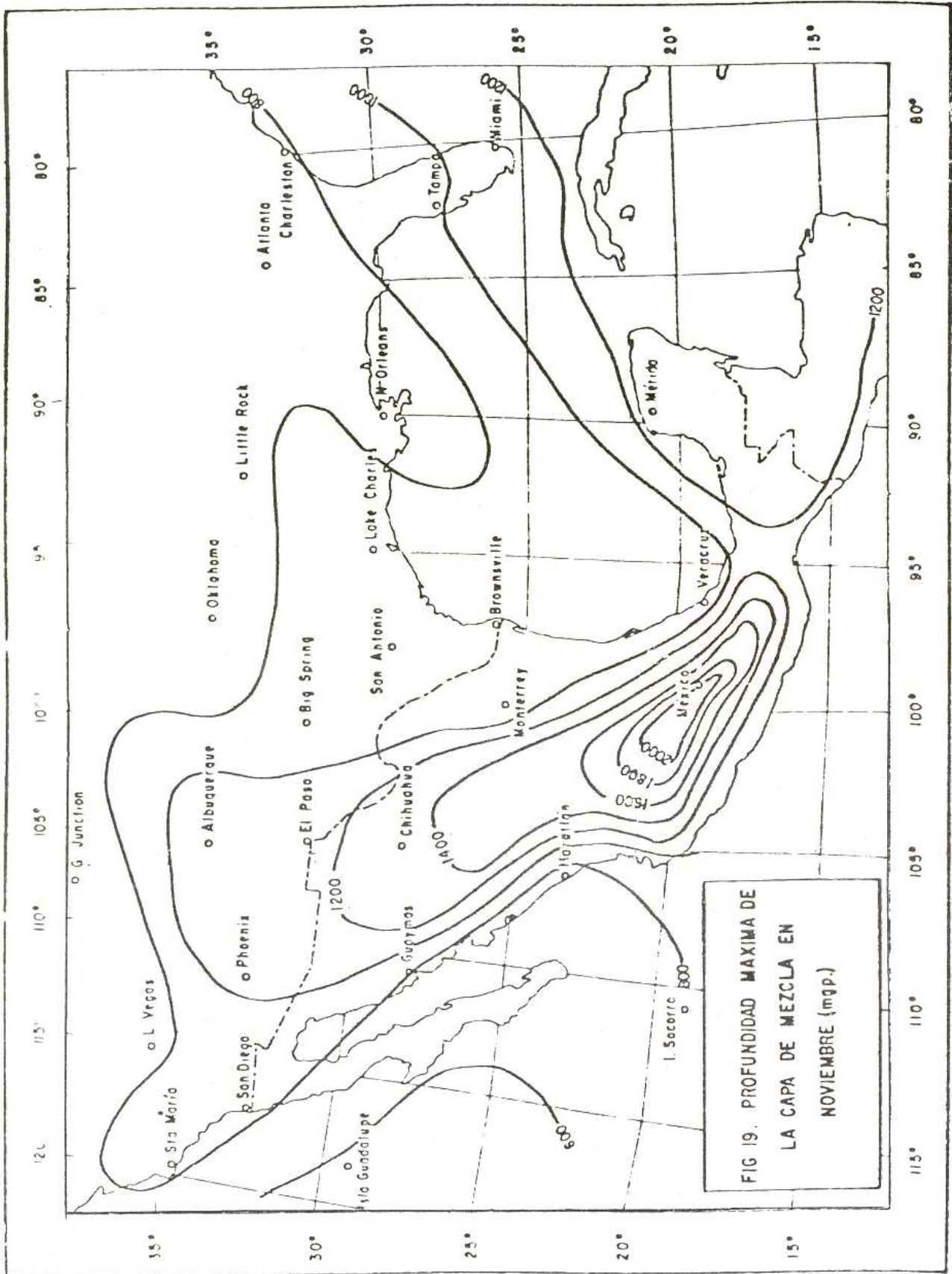
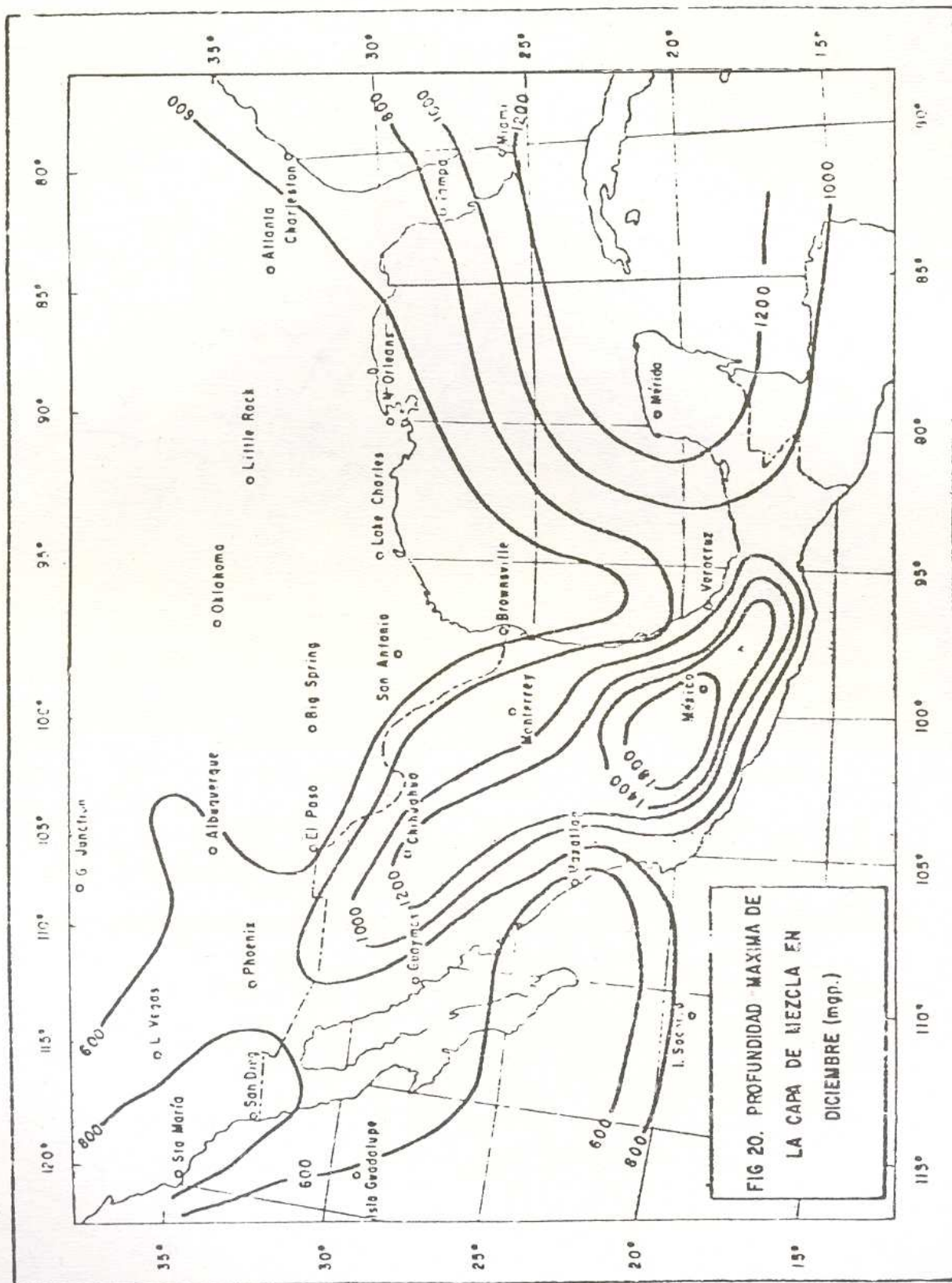


FIG. 18. PROFUNDIDAD MAXIMA DE LA CAPA DE MEZCLA EN OCTUBRE (m.p.p.)





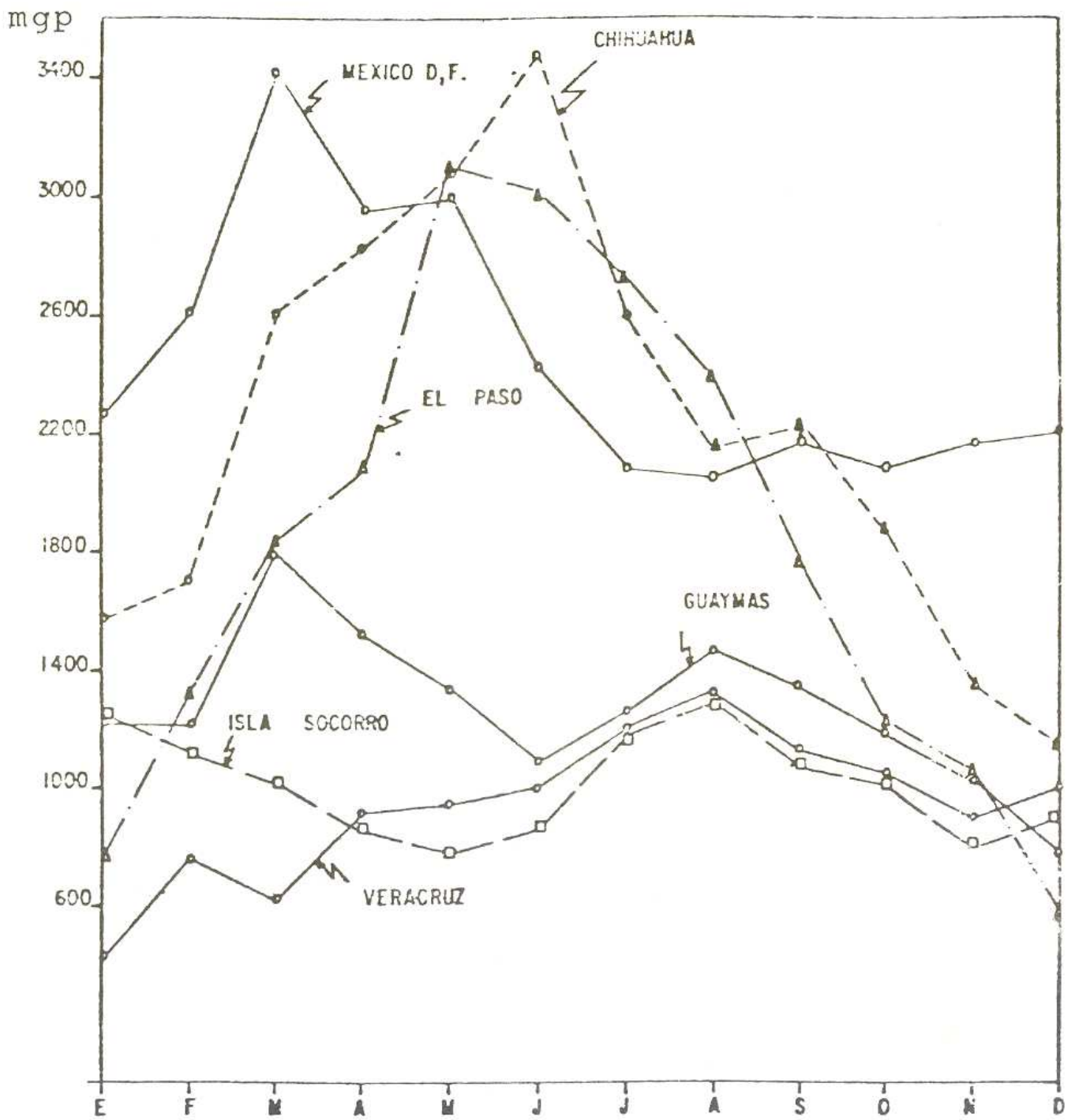


FIG. 21. VARIACION MENSUAL DE LA PROFUNDIDAD DE LA CAPA MAXIMA DE MEZCLADO EN VARIAS CIUDADES DEL PAIS.

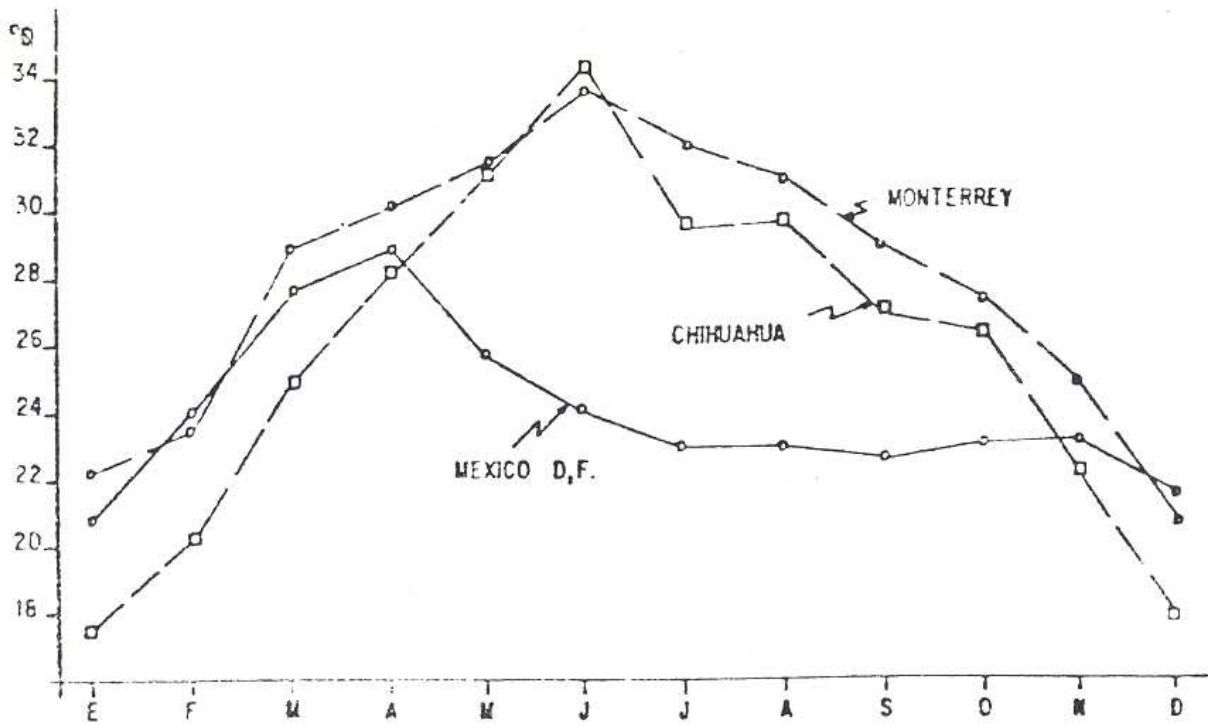
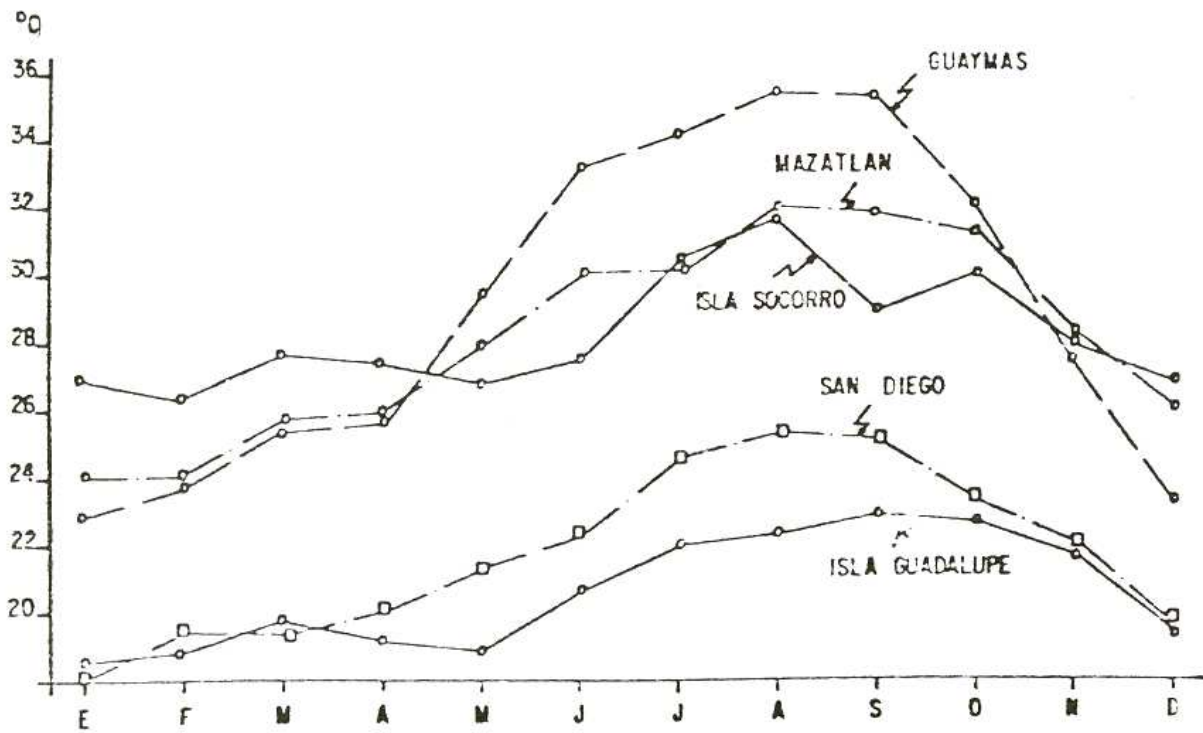


FIG. 22. VARIACION DE LA TEMPERATURA MAXIMA EN VARIAS ESTACIONES

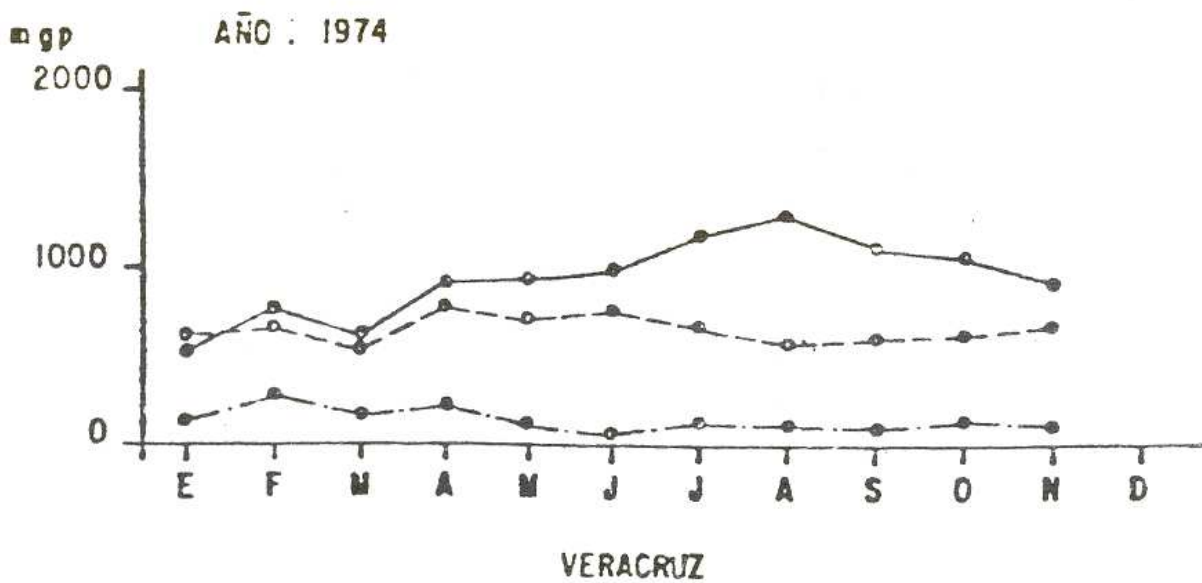
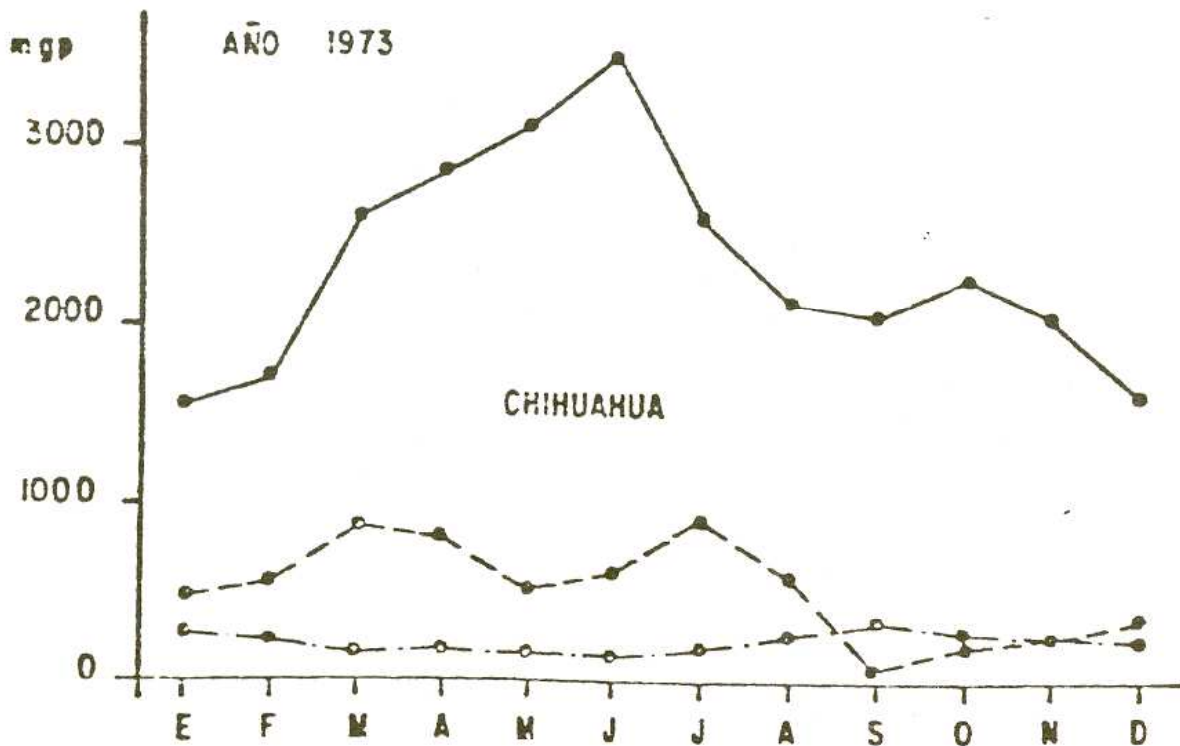


FIG. 23a. VARIACION MENSUAL DE LA PCMC , LA PCM MATUTINA Y LA PROFUNDIDAD DE LA INVERSION

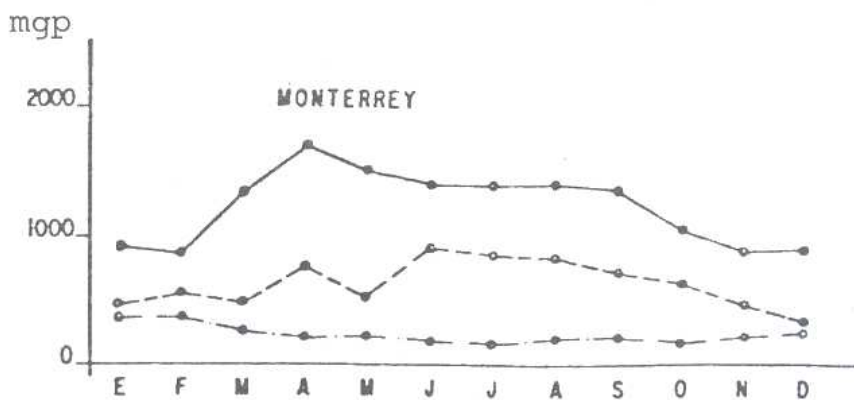
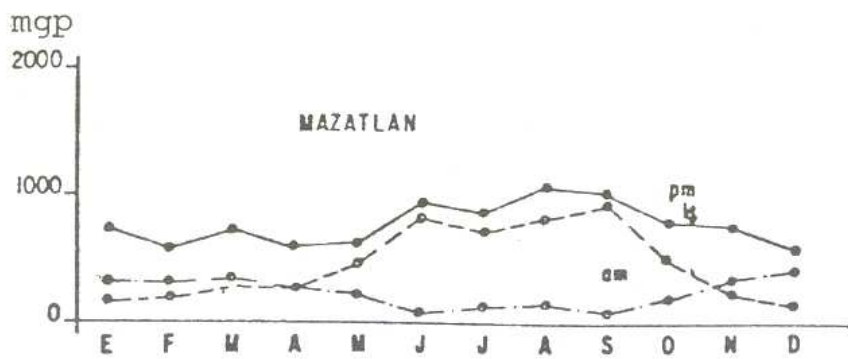
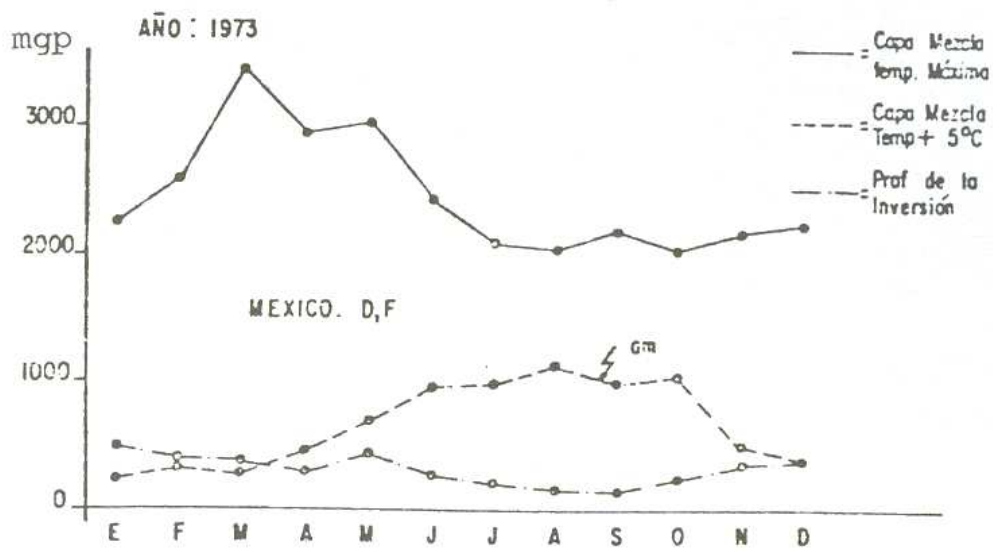


FIG. 23 b. VARIACION MENSUAL DE LA PMCM, LA PCM MATUTINA Y LA PROFUNDIDAD DE LA INVERSION