

CIC84

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 2

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS



EL USO DEL SUELO EN LA CIUDAD DE MÉXICO
Y SU IMPACTO EN EL BIOCLIMA HUMANO

TESIS

Que para obtener el grado de:
DOCTOR EN GEOGRAFÍA

Presenta:

JUAN CERVANTES PÉREZ

DIRECTOR:

DR. VÍCTOR LUIS BARRADAS MIRANDA

100-10000





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Resumen

El clima urbano es influenciado por la composición de la superficie y tiene impacto sobre el bienestar térmico humano. La superficie urbana de la ciudad de México puede causar variaciones espaciales y temporales de las variables climáticas urbanas más acusadas de lo reportado y ocasionar condiciones térmicas diferentes en distancias cortas. Los objetivos del trabajo fueron: evaluar el bioclima mediante un índice de balance de energía y realizar mapas biotopoclimáticos.

Mediante el procedimiento dinámico de recorridos con un vehículo instrumentado se determinó la influencia del uso del suelo en dos variables microclimáticas. Con datos de 15 estaciones climatológicas se calculó el índice térmico "Predicted Mean Vote", cuya escala de sensaciones térmicas se ajustó estadísticamente a la ciudad. A partir del índice se realizaron mapas biotopoclimáticos y de isolíneas para la ciudad. Se realizaron mapas biotopoclimáticos de dos delegaciones. Se analizó el comportamiento del índice bioclimático en una estación climatológica considerando dos tipos de uso del suelo.

El uso del suelo tiene un efecto apreciable en el comportamiento espacial y temporal de las variables microclimáticas. La escala de sensaciones térmicas ajustada describe adecuadamente las condiciones bioclimáticas en la ciudad. Los mapas de isolíneas describen mejor las condiciones bioclimáticas a nivel de ciudad que los mapas biotopoclimáticos. Los mapas biotopoclimáticos en dos delegaciones describen de forma conveniente las condiciones térmicas en distancias cortas. Hay tendencia de influencia en el bioclima por áreas pequeñas, pero se requiere de estudios detallados para determinarla.

Palabras clave: México, suelo, biotopoclima.

Abstract

The urban climate is influenced by the different types of surface and it has impact on the human thermal comfort. The urban surface of Mexico City can to cause space and time variations of the urban climatic variables more intense that reported until now and to provoke different thermal sensations in short distances. Objectives were: to assessment the bioclimate of Mexico City with an energy balance index and to make biotopoclimatic maps.

With the dynamic procedure of moving observations from a bus of public transport was determined the influence of land use on temperature and relative humidity. With the data of 15 climatological stations was calculated the "Predicted Mean Vote" index. The scale of thermal sensations of "Predicted Mean Vote" was statistically adjusted to Mexico City. With the index data was make biotopoclimatic and isolines maps of the city. The variations of the index was analyzed in a climatological station considering two types of land use.

The land use has an appreciable effect on the space and temporal variations of temperature and relative humidity. The adjusted scale of thermal sensations it seem be adecuated for Mexico City. The isolines of "Predicted Mean Vote" give a best description of bioclimatic conditions that biotopoclimatic maps. However, the biotopoclimatic maps of two districts are convenient for describing the thermal conditions in short distances. There is tendency of the influence on the bioclimate by small areas, but detailed studies are required.

Key words: Mexico, land, biotopoclimate.

**“... hombres de la ciudad,
si supieran
lo que les traerá
la paz”**

Por su apoyo, comprensión, cariño y confianza, dedico esta tesis

A mis padres:

Miguel Cervantes Romero y Paulina Pérez Gutiérrez

A mi hermana:

María Beatriz Cervantes Pérez

A las familias:

Cervantes Flores

Solano Cervantes

Luttrillo Cervantes

Cervantes Contreras

Rivera Cervantes

Cervantes Capistrán

Cervantes Ortiz

Castro Cervantes

Cervantes López

Hernández Cervantes

Cervantes Jiménez

y lo que ello conlleva: cuñadas, cuñados, sobrinas, sobrinos y demás familiares.

A aquellas familias cercanas con quienes he convivido en este periodo de mi formación profesional.

Con mis más sinceros agradecimientos:

Al Dr. Víctor Luis Barradas Miranda, por abrir una ventana cuando las puertas se cerraban, por haber dirigido el presente trabajo, pero sobre todo por su amistad.

A los Doctores Marta Cervantes Ramírez, Laura Elena Maderey Rascón, Teresa Reyna, Omar Moncada, Juan Carlos Gómez y Adalberto Tejeda Martínez, por su trato siempre amigable y de apoyo, así como por los comentarios y sugerencias para la elaboración del presente trabajo.

Agradezco el apoyo institucional que en su momento tuve por parte del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, la Gerencia Regional Golfo-Centro de la Comisión Nacional del Agua y la Universidad Veracruzana.

A los amigos de las diferentes instituciones como la Facultad de Instrumentación Electrónica y Ciencias Atmosféricas de la Universidad Veracruzana, el Departamento de Hidrometeorología de la Gerencia Regional Golfo-Centro de la Comisión Nacional del Agua, del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, del Servicio Meteorológico Nacional, del Centro de Previsión del Golfo de México y aquellos que en este momento escapan de mi memoria pero no de mi corazón, gracias por su apoyo.

A la Licenciada en Ciencias Atmosféricas María de los Angeles Vargas Sánchez, por su enorme apoyo en aspectos de computación durante el desarrollo de la tesis.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Importancia del estudio.....	1
1.2 Hipótesis y objetivos.....	4
1.3 Marco conceptual.....	5

2. EVALUACIONES BIOMETEOROLÓGICAS Y BIOTOPOS

2.1 Algunos conceptos básicos.....	9
2.2 El índice de balance de energía PMV de Fanger.....	12
2.3 Definición e identificación de biotopos.....	15
2.4 Mapas biotopoclimáticos.....	16

3. MÉTODO

3.1 La influencia del uso del suelo en la ciudad de México en las variables climatológicas urbanas.....	18
3.2 Identificación de biotopos.....	21
3.3 Evaluación bioclimática en los biotopos.....	25
3.4 El bioclima a lo largo de una avenida.....	30
3.5 El bioclima en dos delegaciones.....	31
3.6 El bioclima y las áreas de influencia.....	31

4. RESULTADOS

4.1 Sobre el efecto del uso del suelo en las variables climatológicas urbanas.....	33
4.2 La evaluación bioclimática.....	46
4.3 Los biotopoclimas.....	66
4.3.1 En la ciudad: biotopos e isolíneas.....	66
4.3.2 A lo largo de una avenida.....	79
4.3.3 En dos delegaciones.....	82
4.3.4 Las áreas de influencia en el bioclima.....	97

5. DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 La urbanización y la climatología urbana.....	106
5.2 Sobre el uso del suelo y su efecto en las variables microclimáticas.....	107
5.3 Sobre la evaluación bioclimática.....	109
5.4 Sobre los biotopos y las isolíneas.....	111
5.5 Sobre la evaluación a lo largo de una avenida y en dos delegaciones.....	112
5.6 Sobre las áreas de influencia y el bioclima.....	114
5.7 Conclusiones.....	115
5.8 Recomendaciones.....	117

BIBLIOGRAFÍA.....	119
--------------------------	------------

APÉNDICES

1. Derivación del índice térmico PMV.....	127
2. Sobre las escalas de sensación térmica del PMV en la ciudad de México.....	139

1. INTRODUCCION

1.1 Importancia del estudio

Una gran y creciente proporción de la población mundial vive en áreas urbanas; hacia principios del año 2000, las estimaciones de la ONU¹ marcaban en este rubro que un 47% de la población mundial eran pobladores urbanos, con un promedio del 76% en los países más adelantados y un 24% en los menos desarrollados. En este sentido, las expectativas en diversos puntos parecen no ser alentadoras:

- 1) Se espera que para el año 2007, el 50% de los habitantes del mundo lo haga en zonas urbanas, y que para el 2030 sea el 60%.
- 2) La mayor parte del aumento de la población en el periodo 2000-2030, será absorbido por las áreas urbanas de las regiones menos desarrolladas. Se espera que la población de las regiones menos desarrolladas aumente de 1.9 mil millones de personas en el año 2000, a 3.9 mil millones en el año 2030.
- 3) Mientras que en las regiones desarrolladas del planeta tanto la tasa de crecimiento de la población como la tasa de urbanización descenden, en las regiones menos adelantadas ambas crecen de manera acelerada. La tasa de crecimiento urbano en las regiones menos adelantadas en el periodo 1995-2000 fue de 2.9 %/año, y se espera que en el periodo 2000-2030 sea de 2.3 %/año.
- 4) Si bien el nivel de urbanización es considerablemente menor en las regiones menos adelantadas (40% en el 2000 que se espera aumente al 56% en el 2030, contra el 76% en el 2000 y el 84% en el 2030 de las regiones desarrolladas), hay marcadas diferencias en las zonas: Latinoamérica y el Caribe con un 75% de pobladores urbanos en el 2000, se considera tendrá un incremento al 83% en el 2030, mientras que África y Asia con un 37 y 38% respectivamente en el 2000, se estima pasarán al 55 y 53% respectivamente en el 2030.
- 5) Tokyo presenta la mayor aglomeración urbana en el mundo con 26.4 millones de habitantes y se espera que continúe siendo la más grande, aunque su población no crecerá. Es seguida por la Ciudad de México, Bombay, Sao Paulo y Nueva York.

¹ Información obtenida de la página web de la ONU: <http://www.un.org>

Tal crecimiento urbano en las regiones del mundo menos adelantadas ejerce una intensa presión sobre servicios prioritarios como el suministro de agua, manejo de desechos, educación y salud; y como una consecuencia de la a veces caótica urbanización, se tiene una degradación ambiental que incluye problemas relacionados con el clima como la contaminación del aire, el estrés por calor y una ventilación inadecuada (Weihe, 1988).

Frente a problemas socioeconómicos y políticos tan imponentes, el papel de la climatología urbana en el mejoramiento de las condiciones urbanas es menor. Sin embargo, el aporte de esta ciencia adquirirá relevancia cuando forme parte de un movimiento que incremente el papel de la planificación y el trazado urbanos en las regiones menos adelantadas. Así pues, en una relación bidireccional, un aspecto de interés de la climatología urbana es el estudio de las modificaciones climáticas debidas a la urbanización, y el uso de datos climáticos para mejorar la planeación urbana.

En general, la *urbanización* puede ser expresada en términos de concentración de población, cambios en los materiales constituyentes de la superficie y expansión del espacio de vivienda sobre y bajo la superficie (Yamashita y Sekine, 1990/91). En relación con los cambios en los materiales, el reemplazo de los componentes naturales altera significativamente las propiedades aerodinámicas, radiativas, térmicas e hídricas de la superficie. Estos cambios modifican el balance de energía, masa y momento preurbano y llevan entonces a la modificación de la atmósfera y a la generación del *clima urbano*, comúnmente caracterizado por el aumento de temperatura (isla de calor), calidad del aire pobre, etc. (Grimmond y Souch, 1994). Así, las propiedades de la superficie (geométricas y materiales) afectan los intercambios de masa (agua y contaminantes) y energía (calor) y las variaciones crean climas a escalas micro y local, de tal manera que para entender la naturaleza del clima urbano, predecir los efectos de la urbanización o intentar aminorar algunos de los efectos hidrolimáticos negativos de la urbanización, es necesario un entendimiento adecuado del papel y significado de la superficie urbana.

El clima urbano representa entonces uno de los ejemplos -impresionante a veces- de la modificación del clima hecha por el hombre. Sin embargo, para propósitos de aplicación, especialmente en planeación urbana, no es suficiente con enunciar que las condiciones meteorológicas de una ciudad son diferentes a las de las áreas suburbanas o rurales

adyacentes, es necesario evaluar los efectos de los cambios inducidos por el hombre en el ambiente térmico (debido a los flujos radiativos), sobre su salud y bienestar.

En el caso específico de nuestro país, los asentamientos humanos y particularmente las ciudades, representan los centros generadores de la riqueza y en cierta medida son los motores del mejoramiento social. De aquí que sea de fundamental importancia sostener el desarrollo económico-social en estas ciudades, como un objetivo nacional. Tal es el proceso de urbanización que en las últimas cinco décadas la población urbana en la República Mexicana casi se duplicó (tabla 1), mientras que la zona centro en particular -que incluye a la ciudad de México-, mantiene un alto porcentaje de población urbana (tabla 2).

En consecuencia, debido a la tendencia de crecimiento urbano en el país, los estudios del clima en la ciudad de México como un recurso natural significativo, permitirán contar no sólo con un diagnóstico sobre la distribución espacio-temporal del mismo, sino también con una herramienta que permita planear el desarrollo del espacio geográfico urbano y quizá trasladar las recomendaciones obtenidas a otras zonas del país.

Tabla 1. Crecimiento de la población urbana y rural en el país: 1950-2000 (tomada de Aguilar, 1994 y complementada con datos del INEGI²).

	Población 1950 (%)	Población 1970 (%)	Población 1990 (%)	Población 2000 (%)
Población total	100.0	100.0	100.0	100.0
Población urbana*	34.0	49.9	60.8	61%
Población rural	66.0	50.1	39.2	39.0%

* Población en localidades mayores a 15,000 habitantes.

Tabla 2. Crecimiento de la población urbana en la región centro del país: 1970-2000 (tomada de Aguilar, 1994 y complementada con datos del INEGI²).

	Población 1970 (%)	Población 1990 (%)	Población 2000 (%)
Centro	100.0	100.0	100.0
Urbana*	69.1	74.0	77.4
Rural	30.9	26.0	22.6

*Población en localidades mayores a 15,000 habitantes.

² Datos obtenidos de los resultados preliminares del censo 2000 en la página web del INEGI: <http://www.inegi.gob.mx>

1.2 Hipótesis y objetivos

Como ha sido señalado anteriormente, los cambios en la superficie llevan a modificaciones en lo que algunos autores llaman los cuatro campos básicos del clima de la ciudad: el térmico, el aerodinámico, el hidrológico y el químico (Griffiths, 1966; Oliver, 1972), que dan lugar a las variables climáticas urbanas. Diversos estudios (*e.g.* Clark y Bach, 1971 y Schmid *et al.*, 1991); han mostrado que la variación espacial de esas variables climáticas presenta patrones en gran parte influenciados por la composición de la superficie, y que dichos patrones pueden tener variaciones que pueden ser tan intensas en un espacio relativamente pequeño, como las que se presentan entre el centro de una ciudad grande y sus alrededores. Esto marca la necesidad de estudios sobre este fenómeno a nivel local, así como la caracterización adecuada de la superficie y la determinación de sus efectos sobre el clima urbano, como ha sido reconocido en algunos estudios (*e.g.* Karrasch, 1992).

En el caso específico de la ciudad de México, por una parte, uno de los campos que ha sido estudiado con mayor intensidad es el térmico, en particular a través del fenómeno conocido como *isla de calor*, mismo que ha sido analizado con los datos obtenidos de un par de estaciones climatológicas automáticas (una dentro y otra fuera de la ciudad) así como con los datos de una red de estaciones climatológicas en el interior de la ciudad (*e.g.* Jáuregui, 1997 y 1998). En estos casos, los estudios señalan la intensidad de la isla de calor (diferencia entre los datos de la estación rural y la urbana) así como la distribución espacial a través del trazo de isotermas. Por otra parte, los mismos datos provenientes tanto de estaciones en particular como de las redes de estaciones climatológicas, han sido utilizados para analizar la distribución del bienestar térmico tanto en el tiempo como en el espacio (*e.g.* Jáuregui *et al.*, 1997).

Sin embargo, en estos trabajos no se ha considerado la composición de la superficie urbana alrededor de las estaciones climatológicas y su influencia sobre el bienestar térmico. Así, la hipótesis de este trabajo es que la composición de la superficie urbana de la ciudad de México puede provocar variaciones espaciales y temporales de las variables climáticas urbanas más acusadas de lo reportado hasta ahora, y que las condiciones de bienestar térmico están directamente relacionadas con esa composición de la superficie urbana (biotopos).

En consecuencia, los objetivos del trabajo son:

- Clasificar la superficie urbana de la ciudad de México de acuerdo a características de uso del suelo, altura de edificios, etc. (identificar *biotopos*)
- Determinar las condiciones de bienestar térmico en los biotopos mediante un *índice de balance de energía* (evaluar el *bioclima*).
- Realizar mapas que correlacionen los biotopos con las condiciones de bienestar térmico (realizar *mapas biotopoclimáticos*)

1.3 Marco conceptual

Si bien el concepto de *clima* ha dado lugar a amplias discusiones (e.g. Tejeda, 1991), Terjung (1970) establece que el clima posee su individualidad debido a la naturaleza de los flujos de energía, materia y momento entre las interfases del suelo, dosel y atmósfera, y que de estos flujos, el balance de calor (energía) y humedad (materia) son los principales determinantes de los climas. Así, considerando que la mayor parte de la población vive en ciudades, existe una necesidad real de descripciones y análisis detallados de los diversos aspectos del paisaje urbano en respuesta a los regímenes de calor y humedad.

Cuando se caracteriza la superficie para llevar a cabo estudios hidroclimáticos, es necesario considerar, por una parte, que la descripción de la superficie depende del proceso estudiado. Por ejemplo, los estudios sobre turbulencia requieren longitud de rugosidad, altura de los elementos de rugosidad, separación de los elementos, etc.; mientras que los estudios sobre bienestar térmico requieren temperatura, humedad, viento y campo radiante (flujos de energía). Por la otra, un segundo grupo de consideraciones se relacionan con las escalas espacio-temporales. La escala a la cual es llevado a cabo el estudio, determina el área de interés y cuáles atributos son considerados como homogéneos y cuáles como heterogéneos. Para el estudio de flujos hidroclimáticos a escala local, Grimmond y Souch (1994) proponen una escala de longitud de 10^2 a 10^3 m.

Es indudable que las condiciones atmosféricas afectan directa o indirectamente al hombre, como es indudable también que existe un vacío entre los estudios fisiológicos y los estudios meteorológicos en nuestro país. Así, la mayoría de las evaluaciones sobre condiciones meteorológicas-respuestas fisiológicas en la República Mexicana han sido realizadas con métodos desarrollados en y para condiciones de latitudes medias. En un

apartado posterior se detallarán algunos aspectos sobre esos métodos, pero es importante mencionar ahora que buena parte de ellos, incluidos los que se basan en el balance de energía, han sido diseñados para condiciones en interiores de edificios y viviendas. A pesar de lo anterior, Buettner (1951) señalaba desde hace cinco décadas sobre la necesidad de dirigir la investigación biometeorológica a las relaciones hombre-ambiente en situaciones de exterior, de tal manera que una de las tareas principales de la investigación biometeorológica contemporánea, está dirigida a investigar el intercambio de calor entre el hombre y sus alrededores en espacios ciudadanos exteriores. Desde luego, la tarea no es fácil y la cuantificación de la ganancia o pérdida de energía entre el cuerpo humano y sus alrededores requiere considerar la mayor cantidad de flujos, que dependen incluso, de la posición relativa del sujeto como se muestra en la figura 1.

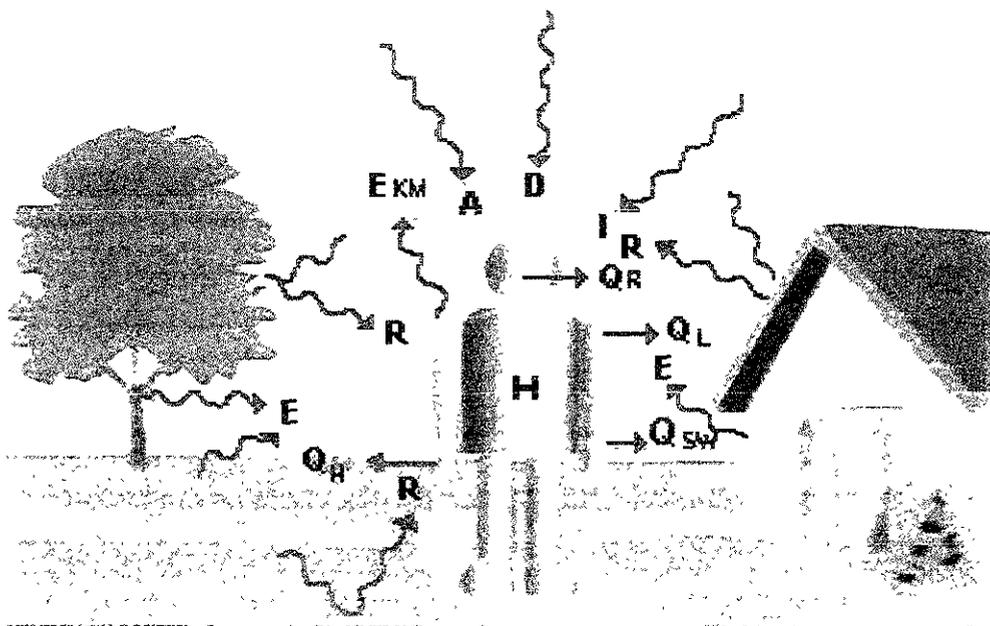


Fig. 1 Flujos de calor entre una persona y sus alrededores en un ambiente urbano (tomada de Kalstein *et al.*, 1996). Donde H es la producción de calor interna (metabolismo), Q_H es el flujo de calor sensible, Q_{sw} es el flujo de calor latente, Q_L es el flujo de calor húmedo, Q_R es el flujo de calor por respiración, I es la radiación solar directa, D es la radiación solar difusa, R es la radiación reflejada, A es la contra-radiación atmosférica, E es la radiación (de onda larga) emitida por los alrededores y E_{KM} es la radiación emitida desde la superficie del hombre.

La ganancia o pérdida de calor representa entonces una medida de la calidad de las condiciones biometeorológicas de una zona urbana, y las variables meteorológicas de temperatura, humedad, rapidez del viento y radiación de onda corta y larga, dependen del uso del suelo, y son afectadas particularmente por las estructuras urbanas como las áreas construidas. Estas variables caracterizan el clima a nivel microescala mientras que a nivel de mesoescala dependen esencialmente de la topografía (Grätz *et al.*, 1992). De esta manera, para cuestiones de planeación urbana relacionadas con el clima en la relación hombre-ambiente donde se trata con demandas de la población sobre el uso del suelo para fines de actividades recreativas, turismo y salud pública entre otras, es indispensable un análisis biometeorológico y una evaluación del espacio para obtener óptimos resultados para el bienestar humano. La figura 2 muestra la forma de interacción entre la información correspondiente a la superficie urbana (uso del suelo) y las variables meteorológicas dando como resultado un análisis espacial de la carga de calor representada en un mapa biometeorológico.

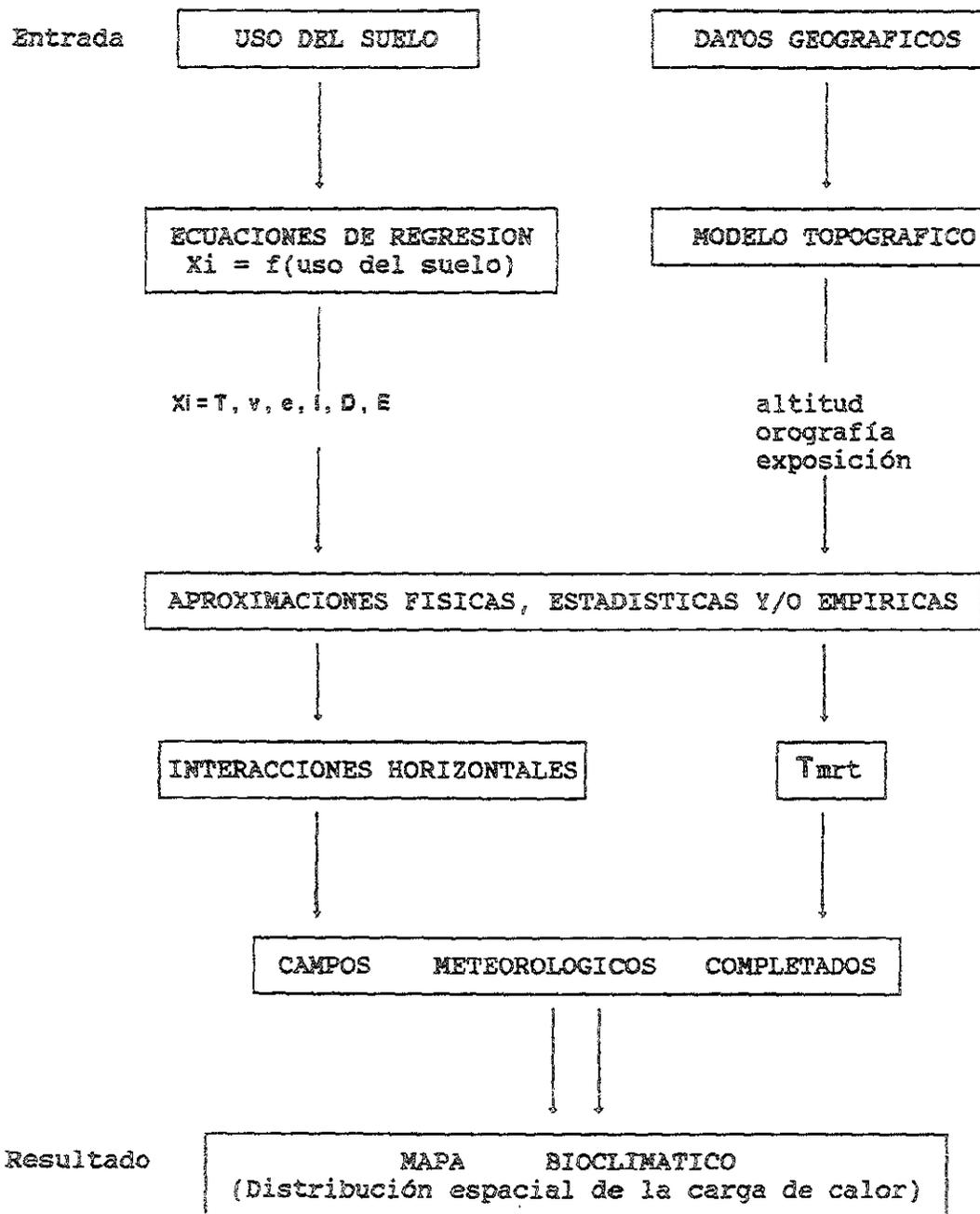


Fig 2. Diagrama de flujo que integra características de uso del suelo, topográficas y de radiación en un mapa bioclimático (tomada y adaptada de Grätz *et al.*, 1992). T, v, e, I, D, y E son las variables meteorológicas de temperatura ambiente, viento, presión de vapor, radiación solar directa, radiación solar difusa y radiación de onda larga respectivamente. Tmrt representa a la temperatura media radiante (flujos de calor).

2. EVALUACIONES BIOMETEOROLÓGICAS Y BIOTOPOS

2.1 Algunos conceptos básicos.

La Organización Meteorológica Mundial (1992), define a la *bioclimatología* como la ciencia que estudia la influencia ejercida por el clima sobre los organismos vivos. En consecuencia, la bioclimatología humana estudia la influencia ejercida por el clima sobre el hombre. Uno de los grandes objetivos de la bioclimatología humana ha sido, desde hace mucho tiempo, la determinación de un intervalo o zona de bienestar térmico (o como ha sido adaptado del inglés: *confort*) humano.

Entre las razones para determinar o encontrar las condiciones de confort térmico para el hombre, se encuentran aquellas relativas al desarrollo de actividades físicas intensas: mineros encerrados en galerías sofocantes, trabajadores textiles en fábricas cuya humedad atmosférica se mantenía artificialmente alta para reducir la fragilidad de las hilaturas, fogoneros de barcos surcando aguas tropicales, trabajadores agrícolas recogiendo cosechas bajo un sol ardiente, etc., todos ellos con la carga de mantener, en última instancia, el poderío de los imperios bajo cuya tutela se encontraban (Tudela, 1982). Hoy en día se afirma que el desempeño intelectual, manual y perceptivo del hombre es, en general, mayor cuando él se encuentra en confort térmico con sus alrededores (Fanger, 1970).

La generación y manutención del confort térmico es una tarea prioritaria para ingenieros y arquitectos, entre otros profesionistas, de ahí la necesidad de entender cómo interactúan las variables ambientales para producir esa sensación. La variedad de elementos meteorológicos puede causar en el hombre los llamados *efectos meteorotrópicos* esto es, la activación de los mecanismos fisiológicos como respuesta a la estimulación por dichos elementos. El estímulo meteorológico se percibe en el cuerpo humano a través de los siguientes canales: piel, tracto respiratorio, nariz, ojos y estimulación directa al sistema nervioso (Tromp, 1974).

El canal con mayor exposición al estímulo meteorológico es la piel, que registra el estímulo a través de los *termoreceptores*, puntas de nervios excitadas preferentemente por el estímulo térmico y que juegan un papel importante tanto en el aspecto fisiológico como psicológico ya que (Precht *et al.*, 1973):

a) Están involucrados en las *sensaciones térmicas*

b) Están relacionados con las respuestas termorregulatorias y de comportamiento

La definición de sensación térmica está lejos de ser fácil, y en ausencia de un criterio objetivo, las sensaciones subjetivas que resultan del estímulo térmico han sido adoptadas como medidas de la calidad térmica del ambiente. Así, las sensaciones térmicas se centran alrededor de dos “cantidades” opuestas: calor y frío, cada una de ellas con diferentes intensidades. En una escala general, los términos agradable-caluroso-muy caluroso por un lado y agradable-fresco-frío por el otro, son bien conocidos. O bien, dicho de otra manera, las sensaciones térmicas pueden ser englobadas en dos categorías simples: confort y desconfort.

Para que un ser humano se encuentre totalmente confortable intervienen muchos factores, entre ellos se pueden citar los físicos (temperatura y humedad del aire, viento, etc.), los fisiológicos (edad, sexo, salud, etc.), los emocionales (tristeza, alegría, etc.), los sociales (moda en el vestido, en el cabello, etc.) y varios más. Sin embargo, si suponemos una persona común, que viste apropiadamente, que se encuentra sana física y mentalmente, etc., de tal forma que la sensación de confort es causada únicamente por las condiciones térmicas ambientales, entonces se puede decir que el *confort* para esa persona es la condición mental que expresa satisfacción con el medio que le rodea (Fanger, 1970; Miranda, 1993).

Por otra parte, los elementos meteorológicos no actúan de manera aislada, la atmósfera actúa como un todo sobre el organismo humano. Sin embargo, se ha reconocido que las variables más importantes que afectan la condición del confort son (Fanger, 1970; Landsberg, 1972):

- Nivel de actividad (producción de calor por el cuerpo)
- Resistencia térmica de la ropa
- Temperatura del aire
- Temperatura media radiante³ (flujos de energía recibidos)
- Rapidez relativa del viento
- Presión del vapor de agua

³ Se define a la temperatura media radiante como la temperatura de un “cercado negro”, la cual resultaría en la misma pérdida de calor por radiación desde la persona al “cercado real” bajo consideración (Jendritzky y Nübler, 1981).

Desde luego, el confort puede ser alcanzado por muchas combinaciones de estas variables. De tal forma que un *índice de confort*, *índice bioclimático*, *índice biometeorológico* o *índice térmico*, es un método que permite la estimación combinada de los elementos atmosféricos sobre el cuerpo humano (Givoni, 1974).

Con base en la obtención de las variables utilizadas, Taesler (1986) identifica cuatro líneas de investigación relativas a los índices térmicos: *la simulación física*, en la cual se utilizan “cuerpos” instrumentados para medir los efectos combinados de las variables atmosféricas sobre el cuerpo humano. *El modelamiento matemático*, que calcula índices térmicos correlacionados a sensaciones térmicas o a reacciones fisiológicas, y más recientemente, simula el balance de calor en el cuerpo. *Los estudios experimentales*, que usan objetivamente pruebas de desempeño así como votos subjetivos en condiciones de campo o en cámaras climáticas controladas y *los estudios epidemiológicos*, que parten de métodos estadísticos para establecer posibles relaciones entre las condiciones ambientales y la ocurrencia de diversas enfermedades. Por su parte, Morgan y Baskett (1974) identifican sólo dos enfoques en los estudios bioclimáticos: *el sintético* o *empírico*, que combina diversas variables meteorológicas para expresar el confort térmico, y *el analítico*, el cual explica las bases físicas del confort térmico examinando los intercambios de energía entre el hombre y su ambiente, es decir con base en el balance de energía humano.

En general, los trabajos sobre evaluación bioclimática o biometeorológica en el país (ejemplos de este caso son los trabajos desarrollados por Jáuregui, 1971 y Espinosa, 1994) han sido realizados con base en los índices empíricos o simples, que de acuerdo a la clasificación de Morgan y Baskett (1974) mencionada anteriormente, son producto de la combinación de dos o más variables meteorológicas a través de expresiones matemáticas sencillas. Sin embargo, este tipo de índices presenta la desventaja principal de que al provenir de algunas de las líneas de determinación según la propuesta de Taesler (1986) (exceptuando el modelamiento matemático), son índices que se particularizan a condiciones, sitios y aún a grupos étnicos (en particular, actividad sedentaria, latitudes medias y blancos). En consecuencia, los procedimientos que consideren los mecanismos de intercambio de calor entre el cuerpo humano y sus alrededores para evaluar el bioclima, son exitosos y de validez universal, ya que son producto de la aplicación de la primera ley de la termodinámica.

2.2 El índice de balance de energía PMV de Fanger⁴

El confort térmico y la neutralidad térmica son dos conceptos muy similares pero diferentes: la neutralidad térmica es una condición necesaria, aunque no suficiente para que exista el confort térmico. Como se ha mencionado anteriormente, se ha reconocido que son seis las variables que afectan la condición del confort y que el efecto combinado de éstas es más importante que el efecto individual. Por otra parte, las variables fisiológicas temperatura de la piel y secreción de sudor están relacionadas con la sensación de confort térmico.

Es importante hacer notar que la ecuación de confort, que incluye las seis variables descritas más las dos fisiológicas, sólo indica cómo se pueden combinar las variables para crear un confort térmico óptimo, pero no da información de la sensación térmica del individuo en un ambiente que se desvía del óptimo. Así pues, son dos las condiciones que se deben satisfacer para obtener un índice térmico a partir de la ecuación de confort:

- 1.- La primera condición necesaria para el confort térmico es la existencia de un balance de calor en el cuerpo.
- 2.- Puesto que la temperatura de la piel y la secreción de sudor son las únicas variables que influyen en el balance de calor, la sensación de confort térmico es relacionada a la magnitud de esas variables.

Respecto a la primera condición, el sistema termorregulatorio del cuerpo humano es muy efectivo y crea un balance de calor dentro de límites amplios aún cuando el confort no exista. De esta manera, se puede asumir que para exposiciones largas a un ambiente térmico constante (moderado), con una razón metabólica constante, la producción de calor debe ser igual a la disipación (esto es, hay equilibrio):

$$\begin{array}{r} H \\ \text{Producción} \\ \text{interna de} \\ \text{Calor} \end{array} - \begin{array}{r} (Q_{\text{swd}} + Q_{\text{sws}}) \\ \text{Pérdida de calor} \\ \text{por evaporación} \\ \text{desde la piel} \end{array} - \begin{array}{r} (Q_{\text{rl}} + Q_{\text{rd}}) \\ \text{Pérdida de calor} \\ \text{por respiración} \end{array} = \begin{array}{r} (Q_{\text{hr}} + Q_{\text{hc}}) \\ \text{Disipación de calor} \\ \text{por radiación y} \\ \text{convección desde el} \\ \text{vestido} \end{array} \quad (1)$$

La igualdad de los términos extremos en esta ecuación puede ser escrita como:

⁴En el apéndice 1 se presenta en forma más amplia las hipótesis y consideraciones para la obtención de este índice. Estas notas así como el apéndice, han sido extraídas del libro de Fanger (1970).

$$(M/A_{Du}) (1 - \eta) - 0.35 [43 - 0.61 (M/A_{Du}) (1 - \eta) - e] - 0.42 [(M/A_{Du}) (1 - \eta) - 50] - 0.0023 (M/A_{Du}) (44 - e) - 0.0014 (M/A_{Du}) (34 - T) = 3.4 \times 10^{-8} f_{cl} [(T_{cl} + 273)^4 - (T_{mrt} + 273)^4] + f_{cl} h_c (T_{cl} - T) \quad (2)$$

que es la ecuación general de confort térmico, donde:

M: Razón metabólica (Kcal/hr)	e: Presión parcial del vapor de agua (mmHg)	T _{cl} : Temperatura exterior de la Ropa (°C)
A _{Du} : Área de DuBois (m ²)	T: Temperatura del aire (°C)	T _{mrt} : Temperatura media radiante (°C)
η: Eficiencia mecánica (sin unidades)	f _{cl} : Razón de la superficie del cuerpo vestida a la superficie desnuda	h _c : Coeficiente de transferencia convectiva (Kcal/m ² hr °C)

y que se pueden agrupar en:

I _{cl} , f _{cl} Variables función de la cantidad de ropa. (I _{cl} aparece de forma explícita en el cálculo de T _{cl})	M/A _{Du} , v Variables función de la actividad que se desarrolla	T, v, e, T _{mrt} Variables ambientales (v aparece de forma explícita en el cálculo de h _c)
--	--	---

Con relación a la segunda condición, se toman como base las consideraciones de que:

- 1.- El balance de calor en el cuerpo humano, dentro de límites amplios ocurre por el uso de mecanismos efectores: vasodilatación, vasoconstricción, secreción de sudor y escalofríos.
- 2.- Es razonable asumir que el grado de desconfort es mayor si a mayor carga de calor, el mecanismo efector se desvía más de la condición de confort.

Por lo tanto, se asume que la sensación térmica a un nivel de actividad es una función de la carga de calor en el cuerpo (diferencia entre la producción interna y la disipación al ambiente). Partiendo de la ecuación de balance, la carga de calor (Q) puede ser escrita como:

$$Q = H - (Q_{swd} + Q_{sws}) - (Q_{RL} + Q_{RD}) - (Q_{HR} + Q_{HC}) \quad (3)$$

Donde Q es la carga de calor en el cuerpo, H es la producción interna de calor y Q_{swd}, Q_{sws}, Q_{RL}, Q_{RD}, Q_{HR} y Q_{HC}, son las pérdidas de calor por difusión del vapor de agua a través de la piel, por evaporación del sudor secretado, por respiración, por respiración seca,

por radiación y por convección respectivamente. Las unidades de todas las variables son Kcal/hr.

En la condición de confort la carga térmica será igual a cero. En otras condiciones los mecanismos efectores del cuerpo cambiarán la temperatura media de la piel y la secreción del sudor para mantener el balance energético corporal. En consecuencia, la carga térmica es una expresión para la tensión fisiológica sobre los mecanismos efectores del cuerpo, por lo que parece razonable asumir que la sensación térmica a un nivel de actividad está relacionada a esa tensión. Esta relación puede ser expresada matemáticamente como:

$$Y = f (Q, H/A_{Du}) \quad (4)$$

donde Y representa la sensación térmica (expresada por el voto medio de un grupo numeroso de personas). Además, tanto Y como Q pueden variar con la producción interna de calor (H/A_{Du}).

La relación anterior puede ser evaluada si la ropa, el nivel de actividad y las variables ambientales se controlan cuidadosamente. La relación entre estas variables es de la forma:

$$(\delta y/\delta Q) = 0.352 \exp^{-0.042(M/ADu)} + 0.032 \quad (5)$$

la cual al integrarse se obtiene:

$$Y = (0.352 \exp^{-0.042(M/ADu)} + 0.032) Q \quad (6)$$

Donde, al designar a Y como PMV (Predicted Mean Vote o Voto Medio Predicho según la traducción libre), y sustituir la expresión completa para Q, da la ecuación del índice deseado:

$$\begin{aligned} PMV = & \{ (0.352 \exp^{-0.042(M/ADu)} + 0.032) \} \{ (M/A_{Du}) (1 - \eta) - \\ & 0.35 [43 - 0.61 (M/A_{Du}) (1 - \eta) - e] - 0.42 [(M/A_{Du}) (1 - \eta) - 50] - \\ & 0.0023 (M/A_{Du}) (44 - e) - 0.0014 (M/A_{Du}) (34 - T) - \\ & 3.4 \times 10^{-8} f_{cl} [(T_{cl} + 273)^4 - (T_{mrt} + 273)^4] + f_{cl} h_c (T_{cl} - T) \} \end{aligned} \quad (7)$$

La escala de sensaciones térmicas asociada a este índice se presenta en la tabla 3, y tiene la cualidad de ser una escala simétrica centrada alrededor del confort térmico, aunque

Tabla 3. Escala de sensaciones térmicas del índice PMV de acuerdo a Fanger (1970).

PMV (sin unidades)	SENSACIÓN TÉRMICA
> 2.5	Muy caluroso (MC)
1.5 -- 2.5	Caluroso (C)
0.5 -- 1.5	Ligeramente caluroso (LC)
-0.5 -- 0.5	Confortable/Neutro (C/N)
-1.5 -- 0.5	Ligeramente fresco (LF)
-1.5 -- -2.5	Fresco (F)
< -2.5	Frío (Fr)

como se verá más adelante, bajo determinadas condiciones de actividad y cantidad de ropa, su aplicación a la ciudad de México requiere de un ajuste.

2.3 Definición e identificación de biotopos

En virtud de la amplia difusión que en los últimos 30 años han tenido los métodos de balance de calor en el cuerpo humano, la carga de calor se ha considerado como una medida de la calidad del bioclima. El amplio número de modelos existentes es utilizado para analizar las condiciones biometeorológicas y/o bioclimáticas a diferentes escalas (Krawczyk, 1998):

- microclimática
- topoclimática
- regional

La primera depende de la forma, orientación y estructura de las construcciones urbanas, incluyendo las áreas verdes (Bauer, 1998), aunque trata principalmente con el bioclima en interiores (Krawczyk, 1998). La segunda es básicamente función del uso del suelo, afectada particularmente por las estructuras urbanas y la tercera depende principalmente de la topografía (Grätz *et al.*, 1992). Desde luego, los límites entre una y otra escala llegan a confundirse y a depender una escala de la otra.

Es importante señalar también que, independientemente de la escala, los modelos que evalúan la carga de calor pueden clasificarse en dos grupos (Krawczyk, 1998):

- 1) Modelos de condiciones no estacionarias, los cuales se aplican a las fluctuaciones temporales de las variables meteorológicas y fisiológicas.

2) Modelos de condiciones estacionarias, los cuales se aplican en periodos largos de tiempo (mínimo de 24 h), de tal forma que el balance de calor se calcula para valores promedio de las variables meteorológicas y fisiológicas.

La evaluación biometeorológica o bioclimática en cualquiera de las escalas mencionadas anteriormente, requiere de una determinación adecuada de los campos meteorológicos de temperatura y humedad del aire, rapidez del viento y radiación de onda corta y larga. Si bien estos campos están interrelacionados, el campo de radiación de onda larga, por una parte presenta una influencia importante sobre los demás, y por otra refleja las diferencias en las propiedades radiativas de las superficies; de tal manera que este campo es afectado por la acción del hombre al cambiar la cubierta natural (uso del suelo). En una primera aproximación, el uso del suelo delimita un biotopo (Grätz *et al.*, 1992).

Si bien hay usos del suelo bastante uniformes (los cuerpos de agua, espacios abiertos para deportes, parques, etc.), existen otros tipos de uso del suelo donde deben tomarse en cuenta otras características, por ejemplo las zonas habitacionales o industriales, donde la altura y densidad de los edificios y el grado de pavimentación juega un papel importante en la definición de la carga de calor (Grätz *et al.*, 1992).

Además de lo anterior, puesto que las ciudades no se asientan exclusivamente sobre terrenos planos y las características de la vegetación varían de región en región, se define a los *biotopos* como pequeñas áreas con estructura similar del balance de calor humano, los cuales dependen de las propiedades del ambiente local (uso del suelo, inclinación y orientación de la pendiente, cubierta vegetal, etc.) (Blazejczyk y Krawczyk, 1994).

2.4 Mapas biotopoclimáticos

Para cuestiones de planeación urbana donde se toma en cuenta al clima, los planeadores urbanos, profesionales de la salud y autoridades involucradas en la toma de decisiones, requieren contar con información lo más precisa posible, concentrada y comprensible. Los mapas bioclimáticos sintéticos, llamados mapas biotopoclimáticos suministran la información con estas características.

Grätz *et al.* (1992) sugieren que una escala apropiada para estos mapas, a escala topoclimática, es de 1:10,000 o 1:25,000. En la escala regional se sugiere que la escala de los mapas sea de 1:25,000 o 1:50,000 (Blazejczyk, 1990).

En consecuencia, los mapas biotopoclimáticos representan la variación espacial, y temporal en su caso, de la carga de calor asociada a pequeñas estructuras bien definidas, por lo que permiten, entre otras cosas, planear áreas relacionadas al uso del suelo como áreas verdes, zonas de turismo y salud pública, al determinar la influencia del ambiente geográfico en el organismo humano.

3. MÉTODO

3.1 La influencia del uso del suelo en la ciudad de México en las variables climatológicas urbanas.

Para determinar la influencia de la composición de la superficie urbana sobre el comportamiento espacial de las variables climatológicas, se aplicó el procedimiento dinámico de recorridos en la ciudad con un vehículo instrumentado. Este procedimiento ha sido aplicado para determinar la isla de calor en algunas ciudades (*e.g.* Yamashita, 1996).

El equipo utilizado estuvo compuesto por un sensor termohigrométrico (temperatura y humedad) marca Vaisala modelo HMP35C, cuyas características se describen en la tabla 4; así como un abrigo termométrico. El registro de la información se realizó con un Datalogger Campbell Scientific modelo 21X, programado para registrar cada minuto la temperatura y la humedad del aire (Fig. 3).

En este caso, el equipo fue instalado en un autobús de servicio público urbano del Departamento del Distrito Federal (Fig. 4), con la importante característica de tener el motor en la parte posterior (casi 18 m con respecto al sitio donde se instaló el equipo de medición). El recorrido fue de aproximadamente 33 km sobre la Avenida de Los Insurgentes y la velocidad de desplazamiento en la mayor parte del recorrido no superó los 40 km/h. Los recorridos se realizaron por la mañana, posteriores a la ocurrencia de la temperatura mínima. Es importante aclarar que se eligió esta ruta después de hacer recorridos por otras calles o avenidas de la ciudad (por ejemplo central del norte-eje central), pero que los criterios de elección se basaron en la longitud del recorrido, usos del suelo a lo largo del recorrido y seguridad del equipo. Asimismo, se realizó una propuesta simple del uso del suelo apreciado a lo largo del recorrido, con el fin de establecer de una manera simple, la posible influencia del uso del suelo en las variables climatológicas urbanas.

El procedimiento suple la carencia de estaciones climatológicas a lo largo del recorrido, por lo que se trata de simular mediciones simultáneas de temperatura y humedad relativa en diferentes tipos de uso del suelo a lo largo del mismo. En este caso y dada la topografía prácticamente plana de la ciudad y en particular sobre el recorrido, sólo se

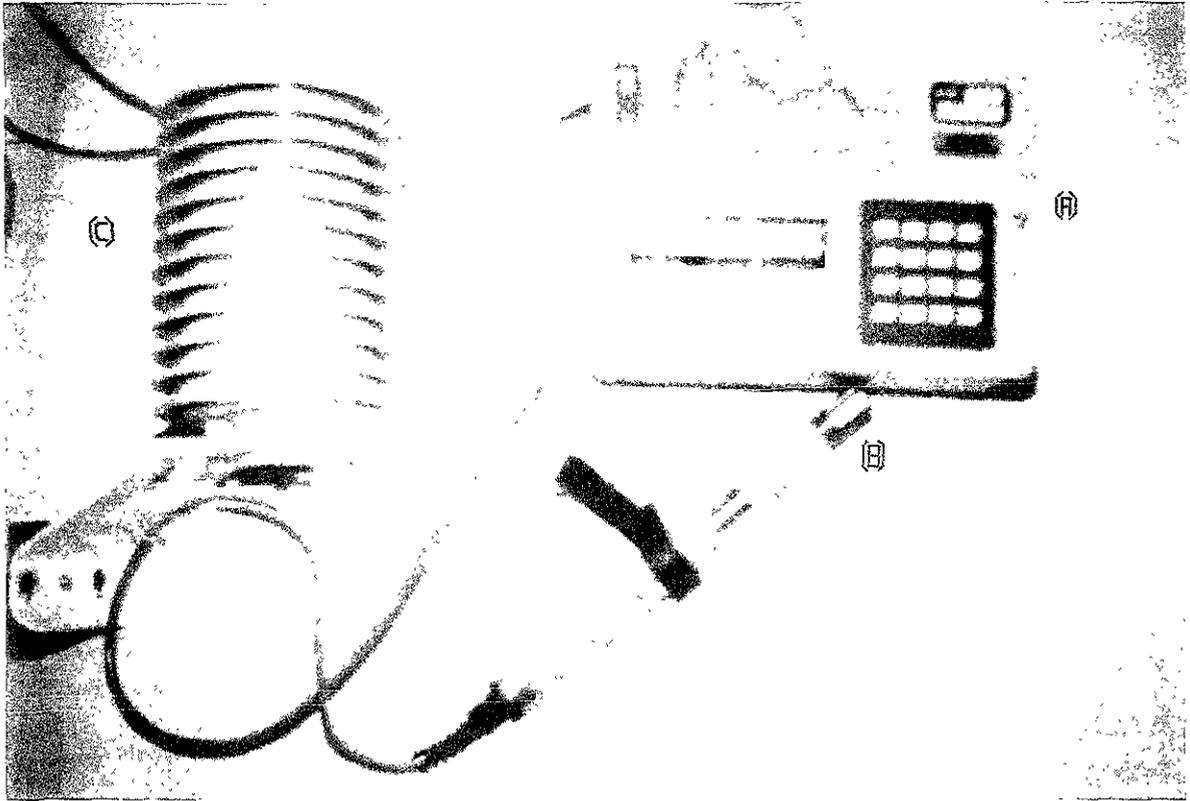


Fig.3 Dataloger (A), sensor termohigrométrico (B) y abrigo termométrico (C) utilizados en los recorridos.

Tabla 4. Características y especificaciones del sensor de temperatura y humedad del aire marca Vaisala modelo HMP35C.

CARACTERÍSTICA	ESPECIFICACIONES
Rango de medición de temperatura	-35 a +50°C
Precisión en la medición de temperatura	± 0.2 °C
Tiempo de respuesta	0.15 s
Rango de medición de la humedad relativa	0 a 100%
Precisión en la medición de la humedad relativa	± 2% de 0 a 90% ± 4% de 90 a 100%
Tiempo de respuesta	0.15 s.

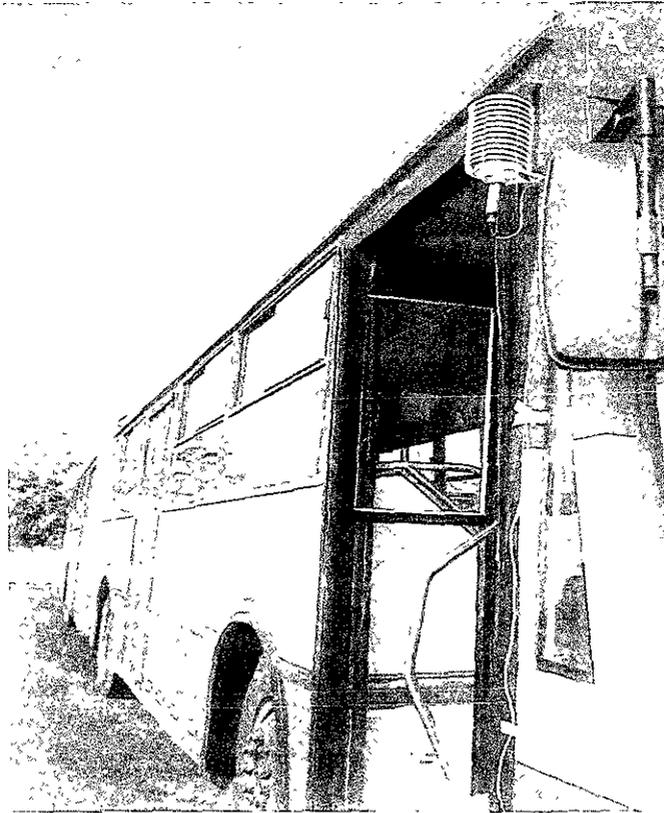


Fig. 4. Autobús del servicio público donde se instaló el equipo de medición de temperatura y humedad relativa así como el registrador.

realizó una corrección por tiempo a los datos de temperatura y humedad relativa. La corrección por tiempo consistió en “llevar” las mediciones de temperatura y humedad relativa al tiempo inicial mediante la siguiente relación:

$$T_{\text{corr}} = T + (\Delta T / \text{No. de datos}) * \text{conteo} \quad (8)$$

donde T es la temperatura en el punto inicial de recorrido, ΔT es la diferencia entre la temperatura al final y al inicio del recorrido, el número de datos representa el número de puntos seleccionados donde se detenía el vehículo para realizar las mediciones y el conteo es el tiempo transcurrido (en este caso en minutos) entre los puntos donde se detenía el autobús (en general fueron las paradas del autobús o cruceros de tránsito lento).

Puesto que al referirse a la humedad atmosférica se alude a la cantidad de vapor presente (Hess, 1979); esta variable se determinó como se explica a continuación:

La presión de saturación del vapor (e_s) se calculó con la siguiente expresión polinomial (Tejeda, 1994):

$$e_s = aT_{\text{corr}}^3 + bT_{\text{corr}}^2 + cT_{\text{corr}} + d \quad (9)$$

donde a, b c y d son constantes iguales a 6.6×10^{-4} , 4.6×10^{-3} , 0.458 y 6.63 respectivamente T_{corr} es la temperatura ambiente corregida por tiempo ($^{\circ}\text{C}$) y las unidades de e_s son hPa.

De esta manera, e se obtiene de la siguiente relación:

$$e = (e_s \text{HR}_{\text{corr}})/100 \quad (10)$$

donde HR_{corr} es la humedad relativa corregida por tiempo (%), e_s es la presión de saturación de vapor calculada (hPa) y las unidades de e son hPa.

Por otra parte, a fin de confirmar la influencia no sólo espacial, sino también temporal sobre las variables climáticas urbanas, los recorridos se realizaron durante algunos días de tres temporadas claramente diferenciables en ciudad de México (Hernández *et al.*, 1986):

- Calurosa, que comprende los meses de marzo, abril y mayo
- Fría, que abarca los meses de noviembre, diciembre y enero
- Húmeda o lluviosa, que incluye los meses de junio, julio, agosto y septiembre.

La cuarta temporada para la ciudad es la de transición, y comprende los meses de febrero y octubre.

3.2 Identificación de biotopos

Como se mencionó en el capítulo anterior, los estudios de clima urbano pueden realizarse al nivel de escala microclimática y/o topoclimática. Sin embargo, como se ha mencionado también, las escalas llegan a confundir sus límites y factores de dependencia. Una característica urbana superficial más o menos específica es el uso del suelo, la cual se ha utilizado en los estudios de clima urbano a las escalas señaladas anteriormente. Así, en este estudio se utiliza también esta característica a diferentes escalas para identificar (y proponer) los biotopos en la ciudad de México.

a) El uso del suelo en la ciudad

Dada la estructura de las ciudades de latitudes medias, Jendritzky y Nübler (1981) propusieron una clasificación simple del uso del suelo: bosque, espacios abiertos, urbano y

suburbano. Sin embargo, por una parte las características de la ciudad de México, donde el área urbana, por ejemplo, incluye zonas industriales, de servicios, habitacionales y comerciales; y por otra la disposición de información con que se cuenta, en este trabajo se utilizaron los siguientes tipos de uso del suelo: habitacional-comercial (mixto), áreas verdes, espacios abiertos e industrial, los cuales coinciden con la propuesta de Grätz *et al.* (1992), excepto en la consideración de la densidad y altura de los edificios así como en el grado de pavimentación. Así, el mapa base se obtiene del mapa de usos de suelo presentado en el *Atlas de la Ciudad de México* (García, 1988) (figura 5).

b) El uso del suelo a lo largo de una avenida

Como se ha mencionado en el apartado anterior, se realizaron recorridos a lo largo de la Avenida de Los Insurgentes en las diferentes temporadas y se realizó una propuesta simple del uso del suelo a lo largo de este recorrido, y aún cuando en este caso es muy difícil separar los tipos de uso del suelo o biotopos descritos en la sección a) de este mismo apartado (excepto el correspondiente a áreas verdes), se realiza una propuesta de influencia del uso del suelo por zonas.

c) El uso del suelo en dos delegaciones

Como se ha mencionado en la sección a) de este apartado, por una parte se utiliza una propuesta simple de uso del suelo que considera cuatro tipos o biotopos, y por otra, el área que cubre el biotopo mixto en la ciudad es muy amplia. Bajo esta situación y considerando que el impacto del uso del suelo en áreas relativamente pequeñas, en el bioclima humano, puede ser significativo, se utilizan los usos del suelo ya descritos pero ahora en dos delegaciones: la delegación Cuauhtémoc en el centro de la ciudad, donde la estructura, tamaño y forma del tejido urbano posee características particulares como es el caso de combinar edificios antiguos de relativamente baja altura con edificios de altura considerable, aunque en ambos casos de concreto, pocas áreas verdes y de espacio pequeño, etc. Se aplican también los usos del suelo ya descritos en la delegación Venustiano Carranza hacia la parte este de la ciudad, donde la morfología urbana es diferente a la de la delegación Cuauhtémoc, pues la altura de los edificios y materiales tienden a ser diferentes,

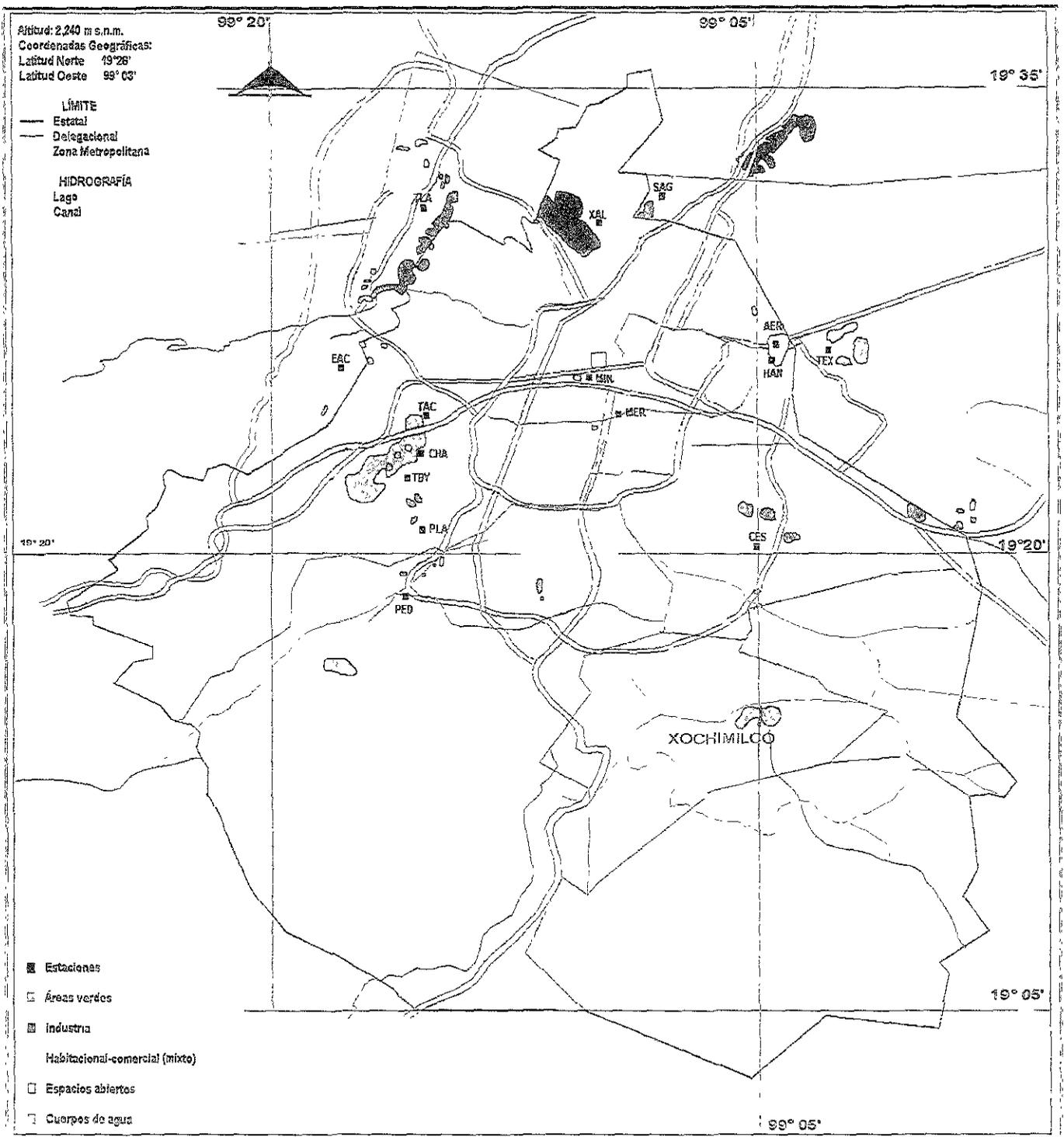


Fig. 5. Mapa de usos del suelo y localización de las estaciones climatológicas automáticas, estación termohigrométrica y observatorios meteorológicos utilizados en el estudio. En la tabla 5 se muestra una descripción más detallada de las características de las estaciones.

las vialidades son más amplias, existe un mayor número de áreas verdes y de mayor superficie a las que hay en la delegación Cuauhtémoc

d) El uso del suelo y las áreas de influencia

Schmid y Oke (1981) definen como área de influencia al conjunto de elementos de superficie que son muestreados por los sensores de las estaciones meteorológicas. Los límites de las áreas de influencia son calculados aplicando un modelo de dispersión gaussiano pero en sentido inverso al cálculo del área fumigada por una fuente puntual de contaminantes (Oke *et. al.*, 1980/1981). En el símil, la fuente sería el sensor, y el área fumigada, el área de influencia.

En una aplicación de este método para algunas estaciones meteorológicas de la ciudad de México, Tejeda (1996) tipifica los ocho sectores circulares correspondientes a los ocho rumbos del viento (N, NE, E, SE, S, SW, W y NW) en un radio de 1 km alrededor de la estación. Posteriormente aplicó el método de Grimmond *et al.* (1991), donde para cada sector se considera la fracción de área correspondiente a cada tipo de cubierta tomando en cuenta la contribución de los muros. Así, para cada sector se considera la fracción horizontal para cada tipo de cubierta (a); posteriormente a cada una de ellas, en función de su altura vertical y sus colindancias, se les da un peso (P), de modo que la fracción (f) de

cada tipo de cubierta asignada es calculada como un promedio pesado:

$$F = a P / \sum a P \quad (11)$$

los pesos se calculan con la relación:

$$P = 1 + 0.5 n + dm \quad (12)$$

donde n es el número de pisos de los edificios (cero para terreno sin construcción), d es la fracción del lote cubierta por la construcción y m es función de las colindancias libres (0.5 si el edificio toca a los edificios contiguos por ambos lados; 1 si los toca por un lado y 2 cuando no los toca por ningún lado).

3.3 Evaluación bioclimática en los biotopos

Una vez identificados los biotopos, se procedió a calcular el índice PMV en una serie de estaciones climatológicas (automáticas, observatorios meteorológicos y una estación termohigrométrica) distribuidas en la ciudad. La ubicación de las estaciones y observatorios se muestra en la figura 5, mientras que en la tabla 5 se muestran algunas de las variables que se miden en cada una de ellas (en particular las necesarias para el cálculo del PMV), así como la altura a la cual se encuentran colocados los sensores a partir de la base del equipo, ya sea al nivel del suelo o de la azotea.

Mientras que a los datos de temperatura y humedad relativa no se les realizó ninguna corrección por altura⁵, a los datos de rapidez de viento sí se les hizo una corrección de acuerdo a la propuesta de Irwin (1979), la cual considera las condiciones de rugosidad y la estabilidad atmosférica.

Es conveniente recordar que los cálculos del índice PMV se aplican a una persona joven, sana tanto física como mentalmente, en actividad sedentaria, y que en este caso la resistencia de la ropa se considera de 1.0 y 0.5 clo (el equivalente a ropa ligera y un traje respectivamente). Los coeficientes necesarios para los cálculos, como son f_{cl} , η , etc., se obtuvieron de tablas propuestas por Fanger (1970).

T_{cl} se obtiene a través de la siguiente relación:

$$T_{cl} = 35.7 - 0.032 (M/A_{Du}) (1 - \eta) - 0.18 I_{cl} [3.4 \times 10^{-8} f_{cl} \{ (T_{cl} + 273)^4 - (T_{mrt} + 273)^4 \} + f_{cl} h_c (T_{cl} - T)] \quad (13)$$

Por lo que además de los coeficientes mencionados, fue necesario realizar un programa de cómputo para su cálculo por el método iterativo, el cual consistió en asignar un valor inicial a $T_{cl0} = (35.7 + T)/2$ (el valor insertado en la ecuación 13) y calcular T_{cl1} (el valor calculado con la ecuación 13). Si el valor absoluto de la diferencia entre T_{cl0} y T_{cl1} era mayor a 10^{-3} , se reasignó un nuevo valor a $T_{cl0}' = (T_{cl0} + T_{cl1})/2$ (nuevo valor insertado en la ecuación 13) para calcular T_{cl1}' , de tal manera la exactitud de T_{cl} fue del orden de 10^{-4} °C.

⁵Si bien este supuesto pudiera parecer fuerte, en el trabajo de Yoshida *et al.* (1995), se señala que las temperaturas medidas al nivel del suelo en diferentes bloques urbanos, fue igual a la medida en las azoteas de los edificios: no obstante, las temperaturas diurnas dependieron de los tipos de bloques urbanos.

Tabla 5. Claves, tipo y variables medidas (para el cálculo del PMV) en las estaciones climatológicas automáticas, estación termohigrométrica y observatorios meteorológicos utilizados en el estudio.

CLAVE	ESTACIÓN	TIPO	ALTURA DE LOS SENSORES* (m)	VARIABLES MEDIDAS			
				T (°C)	HR (%)	θ (grados)	V (m/s)
TAC	TACUBA	Automática	9.0 sobre el nivel de la calle	X	X	X	X
EAC	ENEP-Acatlán	Automática	12.0 sobre el nivel de la calle	X	X	X	X
SAG	San Agustín	Automática	6.2 sobre el nivel de la calle	X	X	X	X
TLA	Tlalnepantla	Automática	6.2 sobre el nivel de la calle	X	X	X	X
XAL	Xalostoc	Automática	3.5 sobre el nivel de la calle	X	X	X	X
MER	Merced	Automática	6.2 sobre el nivel de la calle	X	X	X	X
PED	Pedregal	Automática	3.7 sobre el nivel de la calle	X	X	X	X
CES	Cerro de la Estrella	Automática	3.7 sobre el nivel de la calle	X	X	X	X
PLA	Plateros	Automática	3.7 sobre el nivel de la calle	X	X	X	X
HAN	Hangares	Automática	3.7 sobre el nivel de la calle	X	X	X	X
MIN	Minería	Automática	6.2 sobre la azotea	X	X	X	X
TEX	Texcoco	Automática	6.2 sobre el nivel de la calle	X	X	X	X
TBY	Tacubaya	Observatorio	1.5 sobre la azotea	X	X	X	X
AER	Aeropuerto	Observatorio	0.5 sobre el nivel de la calle	X	X	X	X
CHA	Chapultepec	Termohigrométrica	1.2 sobre el nivel de la calle	X	X		

T = Temperatura del aire

HR = Humedad relativa

θ = dirección del viento

V = rapidez del viento

El índice PMV se calculó con datos horarios de temperatura del aire (°C), humedad relativa (%) y rapidez del viento (m/s) en cada una de las estaciones. En el caso de la presión atmosférica se tomó el promedio de las medidas en el observatorio meteorológico de Tacubaya y el aeropuerto internacional de la ciudad de México. Para el caso de la estación Chapultepec, donde los datos registrados fueron únicamente temperatura y humedad relativa, el viento se consideró constante (0.2 m/s). Si bien y en rigor, estas condiciones no permiten hacer comparaciones con las demás estaciones, en este trabajo se considerará que si es factible, aunque los comentarios se deben tomar con las reservas adecuadas.

Así, el cálculo del PMV se realizó bajo 4 condiciones (excepto en Chapultepec donde solamente se calculó bajo dos condiciones): 1 clo y viento medido (corregido) (PMV1), 1 clo y viento constante (0.2 m/s) (PMV2), 0.5 clo y viento medido (corregido) (PMV3) y 0.5 clo y viento constante (0.2 m/s) (PMV4). En la tabla 6 se muestra un ejemplo de las variables utilizadas y los resultados obtenidos para el PMV bajo las condiciones descritas. Estos cálculos se realizaron considerando que en la ciudad una buena parte de la

Tabla 6. Variables meteorológicas medidas y calculadas para el cálculo del PMV con diferentes condiciones de ropa (0.5 y 1.0 clo) y viento (medido y constante $v=0.2$ m/s).

FECHA	HORA	T	H. R.	V	Vcorr	e_s	e	T _{cl} 1.0	T _{cl} 0.5	PMV1	PMV2	PMV3	PMV4
Ene-01	100	14.6	48	1.6	1.13	16.35	7.848	19.4957	22.4107	-3.6470275	-0.9396340	-6.8740913	-2.7451105
Ene-01	200	13.8	51	1.4	0.98	15.56	7.936	19.1008	22.1878	-3.8152447	-1.2106508	-7.0562451	-3.1168637
Ene-01	300	13.2	55	1.9	1.34	14.99	8.247	18.1987	21.2515	-4.1796952	-0.9874867	-7.7875795	-2.872114
Ene-01	400	12.5	57	1.5	1.06	14.36	8.186	18.0421	21.3008	-4.2539058	-1.3571645	-7.7596571	-3.3626451
Ene-01	500	11.7	61	1	0.70	13.75	8.341	18.1288	21.6633	-4.2260285	-1.9555019	-7.4835273	-4.1210564
Ene-01	600	11.8	63	0.9	0.63	13.75	8.668	18.3747	21.9271	-4.1167387	-2.0491342	-7.2676672	-4.2248101
Ene-01	700	11.0	69	1.2	0.84	13.10	9.041	17.3227	20.9018	-4.5429315	-1.8547527	-8.0691221	-4.0456382
Ene-01	800	10.6	72	0.8	0.56	12.78	9.207	17.7507	21.5316	-4.3711431	-2.4149913	-7.5781217	-4.7213906
Ene-01	900	12.0	67	0.7	0.49	13.92	9.332	18.9285	22.5184	-3.8730415	-2.2795181	-6.7858892	-4.4754541
Ene-01	1000	13.8	60	0.8	0.56	15.56	9.336	19.9423	23.2061	-3.4388855	-1.7585925	-6.2247086	-3.7666331
Ene-01	1100	15.5	55	1.0	0.70	17.29	9.510	20.8040	23.7354	-3.0627439	-1.1894747	-5.7837064	-3.0043769
Ene-01	1200	17.7	47	0.9	0.63	19.83	9.323	22.4858	25.0941	-2.3578382	-0.8528050	-4.6978588	-2.4761774
Ene-01	1300	19.0	42	1.2	0.84	21.51	9.038	23.0793	25.4120	-2.1074659	-0.3730980	-4.4390423	-1.8335990
Ene-01	1400	20.5	38	1.2	0.84	23.63	8.982	24.1647	26.2645	-1.6493055	-0.0912103	-3.7538918	-1.4115522
Ene-01	1500	20.4	37	1.0	0.70	23.49	8.691	24.7439	26.4295	-1.6146134	-0.2464629	-3.6343347	-1.5994649
Ene-01	1600	21.4	33	1.3	0.91	25.00	8.251	24.1591	26.6891	-1.4221103	0.1123986	-3.4313101	-1.1128116
Ene-01	1700	20.6	38	1.3	0.91	23.78	9.038	22.8840	26.2245	-1.6487222	-0.01545834	-3.7823284	-1.3153844
Ene-01	1800	19.4	43	1.9	1.34	22.06	9.488	21.5307	25.0248	-2.1688978	0.0560114	-4.7242067	-1.2902491
Ene-01	1900	17.9	50	2.3	1.62	20.08	10.043	19.9792	23.8236	-2.7211942	-0.02426523	-5.6680413	-1.4612362
Ene-01	2000	16.2	54	2.8	1.97	18.06	9.753	19.0099	22.4315	-3.3797229	-0.1256087	-6.7861013	-1.6558162
Ene-01	2100	14.7	61	2.7	1.69	16.45	10.036	18.1499	21.7411	-3.7841895	-0.4767183	-7.3381752	-2.1720665

Como se ha descrito en el texto, se realizó una corrección a la rapidez del viento para “llevarlo” a una altura de 1.5 m sobre la superficie (Vcorr).

T_{cl}1.0 y T_{cl}0.5 representan la temperatura exterior de la ropa calculada para la condición de 1.0 y 0.5 clo respectivamente.

PMV1 y PMV2 representan al PMV calculado bajo las condiciones de 1.0 clo y viento medido (corregido) y viento constante (0.2 m/s) respectivamente.

PMV3 y PMV4 representan al PMV calculado bajo las condiciones de 0.5 clo y viento medido (corregido) y viento constante (0.2 m/s) respectivamente.

actividad es desarrollada por el sector terciario (comercio, oficinas, etc. Los resultados definitos de los censos económicos 1999⁶ indican que a nivel nacional el Distrito Federal sigue manteniendo el primer lugar en unidades económicas del país (12.1%) y de personal ocupado (17.5%), además que el estado de México en el periodo 1993-1998 presentó el mayor incremento en el país en estos rubros con un 25.5%) lo que implica que las personas utilicen una vestimenta cuya resistencia térmica sea prácticamente de 1 clo, la cual puede disminuir en la temporada calurosa y que es utilizada por personas que realizan actividad no sedentaria (trabajadores de la construcción, obreros, etc.). Por otra parte, los cálculos del PMV con viento constante de 0.2 m/s, se realizaron considerando que los resultados obtenidos puedan ser utilizados en aplicaciones de diseño bioclimático, aunque desde luego, esta parte queda fuera de los objetivos del presente trabajo.

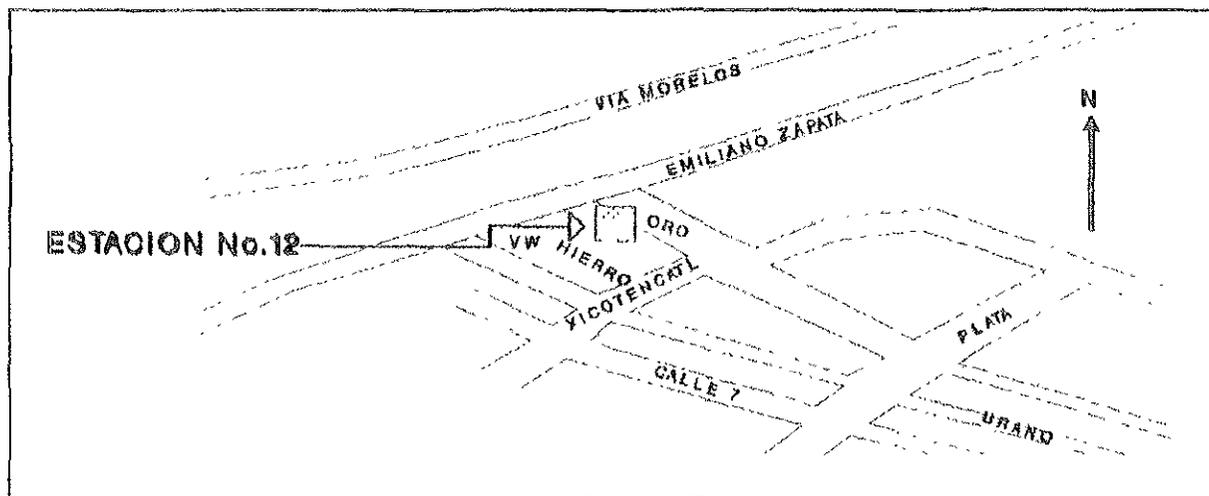
Cada una de las estaciones climatológicas puede ser considerada como representativa de alguno de los biotopos determinados. Esta propuesta se basa en las condiciones descritas en los esquemas proporcionados por el departamento del Distrito Federal (como ejemplo se muestra la figura 6), la visita a las estaciones y la sobreposición/ubicación en el mapa de biotopos. En la tabla 7, se muestra la correlación propuesta. En el caso de que varias estaciones representen un mismo biotopo, como es el caso de Tacubaya, Tacuba, etc. (que corresponden al biotopo habitacional-comercial), se tomó el valor dominante del índice PMV para representar las condiciones de ese biotopo.

Por otra parte, con el fin de comparar la representatividad bioclimática de los biotopos con algún otro procedimiento utilizado en estudios de este tipo, se realizó el trazo de isolíneas de PMV con el paquete computacional *Surfer* (versión 6.02 de Microsoft®), el cual, en este caso, toma como puntos base las estaciones climatológicas, e interpola y suaviza los valores mediante el método de krigging⁷ (Kitadinis, 1999), de tal manera que

⁶ Información obtenida de la página web del INEGI: <http://www.inegi.gob.mx>

⁷ El método de Krigging (Kitadinis, 1999) involucra la aplicación de una metodología conocida como la mejor estimación lineal no desviada (BLUE por sus siglas en inglés) y tiene las siguientes características: 1. El estimador es una función lineal de los datos con los pesos calculados de acuerdo a la especificación de varianza no desviada y mínima. No desviada significa que en promedio, el error de estimación es cero, mientras que varianza mínima significa que, otra vez en promedio, el cuadrado del error de estimación es lo más pequeño posible. 2. Los pesos son obtenidos resolviendo un sistema de ecuaciones lineales con coeficientes que dependen sólo del variograma que describe la estructura de una familia de funciones. Así, se consideró utilizar este procedimiento por disponibilidad en el paquete computacional utilizado, y porque en el caso de la interpolación, krigging actúa como un "interpolador exacto".

**RED AUTOMÁTICA
ESTACIÓN XALOSTOC (XAL)
ZONA NORESTE**



LOCALIZACIÓN:
LATITUD: 19°31'34" N
LONGITUD: 99°04'07" W
ALTITUD: 2240 msnm

VARIABLES DE CONTAMINACIÓN: O₃, CO, SO₂, NO, NO_x, PM₁₀
VARIABLES METEOROLÓGICAS: θ , v, T, HR
ALTURA DE LA TOMA DE MUESTRA: 3.50 m SOBRE EL NIVEL DE LA CALLE

DIRECCIÓN: DISTRIBUIDORA VOLKSWAGEN "STA. CLARA"
CARR. PACHUCA km 13.5 Y **CALLE DEL HIERRO**, XALOSTOC
DELEGACIÓN/MUNICIPIO: ECATEPEC, EDO. DE MÉX.
ENTORNO DE LA ESTACIÓN: EL USO DEL SUELO ES FUNDAMENTALMENTE INDUSTRIAL. LA ESTACIÓN SE ENCUENTRA DENTRO DE LOS TALLERES DE UNA AGENCIA VW, UBICADA A ESPALDAS DE UNA FUNDIDORA Y CERCANA A UNA CEMENTERA. LA INFRAESTRUCTURA Y SERVICIOS SON MALOS EN GENERAL.

Fig. 6. Esquema que señala la ubicación de la estación climatológica automática Xalostoc, así como la descripción del uso del suelo alrededor de la misma (proporcionado por el Departamento de Control y Prevención de la Contaminación Atmosférica-DDF).

Tabla 7 Estaciones climatológicas y biotopos en que se encuentran

ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA	BIOTOPO EN QUE SE ENCUENTRA
Chapultepec	Áreas verdes
Aeropuerto	Espacios abiertos
Texcoco	Espacios abiertos (rural)
Xalostoc	Zona industrial
Tlalnepantla	Zona industrial
San Agustín	Zona Industrial
ENEP-Acatlán	Habitacional-comercial
Tacuba	Habitacional-comercial
Merced	Habitacional-comercial
Pedregal	Habitacional-comercial
Cerro de la Estrella	Habitacional-comercial
Plateros	Habitacional-comercial
Hangares	Habitacional-comercial
Minería	Habitacional-comercial
Tacubaya	Habitacional-comercial

los mapas obtenidos representan un *análisis objetivo* de las variables y así, la configuración de isolíneas permite determinar patrones de comportamiento de las variables como los núcleos o isolíneas cerradas, aunque no considera las características de la superficie entre los puntos utilizados.

3.4 El bioclima a lo largo de una avenida

Puesto que una parte importante del estudio ha sido la de reconocer la influencia del uso del suelo en las variables microclimáticas mediante recorridos a lo largo de la avenida de Los Insurgentes, en este caso se ha calculado el PMV a lo largo del recorrido en días de las diferentes temporadas.

Como ha sido señalado, la velocidad de desplazamiento del autobús no fue mayor a 40 km/h (por lo que se considera que el efecto de enfriamiento no es significativo), y con altos frecuentes para recoger al pasaje a lo largo de la avenida. Así pues, el cálculo del PMV se realizó con los datos registrados de temperatura y humedad relativa, el cálculo de la presión del vapor de agua, y considerando al viento constante ($V=0.2$ m/s).

3.5 El bioclima en dos delegaciones

Uno de los objetivos del presente trabajo es señalar el impacto que el uso del suelo tiene sobre las condiciones bioclimáticas en distancias cortas y, puesto que, como se ha señalado, el biotopo mixto es muy amplio en la ciudad, se utilizaron los mapas de uso del suelo del *Atlas de la Ciudad de México* (García, 1988) de las delegaciones Cuauhtémoc y Venustiano Carranza, donde se determinaron los cuatro biotopos ya descritos.

El procedimiento para la evaluación del bioclima en cada biotopo es similar al descrito en el apartado 3.3. Sin embargo, en este caso al no contarse con estaciones climatológicas en los biotopos de cada una de las delegaciones, se realizó un traslado de los valores del índice PMV. En las tablas 8 y 9 se muestran los biotopos que se consideraron de acuerdo al uso del suelo, y los PMVs trasladados de las estaciones donde se calcularon.

3.6 El bioclima y las áreas de influencia

Como se ha mencionado en el apartado 3.2, como *área de influencia* se entiende al conjunto de elementos de superficie que son muestreados por los sensores de la estación micrometeorológica (Schmid y Oke, 1981). En este trabajo se toman y presentan los resultados de Tejeda (1996), en los cuales el método aplicado considera una tipificación del uso del suelo 1 km alrededor de las estaciones meteorológicas automáticas utilizadas, partiendo del supuesto de que la mayor contribución se debe a la superficie en ese espacio.

Para la evaluación realizada en el trabajo mencionado se utilizaron fotografías aéreas escala 1:4500, el uso destinado al edificio, la altura de las construcciones, los materiales de construcción y los colores, porcentaje de ventanas, cubierta vegetal y otras. En esta parte del trabajo se muestran los resultados que obtuvo Tejeda (1996) al aplicar este método a la estación meteorológica automática ubicada en el Palacio de Minería.

Para determinar el posible efecto del uso del suelo en el bioclima (tomando como base la tipificación descrita), se analizaron datos de algunos meses, de tal manera que la dirección del viento fuese la correspondiente a dos tipos de uso de suelo distinto.

Tabla 8. Usos del suelo señalados, biotopos considerados y PMVs utilizados o trasladados para realizar el mapa biotopoclimático de la delegación Venustiano Carranza

ABREVIATURA	USO DEL SUELO SEÑALADO EN EL MAPA	BIOTOPO CONSIDERADO	PMV UTILIZADO O TRASLADADO
AV	ÁREA VERDE Y ESPACIOS ABIERTOS	ÁREA VERDE	CHAPULTEPEC
EC	EQUIPAMIENTO DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES	ESPACIO ABIERTO	AEROPUERTO
ED	EQUIPAMIENTO DE DEPORTES Y RECREACIÓN	ESPACIO ABIERTO	TEXCOCO
EA	EQUIPAMIENTO DE ABASTO	MIXTO	HANGARES
H2, H2L, H4, H4S, H4IS, H8	HABITACIONAL HASTA 200 HAB/HA, 200 HAB/HA CON INDUSTRIA MEZCLADA, 400 HAB/HA, 400 HAB/HA CON SERVICIOS, 400/HAB/HA CON INDUSTRIA MEZCLADA Y SERVICIOS, 800 HAB/HA	MIXTO	HANGARES
H4S	HABITACIONAL HASTA 400 HAB/HA/SERVICIOS	MIXTO	HANGARES
ES	EQUIPAMIENTO DE SERVICIOS ADMINISTRACIÓN, SALUD, EDUCACIÓN Y CULTURA	MIXTO	HANGARES
CB	CENTRO DE BARRIO	ESPACIO ABIERTO	AEROPUERTO
IV	INDUSTRIA VECINA	INDUSTRIAL	XALOSTOC
SU	SUBCENTRO URBANO	ESPACIO ABIERTO	AEROPUERTO
EI	EQUIPAMIENTO DE INFRAESTRUCTURA	ESPACIO ABIERTO	AEROPUERTO
EP	EQUIPAMIENTO DE PROTECCIÓN Y SEGURIDAD	MIXTO	HANGARES
EM	EQUIPAMIENTO MORTUORIO	ÁREA VERDE	CHAPULTEPEC

Tabla 9. Usos del suelo señalados, biotopos considerados y PMVs utilizados o trasladados para realizar el mapa biotopoclimático de la delegación Cuauhtémoc.

ABREVIATURA	USO DEL SUELO SEÑALADO EN EL MAPA	BIOTOPO CONSIDERADO	PMV UTILIZADO O TRASLADADO
AV	ÁREA VERDE Y ESPACIOS ABIERTOS	ÁREA VERDE	CHAPULTEPEC
CB	CENTRO DE BARRIO	ESPACIO ABIERTO	AEROPUERTO
H4, H4S, H4IS	HABITACIONAL HASTA 400 HAB/HA, 400 HAB/HA CON SERVICIOS, 400 HAB/HA CON INDUSTRIA MEZCLADA Y SERVICIOS	MIXTO	MINERÍA
EP	EQUIPAMIENTO DE PROTECCIÓN Y SEGURIDAD	MIXTO	MINERÍA
EA	EQUIPAMIENTO DE ABASTO	MIXTO	MINERÍA
ES	EQUIPAMIENTO DE SERVICIOS ADMINISTRACIÓN, SALUD, EDUCACIÓN Y CULTURA	MIXTO	MINERÍA
ED	EQUIPAMIENTO DE DEPORTES Y RECREACIÓN	ESPACIO ABIERTO	TEXCOCO
CS	CORREDOR URBANO	MIXTO	MINERÍA
EC	EQUIPAMIENTO DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES	ESPACIO ABIERTO	AEROPUERTO
EI	EQUIPAMIENTO DE INFRAESTRUCTURA	ESPACIO ABIERTO	AEROPUERTO
EM	EQUIPAMIENTO MORTUORIO		CHAPULTEPEC

Si bien en el mapa el Zócalo aparece señalado como AV (área verde), es claro que esta es una zona abierta, por lo que en este caso se consideró el biotopo de "espacio abierto" y se trasladó el PMV de Aeropuerto.

4. RESULTADOS

4.1 Sobre el efecto del uso del suelo en las variables climatológicas urbanas

En la tabla 10 se muestran los días de las temporadas en que se realizaron recorridos a lo largo de la avenida de Los Insurgentes. Asimismo, en la tabla 11 se muestran algunas características del uso del suelo apreciadas a lo largo del recorrido.

Tabla 10. Días y horas de muestreo sobre la avenida de Los Insurgentes.

FECHA	CONDICIÓN DE CIELO	TEMPORADA*
25-MARZO-1998 9:43 h. l.**	Despejado. Bruma a la distancia probablemente debida a la contaminación	Calurosa
15-ABRIL-1998 7:36 h. l.	Despejado. Bruma a distancias cortas, probablemente debida a la contaminación	Calurosa
16-ABRIL-1998 7:28 h. l.	Despejado. Bruma a la distancia	Calurosa
21-ABRIL-1998 7:25 h. l.	Despejado. Bruma a la distancia	Calurosa
22-ABRIL-1998 7:33 h. l.	Despejado. Bruma a la distancia	Calurosa
19-AGOSTO-1998 7:26 h. l.	Nublado. Hubo lluvia en la madrugada	Lluviosa
20-AGOSTO-1998 7:13 h. l.	Nublado	Lluviosa
25-AGOSTO-1998 7:15 h. l.	Medio nublado	Lluviosa
26-AGOSTO-1998 7:38 h. l.	Medio nublado	Lluviosa
27-AGOSTO-1998 7:46 h. l.	Medio nublado	Lluviosa
21-ENERO-1999 7:46 h. l.	Despejado	Fría
22-ENERO-1999 7:46 h. l.	Despejado	Fría
2-FEBRERO-1999 7:33 h. l.	Despejado	Fría
3-FEBRERO-1999 7:36 h. l.	Despejado	Fría

* De acuerdo a la propuesta de Hernández *et al.* (1986)

**h. l. = hora local sin ajustar al horario de verano

Tabla 11. Características del uso del suelo apreciadas sobre la avenida de Los Insurgentes a lo largo de los recorridos.

CALLE (Av. Insurgentes esq. con)	USO DEL SUELO	ALTURA DE LOS EDIFICIOS
Corregidora	- Habitacional - Comercio - Arbolado	· 1-3 pisos
San Fernando	- Comercio - Arbolado	· 1-3 pisos
Anillo periférico	- Comercio - Servicios (hosp.)	· 1-5 pisos · Algunos mayores a 10 pisos
UNAM	- Arbolado - Servicios (escuelas)	· Mayores a 10 pisos
Eje 10 sur	- Comercio	· 1-5 pisos · Algunos mayores a 10 pisos
Monumento a A. Obregón	- Comercio	· 1-5 pisos · Algunos mayores a 10 pisos
Francia	- Comercio	· 1-5 pisos · Algunos mayores a 10 pisos
Barranca del Muerto	- Comercio	· 1-5 pisos · Algunos mayores a 10 pisos
Circuito Interior	- Comercio	· 1-3 pisos · Algunos mayores a 10 pisos
Eje 7 sur	- Comercio	· 1-3 pisos · Algunos mayores a 10 pisos
Parque hundido	- Comercio - Arbolado	· 1-2 pisos, alternados con mayores a 10 pisos
Pasadena	- Comercio	· 1-2 pisos, alternados con mayores a 10 pisos
División del norte	- Comercio	· 1-2 pisos, alternados con mayores a 10 pisos
Eje 3 sur	- Comercio	· 1-2 pisos, alternados con mayores a 10 pisos
San Luis Potosí	- Comercio - Habitacional	· 5-10 pisos

Tabla 11. Continuación

Alvaro Obregón	- Comercio - Habitacional	· 5-10 pisos
Glorieta de Los Insurgentes	- Comercio	· 5-10 pisos
Reforma	- Comercio	· Entre 5 y 10 pisos
Edison	- Comercio - Habitacional	· 4-6 pisos
Puente de Alvarado	- Comercio - Habitacional	· 4-6 pisos
Eje 1 norte	- Comercio - Habitacional	· 2-4 pisos · Algunos mayores a 6 pisos
Eje 2 norte	- Comercio -Habitacional	· 1-2 pisos · Mayores a 10 pisos
Metro La Raza	- Comercio - Arbolado	· Menor a 4 pisos
Montevideo	- Habitacional - Arbolado	· Menor a 4 pisos
Metro Indios verdes	- Habitacional - Arbolado	· Menor a 4 pisos

Como se ha mencionado anteriormente, un objetivo es analizar el comportamiento de las variables climáticas no sólo en forma espacial sino también temporal. En las figuras 7, 8 y 9 se muestran las distribuciones de la temperatura, humedad relativa y presión del vapor, en días particulares de las diferentes temporadas, después de realizar la corrección por tiempo.

En la figura 7 es notorio el aumento que se registra de la temperatura en la zona altamente urbanizada o central como es el caso de la Glorieta de Los Insurgentes y el cruce con el Paseo de la Reforma (coincidiendo este registro con la isla de calor), pero también se aprecia el efecto de áreas verdes como la zona de la reserva ecológica de la UNAM, o aún el de parques de área relativamente pequeña comparada con la reserva ecológica de la UNAM, como es el caso del parque de La Bombilla (monumento a Álvaro Obregón) y el Parque Luis G. Urbina (parque Hundido).

En las condiciones de humedad relativa, se debería esperar una gráfica “de espejo” (comportamiento inverso) con relación al comportamiento de la temperatura, y si bien ese comportamiento llega a manifestarse en la parte centro (Reforma-Glorieta de Los Insurgentes) en los días de las temporadas seca y lluviosa, el comportamiento de la gráfica

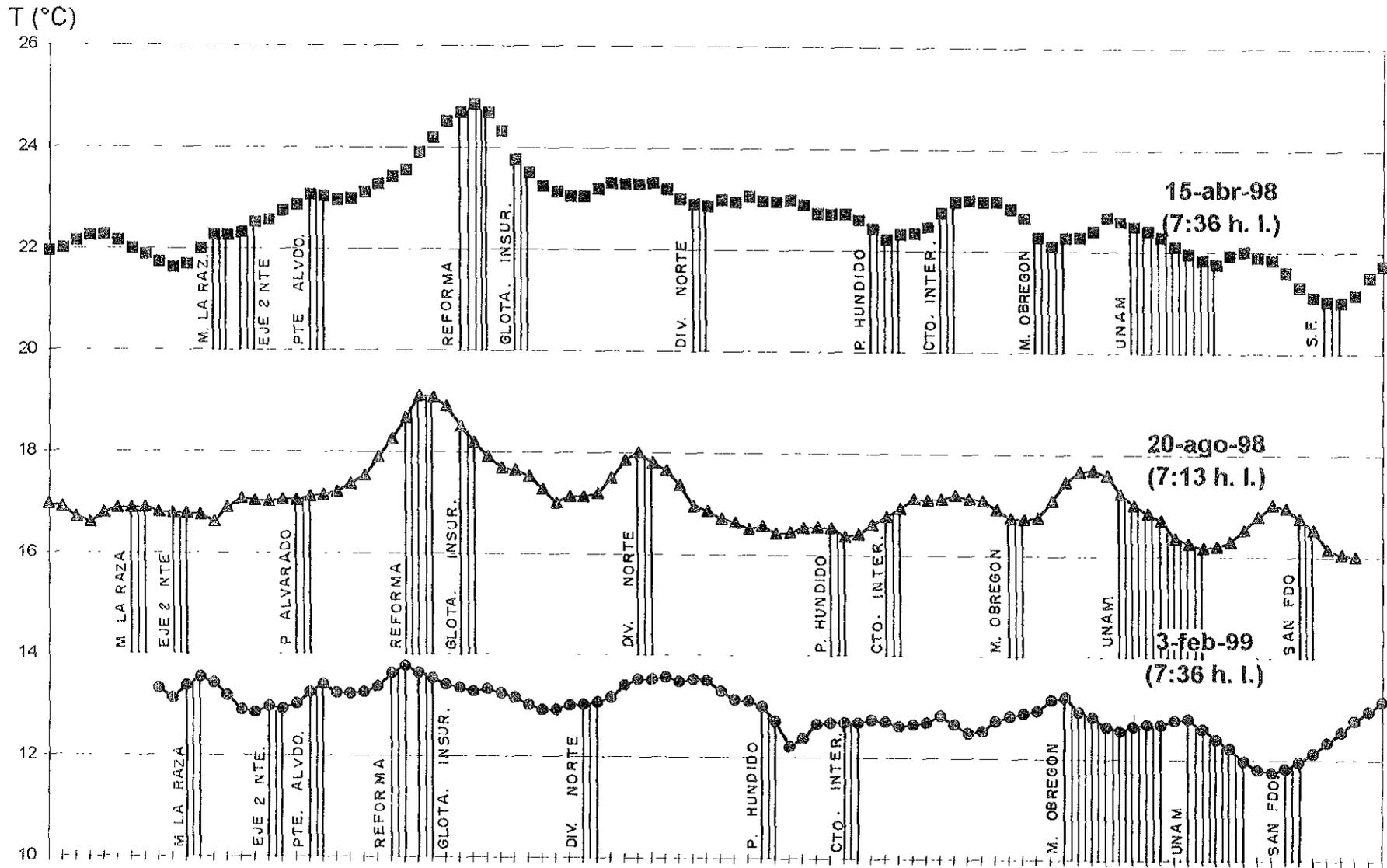


Fig. 7. Distribución de la temperatura a lo largo de recorridos sobre la Avenida de Los Insurgentes en la ciudad de México en días de las temporadas calurosa (15-abr-98), lluviosa (20-ago-98) y fría (3-feb-99).

HR (%)

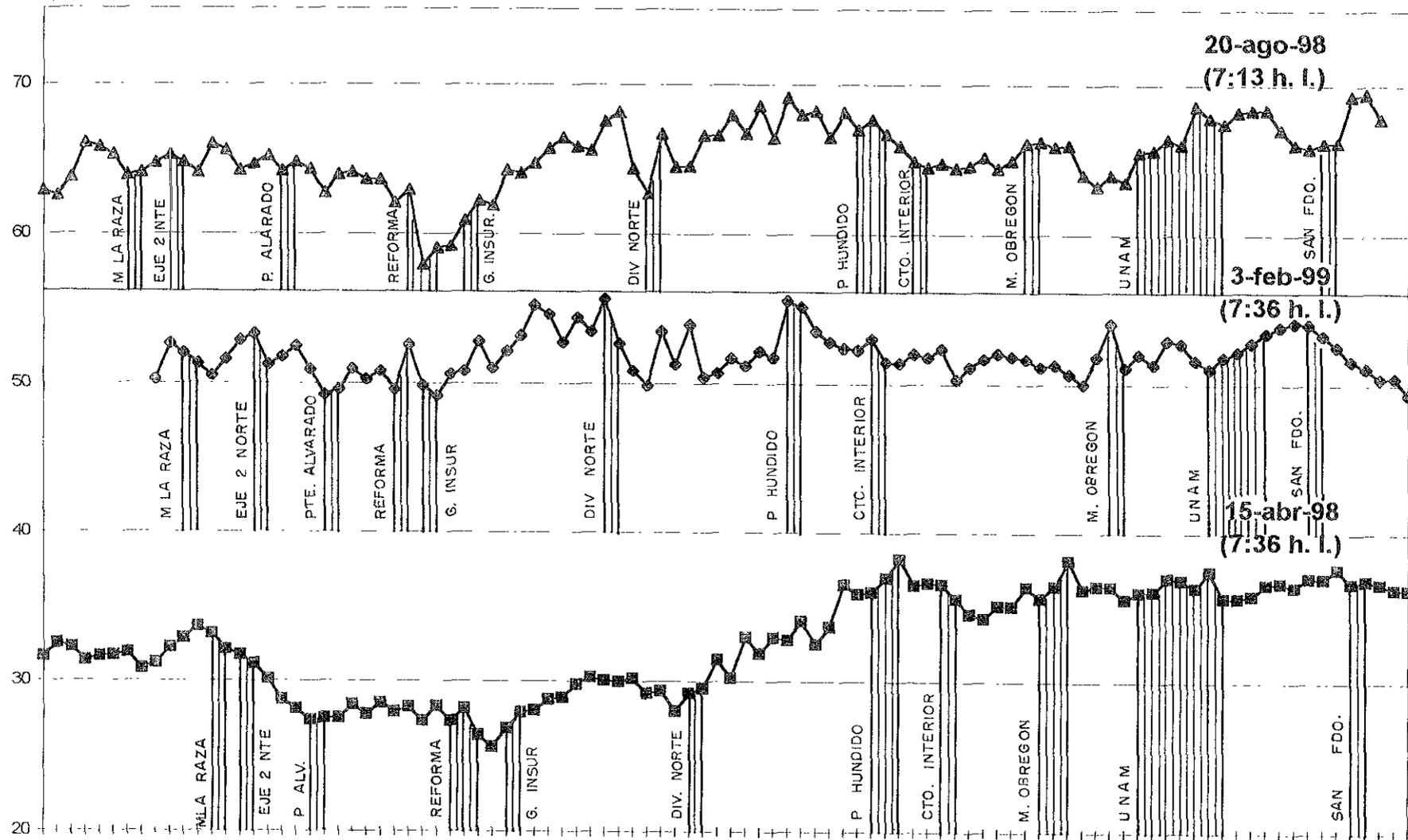


Fig. 8. Distribución de la humedad relativa a lo largo de recorridos sobre la avenida de Los Insurgentes en la ciudad de México en días de las temporadas calurosa (15-abr-98), lluviosa (20-ago-98) y fría (3-feb-99).

e (hPa)

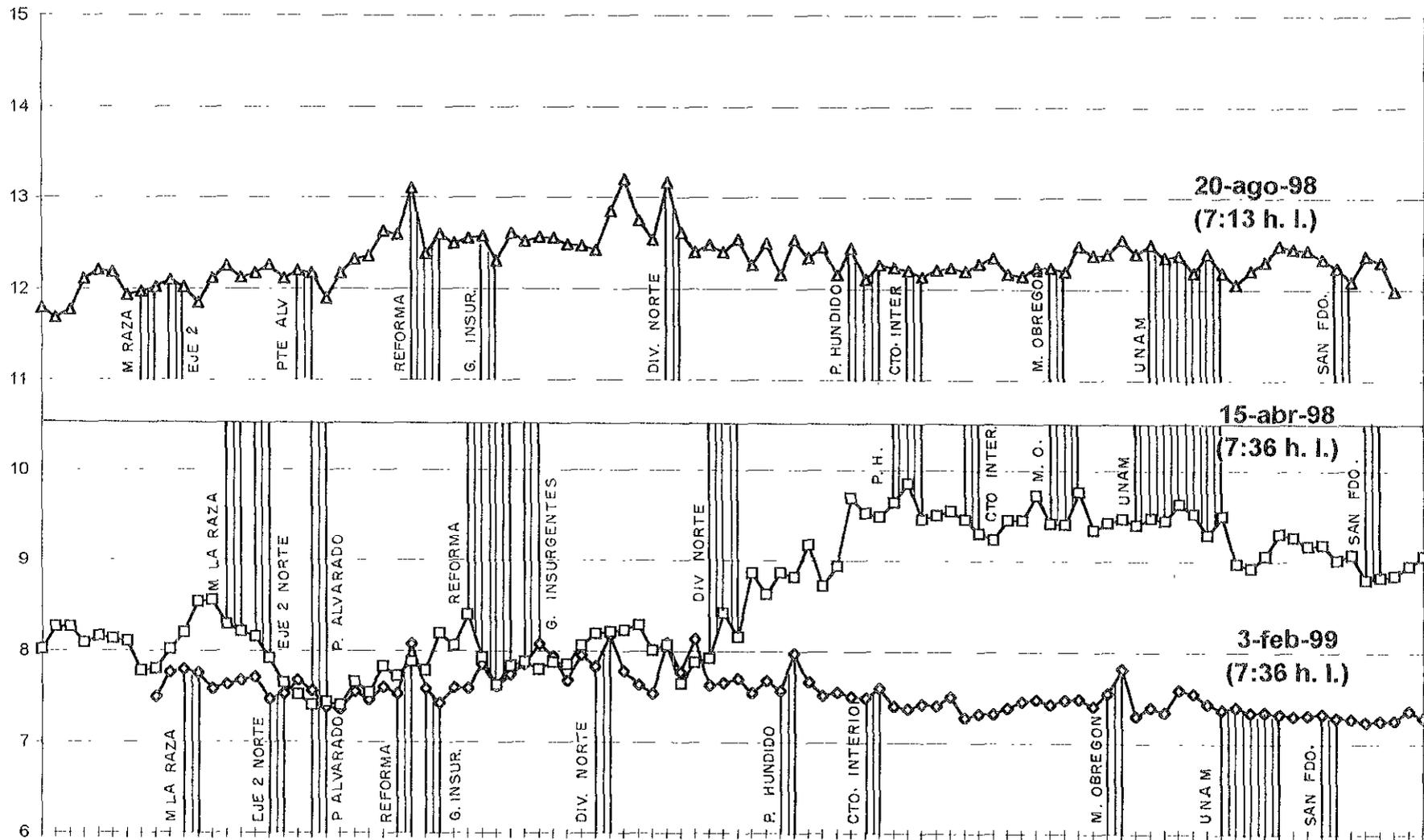


Fig. 9. Distribución de la presión de vapor a lo largo de recorridos sobre la avenida de Los Insurgentes en la ciudad de México en días de las temporadas calurosa (15-abr-98), lluviosa (20-ago-98) y fría (3-feb-99).

señala más la diferencia de condiciones entre el norte y el sur, condición que no se registra en el día de la temporada fría (fig. 8).

Finalmente la figura 9, correspondiente al comportamiento espacial de la presión de vapor, reafirma el comportamiento de la humedad relativa a lo largo del recorrido: el norte de la ciudad se manifestó más seco que la zona sur. Un aspecto interesante es que en esta gráfica, la presión del vapor no registró valores bajos en la parte centro de la ciudad (Reforma-Glorieta de Los Insurgentes).

En virtud del comportamiento de las variables a lo largo de los recorridos, el análisis estadístico temporal y espacial condujo a los siguientes resultados:

a) El análisis temporal a lo largo de los recorridos.

El análisis de varianza (Steel y Torrie, 1988) aplicado a las tres variables: temperatura, humedad relativa y presión del vapor, establece que los promedios de cada una de las tres variables, son diferentes en cada una de las temporadas calurosa (cal), lluviosa (lluv) y fría:

Temperatura: $F_{\text{calc}}(=6079) > F_{\text{teor}} [= (3.0)^2_{2684}]$; $T_{\text{cal}}=20.0^\circ\text{C}$ ($S=\pm 2.2^\circ\text{C}$), $T_{\text{lluv}}=16.8^\circ\text{C}$ ($S=\pm 0.7^\circ\text{C}$), $T_{\text{fría}}=11.5^\circ\text{C}$ ($S=\pm 1.7^\circ\text{C}$): $T_{\text{cal}} \neq T_{\text{lluv}}$, $T_{\text{cal}} \neq T_{\text{fría}}$, $T_{\text{lluv}} \neq T_{\text{fría}}$.

Humedad relativa: $F_{\text{calc}}(=4319) > F_{\text{teor}} [= (3.0)^2_{2684}]$; $HR_{\text{cal}}=36.6\%$ ($S=\pm 12.6\%$), $HR_{\text{lluv}}=70.2\%$ ($S=\pm 5.1\%$), $HR_{\text{fría}}=48.5\%$ ($S=\pm 3.9\%$): $HR_{\text{cal}} \neq HR_{\text{lluv}}$; $HR_{\text{cal}} \neq HR_{\text{fría}}$, $HR_{\text{lluv}} \neq HR_{\text{fría}}$;

Presión de vapor: $F_{\text{calc}}(=6123) > F_{\text{teor}} [= (3.0)^2_{2684}]$; $e_{\text{cal}}=8.0$ hPa ($S=\pm 1.9$ hPa), $e_{\text{lluv}}=13.0$ hPa ($S=\pm 1.0$ hPa), $e_{\text{fría}}=6.5$ hPa ($S=\pm 0.7$ hPa): $e_{\text{cal}} \neq e_{\text{lluv}}$; $e_{\text{cal}} \neq e_{\text{fría}}$, $e_{\text{lluv}} \neq e_{\text{fría}}$.

S es la desviación estándar.

b) El análisis espacio-temporal a lo largo de los recorridos.

Considerando el comportamiento de las variables y las características del uso del suelo a lo largo del recorrido (tipo y altura de edificios), se propone dividir el trayecto analizado en tres zonas: Norte (metro Indios Verdes-eje 2 norte), Centro (eje 2 norte-Circuito interior) y Sur (Circuito interior-Villa Olímpica). Al igual que en el caso anterior, se realizó un análisis de varianza ($p < 0.05$) considerando las diferentes zonas, obteniéndose los siguientes resultados:

- Para la temperatura en la temporada calurosa:

$F_{\text{calc}}(=141.3) > F_{\text{teor}} [= (3.0)^2_{612}]$; $T_{\text{nte}}=19.8^\circ\text{C}$ ($S=\pm 2.2^\circ\text{C}$), $T_{\text{ctro}}=21.4^\circ\text{C}$ ($S=\pm 2.4^\circ\text{C}$), $T_{\text{sur}}=19.1^\circ\text{C}$ ($S=\pm 2.1^\circ\text{C}$): $T_{\text{nte}} \neq T_{\text{ctro}}$; $T_{\text{nte}} = T_{\text{sur}}$, $T_{\text{ctro}} \neq T_{\text{sur}}$

- Para la temperatura en la temporada lluviosa:

$$F_{\text{calc}} (=165.5) > F_{\text{teor}} [= (3.0)^2_{612}]; T_{\text{nte}}=16.6^\circ\text{C} (S=\pm 2.2^\circ\text{C}), T_{\text{ctro}}=17.5^\circ\text{C} (S=\pm 0.5^\circ\text{C}), \\ T_{\text{sur}}=16.2^\circ\text{C} (S=\pm 0.5^\circ\text{C}): T_{\text{nte}} \neq T_{\text{ctro}}; T_{\text{nte}} = T_{\text{sur}}, T_{\text{ctro}} \neq T_{\text{sur}}.$$

- Para la temperatura en la temporada fría:

$$F_{\text{calc}} (=54.1) > F_{\text{teor}} [= (3.0)^2_{328}]; T_{\text{nte}}=11.7^\circ\text{C} (S=\pm 1.0^\circ\text{C}), T_{\text{ctro}}=12.2^\circ\text{C} (S=\pm 1.6^\circ\text{C}), \\ T_{\text{sur}}=10.5^\circ\text{C} (S=\pm 1.6^\circ\text{C}): T_{\text{nte}} = T_{\text{ctro}}; T_{\text{nte}} \neq T_{\text{sur}}, T_{\text{ctro}} \neq T_{\text{sur}}.$$

- Para la humedad relativa en la temporada calurosa:

$$F_{\text{calc}} (=165.5) > F_{\text{teor}} [= (3.0)^2_{612}]; HR_{\text{nte}}=36.8\% (S=\pm 13.1\%), HR_{\text{ctro}}=34.2 (S=\pm 12.7\%), \\ HR_{\text{sur}}=38.9\% (S=\pm 13.1\%): HR_{\text{nte}} = HR_{\text{ctro}}; HR_{\text{nte}} = HR_{\text{sur}}, HR_{\text{ctro}} \neq HR_{\text{sur}}.$$

- Para la humedad relativa en la temporada lluviosa:

$$F_{\text{calc}} (=643.2) > F_{\text{teor}} [= (3.0)^2_{519}]; HR_{\text{nte}}=68.8\% (S=\pm 4.0\%), HR_{\text{ctro}}=70.2 (S=\pm 3.4\%), \\ HR_{\text{sur}}=72.5\% (S=\pm 6.0\%): HR_{\text{nte}} = HR_{\text{ctro}}; HR_{\text{nte}} \neq HR_{\text{sur}}, HR_{\text{ctro}} \neq HR_{\text{sur}}.$$

- Para la humedad relativa en la temporada fría:

$$F_{\text{calc}} (=26.5) > F_{\text{teor}} [= (3.0)^2_{328}]; HR_{\text{nte}}=46.2\% (S=\pm 5.4\%), HR_{\text{ctro}}=47.9 (S=\pm 2.8\%), \\ HR_{\text{sur}}=49.8\% (S=\pm 3.7\%): HR_{\text{nte}} \neq HR_{\text{ctro}}; HR_{\text{nte}} \neq HR_{\text{sur}}, HR_{\text{ctro}} \neq HR_{\text{sur}}.$$

- Para la presión de vapor en la temporada calurosa:

$$F_{\text{calc}} (=2.86) < F_{\text{teor}} [= (3.0)^2_{612}]; e_{\text{nte}}= 8.0 \text{ hPa} (S=\pm 1.9 \text{ hPa}), e_{\text{ctro}} = 8.0 \text{ hPa} (S=\pm 1.9 \text{ hPa}), \\ e_{\text{sur}}= 8.1 \text{ hPa} (S=\pm 2.0 \text{ hPa}): e_{\text{nte}} = e_{\text{ctro}} = e_{\text{sur}}$$

- Para la presión de vapor en la temporada lluviosa:

$$F_{\text{calc}} (=901.8) > F_{\text{teor}} [= (3.0)^2_{519}]; e_{\text{nte}}= 12.6 \text{ hPa} (S=\pm 1.0 \text{ hPa}), e_{\text{ctro}} = 13.7 \text{ hPa} (S=\pm 0.8 \text{ hPa}), \\ e_{\text{sur}}= 13.3 \text{ hPa} (S=\pm 1.1 \text{ hPa}): e_{\text{nte}} \neq e_{\text{ctro}}; e_{\text{nte}} \neq e_{\text{sur}}, e_{\text{ctro}} = e_{\text{sur}}.$$

- Para la presión de vapor en la temporada fría.

$$F_{\text{calc}} (=24.7) > F_{\text{teor}} [= (3.0)^2_{328}]; e_{\text{nte}}= 6.7 \text{ hPa} (S=\pm 0.6 \text{ hPa}), e_{\text{ctro}} = 6.7 \text{ hPa} (S=\pm 0.58 \text{ hPa}), \\ e_{\text{sur}}= 6.2 \text{ hPa} (S=\pm 0.8 \text{ hPa}): e_{\text{nte}} = e_{\text{ctro}}; e_{\text{nte}} \neq e_{\text{sur}}, e_{\text{ctro}} \neq e_{\text{sur}}.$$

Como se observa en los resultados a lo largo del recorrido, el comportamiento de las tres variables es diferente en cada una de las temporadas, presentándose un comportamiento de “espejo” en el caso de la temperatura y la humedad relativa: mayor temperatura y baja

humedad en la temporada calurosa y menor temperatura con mayor humedad en la temporada fría. El caso de la temporada lluviosa la temperatura se sitúa entre la temporada fría y la calurosa, pero la humedad relativa muestra un ascenso notable con respecto a las otras dos temporadas. Bajo estas consideraciones, la temporada lluviosa podría considerarse una temporada bioclimática agradable.

Una variable que ha sido poco estudiada en el ámbito urbano es la humedad⁸, debido quizá a que las distribuciones espaciales son complejas y las relaciones entre la fábrica urbana y los patrones de la presión de vapor son difíciles de explicar. En este caso, el comportamiento del vapor de agua a lo largo del recorrido, como lo muestra la figura 9 y los resultados estadísticos, señala un aumento significativo en la temporada lluviosa en cuanto a las otras dos temporadas

Respecto al comportamiento de las variables en cada una de las zonas propuestas y en cada una de las temporadas, la temperatura de las zonas norte y sur en las temporadas calurosa y lluviosa son estadísticamente iguales, aunque no en la temporada fría, donde la temperatura del centro es igual a la del norte. Es importante señalar que, aún cuando estadísticamente iguales en dos temporadas y diferentes en una, la temperatura promedio de la zona norte es ligeramente mayor a la de la zona sur, mientras que la temperatura del centro de la ciudad es mayor a la de ambas zonas (aún cuando estadísticamente igual a la del norte en la temporada fría), mostrando el efecto de la *isla de calor*.

En el caso de la humedad relativa, la zona sur presenta los valores más altos, mientras que la zona norte, excepto en la temporada calurosa, presenta los valores más bajos. De acuerdo a Jáuregui (2000), el clima de la ciudad en su parte centro y sur es de tipo templado, mientras que en la porción norte y oriente es seco, de tipo estepa según el sistema de clasificación de Köppen. Esta consideración, junto con la distribución de edificios así como la presencia de parques y zonas vegetadas a lo largo del recorrido, se ven reflejadas en el comportamiento de la temperatura y la humedad relativa (figuras 7 y 8).

Aún cuando estadísticamente se presentan diferencias entre las zonas en cuanto a la presión de vapor, excepto en la temporada calurosa, las diferencias son prácticamente menores a 1 hPa, rango que por la precisión del equipo utilizado, queda dentro del error del

⁸ Como ha sido señalado anteriormente, al referirse a la humedad atmosférica se alude a la cantidad de vapor de agua presente en la atmósfera (Hess, 1979).

instrumento (Chandler, 1967). Jáuregui y Tejeda (1997) señalan que en cambios de largo periodo en la ciudad de México, tanto la humedad relativa como la humedad específica muestran una tendencia a la disminución. Y aunque la gradual disminución de la humedad relativa puede estar relacionada con el continuo aumento de la temperatura debido a la *isla de calor*, la tendencia a la disminución de la humedad específica es más difícil de explicar.

Por otra parte, los mismo autores señalan que en el patrón de comportamiento diurno y estacional de las diferencias de humedad entre la ciudad y sus alrededores muestra que las noches de la estación lluviosa, son más húmedas en la ciudad que en los alrededores debido al aumento de la evaporación reforzado por aire cálido de la ciudad, mientras que en las tardes ocurre lo opuesto. Ese contraste es pequeño e insignificante en la temporada seca, cuando la evapotranspiración es reducida tanto en la ciudad como en los alrededores.

Si bien en este caso no se hace un análisis diurno o estacional de esta variable, si se aprecia, como ya ha sido señalado, el aumento del vapor en la temporada lluviosa, así como una distribución uniforme a lo largo del recorrido tanto en la temporada lluviosa como en la fría y seca, en tanto que en la temporada seca y calurosa, se diferencia muy bien la distribución del vapor entre la parte norte y sur de la ciudad, con menor contenido en la primera.

Así, con base en los resultados obtenidos, se determina que el uso del suelo tiene influencia en el comportamiento espacial y temporal de las variables climáticas analizadas. Una primera propuesta de biotopos para la ciudad de México con base en este procedimiento y tomando en cuenta el uso del suelo (altura y tipo de edificios) a lo largo del recorrido, es la de considerar los biotopos: zona norte, zona centro, zona sur y parques. Si bien de estos últimos no se hizo un análisis estadístico comparativo con el resto de los biotopos propuestos, su comportamiento obtenido de las gráficas señala que se debe tomar como un biotopo aparte. Los resultados de esta propuesta se muestran en los mapas de las figuras 10, 11 y 12.

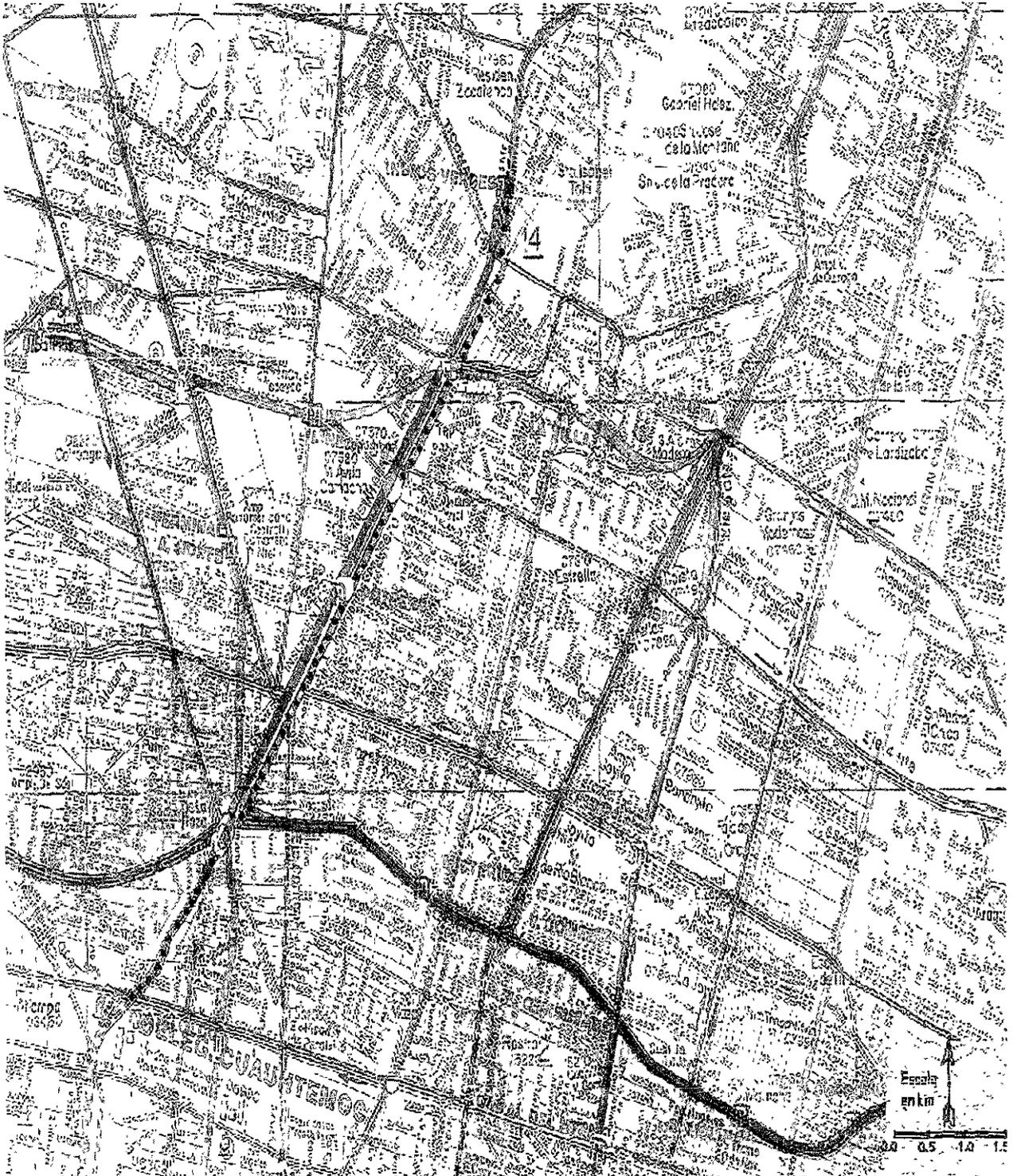


Fig. 10. Biotopo correspondiente a la zona norte propuesto a partir del uso del suelo a lo largo del recorrido y al comportamiento de las variables microclimáticas. Los puntos señalados en el mapa con color negro corresponden al recorrido realizado sobre la avenida de Los Insurgentes. Las barras de colores anchas y contiguas, señalan la demarcación de las delegaciones; las demás líneas corresponden a avenidas importantes, líneas del metro y las zonas de color verde corresponden a áreas verdes.



Fig. 11. Biotopo correspondiente a la zona centro propuesta a partir del uso del suelo a lo largo del recorrido y al comportamiento de las variables microclimáticas. Los puntos señalados en el mapa con color negro corresponden al recorrido realizado sobre la avenida de Los Insurgentes. Las barras de colores anchas y contiguas, señalan la demarcación de las delegaciones; las demás líneas corresponden a avenidas importantes, líneas del metro y las zonas de color verde corresponden a áreas verdes.

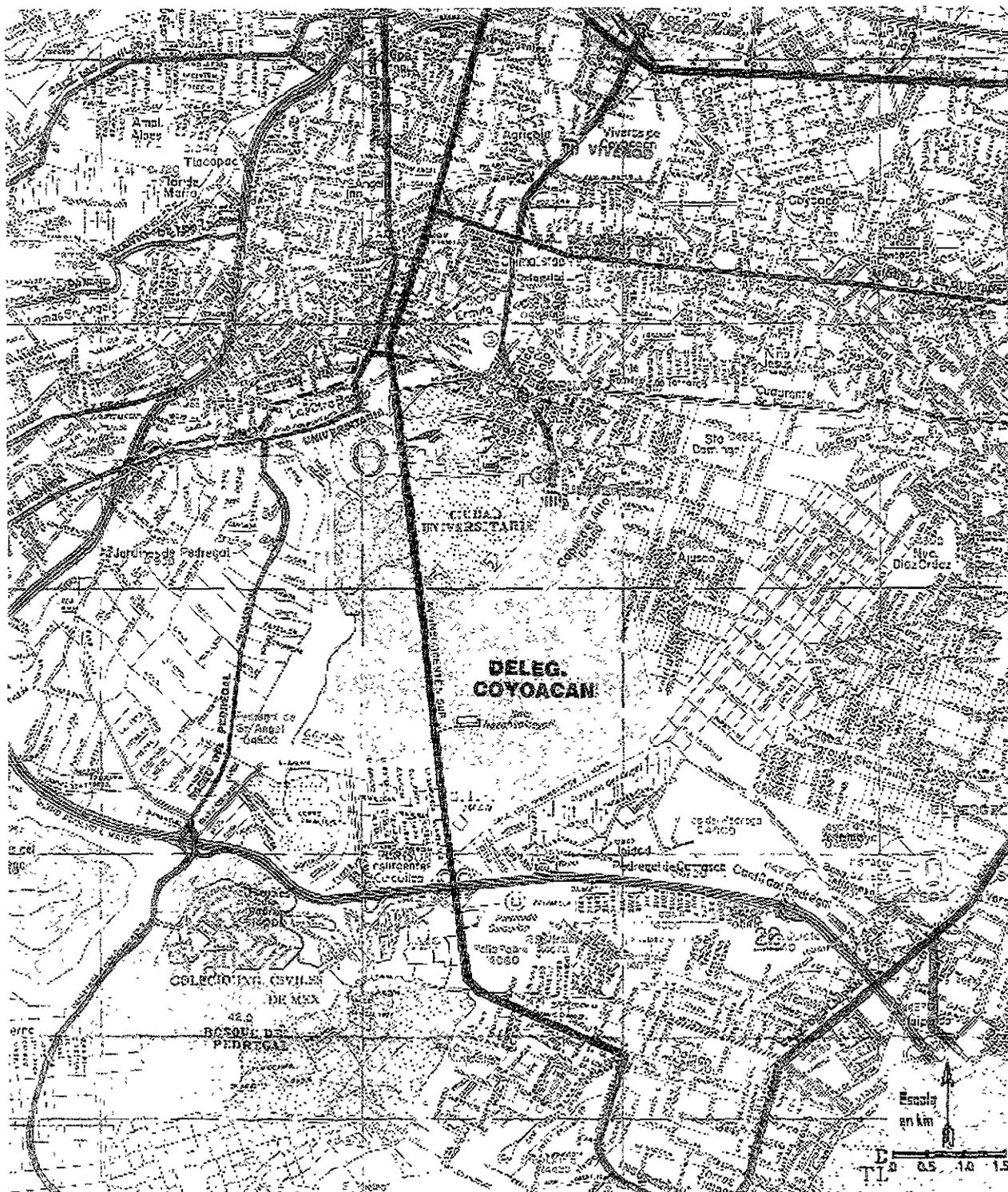


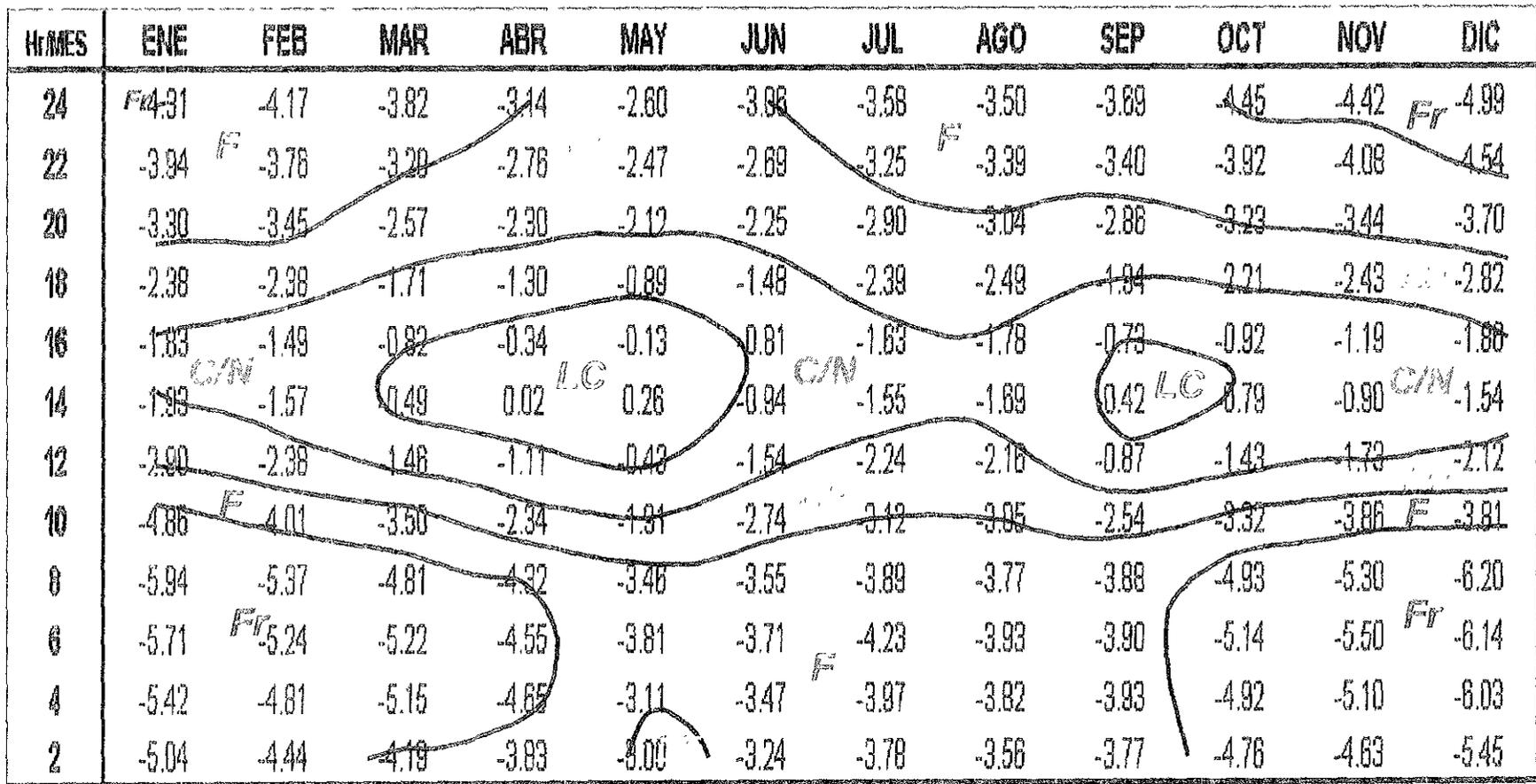
Fig. 12. Biotopo correspondiente a la zona sur propuesto a partir del uso del suelo a lo largo del recorrido y al comportamiento de las variables microclimáticas. Los puntos señalados en el mapa con color negro corresponden al recorrido realizado sobre la avenida de Los Insurgentes. Las barras de colores anchas y contiguas, señalan la demarcación de las delegaciones; las demás líneas corresponden a avenidas importantes, líneas del metro y las zonas de color verde corresponden a áreas verdes.

4.2 La evaluación bioclimática

La aclimatación de las personas juega un papel importante en la sensación térmica que perciben del ambiente atmosférico. Brager y De Dear (1998) señalan que en un ambiente con construcciones, la adaptación térmica puede ser atribuida a tres procesos: el ajuste del comportamiento, la aclimatización (o aclimatación) fisiológica y la habituación fisiológica. No obstante lo anterior, la evaluación de las complejas condiciones de intercambio de calor entre el cuerpo humano y sus alrededores, requiere la aplicación de modelos de almacenamiento de calor. Los procedimientos del estado del arte –entre los que se encuentra el PMV- para llevar a cabo esa evaluación, combinan la temperatura del aire, la presión del vapor, la rapidez del viento los flujos radiantes de onda corta y larga, con la razón metabólica (en términos termofisiológicamente significativos debidos a la consideración del aislamiento de la ropa) (Jendritzky *et al.*, 2000).

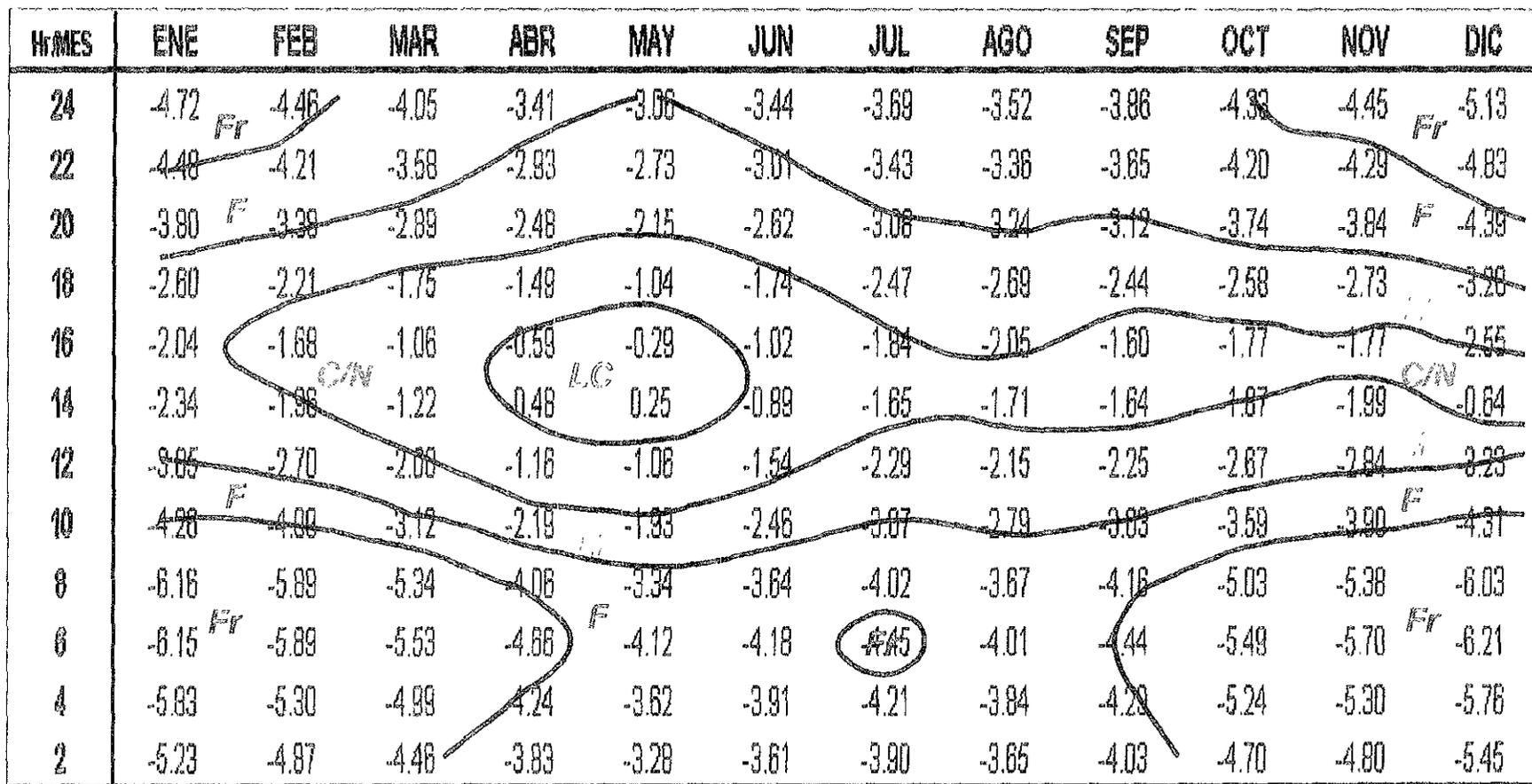
En el apéndice 2 se presenta una aportación más del presente trabajo en cuanto a la adecuación de las escalas de sensación térmica, no sólo del PMV sino también de otros índices (de los clasificados como termopsicológicos y termofisiológicos o simplemente sintéticos según la propuesta de clasificación de Morgan y Baskett, 1974) a la ciudad de México. Por una parte, se muestra que la relación estadística entre los diferentes tipos de índices es alta con el índice de balance de energía aquí utilizado (bajo las condiciones de actividad y ropa descritas); mientras que por otra, se evidencia la necesidad de llevar a cabo una estandarización de escalas de sensación térmica para poder comparar el comportamiento bioclimático por diferentes métodos. Finalmente, en el mismo apéndice se muestra cómo a pesar de ser un índice altamente demandante de información específica (en particular los flujos de energía), el PMV puede ser utilizado para realizar evaluaciones bioclimáticas (con ciertas restricciones) con la información que se genera de manera más o menos rutinaria en estaciones climatológicas automáticas y observatorio meteorológicos.

La discusión de los resultados obtenidos en este trabajo (evaluación bioclimática, mapas biotopoclimáticos, etc.) gira alrededor del PMV calculado bajo la condición de 1 clo y viento medido (designado como PMV1), aunque como se ha señalado anteriormente, el PMV también se calculó bajo tres condiciones más. En las figuras 13 a la 27 se muestran las marchas diurnas del PMV1 calculado en quince sitios de la ciudad (a pie de figura se muestra la escala estandarizada de acuerdo a los resultados obtenidos y mostrados en el



1.9	<PMV1	MC	Muy Caluroso
0.6	<PMV1 ≤ 1.9	C	Caluroso
-0.6	<PMV1 ≤ 0.6	LC	Lig. Caluroso
-1.8	≤PMV1 ≤ -0.6	C/N	Confortable/Neutro
-3.1	≤PMV1 < -1.8	LF	Lig. Fresco
-4.3	≤PMV1 < -3.1	F	Fresco
	PMV1 < -4.3	Fr	Frio

Fig. 13. Marcha diurna del PMV1 en Aeropuerto durante 1995.



1.9	<PMV1	MC	Muy Caluroso
0.6	<PMV1 ≤ 1.9	C	Caluroso
-0.6	<PMV1 ≤ 0.6	LC	Lig. Caluroso
-1.8	≤PMV1 ≤ -0.6	C/N	Confortable/Neutro
-3.1	≤PMV1 < -1.8	LF	Lig. Fresco
-4.3	≤PMV1 < -3.1	F	Fresco
	PMV1 < -4.3	Fr	Frío

Fig. 14. Marcha diurna del PMV1 en Texcoco durante 1995.

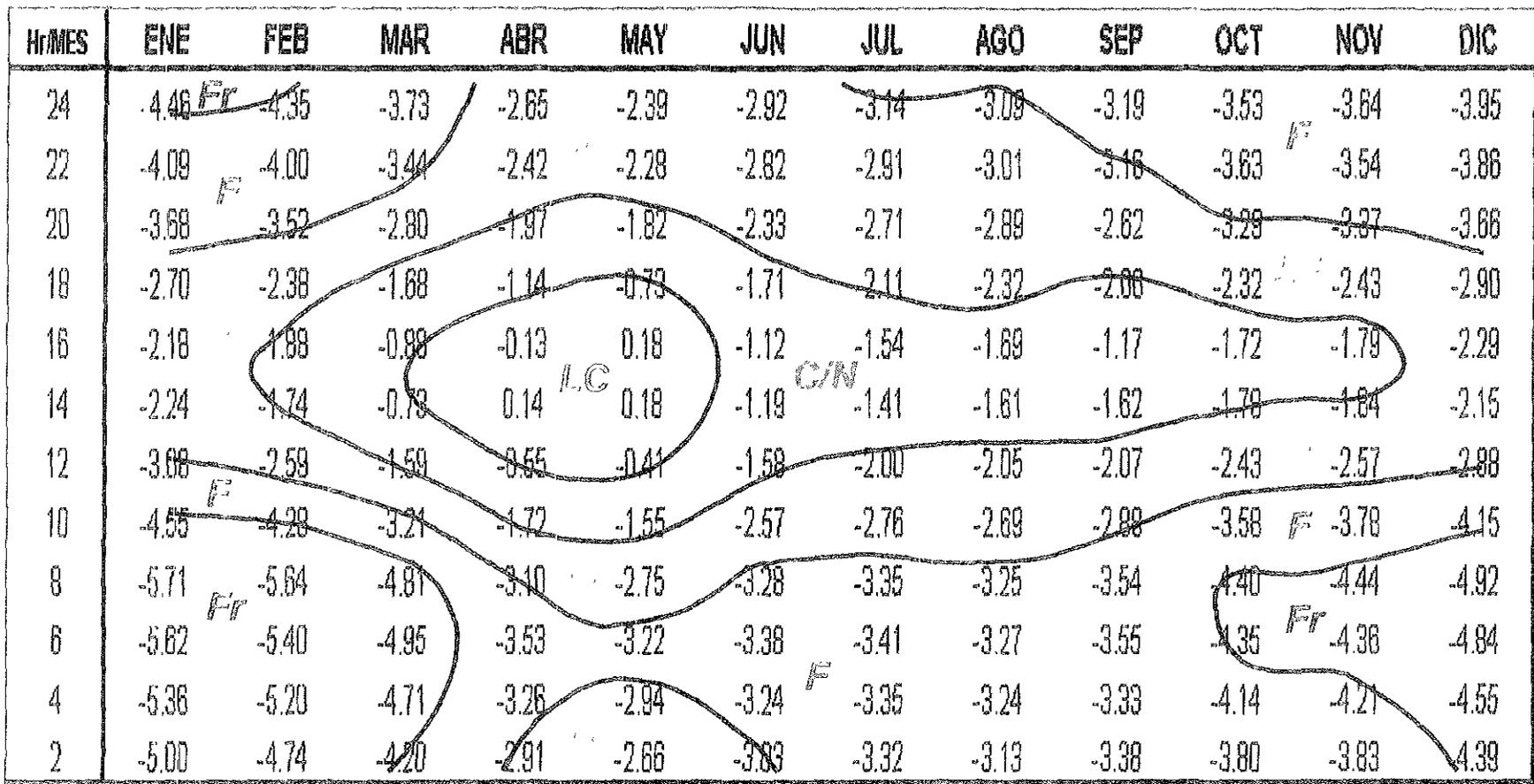
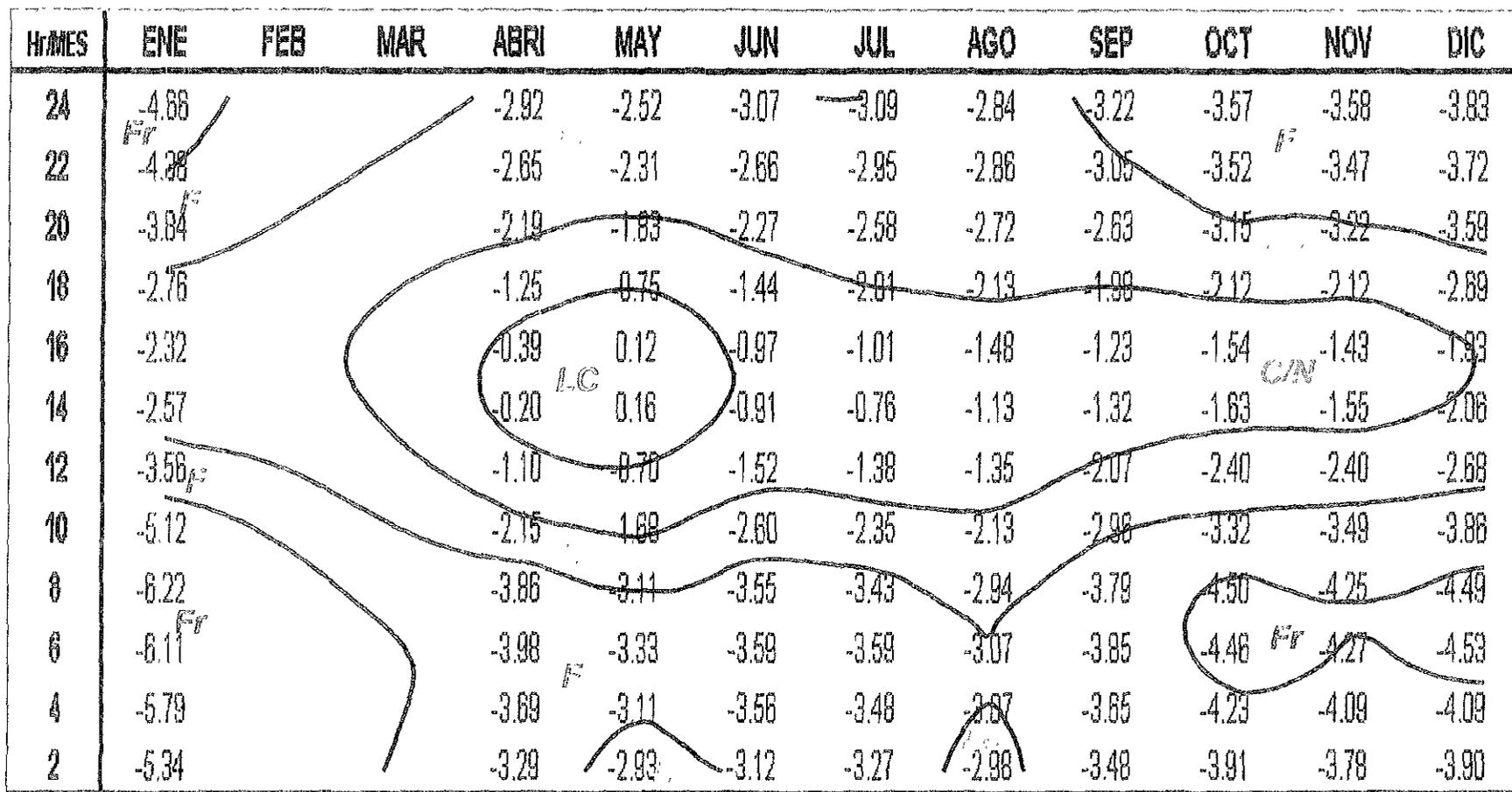


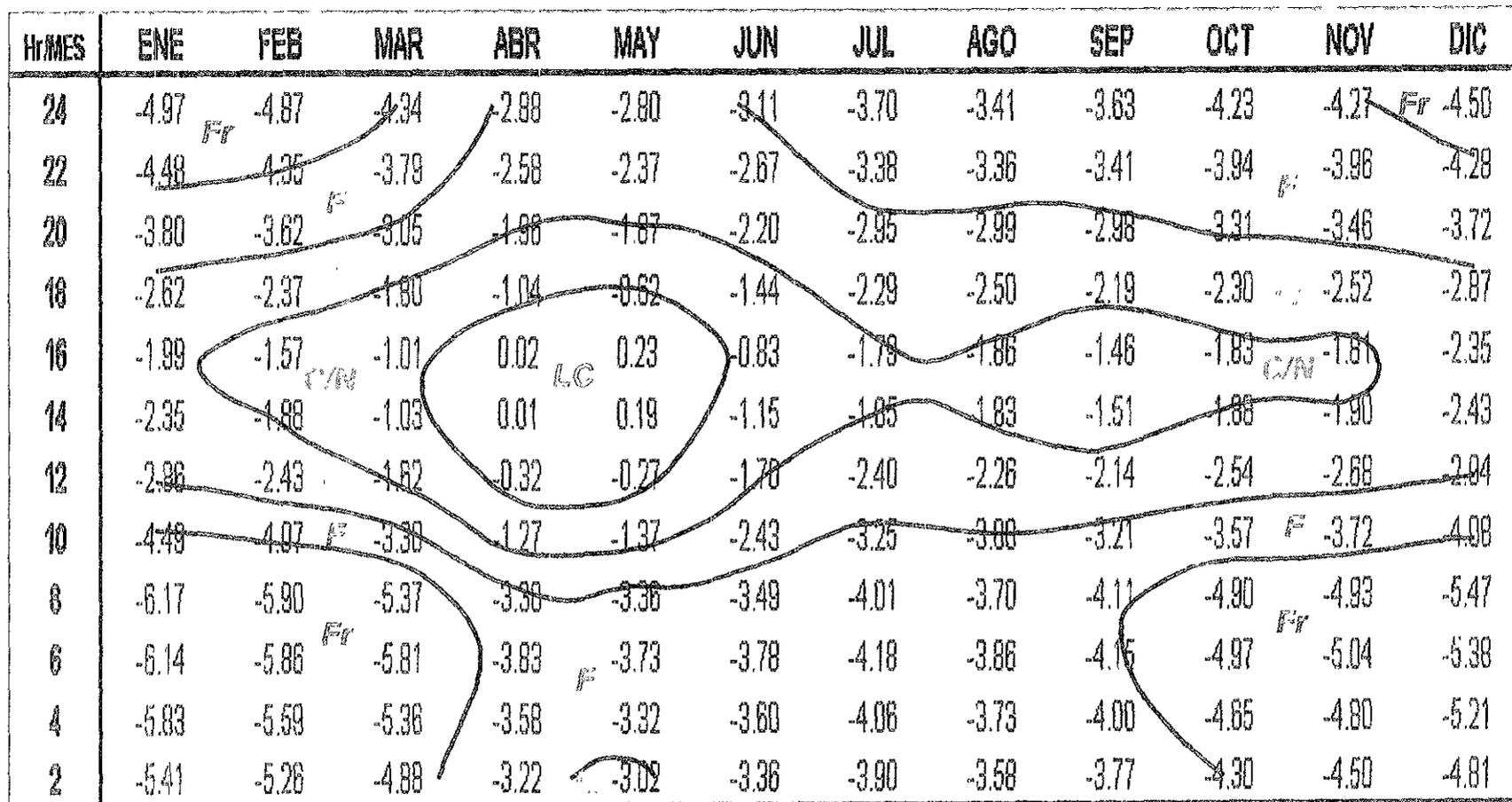
Fig. 15. Marcha diurna del PMV1 en Xalostoc durante 1995.

1.9	<PMV1	MC	Muy Caluroso
0.6	<PMV1 ≤ 1.9	C	Caluroso
-0.6	<PMV1 ≤ 0.6	LC	Lig. Caluroso
-1.8	≤PMV1 ≤ -0.6	C/N	Confortable/Neutro
-3.1	≤PMV1 < -1.8	LF	Lig. Fresco
-4.3	≤PMV1 < -3.1	F	Fresco
	PMV1 < -4.3	Fr	Frio



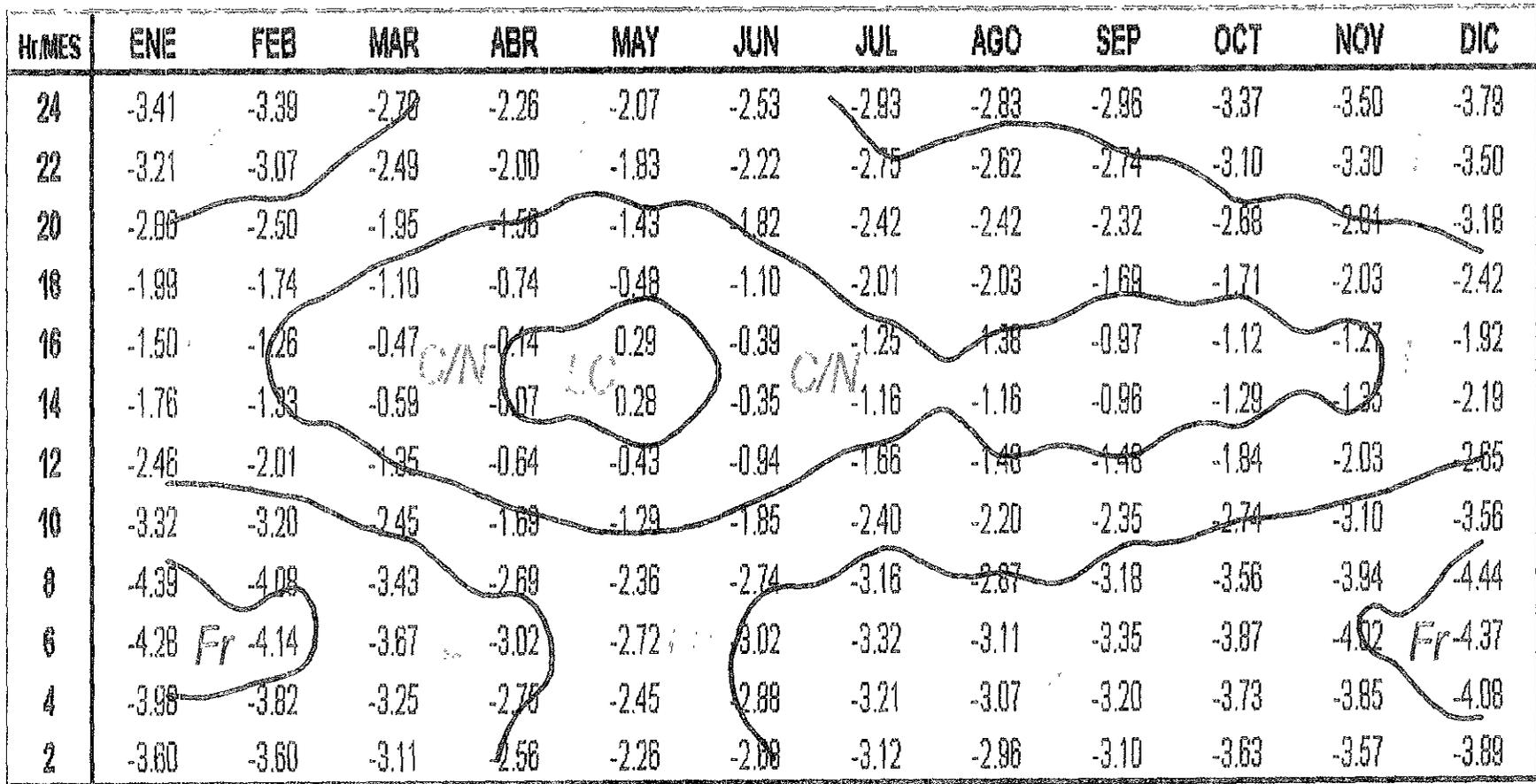
1.9	<PMV1		MC	Muy Caluroso
0.6	<PMV1 ≤	1.9	C	Caluroso
-0.6	<PMV1 ≤	0.6	LC	Lig. Caluroso
-1.8	<PMV1 ≤	-0.6	C/N	Confortable/Neutro
-3.1	<PMV1 <	-1.8	LF	Lig. Fresco
-4.3	<PMV1 <	-3.1	F	Fresco
	PMV1 <	-4.3	Fr	Frío

Fig. 16. Marcha diurna del PMV1 en San Agustín durante 1995.



1.9	<PMV1	MC	Muy Caluroso
0.6	<PMV1 ≤ 1.9	C	Caluroso
-0.6	<PMV1 ≤ 0.6	LC	Lig. Caluroso
-1.8	≤PMV1 ≤ -0.6	C/N	Comfortable/Neutro
-3.1	≤PMV1 < -1.8	LF	Lig. Fresco
-4.3	≤PMV1 < -3.1	F	Fresco
	PMV1 < -4.3	Fr	Frio

Fig. 17. Marcha diurna del PMV1 en Tlalnepantla durante 1995.



1.9	<PMV1	MC	Muy Caluroso
0.6	<PMV1 ≤ 1.9	C	Caluroso
-0.6	<PMV1 ≤ 0.6	LC	Lig. Caluroso
-1.8	≤PMV1 ≤ -0.6	C/N	Confortable/Neutro
-3.1	≤PMV1 < -1.8	LF	Lig. Fresco
-4.3	≤PMV1 < -3.1	F	Fresco
	PMV1 < -4.3	Fr	Frio

Fig. 18. Marcha diurna del PMV1 en Palacio de Minería durante 1995

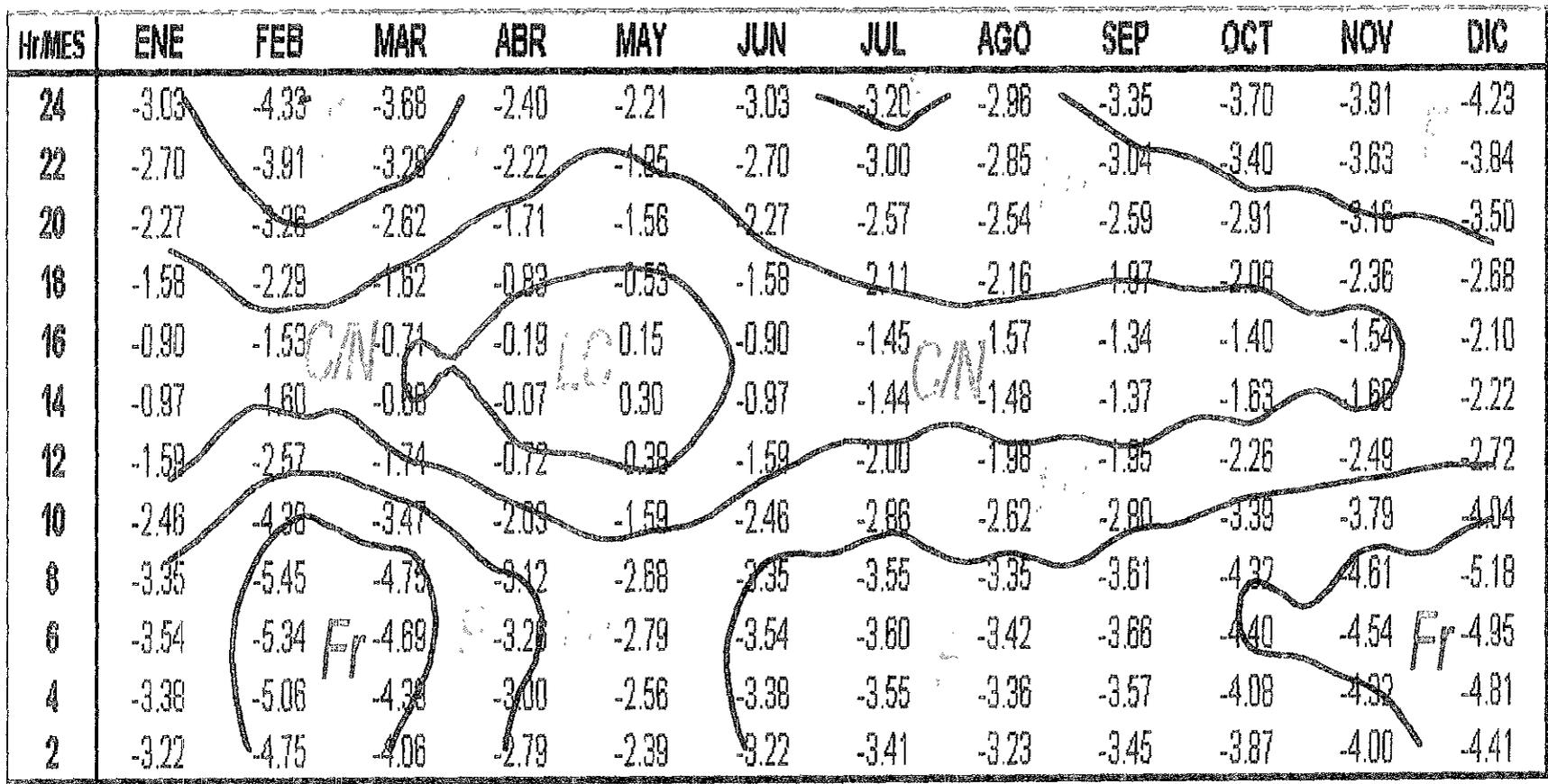


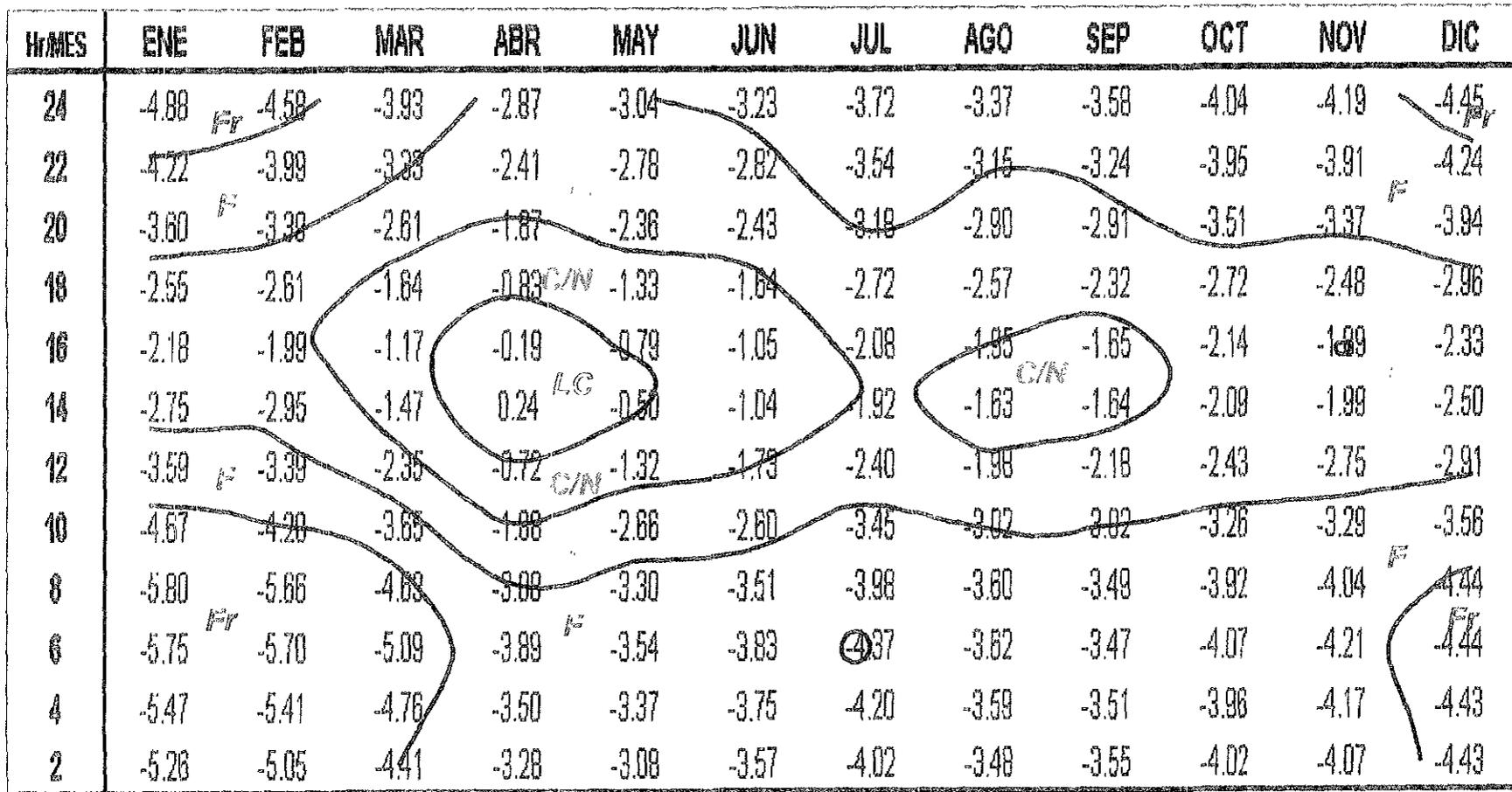
Fig. 19. Marcha diurna del PMV1 en Merced durante 1995

1.9	<PMV1	MC	Muy Caluroso
0.6	<PMV1 ≤ 1.9	C	Caluroso
-0.6	<PMV1 ≤ 0.6	LC	Lig. Caluroso
-1.8	≤PMV1 ≤ -0.6	C/N	Confortable/Neutro
-3.1	≤PMV1 < -1.8	LF	Lig. Fresco
-4.3	≤PMV1 < -3.1	F	Fresco
	PMV1 < -4.3	Fr	Frío

Hr/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
24	Fr 4.35	-4.18	-3.69	-2.94	-2.65	-3.06	-3.68	-3.45	-3.68	-4.14	-4.28	Fr -4.45
22	-4.02	-3.88	-3.35	-2.71	-2.45	-2.71	-3.46	-3.16	-3.46	-3.91	-3.89	-4.20
20	-3.45	-3.24	-2.73	-2.15	-2.06	-2.40	-3.13	-3.07	-3.12	-3.36	-3.43	-3.74
18	-2.40	-2.30	-1.55	-1.25	-0.86	-1.50	-2.64	-2.59	-2.26	-2.30	-2.51	-2.87
16	-1.80	-1.73	-1.01	0.62	-0.06	0.87	-1.85	-1.98	-1.58	-1.61	-1.74	-2.23
14	-2.18	1.80	-0.95	-0.25	0.01	-0.80	-1.58	-1.56	-1.40	-1.66	-1.82	-2.36
12	-2.93	-2.42	-1.87	-0.84	0.88	-1.25	-2.02	-1.87	-1.87	-2.30	-2.54	-2.94
10	-3.81	-3.46	-2.65	1.66	-1.44	-2.00	-2.73	-2.46	-2.74	3.03	-3.25	-3.70
8	-4.97	-4.90	-3.96	2.91	-2.56	-2.89	-3.49	-3.26	-3.46	-3.97	-4.13	-4.61
6	-5.08	-5.00	-4.49	-3.53	-3.02	-3.29	-3.98	-3.70	-3.86	-4.42	-4.45	-4.93
4	-4.76	-4.67	-4.15	-3.29	-2.90	-3.30	-3.89	-3.72	-3.87	-4.27	-4.38	-4.72
2	-4.59	-4.36	-4.02	-3.22	-2.80	-3.19	-3.82	-3.60	-3.78	-4.18	-4.28	-4.60

1.9	<PMV1	MC	Muy Caluroso
0.6	<PMV1 ≤ 1.9	C	Caluroso
-0.6	<PMV1 ≤ 0.6	LC	Lig. Caluroso
-1.8	≤PMV1 ≤ -0.6	C/N	Confortable/Neutro
-3.1	≤PMV1 < -1.8	LF	Lig. Fresco
-4.3	≤PMV1 < -3.1	F	Fresco
	PMV1 < -4.3	Fr	Frio

Fig. 20. Marcha diurna del PMV1 en Tacubaya durante 1995.



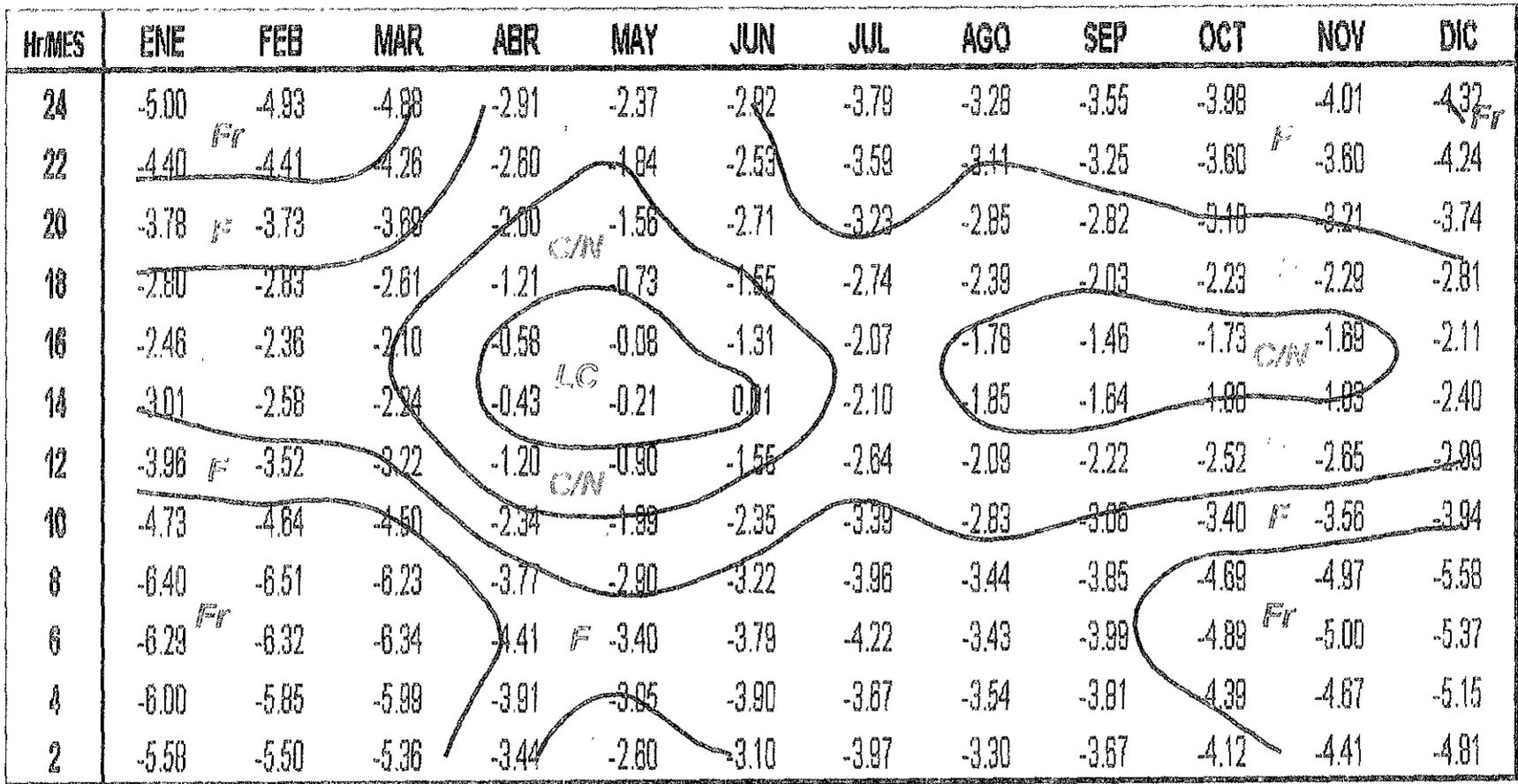
1.9	<PMV1	MC	Muy Caluroso
0.6	<PMV1 ≤ 1.9	C	Caluroso
-0.6	<PMV1 ≤ 0.6	LC	Lig. Caluroso
-1.8	≤PMV1 ≤ -0.6	C/N	Confortable/Neutro
-3.1	≤PMV1 < -1.8	LF	Lig. Fresco
-4.3	≤PMV1 < -3.1	F	Fresco
	PMV1 < -4.3	Fr	Frío

Fig. 21. Marcha diaria del PMV1 en Tacuba durante 1995.

Hr/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
24	-4.34	-4.18	-3.58	-2.68	-2.21	-2.74	-3.17	-2.89	-3.08	-3.78	-3.85	-4.19
22	-4.04	-3.90	^F -3.28	-2.46	-2.08	-2.45	-2.99	-2.80	-2.94	-3.65	-3.64	^F -3.90
20	-3.45	-3.49	-2.85	-2.11	-1.77	-2.07	-2.64	-2.58	-2.44	-3.19	3.27	-3.67
18	-2.48	-2.36	-1.69	-1.20	^{C/N} 0.70	-1.35	-2.14	-2.19	-1.70	2.13	-2.35	^F -2.74
16	-1.82	-1.78	-0.91	-0.29	0.17	-0.56	-1.39	-1.54	0.62	-0.88	-0.90	-1.64
14	-2.03	^{C/N} -1.94	-0.90	-0.01	^{L.C} 0.32	-0.66	-1.28	^{C/N} -1.38	-0.24	-0.64	-0.55	^{C/N} 1.27
12	-3.18	-2.90	-1.82	-0.77	-0.40	-1.33	1.94	-1.96	-0.58	-1.41	-1.47	2.08
10	-4.97	-4.36	^F -3.58	-2.14	^{C/N} -1.54	-2.35	-2.90	-2.57	-2.68	-2.86	-3.22	^F -3.66
8	-5.90	-5.65	-5.01	-3.96	-2.95	-3.25	-3.44	-3.15	3.22	-4.43	-4.66	-5.30
6	-5.63	-5.25	^{Fr} -4.74	-3.36	-2.92	-3.28	-3.44	^F -3.11	-3.21	-4.50	-4.51	^{Fr} -5.07
4	-5.27	-4.92	-4.44	-3.23	-2.65	-3.04	-3.39	-3.16	-3.16	-4.13	-4.27	-4.83
2	-4.73	-4.53	-4.00	-2.97	-2.52	-2.86	-3.25	-2.97	-3.23	-3.98	-4.01	-4.40

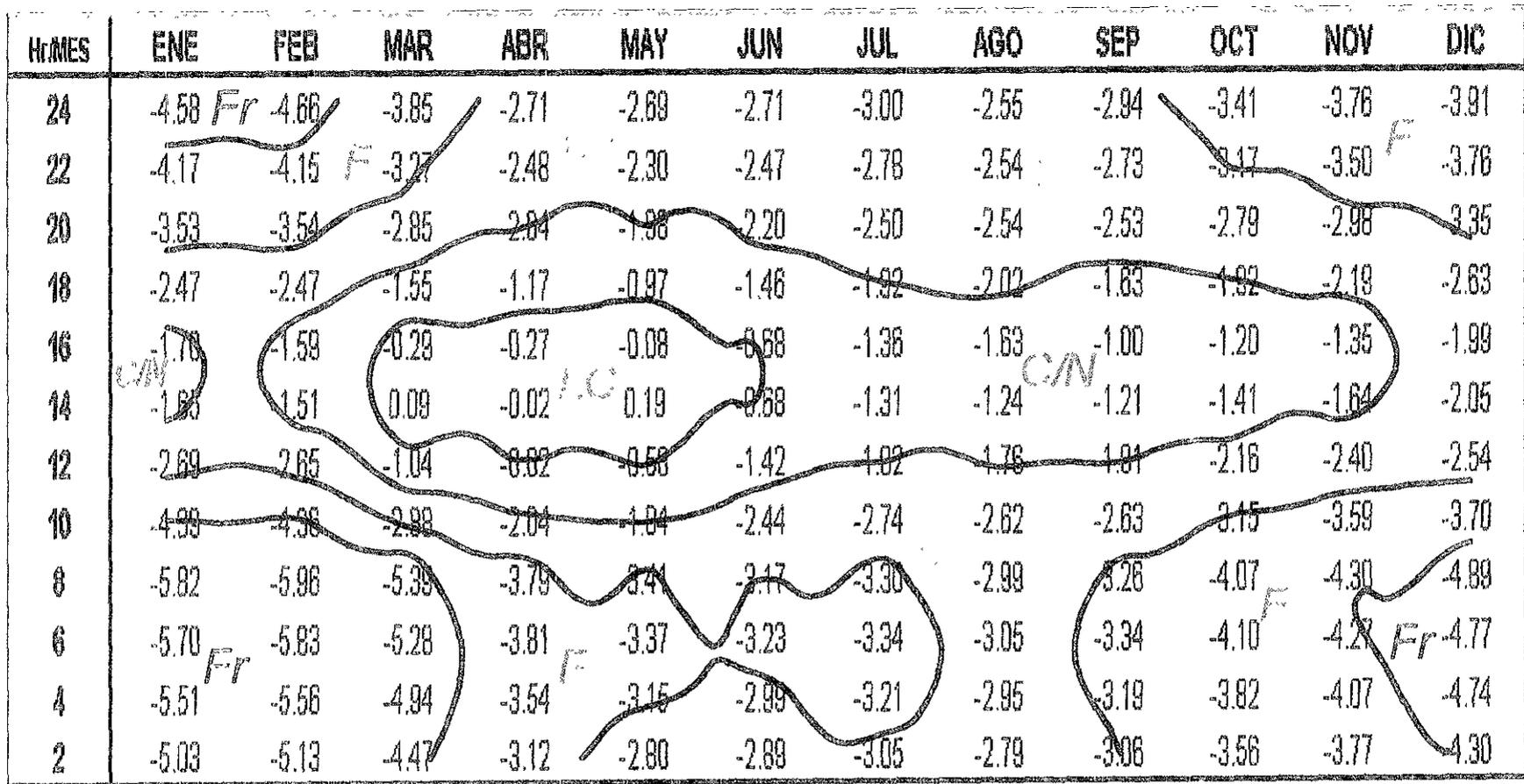
1.9	<PMV1		MC	Muy Caluroso
0.6	<PMV1 ≤	1.9	C	Caluroso
-0.6	<PMV1 ≤	0.6	LC	Lig. Caluroso
-1.8	≤PMV1 ≤	-0.6	C/N	Confortable/Neutro
-3.1	≤PMV1 <	-1.8	LF	Lig. Fresco
-4.3	≤PMV1 <	-3.1	F	Fresco
	PMV1 <	-4.3	Fr	Frío

Fig. 22. Marcha diurna del PMV1 en Hangares durante 1995.



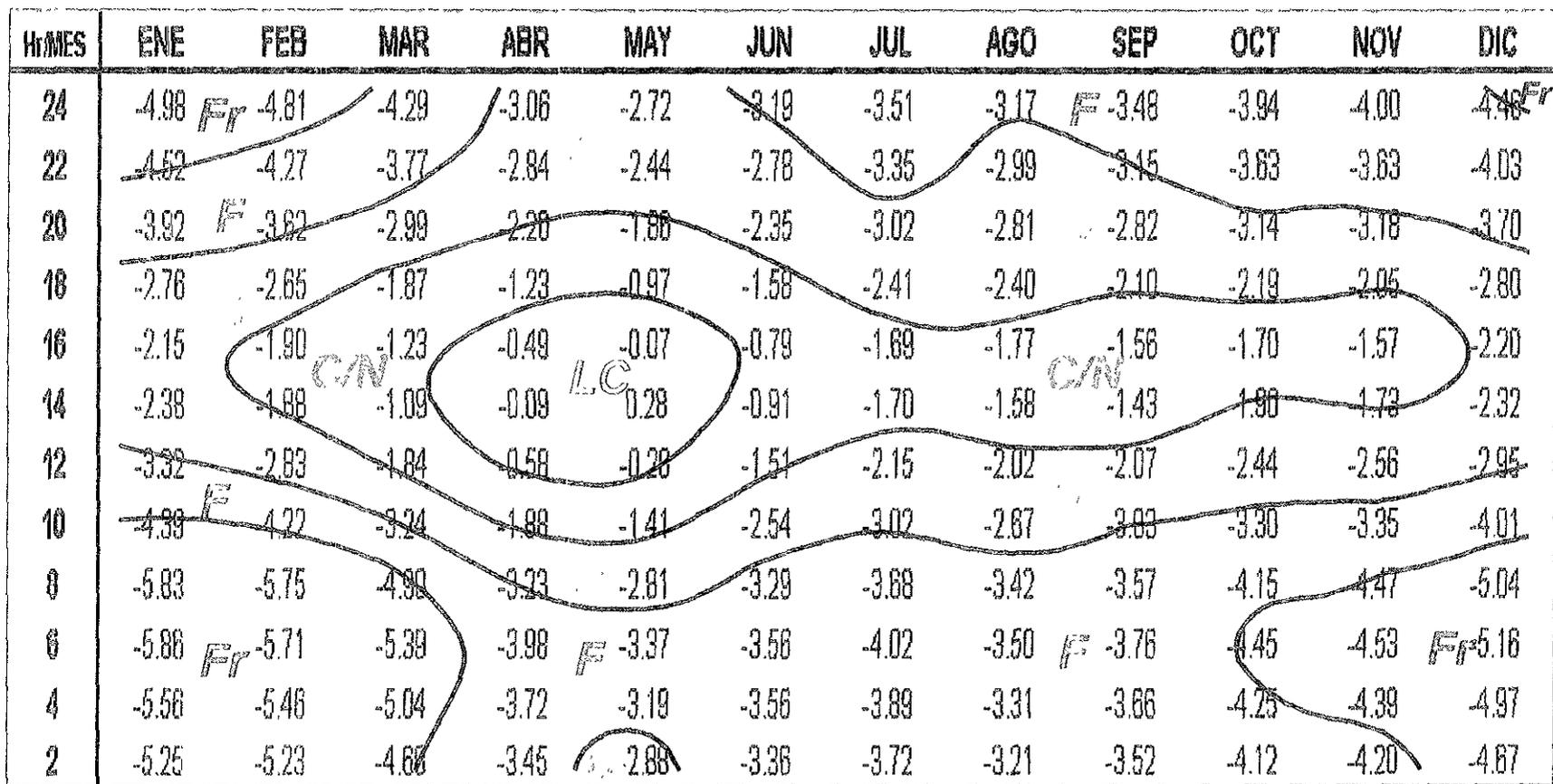
1.9	<PMV1	MC	Muy Caluroso
0.6	<PMV1 ≤ 1.9	C	Caluroso
-0.6	<PMV1 ≤ 0.6	LC	Lig. Caluroso
-1.8	≤PMV1 ≤ -0.6	C/N	Confortable/Neutro
-3.1	≤PMV1 < -1.8	LF	Lig. Fresco
-4.3	≤PMV1 < -3.1	F	Fresco
	PMV1 < -4.3	Fr	Frio

Fig. 23. Marcha diurna del PMV1 en ENEP-Acatlán durante 1995.



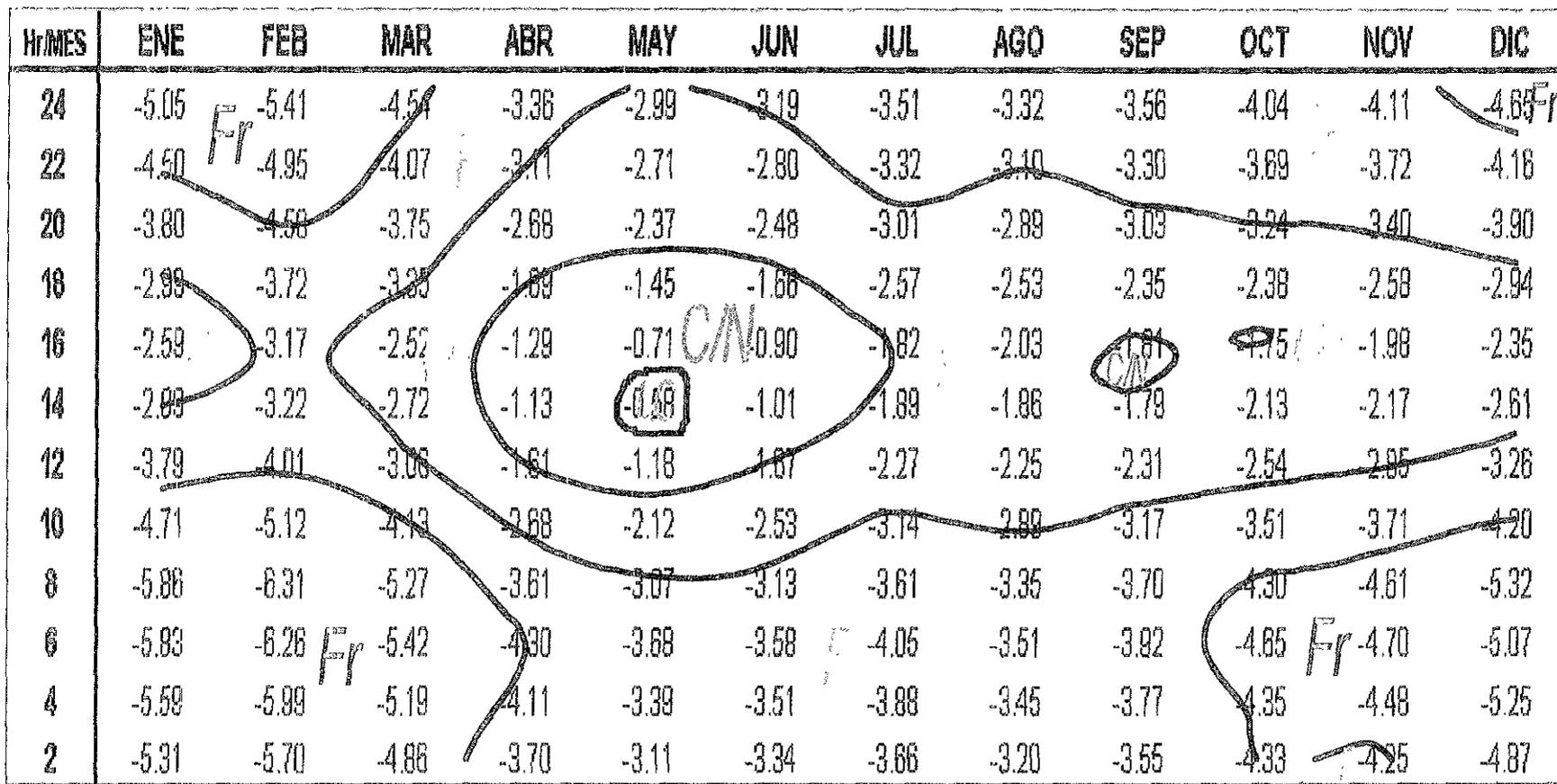
1.9	<PMV1	MC	Muy Caluroso
0.6	<PMV1 ≤ 1.9	C	Caluroso
-0.6	<PMV1 ≤ 0.6	LC	Lig. Caluroso
-1.8	≤PMV1 ≤ -0.6	C/N	Comfortable/Neutro
-3.1	≤PMV1 < -1.8	LF	Lig. Fresco
-4.3	≤PMV1 < -3.1	F	Fresco
	PMV1 < -4.3	Fr	Frio

Fig. 24. Marcha diurna del PMV1 en Cerro de la Estrella durante 1995.



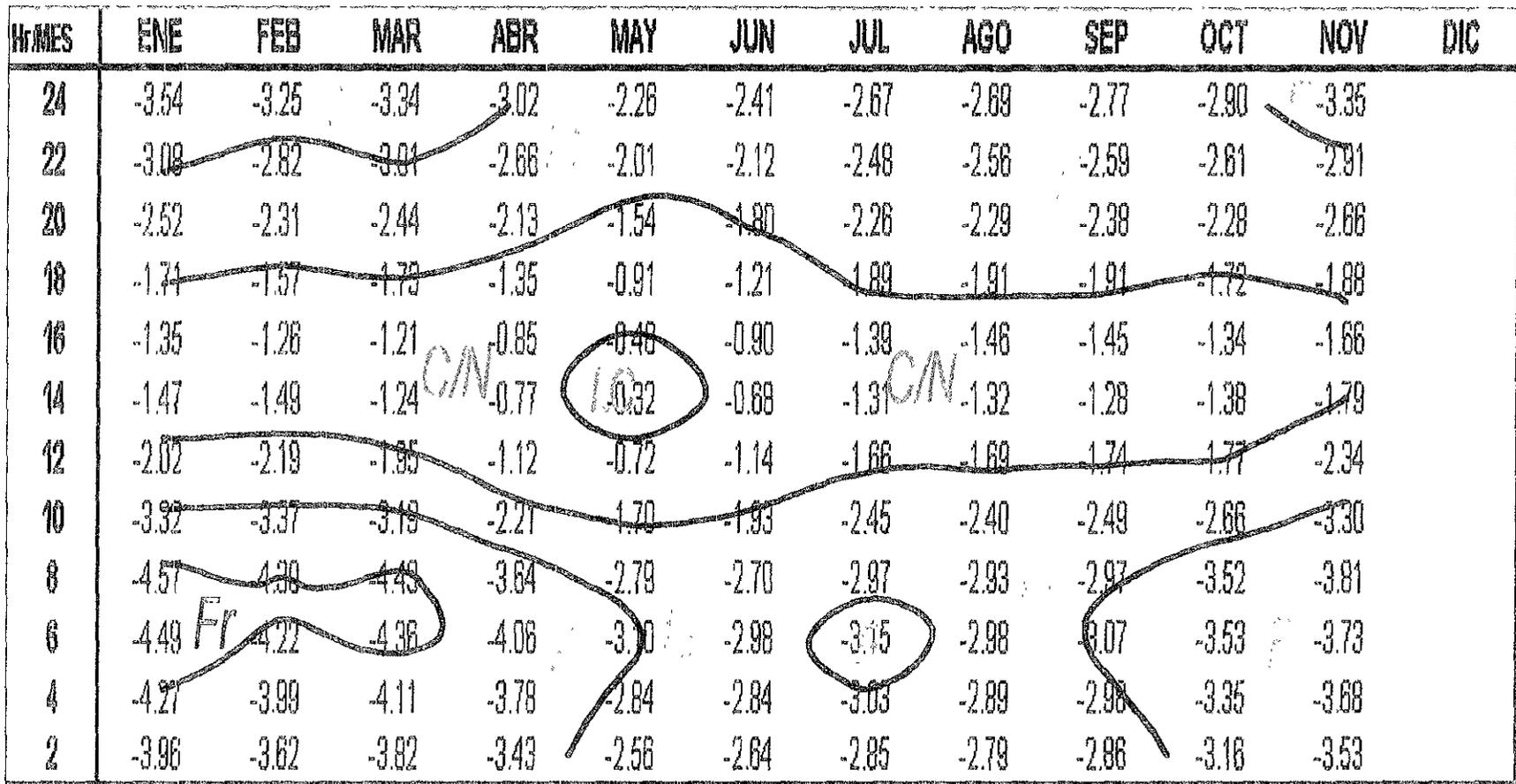
1.9	<PMV1		MC	Muy Caluroso
0.6	<PMV1≤	1.9	C	Caluroso
-0.6	<PMV1≤	0.6	LC	Lig. Caluroso
-1.8	≤PMV1≤	-0.6	C/N	Confortable/Neutro
-3.1	≤PMV1<	-1.8	LF	Lig. Fresco
-4.3	≤PMV1<	-3.1	F	Fresco
	PMV1<	-4.3	Fr	Frío

Fig. 25 Marcha diaria del PMV1 en Plateros durante 1995.



1.9	<PMV1	MC	Muy Caluroso
0.6	<PMV1 ≤ 1.9	C	Caluroso
-0.6	<PMV1 ≤ 0.6	LC	Lig. Caluroso
-1.8	≤PMV1 ≤ -0.6	C/N	Confortable/Neutro
-3.1	≤PMV1 < -1.8	LF	Lig. Fresco
-4.3	≤PMV1 < -3.1	F	Fresco
	PMV1 < -4.3	Fr	Frío

Fig. 26. Marcha diurna del PMV1 en Pedregal durante 1995



1.9	<PMV1	MC	Muy Caluroso
0.6	<PMV1 ≤ 1.9	C	Caluroso
-0.6	<PMV1 ≤ 0.6	LC	Lig. Caluroso
-1.8	≤PMV1 ≤ -0.6	C/N	Confortable/Neutro
-3.1	≤PMV1 < -1.8	LF	Lig. Fresco
-4.3	≤PMV1 < -3.1	F	Fresco
	PMV1 < -4.3	Fr	Frío

Fig. 27. Marcha diaria del PMV1 en Chapultepec durante 1995

apéndice 2). Como una contribución más del presente estudio, en el apéndice 2 se presentan las marchas diurnas del PMV en las condiciones restantes en que se calculó (PMV2, PMV3 y PMV4) y una discusión acerca de las condiciones bioclimáticas en la ciudad de México bajo las condiciones de actividad, resistencia térmica de la ropa y rapidez del viento utilizadas.

Tanto en las figuras 13 a la 27 como en las mostradas en el apéndice 2, el trazo de isolíneas en las figuras se realizó utilizando el paquete de computación *Surfer* (versión 6.02 de Microsoft®), el cual para puntos y límites definidos dentro de las tablas, interpola y suaviza valores mediante el ya descrito método de kriging (Kitadinis, 1999) entre el punto considerado y los próximos a su alrededor, de tal manera que las isolíneas resultantes representan un análisis objetivo y permiten determinar patrones en su comportamiento como los núcleos o isolíneas cerradas.

Como primera parte se describirán algunos aspectos derivados de las figuras 13 a la 27, entre estaciones de los mismos biotopos, en tanto, como segunda parte se describirán algunos aspectos entre las estaciones considerando que se encuentran en biotopos distintos:

a) Aeropuerto y Texcoco como estaciones representativas de espacios abiertos. Es notorio el núcleo de condiciones *ligeramente cálido*, aunque de mayor extensión en Aeropuerto, además de presentarse también, para esta estación, en los meses de septiembre y octubre. Esta última condición hace que el periodo de la sensación térmica *confortable/neutro* en Aeropuerto, de agosto a diciembre, sea más amplio que en Texcoco. Las configuraciones de las sensaciones térmicas de *ligeramente fresco* y *fresco*, son muy similares, pero en el caso de la sensación térmica de *frío*, es ligeramente más amplia en Texcoco, donde se presenta desde septiembre, y destaca el hecho de que aún en julio se presente un periodo de esta condición.

En esta parte es importante recordar que en la baja atmósfera, cuando la diferencia de temperatura entre la baja atmósfera y la superficie es pequeña, la radiación infrarroja emitida por la superficie está casi en balance por la radiación con la radiación infrarroja proveniente de la atmósfera. Sin embargo, cuando la temperatura de la superficie excede a la del aire subyacente, como es el caso de una superficie pavimentada, la radiación infrarroja emitida desde la superficie es significativamente mayor a la proveniente de la atmósfera, y la absorción la radiación infrarroja proveniente de la superficie por parte del

aire subyacente, llega a ser un componente significativo en el almacenamiento de calor de calor en la atmósfera baja, contribuyendo a los procesos de calentamiento locales (Asaeda *et al.*, 1996). En este sentido, si bien en la ciudad de México este es un campo poco estudiado, se están realizando importantes avances como lo muestran las investigaciones realizadas por Oke *et al.* (1992), Tejeda (1996) y Barradas *et al.* (1999).

Bajo la descripción anterior, puede considerarse entonces que debido, entre otros aspectos, al tipo de uso del suelo que se tiene en Aeropuerto, probablemente hay un impacto en el balance energético que hace que las condiciones térmicas tiendan a ser menos frías en este sitio que en Texcoco.

b) Xalostoc, San Agustín y Tlalnepantla como estaciones representativas de la zona industrial. Aún cuando en San Agustín no se contó con información de todo el año, las isolíneas del PMV1 de esta estación, comparadas con la de las otras dos estaciones, señalan que es muy probable que el comportamiento térmico sea el que aparece descrito en la figura 16. Destaca nuevamente el núcleo de sensación *ligeramente caluroso* en los meses de marzo a mayo, siendo el de menor periodo el de San Agustín (donde puede influir la falta de datos). El periodo correspondiente a la sensación térmica de *confortable/neutro* muestra una distribución similar entre las tres estaciones, sin embargo, es de notarse que dicho periodo a partir de julio en la estación Tlalnepantla presenta un periodo más reducido.

Tanto las sensaciones térmicas de *ligeramente fresco* como *fresco* muestran una distribución parecida entre las tres estaciones. En el caso de la sensación de *frio*, los periodos de octubre a diciembre son más amplios en la estación Tlalnepantla, lo que puede conducir a señalar que Tlalnepantla es una estación “fría” comparada con Xalostoc y San Agustín.

c) En el caso de las estaciones del biotopo mixto, al igual que en los casos anteriores, se presenta un núcleo correspondiente a la sensación térmica de *ligeramente caluroso*, entre los meses de marzo a junio (como son los caso de Hangares y Cerro de la Estrella), pero es de notarse que dicho núcleo es de un periodo muy corto en la estación de Pedregal (sólo durante mayo). Destaca por el contrario, que en la estación Hangares se registre un periodo de esta condición en los meses de septiembre a noviembre.

La condición térmica de *comfortable/neutro* es muy amplia en general (desde enero hasta diciembre incluso en Hangares), excepto en las estaciones de Tacuba, ENEP-Acatlán y Pedregal, donde comprende únicamente seis, ocho y cinco meses respectivamente.

Las condiciones de *ligeramente fresco* y *fresco*, muestran una distribución muy similar entre las estaciones, aunque en Pedregal y Tacuba es notoria su presencia en gran parte del año.

La condición térmica de frío abarca desde octubre hasta abril en las diferentes estaciones, pero destacan, por una parte, su amplitud en la estación de Pedregal, y su presencia en julio en la estación de Tacubaya.

Dada la distribución de sensaciones térmicas en Pedregal, esta estación puede considerarse como una estación fría comparada con el resto de las estaciones mixtas, en tanto que Hangares, a pesar de no encontrarse situada en el centro comercial de la ciudad, puede considerarse la estación más cálida comparada con el resto.

d) En el caso de Chapultepec, como estación representativa de las áreas verdes y en donde no se contó con datos de viento ni con los datos correspondientes a diciembre, es de notarse que, a pesar de que la estación está situada entre los árboles, en mayo se presenta una situación de *ligeramente cálido*, en tanto que el período de la condición térmica *comfortable/neutro* es muy amplia a lo largo del año, presentándose prácticamente todo el año.

Las situaciones de *ligeramente fresco* y *fresco* dejan muy poco espacio para la condición de *frío*, la cual sólo se registra en un periodo de tres meses (enero a marzo) y poco amplio.

Es importante recordar que no se contó con datos de viento (por lo que para cálculos del PMVI se consideró constante de 0.2 m/s), variable cuya magnitud es significativa en los cálculos del PMV como se muestra en el apéndice 2.

La comparación entre estaciones de los diferentes biotopos no muestra diferencias significativas en la presencia de condiciones térmicas (en todas se registraron condiciones de *frío* a *ligeramente caluroso*), aunque destacan como casos de análisis posterior, por la distribución presentada, Aeropuerto, Hangares y Pedregal, donde las dos primeras

registraron núcleos cálidos más amplios y la segunda amplios periodos de condiciones ligeramente frescas a frías.

Además de las comparaciones descritas, si se consideran los transectos norte-sur y este-oeste, las condiciones bioclimáticas a lo largo de ellos muestran las siguientes características:

Norte-sur: la zona sur presenta periodos *frescos* y *fríos* más amplios que la zona norte, mientras que los periodos de *confort* y *ligeramente caluroso* en esta zona son menos amplios que en la zona norte.

Norte-centro: en este caso, los periodos *fríos* son menores en el centro (un efecto de la isla de calor; Jáuregui y Tejeda, 1997 y Jáuregui, 2001). El periodo de la condición térmica *confortable* es mayor en el centro que en el norte, en tanto que la situación de *ligeramente caluroso* se presenta en periodos similares.

Sur-centro: la condición térmica de *frío* fue más amplia en el sur (nuevamente el efecto de la isla de calor), mientras que tanto los periodos de *confort* como de *ligeramente caluroso* fueron mayores en el centro.

Este-oeste: el periodo de la sensación de *frío* es más amplio en el oeste y, tanto la condición de *confort* como de *ligeramente caluroso* son mayores en el este.

Este-centro: la condición térmica de *frío* es menor en el centro, pero la de *confort* y de *ligeramente caluroso*, presentan periodos muy similares en el centro y en el este.

Oeste-centro: de manera similar a las comparaciones con el norte, sur y este, el periodo de la sensación de *frío* es menor en el centro de la ciudad, y también las condiciones de *confort* y *ligeramente caluroso* son más amplios en el centro.

Por otra parte, y a manera de comparación, es importante señalar que en el trabajo de Espinosa (1994), se presenta una serie de figuras similares a las aquí presentadas, utilizando para la evaluación bioclimática los índices de Sohar, Thom, temperatura efectiva y entalpia. En este caso, el autor hace uso de una escala con ocho sensaciones térmicas, aunque desafortunadamente, no especifica bajo que criterios se estandarizaron las escalas de sensaciones de cada uno de los índices utilizados. Es de notar, por otra parte, que en dicho análisis, en ninguna de las 26 estaciones climatológicas utilizadas, se alcanzó una sensación térmica de incomodidad por calor (en cualquiera de sus condiciones: ligero,

moderado o intenso), por lo que bioclimáticamente en ese trabajo, la ciudad se considera semifrías.

En el párrafo anterior (así como en el apéndice 2) se ejemplifica la importancia de considerar de manera adecuada el uso de las sensaciones térmicas asociadas a cada índice. En algunos de sus trabajos, Jáuregui y Tejeda (2001, por ejemplo) hacen uso de la escala de sensaciones térmicas propuesta por la ASHRAE (1966) y la aplican directamente para llevar a cabo la evaluación del bioclima en la ciudad de México⁸ (una diferencia importante con los resultados mostrados en el apéndice 2, radica en que la escala utilizada por Jáuregui y Tejeda, amplía el intervalo de confort que se obtuvo en este caso para la temperatura efectiva).

Sin embargo, como lo señalan Ealiwa *et al.* (2001) pueden existir diferencias entre lo señalado por la norma y lo experimentado por las personas (en este caso se aplicó el PMV y la ISO 7730, para evaluar el bioclima en Ghadames, Libia), lo que sugiere la necesidad de hacer las modificaciones necesarias tanto al índice utilizado como a la escala de sensaciones, para obtener los mejores resultados. Además, en un sentido más estricto, las adecuaciones de la escala deben considerar el lugar de aplicación (interior, semiexterior o exterior), donde la escala corregida puede presentar aún mayores variaciones (Potter y de Dear, 2001), y en el caso de interiores, el tipo de ventilación con que cuenta el edificio (Ealiwa *et al.*, 2001).

4.3 Los biotopoclimas

4.3.1 En la ciudad: biotopos e isolíneas

Como se ha mencionado, un mapa biotopoclimático representa la variación espacial y temporal en su caso, de la carga de calor asociada a estructuras definidas. En este caso, que sólo se han considerado cuatro biotopos, se tomó el dominante de los valores del PMV cuando dos o más de las estaciones se encuentran en un biotopo como se muestra en la tabla 12.

Aquí se presentan solamente los mapas correspondientes al PMV1 para las 6:00 y 15:00 h. l. de enero y para las 6:00 y 15:00 h. l. de abril (figuras 28, 29, 30 y 31), los cuales

⁸ No obstante que, como se detalla en el apéndice 2, Jáuregui *et al.* (1997) presentaron las consideraciones sobre la adecuación de la escala de sensaciones térmicas para algunos índices bioclimáticos en la ciudad de México.

corresponden a las horas de sensaciones térmicas extremas y en meses también de condiciones opuestas. En las tablas 12 y 13 se muestran los valores considerados para realizar estos mapas.

Uno de los objetivos al presentar los mapas biotopoclimáticos es el de mostrar que pueden proporcionar información mas detallada que los mapas donde se trazan isolíneas. Para motivos de comparación, en las figuras 32, 33, 34 y 35 se presentan mapas con isolíneas de PMV.

En esta primera propuesta, los mapas biotopoclimáticos no muestran diferencias significativas entre las diversas zonas de la ciudad con base en los biotopos propuestos, excepto en casos de áreas contrastantes como espacios abiertos y áreas verdes con las áreas urbanizadas. Por ejemplo, en el mapa de la figura 28 la sensación térmica de *frío* se presenta en toda la ciudad, mientras que en el mapa de la figura 29, las áreas verdes presentan una condición térmica de *confort* en comparación con la sensación de *fresco* en el resto de la ciudad, en el mapa de la figura 30 los espacios abiertos (Aeropuerto y Zócalo)

Tabla 12. Valores de PMV1 en enero a las 6:00 y 15.00 h. l. considerados para realizar el mapa biotopoclimático.

Estación**		PMV1 6:00 h. l. ENERO			PMV1 15:00 h. l. ENERO		
		PMV1	Sensación Térmica*	Sensación térmica dominante en el biotopo	PMV1	Sensación Térmica*	Sensación térmica dominante en el biotopo
CHA	A. VERDES	-4.49	Fr	Fr	-1.38	C/N	C/N
AER	ESP. ABTO.	-5.71	Fr	FR	-1.84	LF	LF
TEX	ESP. ABTO.	-6.15	Fr		-2.08	LF	
XAL	INDUSTRIA	-5.62	Fr	Fr	-2.13	LF	LF
TLA	INDUSTRIA	-6.14	Fr		-2.10	LF	
SAG	INDUSTRIA	-6.11	Fr		-2.22	LF	
MIN	MIXTO	-4.28	F		-1.56	C/N	
MER	MIXTO	-3.54	F	Fr	-0.87	C/N	LF
TBY	MIXTO	-5.08	Fr		-1.96	LF	
TAC	MIXTO	-5.75	Fr		-2.46	LF	
HAN	MIXTO	-5.63	Fr		-1.89	LF	
EAC	MIXTO	-6.29	Fr		-2.66	LF	
CES	MIXTO	-5.70	Fr		-1.55	C/N	
PLA	MIXTO	-5.86	Fr		-2.25	LF	
PED	MIXTO	-5.83	Fr		-2.68	LF	

* Escalas de sensación térmica ajustadas de acuerdo a lo descrito en el apéndice 2.

** En la tabla 5 se señala la estación a la que corresponden las siglas y/o abreviaturas.

Tabla 13. Valores de PMV1 en abril a las 6:00 y 15.00 h. l. considerados para realizar el mapa biotopoclimático.

Estación**		PMV1 6:00 h. l. ABRIL			PMV1 15:00 h. l. ABRIL		
		PMV1	Sensación Térmica*	Sensación térmica dominante en el biotopo	PMV1	Sensación Térmica*	Sensación térmica dominante en el biotopo
CHA	A. VERDES	-4.06	F	F	-0.77	C/N	C/N
AER	ESP. ABTO.	-4.55	Fr	Fr	+0.01	LC	LC
TEX	ESP. ABTO.	-4.66	Fr		-0.40	LC	
XAL	INDUSTRIA	-3.53	F	F	+0.12	LC	LC
TLA	INDUSTRIA	-3.98	F		+0.16	LC	
SAG	INDUSTRIA	-3.83	F		-0.12	LC	
MIN	MIXTO	-3.02	LF	F	-0.05	LC	LC
MER	MIXTO	-3.26	F		-0.04	LC	
TBY	MIXTO	-3.53	F		-0.35	LC	
TAC	MIXTO	-3.89	F		+0.14	LC	
HAN	MIXTO	-3.36	F		0.00	LC	
EAC	MIXTO	-4.41	Fr		-0.43	LC	
CES	MIXTO	-3.81	F		-0.09	LC	
PLA	MIXTO	-3.98	F		-0.22	LC	
PED	MIXTO	-4.30	Fr		-1.12	C/N	

* Escalas de sensación térmica ajustadas de acuerdo a lo descrito en el apéndice 2.

** En la tabla 5 se señala la estación a la que corresponden las siglas y/o abreviaturas.

registran una sensación térmica de *frío* mientras que en el resto de la ciudad es de *fresco*, y finalmente en el mapa de la figura 31, las áreas verdes presentan una condición de *confort* mientras que en el resto de la ciudad es de *ligeramente caluroso*.

En los mapas de las figuras 30 y 31, nuevamente se presenta la diferencia entre espacios abiertos y áreas verdes con las áreas urbanizadas. Aunque al igual que en el caso anterior, la diferencia es solamente en una escala de las sensaciones térmicas.

Como se observa en las tablas 12 y 13, destaca el hecho de que Minería, Merced y Cerro de la Estrella, presentan valores de PMV1 que las colocan en condiciones de sensaciones térmicas diferentes al resto de las del biotopo (el mismo caso se tiene con Pedregal en abril a las 15:00 h. l.).

Como se observa en los mapas de isolíneas del PMV1, los correspondientes al mes de enero indican muy bien el comportamiento del bioclima en la ciudad, donde se alcanza a apreciar el efecto de isla del bioclima. Si bien a las 6:00 h. l. (fig. 32) no hay cambio en la sensación térmica en la ciudad, en el mapa de las 15 h. l. (fig. 33), se aprecia cómo la parte periférica del norte y oeste de la ciudad, la sensación térmica es diferente (un grado más hacia el frío comparada con el resto de la ciudad). Asimismo, se aprecian los cambios en las

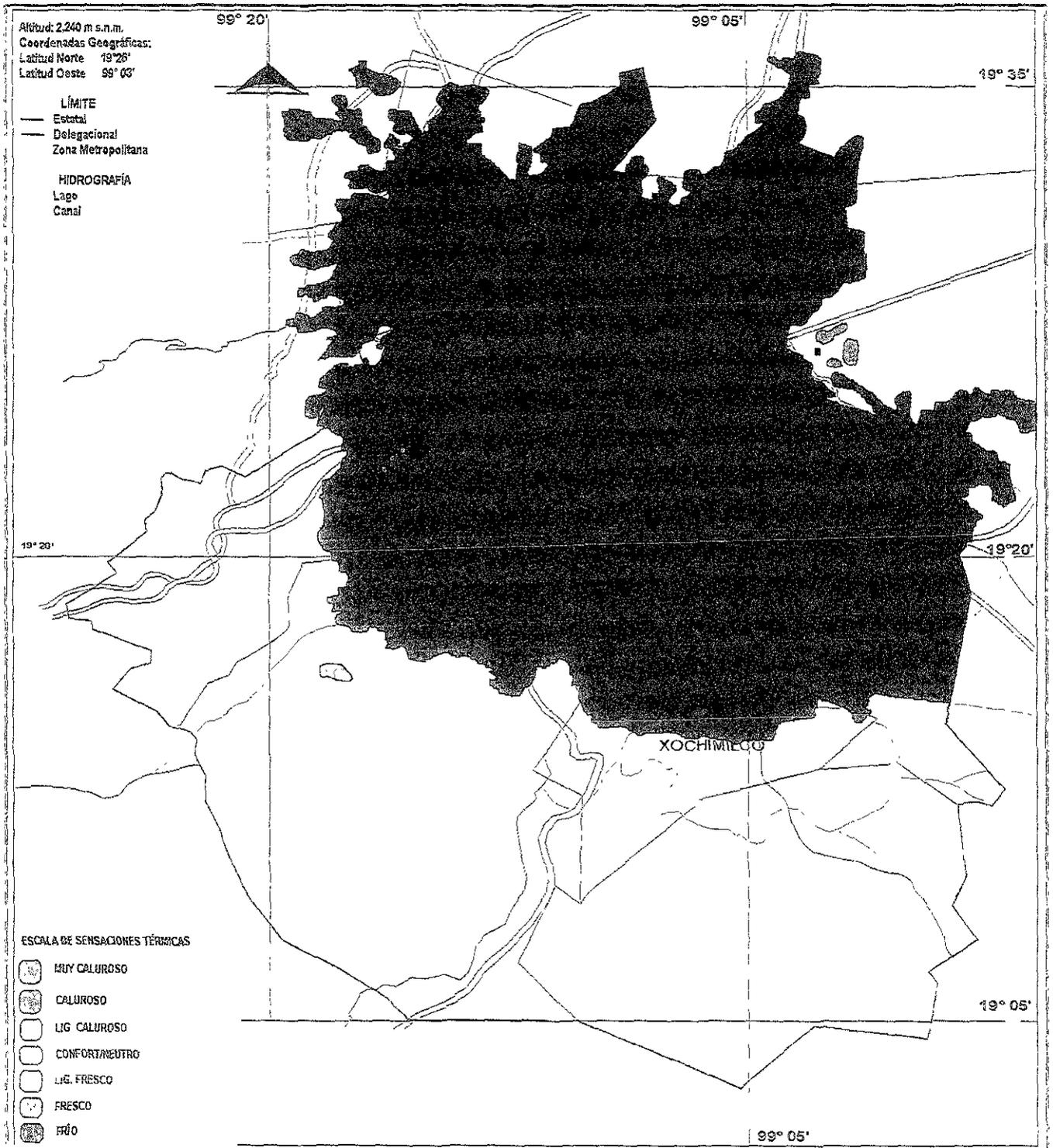


Fig. 28. Mapa biotopoclimático correspondiente a las 6:00 h. i. del mes de enero de 1995 en la ciudad de México.

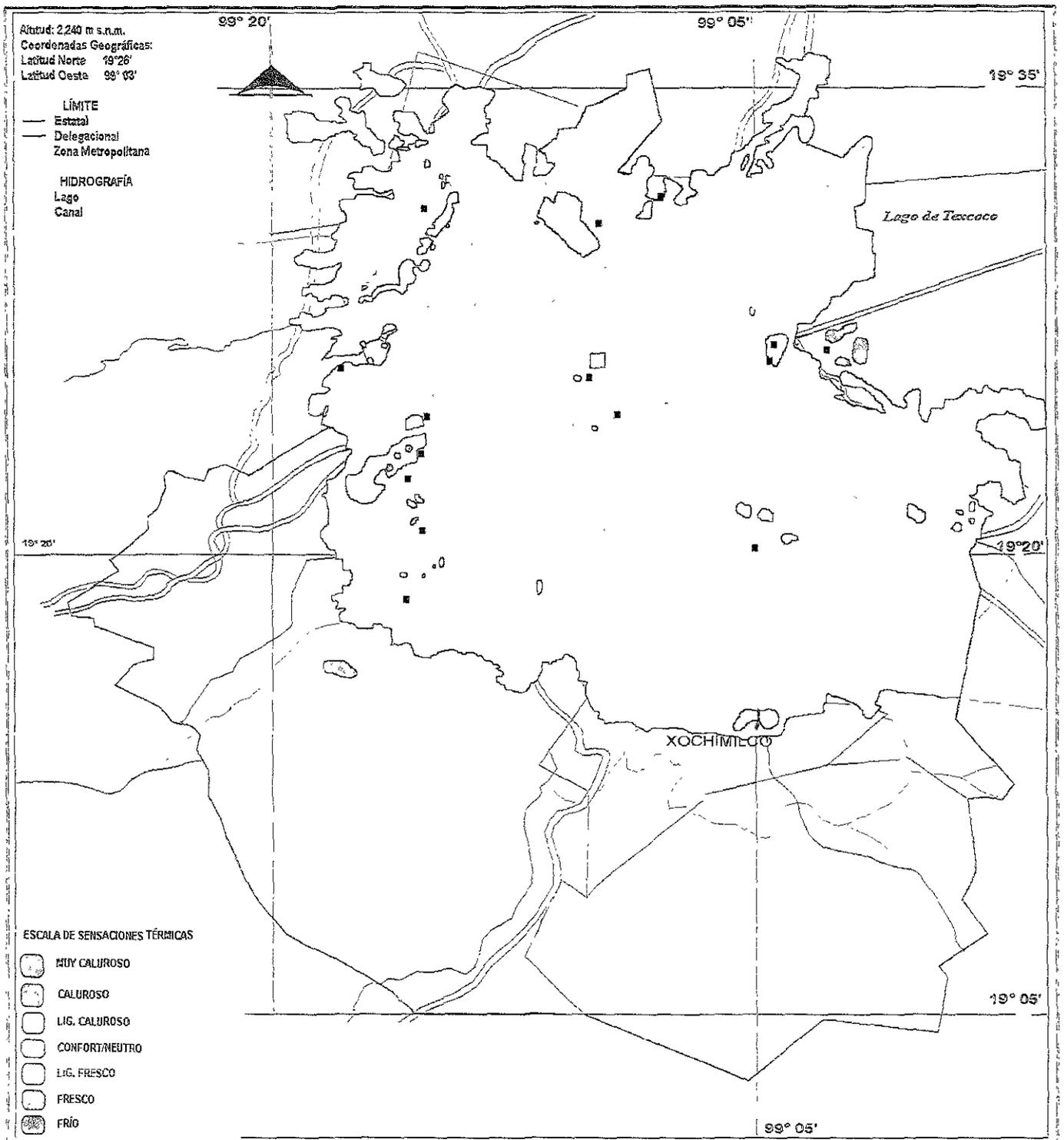


Fig. 29. Mapa biotopoclimático correspondiente a las 15:00 h del mes de enero de 1995 en la ciudad de México.

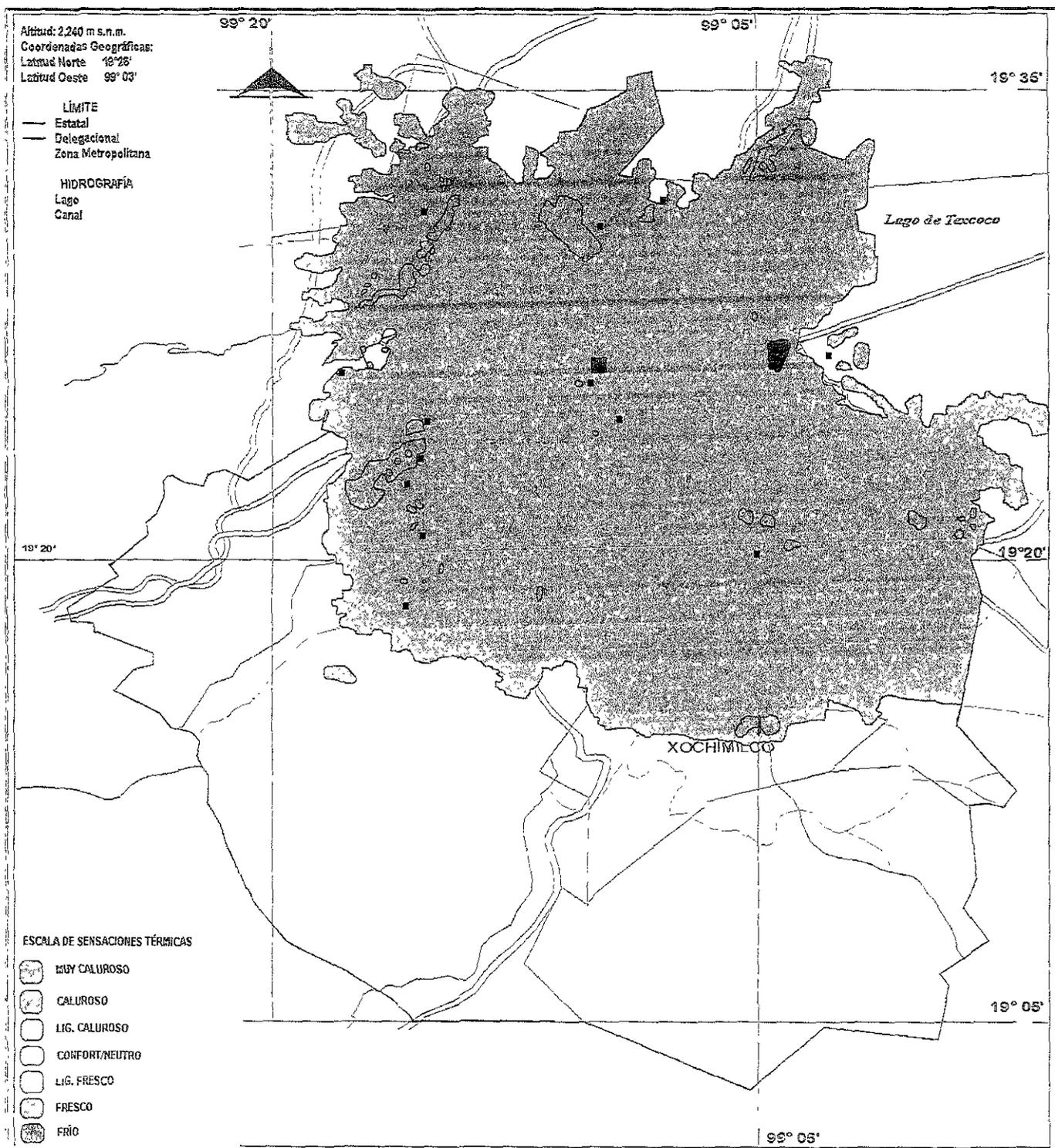


Fig. 30. Mapa biotopoclimático correspondiente a las 6:00 h del mes de abril de 1995 en la ciudad de México.

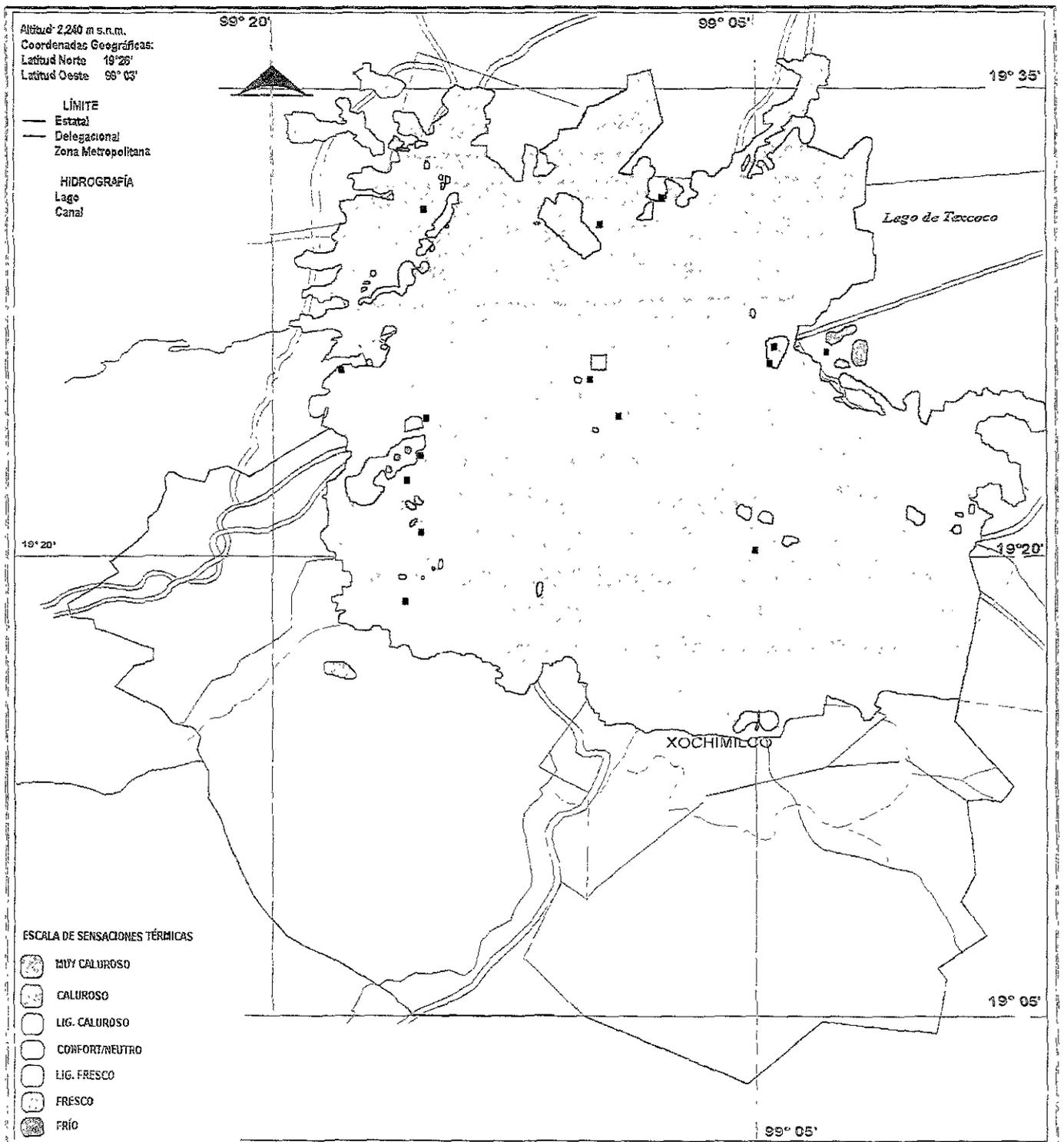


Fig. 31. Mapa biotopoclimático correspondiente a las 15:00 h del mes de abril de 1995 en la ciudad de México.

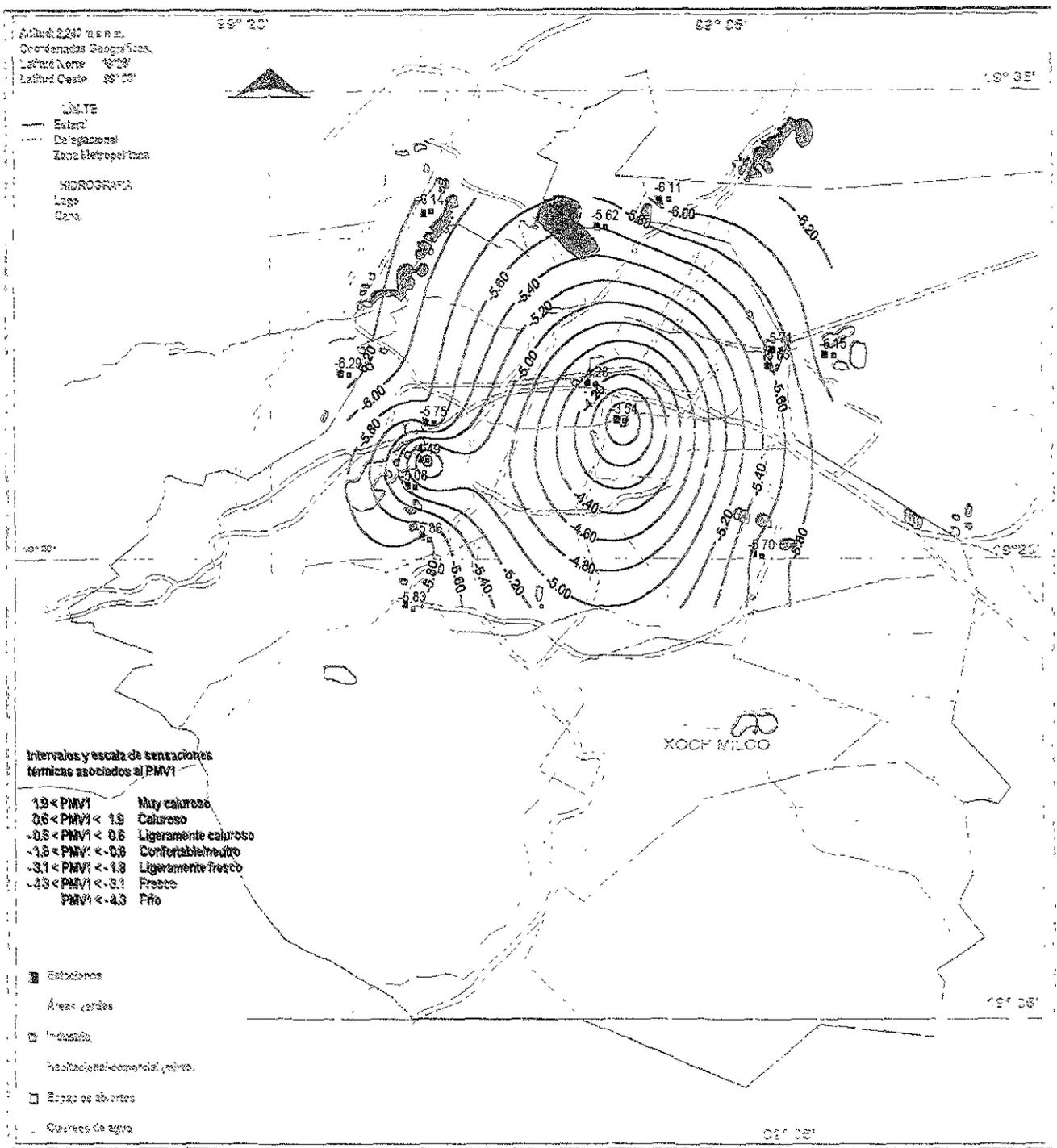


Fig. 32. Isolíneas del PMV1 correspondientes a las 6:00 h. l. del mes de enero de 1995 en la ciudad de México.

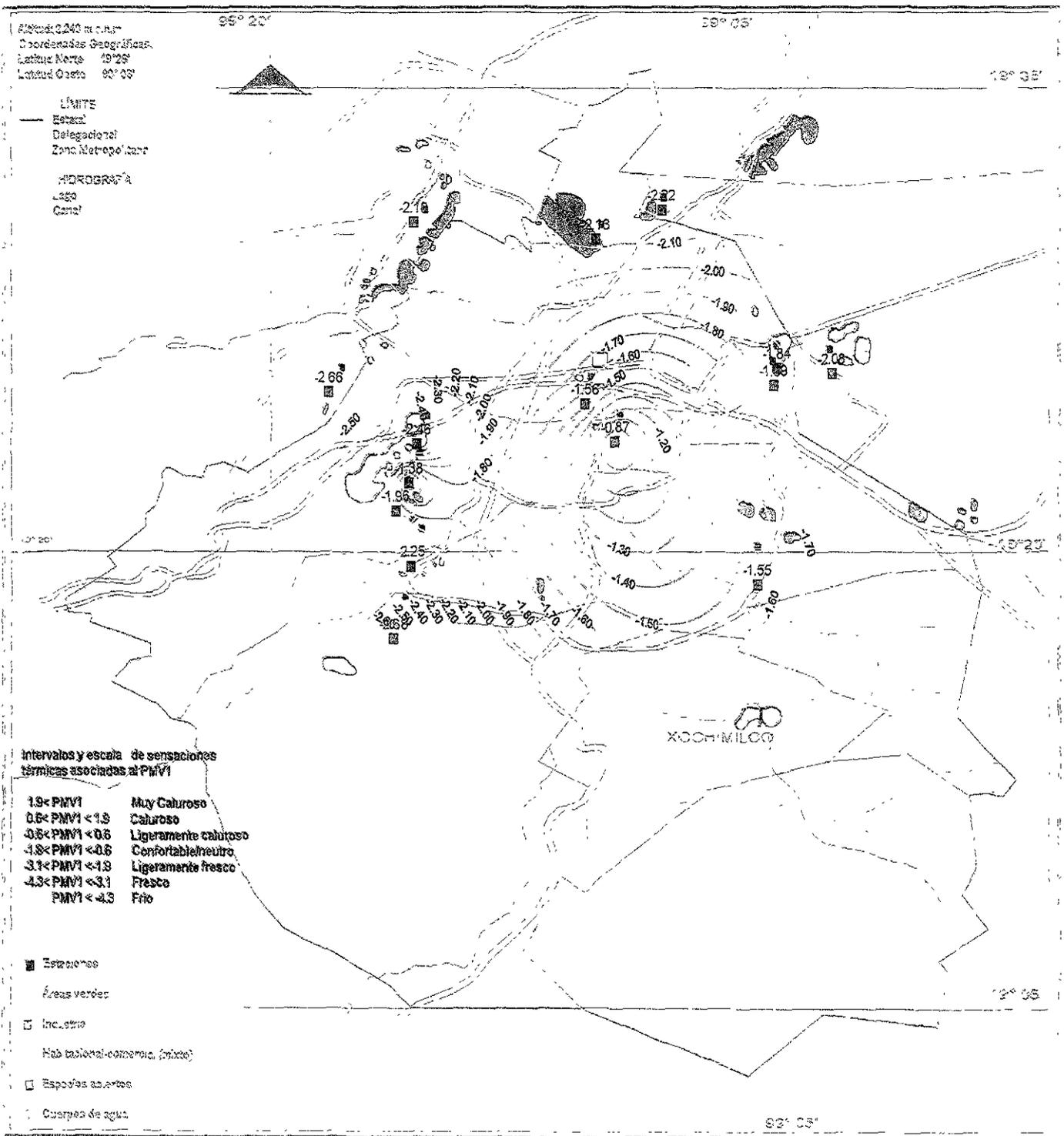


Fig. 33. Isolíneas del PMV1 correspondientes a las 15:00 h. 1. del mes de enero de 1995 en la ciudad de México.

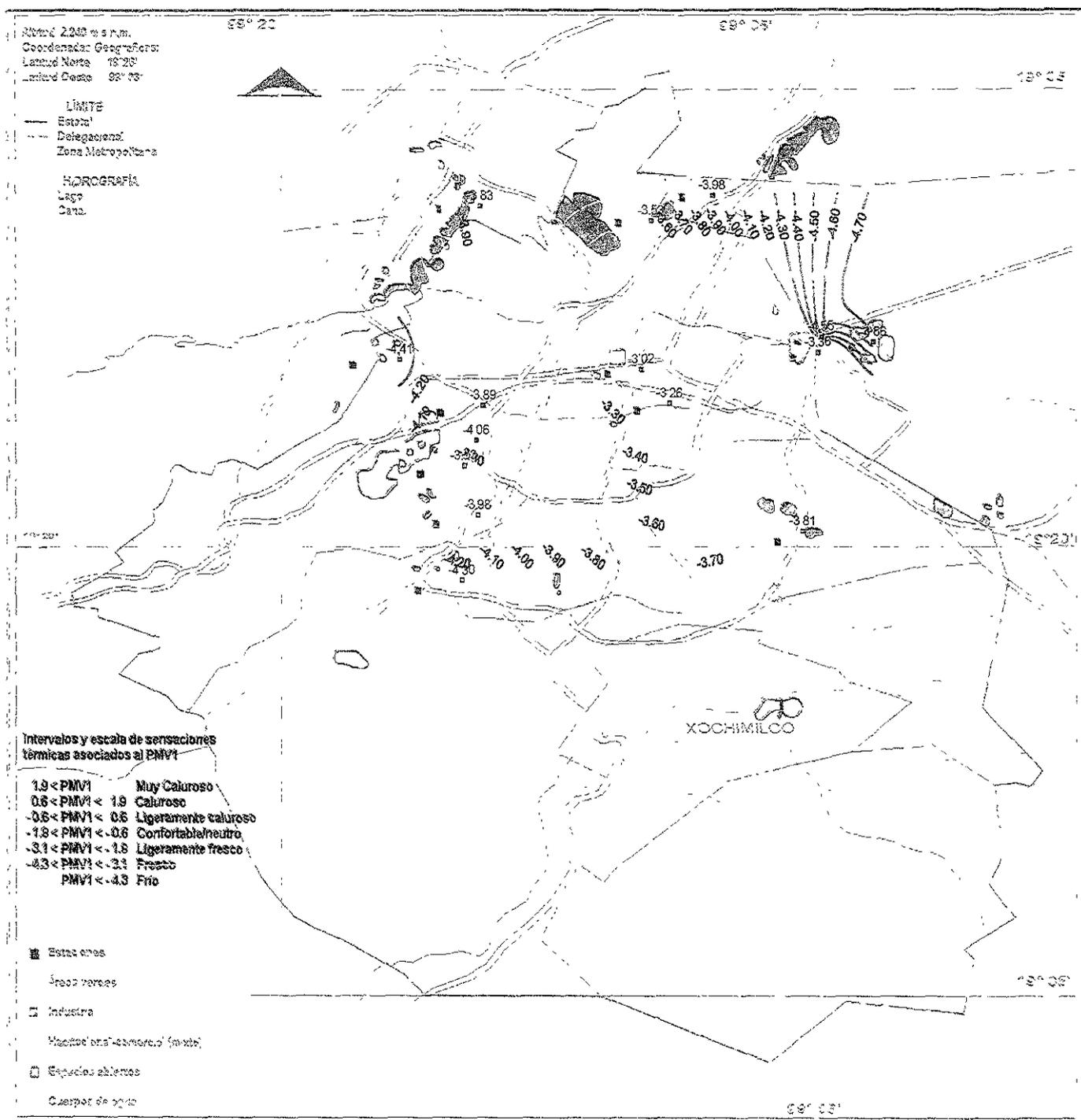


Fig. 34. Isofneas del PMV1 correspondientes a las 6:00 h. i. del mes de abril de 1995 en la ciudad de México.

condiciones térmicas en espacios cortos como es el caso entre Chapultepec y Tacubaya (otra pequeña isla).

La distribución a las 6:00 h. l. de abril (fig. 34) presenta una situación muy interesante. Al igual que en los casos anteriores se aprecia el efecto de isla en el centro de la ciudad y en Tacubaya, pero además, las sensaciones térmicas distribuidas en la ciudad son tres: fría en la parte noreste, fresco en la mayor parte de la ciudad, y ligeramente fresco en el centro de la misma.

Por su parte, la distribución de isolíneas y de sensaciones térmicas a las 15:00 h. l. de abril (fig. 35), denota una situación térmica uniforme en la ciudad de ligeramente caluroso, excepto en Chapultepec y al extremo suroeste.

Nuevamente, comparando con los resultados de Espinosa (1994), quien muestra la distribución de la temperatura efectiva para la ciudad de México a las 6:00 y 14:00 h. l. de enero y abril, las configuraciones obtenidas en enero son muy similares, excepto en la parte de Chapultepec donde, quizá porque el trazo de isolíneas se realizó a mano, al gradiente se suaviza y no se aprecia el efecto de condiciones de usos de suelo diferentes entre Chapultepec y Tacubaya.

En lo que se refiere a la comparación de las distribuciones en abril, la correspondiente a las 6:00 h. l. los resultados obtenidos en este trabajo y por Espinosa (1994) son similares, con un efecto de *isla* al centro de la ciudad y disminuyendo hacia la periferia. Es de notarse sin embargo, que en el caso de la temperatura efectiva, no se presenta un contraste tan fuerte entre Aeropuerto y Hangares, como el que se aprecia en el caso del PMV1 (fig. 34). Finalmente, para las 15:00 h. l., la distribución de la temperatura efectiva en Espinosa (*op. cit.*), mostró el efecto de *isla* en el centro de la ciudad, pero no el efecto de frescor en Chapultepec como el que se observa en la figura 35. Es importante señalar además que, en lo que se refiere a las condiciones térmicas, en Espinosa (*op. cit.*), en todos los casos, presentaron una sensación térmica más hacia el frío que las obtenidas para el PMV1.

Por su parte, Jáuregui *et al.* (1997) muestran resultados similares a los de Espinosa (1994) en lo que se refiere a la distribución de la temperatura efectiva en enero a las 14:00 h. l., aunque no se aprecia el efecto entre Tacubaya y Chapultepec por condiciones de uso de suelo diferentes. Otra diferencia significativa, es que si se considera la escala de

sensaciones térmicas de la ASHRAE (1966), la sensación térmica sería de *muy frío* en toda la ciudad.

En la distribución de temperatura efectiva a las 14:00 h. l. de abril, los mismos autores presentan una configuración diferente a la de Espinosa (1994) y a la obtenida en este trabajo, pues se observan dos *islas* en el interior de la ciudad. Además, otra diferencia importante radica en que la sensación térmica de acuerdo a la escala de la ASHRAE (1966), es de *confort*.

Jáuregui y Tejeda (2001), señalan que el bioclima de la ciudad es predominantemente fresco, llegando a confortable en la temporada calurosa. Mientras que en la marcha diurna, se puede considerar de frío a fresco durante la noche y confortable o neutral durante el día (tomando como base la distribución de la temperatura efectiva y la escala de la ASHRAE, 1966). Estos resultados difieren también de los aquí obtenidos y presentados, no en la distribución pero sí en las sensaciones térmicas.

Por otra parte, los mismos autores señalan que, considerando una duplicación del CO₂ a nivel global, y el aumento de la temperatura debido a la urbanización en la ciudad, el bioclima cambiará en una porción considerable de la urbe, desviándose hacia una condición térmica más cálida en la temporada calurosa, pero siendo menos riguroso en lo que a la condición térmica de frío se refiere, durante el período frío y fresco.

Así, con base en esta comparación, es posible inferir por una parte que: los biotopos utilizados no representan de manera adecuada las condiciones bioclimáticas de la ciudad, y por otra, que las isolíneas de algún índice térmico pueden ser de mejor provecho en aspectos de planeación urbana cuando se considera a toda la ciudad, siempre y cuando se ajuste la escala de sensaciones térmicas. Finalmente, es conveniente acotar que, al hacer un ajuste de la escala de sensaciones térmicas como la presentada aquí, los resultados presentados por Jáuregui y Tejeda (2001), podrían llevar a cambios más rigurosos en las condiciones bioclimáticas a futuro para la ciudad de México, por lo que es necesario considerar una planeación urbana adecuada, que considere el aspecto bioclimático, en los nuevos asentamientos, o en aquellos en los que se realicen modificaciones, ya que si bien el censo de 1990 mostró una ligera declinación de la población en la ciudad de México, ésta se ha asentado en las zonas conurbanas a la misma (Jáuregui y Tejeda, *op. cit.*).

4.3.2 A lo largo de una avenida

Como se ha visto en las secciones anteriores, el uso de los biotopos propuestos cuando se considera toda la ciudad es muy limitado. Así, el trazo de isolíneas es una buena opción cuando se plantea hacer un análisis bioclimático sobre toda la ciudad. Sin embargo, como se ha señalado en el apartado 4.1, se pueden registrar cambios importantes de las variables meteorológicas en distancias cortas, los cuales pueden influir de manera significativa en las condiciones bioclimáticas, y que no pueden ser percibidos por las isolíneas.

Tomando como base lo anterior, en la figura 36 se muestra el comportamiento del PMV1 a lo largo del recorrido (realizado por la mañana un poco después del registro de la temperatura mínima y considerando al viento constante de 0.2 m/s) sobre la avenida de Los Insurgentes en las diferentes temporadas. De manera general se observa que en el día correspondiente a la temporada fría (3 de febrero), la sensación térmica oscila entre dos escalas: *fresco* (F) y *ligeramente fresco* (LF). La sensación de fresco se presenta prácticamente en toda la zona sur (tomando como base la división propuesta en el apartado 4.1), y parcialmente en el centro y norte, donde domina la sensación de *ligeramente fresco* (más hacia el calor que la zona sur).

El recorrido correspondiente a la temporada lluviosa (20 de agosto), muestra también la oscilación de la sensación térmica entre dos escalas: *ligeramente fresco* (LF) y *confortable* (C/N). En este caso es notorio que la sensación de confortable se presenta en la zona centro, mientras que en las zonas sur y norte la sensación de ligeramente fresco es la dominante.

Finalmente, en el recorrido correspondiente a la temporada calurosa (15 de abril), el comportamiento del PMV1 es similar al de la temporada lluviosa. Sin embargo, el PMV oscila entre dos sensaciones térmicas de *confort/neutro* y *ligeramente caluroso*, la mayor sensación de calor en la zona centro y la de menor en las zonas norte y sur.

En general, el comportamiento del PMV1 en los tres recorridos, confirma la configuración presentada en los mapas de las figuras 32 y 34, donde se observa el efecto de *la isla de calor* en la ciudad y su efecto en el bioclima humano (particularmente en el mapa de la figura 34, donde se registran dos sensaciones térmicas).

Por otra parte y señalando algunos caso específicos de la figura 36, es de notarse el efecto de las áreas verdes como es el caso de la Reserva Ecológica de la UNAM, San

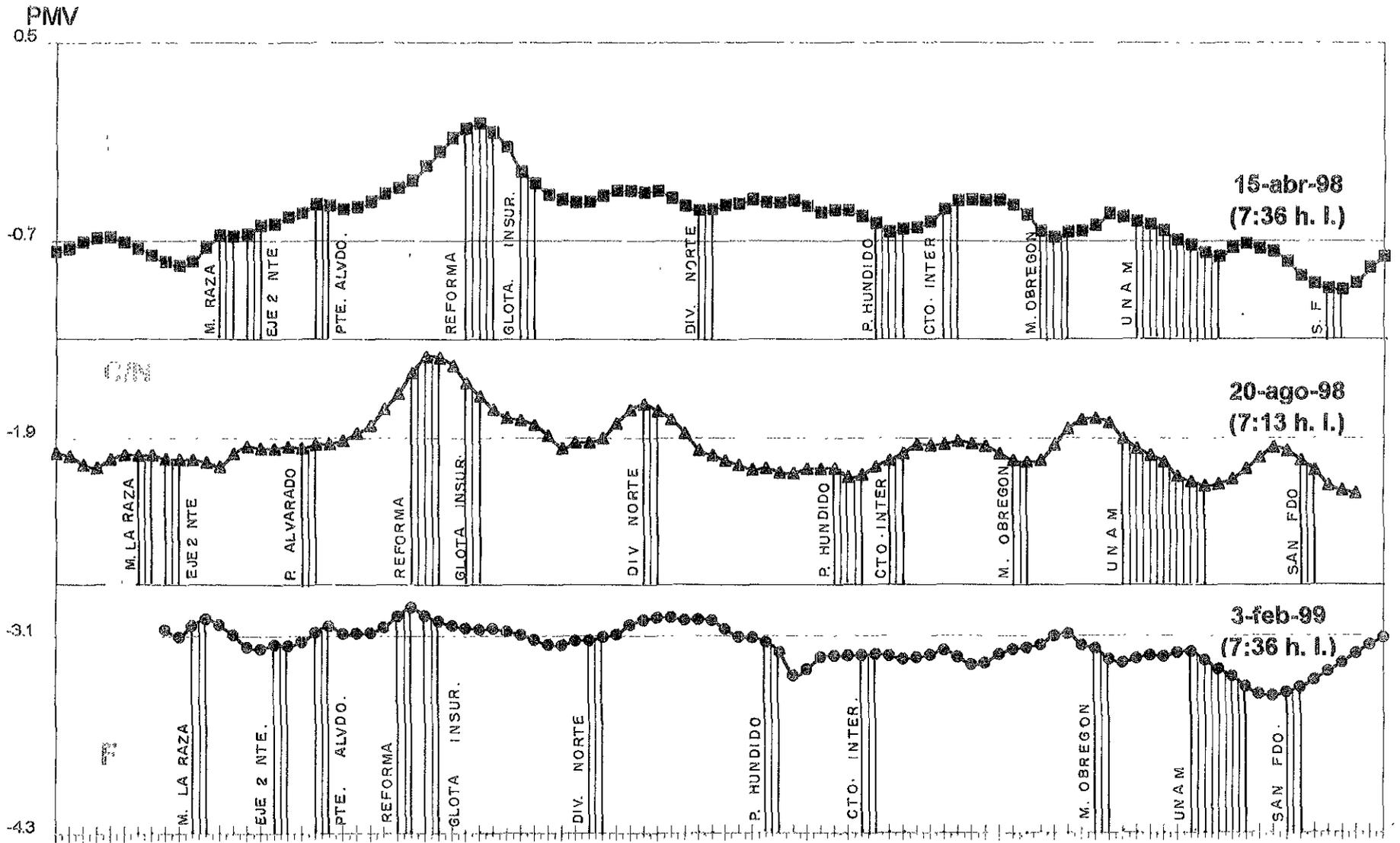


Fig. 36. Distribución del PMV1 a lo largo de recorridos sobre la avenida de Los Insurgentes en la ciudad de México en días de las temporadas calurosa (15-abr-98), lluviosa (20-ago-98) y fría (3-feb-99).

Fernando y el parque Hundido, así como de la amplia zona en el norte de la ciudad donde también hay partes arboladas. Como se observa en las condiciones correspondientes a los días de las temporadas calurosa y lluviosa, estas zonas tienden a presentar condiciones bioclimáticas más frías que en el resto de la ciudad.

Destaca también por supuesto, el aumento hacia el calor de la condición bioclimática en el centro de la ciudad. Estos aumentos y disminuciones de las condiciones bioclimáticas a lo largo del recorrido, aunque no cambiaron de manera intensa en los días considerados (por ejemplo en dos o más sensaciones térmicas), sugieren perfectamente el efecto que el uso del suelo puede tener en distancias cortas sobre el bioclima humano. En este sentido, los cambios en las sensaciones térmicas un poco antes y después de la Reserva de la UNAM, es un ejemplo específico de dichos cambios.

Así pues, haciendo un breve resumen de lo considerado hasta ahora, se tiene:

- Los mapas biotopoclimáticos sólo señalaron efectos sobre el bioclima entre áreas contrastantes (figuras 29, 30 y 31), pero no evidenciaron otros efectos producto de la urbanización, en este caso, *la isla de calor*, y su efecto en el bioclima.
- Los mapas de isólinas del PMV, al contrario de los mapas biotopoclimáticos, señalaron muy bien el efecto de *la isla de calor*, y aún las diferencias entre zonas con uso del suelo diferente como fue el caso de Chapultepec-Tacubaya (figuras 32 a la 35) y Aeropuerto-Hangares (figura 34).

Sin embargo, como se ha mostrado en la figura 36, los cambios en las condiciones bioclimáticas pueden darse en distancias cortas. Así, al no contar con una red densa de estaciones climatológicas que permita hacer un trazo de isólinas en espacios relativamente pequeños, la disminución de áreas puede auxiliar para representar mejor las condiciones bioclimáticas. En virtud de lo anterior, los cuatro biotopos propuestos se utilizaron a un nivel menor, en este caso de delegación, como se muestra en la siguiente sección, para obtener mapas biotopoclimáticos a una escala menor a la de la ciudad que reflejen mejor el impacto que el uso del suelo puede tener en el bioclima humano en la ciudad de México.

4.3.3 En dos delegaciones

Como ha sido señalado, los biotopos propuestos se utilizan ahora para realizar mapas biotopoclimáticos a una escala menor a la de la ciudad de México, a nivel de delegaciones. En este caso, se tomó como base los mapas de uso del suelo para las delegaciones de Venustiano Carranza y Cuauhtémoc presentados en el Atlas de la Ciudad de México (García, 1988). Como se observa en la figura 37, el número de usos del suelo de la zona es amplio; no obstante lo anterior, para realizar los mapas biotopoclimáticos en estas delegaciones, los diferentes tipos de uso del suelo se agruparon en los cuatro biotopos definidos (figuras 38 y 39). La intención al usar estas delegaciones es determinar los posibles efectos del uso del suelo debido a su posición en el tejido urbano (zona urbana la Cuauhtémoc y “suburbios” la Venustiano Carranza) y estructura urbana (zona comercial y habitacional en su mayor parte la Cuauhtémoc, y habitacional con espacios abiertos la Venustiano Carranza).

Los resultados mostrados hasta ahora, permiten inferir que, tanto cuantitativa (apartado 4.1) como cualitativamente, se da la influencia del uso del suelo sobre las variables climáticas urbanas, y en consecuencia sobre el bioclima, en espacios cortos. Resultados similares han obtenido en áreas pequeñas y contrastantes como son los parques y sus alrededores, Barradas (1991) y Cervantes *et al.* (2000). Además, en estudios realizados en dos ciudades medias del país (Xalapa, Ver. y Villahermosa, Tab.) y bajo una propuesta de uso del suelo también simple, similar a los biotopos utilizados aquí, Cervantes *et al.* (1998 y 2000), han encontrado que el uso del suelo influye de manera significativa en el bioclima. Así, tomando como base los resultados mencionados, se utilizan los biotopos definidos, en dos delegaciones de la ciudad de México.

Por una parte, como los usos del suelo señalados en estos mapas base son numerosos (aunque convenientes para posibles trabajos posteriores al tomar en cuenta densidad habitacional, tipo de equipamiento, tipo de área verde, etc.), y por otra parte los cálculos de PMV se realizaron con datos de estaciones, donde algunas se encuentran fuera de estas delegaciones. Para ello se hizo un traslado de los datos de PMV para realizar los mapas biotopoclimáticos de cada una de ellas. En las tablas 8 y 9 del capítulo 3, se muestran los tipos de uso del suelo en las delegaciones, el biotopo que se consideró y el PMV trasladado.

PLANO DE USOS DEL SUELO

SIMBOLOGÍA

ZONAS

H05	Habitacional hasta 50 hab/ha. (Lote tipo 1000m ²)
H1	Habitacional hasta 100 hab/ha. (Lote tipo 500m ²)
H2	Habitacional hasta 200 hab/ha. (Lote tipo 250m ²)
H4	Habitacional hasta 400 hab/ha. (Lote tipo 125 m ²)
H8	Habitacional hasta 800 hab/ha. (Lote tipo plurifamiliar)
H2S	Habitacional hasta 200 hab/ha. /servicios
H4S	Habitacional hasta 400 hab/ha. /servicios
H2I	Habitacional hasta 200 hab/ha. /industria mezclada
H4I	Habitacional hasta 400 hab/ha. /industria mezclada
H2IS	Habitacional hasta 200 hab/ha. /industria mezclada/serv.
H4IS	Habitacional hasta 400 hab/ha. /industria mezclada/serv.
SU	Subcentro urbano
C	Corredor urbano /habitacional /oficinas /industria
CS	Corredor urbano /habitacional /oficinas /industria /serv.
CB	Centro de barrio
ES	Equipamiento de serv. adm., salud, educación y cultura.
EA	Equipamiento de abasto
ED	Equipamiento de deportes y recreación
EP	Equipamiento de protección y seguridad
EM	Equipamiento mortuario
EC	Equipamiento de comunicaciones y transportes
EI	Equipamiento de infraestructura
AV	Áreas verdes
IV	Industria vecina
IA	Industria aislada
AMR	Agrícola de mejoramiento y rehabilitación
AI	Agrícola intensivo
AC	Agrícola de conservación
APE	Agrícola de protección especial
AP	Agrícola perenne
PE	Pecuario estabulado
PS	Pecuario semiestabulado
PC	Pastoreo controlado
PEFM	Forestal múltiple
PEFR	Forestal restringido
PERC	Áreas recreativas y culturales
PR	Poblado rural
ZRDEC	Zonas de desarrollo controlado
	Espacios abiertos. Los polígonos delimitados de esta forma se encuentran condicionados a que el Departamento del Distrito Federal puede dotarlos de infraestructura.

Fig. 37. Tipos de uso del suelo definidos para la ciudad de México (tomada de García, 1988).

DELEGACIÓN VENUSTIANO CARRANZA

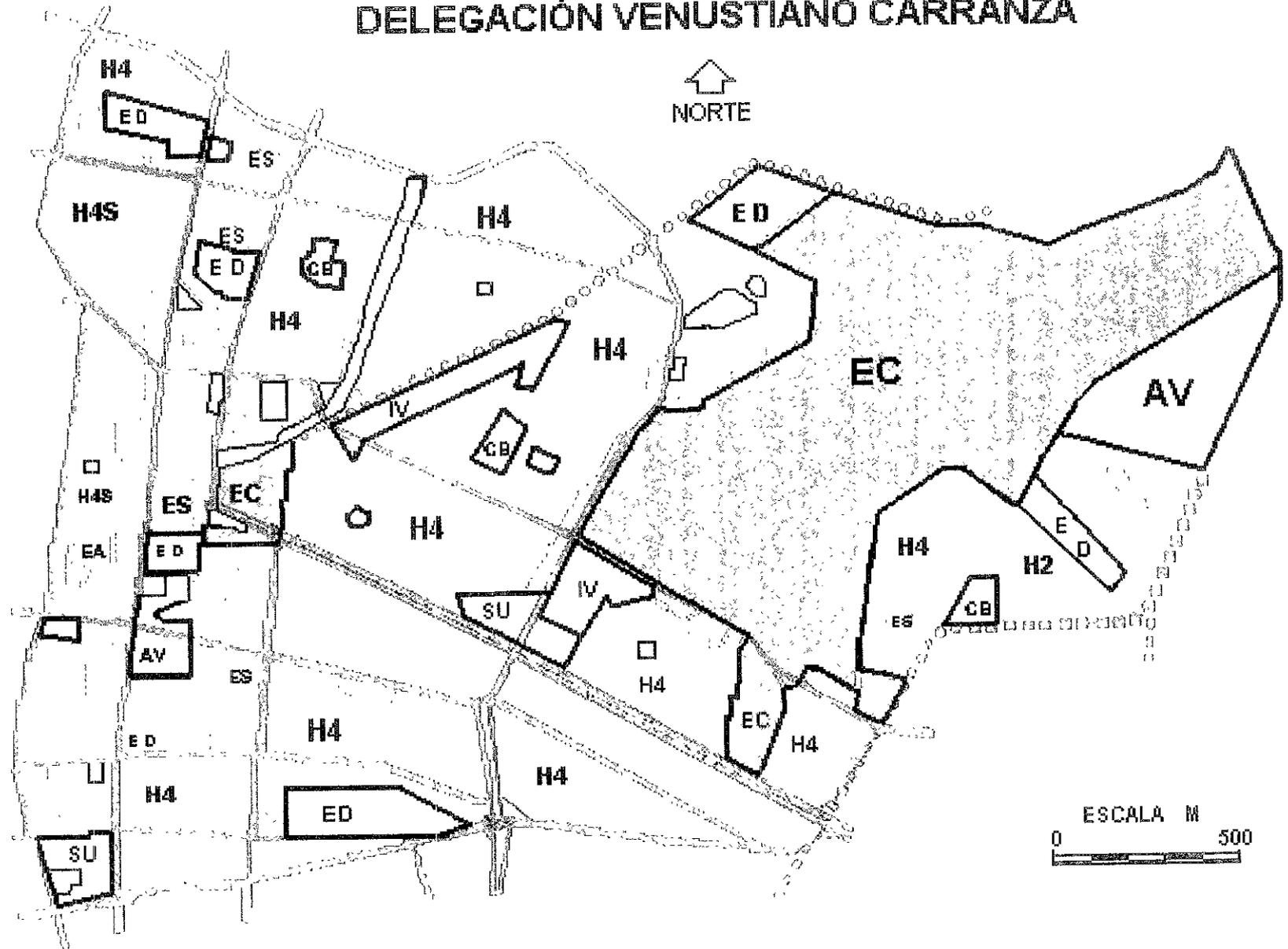


Fig.38. Mapa de usos de suelo en la delegación Venustiano Carranza en la ciudad de México (tomada de García, 1988). Las líneas negras señalan la delimitación de biotopos considerados en la delegación

DELEGACIÓN CUAUHTEMOC

ESCALA M

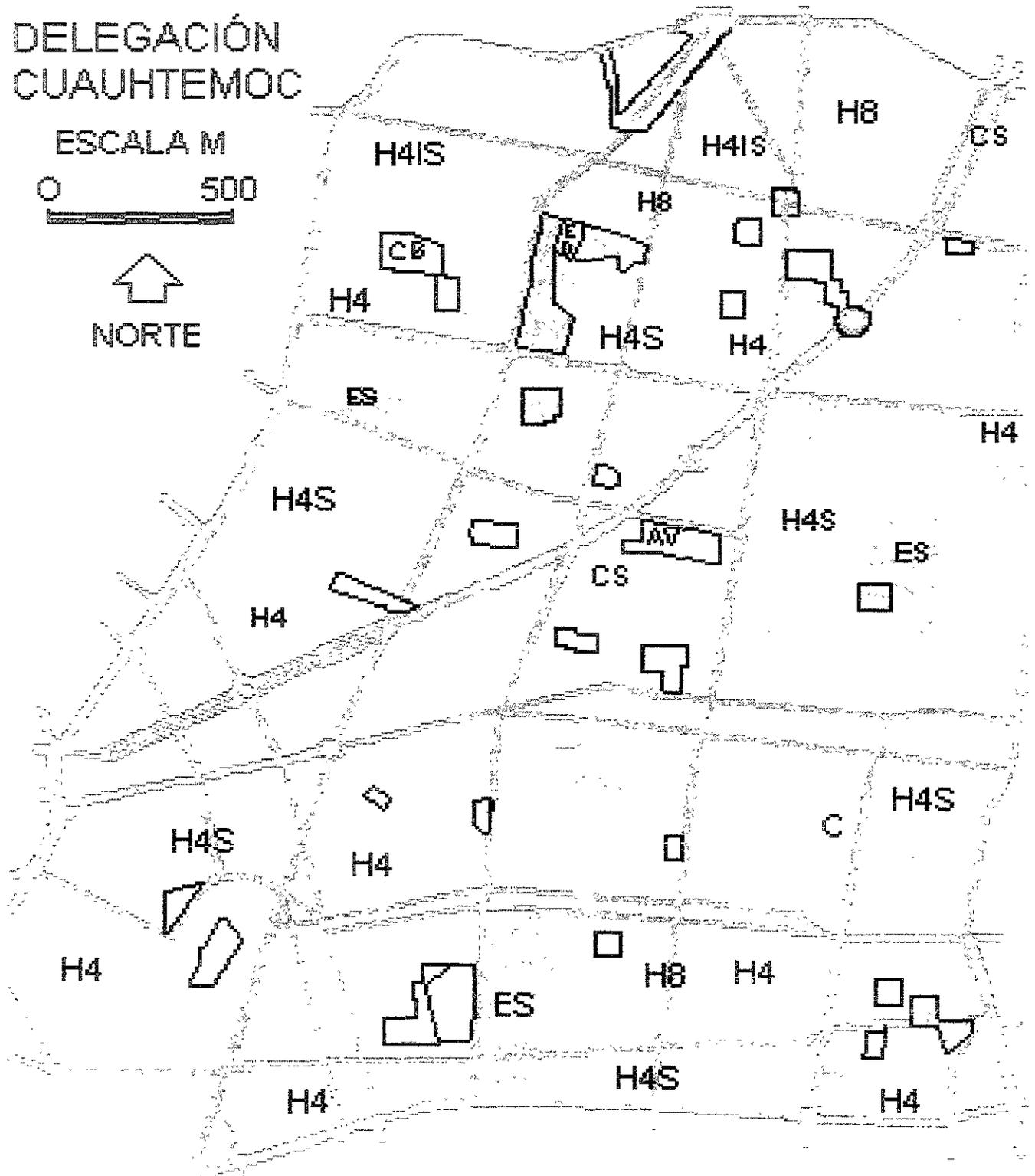


Fig. 39. Mapa de usos del suelo en la Delegación Cuauhtemoc en la ciudad de México (tomada de García, 1988). Las líneas negras señalan la delimitación de biotopos considerados en la delegación.

El hecho de no tener datos para cada uno de los biotopos definidos abre, por cierto, una línea de investigación para trabajos posteriores, pues los traslados del PMV o cualquier otra variable, se pueden realizar de una manera más acorde a través de parametrizaciones entre las variables y/o los índices bioclimáticos calculados con los biotopos definidos.

En las figuras de la 40 a la 43 se muestran los mapas biotopoclimáticos correspondientes a las 6:00 y 15:00 h. l. de los meses de enero y abril de la delegación Venustiano Carranza. La comparación de las condiciones a las 6:00 h. l. muestran que en enero no hay diferencia térmica en los diferentes biotopos utilizados, tal y como ocurrió con los biotopos en la ciudad (fig. 28) y con las isolíneas (fig. 32). Sin embargo, para las 15:00 h. l. de ese mismo mes (fig. 41), mientras que la distribución biotopoclimática de la ciudad (fig. 29) muestra una sola condición térmica en la zona, en este caso se registran dos, marcando la diferencia el biotopo de áreas verdes. Es importante recordar que en el caso del cálculo del PMV en este biotopo, se consideró al viento constante, es posiblemente de esta circunstancia que se de la condición de *confortable* y no la de *ligeramente fresco*. Por el contrario, y aunque no lo refleja a detalle, la situación tiende a ser más concordante con las condiciones bioclimáticas señaladas por las isolíneas del PMV (fig. 33), donde hacia la delegación se observan dos sensaciones térmicas: *confortable* y *ligeramente fresco*, precisamente.

Con respecto al mapa de las 6:00 h. l. correspondiente al mes de abril (fig. 42), coincide con el presentado en la figura 30 (biotopoclima de la ciudad) donde se presentan dos condiciones térmicas en la zona, y 31 (isolíneas del PMV), donde también se observa el contraste entre el Aeropuerto y Hangares, en todos los casos se tienen dos condiciones térmicas en la zona: *fresco* y *frío*.

Finalmente, el mapa de la figura 43, correspondiente a las 15:00 h. l. del mes de abril, presenta condiciones diferentes con respecto al mapa biotopoclimático (fig. 31) y al mapa de isolíneas (fig. 35). En este caso, el biotopo de áreas verdes es el que registra una condición térmica diferente (*confortable*) comparada al resto de los biotopos. Sin embargo, es una condición lógica que en un periodo de calor, las áreas verdes presenten condiciones térmicas confortables comparadas con otros biotopos o estructuras de la ciudad. Es importante hacer notar aquí, que las áreas verdes en la delegación son pocas en número y de área relativamente pequeña.

DELEGACIÓN VENUSTIANO CARRANZA

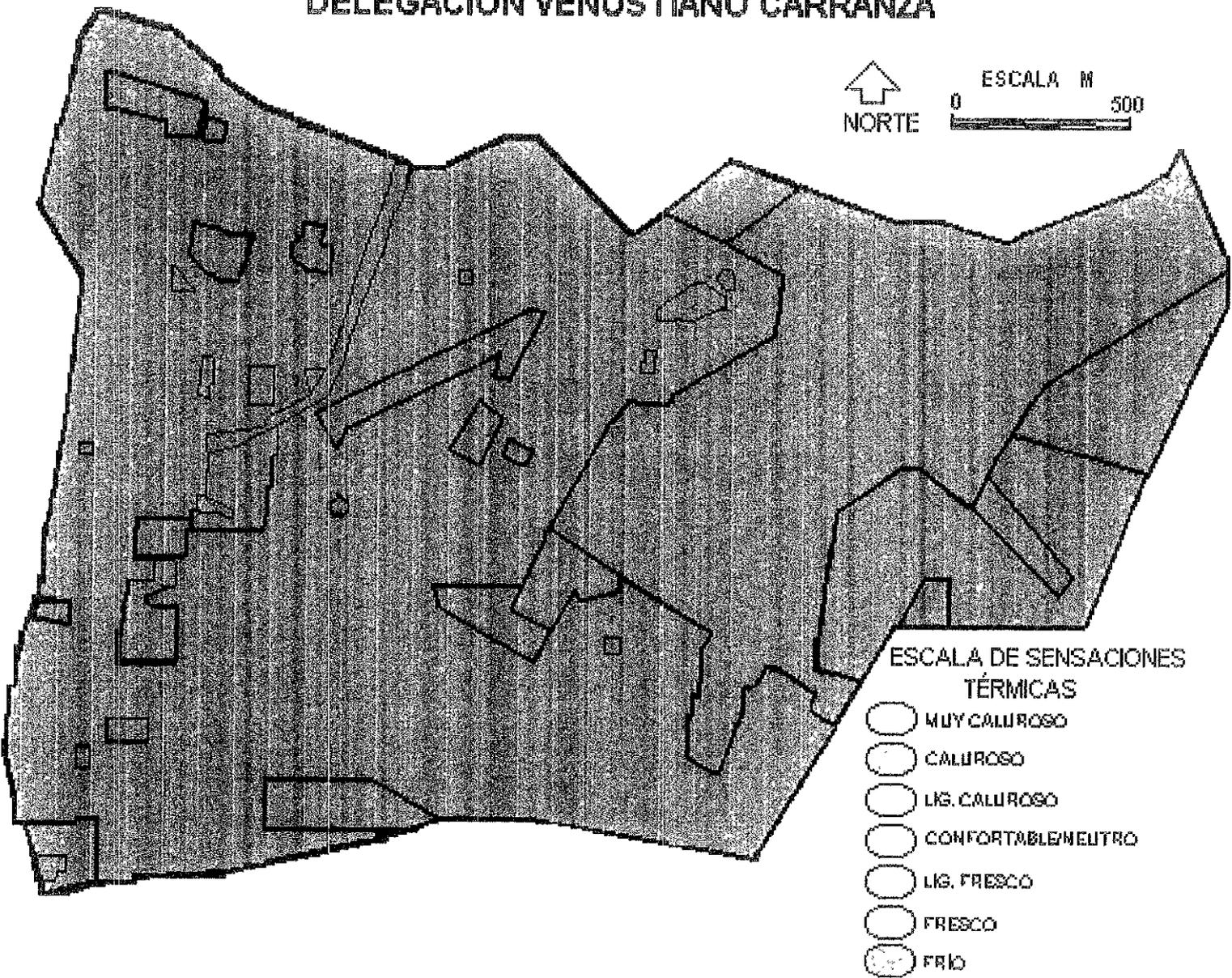


Fig. 40. Mapa biotopoclimático de la Delegación Venustiano Carranza correspondiente a las 6:00 h. i. de enero de 1995.

DELEGACIÓN VENUSTIANO CARRANZA

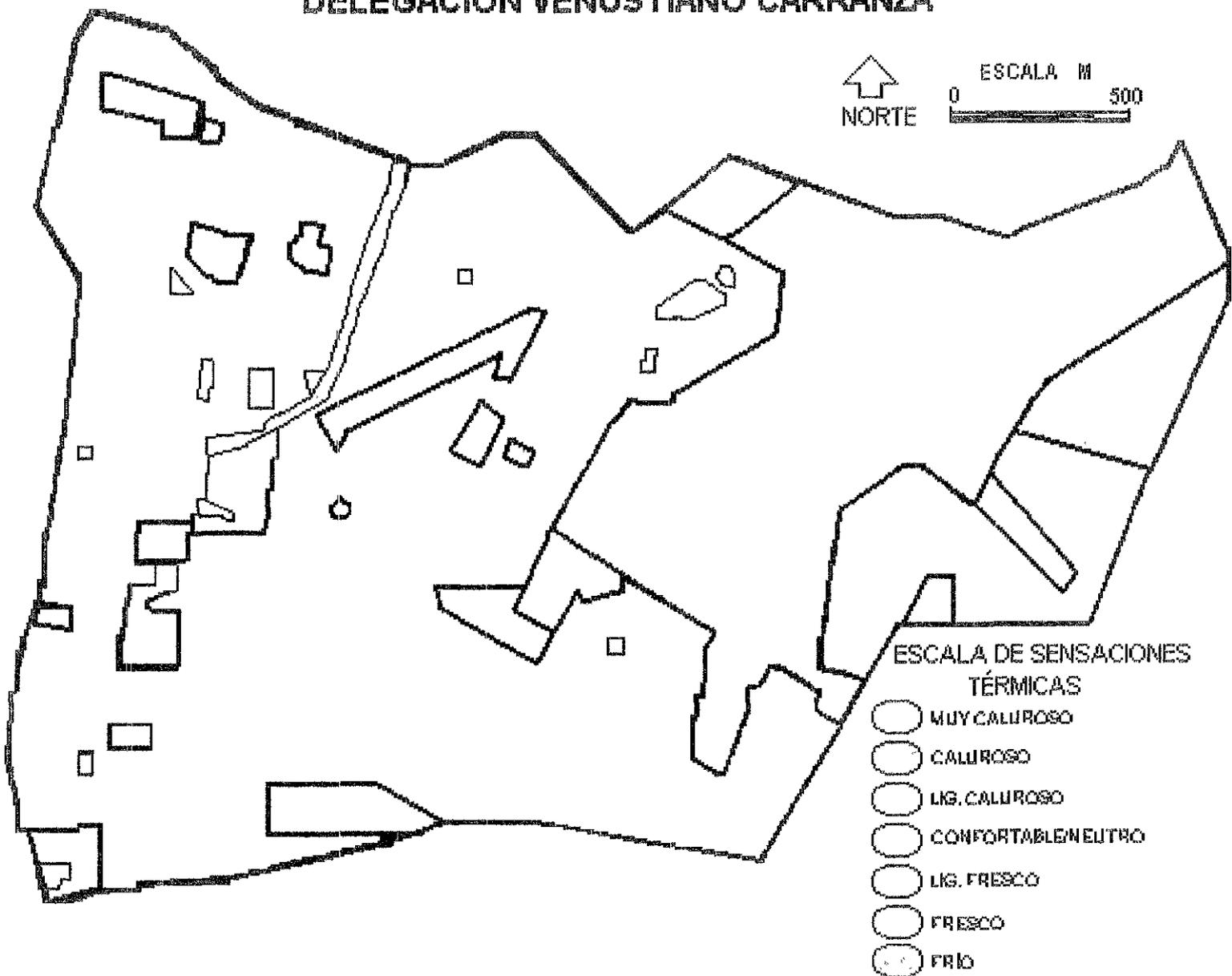


Fig. 41. Mapa bioclimático de la Delegación Venustiano Carranza correspondiente a las 15:00 h. i. de enero de 1995.

DELEGACIÓN VENUSTIANO CARRANZA

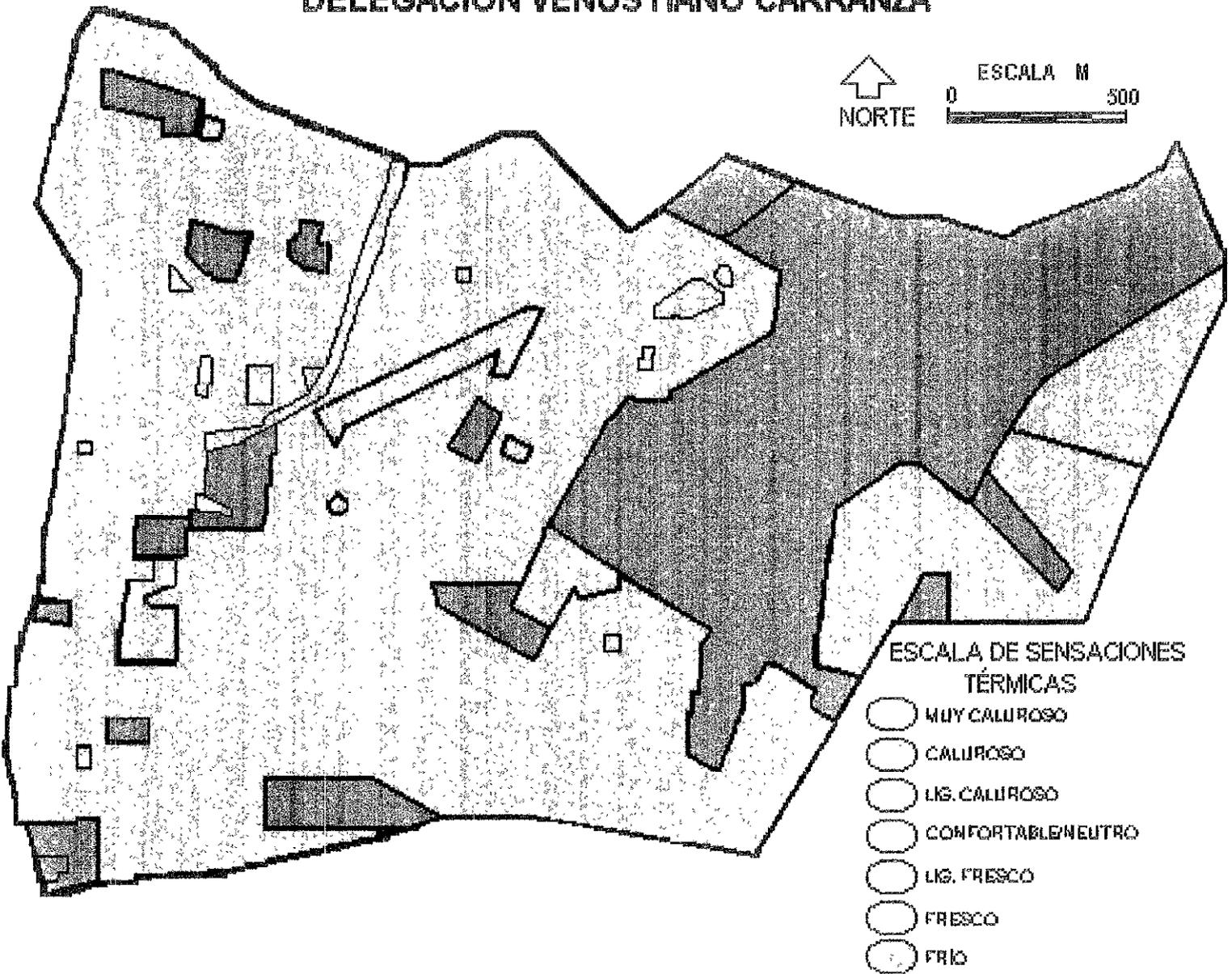


Fig. 42. Mapa bioclimático de la Delegación Venustiano Carranza correspondiente a las 6:00 h. 1. de abril de 1995.

DELEGACIÓN VENUSTIANO CARRANZA

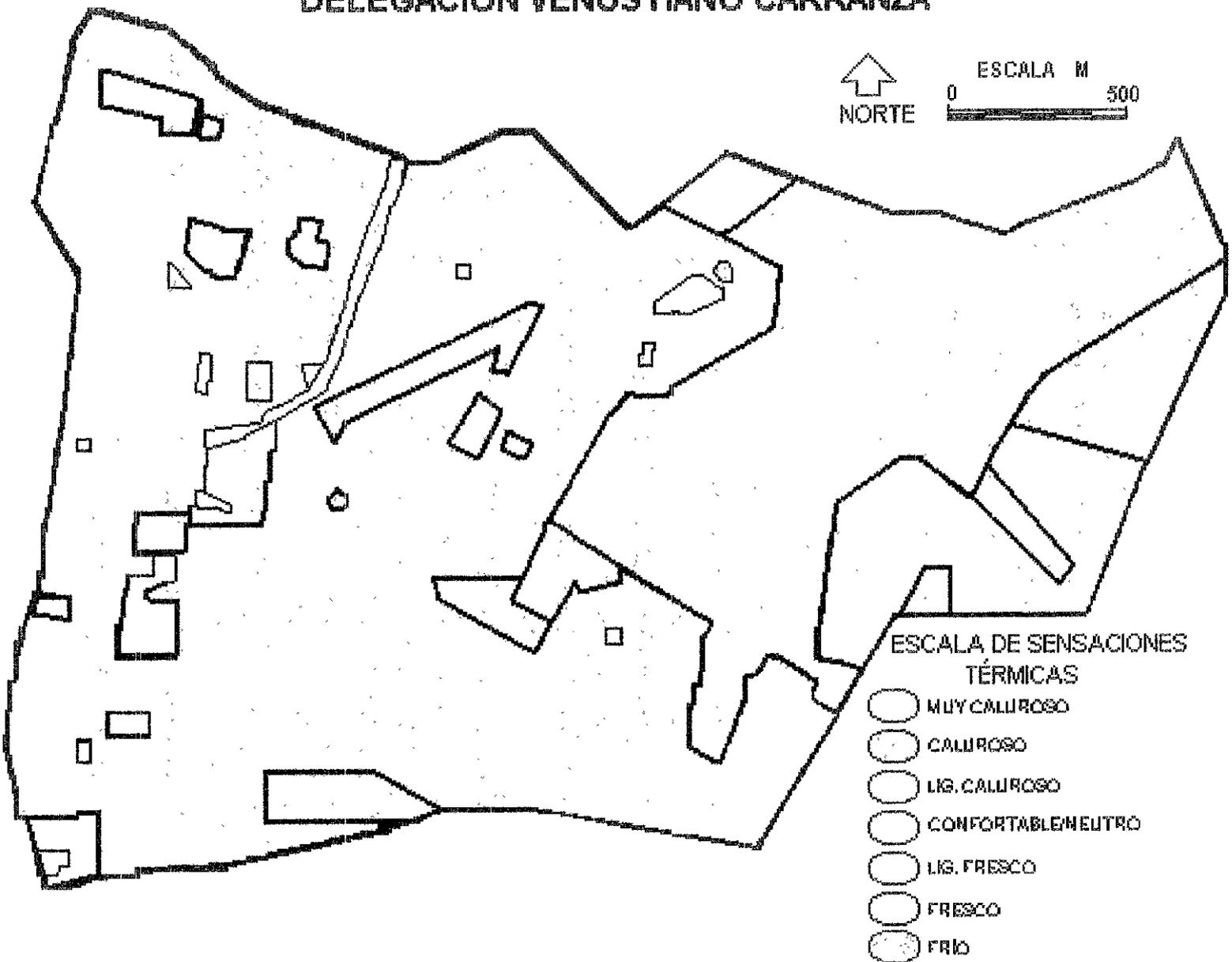


Fig. 43. Mapa biotopoclimático de la Delegación Venustiano Carranza correspondiente a las 15:00 h. i. de abril de 1995.

En lo que respecta a los mapas de la delegación Cuauhtémoc (figuras 44 a la 47), en el mes de enero se tienen las siguientes condiciones: para las 6:00 h. l. (fig. 44) la condición térmica en la delegación está un nivel arriba (*fresco*) con respecto a la presentada en el mapa de la figura 28 (*frío*, biotopoclima de la ciudad). Sin embargo, esta condición es más coincidente con la registrada por las isolíneas del PMV (fig. 32).

En cuanto a las condiciones de las 15:00 h. l. del mes de enero (fig. 45), nuevamente las isolíneas el PMV (fig. 33) reflejan mejor las condiciones que el mapa biotopoclimático (fig. 29). Una situación interesante en la delegación, es que se tienen dos condiciones térmicas: *fresco* y *confortable*, sin que se presente la intermedia entre ellas (*ligeramente fresco*). Esto señala o refleja los cambios de condiciones que se pueden dar en espacios cortos debido al uso del suelo, en este caso, espacios abiertos y mixto y áreas verdes.

Nuevamente, en las condiciones de las 6:00 h. l. del mes de abril (fig. 46), el mapa de isolíneas (fig. 34) es concordante en mayor parte con la situación que el mapa de la figura 30 (biotopoclima de la ciudad). Es de notar que en este caso, se presentan tres condiciones térmicas en la delegación: *frío*, *fresco* y *ligeramente fresco*. Esta situación, al igual que en el caso anterior, remarca los cambios que se pueden registrar en espacios cortos y áreas pequeñas.

Por su parte, las condiciones térmicas de las 15:00 h del mes de abril (fig. 47), pueden considerarse similares a las reflejadas en el mapa biotopoclimático de la ciudad (fig. 31), donde se observa el contraste de condiciones térmicas entre la Alameda Central y el resto de la zona. El mapa de isolíneas del PMV no señala ninguna diferencia en cuanto a la sensación térmica en la delegación. El biotopo que marca la diferencia es nuevamente el correspondiente a las áreas verdes. Es importante hacer notar aquí algunos aspectos relacionadas a las áreas verdes y que se pueden aplicar a otros biotopos:

- El número de áreas verdes es mayor en esta delegación que en la Venustiano Carranza. Sin embargo, parece no haber un cambio significativo en el área que ocupa este biotopo en ambas delegaciones.
- Varias de las áreas verdes en la Delegación Cuauhtémoc son muy pequeñas, y es difícil discernir si se deben considerar como un biotopo o si su efecto es minimizado totalmente por las estructuras o biotopos a su alrededor.

DELEGACIÓN CUAUHTÉMOC

ESCALA M



ESCALA DE
SENSACIONES
TÉRMICAS

- MUY CALUROSO
- CALUROSO
- LIG. CALUROSO
- CONFORT/NEU
- LIG. FRESCO
- FRESCO
- FRÍO

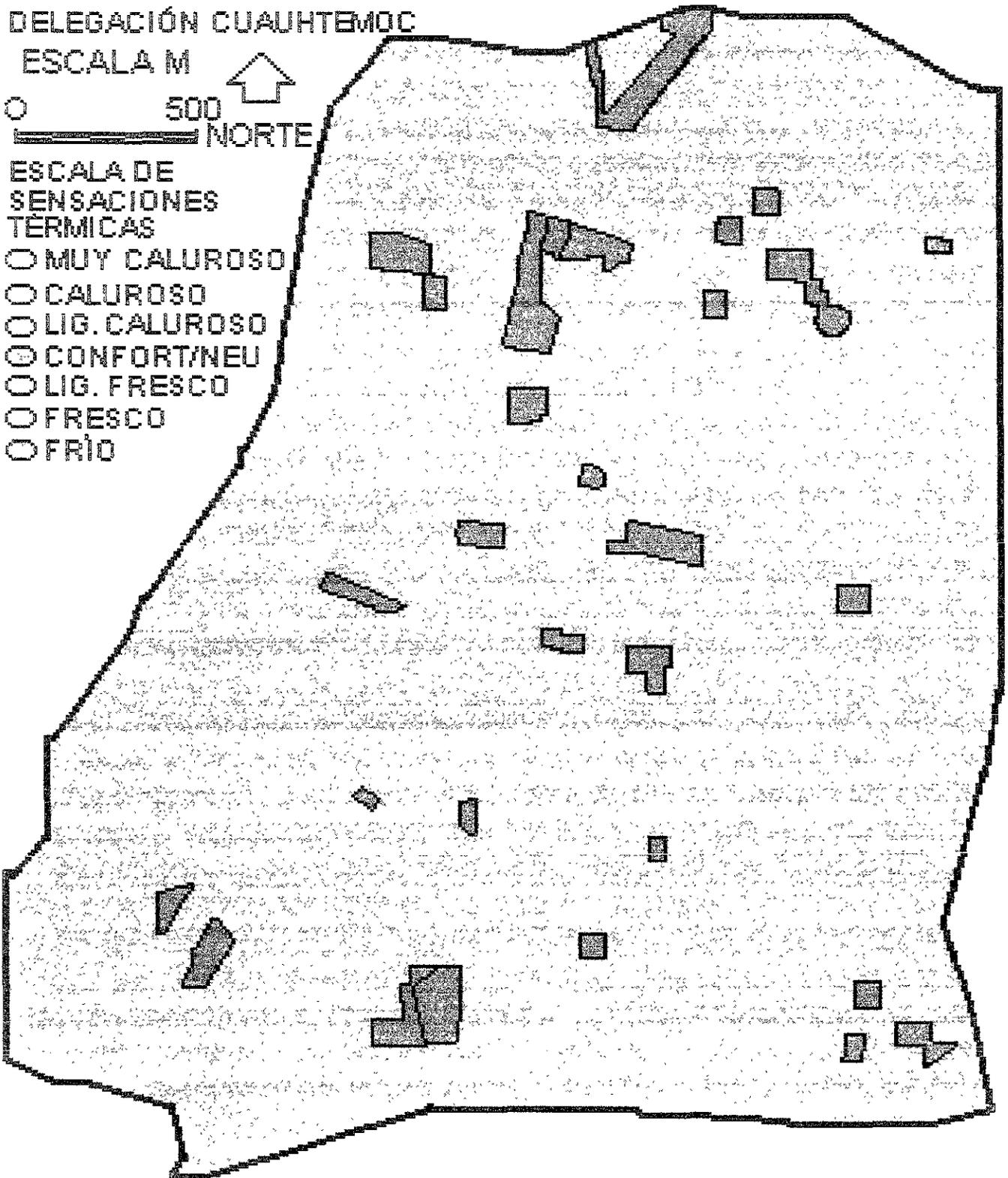


Fig. 44. Mapa biotopoclimático para la Delegación Cuauhtémoc de la ciudad de México correspondiente a las 6:00 h. l. del mes de enero de 1995.

DELEGACIÓN CUAUHTÉMOC

ESCALA M



ESCALA DE
SENSACIONES
TÉRMICAS

- MUY CALUROSO
- CALUROSO
- LIG. CALUROSO
- CONFORT/NEU
- LIG. FRESCO
- FRESCO
- FRÍO

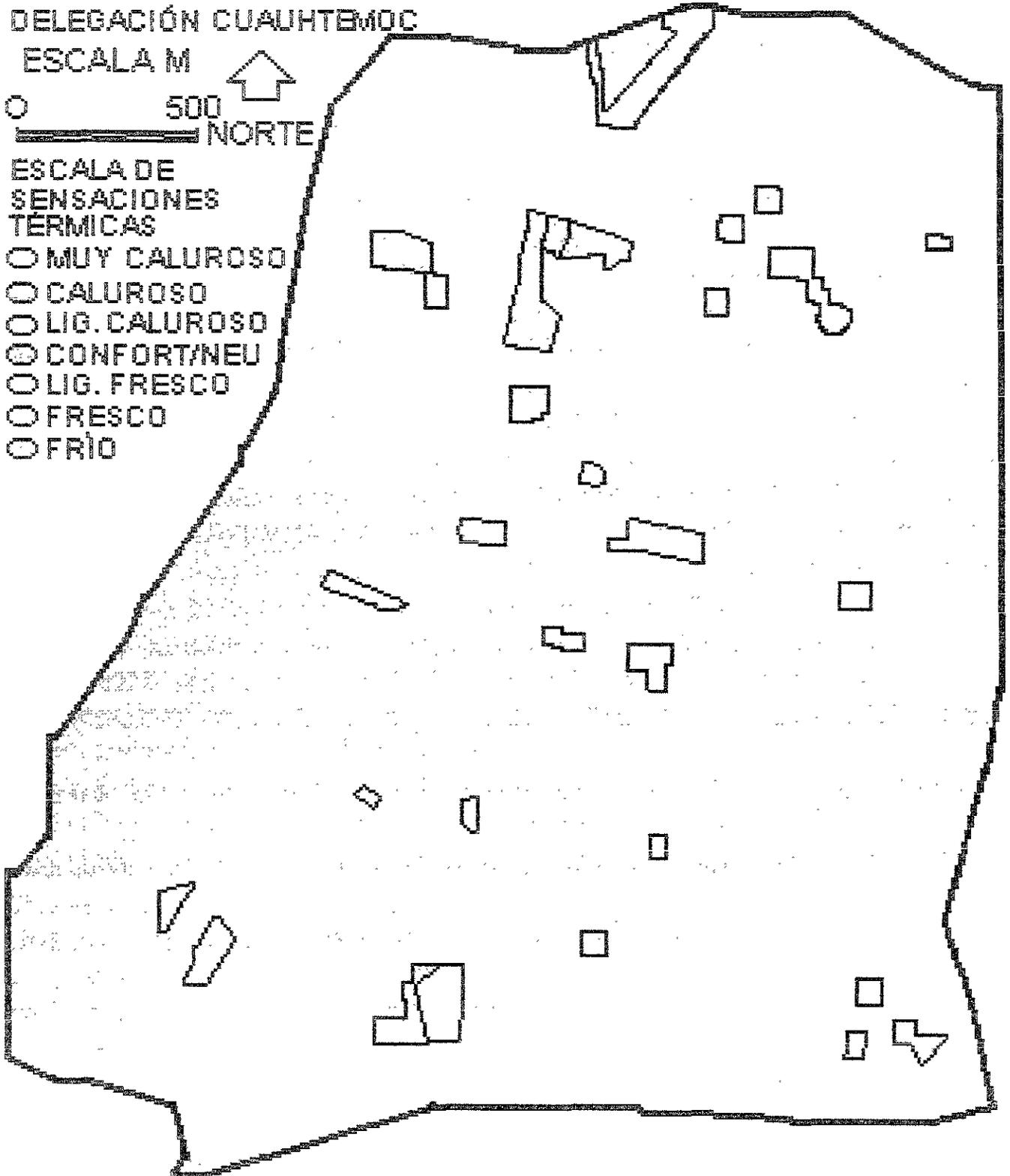


Fig. 45. Mapa biotopoclimático para la Delegación Cuauhtémoc de la ciudad de México correspondiente a las 15:00 h. l. del mes de enero de 1995.

DELEGACIÓN CUAUHTÉMOC

ESCALA M



ESCALA DE
SENSACIONES
TÉRMICAS

- MUY CALUROSO
- CALUROSO
- LIG. CALUROSO
- CONFORT/NEU
- LIG. FRESCO
- FRESCO
- FRÍO

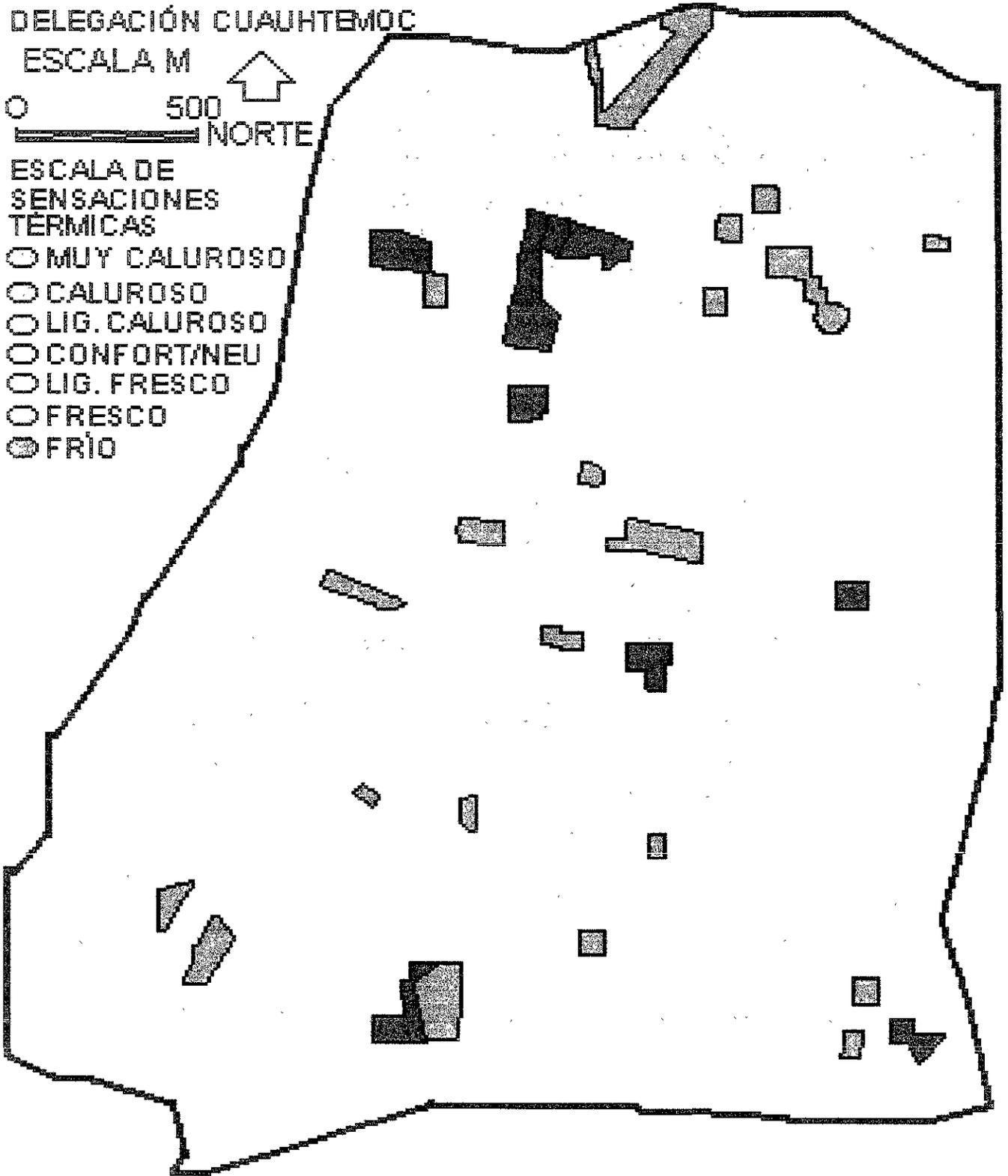


Fig. 46. Mapa biotopoclimático para la Delegación Cuauhtémoc de la ciudad de México correspondiente a las 6:00 h. l. del mes de abril de 1995.

DELEGACIÓN CUAUHTÉMOC

ESCALA M



ESCALA DE
SENSACIONES
TÉRMICAS

- MUY CALUROSO
- CALUROSO
- LIG. CALUROSO
- CONFORT/NEU
- LIG. FRESCO
- FRESCO
- FRÍO

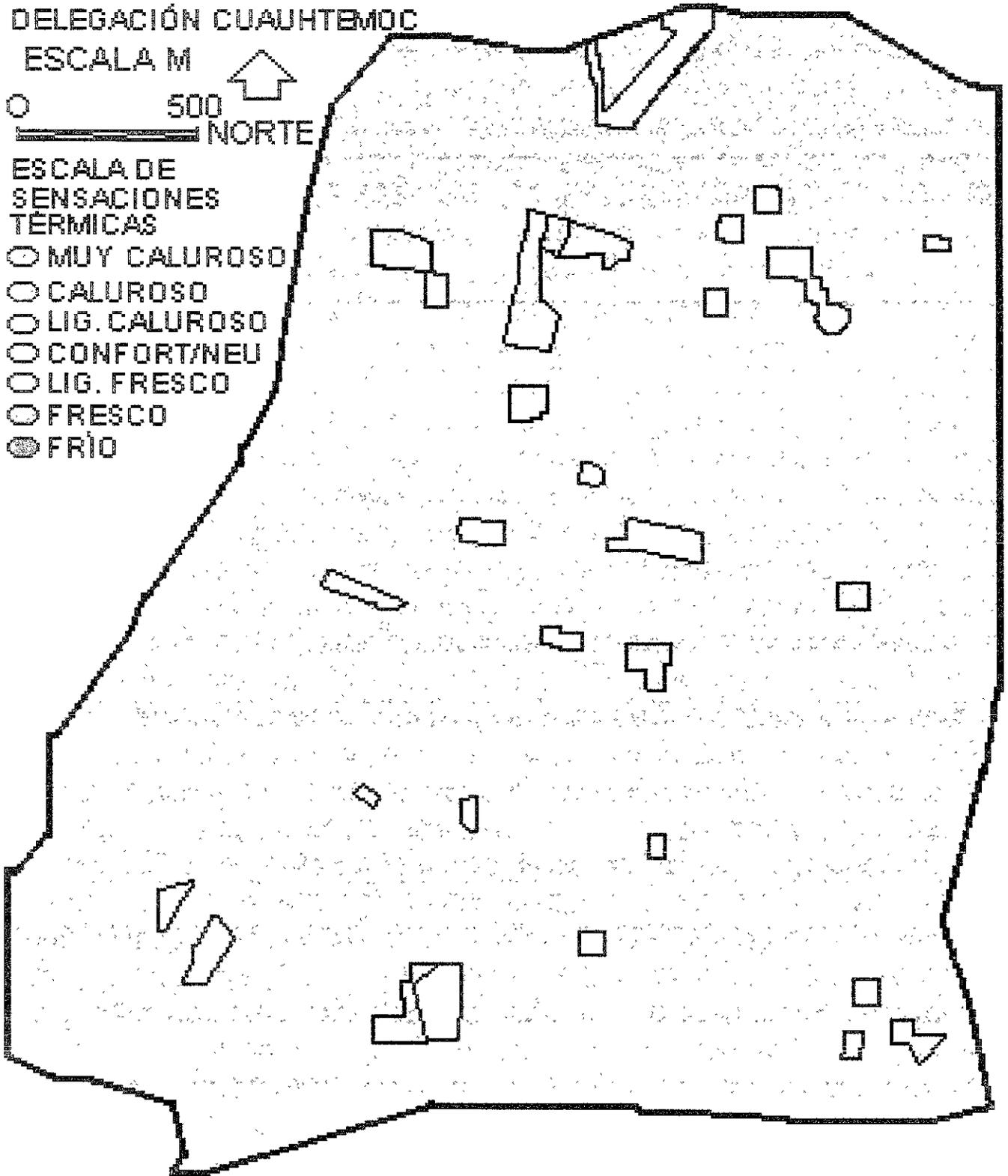


Fig. 47. Mapa biotopoclimático para la Delegación Cuauhtémoc de la ciudad de México correspondiente a las 15:00 h. l. del mes de abril de 1995.

- Por otra parte, y en sentido un tanto opuesto a lo señalado anteriormente, es un hecho empírico que en condiciones térmicas de calor (un día despejado por ejemplo), bajo un sólo árbol es posible que una persona experimente una sensación térmica confortable, de tal manera que aún una pequeña área tiene efecto sobre la condición térmica que se experimenta (*e. g. Vinet et al., 2000*).

Bajo estas consideraciones, el siguiente nivel de análisis en la escala es el micrometeorológico. Sin embargo, es importante destacar que para estudios de este tipo, los requerimientos de información son mucho más demandantes, tanto en cantidad como en calidad, y si bien las variables meteorológicas “ordinarias” como la temperatura, la humedad y el viento, son de importancia, los flujos radiativos destacan sobre éstas, y con mayor razón si la exposición es en el exterior de los edificios (*Blazejczyk et al., 2000*). No obstante lo anterior y de que en este caso no se realizaron mediciones a nivel micrometeorológico de las variables ni de flujos de calor, en la siguiente sección se presenta un bosquejo de los posibles efectos de uso del suelo en áreas más pequeñas a las consideradas hasta ahora.

Antes de pasar a la parte micrometeorológica del trabajo, es importante señalar dos aspectos de los mapas presentados hasta ahora:

- 1) Los mapas presentados en esta sección, resaltan la importancia que puede jugar el uso del suelo en las condiciones bioclimáticas en distancias cortas.
- 2) Los mapas aquí presentados (biotopoclíma de la ciudad, de isolíneas del PMV y del biotopoclíma en las delegaciones), son producto de promedios, esto es, son mapas de estado estacionario (*Krawczyk, 1988*), por lo que es posible que en días de condiciones meteorológicas particulares (generalmente para mostrar situaciones contrastantes se utilizan días despejados, *e. g. Jendritzky y Nübler, 1981*), las condiciones térmicas pueden ser más disímboas aún a las presentadas aquí.

4.3.4 Las áreas de influencia en el bioclima

Como ha sido señalado en la sección anterior, en orden descendente, la escala a considerar ahora es de unos cuantos a cientos de metros y de periodos cortos, lo que algunos autores consideran como de alta resolución (*e. g.* Cionco y Ellefsen, 1998). Los procedimientos para entender el impacto de áreas pequeñas en el clima urbano en general, abarcan desde considerar la influencia de la forma y materiales de las edificaciones en las variables micrometeorológicas (*e. g.* Pearlmutter *et al.*, 1999 y Hoyano *et al.*, 1999a), hasta una medición precisa de los flujos de calor (onda larga principalmente) mediante torres instrumentadas (*e. g.* Pearlmutter *et al.*, 1999) y termografía (*e. g.* Hoyano *et al.*, 1999a y Hoyano *et al.*, 1999b), lo que lleva a una evaluación bioclimática a nivel micrometeorológico (*e. g.* Martens, 1999 y Bauer *et al.*, 2000).

Los efectos de la heterogeneidad espacial pueden ser divididos en advectivos y de circulación térmica. Dentro de los efectos advectivos está el llamada efecto *fetch*, que consiste en el paso del aire desde una superficie a otra climáticamente diferente (Oke, 1987). Es obvio que la heterogeneidad espacial es muy amplia, pero dos de las superficies más comunes son las agrícolas y las urbanas. Entre los métodos utilizados para medir los intercambios turbulentos entre superficies están los basados en sistemas de superficie (mástiles o torres meteorológicas), de aire (radiosondas y globos cautivos) y los de medición indirecta (SODAR y LIDAR); en el caso de los intercambios horizontales, los métodos de superficie son los más utilizados (Kaimal y Finnigan, 1994; Schmid, 1997).

La estimación de la escala espacial de un flujo superficial depende del método utilizado. Los métodos de “eddy correlation” o los derivados de medidas que involucran a la concentración o a la radiación, de manera general suponen que la en la capa atmosférica superficial el intercambio de calor, masa y momento depende principalmente de la capacidad de la superficie subyacente de actuar como una fuente o un sumidero. Así, sobre una capa heterogénea, el valor medido de la variable atmosférica es caracterizado por aquellos parches de la superficie que tienen la mayor influencia sobre el sensor, y varía con la posición. Las escalas de observación de tales procesos de intercambio son evaluadas de manera conveniente cuando se considera la distribución relativa de la intensidad de la

fuerza para una observación dada. Para llevar a cabo la evaluación de la fuerza, se utiliza la función de peso de la fuerza o función *footprint* (Schmid, 1997)⁹.

Un concepto más práctico para la escala de observación está basado en la estimación de la región de la superficie que es más efectiva o es más probable que tenga influencia sobre la variable medida, tal región es definida considerando a la función *footprint* como la función de densidad de probabilidad que ese punto sobre la superficie tiene de influenciar sobre la medida realizada. La escala espacial de esa observación es indicada entonces por el área más pequeña posible para una contribución dada P (e. g. P=0.5), dicha área es llamada el *área fuente*, interpretada como “el campo de vista” del instrumento (Schmid, 1997)⁹.

En el caso del transporte turbulento, la determinación de un área fuente superficial es muy compleja, el promedio temporal en el “campo de vista” de un sensor de temperatura o humedad no es determinado en primera instancia por la geometría, sino más bien por las características turbulentas en la capa entre el sensor y la superficie. Las medidas realizadas por el sensor dependen de la rapidez y dirección del viento y de otras características del flujo. Numerosas versiones de modelos *footprint* han sido descritas en la literatura del tema, basados en modelos de trayectoria lagrangiana o en soluciones analíticas de la ecuación de difusión-advección en un marco de referencia euleriano, que es el utilizado en varios modelos computacionales por su relativa facilidad de aplicación (Schmid, 1997)⁹.

Como se ha mencionado el área fuente o área de influencia es al conjunto de elementos de superficie que son muestreados por los sensores de la estación micrometeorológica (Schmid y Oke, 1981). En un símil al modelo de dispersión de Gauss, la estación meteorológica sería la fuerza y el conjunto de elementos de superficie, el área sobre la cual ocurre la dispersión. En este caso, la “dispersión” se considera de manera inversa: el efecto del área o elementos de superficie, es el que llega a la estación climatológica.

En el proceso del *fetch* se desarrolla una capa (llamada de equilibrio interno, donde se asume que los flujos y perfiles están bien ajustados a las condiciones de la superficie) en la cual es posible llevar a cabo mediciones micrometeorológicas requeridas para la

⁹ Información complementada con la obtenida de la página web elaborada por el mismo autor: http://www.indiana.edu/~climate/SAM/SAM_FSAM.HTML

estimación de flujos. En el caso de las superficies agrícolas homogéneas, de acuerdo a la “tradicional” *regla del dedo gordo*, la capa crece con una pendiente de 1%; así, las medidas tomadas a 10 m de altura son representativas de las condiciones superficiales sólo si la distancia del campo límite (superficie con otras características) viento arriba excede 1 km. En el caso de las superficies urbanas, las condiciones son diferentes y surgen dificultades; aquí, la escala horizontal de los principales parches superficiales (edificios, calles, grupos de árboles) es del mismo orden que su estructura vertical (Schmid, 1997).

Bajo la descripción anterior, en este trabajo se toman los resultados de Tejeda (1996), quien tipifica el uso del suelo alrededor de la estación climatológica ubicada en el Palacio de Minería. En la tabla 14 y en la figura 48 se muestran los tipos de cubiertas un kilómetro alrededor de la estación climatológica ubicada en el Palacio de Minería

Tabla 14. Descripción de los tipos de cubiertas predominantes en un kilómetro alrededor de la estación climatológica automática palacio de Minería (tomada de Tejeda, 1996).

	TIPO H1	TIPO H2	TIPO H3	TIPO C1	TIPO H4	TIPO H5
USOS	Comercial-habitacional	Comercial-habitacional	Comercial-habitacional	Comercial	Comercial-habitacional	Comercial-habitacional
Altura en pisos	1 a 3	4 a 6	7 a 9	10 o más	1 a 3	4 a 6
% de lote cubierto	> 75	> 85	> 75	> 85	> 75	> 85
% de vegetación/lote	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
No. de vecinos que toca	2	2	2	1	1	1
Peso (p)	2.4	3.9	5.4	7.4	2.8	4.4
Distancia a la calle	< 10 m	< 10 m	< 10 m	> 10 m	> 10 m	< 10 m
%ventana/fachada	10 a 35	10 a 35	10 a 35	10 a 35	10 a 35	10 a 35
Materiales y color	Concreto gris claro	Concreto gris claro	Concreto gris claro	Concreto gris claro	Concreto gris claro	Concreto gris claro
	TIPO H6	TIPO C2	TIPO H7	TIPO C3	TIPO C4	TIPO G
USOS	Comercial-habitacional	Comercial	Comercial-habitacional	Comercial	Comercial	Plazuelas
Altura en pisos	7 a 9	Más de 10	1 a 3	4 a 6	10 o más	0
% de lote cubierto	> 75	> 85	> 85	> 75	> 85	< 10
% de vegetación/lote	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	> 80/< 2
No. de vecinos que toca	1	1	0	0	0	0
Peso (p)	5.8	7.4	3.7	5.0	8.2	1 1
Distancia a la calle	< 10 m	> 10 m	< 10 m	< 10 m	> 10 m	< 10 m
%ventana/fachada	10 a 35	35 a 55	10 a 35	10 a 35	35 a 55	0
Materiales y color	Concreto gris claro	Concreto gris claro	Concreto gris claro	Concreto gris claro	Concreto gris claro	Vegetación/cantera

Nota: cuando no se dan intervalos las condiciones son promedio

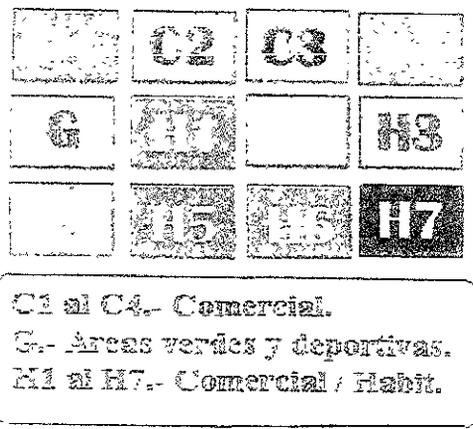
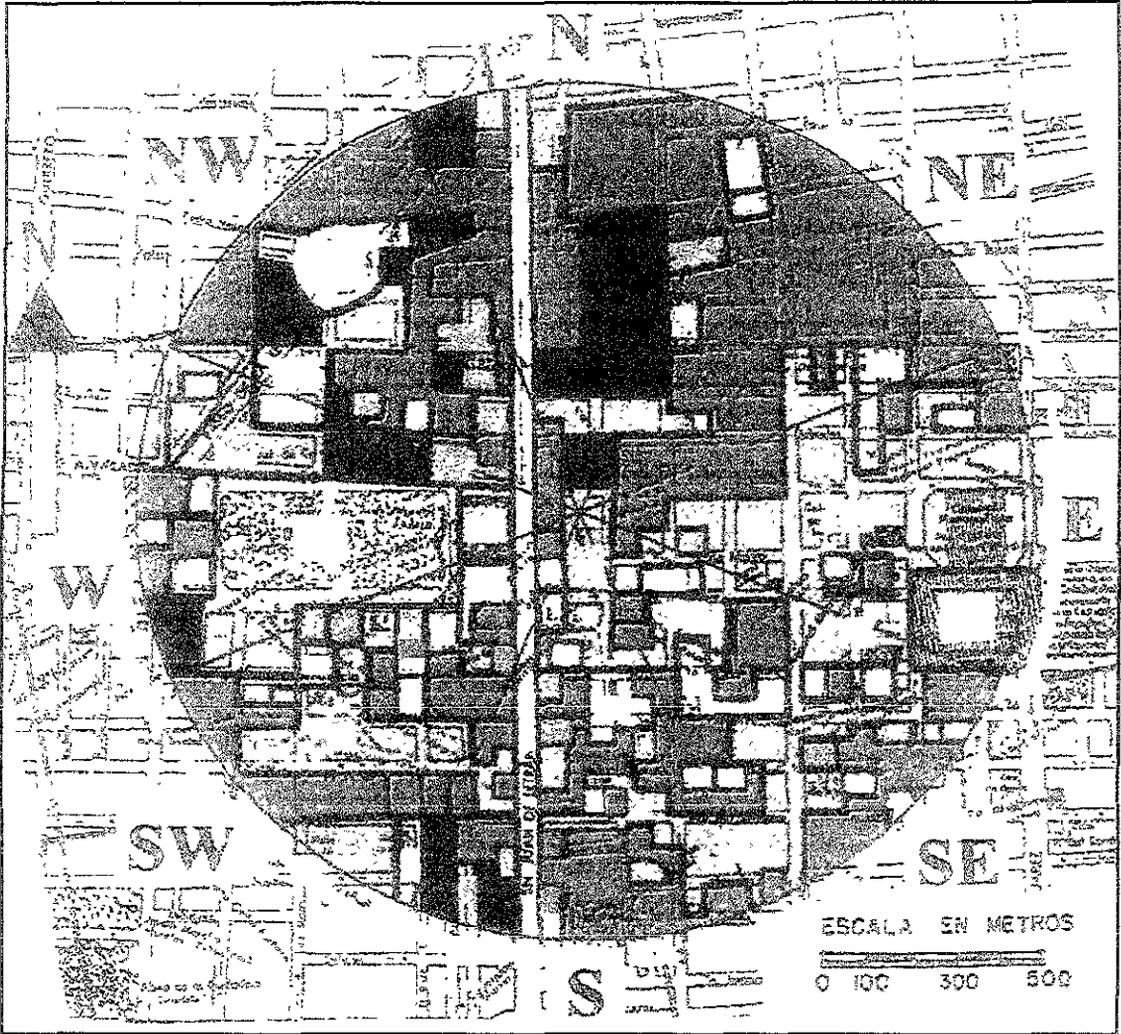


Fig. 48. Porcentaje de aportaciones de cada tipo de cubierta en un kilómetro alrededor de la estación climatólogica Palacio de Minería para cada rumbo de viento (tomada de Tejada, 1996).

obtenidos por Tejeda (1996) al aplicar el método de Grimmond *et al.* (1991). Como se observa en la tabla y en la figura, el tipo de habitacional-comercial es el uso del suelo que domina en esta zona.

En la tabla 15 se muestra el porcentaje de aportación de cada tipo de cubierta para ocho rumbos de viento. Como se ha mencionado, dado el *fetch* y considerando cada rumbo como área fuente, en principio, se podría estimar el efecto de cada sector sobre las variables climatológicas y el bioclima. Sin embargo, por una parte, como no se cuentan con mediciones precisas sobre el comportamiento de las variables a lo largo de su recorrido sobre los sectores, en este caso se ha analizado el comportamiento del viento a lo largo de los sectores este y oeste, donde si bien el tipo de uso del suelo dominante es habitacional-comercial, en el sector oeste destaca la aportación del área verde correspondiente a la Alameda Central (tabla 15). Desafortunadamente, el viento tiende a soplar poco de estas direcciones en esta zona, pues como se observa en la figura 49, el viento medio (Tejeda y Cervantes, 1994) en los meses representativos de las temporadas climáticas en la ciudad, de acuerdo al tratamiento de los datos de viento de la estación climatológica Palacio de Minería, tiende a ser más de los arcos de direcciones noroeste al noreste y del sur al suroeste.

Tabla 15. Porcentaje de aportaciones de cada tipo de cubierta en un kilómetro a la redonda de la estación climatológica Palacio de Minería para cada rumbo de viento dominante (tomada de Tejeda, 1996)

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
H1	6.5	71.6	7.0	17.0	2.1	19.6	1.3	53.7
H2	5.4	7.0	81.4	52.0	30.7	40.5	6.6	4.4
H3	0.0	0.0	4.7	14.2	21.0	7.9	9.0	0.0
C1	0.0	13.2	0.0	3.9	5.8	6.5	0.0	0.0
H4	0.0	2.0	0.0	1.5	0.0	4.9	7.7	3.1
H5	6.0	0.0	0.0	2.3	11.4	1.3	0.0	4.9
H6	0.0	0.0	0.0	3.0	4.5	5.1	0.0	0.0
C2	0.0	0.0	0.0	5.8	0.0	0.0	0.0	0.0
H7	79.3	2.7	0.0	0.0	4.8	4.4	20.7	13.9
C3	2.7	3.6	3.0	0.0	1.3	1.5	14.0	15.1
C4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.8	0.0	0.0
G1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	36.3	3.8
G2	0.0	0.0	4.1	0.5	0.0	1.8	4.5	1.1

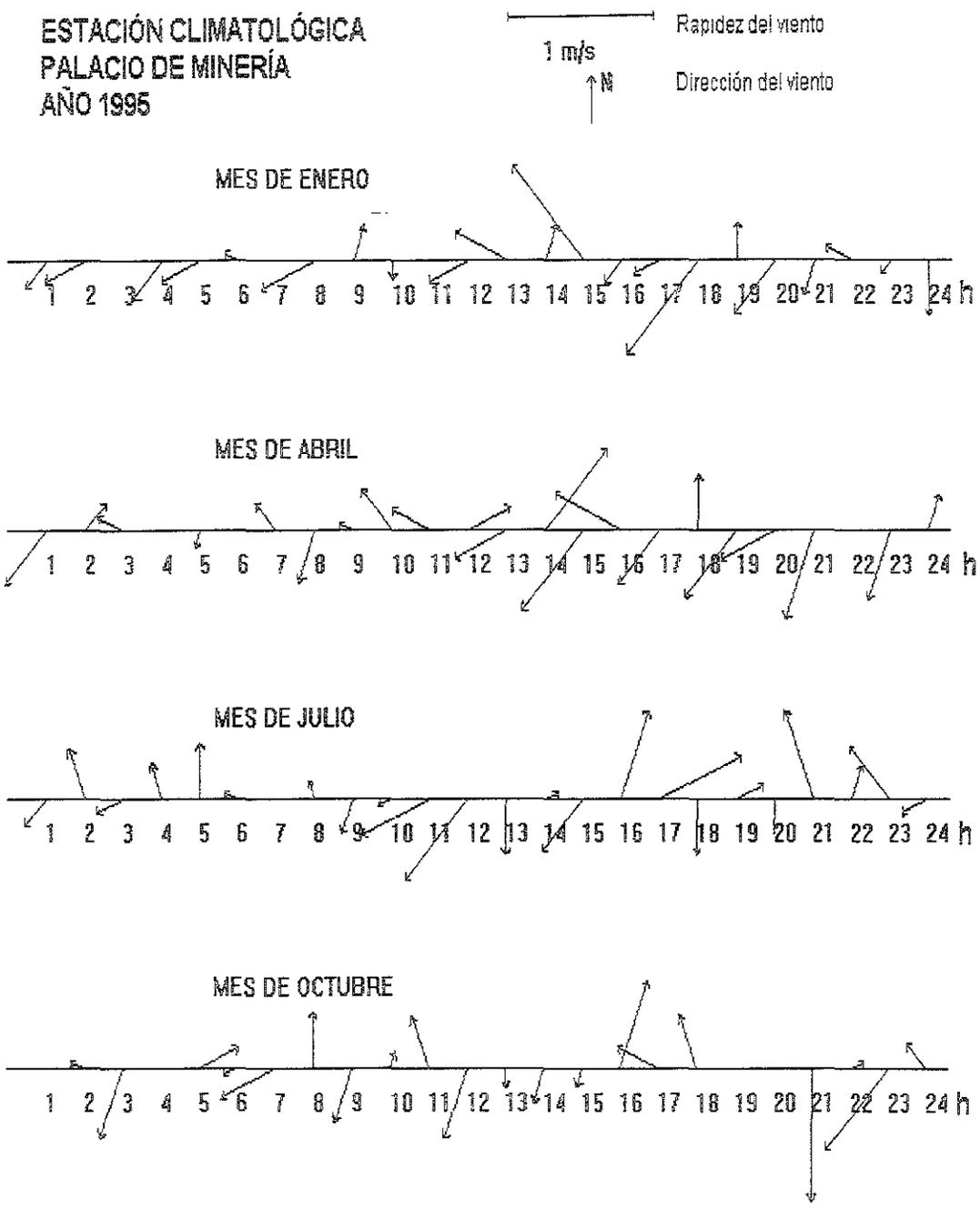


Fig. 49. Marcha diaria del viento medio en la estación climatológica Palacio de Minería durante los meses representativos de las temporadas climáticas en la ciudad de México en 1995.

Por otra parte y, como se comentó, en el ámbito urbano, la influencia horizontal de una superficie puede alcanzar sólo la correspondiente a su altura (aunque algunos autores señalan que la influencia horizontal puede ser mayor, hasta de 10 veces la altura de la condición superficial, *e. g.* Oke, 1987), por lo que en este caso, posiblemente la influencia del arbolado de la Alameda Central (entre 12 y 15 m de altura) sobre los sensores de la estación climatológica en el Palacio de Minería ubicados a una altura total aproximada de 15 m sobre el nivel de la calle), no alcance a registrarse.

No obstante lo anterior, en este apartado se presentan dos tablas: la 16 que corresponde a las situaciones de viento del este y del oeste, cuando las variables de temperatura, rapidez del viento corregido y humedad relativa presentaron valores muy parecidos; y la tabla 17 donde sólo se consideró que las direcciones fueran opuestas. En ambos casos, se obtuvo el valor promedio del PMV1 para cada dirección, los cuales no mostraron diferencia significativa al aplicarles la prueba *t-student* ($p < 0.05$) (Steel y Torrie, 1988). Entre otros factores que pueden dar lugar a este resultado, ya se mencionó la altura a la cual se ubican los sensores, así como la baja rapidez del viento y el posible efecto de turbulencia de los edificios adyacentes al sitio donde se encuentra la estación climatológica, que diluye el posible *fetch* de la Alameda Central.

A pesar del resultado anterior y aún cuando el número de casos analizados es pequeño y la sensación térmica correspondiente es la misma (*ligeramente fresco*), los promedios del viento del oeste presentan valores con tendencia hacia una condición térmica más fría. Desde luego, estos resultados no son concluyentes, pero sí señalan la importancia de realizar estudios y análisis a más detalle, pues como señalan Cionco y Ellefsen (1998), entre otras aplicaciones, al conocer la ubicación, el tipo y tamaño de los edificios y la ubicación, tamaño, densidad y proximidad de áreas verdes a esos edificios, esta información puede ser complementada con información de radiación en formas que permitan la reducción de uso y costo de energía para el enfriamiento o calentamiento de los locales.

Tabla 16. Valores del PMV1 en la estación climatológica Palacio de Minería con vientos del oeste y del este en los meses de enero y noviembre de 1995, cuando la temperatura, la rapidez del viento (corregido) y la humedad relativa presentaron valores muy similares.

OESTE						ESTE					
Mes/día	Hora	T °C	Vcorr m/s	HR %	PMV1	Mes/día	Hora	T °C	Vcorr m/s	HR %	PMV1
1/6	400	14.0	0.3	58	-2.97	1/29	400	13.8	0.2	61	-2.84
1/22	400	13.4	0.3	62	-3.12						
1/3	2100	14.9	0.7	50	-3.27	1/16	2300	15.0	0.8	51	-3.34
1/13	200	14.3	0.5	51	-3.24	1/22	200	14.7	0.4	58	-2.60
1/4	2300	15.9	0.8	47	-2.37	1/6	2200	16.0	1.1	63	-3.13
1/17	2200	15.9	1.6	45	-3.44	1/20	2200	15.9	1.0	55	-3.12
1/2	1300	16.3	0.6	54	-2.75	1/26	1100	16.6	0.6	49	-2.62
1/8	1200	20.4	0.3	32	-1.27	1/13	1200	20.4	0.8	27	-1.75
11/19	200	11.4	0.5	96	-3.95	11/19	400	11.5	0.2	97	-3.34
11/1	1700	23.3	1.3	49	-0.78	11/2	300	23.3	1.0	52	-0.68
				PMV1medio	-2.716					PMV1medio	-2.602

Tabla 17. Valores del PMV1 en la estación climatológica Palacio de Minería con vientos del oeste y del este en los meses de enero y noviembre de 1995, cuando la temperatura, la rapidez del viento (corregido) y la humedad relativa presentaron valores diferentes.

OESTE						ESTE					
Mes/día	Hora	T °C	Vcorr m/s	HR %	PMV1	Mes/día	Hora	T °C	Vcorr m/s	HR %	PMV1
1/21	900	13.1	0.3	61	-3.21	1/4	1000	13.3	0.8	62	-3.83
						1/5	900	13.4	0.7	57	-3.71
						1/9	200	13.2	0.4	32	-3.55
						1/10	1000	13.4	0.9	67	-3.83
						1/11	1000	13.7	0.6	38	-3.63
						1/16	1000	14.0	0.9	39	-3.76
						1/17	900	13.0	0.5	52	-3.63
						1/30	1100	13.8	1.1	74	-3.81
						1/31	1300	13.1	1.3	79	-4.09
						1/31	1400	13.3	1.3	78	-4.03
						1/31	2000	13.1	0.6	80	-3.64
1/13	300	14.3	1.4	49	-3.87	1/4	1100	14.8	0.6	56	-3.15
1/17	100	14.4	1.1	53	-3.65	1/17	1000	14.3	1.1	49	-3.74
1/26	1000	14.2	0.4	57	-3.05						
1/12	2400	15.6	1.6	48	-3.49	1/12	1000	15.4	0.9	45	-3.28
1/13	100	15.1	0.9	49	-3.36	1/14	1100	15.6	1.0	39	-3.29
						1/19	1000	15.6	0.7	45	-3.07
						1/21	2400	15.5	0.2	55	-2.39
						1/22	2400	15.4	0.1	53	-1.91
						1/24	1100	15.1	0.5	62	-2.95
						1/25	1700	15.7	1.1	61	-3.20
						1/27	1100	15.3	1.0	66	-3.27

Tabla 30. Continuación

OESTE						ESTE					
Mes/día	Hora	T °C	Vcorr m/s	HR %	PMV1	Mes/día	Hora	T °C	Vcorr m/s	HR %	PMV1
1/23	1500	20.1	1.3	44	-1.91	1/16	1200	20.4	1.1	36	-1.78
1/29	1900	20.7	1.2	41	-1.70	1/17	1300	20.8	0.9	31	-1.62
						1/12	1200	20.7	0.9	26	-1.69
						1/14	1400	20.7	1.2	21	-1.82
						1/15	1300	20.3	1.0	16	-1.91
						1/15	1900	20.4	1.2	15	-1.96
						1/18	1300	20.3	1.5	28	-2.00
						1/24	1800	20.9	2.3	42	-1.88
						1/28	1300	20.7	1.0	38	-1.64
						1/29	1200	20.3	1.3	42	-1.85
11/15	400	11.6	0.6	86	-3.18	11/9	600	11.7	0.6	98	-4.02
11/18	600	11.7	0.2	97	-3.28	11/9	800	11.8	1.2	98	-4.42
11/28	200	11.6	0.4	71	-3.74	11/15	800	11.0	1.1	94	-4.63
11/28	300	11.3	0.4	74	-3.82	11/20	800	12.0	0.6	100	-3.84
						11/25	1000	11.6	0.9	79	-4.37
11/6	2400	18.5	0.7	67	-2.04	11/1	900	18.0	0.3	80	-1.70
11/25	1400	18.9	0.8	37	-2.16	11/6	1000	18.8	0.8	69	-2.02
						11/7	900	18.3	0.4	75	-1.74
						11/9	1100	18.5	0.8	72	-2.11
						11/10	1000	18.0	0.7	62	-2.23
						11/15	1100	18.4	0.9	91	-2.27
						11/15	2000	19.0	1.8	53	-2.36
						11/15	2100	18.5	1.3	54	-2.38
						11/16	2100	18.2	1.9	74	-2.56
						11/20	1300	18.6	0.8	61	-2.13
						11/27	1200	18.8	1.1	30	-2.34
11/1	1500	24.0	1.1	52	-0.47	11/16	1500	23.4	1.1	44	-0.76
			PMV1medio		-2.928				PMV1medio		-2.828

5. DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 La urbanización y la climatología urbana

Por milenios, las ciudades han sido los centros culturales y las maquinarias de creatividad de avance de las diferentes civilizaciones. Las ciudades presentan para los pobladores no sólo problemas sino también oportunidades. El tamaño y alcance de las ciudades significa que tendrán un profundo efecto, para mejorar o empeorar, el ambiente global. Hoy, las ciudades ocupan el 2% de la superficie del planeta, pero consumen el 75% de sus recursos (O'Meara, 1999).

En general, las ciudades con más de 1 millón de habitantes son llamadas *grandes*, mientras que la membresía al club de las *megaciudades* requiere una población de al menos 10 millones de habitantes. Las variaciones regionales en Latinoamérica han sido intensas en las últimas décadas, de tal manera que prácticamente la urbanización ha ido a la par de la de los países industrializadas (tabla 18); así que el crecimiento más explosivo en el futuro en el mundo, se espera ocurra en Asia y África (O'Meara, 1999).

Dada la ubicación de la Ciudad de México, y del país en general, el auge de las construcciones en las ciudades medias, el turismo, etc., se hace necesario enfrentar la realización de estudios que delimiten con precisión el efecto de los elementos y factores meteorológicos sobre el estado calorífico del hombre, tanto como índice de bienestar del ser humano como elemento para la continuación de estudios bioclimáticos especializados, proporcionando así a los especialistas interesados la información inicial mínima al respecto.

Tabla 31. Porcentaje de población viviendo en áreas urbanas por regiones en el periodo 1950-1995, con proyecciones para el 2030 (tomada de O'Meara, 1999)¹⁰.

Región	1950	1975	1995	2030
África	14.6	25.2	34.9	55.0
Asia	15.3	22.2	33.0	53.0
Latinoamérica	41.4	61.2	73.4	83.0
Países industrializados	54.9	69.9	74.9	84.0
Mundo	29.7	37.8	45.3	61.8

¹⁰ Complementada con información de la página web de la ONU: <http://www.un.org>

De acuerdo a Karrasch (1992), una debilidad de la climatología urbana ha sido su carácter descriptivo y la incapacidad de los investigadores de ofrecer predicciones confiables para los escenarios de planeación. Para superar esas deficiencias los esfuerzos se han enfocado a los inventarios de los llamados parámetros climáticos relevantes. Esos parámetros son características cuantitativas del uso del suelo y sirven para dar una interpretación causal de los resultados del monitoreo de las variables climáticas urbanas. Así, un objetivo a alcanzar es el de deducir modelos de regresión, los cuales no sólo sean aplicables a la situación actual, sino que también sirvan para evaluar los impactos del cambio del uso del suelo y las renovadas medidas urbano-ecológicas que se toman para aminorar los efectos negativos de la urbanización.

Desde luego, para crear condiciones confortables en una ciudad, es necesario tener claros los efectos de los bloques urbanos tales como la altura de los edificios y la razón altura de los edificios/ancho de la calle en los ambientes urbanos entre otras variables, pues un alto grado de densidad poblacional, una planeación urbana desacertada y una falta de áreas verdes, pueden ser el origen de que se acentúen condiciones termofisiológicas adversas.

5.2 Sobre el uso del suelo y su efecto en las variables microclimáticas

Los fenómenos que ocurren en la interfase superficie ciudad-atmósfera son extremadamente complejos como para dar una definición simple, de tal manera que un problema metodológico en la investigación de la climatología urbana es la definición y caracterización de la superficie urbana así como su representación.

Es un hecho bien documentado (a lo largo del trabajo se han citado varios trabajos, *e. g.* Karrash, 1992; Oke *et al.*, 1980/1981) en el ámbito de la climatología urbana, que la morfología de la ciudad juega un papel importante en los patrones que presentan las variables climatológicas en la ciudad. En este trabajo se ha utilizado un procedimiento de recorridos matutinos (poco después de que se registró la temperatura mínima) con un vehículo instrumentado a lo largo de la avenida de Los Insurgentes en la ciudad de México.

La relación del comportamiento de las variables microclimáticas de temperatura, humedad relativa y presión de vapor con las características del uso del suelo (en una propuesta simple) apreciadas a lo largo del recorrido, permiten establecer, tanto cualitativa

como estadísticamente, tres zonas en la ciudad: norte, centro y sur. Destaca en el uso del suelo la altura de los edificios y la vegetación presente en la zona. Los edificios de mayor altura se localizan en la parte centro de la ciudad, mientras que en el sur la vegetación es más abundante. Con respecto a la altura de los edificios, Yamashita y Sekine (1990/1991) determinaron para una ciudad de Japón que mientras mayor es la altura de los edificios, mayor es la temperatura del aire; en esta parte del trabajo, la zona de mayor altura de los edificios se registró hacia la parte comercial de la ciudad, coincidiendo con la zona de la isla de calor determinada por otros procedimientos (Jáuregui, 1998). En este sentido, Oke (1981 y 1982) ha demostrado que la geometría urbana y las propiedades térmicas de las superficies construidas tienen más influencia en la isla de calor que el comportamiento del viento o la densidad de población.

Otro efecto importante que se notó en estos recorridos es el de los parques urbanos o áreas verdes, donde la temperatura del aire disminuye y la humedad relativa aumenta. Este resultado concuerda con el presentado por Barradas (1991), quien analizó el comportamiento de la temperatura y la humedad relativa así como de un índice térmico en cinco parques de la ciudad de México, y con lo señalado por Carlson *et al.* (1981) donde la temperatura más baja aparece consistentemente en sitios con vegetación abundante, donde se utilizó un procedimiento diferente. Estos cambios pueden alcanzar magnitudes como las que se presentan en ciudades medias del país entre el centro de la ciudad y sus alrededores cuando se considera a la ciudad en su conjunto (Cervantes *et al.*, 2000a y 2000b).

Como ha sido señalado por Grimmond y Souch (1994), las propiedades de la superficie urbana (materiales y geometría) afectan los intercambios de energía y masa (agua) creando condiciones de microclimas propios, por lo que para estudios a nivel local, la escala espacial propuesta es del orden de 10^2 a 10^3 m (Grimmond y Souch, 1994; Cionco y Ellefsen, 1998). En este sentido, en este trabajo se determina, que el uso del suelo tiene un efecto apreciable en el comportamiento espacial y temporal de las variables microclimáticas en la ciudad de México, y que, como un primer acercamiento y con base en el procedimiento utilizado, se definen tres zonas para la ciudad de México.

Aún cuando tendría perfecta cabida en este apartado, con el fin de llevar la secuencia del trabajo, en un apartado posterior se presenta la discusión acerca del análisis realizado a los datos de la estación climatológica ubicada en el Palacio de Minería.

5.3 Sobre la evaluación bioclimática.

En lo que se refiere a la evaluación bioclimática, como se ha señalado, diversos autores (e.g. Buettner, 1951 y Macpherson, 1962) han apuntado desde hace más de cinco décadas que los índices bioclimáticos basados en el intercambio de calor, proveen un enfoque más satisfactorio en el problema de la evaluación multifactorial. Así, la aplicación del índice de balance de energía PMV en la evaluación bioclimática tiene la ventaja de utilizar un índice basado en la primera ley de la termodinámica, de tal manera que su validez es universal.

Por otra parte, entre las desventajas de utilizar este índice está la de diseño, pues originalmente fue concebido para ser aplicado en espacios cerrados (Krawczyk, 1994). Sin embargo, el índice ha sido aplicado a espacios abiertos para evaluaciones bioclimáticas (e.g. Jendritzky y Nübler, 1981 y Potter y de Dear, 2000) por lo que se ha utilizado en este trabajo. Una de las variables utilizadas en el cálculo del PMV es la temperatura media radiante (flujos de energía), que no se ha utilizado en este estudio, sin embargo, para espacios abiertos y para personas situadas a la sombra, se puede considerar que la temperatura media radiante es prácticamente igual a la temperatura ambiente (Swaid *et al.*, 1993). Aquí es importante señalar que se han propuesto métodos para calcular la temperatura media radiante (e. g. Jendritzky y Nübler, 1981), e incluso métodos específicos dentro de estructuras urbanas (e. g. Matzarakis *et al.*, 2000), sin embargo, estos métodos requieren de mediciones precisas de flujos de energía, incluyendo el “sky view factor”¹¹ y la posición o postura del cuerpo humano.

Al igual que otros índices, el PMV fue determinado para un grupo de personas específicas (blancos) en un sitio particular (latitudes medias) por lo que la adecuación de las escalas de sensaciones térmicas a la ciudad de México ha sido necesaria. Así, se ha considerado en este caso que el índice es aplicado a sujetos jóvenes, sanos tanto física como mentalmente y en actividad sedentaria.

¹¹“Sky view factor” (Oke, 1987) es una razón geométrica que expresa la fracción de la radiación saliente desde una superficie que es interceptada por otra. Es un número adimensional entre cero y uno. Puesto que la interceptación se puede dar por varias superficies, la suma de los “sky view factors” de las n-superficies vistas desde la superficie radiante es uno.

El cálculo del “sky view factor” se da mediante la siguiente relación (Oke, 1987): $\Psi_{\text{sky}} = \cos^2 B$ donde $B = \tan^{-1} H/X$ con H la altura de la estructura (edificios, árboles, etc.) y X el radio del claro.

En el mundo real, no hay simetría ni superficies infinitas, de tal forma que si bien los “sky view factors” individuales pueden ser calculados, la geometría de la radiación puede ser muy complicada. Una práctica alternativa es la de utilizar cámaras fotográficas con lentes de “ojo de pez”, aunque la mayoría de los lentes necesitan alguna corrección (Steyn, 1980).

En aspectos muy específicos, Ealiwa *et al.* (2001) determinaron que en espacios interiores, el ajuste de la escala del PMV se debe aplicar cuando dicho espacio está ventilado de manera natural; por su parte, Potter y de Dear (2000) al evaluar la aplicación de diversos índices térmicos en el exterior (entre ellos el PMV), la escala sufrió un corrimiento superior, por lo que la zona de confort así como las demás sensaciones, se desplazan ligeramente. En ambos casos, el standard ISO 7730 y la escala de la ASHRAE (con siete sensaciones térmicas, y que es la que se utilizó aquí) fueron utilizados. En tres de los cuatro casos presentados aquí, la escala propuesta por Fanger (1970) tuvo una ampliación de límites y corrimiento en ambos lados de la escala (tanto en la parte *fría* como en la parte *calurosa*); mientras que en un caso específico (medio clo y viento constante de 0.2 m/s), la escala no sufrió modificaciones con respecto a la original.

Puesto que el ajuste de la escala de sensaciones térmicas se realizó bajo condiciones específicas de actividad, ropa y flujos de energía, la evaluación bioclimática coincide con la de índices empíricos o sencillos, cuya escala haya sido ajustada también. En este caso, la evaluación bioclimática presentada aquí no concuerda ni con la de Espinosa (1994) ni con la de Jáuregui y Tejeda (2001), quienes la realizaron utilizando el índice térmico de temperatura efectiva y la escala de la ASHRAE.

De las estaciones climatológicas utilizadas, éstas se agruparon de acuerdo a los biotopos propuestos: espacios abiertos, industrial, habitacional-comercial (mixto) y áreas verdes. El análisis de las figuras (mapas) mostró que el aislamiento térmico de la ropa (valor clo) y la rapidez del viento juegan un papel importante en las marchas diurna y anual del bioclima, favoreciendo la ampliación o reducción de los periodos de confort.

No obstante el agrupamiento realizado, se presentan diferencias significativas en el comportamiento bioclimático de las estaciones utilizadas, lo que, por su parte, puede coadyuvar a la definición de un mayor número de biotopos en la ciudad, por ejemplo en el caso de los espacios abiertos, el comportamiento es diferente entre Aeropuerto (un sitio abierto pero con amplios espacios de concreto) y Texcoco (un sitio abierto pero con partes de vegetación arbustiva y suelo desnudo).

Finalmente, es conveniente recordar que las figuras corresponden, como ya se ha mencionado, a la marcha promedio diurna del PMV bajo condiciones específicas y para un grupo de personas en particular (jóvenes), por lo que las personas pueden experimentar

sensaciones térmicas “promedio” diferentes a las señaladas, además de que en días de condiciones meteorológicas particulares, pueden presentar condiciones diferentes a las presentadas.

5.4 Sobre los biotopos y las isolíneas.

Como se ha señalado, una primera aproximación, y utilizada en este trabajo, a la definición de biotopo es el uso del suelo, que delimita más allá de la simple diferenciación entre urbano y suburbano. Algunos autores (*e. g.* Grimmond y Souch, 1984) han determinado que los tipos de uso del suelo encontrados con mayor frecuencia en el ámbito urbano son: residencial, habitacional, comercial, industrial, parques y cuerpos de agua, cada uno de los cuales puede ser caracterizado por los porcentajes de vegetación, edificios, calles, etc., o bien por altura de edificios, densidad, etc. En este trabajo no se llega al detalle de considerar alguna o algunas de estas características.

Para el área de la ciudad de México, el uso de los cuatro biotopos definidos es limitado e insuficiente, pues como se mostró con las figuras correspondientes, el área que se cubre con cada uno de ellos, principalmente el mixto, es extensa, por lo que no se alcanzan a apreciar los cambios en la carga de calor en estructuras ciudadanas bien definidas como puede ser la zona comercial de la ciudad, las zonas de edificios multifamiliares, etc. En general, los trabajos que se han hecho para caracterizar el área urbana de las ciudades han sido sobre ciudades cuya extensión no es tan amplia como la ciudad de México (*e. g.* Grätz *et al.*, 1992; Cionco y Ellefsen, 1998 y Blazejczyk, 1990), y con biotopos que comprenden áreas menores a las utilizadas en esta primera aproximación.

No obstante lo anterior, en algunos casos si se apreció el efecto del uso del suelo en el bioclima, sobre todo en áreas contrastantes como las áreas verdes y espacios abiertos con la zona comercial-habitacional. Este resultado fue importante para no desconsiderar la aplicación de los biotopos propuestos, aunque a una escala menor a la de la ciudad.

Por su parte, las isolíneas del PMV describieron de manera adecuada los contrastes térmicos en la ciudad. El efecto de *isla de calor*, determinado por otros procedimientos como el mostrado aquí de recorridos dinámicos o por Jáuregui en sus diversas investigaciones (1973, 1986, 1993, 1995 y 1997, entre otros), es perfectamente corroborado.

Es importante señalar que en algunos de los casos presentados en este trabajo, el gradiente de isolíneas del PMV fue intenso en espacios cortos (por ejemplo Chapultepec-Tacubaya y Aeropuerto-Hangares), lo que pone de manifiesto los cambios en la carga de calor en espacios cortos y con usos del suelo diferentes. Es conveniente señalar también que el procedimiento utilizado para el trazo de las isolíneas del PMV permite determinar esos patrones de comportamiento en distancias cortas, pues en el caso de un análisis o trazo subjetivo, es posible que se elimine dicha situación por considerarla como un comportamiento anormal.

Es conveniente recordar aquí, por una parte, que los mapas biotopoclimáticos (para toda la ciudad) así como los de isolíneas, son de estado estacionario (esto es, de promedios de al menos 24 h), y bajo una condición específica del PMV, por lo que para días particulares, las situaciones bioclimáticas pueden ser más contrastantes a las presentadas. Como ha sido señalado anteriormente, es una práctica común utilizar datos de días despejados para presentar evaluaciones bioclimáticas; y por otra, que los mapas obtenidos son correspondientes con los datos de las estaciones climatológicas, esto es, no se realizaron traslados o extrapolaciones de valores.

5.5 Sobre la evaluación bioclimática a lo largo de una avenida y en dos delegaciones.

Se analizó la variación del PMV a lo largo del recorrido realizado sobre la avenida de Los Insurgentes en algunos días de las temporadas lluviosa, calurosa y fría. La variación del PMV a lo largo del recorrido mostró cambios en la sensación térmica experimentada, destacándose nuevamente los contrastes entre las áreas verdes o parques y sus alrededores (incluyendo cambio en la sensación térmica) y la parte central de la ciudad con respecto a las zonas norte y sur.

Estos resultados junto con los obtenidos en algunas ciudades medias del país, donde se ha analizado la distribución del bioclima en relación con una propuesta simple de uso del suelo (biotopos), confirman la conveniencia de reducir las áreas correspondientes a los biotopos propuestos, además de que estas áreas más pequeñas son las que responden de una manera bioclimática adecuada.

Aún cuando los tipos de uso del suelo de los mapas utilizados fueron agrupados en los cuatro biotopos propuestos, el amplio número de ellos señalados en los mapas, puede

permitir ampliar el número de biotopos de acuerdo a la información y/ o procedimientos de que se disponga (parametrizaciones por ejemplo).

La elección de las dos delegaciones se basó en la posición de cada una de ellas con respecto al ámbito urbano: centro (Cuauhtémoc) y periferia (Venustiano Carranza), lo cual no deja de lado que el estudio de otras delegaciones sea menos interesante o importante. Puesto que se consideraron valores del PMV de acuerdo a la o a las estaciones en cada una de las delegaciones, los mapas biotopoclimáticos delegacionales concuerdan, a nivel ciudad, con el comportamiento señalado por las isolíneas del PMV.

Por otra parte, a pesar de sólo haber realizado el traslado de valores del PMV de un biotopo a otro, los mapas biotopoclimáticos delegacionales muestran la manera en que pueden ocurrir los cambios en la carga de calor en espacios cortos, lo que en este caso dio lugar a que se presentaran hasta tres condiciones térmicas diferentes en una misma delegación. Nuevamente, los mapas biotopoclimáticos mostrados corresponden a una situación de estado estacionario, por lo que las condiciones térmicas pueden variar de manera significativa en días o condiciones meteorológicas particulares.

En esta reducción de área, que se ha ido dando de manera necesaria y natural, se aprecia un comportamiento esperado de los biotopoclimas ante las horas analizadas y ante los biotopoclimas a su alrededor, aún cuando se deban a valores del PMV trasladados, esto es por ejemplo, que las áreas verdes de las delegaciones Cuauhtémoc y Venustiano Carranza registren una condición térmica confortable a las 15:00 h. l. en abril, en comparación con la sensación térmica de caluroso de los alrededores, aún cuando se haya utilizado el PMV de Chapultepec.

Por otra parte, es conveniente mencionar que si bien el concepto de biotopo es citado con mayor frecuencia en la literatura de habla inglesa, en la literatura de habla germana se ha utilizado el término de *climatopo*, cuya definición (Scherer *et al.*, 1999) señala que son áreas de combinaciones características de factores climáticos y de significancia similar relativa para sus alrededores; operan en una escala espacial de decenas a centenas de metros. En todo caso, tanto el término biotopo como climatopo, representan a las *Unidades de Respuesta Atmosférica* en la escala topoclimática, y su identificación y caracterización como parte de la superficie urbana es de suma importancia para los estudios de clima urbano.

Puesto que todos los procesos físicos y biológicos utilizan, transforman y transfieren energía, la investigación en estos tópicos es básica desde un nivel micro a macro (Terjung, 1979). La variación espacial de algunos términos en los flujos de energía a las escalas más pequeñas de la morfología urbana (por ejemplo de decenas a centenas de metros) son comparables en magnitud a las diferencias urbanas-rurales (Schmid *et al.*, 1991). En este sentido, y dadas las condiciones de tamaño de algunos parques (biotopo área verde) en la delegación Cuauhtémoc, queda al aire la cuestión relativa de hasta dónde considerar que un grupo de árboles (por ejemplo) llega a formar un biotopo. Así, de manera natural y necesaria nuevamente, se presenta la condición de ir a una escala menor a la de los biotopos: la micrometeorológica, cuyos efectos finalmente, no dejan de influir en el bioclima que experimentan las personas.

5.6 Sobre las áreas de influencia y el bioclima

La geometría urbana es una variable que puede ser controlada para la preservación de las condiciones bioclimáticas, desde este punto de vista, la orientación (con respecto al sol y al viento) y la relación altura-separación entre los edificios son los parámetros que definen la geometría de una estructura urbana (Sad y Barros, 1999). Bauer (1998) realizó un estudio micrometeorológico sobre la importancia de las estructuras urbanas en el bioclima humano en Leipzig, en particular para ilustrar la influencia que tienen los planos verticales adyacentes sobre el confort térmico humano. En el cálculo de la absorción de una persona de pie, la densidad de radiación de las superficies adyacentes verticales tuvo más peso que las horizontales. De esta manera ganan en importancia los flujos de radiación de onda larga de las fachadas de los edificios para la valoración bioclimatológica.

El breve análisis aquí reseñado no trata con flujos radiativos ni con medidas específicas, sino más bien trata de mostrar el posible efecto del uso del suelo en el bioclima por efectos advectivos (efecto *fetch*), sobre los cuales hay mucho por investigar en el ámbito urbano. En este sentido, si bien los resultados presentados por Barradas *et al.* (1999) entre los edificios de la Universidad Nacional Autónoma de México y el Pedregal de San Ángel no mostraron evidencia de efectos advectivos, la distancia entre edificios y sensores al parecer jugó un papel importante. Por su parte, los resultados obtenidos de ninguna manera son concluyentes, aunque en todo caso reafirman que para poder aplicar los

resultados de la climatología urbana, es necesario evaluar los diferentes microclimas de una manera termofisiológica relevante.

De manera general, en los estudios micrometeorológicos urbanos los componentes morfológicos se pueden dividir en dos grandes grupos: las estructuras urbanas y las áreas vegetadas. Así, una labor intensa es la caracterización adecuada de la superficie urbana (como la que realizó Tejeda (1996) y que se presentó aquí) en lo que se considera alta resolución (Cionco y Ellefsen, 1998), de tal manera que cuando se cuenta con la información de los componentes natural y los hechos por el hombre (estructuras urbanas por ejemplo), el dominio urbano puede ser utilizado como datos de entrada para los modelos de simulación de los campos meteorológicos a diferentes niveles (micro, local o regional), y cuya aplicación puede redundar en los mapas biotopoclimáticos como ha sido el caso de la propuesta de Sievers y Sdunkowski (1986) en el modelo bioclimático del Servicio Meteorológico Alemán (Jendritzky y Nübler, 1981; Grätz *et al.* 1992; Jendritzky y Grätz, 1998). En este sentido, debe de tenerse muy en claro que la función de un modelo de simulación de campos micrometeorológicos exitosamente acoplado, es la de permitir al usuario simular una alta resolución de dichos campos sobre un área que puede ser muy compleja, con parches de vegetación y estructuras urbanas en una amplia variedad de ensambles, los cuales además, muestran una dinámica que, a veces, puede ser impresionante.

5.7 Conclusiones

En virtud de los diferentes aspectos considerados en este trabajo, con respecto al uso del suelo y su efecto en las variables microclimáticas, se concluye que:

- Por el comportamiento de las variables microclimáticas a lo largo de la Avenida de los Insurgentes, es posible reconocer tres zonas: norte, centro y sur.
- El efecto de *isla de calor* es detectable por el procedimiento utilizado, presentándose en este caso en la zona centro.
- La zona sur presenta condiciones más húmedas que la zona norte.
- El efecto de las áreas verdes sobre las variables microclimáticas, es sensible con respecto a sus alrededores.

- Una primera propuesta de biotopos de la ciudad de México corresponde a las tres zonas diferenciadas.

Por otra parte, de la evaluación bioclimática realizada, se concluye que:

- Si bien en condiciones de actividad sedentaria los índices bioclimáticos empíricos funcionan tan bien como los de balance de energía, la aplicación del PMV, como índice de balance de energía, en la evaluación bioclimática en la ciudad de México tiene un mayor soporte físico.
- El ajuste de la escala de sensaciones térmicas lleva a resultados acordes con situaciones experienciales.
- El ajuste a la escala de sensaciones térmicas implicó tanto una ampliación de intervalos como corrimiento de la escala tanto por la parte fría como de calor.
- Los efectos de la resistencia térmica de la ropa y de la rapidez del viento son significativos en las marchas diurnas y anual del bioclima evaluado mediante el índice PMV
- La marcha diurna y anual del bioclima es diferente dentro de estructuras urbanas con características relativamente similares.

Con relación al biotopoclima de la ciudad así como a las isolíneas del PMV, se tiene que:

- El uso del suelo es una primera aproximación a la definición de biotopos, pero dado el número limitado utilizado en este trabajo, no fue suficiente para caracterizar la superficie urbana de la ciudad de México.
- A pesar del limitado número de biotopos utilizados a nivel de la ciudad, en algunos casos se apreció el efecto de las diferentes superficies consideradas.
- Las isolíneas del PMV representaron mejor las condiciones térmicas de la ciudad que los biotopos, apreciándose incluso los efectos a una escala de superficies contrastantes.

Así como se realizó un análisis de las variables microclimáticas a lo largo de la avenida de Los Insurgentes, el análisis del bioclima en esa avenida señala que:

- A lo largo de las estructuras urbanas las condiciones térmicas varían de una sensación a otra.

- El efecto de la *isla de calor* sobre el bioclima induce a condiciones térmicas más calurosas.
- Por su parte, el efecto de las áreas verdes sobre el bioclima es significativo, favoreciendo condiciones térmicas más frías que la de sus alrededores.

Los resultados de la aplicación de los biotopos en dos delegaciones, conducen a que:

- Se obtienen respuestas térmicas a nivel ciudad acordes con lo presentado por las isolíneas del PMV.
- El traslado de valores del PMV funcionó de manera adecuada para obtener mapas biotopoclimáticos en las delegaciones analizadas.
- Las condiciones térmicas pueden variar entre dos o tres sensaciones térmicas en las áreas consideradas.
- La aplicación a nivel delegación de los cuatro biotopos definidos funciona de manera adecuada y se apega a la condición de unidad de respuesta atmosférica.
- El área de algunos biotopos conduce, de manera natural, a estudios de bioclima que utilizan áreas más pequeñas.

Por su parte y aunque mínima, en las consideraciones relativas a las áreas de influencia, se tiene que:

- Se presentó una tendencia de influencia de las estructuras urbanas de pequeña escala sobre el bioclima.
- Existe una necesidad real de una descripción detallada y análisis de los microclimas urbanos de la ciudad de México.

5.8 Recomendaciones

Finalmente, dada la forma en que se ha desarrollado el presente trabajo y los resultados obtenidos, se observan varias líneas de investigación cuyo estudio complementa y amplía de manera adecuada, los resultados y conclusiones aquí presentados. Entre ellas se tienen:

- 1) La determinación del efecto de la altura de los edificios y ancho de la avenida sobre la cual se realizaron los recorridos.

- 2) La realización de recorridos sobre otras rutas de la ciudad y/o la instrumentación de los vehículos eléctricos (trolebuses) con el fin de ratificar y/o rectificar el impacto del uso del suelo en las variables microclimáticas.
- 3) Evaluación en campo del índice utilizado para llevar a cabo la evaluación bioclimática.
- 4) El uso del PMV o algún otro índice térmico, bajo situaciones que incluyan exposición directa a la radiación solar y diferentes actividades físicas, por ejemplo: caminar.
- 5) La consideración de un mayor número de biotopos, con el fin de obtener mejores mapas biotopoclimáticos que incluyan toda la ciudad.
- 6) La parametrización de variables climáticas de acuerdo al uso del suelo para realizar una extrapolación adecuada en los biotopos.
- 7) La realización de mediciones más precisas, sobre todo de flujos de calor, con el fin de evaluar el impacto del uso del suelo a nivel microclimático.
- 8) Análisis de *fetch* debido a las diferentes estructuras urbanas.
- 9) Integrar todos los resultados en uno o varios modelos microclimáticos o locales, que permitan, junto con otras herramientas (como por ejemplo los Sistemas de Información Geográfica), tener una simulación adecuada de los campos meteorológicos con base en el uso del suelo, y entonces simular condiciones futuras ante un sistema dinámico como lo es la ciudad.

Si bien la climatología urbana no puede resolver por sí sola los problemas que se padecen y/o generan en la ciudad, sí puede auxiliar en una planeación urbana adecuada, mediante lineamientos o guías, cuyos resultados pueden reflejarse en una disminución de la sobrecarga termofisiológica, y en consecuencia en la disminución de morbilidad y/o mortalidad, consumo de energía y en la producción de mejores ambientes en los que el hombre puede desarrollarse mejor.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, G. A., 1994. El cambio climático global y la vulnerabilidad de los asentamientos humanos. En: *México ante el Cambio Climático*. Memorias del Primer Taller de Estudio de País: México. Pp 203-212.
- Asaeda, T., V. T. Ca y A. Wake, 1996. Heat storage of pavement and its effect on the lower atmosphere. *Atmospheric Environment* 30(3):413-427.
- ASHRAE, 1966/1992. Standard 55-56: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. American Society Of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE). Atlanta, Ga.
- Auliciems, A., 1992. Greenhouse warmed Europe: thermoregulatory criteria for future indoor climate management. *Int. Journal of Biometeorol.* 36:201-209.
- Auliciems, A. 1994. Thermoregulatory daptation to global warming-winners and losers. *Proceed. 13th Int. Congress of Biometeorology*. Calgary, Canada. 109-122.
- Balafoutis, Ch. J., 1989. Diurnal variation of wind-chill at Thessaloniki, Greece. *Int. Journal of Biometeorology*. 33:266-271
- Barradas, V. L., 1991. Air temperature and humidity and human comfort index of some city parks of Mexico City. *Int. Journal of Biometeorology*. 35:24-28
- Barradas, V. L., A. Tejada y E. Jáuregui, 1999. Energy balance measurements in a suburban vegetated area in Mexico City. *Atmospheric Environment* 33:4109-4113.
- Bauer, B., 1998. Mikrometeorologische Untersuchung und human-biometeorologische Bewertung kleinräumiger Stadstrukturen. *Meteorol. Zeitschrift* 7:36-40.
- Bauer, B., J. Breuste, A. Matzarakis y H. Mayer, 2000. Micro-meteorological measurements in small urban structures. En *Biometeorology and Urban Climatology at the Turn of the Millenium: Selected papers from the Conference ICB-ICUC '99*. R. J. De Dear, J. D. Kalma, T. R. Oke y A. Auliciems (eds). 47-52
- Blazejczyk, K., 1990. Zroznicowanie biotopoklimatyczne wybranych typow krajobrazu. En: *Problemy Wspolczesnej Topoclimatologii (Problems of Contemporary Climatology)*. Conference papers 4. Ins. of Geog. and Spatial Organization Polish Academy of Sciences). 175-187.
- Blazejczyk, K y B. Krawczyk, 1994. Bioclimatic research based on man-environment heat exchange. En *Contemporary Climatology*. R. Brzdil and K. Kolav (eds). Brno, Checoslovaquia. Pp. 55-60.

- Blazejczyk, K., H. Tokura, A. Bortkiewics y W. Szymczak, 2000. Solar radiation and thermal physiology in man. En *Biometeorology and Urban Climatology at the Turn of the Millenium: Selected papers from the Conference ICB-ICUC '99*. R. J. De Dear, J. D. Kalma, T. R. Oke y A. Auliciems (eds). 267-271
- Brager, G. S. y R. J. De Dear, 1998. Thermal adaptation in the built environment: a literature review. *Energy and Buildings* 27:83-96.
- Bründl, W. y P. Höpfe, 1984. Advantages and disadvantages of the urban heat island-An evaluation according to the hygro-thermic effects. *Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser. B.* 35:55-66.
- Buettner, K., 1951. Physical aspects of human bioclimatology. *Compendium of Meteorology*. American Meteorology Society. Pp. 1112-1125.
- Carlson, T. N., J. K. Dodd, S. G. Benjamin y J M. Cooper, 1981. Satellite estimation of the surface energy balance, moisture availability and thermal inertia. *Journal of Applied Meteorology*. 20:67-87.
- Cervantes, J., V. L. Barradas, A. Tejeda, Q. Angulo, C. Triana y G. Gutiérrez, 2000a. Aspectos del Clima Urbano de Villahermosa, Tabasco, México. *Universidad y Ciencia*. 16(31):10-18
- Cervantes, J., V. L. Barradas, A. Tejeda y D. Pereyra, 2000b. Clima Urbano, Bioclima Humano, Hidrología Superficial y Evaluación de Riesgos por Hidrometeoros en Xalapa. *Anexo del Reporte del Proyecto Areas Verdes Públicas y Calidad de Vida Urbana (Primera Fase) (SIGOLFO 97-04-001-V/97-09-04-002)*. 154 p.
- Chandler, T., 1967. Absolute and relative humidities in towns. *Bull. Am. Meteorol. Society*. 48:394-399.
- Cionco, R. M. y R. Ellefsen, 1998. High resolution urban morphology data for urban wind flow modelling. *Atmospheric Environment* 32(1):7-17.
- Clark, J. F. y W. Bach, 1971. Comparison of the comfort conditions in different urban and suburban microenvironments. *Int. Journal of Biometeorology* 15(1):41-54.
- Ealiwa, M.A., A. H. Taki, A. T. Howarth y M. R. Seden, 2001. An investigation into thermal comfort in the summer season of Ghadames, Libya. *Building and Environment*. 36:231-237.
- Espinosa, M., 1994. Bioclimatología urbana de la ciudad de México. *Tesis de Lic. en Geografía*. Fac. de Filosofía y Letras UNAM. México, D.F. 140 pp.
- Fanger, P. O., 1970. *Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering*. Danish Technical Press. Copenhagen. 244 pp.
- Gagge, A. P., A. C. Burton y H. C. Bazett, 1941. A practical system of units for the description of the heat exchange of man with his environment. *Science* 94:428-430.

- García, H., 1988. El uso del suelo en la zona metropolitana de la ciudad de México. Capítulo 7 Organización Espacial del Área Urbana de la ciudad de México. En: *Atlas de la Ciudad de México*. Fascículo 1: presentación, introducción y mapas.
- Givoni, B., 1974. Biometeorological indices. En: *Progress in Biometeorology*. Vol I Part 1A. Swetz and Zeitlinger. Amsterdam. Pp:138-145.
- Grätz, A., G. Jendritzky y U. Sievers, 1992. The urban bioclimate model of the Deutscher Wetterdienst. En: K. Höschel (ed) *Planning and Applications of Urban and Building Climatology*. Proc. of the IFPH/CIB Symposium Berlin. Pp. 96-105.
- Gregorczyk, M., 1968. Bioclimates of the world related to air enthalpy. *Int. Journal of Biometeorology*. 12:35-39.
- Griffiths, J., 1966. *Applied Climatology. An Introduction*. Oxford University Press. 154 pp.
- Grimmond, C. S. B. y C. Souch, 1994. Surface description for urban climate studies: a GIS based methodology. *Geocarto International* 1:47-59.
- Grimmond, C. S. B., H. A. Cleugh y T. R. Oke, 1991. An objective heat storage model and its comparison with other schemes. *Atmospheric Environment*. 25(B):311-326.
- Hentschell, G. 1986. A human biometeorology classification of climate for large and local scales. En: *Proc. of the Symposium in Leningrad*. Vol. I:120-138.
- Hernández, E., E. Mayer y A. Alcántara, 1986. *Recomendaciones bioclimáticas para la vivienda*. UNAM-U. de Colima- U. VII de Paris. México, D.F.
- Hess, S. L., 1979. *Introduction to Theoretical Meteorology*. Holt Rinehard and Winston. 349 pp.
- Hoyano, A., A. Iino, M. Ono y S. Tanigachi, 1999a. Analysis of the influence of urban form and materials on sensible heat flux - a case study of Japan's largest housing development "Tama New Town". *Atmospheric Environment*. 33:3931-3939.
- Hoyano, A., K. Asano y T. Kanamaru, 1999b. Analysis of the sensible heat flux from the exterior surface of building using time sequential thermography. *Atmospheric Environment*. 33:3941-3951.
- Irwin, S. J., 1979. A theoretical variation of the wind profile power-law exponent as a function of surface roughness and stability. *Atmospheric Environment*. 13:191-194.
- ISO 7730, 1984/1995. *Moderate thermal environment-determination of the PMV and PPD indices and specifications for thermal comfort*. 2nd Ed. Geneva, Switzerland: International Organisation for Standardisation.

Jáuregui, E., 1971. Evaluación del bioclima en dos clínicas de la ciudad de México. *Boletín del Inst. de Geografía UNAM* 4:23-36.

Jáuregui, E., 1973. The urban climate of Mexico City. *Erdkunde* 27:298-306.

Jáuregui, E., 1986. The urban climate of Mexico City. En: *Urban Climatology and its Applications with Special Regard to Tropical Areas*. WMO No. 652:63-86.

Jáuregui, E., 1998. El clima urbano de la ciudad de México. En: *La Climatología Urbana y sus Aplicaciones con Especial Referencia a las Regiones Tropicales*. OMM-No 652:55-74.

Jáuregui, E., 1993. Mexico City's urban heat island revisited. *Erdkunde* 47:185-195.

Jáuregui, E., 1995. Aspects of day-time urban heat island development in Mexico City. En: *Proc. Int. Symposium on Environment and Biometeorology*. Beijing, July- 22-24.

Jáuregui, E., 1997. Heat island development in Mexico City. *Atmospheric Environment* 31(22):3821-3831.

Jáuregui, E., 2000. *El clima de la ciudad de México*. E. Jáuregui-Instituto de Geografía-Plaza Editores. 131 Pp.

Jáuregui, E. y A. Tejeda, 1997. Urban-rural humidity contrasts in Mexico City. *Int. J. of Climatology*. 17:187-196.

Jáuregui, E. y A. Tejeda, 2001. A scenario of human thermal conditions in Mexico City for 2CO₂ conditions. *Atmósfera* (en prensa).

Jáuregui, E., J. Cervantes y A. Tejeda, 1997. Bioclimatic conditions in Mexico City-an assessment. *Int. Journal of Biometeorology*. 40:166-177.

Jendritzky, G. y A. Grätz, 1998. Mapping human bioclimates in various scales with particular reference to urban design. *Preprints of the 13th Conference on Biometeorology and Aerobiology*. Alburquerque AMS:1968-171.

Jendritzky, G. y W. Nübler, 1981. A model analysing the urban thermal environment in physiologically significant terms. *Archives for Meteorology, Geophysics and Bioclimatology*. Serie B 29:313-326.

Jendritzky, G., A. Grätz y M. Friedich, 2000. The assessment of human thermal climates in cities. En: *Biometeorology and Urban Climatology at The Turn of the Millenium. selected papers from the conference ICB-ICUC '99*. Editado por R. J. de Dear, J. D. Kalma, T. R. Oke y A. Auliciems. WMO/TD No. 1026. 65-69.

Kaimal, J. C. y J. J. Finnigan, 1994. *Atmospheric Boundary Layer Flows. Their Structure and Measurement*. Oxford University Press. 289 pp.

Kalstein, L.S., W. J. Maunder y G. Jendritzky, 1996. *Climate and Human Health*. Publication No. 843 WMO. Ginebra, Suiza. 24 Pp.

Karrasch, H. 1992. Land-use parameters and bioindication as tools in the recognition and prediction of urban climatic effects. En: *Planning Applications of Urban and Building Climatology*. Proc. of the IFHP/CIB Symposium. Berlin, October 14-15. K. Höschele (ed). p. 106-115.

Kitadinis, P. K., 1999. *Introduction to Geostatistics: Applications in Hidrogeology*. Cambridge University Press. 249 Pp.

Krawczyk, B., 1994. Human heat balance and its applications in bioclimatology. En: *Bioclimatic Research of the Human Heat Balance*. 28:7-12.

Landsberg, H. E., 1972. Assessment of human bioclimates. A limited review of physical parameters. *Nota Técnica No. 123 de la WMO*. Ginebra, Suiza. 36 pp.

Macpherson, R. K., 1962. The assessment of the thermal environment. A review. *Brit. J. Ind. Med.* 19:151-164.

Mardia, K. V., 1972. *Statistics of Directional Data*. Ac. Press. 357 pp.

Martens, E., 1999. Bioclimate and city planning- open space planning. *Atmospheric Environment*. 33:4115-4123.

Matzarakis, A., F. Rutz y H. Mayer, 2000. Estimation and calculation of the mean radiant temperature within urban structures. En: *Biometeorology and Urban Climatology at The Turn of the Millenium. selected papers from the conference ICB-ICUC '99*. Editado por R. J. de Dear, J. D. Kalma, T. R. Oke y A. Auliciems. WMO/TD No. 1026: 273-278.

Mayer, H. y P. Höppe, 1987. Thermal comfort of man in different urban environments. *Theor. Appl. Climatol.* 30:43-49

Miranda, U., 1993. Un índice de confort a partir del balance energético humano. *Tesis de Lic. en Física*. Fac. de Física de la Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver. 106 pp.

Morgan, D. L. y R. L. Baskett, 1974. Comfort of man in the city. An energy balance model of man-environment coupling. *Int. Journal of Biometeorology* 18(3):184-198.

Oke, T. R. 1981. Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations. *Journal of Climatology*. 1:237-254.

Oke, T. R. 1982. The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 108:1-24.

Oke, T., 1987. *Boundary Layer Climates* (segunda edición). Methuen and Co. 435 pp.

Oke, T. R., B. D. Kalanda y D. G. Stern, 1980/1981. Parametrization of heat storage in urban areas. *Urban Ecology*. 5:45-54.

Oke, T. R., G. Zeuner y E. Jáuregui, 1992. The surface energy balance in Mexico City. *Atmospheric Environment* 26B(4):433-444.

Oliver, E., 1972. *Climate and Man's Environment: An Introduction to Applied Climatology*. John Wiley and Sons. 372 pp.

O'Meara, M., 1999. Exploring a new vision for cities. En: *State of The World. A Worldwatch Institute Report on Progress Toward a Sustainable Society*. W. W. Norton and Company. Pp. 133-150.

Organización Meteorológica Mundial (OMM), 1992. *Vocabulario Meteorológico Internacional*. Ginebra, Suiza. 276 pp.

Organización Meteorológica Mundial (OMM), 1993. *Guide to meteorological instruments and methods of observation*. Ginebra, Suiza.

Pearlmutter, D., A. Bitan y P. Berliner, 1999. Microclimatic analysis of "compact" urban canyons in an arid zone. *Atmospheric Environment* 33:4143-4150.

Petersen, J., 1984. Global population projections through the 21st century: a scenario for this issue. *Ambio* 13:134-141.

Potter, J., y R. de Dear, 2000. Field study to calibrate an outdoor thermal comfort index. En: *Biometeorology and Urban Climatology at The Turn of the Millennium. selected papers from the conference ICB-ICUC '99*. Editado por R. J. de Dear, J. D. Kalma, T. R. Oke y A. Auliciems. WMO/TD No. 1026. 315-320.

Precht, H., J. Christophersen, H. Hensel y W. Larcher, 1973. *Temperature and Life*. Springer-Verlag. Germany. 779 pp.

Sad de Assis, E. y A. Barros Frota, 1999. Urban bioclimatic strategies for a tropical city. *Atmospheric Environment*. 33:4135-4142.

SARH (Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos), 1979. *Instructivo para efectuar observaciones meteorológicas en las estaciones climatológicas*. México, 73 pp.

Scherer, D., U. Fehrenbach, H. D. Beha y E. Parlow, 1999. Improved concepts and methods in analysis and evaluation of the urban climate for optimizing urban planning processes. *Atmospheric Environment*. 33:4185-4193.

Schmid, H. P. 1997. Experimental design for fluxes measurements: matching scales of observations and fluxes. *Agricultural and Forest Meteorology* 87:179-200.

Schmid, H. P. y T. R. Oke, 1981. A model to estimate the source area contributing to surface layer turbulence at a point over a patchy surface. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 116:965-988.

Schmid, H. P., H. A. Cleugh, C. S. B. Grimmond y T. R. Oke, 1991. Spatial variability of energy fluxes in suburban terrain. *Boundary-Layer Meteorology.* 54:249-276.

Sievers, U. y G. Zdunkowski, 1986. A microscale urban climate model. *Beitr. Phys. Atmosph.* 59(1):13-40.

SMN (Servicio Meteorológico Nacional) s/f. *Normales Climatológicas. Periodo 1951-1980.*

Steadman, R.G., 1979. The assessment of sultriness. Part I: a temperature-humidity index based on human physiology and clothing science. Part II: effects of wind, extra radiation and barometric pressure on apparent temperature. *J. of Appl. Meteorol.* 18:861-885.

Steel, R. y J. H. Torrie, 1988. *Bioestadística.* Principios y aplicaciones. Ed. McGraw-Hill. México, D.F. 622 pp.

Steyn, D. G., 1980. The calculation of view factors from fish-eye lens photographs. *Atmosphere-Ocean.* 18:254-258.

Swaid, H., M. Bar-El y M. E. Hoffman, 1993. A bioclimatic design methodology for urban outdoor spaces. *Theor. Appl. Climatol.* 48:49-61.

Taesler, R., 1986. Climate characteristic and human health- the problem of climate classification. En: *Climate and Human Health. Proceedings of the Symposium in Leningrad.* Volume I. 22-26 September. Pp:81-119.

Tejeda, A., 1991. Sobre la palabra clima. *Extensión* 39: 27-29.

Tejeda, A., 1994. On the evaluation of the wet bulb temperature as a function of dry bulb temperature and relative humidity. *Atmósfera* 7:179-184.

Tejeda, A., 1996. Sobre mediciones y parametrizaciones del balance energético y la estabilidad atmosférica en la ciudad de México. *Tesis de Doctor en Geografía.* Fac. de Filosofía y Letras UNAM. 76 pp.

Tejeda, A. y J. Cervantes, 1994. Manejo y presentación de datos de viento superficial. *Geografía y Desarrollo.* Año 6 Vol. II Núm. 11: 49-57.

Terjung, H. W., 1966. Physiologic climates of the conterminous United States: a bioclimatic classification based on man. *Ann. Assoc. Am. Geog.* 56:141-179.

Terjung, W. H., 1970. The energy balance climatology of a city-man system. *Annals of Association of American Geographers.* 60:466-492.

Tromp, S. W., 1974. Principal centres in the human body registering meteorological stimuli. En: *Progress in Biometeorology*. Vol I Part 1A. Swetz and Zeitlinger. Amsterdam. Pp:119-131.

Tudela, F., 1982. *Ecodiseño*. Ediciones UAM. 223 pp.

Vinet, J., M. J. Antoine, F. Raymond y C. Inard, 2000. Modelling the impact of urban vegetation to analyse urban microclimate and outdoor thermal comfort. En *Biometeorology and Urban Climatology at the Turn of the Millenium: Selected papers from the Conference ICB-ICUC '99*. R. J. De Dear, J. D. Kalma, T. R. Oke y A. Auliciems (eds). 3-8.

Weihe, W. H., 1988. La esperanza de vida en los climas tropicales en función de la urbanización. En: *La Climatología Urbana y sus Aplicaciones con Especial Referencia a las Regiones Tropicales*. OMM-No 652: 274-311.

Yamashita, S., 1996. Some studies of heat island in Japan with special emphasis of the climatological aspects. *Geographical Review of Japan* Vol. 61 (Ser. B) 1:1-13.

Yamashita, S., 1996. Detailed structure of heat island phenomena from moving observations from electric tram-cars in metropolitan Tokyo. *Atmospheric Environment* 30(3):429-435.

Yamashita, S. y K. Sekine, 1990/1991. Some studies on the Earth's surface conditions relating to the urban heat island. *Energy and Buildings*. 15-16:279-288.

Yoshida, A., M. Moriyama y H. Miyazaky, 1995. Field studies on thermal environments in some type of urban blocks. En: *Proceedings of a Japanese-German Meeting*. Karlsruhe. K. Höschele, M. Moriyama y H. Zimmermann (eds)

APÉNDICE 1

Derivación del índice térmico PMV¹²

A1.1. Introducción

El confort térmico se define como “la condición mental que expresa la satisfacción con el ambiente térmico”. La neutralidad térmica se define como “la condición en la cual un sujeto prefiere alrededores ni más cálidos ni más fríos”. Así, la neutralidad térmica es una condición necesarias para el confort térmico aunque no suficiente. Por instancia, una persona expuesta a un campo radiante asimétrico puede estar en neutralidad térmica sin estar confortable. En la mayoría de los casos, sin embargo, la neutralidad térmica será la misma que el confort térmico.

Las variables más importantes que influyen en la condición de confort térmico son:

- Nivel de actividad (producción de calor en el cuerpo)
- Resistencia térmica de la ropa
- Temperatura del aire
- Temperatura media radiante
- Rapidez relativa del viento
- Presión del vapor

El confort térmico se puede alcanzar por muchas combinaciones de estas variables, de tal forma que la hipótesis del trabajo es que el efecto térmico combinado de las variables mencionadas sobre el cuerpo es más importante que el efecto individual. Por otra parte, las investigaciones experimentales han mostrado que la temperatura de la piel y la secreción de sudor a un nivel de actividad dado, están cercanamente relacionadas con la sensación de confort térmico.

Así, los objetivos son, en primera instancia:

- Obtener una ecuación general de confort térmico que contenga las seis variables básicas.
- Que por medio de la ecuación de confort térmico sea posible calcular, para cualquier actividad y vestido, todas las combinaciones de las seis variables que generen un confort óptimo en los humanos.

Por otra parte, la ecuación de confort térmico no es aplicable para la evaluación del ambiente térmico de una habitación, puesto que sólo indica cómo se pueden combinar las

¹² Este apéndice se extrajo de Fanger (1970).

variables para crear un confort térmico óptimo. Tampoco da información de la sensación térmica de las personas en un ambiente que se desvía del óptimo. En consecuencia, un objetivo más, es la creación de un índice que es una escala psico-física del **Voto Medio Predicho** (Predicted Mean Vote) de un grupo numeroso de personas, así mismo, que dicho índice provea información acerca de la desviación de la ecuación de confort, esto es, del grado de desconfort.

A1.2 Condiciones para el confort térmico.

a) La primera condición necesaria para tener confort térmico es la existencia de un equilibrio de calor, condición que está lejos de ser suficiente. El sistema termoregulatorio del cuerpo humano es muy efectivo y crea un balance de calor dentro de amplios límites aún cuando el confort no exista. Dicho balance se considera que depende de las variables señaladas en la ecuación A1.1

$$f(H/A_{Du}, I_{cl}, T, T_{mrt}, e, v, T_s, Q_{sw}/A_{Du}) = 0 \quad (A1.1)$$

donde:

H/A_{Du} : producción interna de calor (Kcal/m² hr)

I_{cl} : resistencia térmica total desde la piel a la superficie externa de la ropa (adimensional, valor clo)

T : temperatura del aire (°C)

T_{mrt} : temperatura media radiante (°C)

e : presión del vapor del agua (mmHg)

v : rapidez relativa del viento (m/s)

T_s : temperatura media de la piel (°C)

Q_{sw}/A_{Du} : pérdida de calor por evaporación del sudor (kcal/hr)

b) La segunda y tercer condición se basan en el hecho de que la temperatura de la piel (T_s) y la secreción del sudor (Q_{sw}) son las únicas variables que influyen en el balance de calor. La *sensación* del confort térmico ha sido relacionada a la magnitud de esas variables:

$$T_s = f(H/A_{Du}) \quad (A1.2)$$

$$Q_{sw} = A_{Du} f(H/A_{Du}) \quad (A1.3)$$

en consecuencia, la ecuación de confort térmico depende únicamente de las siguientes variables:

$$f(H/A_{Du}, I_{cl}, T, T_{mrt}, e, v) = 0 \quad (A1.4)$$

Puesto que el propósito del sistema termorregulador del cuerpo humano es mantener la temperatura interna constante, se puede asumir que para exposiciones largas a un ambiente térmico constante (moderado) con una razón metabólica constante, entonces debe existir un equilibrio de calor en el cuerpo, esto es, la producción de calor será igual a la disipación y en consecuencia no habrá un almacenamiento significativo de calor en el cuerpo. El balance de calor para esta condición es:

$$H - Q_{SWD} - Q_{SWS} - Q_{RL} - Q_{RD} = K = E_{KM} + Q_C \quad (A1.5)$$

donde:

H: producción interna de calor en el cuerpo (Kcal/h).

Q_{SWD} : pérdida de calor por difusión del vapor de agua a través de la piel (Kcal/h).

Q_{SWS} : pérdida de calor por evaporación del sudor desde la superficie de la piel (Kcal/h).

Q_{RL} : pérdida de calor latente por respiración (Kcal/h).

Q_{RD} : pérdida de calor por respiración "seca"(calor sensible) (Kcal/h).

K: transferencia de calor desde la piel a la superficie exterior del cuerpo vestido (conducción a través de la ropa) (Kcal/h).

E_{KM} : pérdida de calor por radiación desde la superficie exterior del cuerpo vestido (Kcal/h).

Q_C : pérdida de calor por convección desde la superficie exterior del cuerpo vestido (Kcal/h).

O bien, agrupando términos:

$$\begin{array}{r} H \\ \text{Producción} \\ \text{interna de} \\ \text{Calor} \end{array} - \begin{array}{r} (Q_{SW} + Q_{SWS}) \\ \text{Pérdida de calor} \\ \text{por} \\ \text{evaporación desde} \\ \text{la piel} \end{array} - \begin{array}{r} (Q_{RL} + Q_{RD}) \\ \text{Pérdida de calor} \\ \text{por} \\ \text{Respiración} \end{array} = \begin{array}{r} K \\ \text{Calor} \\ \text{conducido a} \\ \text{través del} \\ \text{vestido} \end{array} = \begin{array}{r} (E_{KM} + Q_C) \\ \text{Disipación de} \\ \text{calor por radia-} \\ \text{ción y convec-} \\ \text{ción desde el} \\ \text{vestido} \end{array} \quad (A1.6)$$

Haciendo un pequeño desglose de cada una de las variables consideradas, se tiene que:

a) La producción interna de calor (H), es la energía liberada por los procesos de oxidación en el cuerpo humano por unidad de tiempo (razón metabólica \dot{M}), la cual es convertida parcialmente en energía mecánica externa (W), pero principalmente en el calor interno del cuerpo (H), siendo:

$$M = H + W \quad (A1.7)$$

y considerando la eficiencia mecánica externa:

$$\eta = W/M$$

entonces:

$$H = M (1 - \eta) \quad (A1.8)$$

expresada por unidad de área:

$$H/ A_{Du} = M/ A_{du} (1 - \eta) \quad (\text{Kcal/h m}^2) \quad (A1.9)$$

donde A_{Du} es el área de DuBois (área de la piel) que se relaciona al peso (W) en Kg y a la altura (H) en m de un individuo:

$$A_{Du} = 0.203 \underline{W}^{0.425} H^{0.725} \quad (\text{m}^2) \quad (A1.10)$$

b) La pérdida de calor por difusión del vapor de agua a través de la piel (Q_{SWD}), se encuentra asumiendo que la magnitud de la difusión por unidad de área es proporcional a la diferencia entre la presión de saturación del vapor (e_s) a la temperatura de la piel y la presión parcial del vapor (e) en el aire:

$$Q_{SWD} = \lambda m A_{Du} (e_s - e) \quad (A1.11)$$

donde:

Q_{SWD} = pérdida de calor por difusión del vapor a través de la piel.

λ = calor de vaporización del agua a 35° C = 575 kcal/kg

m = coeficiente de "permeabilidad" de la piel = 6.1×10^{-4} (kg/hr m² mmHg).

e_s = presión de saturación del vapor a la temperatura de la piel (mmHg). $e_s = 1.92 T_s - 25.3$ (mmHg) donde T_s =temperatura de la piel en °C.

e = presión parcial del vapor del aire (mmHg).

Así, sustituyendo λ , m y e_s se obtiene:

$$Q_{SWD} = 0.35 A_{Du} (1.92 T_s - 25.3 - e) \quad (A1.12)$$

c) Pérdida de calor por evaporación del sudor secretado. Para una secreción moderada de sudor y temperatura del aire moderado así como presión del vapor, las cuales se aplican a personas en confort térmico, parece razonable asumir que todo el vapor secretado se evapora. La magnitud de la secreción de sudor es una función de la actividad:

$$Q_{SWS} = 0.42 A_{Du} (H/A_{Du} - 50) \quad (A1.13)$$

d) Pérdida de calor latente por respiración.

El calor y el vapor son transferidos al aire inspirado por convección y evaporación desde la mucosa del tracto respiratorio. Al alcanzar el alvéolo el aire se encuentra a la temperatura central del cuerpo y saturado. Conforme el aire se mueve hacia afuera, el aire regresa algo de calor al cuerpo y el vapor es condensado, pero el aire expirado que sale de la nariz contiene más calor y agua que el aire inspirado en ambientes confortables. Por consiguiente, la respiración resulta en una pérdida de calor latente y una pérdida de calor sensible (respiración seca) desde el cuerpo.

La pérdida de calor latente por respiración es una función de la ventilación pulmonar y de la diferencia en contenido de agua entre el aire inspirado y expirado:

$$Q_{RL} = V (W_{ex} - W_a) \lambda \quad (A1.14)$$

donde:

Q_{RL} : pérdida de calor latente por respiración (Kcal/h)

V : ventilación pulmonar = 0.0060M (Kg/h)

W_{ex} : razón húmeda de expiración del aire (Kg agua/Kg aire seco)

W_a : razón húmeda de inspiración del aire (Kg agua/Kg aire seco)

λ : calor de vaporización del agua a 35° C = 575 Kcal/Kg

considerando que:

$$W_{ex} - W_a = 0.0227 + 0.000065 T - 0.80 W_a$$

$$W_{ex} - W_a = 0.029 - 0.080 W_a$$

pero:

$$W_a = 0.622 (e/(P - e)) - 0.00083 e \approx 0.00083 e$$

donde:

e : presión parcial del vapor en el aire inspirado (mmHg)

P : 760 mmHg

entonces:

$$W_{ex} - W_a = 0.029 - 0.00066 e \text{ (Kg agua /Kg aire seco).}$$

por tanto, E_{re} se puede expresar como:

$$Q_{RL} = 0.0023 M (44 - e) \quad (A1.15)$$

e) La Pérdida de calor por respiración seca, es la pérdida de calor desde el cuerpo debido a la diferencia en temperatura entre el aire expirado y el aire inspirado.

$$Q_{RL} = V C_p (T_{ex} - T) = 0.014 M (T_{ex} - T) \quad (A1.16)$$

donde:

C_p : calor específico del aire a presión constante = 0.24 Kcal/Kg °C

t_{ex} : temperatura del aire expirado = $32.6 + 0.066 T + 32 W_a \approx 34^\circ C$.

Entonces:

$$Q_{RL} = 0.0014M (34 - T) \quad (A1.17)$$

f) Conducción del calor a través de la ropa.

La transferencia del calor seco entre la piel y la superficie exterior del cuerpo vestido es muy compleja e involucra procesos de convección y radiación. Para simplificar los cálculos, Gagge *et al.* (1941) introdujeron un término empírico para la resistencia térmica del vestido:

$$I_{cl} = R_{cl}/0.18 \quad (clo)$$

donde.

R_{cl} es la resistencia total de transferencia de calor desde la piel a la superficie externa de la ropa del cuerpo vestido ($m^2 h \text{ }^\circ C/Kcal$). Entonces, la transferencia de calor seco desde la piel hasta la superficie exterior del cuerpo vestido puede expresarse como:

$$K = A_{Du} (T_s - T_{cl}/0.18 I_{cl}) \quad (A1.18)$$

g) La pérdida de calor por radiación entre el cuerpo humano y sus alrededores tiene lugar como la que se da entre dos objetos físicos. Ésta puede expresarse utilizando la ley de Stefan-Boltzmann:

$$R = A_{eff} \varepsilon \sigma \{ (T_{cl} + 273)^4 - (T_{mrt} + 273)^4 \} \quad (A1.19)$$

donde:

A_{eff} es el área de radiación efectiva del cuerpo vestido (m^2), ε es la emitancia de la superficie exterior del cuerpo vestido = 0.97, σ es la constante de Stefan-Boltzmann = 4.98×10^{-8} (Kcal/m² h °K⁴) y T_{mrt} es la temperatura media radiante (°C). Considerando que $A_{eff} = f_{eff} f_{cl} A_{Du}$ y que dentro de esta expresión $f_{eff} = 0.71$ y f_{cl} se determina para cierto tipo de ropa, entonces:

$$R = 3.4 \times 10^{-8} A_{Du} f_{cl} \{ (T_{cl} + 273)^4 - (T_{mrt} + 273)^4 \} \quad (A1.20)$$

h) La pérdida de calor por convección se obtiene a través de la siguiente relación:

$$Q_C = A_{Du} f_{cl} h_c (T_{cl} - T) \quad (A1.21)$$

donde:

h_c es el coeficiente de transferencia convectiva (Kcal/m² h °C), con $h_c = 2.05 (T_{cl} - T)^{0.25}$ para convección libre ($v < 0.1$ m/s) y $h_c = 10.4 \sqrt{v}$ para convección forzada, es decir cuando la rapidez del viento es mayor a 0.1 m/s.

A1.3 La ecuación de confort térmico

Considerando cada una de las expresiones deducidas para cada término que aparece en el balance de calor corporal, la ecuación A1.6 adquiere la siguiente forma:

$$\begin{aligned} (M/A_{Du}) (1 - \eta) - 0.35 [1.92 T_s - 25.3 - P_a] - (Q_{SWS}/A_{Du}) - 0.0023 (M/A_{Du}) (44 - e) - \\ 0.0014 (M/A_{Du}) (34 - T) = [T_s - T_{cl} / 0.18 I_{cl}] = 3.4 \times 10^{-8} f_{cl} [(T_{cl} + 273)^4 - (T_{mrt} + 273)^4] \\ + f_{cl} h_c (T_{cl} - T) \end{aligned} \quad (A1.22)$$

La temperatura de la piel y la pérdida de calor por evaporación, son funciones de la actividad:

$$T_s = 35.7 - 0.032 (H/ A_{Du}) \quad (A1.23)$$

$$Q_{SWS} = 0.42 A_{Du} (H/ A_{Du} - 50) \quad (A1.24)$$

Sustituyendo estos términos en la ecuación A1.22, que es la ecuación de balance, se tiene:

$$\begin{aligned} (M/A_{Du}) (1 - \eta) - 0.35 [43 - 0.61 (M/A_{Du}) (1 - \eta) - e] - 0.42 [(M/A_{Du}) (1 - \eta) - 50] - \\ 0.0023 (M/A_{Du}) (44 - e) - 0.0014 (M/A_{Du}) (34 - T) \\ = [35.7 - 0.032 (M/A_{Du}) (1 - \eta) - T_{cl} / 0.18 I_{cl}] \\ = 3.4 \times 10^{-8} f_{cl} [(T_{cl} + 273)^4 - (T_{mrt} + 273)^4] + f_{cl} h_c (T_{cl} - T) \end{aligned} \quad (A1.25)$$

Ahora bien, igualando el término izquierdo de la doble ecuación con el derecho de la misma, se obtiene:

$$\begin{aligned} (M/A_{Du}) (1 - \eta) - 0.35 [43 - 0.61 (M/A_{Du}) (1 - \eta) - e] - 0.42 [(M/A_{Du}) (1 - \eta) - 50] - 0.0023 \\ (M/A_{Du}) (44 - e) - 0.0014 (M/A_{Du}) (34 - T) = \\ 3.4 \times 10^{-8} f_{cl} [(T_{cl} + 273)^4 - (T_{mrt} + 273)^4] + f_{cl} h_c (T_{cl} - T) \end{aligned} \quad (A1.26)$$

que es la ecuación general de confort térmico. Además, de la doble ecuación A1.25, resolviendo para la parte izquierda, se obtiene la siguiente expresión para T_{cl} :

$$T_{cl} = 35.7 - 0.032 (M/A_{Du}) (1 - \eta) - 0.18 I_{cl} \{ (M/A_{Du}) (1 - \eta) - 0.35 [43 - 0.61 (M/A_{Du}) (1 - \eta) - P_a] - 0.42 [(M/A_{Du}) (1 - \eta) - 50] - 0.0023 (M/A_{Du}) (44 - e) - 0.0014 (M/A_{Du}) (34 - T) \} \quad (^\circ\text{C}) \quad (\text{A1.27})$$

Así, la ecuación general de confort contiene las siguientes variables:

I_{cl}, f_{cl}	$M/A_{Du}, v$	v, T, e, T_{mrt}
Una función del tipo de ropa	Una función del tipo de actividad	Variables ambientales

de tal forma, que para cualquier tipo de ropa y actividad, es posible calcular combinaciones razonables de rapidez relativa del viento, temperatura de aire, humedad del aire y temperatura media radiante para crear condiciones óptimas de confort para personas en estado estacionario.

A1.4 El índice PMV (Voto Medio Predicho)

La satisfacción de la ecuación de confort es una condición necesaria para el confort térmico. Sin embargo, la ecuación sólo da información acerca de cómo pueden ser combinadas las variables para crear un confort térmico. Sin embargo, con la ecuación de confort como punto de partida, se deriva un índice que hace posible una predicción de la sensación térmica para cualquier valor clo , nivel de actividad y las cuatro variables ambientales ya descritas.

Usando la siguiente escala de sensaciones térmicas:

> 2.5	Muy caluroso
1.5 -- 2.5	Caluroso
0.5 -- 1.5	Ligeramente caluroso
-0.5 -- 0.5	Neutro
-1.5 -- -0.5	Ligeramente fresco
-1.5 -- -2.5	Fresco
< -2.5	Frío

entonces, debe encontrarse una relación entre las escalas de sensación y las variables térmicas. Para esto se toman como base las siguientes consideraciones:

1) Se sabe que el cuerpo humano es capaz de mantener el balance de calor dentro de un límite amplio de estas variables por el uso de mecanismos "efectores": vasodilatación,

vasoconstricción, secreción del sudor y escalofríos. Sin embargo, dentro de ese amplio espectro, sólo un intervalo pequeño se considera confortable.

2) Es razonable asumir que el grado de desconfort es mayor si a mayor carga de calor el mecanismo efector se desvía de la condición de confort, y

3) En consecuencia, se asume que la sensación térmica a un nivel de actividad dada es una función de la carga de calor del cuerpo definida como la diferencia entre la producción interna de calor y la pérdida del mismo al ambiente por una persona hipotéticamente en los valores de confort de la temperatura media de la piel y la secreción de sudor al nivel de la actividad real.

Partiendo de la ecuación de balance:

$$\begin{array}{rclcl}
 H & - & (Q_{SWD} + Q_{SWS}) & - & (Q_{RL} + Q_{RD}) & = & (E_{KM} + Q_C) \\
 \text{Producción} & & \text{Pérdida de calor por} & & \text{Pérdida de calor} & & \text{Disipación de calor por} \\
 \text{interna de} & & \text{evaporación desde la} & & \text{por} & & \text{radiación y convección desde} \\
 \text{Calor} & & \text{piel} & & \text{Respiración} & & \text{y el vestido}
 \end{array}$$

la carga de calor puede ser expresada como

$$Q = H - (Q_{SWD} + Q_{SWS}) - (Q_{RL} + Q_{RD}) - (E_{KM} + Q_C) \quad (A1.28)$$

y usando las expresiones para pérdida de calor y valores de confort para la temperatura de la piel y secreción del sudor, obtenidos experimentalmente, entonces la carga térmica o carga de calor puede expresarse como:

$$\begin{aligned}
 Q = & (M/A_{Du}) (1 - \eta) - 0.35 [43 - 0.61 (M/A_{Du}) (1 - \eta) - e] - 0.42 [(M/A_{Du}) (1 - \eta) - 50] - \\
 & 0.0023 (M/A_{Du}) (44 - e) - 0.0014 (M/A_{Du}) (34 - T) - \\
 & 3.4 \times 10^{-8} f_{cl} [(T_{cl} + 273)^4 - (T_{mrt} + 273)^4] + f_{cl} h_c (T_{cl} - T)
 \end{aligned} \quad (A1.29)$$

donde T_{cl} se encuentra iterando de:

$$\begin{aligned}
 T_{cl} = & 35.7 - 0.032 (M/A_{Du}) (1 - \eta) - \\
 & 0.18 I_{cl} \{ 3.4 \times 10^{-8} f_{cl} [(T_{cl} + 273)^4 - (T_{mrt} + 273)^4] + f_{cl} h_c (T_{cl} - T) \}
 \end{aligned} \quad (A1.30)$$

y h_c ya ha sido descrita su obtención.

En la condición de confort, la carga térmica es igual a cero. En otras condiciones los mecanismos efectores del cuerpo cambiarán la temperatura media de la piel y la secreción del sudor para mantener el balance de calor corporal. La carga térmica es por consiguiente, una expresión para la tensión fisiológica sobre los mecanismos efectores del cuerpo, y

parece razonable asumir que la sensación térmica a un nivel de actividad está relacionada a esta tensión. Esta relación puede ser expresada matemáticamente como sigue:

$$Y = f(Q, H/A_{Du}) \quad (A1.31)$$

donde la sensación térmica es expresada por el voto medio y en la escala descrita al inicio de este apartado. La condición establece que la sensación térmica (el voto medio Y) y la carga térmica (Q) puede variar con la producción interna de calor (H/A_{Du}).

Esta relación se puede evaluar si se tienen sujetos que voten y donde la ropa, el nivel de actividad y las variables de los alrededores hayan sido cuidadosamente controladas de tal forma que la carga de calor pueda calcularse. Para obtener una base estadística razonable para la cuantificación de la ecuación, es necesario además un gran número de personas que hayan participado en los experimentos. Afortunadamente, se cuenta con resultados disponibles de otros experimentos que satisfacen las condiciones descritas y que pueden ser usados para determinar la dependencia funcional de la ecuación. Las tres investigaciones consideradas cubren un total de 1396 personas vestidas con un uniforme estándar (0.6 clo) y expuestas por tres horas a ambientes constantes donde todas las variables fueron estrictamente controladas.

Para los cuatro niveles de actividad investigados, se obtuvieron relaciones entre el voto medio Y y la temperatura ambiental T (temperatura del aire = temperatura media radiante) (tabla A1.1). Además, al insertar valores encontrados experimentalmente de las diferentes variables, fue posible determinar una relación entre T y Q que, a su vez permite obtener una relación entre Y y Q .

Después de esto, $\delta y/\delta Q$ puede determinarse gráficamente para $Y=0$, puesto que es especialmente la relación alrededor del punto neutro, la que es de interés. Como se observa en la figura A1.1, la curva $\delta y/\delta Q$ decrece monótonamente con la actividad y por consiguiente, se puede ajustar una curva exponencial, de la cual se tiene:

$$\delta y/\delta Q = 0.352 e^{-0.042(M/ADu)} + 0.032 \quad (A1.32)$$

que al integrarse se obtiene:

$$Y = (0.352 e^{-0.042(M/ADu)} + 0.032) Q \quad (A1.33)$$

que se conoce como "Voto Medio Predicho" (PMV).

Tabla A1.1 Relaciones entre el voto medio y la temperatura ambiente a cuatro niveles de actividad.

NIVEL DE ACTIVIDAD	M/A _{Du} Kcal/hr m ²	I _{cl} Clo	v m/s	VOTO MEDIO A HR = 50%
Sedentaria	50	0.6	0.1	Y = 4.471 + 0.331t
Baja	80	0.6	0.2	Y = 3.643 + 0.175t
Media	106	0.6	0.25	Y = -3.356 + 0.174t
Alta	135	0.6	0.32	Y = -4.158 + 0.265t

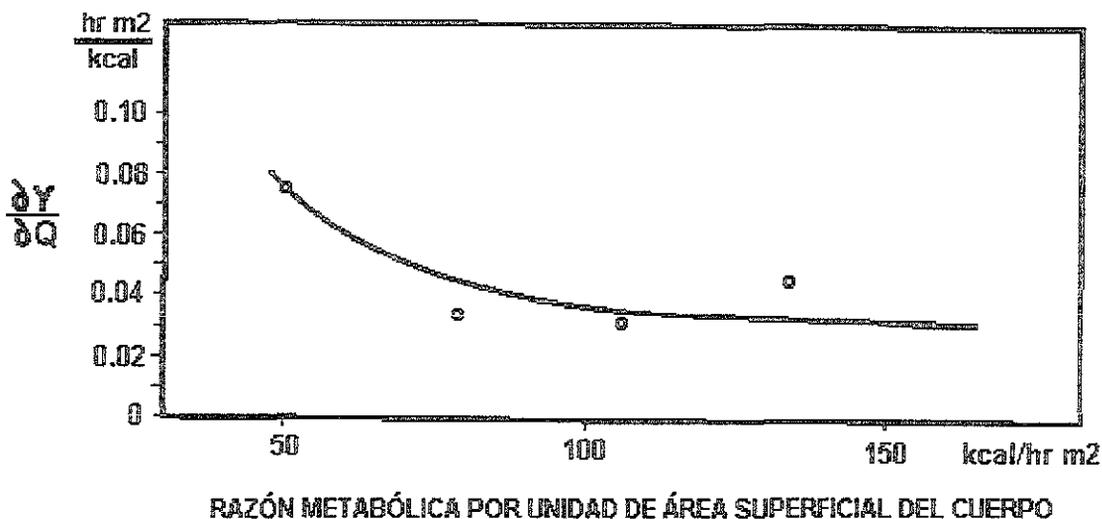


Figura A1.1. $\delta Y / \delta Q$ como función de la razón metabólica

Recordando la expresión obtenida para la carga de calor, entonces el PMV puede ser escrito como:

$$\begin{aligned}
 \text{PMV} = & \{ (0.352 e^{-0.042(M/A_{Du})} + 0.032) \} \{ (M/A_{Du}) (1 - \eta) - \\
 & 0.35 [43 - 0.61 (M/A_{Du}) (1 - \eta) - e] - 0.42 [(M/A_{Du}) (1 - \eta) - 50] - \\
 & 0.0023 (M/A_{Du}) (44 - e) - 0.0014 (M/A_{Du}) (34 - T) - \\
 & 3.4 \times 10^{-8} f_{cl} [(T_{cl} + 273)^4 - (T_{mrt} + 273)^4] + f_{cl} h_c (T_{cl} - T) \} \quad (A1.34)
 \end{aligned}$$

donde T_{cl} se determina a través de la ecuación (A1.27) y h_c depende del tipo de convección que se considere. Así, esta ecuación (A1.34) establece el índice de sensación deseado, el cual da el voto medio predicho (PMV) para un grupo grande de personas como función de la actividad, tipo de ropa, temperatura del aire, temperatura media radiante, rapidez relativa del viento y humedad del aire.

Un aspecto importante, como ya se ha mencionado anteriormente, es el hecho de que la escala de sensación térmica determinada para este índice (como para muchos otros), se obtuvo con grupos de personas de latitudes medias. En el apéndice 2 se muestra bajo qué consideraciones de condiciones de ropa, actividad, viento y flujos radiativos, la escala propuesta por Fanger, es aplicable a la ciudad de México.

APÉNDICE 2

Sobre las escalas de sensación térmica del PMV en la ciudad de México.

A2.1 Introducción

Por una parte se ha reconocido que los elementos atmosféricos no actúan sobre el cuerpo humano de manera aislada, y por la otra, que algunos de ellos como la temperatura, la humedad, el viento y la radiación son de mayor importancia (Fanger, 1970; Landsberg, 1972). Hentschel (1986) propone que el grado de importancia de las variables mencionadas depende también de la zona climática en la que se pretende realizar el estudio bioclimático. En los trópicos por ejemplo, la temperatura y la humedad del aire son los factores predominantes.

A fin de tener una visión más completa sobre el comportamiento de las escalas de sensaciones térmicas de diferentes índices, en este apartado se utilizan los siguientes índices empíricos o del enfoque sintético:

a) Temperatura efectiva (TE), temperatura resultante (TR) e índice de desconfort (ID) propuestos por Missenard en 1937, Thom en 1958 y Tennenbaum *et al.* en 1961, respectivamente (Hentschell, 1986):

$$TE = T - 0.4 (T-10)(1-HR/100) \quad (^\circ\text{C}) \quad (\text{A2.1})$$

$$TR = 0.4 (T + T_w) + 4.5 \quad (^\circ\text{C}) \quad (\text{A2.2})$$

$$ID = 0.5(T + T_w) \quad (^\circ\text{C}) \quad (\text{A2.3})$$

b) El índice de poder de enfriamiento propuesto por Siple y Passel en 1945 (Balafoutis, 1989):

$$K = (10 \sqrt{v} + 10.45 - v) (33 - T) \quad [\text{Kcal/m}^2\text{h}] \quad (\text{A2.4})$$

c) Temperatura equivalente (Teq) propuesta por Flach en 1957 (Bründl y Höppe, 1984):

$$Teq = T + m (r - 2.326 T) / (C_p + m C_w) \quad [^\circ\text{C}] \quad (\text{A2.5})$$

d) Entalpia propuesta por Gregorzuck (1968):

$$E = 0.24 (T_w + 1555 e/P) \quad [\text{Kcal/Kg}] \quad (\text{A2.6})$$

donde:

T es la temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$)

T_w es la temperatura de bulbo húmedo ($^{\circ}\text{C}$)

HR es la humedad relativa (%)

v es la rapidez del viento (m/s)

m es la razón de mezcla del vapor de agua (Kg de vapor de agua/Kg de aire seco)

r es el calor latente de vaporización (2260×10^3 j/Kg)

C_p es el calor específico del aire a presión constante (1005 j/Kg)

C_w es el calor específico del agua (4184 j/Kg)

e es la presión del vapor del agua (mmHg)

P es la presión atmosférica (mmHg)

Del enfoque analítico se utiliza el índice PMV de Fanger descrito en el apéndice 1. En este caso, una variable importante es la T_{mrt} (temperatura media radiante), que es una medida de los flujos radiativos entre la persona y el ambiente. La medida de los flujos radiativos no es un aspecto sencillo, y para el caso particular de personas en ambientes exteriores a la sombra, diversos autores como Steadman (1979), Jendritzky y Nübler (1981), Mayer y Höpfe (1987) y Swaid *et al.* (1993), han reportado que el valor de T_{mrt} no se diferencia de manera importante de la temperatura ambiente.

En virtud de la consideración anterior y de que los índices empíricos han sido desarrollados para sujetos sanos en actividad sedentaria, el PMV se calcula bajo esta condición de actividad, con dos valores de clo (1 y 0.5) y con dos condiciones de viento: con la corrección hecha por altura a la que fue medido y considerándolo constante (0.2 m/s).

La combinación de las variables en los índices conduce a un resultado numérico, el cual es asociado a una sensación térmica. Así, si bien por una parte se han propuesto escalas y límites de sensaciones térmicas (situación complicada en un espectro continuo), el objetivo de este anexo es realizar las comparaciones entre esas escalas de sensaciones. En las tablas de la A2.1 a la A2.3 se presentan las escalas de sensaciones térmicas propuestas para los índices TE, K y T_{eq} . En el apéndice 1 se ha descrito la escala de sensaciones térmicas asociada al PMV. Dichas escalas originalmente se obtuvieron a través del voto

directo (caso del PMV), otras fueron propuestas con base en resultados obtenidos en diferentes lugares de aplicación (caso de la escala para TE propuesta por Hentschel, 1986), y otras más con mediciones de aparatos simulando al cuerpo humano (caso del poder de enfriamiento, escala propuesta por Terjung (1966).

Tabla A2.1 Escala de sensaciones térmicas asociadas al índice de temperatura efectiva (TE) (tomada de Hentschell, 1986)

TEMP. EFECTIVA (°C)	SENSACIÓN TÉRMICA
> 30	Calor pesado
24 - 30	Calor moderado
18 - 24	Calor placentero
12 - 18	Placentero
6 - 12	Fresco
0 - 6	Muy fresco
-6 - 0	Frío
-12 - -6	Frío
-18 - -12	Muy frío
-24 - -18	Muy frío
< -24	Peligro de congelación

Tabla A2.2 Escala de sensaciones térmicas asociadas al índice poder de enfriamiento (tomada de Terjung, 1966).

K (Kcal/m ² hr)	SENSACIÓN TÉRMICA
> 1400	Congelación
1201 - 1400	Frío mordaz
1001 - 1200	Muy frío
801 - 1000	Frío
601 - 800	Relente
301 - 600	Fresco
200 - 300	Confortable
< 200	Cálido

Tabla A2.3 Escala de sensaciones térmicas asociadas a la temperatura equivalente (tomada de Bründl y Höppe, 1984)

TEMP. EQUIV. (°C)	SENSACIÓN TÉRMICA
> 51	Bochornoso
47 - 51	Bochornoso ligero
34 - 47	Confortable
27 - 34	Fresco moderado
> 27	Fresco

A2.2 Datos

Utilizando los datos horarios de temperatura (°C) y humedad relativa (%) del aire, presión atmosférica (hPa) y rapidez del viento (m/s), registrados durante 1995 en un par de estaciones climatológicas automáticas instaladas en el Palacio de Minería en el centro de la ciudad de México, y cerca del Lago de Texcoco, se calcularon los índices descritos anteriormente.

Respecto al viento en la estación de Palacio de Minería, se hizo una corrección ya que fue medido a 6 m de altura, por lo que se utilizó la propuesta de Irwin, que considera las condiciones de rugosidad y estabilidad atmosférica. Algunas variables fueron calculadas mediante los siguientes métodos: La presión de saturación de vapor (e_s , en hPa) se calculó con la expresión polinomial (Tejeda, 1994):

$$e_s = 6.6 \times 10^{-4} T^3 + 4.6 \times 10^{-3} T^2 + 4.58 \times 10^{-1} T + 6.63 \quad (\text{A2.7})$$

La temperatura de bulbo húmedo (T_w) se calculó de la ecuación del psicrómetro a través de un método iterativo (Tejeda, 1994). La presión de vapor (e) se obtuvo de la definición de humedad relativa ($HR = 100 e/e_s$).

A2.3 Resultados

En la tabla A2.4 se muestra la matriz de correlación entre el PMV y los índices empíricos calculados en la estación Palacio de Minería en el centro de la ciudad de México. Como se observa en esa tabla, las correlaciones entre el PMV y los índices empíricos son altas excepto para T_{eq} y K cuando el viento fue considerado constante. Estos resultados, que bien pueden indicar que el uso de los índices empíricos es tan bueno como el de un índice de balance de energía, son válidos sólo en o cerca de la condición de neutralidad térmica (Auliciems, 1992).

Como ya se mencionó y se mostró en diversas tablas, en los diversos índices aquí utilizados, las escalas de sensaciones térmicas difieren en tipo y número de sensaciones asociadas. En las figuras A2.1 y A2.2 se muestran los resultados de la evaluación climática obtenidas para la estación Palacio de Minería, cuando se aplican las escalas propuestas originalmente para PMV y TE (estas figuras se realizaron con el procedimiento descrito en el apartado 4.2. Así, como se observa en las gráficas de esas figuras, a pesar de las altas

Tabla A2.4 Coeficientes de correlación lineal entre el PMV y algunos índices empíricos calculados en el centro de la ciudad de México. Se consideraron los valores horarios de los índices durante los meses de enero, abril, julio y octubre de 1995 (n=2952; p<0.05)

	PMV1	PMV2	PMV3	PMV4	TE	TR	ID	K	Teq	E
PMV1	1.00	0.74	0.99	0.79	0.96	0.90	0.90	-0.97	0.58	0.96
PMV2		1.00	0.66	1.00	0.89	0.85	0.85	-0.60	0.60	0.88
PMV3			1.00	0.71	0.92	0.86	0.86	-0.99	0.53	0.92
PMV4				1.00	0.91	0.87	0.87	-0.65	0.60	0.90
TE					1.00	0.97	0.97	-0.87	0.70	0.98
TR						1.00	1.00	-0.80	0.85	0.96
ID							1.00	-0.80	0.85	0.96
K								1.00	-0.46	-0.88
Teq									1.00	0.68
E										1.00

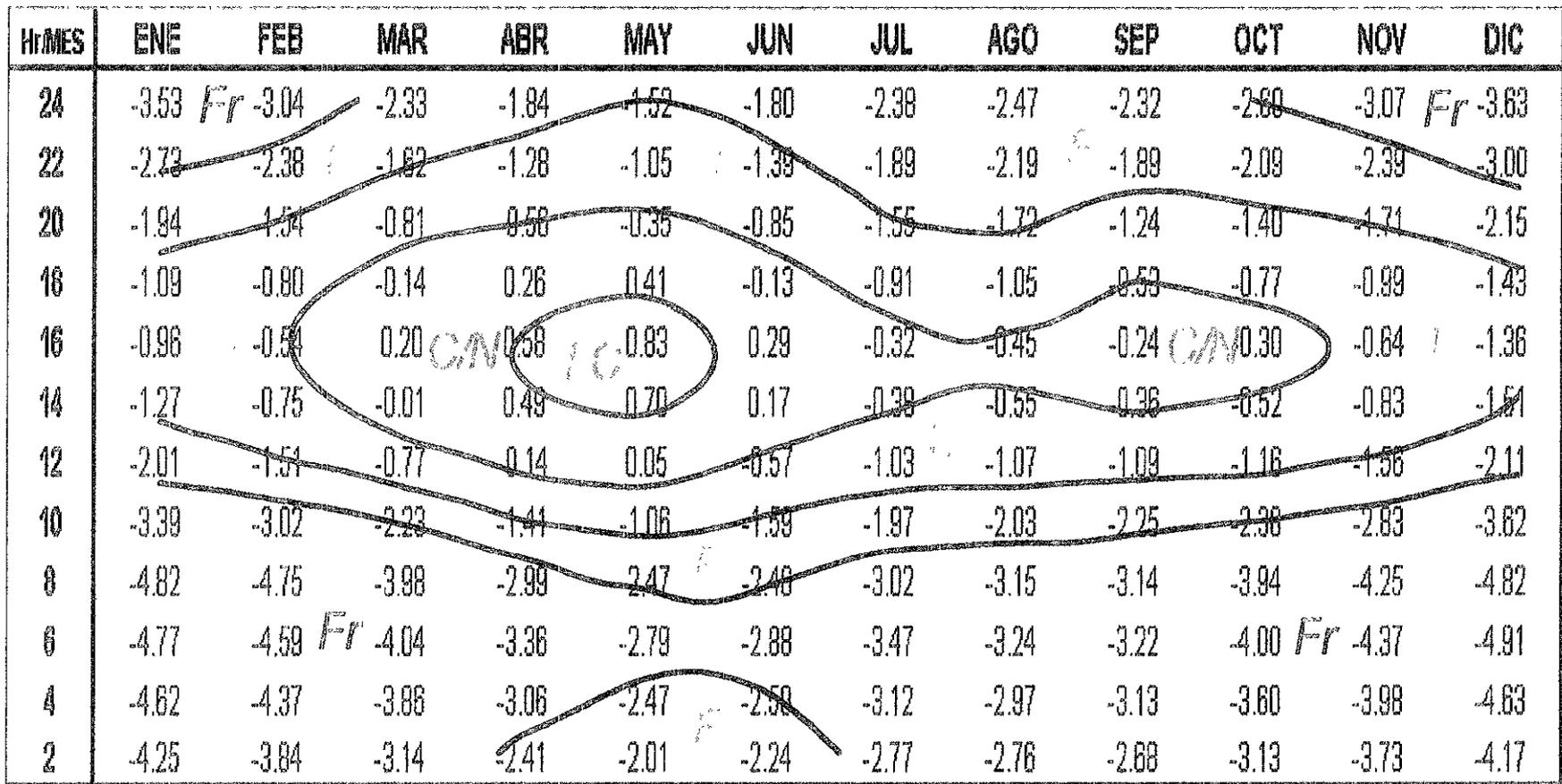
PMV1: 1 clo, rapidez del viento medida
 PMV2: 1 clo, rapidez del viento v=0.2 m/s
 PMV3: 0.5 clo, rapidez del viento medida
 PMV4: 0,5 clo, rapidez del viento v =0.2 m/s
 TE: Temperatura efectiva de Missenard

TR: Temperatura resultante de Thom
 ID: Índice de desconfort de Sohar
 K: Poder de enfriamiento de Siple y Passel
 Teq: Tem. equivalente de Flach
 E: Entalpia de Gregorzuck

correlaciones obtenidas entre los índices, las escalas de sensaciones térmicas propuestas llevan a resultados de evaluación bioclimática distintos.

Con base en los resultados anteriores, es necesario reconsiderar algunos aspectos de los índices. Por una parte, estos índices fueron derivados para zonas de latitudes medias o altas, para un cierto grupo étnico (blancos) y básicamente en actividad sedentaria: así, es probable que con los límites de confort establecidos para cada índice no se tome en cuenta el factor de aclimatación, el cual, como la práctica indica, puede modificar considerablemente la zona de confort. Así, un aspecto importante se refiere a la consideración de las escalas térmicas que se deben considerar.

En la tabla A2.5 se muestran los coeficientes de correlación lineal obtenidos entre los índices empleados y las variables meteorológicas usadas para su cálculo. La temperatura es la variable que presenta las correlaciones más altas con los índices térmicos, pues si bien la presión de saturación del vapor (e_s) también presenta correlaciones altas, esta variable fue calculada a partir de la temperatura. Este resultado corrobora lo que ya habían encontrado algunos autores (por ejemplo Terjung, 1966 y Hentschel, 1986) a pesar del gran



2.5	<PMV4	MC	Muy Caluroso
1.5	<PMV4≤ 2.5	C	Caluroso
0.5	<PMV4≤ 1.5	LC	Lig. Caluroso
-0.5	≤PMV4≤ 0.5	C/N	Confortable/Neutro
-1.5	≤PMV4< -0.5	LF	Lig. Fresco
-2.5	≤PMV4< -1.5	F	Fresco
	PMV4< -2.5	Fr	Frío

Fig. A2.1. Marcha diurna del PMV, de acuerdo a la escala de Fanger (1970) en Palacio de Minería durante 1995, bajo las condiciones de 0.5 clo y viento constante (0.2 m/s).

Hr/mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
24	13.6	14.1	15.7	16.8	17.7	16.9	15.9	16.0	15.8	14.6	14.0	12.8
22	14.6	15.3	16.7	17.6	18.4	17.8	16.6	16.6	16.6	15.7	15.0	13.9
20	15.9	16.7	18.1	18.7	19.5	18.7	17.4	17.3	17.7	16.8	16.3	15.0
18	17.6	18.3	19.8	20.5	21.3	20.1	18.4	18.4	19.1	18.7	18.0	16.7
16	18.3	19.2	20.9	21.5	22.5	21.4	20.0	19.8	20.4	19.9	19.4	17.4
14	17.8	19.0	20.6	21.5	22.4	21.4	20.1	20.2	20.3	19.6	19.2	17.0
12	16.3	17.5	19.1	20.4	21.2	20.2	19.0	19.4	19.2	18.3	17.7	15.8
10	13.3	14.4	16.4	18.1	19.3	18.2	17.2	17.5	17.0	16.0	15.0	13.2
8	10.7	11.3	13.1	15.2	16.6	16.0	14.8	15.3	14.7	13.1	12.0	10.5
6	10.9	11.3	12.7	14.4	15.6	15.1	14.0	14.7	14.3	12.4	11.7	10.6
4	11.6	12.1	13.6	15.1	16.4	15.6	14.5	15.1	14.6	13.2	12.5	11.4
2	12.6	13.0	14.5	15.9	17.0	16.3	15.1	15.5	15.2	13.8	13.3	12.2

30.0	<TEHR		CP	Calor pesado
24.0	<TEHR≤	30.0	CM	Calor moderado
18.0	<TEHR≤	24.0	CPI	Cálido placentero
12.0	≤TEHR≤	18.0	P	Placentero
6.0	≤TEHR<	12.0	F	Fresco
0.0	≤TEHR<	6.0	MF	Muy fresco
-6.0	≤TEHR<	0.0	Fr	Frío
-12.0	≤TEHR<	-6.0	Fr	Frío
-18.0	≤TEHR<	-12.0	MFr	Muy frío
-24.0	≤TEHR<	-18.0	MFr	Muy frío
	≤TEHR<	-24.0	PC	Peligro de congelación

Fig. A2.2. Marcha diurna de la temperatura efectiva, de acuerdo a la escala de Hentschel (1986), en Palacio de Minería durante 1995.

Tabla A2.5 Coeficientes de correlación lineal entre los índices térmicos y las variables meteorológicas utilizadas para su cálculo en la estación Palacio de Minería durante los meses de enero, abril, julio y octubre de 1995 (n=2952; p<0.05).

	T	H.R.	P	V	Tw	e _s	e
PMV1	0.97	-0.57	-0.46	0.27	0.52	0.96	-0.01
PMV2	0.88	-0.45	-0.38	0.72	0.56	0.86	0.08
PMV3	0.94	-0.57	-0.46	0.17	0.48	0.93	-0.04
PMV4	0.91	-0.49	-0.40	0.70	0.55	0.89	0.06
TE	0.98	-0.49	-0.44	0.45	0.65	0.95	0.13
TR	0.91	-0.25	-0.38	0.43	0.82	0.88	0.36
ID	0.91	-0.25	-0.38	0.43	0.82	0.88	0.36
K	-0.90	0.60	-0.45	-0.07	-0.41	-0.90	0.10
Teq	0.56	0.28	-0.16	0.30	1.00	0.52	0.80
E	0.98	-0.48	-0.46	0.45	0.63	0.98	0.11

PMV1: 1 clo, rapidez del viento medida
 PMV2: 1 clo, rapidez del viento v=0.2 m/s
 PMV3: 0.5 clo, rapidez del viento medida
 PMV4: 0.5 clo, rapidez del viento v =0.2 m/s
 TE: Temperatura efectiva de Missett
 TR: Temperatura resultante de Thom
 ID: Índice de desconfort de Sohar
 K: Poder de enfriamiento de Siple y Passel

Teq: Tem. equivalente de Flach
 E: Entalpia de Gregorzuck
 T: Temperatura del aire
 H.R.: Humedad relativa
 P: Presión atmosférica
 V: rapidez del viento
 Tw: Temp. de bulbo húmedo (calculada)
 e_s: presión de saturación de vapor (calculada)
 e: presión de vapor (calculada)

número de variables meteorológicas que influyen en la condición térmica, la temperatura juega un papel predominante.

Recientemente, Auliciems (1992 y 1994), a partir de una revisión de los criterios térmicos del confort ha propuesto la siguiente relación para el *termopreferendum*:

$$T_{\psi} = 0.48 T_i + 0.14 T_m + 9.22 \text{ (}^{\circ}\text{C)} \quad (\text{A2.8})$$

donde T_{ψ} denota la temperatura neutra para un grupo de personas, calculada de temperaturas medias mensuales interiores (T_i) y exteriores (T_m). Los resultados son trasladados en criterios de diseño térmico para diferentes localidades expresados como:

$$T_{\psi} = 0.31 T_m + 17.6 \text{ (}^{\circ}\text{C)} \quad (\text{A2.9})$$

T_{ψ} : termopreferendum ($^{\circ}\text{C}$)

T_m : temperatura media mensual ($^{\circ}\text{C}$)

Con base en este criterio se calculó la temperatura preferente para la ciudad de México, tomando la temperatura media anual en lugar de la mensual. Además, se utilizó el

procedimiento descrito por Wakely (Tudela, 1982), que relaciona la amplitud de la zona de confort con la oscilación térmica media anual, cuyo resultado coincide con el presentado por Humphreys (auliciems, 1992), quien estableció que cerca de la neutralidad teórica, son necesarios 4 K para pasar de una sensación térmica a otra en la escala propuesta por Bedford o la ASHRAE. Así, en la tabla A2.6 se muestran las escalas de sensaciones térmicas con base en la temperatura así como los límites, tomando como referencia la temperatura media mensual registrada en las Normales Climatológicas (SMN s/f). Además, se toma como base la escala de sensaciones térmicas propuesta por Fanger debido a que tiene la ventaja de ser una escala simétrica centrada alrededor del confort que considera siete sensaciones térmicas.

En virtud de las altas correlaciones obtenidas entre la temperatura y los índices térmicos, a través de regresiones lineales y tomando como base los límites de temperatura mostrados en la tabla A2.6, se estandarizaron las escalas de los demás índices térmicos. En las tablas A2.7 y A2.8 se muestran como ejemplo los resultados obtenidos para PMV y TE.

Tabla A2.6 Escala de sensaciones térmicas para la ciudad de México obtenida mediante el concepto del termopreferendum.

TEMPERATURA (°C)	SENSACIÓN TÉRMICA
> 32.4	Muy caluroso (MC)
28.4 - 32.4	Caluroso (C)
24.4 - 28.4	Lig. Caluroso (LC)
20.4 - 24.4	Confortable (C/N)
16.4 - 20.4	Ligeramente fresco (LF)
12.4 - 16.4	Fresco (F)
< 12.4	Frío (Fr)

Tabla A2.7 Escala de sensaciones térmicas estandarizadas para el PMV4 en la ciudad de México.

PMV4 (SIN UNIDADES)	SENSACIÓN TÉRMICA
> 2.8	Muy caluroso
1.6 - 2.8	Caluroso
0.4 - 1.6	Ligeramente caluroso
-0.9 - 0.4	Confortable
-2.1 - -0.9	Ligeramente fresco
-3.3 - -2.1	Fresco
< -3.3	Frío

$$PMV4 = -0.204 + 0.81 \text{ TEMP} \quad (r = 0.91)$$

$$PMV4: 0.5 \text{ clo y } v=0.2 \text{ m/s}$$

Tabla A2.8 Escala de sensaciones térmicas estandarizadas para la TE en la ciudad de México.

TE (°C)	SENSACIÓN TÉRMICA
> 27.2	Muy caluroso
24.2 - 27.2	Caluroso
21.2 - 24.2	Ligeramente caluroso
18.2 - 21.2	Confortable
15.2 - 18.2	Ligeramente fresco
12.2 - 15.2	Fresco
< 12.2	Frío

$$TE = 3.83 + 0.70 \text{ TEMP} \quad (r = 0.98)$$

Con estos nuevos límites para las escalas de sensaciones térmicas, se procedió a realizar un análisis de contingencia entre el PMV-K y PMV-TE, obteniéndose los resultados mostrados en las tablas A2.9 y A2.10. No es necesario aclarar que la disparidad con las escalas propuestas para cada índice, eran altas.

Como se observa en las tablas A2.9 y A2.10, después de estandarizar las escalas de sensación térmica se registra una alta coincidencia de porcentaje en las sensaciones térmicas entre los índices térmicos comparados.

Si bien hasta ahora sólo se han utilizado los datos de la estación Palacio de Minería, al utilizar los datos de la estación Plan Texcoco, para considerar un sitio rural cercano a la ciudad, se procedió de la misma manera, únicamente que en el caso de la obtención del termopreferendum, se obtuvo el promedio de las oscilaciones térmicas de Tacubaya, Aeropuerto y Chapingo. Las escalas estandarizadas para TE y PMV4 se muestran en las tablas A2.11 y A2.12.

Al comparar las tablas A2.7 y A2.8 con las tablas A2.11 y A2.12, se obtienen varios resultados:

- Las tablas A2.8 y A2.12 muestran los mismos límites en las escalas de sensación térmica. De aquí se desprende que la TE es un índice poco sensible a la variación de los elementos meteorológicos de los cuales depende (temperatura y humedad relativa del aire).
- Las tablas A2.7 y A2.11 si presentan variaciones en los límites asociados a las sensaciones térmicas. Respecto a la tabla A2.7, en la escala del lado del “calor”, los límites se aproximan a los propuestos por Fanger en la escala original; mientras que en la escala del lado del “frío”, estos difieren de manera sensible.

Tabla A2.9 Contingencia entre el PMV1 (parte superior), PMV4 (parte inferior) con TE, después de estandarizar sus escalas de sensación térmica a través de la temperatura. En el renglón inferior se muestran los porcentajes de casos coincidentes cuando se considera TE±1 escala de sensación térmica. Datos de enero, abril, julio y octubre de 1995 en Palacio de Minería.

PMV1/TE	M.C.	C	L.C.	C/N	L.F.	F	Fr
M.C.	0	0	0	0	0	0	0
C	0	6	21	0	0	0	0
		100%					
L.C.	0	0	171	56	1	1	0
		99.1%					
C/N	0	0	14	510	54	2	3
		99.1%					
L.F.	0	0	0	123	648	119	1
		99.9%					
F	0	0	0	0	195	623	90
		100%					
Fr	0	0	0	0	0	62	151
		100%					
PMV4/TE	-----						
M.C.	0	0	0	0	0	0	0
C	0	4	0	0	0	0	0
		100%					
L.C.	0	3	152	51	0	0	0
		100%					
C/N	0	0	54	562	54	1	0
		99.1%					
L.F.	0	0	0	76	593	174	4
		99.5%					
F	0	0	0	0	145	472	92
		100%					
Fr	0	0	0	0	6	169	249
		98.5%					

M.C. Muy caluroso; C Caluroso; L.C. Ligeramente caluroso; C/N Confortable/Neutro; L.F. Ligeramente fresco;

F. Fresco; Fr. frío

PMV1: 1 clo, viento medido

PMV4: 0.5 clo, viento constante ($v=0.2$ m/s)

Tabla A2.10 Contingencia entre el PMV1 (parte superior), PMV4 (parte inferior) con K, después de estandarizar sus escalas de sensación térmica a través de la temperatura. En el renglón inferior se muestran los porcentajes de casos coincidentes cuando se considera $K \pm 1$ escala de sensación térmica. Datos de enero, abril, julio y octubre de 1995 en Palacio de Minería.

PMV1/K	M.C.	C	L.C.	C/N	L.F.	F	Fr
M.C.	0	0	0	0	0	0	0
C	4	23	0	0	0	0	0
	100%						
L.C.	0	13	200	0	0	0	0
	100%						
C/N	0	0	41	470	72	0	0
	100%						
L.F.	0	0	0	87	699	105	1
					100%		
F	0	0	0	0	146	680	82
					100%		
Fr	0	0	0	0	0	50	263
					100%		
PMV4/K	-----						
M.C.	0	0	0	0	0	0	0
C	4	23	0	0	0	0	0
	100%						
L.C.	1	13	200	16	0	0	0
	99.6						
C/N	0	0	41	470	72	0	0
	100%						
L.F.	0	0	0	87	699	105	0
					100%		
F	0	0	0	0	146	680	82
					100%		
Fr	0	0	0	0	6	50	263
					100%		

M.C. Muy caluroso; C. Caluroso; L.C. Ligeramente caluroso; C/N Confortable/Neutro; L. F. Ligeramente fresco; F. Fresco; Fr. frío

PMV1: 1 clo, viento medido

PMV4: 0.5 clo, viento constante ($v=0.2$ m/s)

Tabla A2.11 Escala de sensaciones térmicas estandarizadas para el PMV4 en la ciudad de México utilizando los datos de las estaciones Palacio de Minería y Plan Texcoco.

PMV4 (SIN UNIDADES)	SENSACIÓN TÉRMICA
> 2.5	Muy caluroso
1.5 - 2.5	Caluroso
0.5 - 1.5	Ligeramente caluroso
-0.6 - 0.5	Confortable
-1.6 - -0.6	Ligeramente fresco
-2.6 - -1.6	Fresco
< -2.6	Frío

$$PMV4 = -7.163 + 0.31 \text{ TEMP} \quad (r = 0.91)$$

$$PMV4: 0.5 \text{ clo y } v=0.2 \text{ m/s}$$

Tabla A2.12 Escala de sensaciones térmicas estandarizadas para la TE en la ciudad de México utilizando los datos de las estaciones Palacio de Minería y Plan Texcoco.

TE (°C)	SENSACIÓN TÉRMICA
> 27.2	Muy caluroso
24.2 - 27.2	Caluroso
21.2 - 24.2	Ligeramente caluroso
18.2 - 21.2	Confortable
15.2 - 18.2	Ligeramente fresco
12.2 - 15.2	Fresco
< 12.2	Frío

$$TE = 2.927 + 0.75 \text{ TEMP} \quad (r = 0.99)$$

- La tabla A2.11, que muestra las escalas estandarizadas para el PMV cuando se consideran los datos de Palacio de Minería y Plan Texcoco, presenta prácticamente los mismo límites que propone Fanger en la escala original, tanto para el lado del “calor” como para el lado del “frío”.

Por tanto, de este breve análisis se concluye que:

- Bajo las condiciones de personas en actividad sedentaria y con ropa ligera, los índices empíricos muestran alta correlación con el índice de balance de energía PMV.
- A pesar de las altas correlaciones entre los índices, las escalas de sensaciones térmicas asociadas a los índices, conducen a resultados muy diferentes en la evaluación bioclimática.
- La temperatura del aire es la variable que mostró mayor peso (correlación) en todos los índices analizados, en consecuencia, a través de esta variable se estandarizaron las escalas de sensaciones térmicas utilizando el concepto de termopreferendum, el cual considera el factor de aclimatación de las personas.

- Considerando datos del centro y fuera de la ciudad de México, las escalas estandarizadas para el PMV bajo determinadas condiciones de ropa (0.5 clo) y actividad (sedentaria), coinciden con las propuestas originalmente por Fanger (1970).

En las figuras A2.3 a la A2.45 (las cuales se complementan con las figuras 13 a la 27 del apartado 4.2), se muestran los resultados de aplicar el índice PMV bajo 4 condiciones (1 clo y viento medido; 1 clo y viento constante de 0.2 m/s, 0.5 clo y viento medido y 0.5 clo y viento constante de 0.2 m/s), a los datos de las estaciones automáticas, observatorios meteorológicos y estación termohigrométrica, considerados en este estudio. Como se ha descrito en el apartado 4.2, estas gráficas se realizaron mediante la aplicación del paquete computacional *Surfer* (versión 6.02 de Microsoft)

El análisis de las figuras se puede dividir en dos partes: la correspondiente entre el índice y la relativa entre las estaciones. Con respecto a la primera parte se tiene:

- Aeropuerto y Texcoco (estaciones de espacio abierto). Entre PMV1 y PMV2, en el caso de este último, se presenta un aumento del periodo de *confort* y de la condición de *ligeramente caluroso* con respecto a la marcha de PMV1. Entre PMV3 y PMV4, se observa una situación similar a la anterior. En el caso de Aeropuerto, entre septiembre y octubre se presenta un cambio de condición térmica entre PMV3 y PMV4 (a *ligeramente caluroso*) cuando el viento es contante, mientras que en Texcoco, por el contrario, la condición pasa de *ligeramente caluroso* a *confortable*.

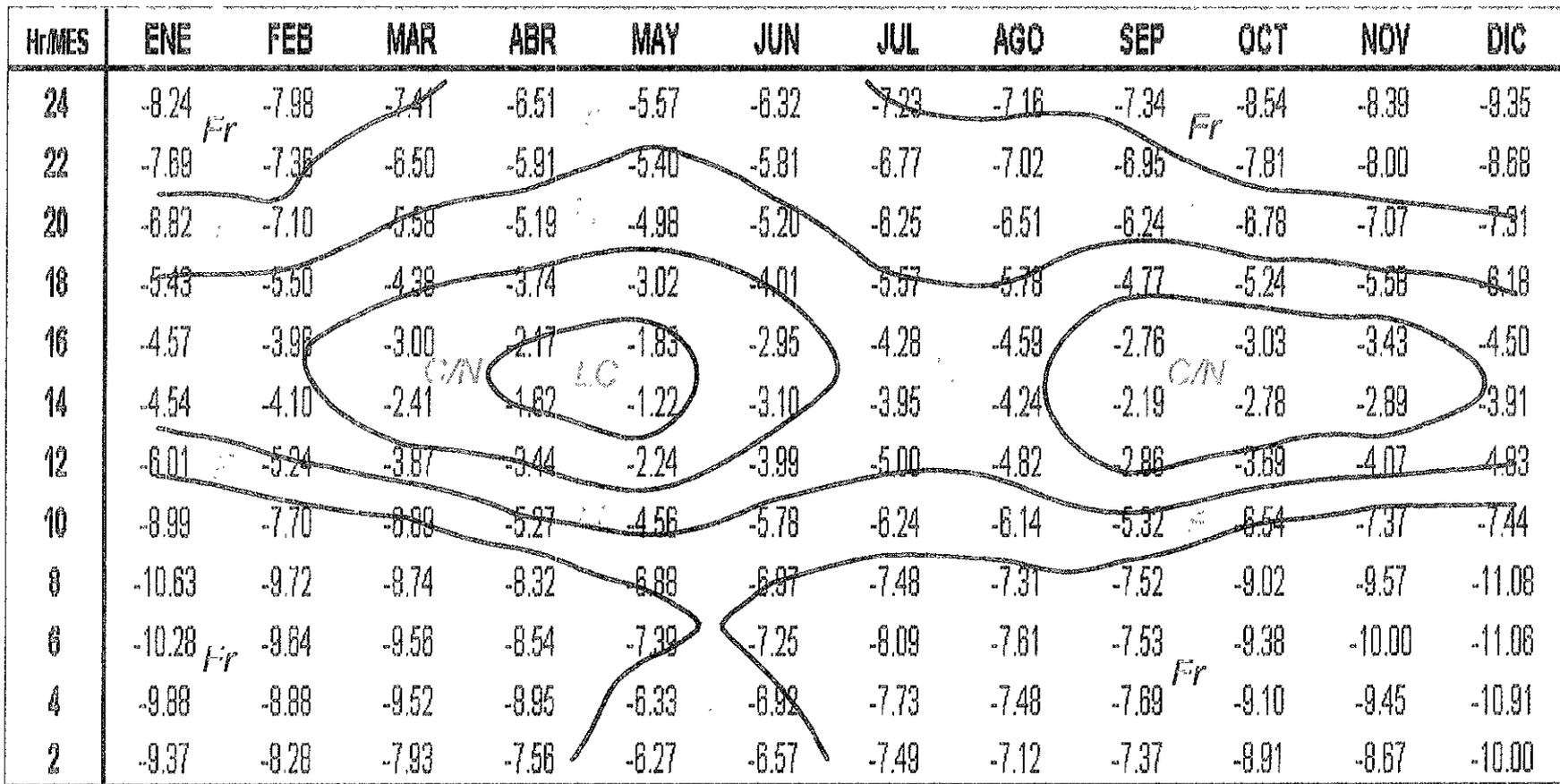
- Por su parte, Xalostoc, San Agustín y Tlalnepantla (estaciones de zona industrial). A pesar de la falta de información en San Agustín, se aprecia con el viento constante (0.2 m/s), los periodos de la sensación de *ligeramente caluroso*, disminuyen (PMV2 a PMV1) así como los de *confortable*. Algo similar se observa entre PMV3 y PMV4.

- Las condiciones en las estaciones de Palacio de Minería, Merced, Tacubaya, Tacuba, Hangares, ENEP-Acatlán, Cerro de la Estrella, Plateros y Pedregal (estaciones del ámbito comercial-mixto), cambian de manera significativa. La condición de *ligeramente caluroso* bajo PMV1, por ejemplo, puede abarcar desde marzo hasta junio, e incluso se presenta en los meses de septiembre a noviembre (Hangares), pero sólo un mes bajo esta condición se presenta en Pedregal. Destaca también que en estaciones del centro de la ciudad (Palacio de Minería y Merced), la condición de *frío* se presenta en periodos menos amplios que en las otras estaciones.

H/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
24	-0.49	-0.47	-0.34	0.25	0.26	0.11	0.04	0.16	-0.11	-0.38	-0.59	-0.70
22	-0.24	-0.20	0.05	0.38	0.36	0.40	0.27	0.29	0.13	0.04	-0.17	-0.48
20	0.28	0.35	0.45	0.63	0.79	0.76	0.50	0.44	0.60	0.48	0.23	-0.18
18	0.77	0.92	1.08	1.27	1.27	1.12	0.92	0.95	0.95	0.93	0.83	0.66
16	1.02	1.00	1.46	1.55	1.60	1.39	1.07	1.12	1.30	1.18	1.01	0.76
14	0.62	0.94	1.43	1.68	1.76	1.24	0.77	0.80	1.26	1.15	1.01	0.77
12	0.09	0.32	0.88	1.27	1.31	0.86	0.40	0.38	0.97	0.68	0.38	0.50
10	-0.98	-0.50	-0.33	0.53	0.62	0.15	-0.29	-0.25	0.45	0.38	-0.61	-0.31
8	-1.50	-1.25	-1.57	-0.40	-0.24	-0.30	-0.56	-0.47	-0.43	-1.15	-1.58	-1.48
6	-1.38	-0.94	-1.04	-0.77	-0.42	-0.35	-0.53	-0.47	-0.52	-1.14	-1.18	-1.32
4	-1.13	-0.85	-0.85	-0.26	-0.06	-0.16	-0.33	-0.33	-0.29	-0.90	-0.88	-1.26
2	-0.82	-0.84	-0.61	-0.12	0.19	-0.05	-0.14	-0.16	-0.36	-0.73	-0.79	-1.00

2.6	<PMV2	MC	Muy Caluroso
1.9	<PMV2 ≤ 2.6	C	Caluroso
1.1	<PMV2 ≤ 1.9	LC	Lig. Caluroso
0.4	≤PMV2 ≤ 1.1	C/N	Confortable/Neutro
-0.4	≤PMV2 < 0.4	LF	Lig. Fresco
-1.2	≤PMV2 < -0.4	F	Fresco
	PMV2 < -1.2	Fr	Frío

Fig. A2.3. Marcha diaria del PMV2 en Aeropuerto durante 1995.



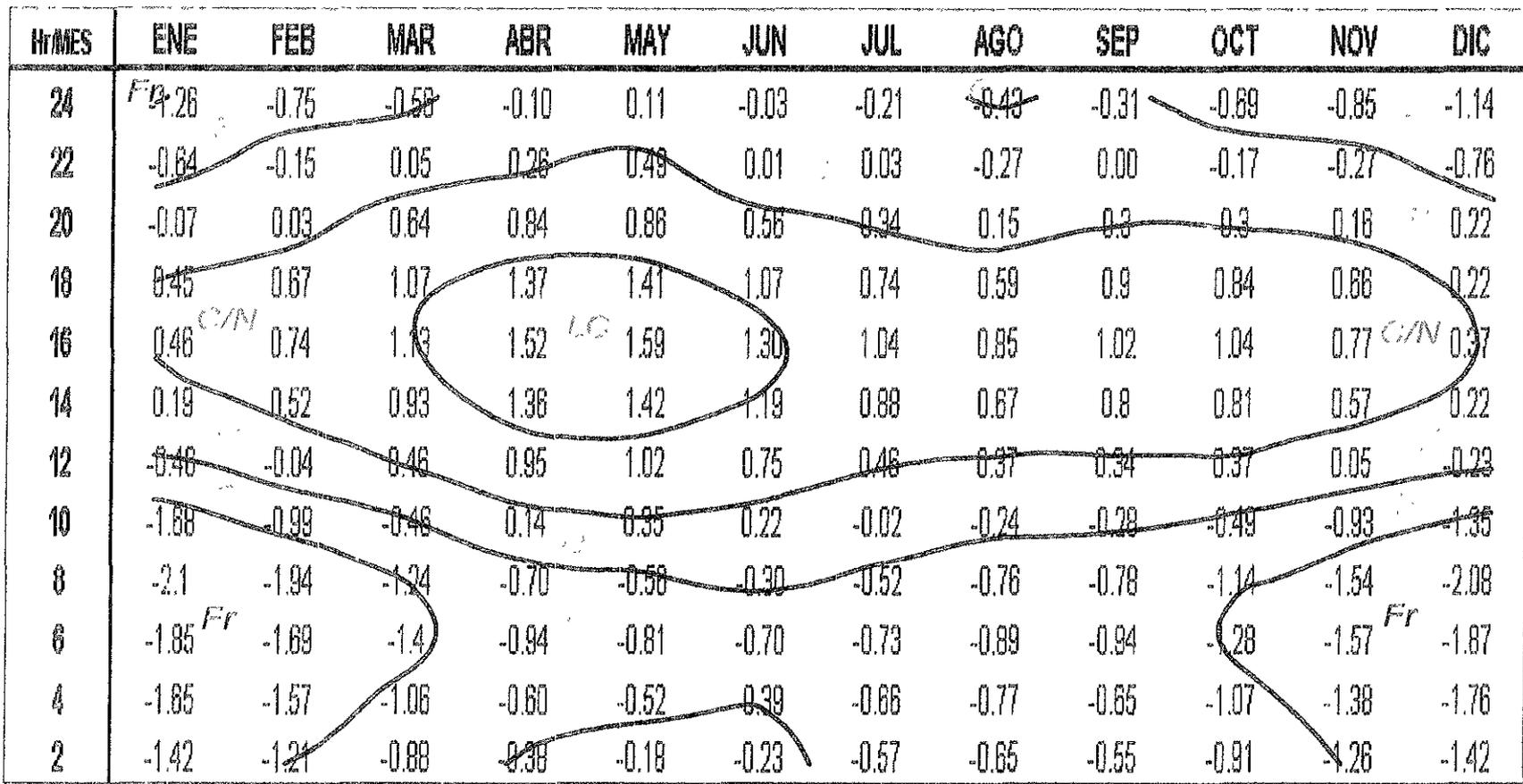
1.4	<PMV3	MC	Muy Caluroso
-0.3	<PMV3 ≤ 1.4	C	Caluroso
-2.0	<PMV3 ≤ -0.3	LC	Lig. Caluroso
-3.7	<PMV3 ≤ -2.0	C/N	Confortable/Neutro
-5.4	<PMV3 ≤ -3.7	LF	Lig. Fresco
-7.1	<PMV3 ≤ -5.4	F	Fresco
	PMV3 < -7.1	Fr	Frío

Fig. A2.4. Marcha diurna del PMV3 en Aeropuerto durante 1995.

Hr/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
24	-2.19	-2.13	-1.92	-1.07	-1.06	-1.33	-1.47	-1.31	-1.68	-2.07	-2.37	-2.52
22	-1.82	-1.73	-1.34	-0.85	-0.89	-0.90	-1.13	-1.12	-1.34	-1.45	-1.76	-2.09
20	-1.06	-0.93	-0.72	-0.45	-0.25	-0.35	-0.78	-0.87	-0.84	-0.90	-1.16	-1.72
18	-0.30	-0.07	0.21	0.50	0.52	0.23	-0.15	-0.12	-0.09	-0.10	-0.25	-0.50
16	0.12 C/N	0.07	0.77	0.94 LC	1.02	0.66	0.13 C/N	0.16	0.51 LC	0.35 C/N	0.12	-0.27
14	-0.48	-0.03	0.69	1.10	1.22	0.42	-0.26	-0.25	0.48 LC	0.32	0.15	-0.23
12	-1.27	-0.98	-0.15	0.43	0.53	-0.16	-0.84	-0.97	0.05	0.37	-0.80	-0.85
10	-2.80	-2.20	-1.94	-0.87	-0.55	-1.22	-1.84	-1.79	-1.87	-1.96	-2.32	-1.88
8	-3.69 Fr	-3.30	-3.55	-2.03	-1.82	-2.02	-2.29	-2.16	-2.13	-3.15 Fr	-3.66	-3.67
6	-3.52	-2.87	-3.01	-2.59	-2.08	-2.01	-2.30	-2.21	-2.26	-3.17	-3.27	-3.47
4	-3.15	-2.85	-2.73	-1.87	-1.54	-1.72	-2.01	-2.00	-1.95	-2.83	-2.81	-3.36
2	-2.71	-2.67	-2.33	-1.83	-1.18	-1.55	-1.74	-1.75	-2.01	-2.59	-2.67	-2.97

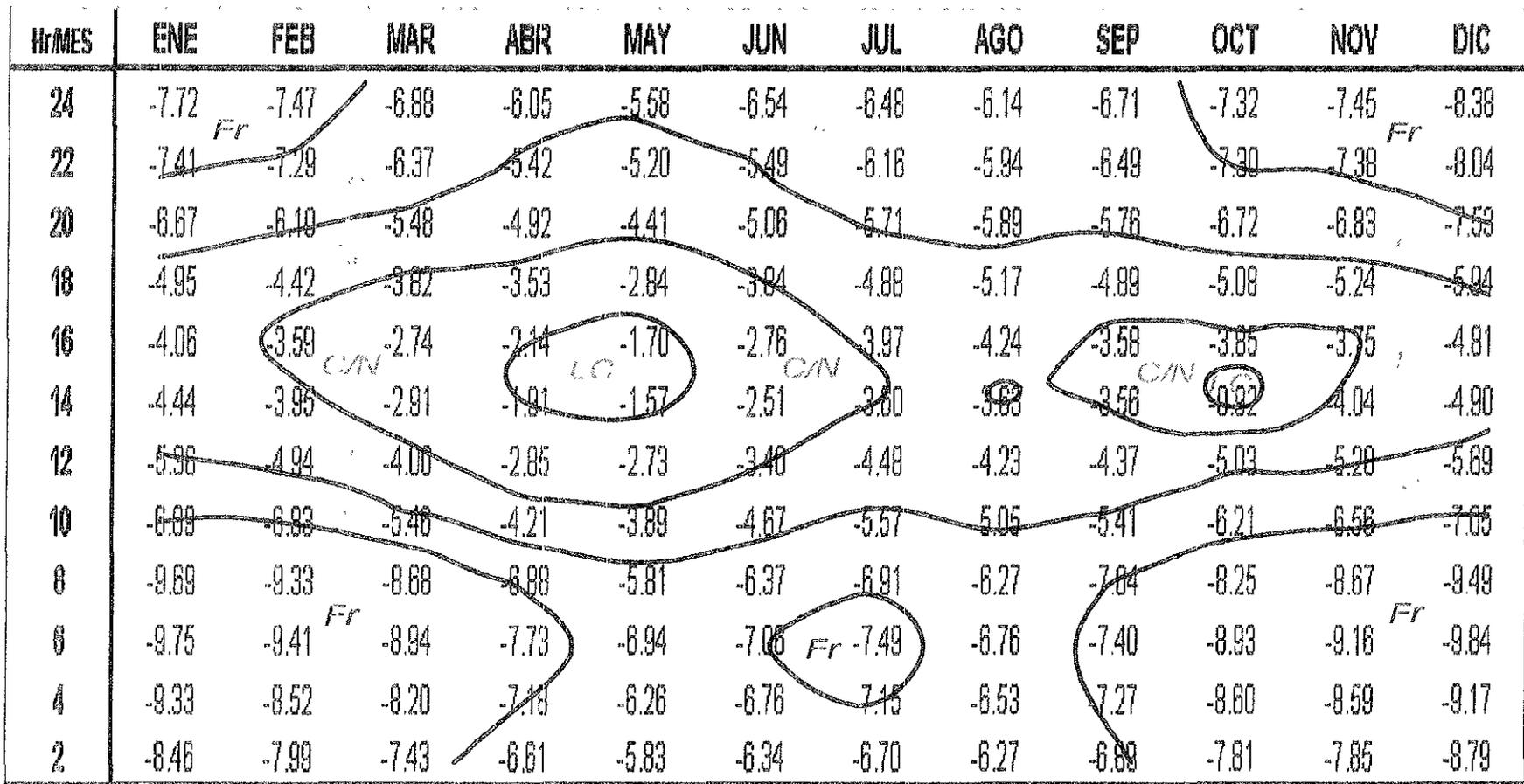
2.5	<PMV4	MC	Muy Caluroso
1.5	<PMV4 ≤ 2.5	C	Caluroso
0.5	<PMV4 ≤ 1.5	LC	Lig. Caluroso
-0.6	≤PMV4 < 0.5	C/N	Confortable/Neutro
-1.6	≤PMV4 < -0.6	LF	Lig. Fresco
-2.6	≤PMV4 < -1.6	F	Fresco
	PMV4 < -2.6	Fr	Frio

Fig. A2.5. Marcha diaria del PMV4 en Aeropuerto durante 1995.



2.6	<PMV2	MC	Muy Caluroso
1.9	<PMV2 ≤ 2.6	C	Caluroso
1.1	<PMV2 ≤ 1.9	LC	Lig. Caluroso
0.4	≤PMV2 ≤ 1.1	C/N	Confortable/Neutro
-0.4	≤PMV2 < 0.4	LF	Lig. Fresco
-1.2	≤PMV2 < -0.4	F	Fresco
	PMV2 < -1.2	Fr	Frío

Fig. A2.6. Marcha diaria del PMV2 en Texcoco durante 1995.



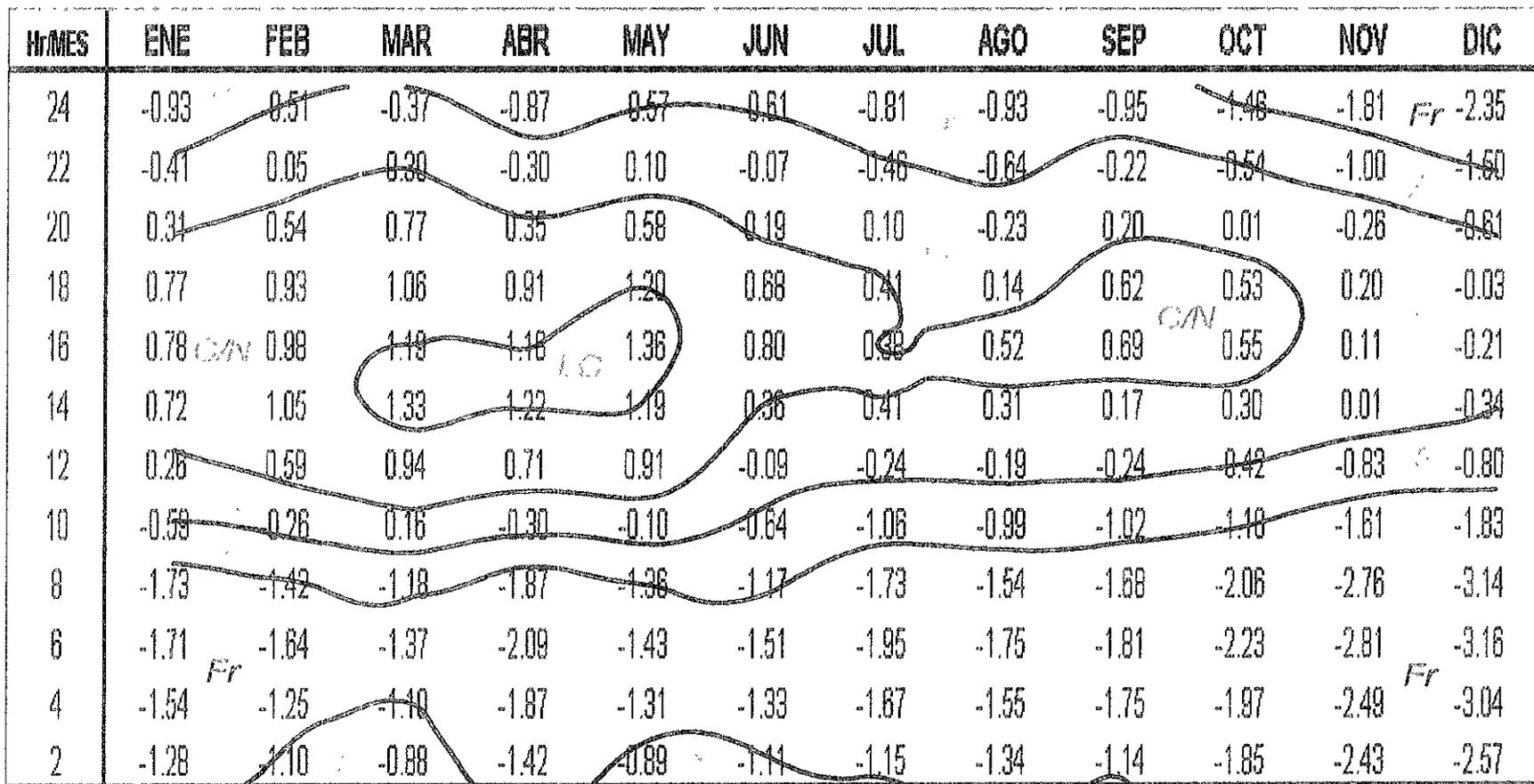
1.4	<PMV3		MC	Muy Caluroso
-0.3	<PMV3 ≤	1.4	C	Caluroso
-2.0	<PMV3 ≤	-0.3	LC	Lig. Caluroso
-3.7	≤PMV3 ≤	-2.0	C/N	Confortable/Neutro
-5.4	≤PMV3 <	-3.7	LF	Lig. Fresco
-7.1	≤PMV3 <	-5.4	F	Fresco
	PMV3 <	-7.1	Fr	Frío

Fig. A2.7. Marcha diurna del PMV3 en Texcoco durante 1995.

HrMES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
24	Fr -2.84	-2.16	-1.89	-1.25	-1.00	-1.21	-1.43	-1.73	-1.58	-2.08	-2.28	-2.86 Fr
22	-2.01	-1.37	-1.08	0.77	-0.50	-1.12	-1.12	-1.50	-1.17	-1.40	-1.54	-2.17
20	-1.24	-1.03	-0.26	0.01	0.03	-0.39	-0.68	-0.96	-0.75	-0.76	-0.95	-1.44
18	-0.48	-0.17	0.26	0.76	0.81	0.33	-0.14	-0.36	0.08	0.02	-0.23	0.77
16	-0.44	-0.06	0.47	0.99	1.08	0.66	0.29	0.03	0.28	0.31	-0.04	-0.53
14	-0.81	-0.36	0.19	0.78	0.85	0.53	0.09	-0.19	-0.01	0.00	-0.32	0.76
12	-1.69	1.15	-0.46	0.21	0.28	-0.09	0.5	-0.62	-0.55	-0.62	-1.04	1.38
10	-3.30	-2.42	-1.59	-0.89	-0.64	-0.84	-1.16	-1.43	-1.50	-1.77	-2.35	-2.85
8	-3.97	-3.74	-2.83	-2.08	1.07	1.58	-1.86	-2.14	-2.19	-2.70	-3.23	-3.91
6	-3.66	-3.44	-3.05	-2.41	-0.99	-2.09	-2.16	-2.34	-2.42	-2.90	-3.28	-3.68
4	-3.38	-3.24	-2.58	-1.95	-1.82	-1.69	-2.04	-2.17	-2.04	-2.62	-3.03	-3.48
2	-3.05	-2.75	-2.31	-1.65	-1.38	-1.47	-1.90	-2.00	-1.91	-2.39	-2.83	-3.04

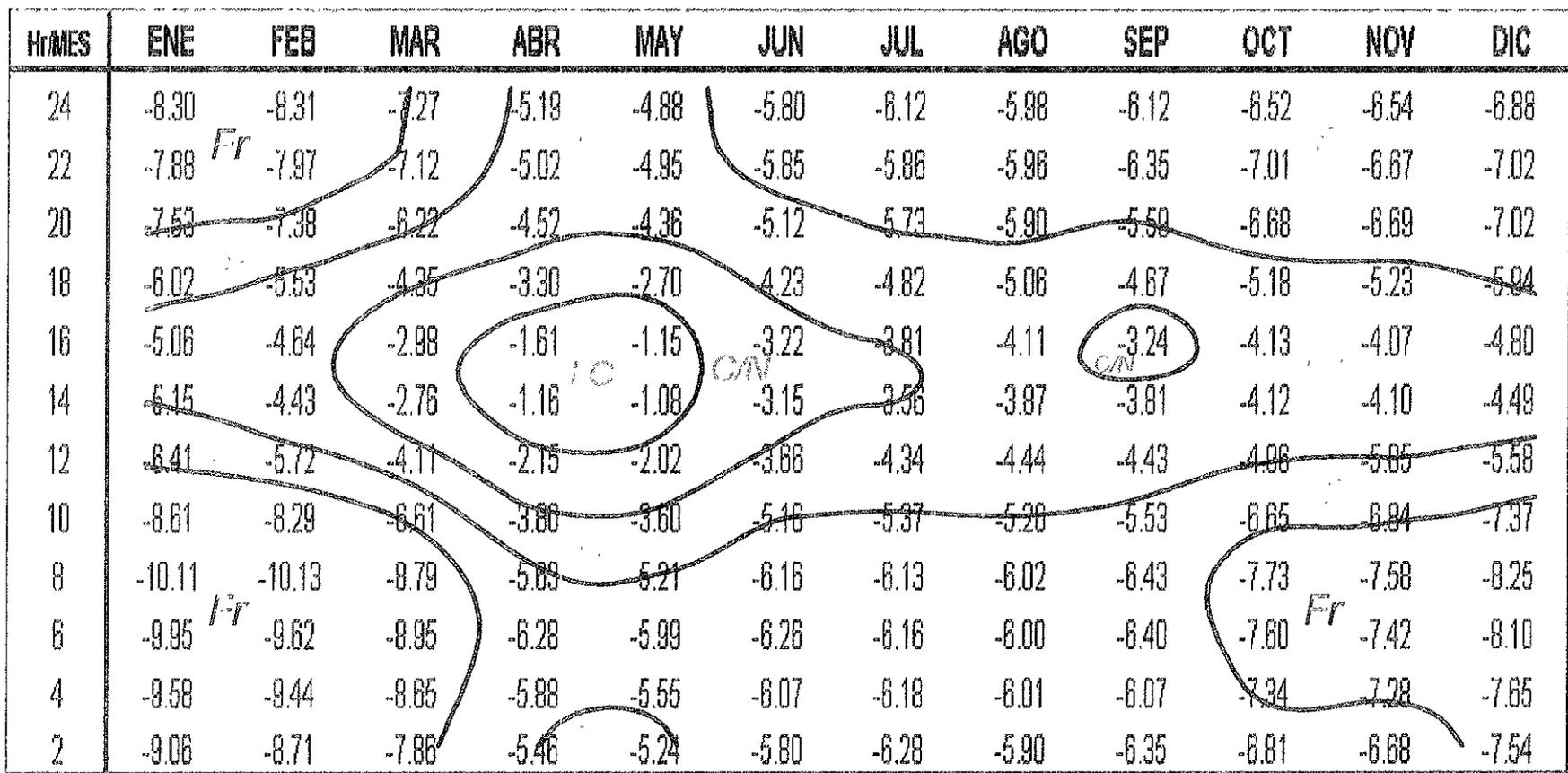
2.5	<PMV4		MC	Muy Caluroso
1.5	<PMV4≤	2.5	C	Caluroso
0.5	<PMV4≤	1.5	LC	Lig. Caluroso
-0.6	≤PMV4≤	0.5	C/N	Confortable/Neutro
-1.6	≤PMV4<	-0.6	LF	Lig. Fresco
-2.6	≤PMV4<	-1.6	F	Fresco
	PMV4<	-2.6	Fr	Frio

Fig. A2.8. Marcha diaria del PMV4 en Texcoco durante 1995.



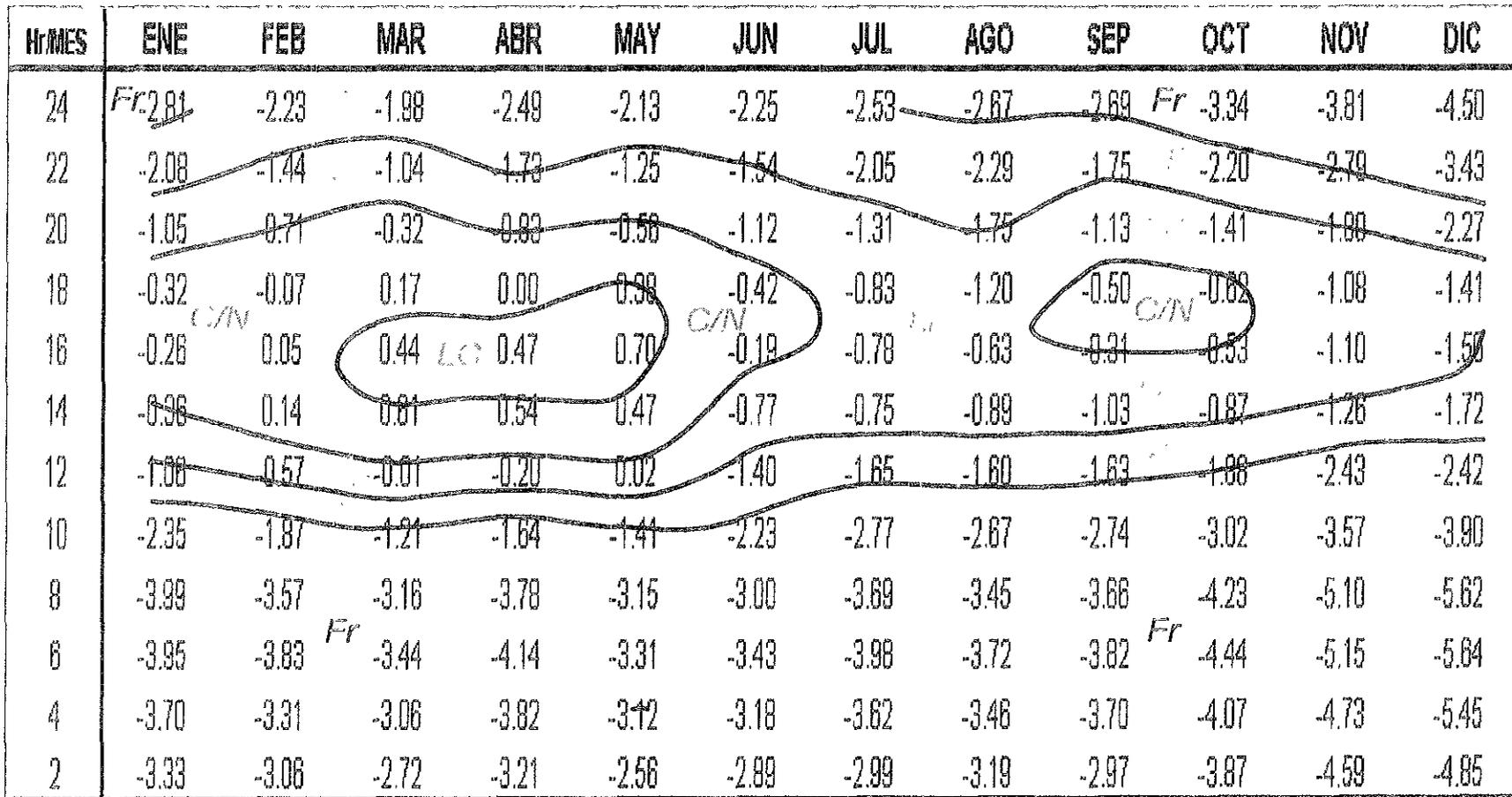
2.6	<PMV2	MC	Muy Caluroso
1.9	<PMV2 ≤ 2.6	C	Caluroso
1.1	<PMV2 ≤ 1.9	LC	Lig. Caluroso
0.4	≤PMV2 ≤ 1.1	C/N	Confortable/Neutro
-0.4	≤PMV2 < 0.4	LF	Lig. Fresco
-1.2	≤PMV2 < -0.4	F	Fresco
	PMV2 < -1.2	Fr	Frío

Fig. A2.9. Marcha diurna del PMV2 en Xalostoc durante 1995.



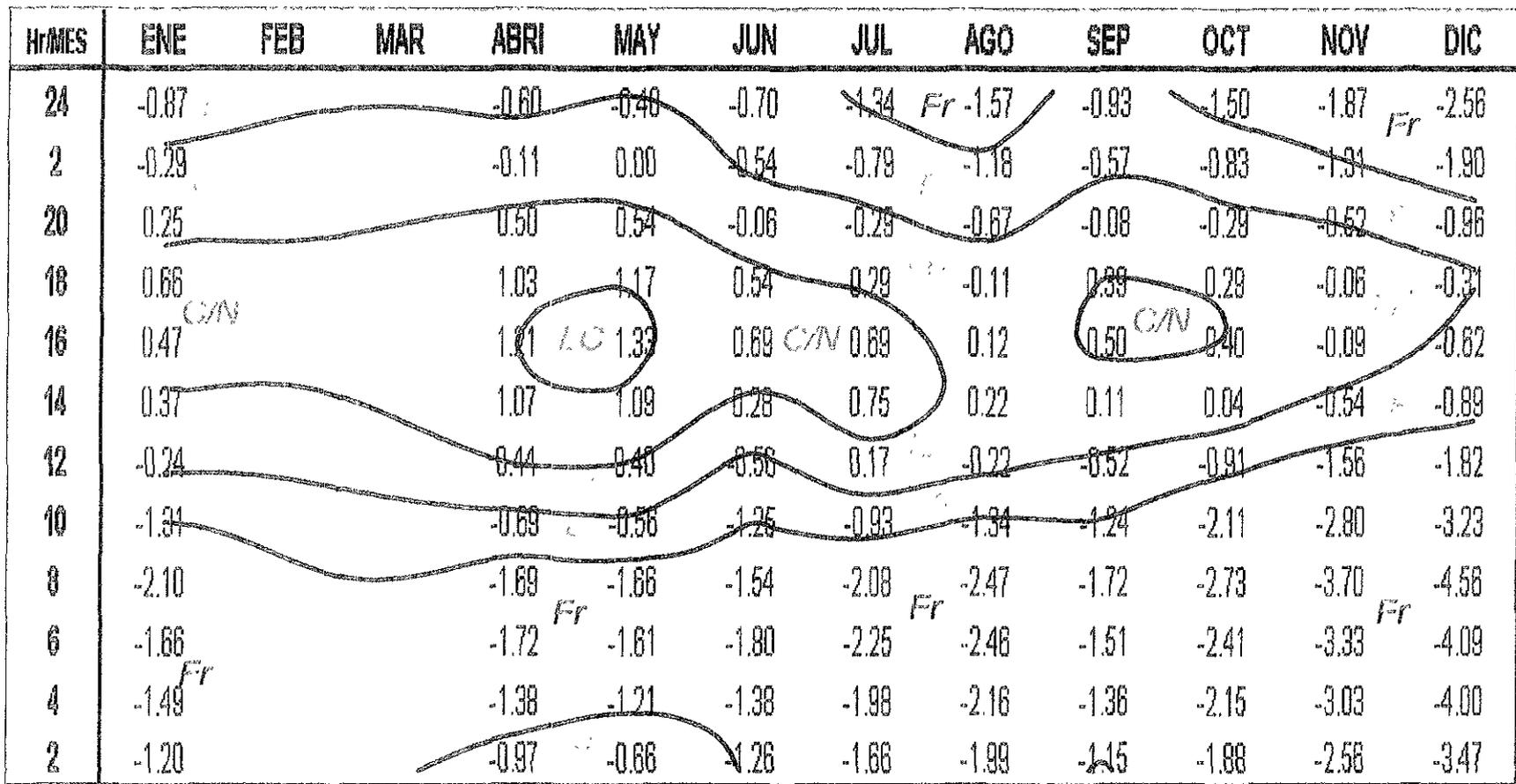
1.4	<PMV3		MC	Muy Caluroso
-0.3	<PMV3≤	1.4	C	Caluroso
-2.0	<PMV3≤	-0.3	LC	Lig. Caluroso
-3.7	≤PMV3≤	-2.0	C/N	Confortable/Neutro
-5.4	≤PMV3<	-3.7	LF	Lig. Fresco
-7.1	≤PMV3<	-5.4	F	Fresco
	PMV3<	-7.1	Fr	Frío

Fig. A2.10. Marcha diurna del PMV3 en Xalostoc durante 1995.



2.5	<PMV4	MC	Muy Caluroso
1.5	<PMV4≤ 2.5	C	Caluroso
0.5	<PMV4≤ 1.5	LC	Lig. Caluroso
-0.6	≤PMV4≤ 0.5	C/N	Confortable/Neutro
-1.6	≤PMV4< -0.6	LF	Lig. Fresco
-2.6	≤PMV4< -1.6	F	Fresco
	PMV4< -2.6	Fr	Frío

Fig. A2.11. Marcha diaria del PMV4 en Xalostoc durante 1995.



2.6	<PMV2	MC	Muy Caluroso
1.9	<PMV2 ≤ 2.6	C	Caluroso
1.1	<PMV2 ≤ 1.9	LC	Lig. Caluroso
0.4	≤PMV2 < 1.1	C/N	Confortable/Neutro
-0.4	≤PMV2 < 0.4	LF	Lig. Fresco
-1.2	≤PMV2 < -0.4	F	Fresco
	PMV2 < -1.2	Fr	Frío

Fig. A2.12. Marcha diurna del PMV2 en San Agustín durante 1995.

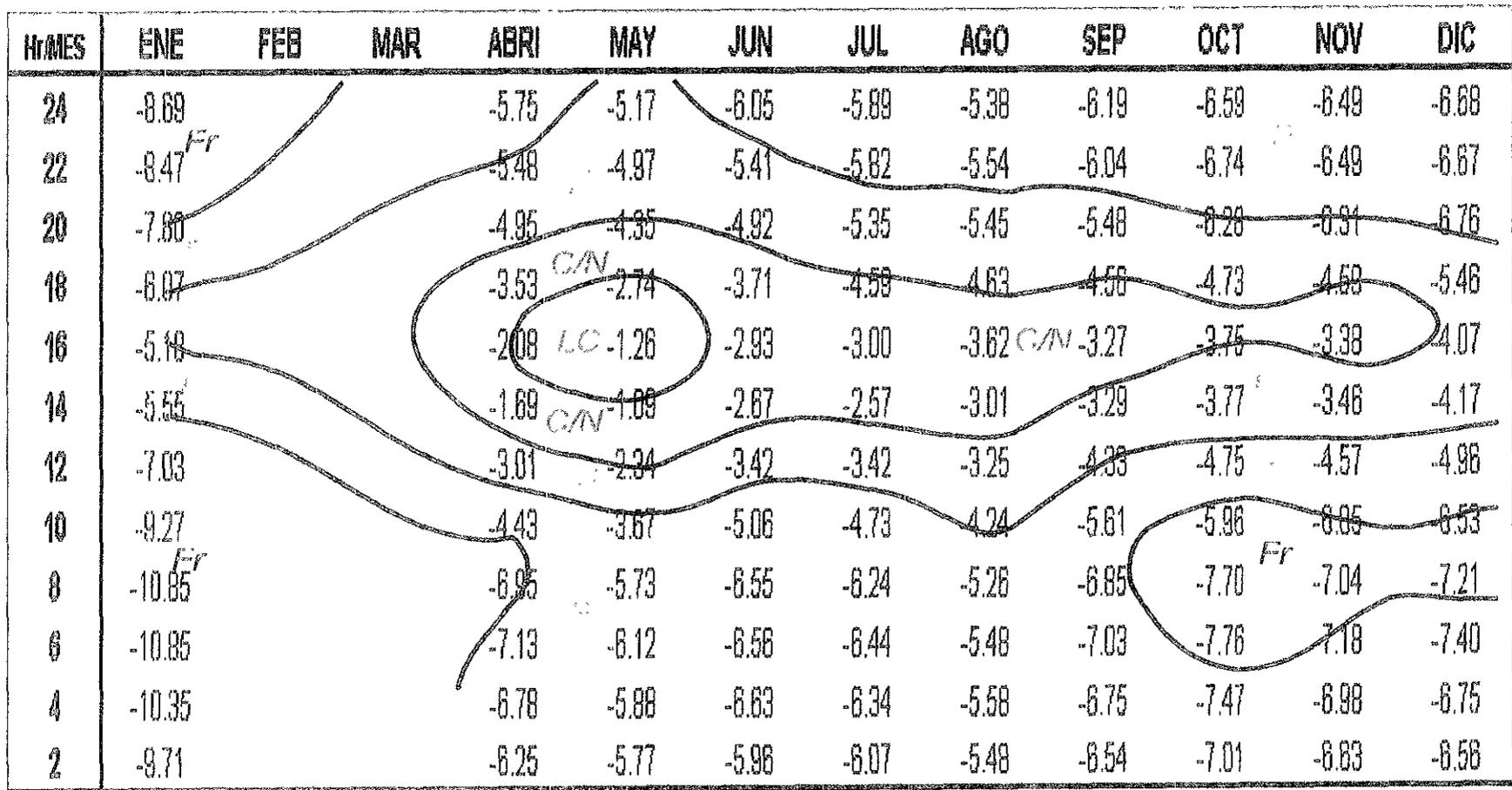
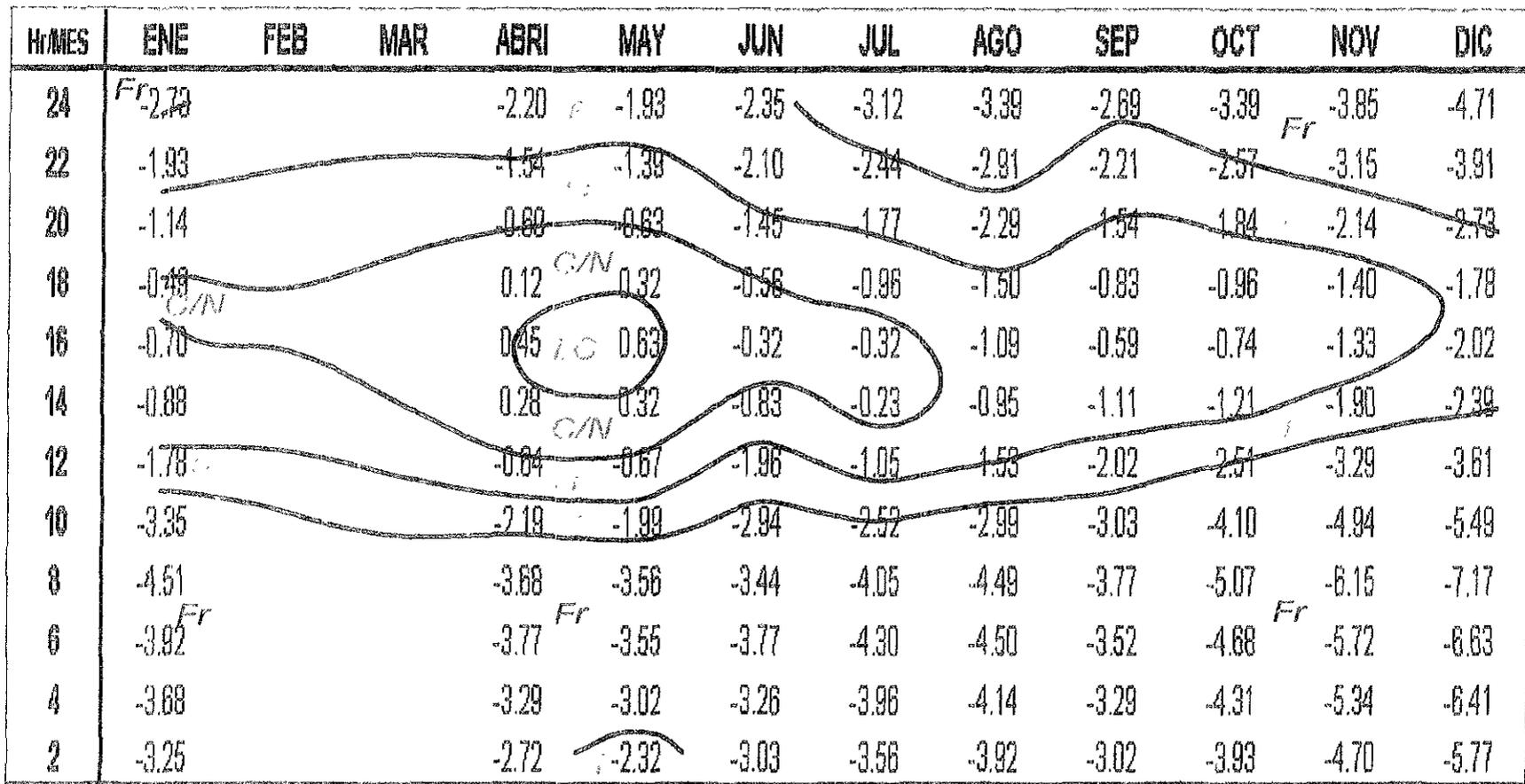


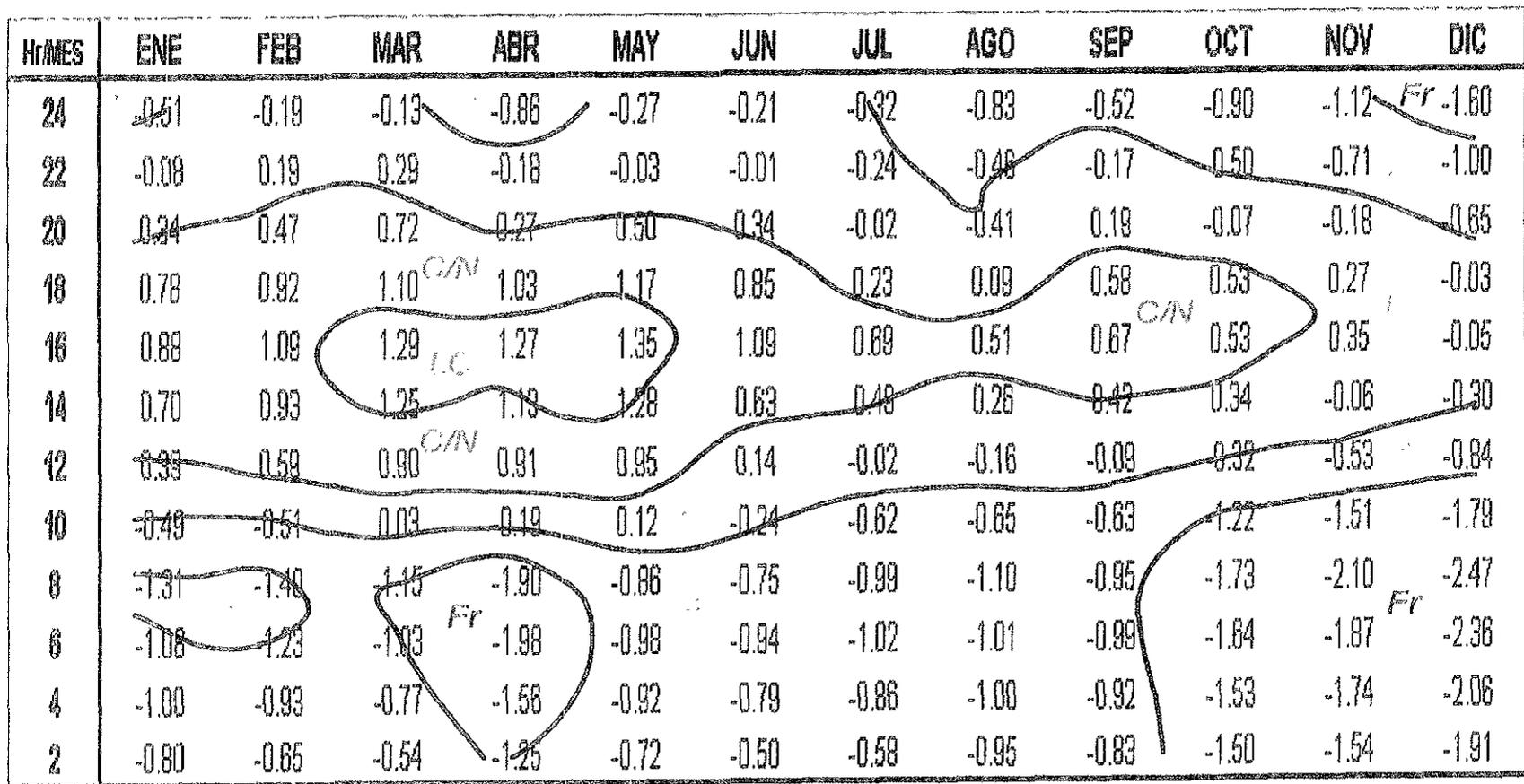
Fig. A2.13. Marcha diurna del PMV3 en San Agustín durante 1995.

1.4	<PMV3		MC	Muy Caluroso
-0.3	<PMV3 ≤	1.4	C	Caluroso
-2.0	<PMV3 ≤	-0.3	LC	Lig. Caluroso
-3.7	≤PMV3 ≤	-2.0	C/N	Confortable/Neutro
-5.4	≤PMV3 <	-3.7	LF	Lig. Fresco
-7.1	≤PMV3 <	-5.4	F	Fresco
	PMV3 <	-7.1	Fr	Frío



2.5	<PMV4		MC	Muy Caluroso
1.5	<PMV4 ≤	2.5	C	Caluroso
0.5	<PMV4 ≤	1.5	LC	Lig. Caluroso
-0.6	≤PMV4 ≤	0.5	C/N	Confortable/Neutro
-1.6	≤PMV4 <	-0.6	LF	Lig. Fresco
-2.6	≤PMV4 <	-1.6	F	Fresco
	PMV4 <	-2.6	Fr	Frío

Fig. A2.14. Marcha diurna del PMV4 en San Agustín durante 1995.



2.6	<PMV2	MC	Muy Caluroso
1.9	<PMV2 ≤ 2.6	C	Caluroso
1.1	<PMV2 ≤ 1.9	LC	Lig. Caluroso
0.4	≤PMV2 ≤ 1.1	C/N	Confortable/Neutro
-0.4	≤PMV2 < 0.4	LF	Lig. Fresco
-1.2	≤PMV2 < -0.4	F	Fresco
	PMV2 < -1.2	Fr	Frio

Fig. A2.15. Marcha diaria del PMV2 en Tlalnepantla durante 1995.

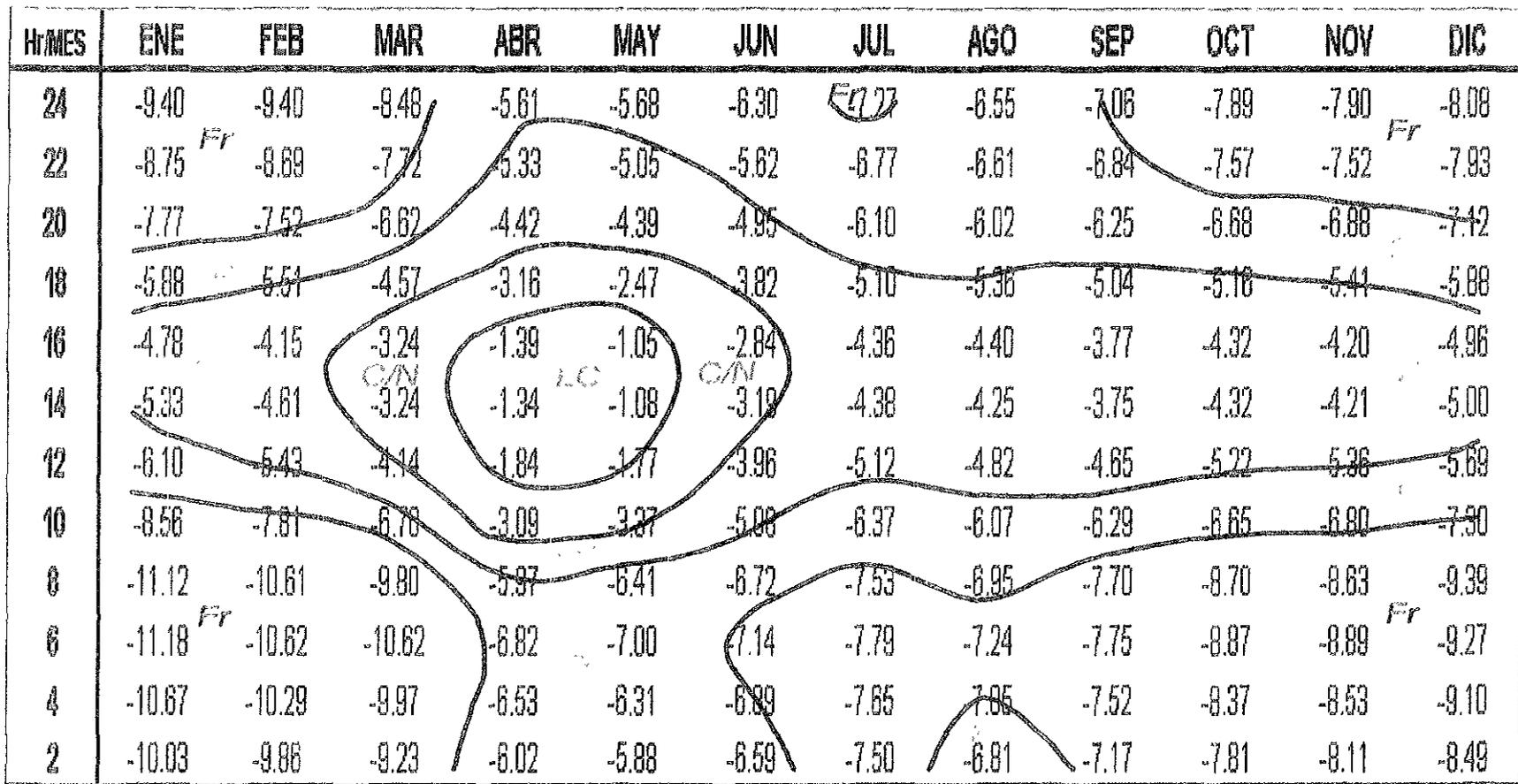
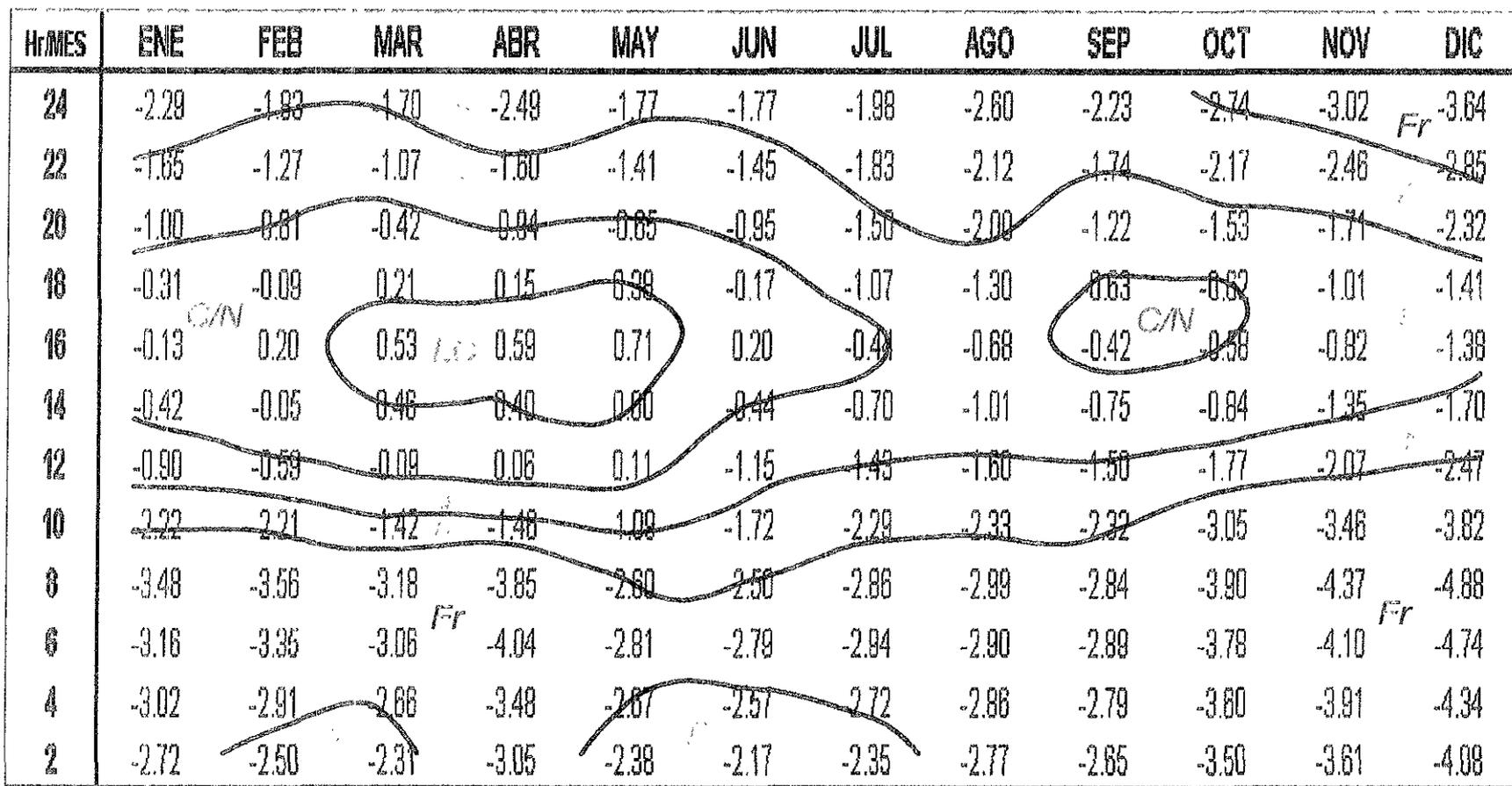


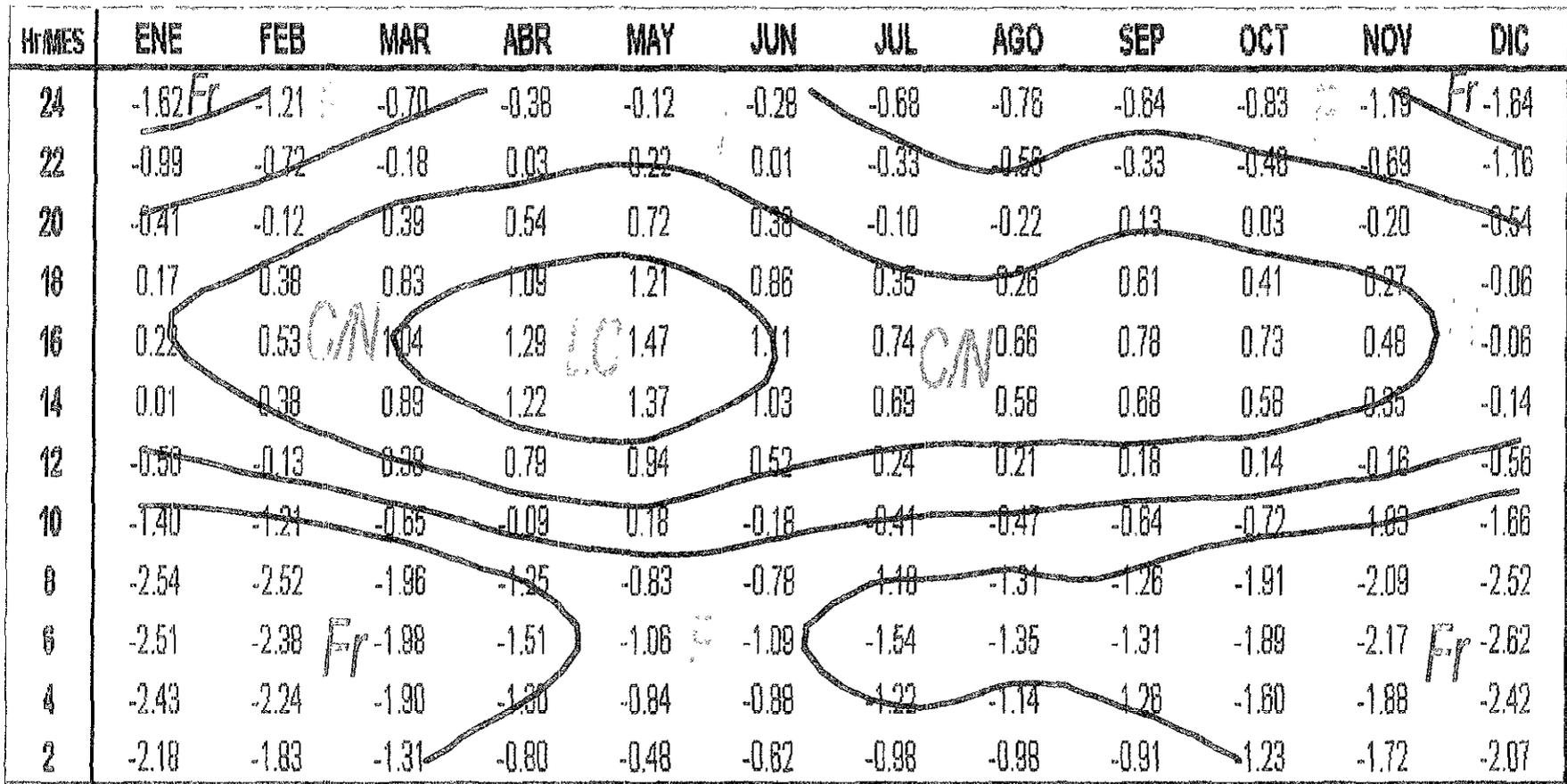
Fig. A2.16. Marcha diurna del PMV3 en Tlalnepantla durante 1995.

1.4	<PMV3	MC	Muy Caluroso
-0.3	<PMV3 ≤ 1.4	C	Caluroso
-2.0	<PMV3 ≤ -0.3	LC	Lig. Caluroso
-3.7	≤PMV3 ≤ -2.0	C/N	Confortable/Neutro
-5.4	≤PMV3 < -3.7	LF	Lig. Fresco
-7.1	≤PMV3 < -5.4	F	Fresco
	PMV3 < -7.1	Fr	Frío



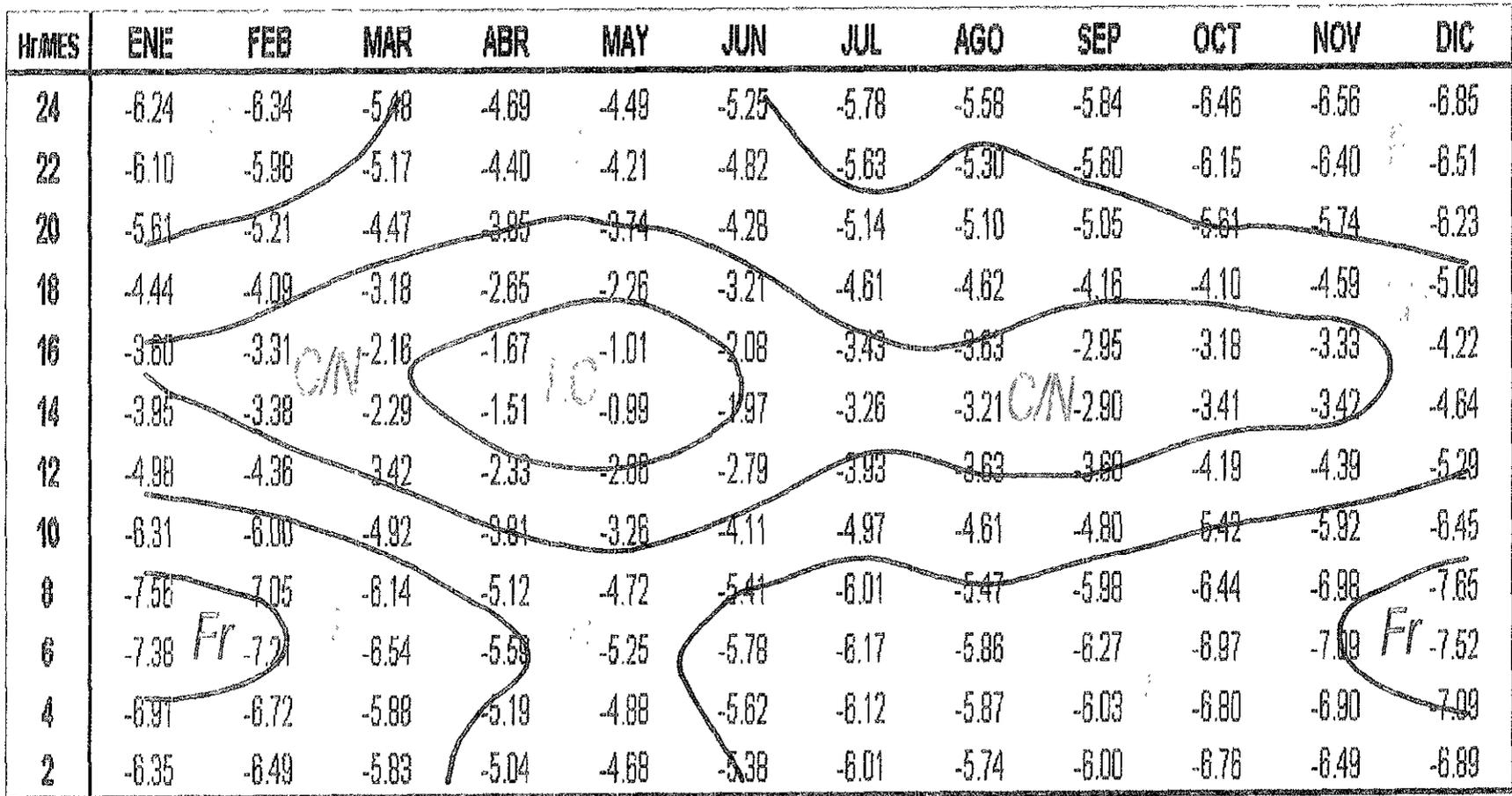
2.5	<PMV4	MC	Muy Caluroso
1.5	<PMV4 ≤ 2.5	C	Caluroso
0.5	<PMV4 ≤ 1.5	LC	Lig. Caluroso
-0.6	≤PMV4 < 0.5	C/N	Confortable/Neutro
-1.6	≤PMV4 < -0.6	LF	Lig. Fresco
-2.6	≤PMV4 < -1.6	F	Fresco
	PMV4 < -2.6	Fr	Frío

Fig. A2.17. Marcha diurna del PMV4 en Tlalnepantla durante 1995.



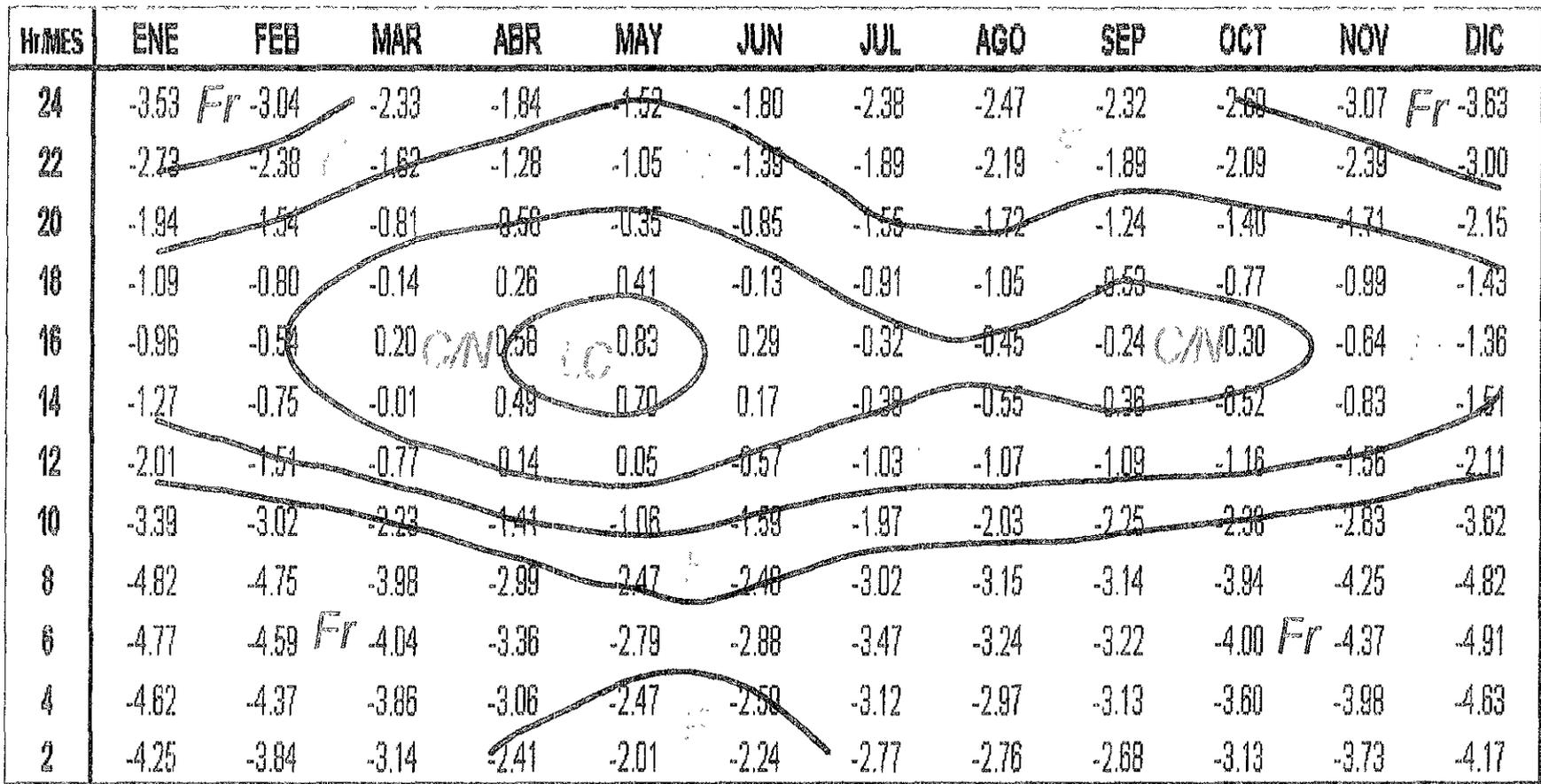
2.6	<PMV2	MC	Muy Caluroso
1.9	<PMV2 ≤ 2.6	C	Caluroso
1.1	<PMV2 ≤ 1.9	LC	Lig. Caluroso
0.4	≤PMV2 ≤ 1.1	C/N	Confortable/Neutro
-0.4	≤PMV2 < 0.4	LF	Lig. Fresco
-1.2	≤PMV2 < -0.4	F	Fresco
	PMV2 < -1.2	Fr	Frío

Fig. A2.18. Marcha diurna del PMV2 en Palacio de Minería durante 1995



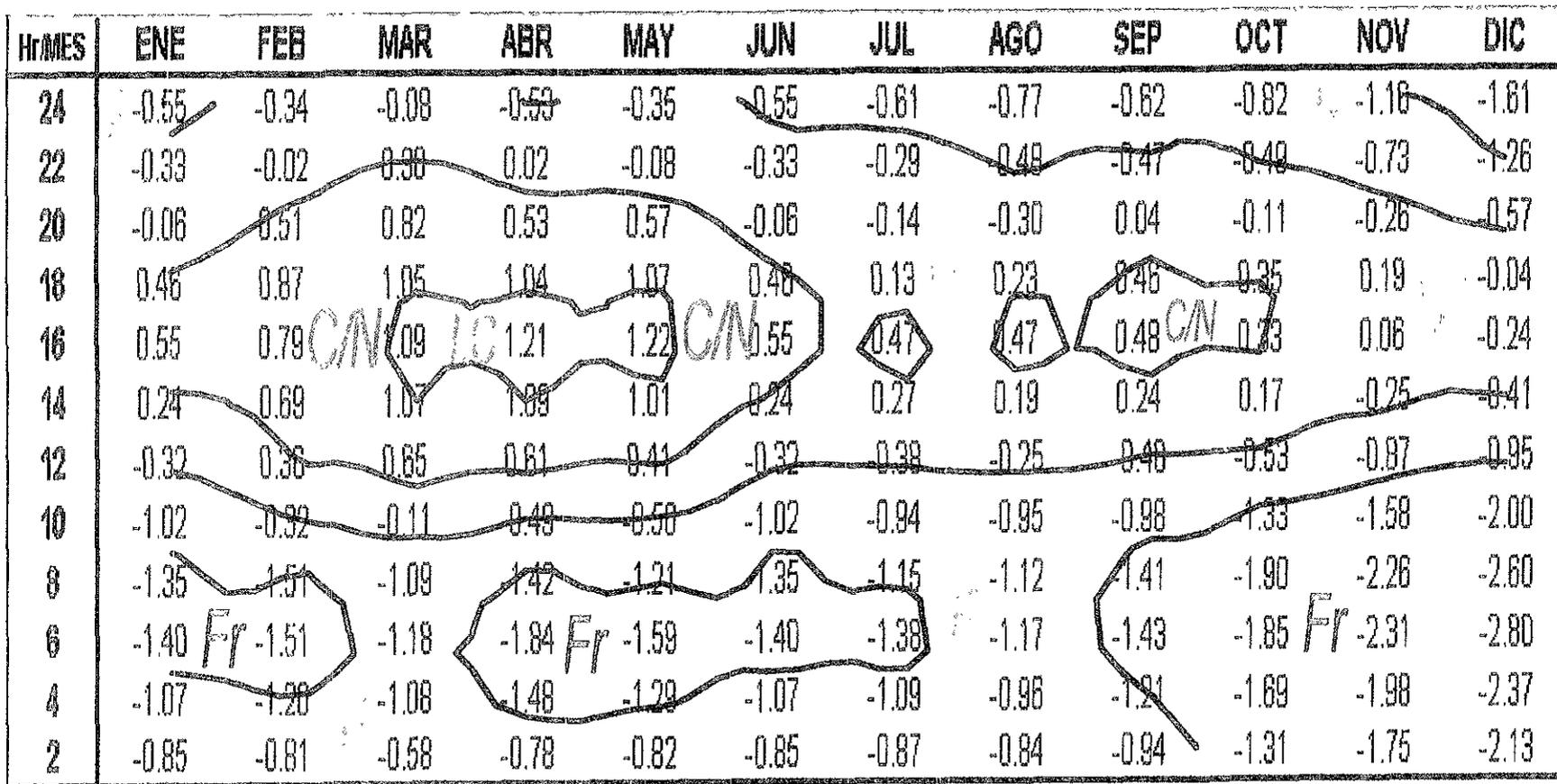
1.4	<PMV3		MC	Muy Caluroso
-0.3	<PMV3≤	1.4	C	Caluroso
-2.0	<PMV3≤	-0.3	LC	Lig. Caluroso
-3.7	≤PMV3<	-2.0	C/N	Comfortable/Neutro
-5.4	≤PMV3<	-3.7	LF	Lig. Fresco
-7.1	≤PMV3<	-5.4	F	Fresco
	PMV3<	-7.1	Fr	Frío

Fig. A2.19. Marcha diurna del PMV3 en Palacio de Minería durante 1995



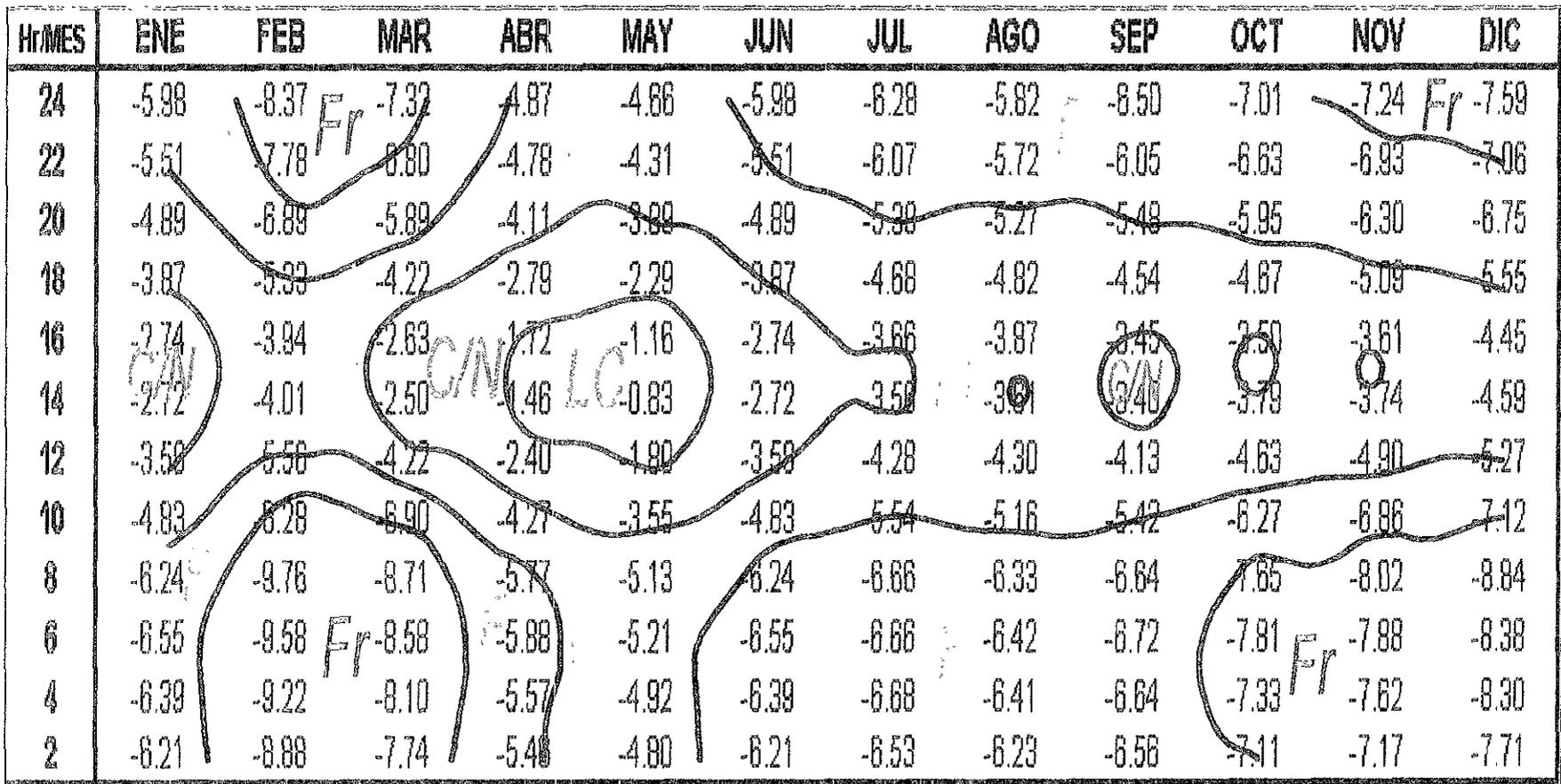
2.5	<PMV4		MC	Muy Caluroso
1.5	<PMV4≤	2.5	C	Caluroso
0.5	<PMV4≤	1.5	LC	Lig. Caluroso
-0.6	≤PMV4≤	0.5	C/N	Confortable/Neutro
-1.6	≤PMV4<	-0.6	LF	Lig. Fresco
-2.6	≤PMV4<	-1.6	F	Fresco
	PMV4<	-2.6	Fr	Frío

Fig. A2.20. Marcha diaria del PMV4 en Palacio de Minería durante 1995.



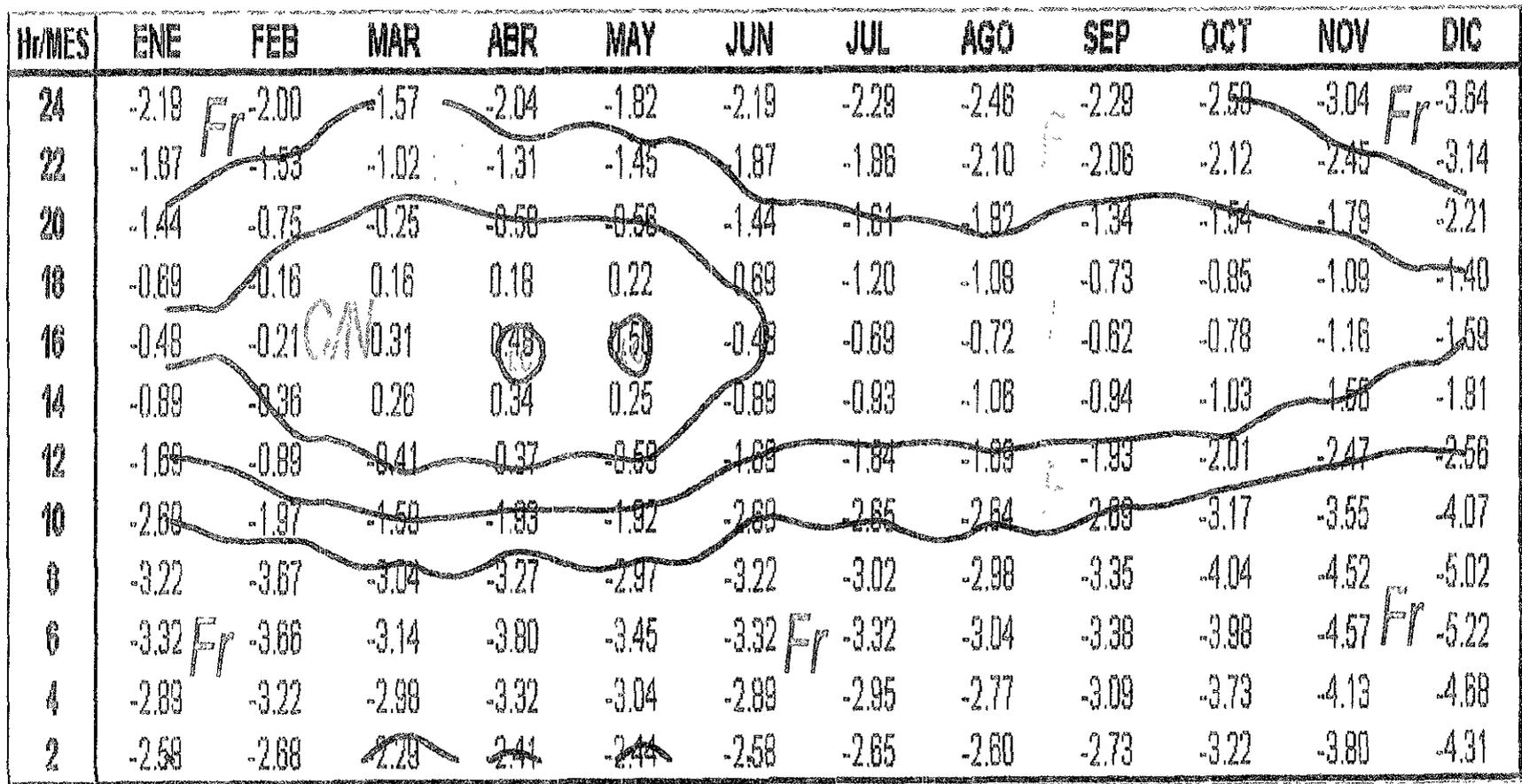
2.6	<PMV2	MC	Muy Caluroso
1.9	<PMV2 ≤ 2.6	C	Caluroso
1.1	<PMV2 ≤ 1.9	LC	Lig. Caluroso
0.4	≤PMV2 ≤ 1.1	C/N	Confortable/Neutro
-0.4	≤PMV2 < 0.4	LF	Lig. Fresco
-1.2	≤PMV2 < -0.4	F	Fresco
	PMV2 < -1.2	Fr	Frio

Fig. A2.21. Marcha diurna del PMV2 en Merced durante 1995.



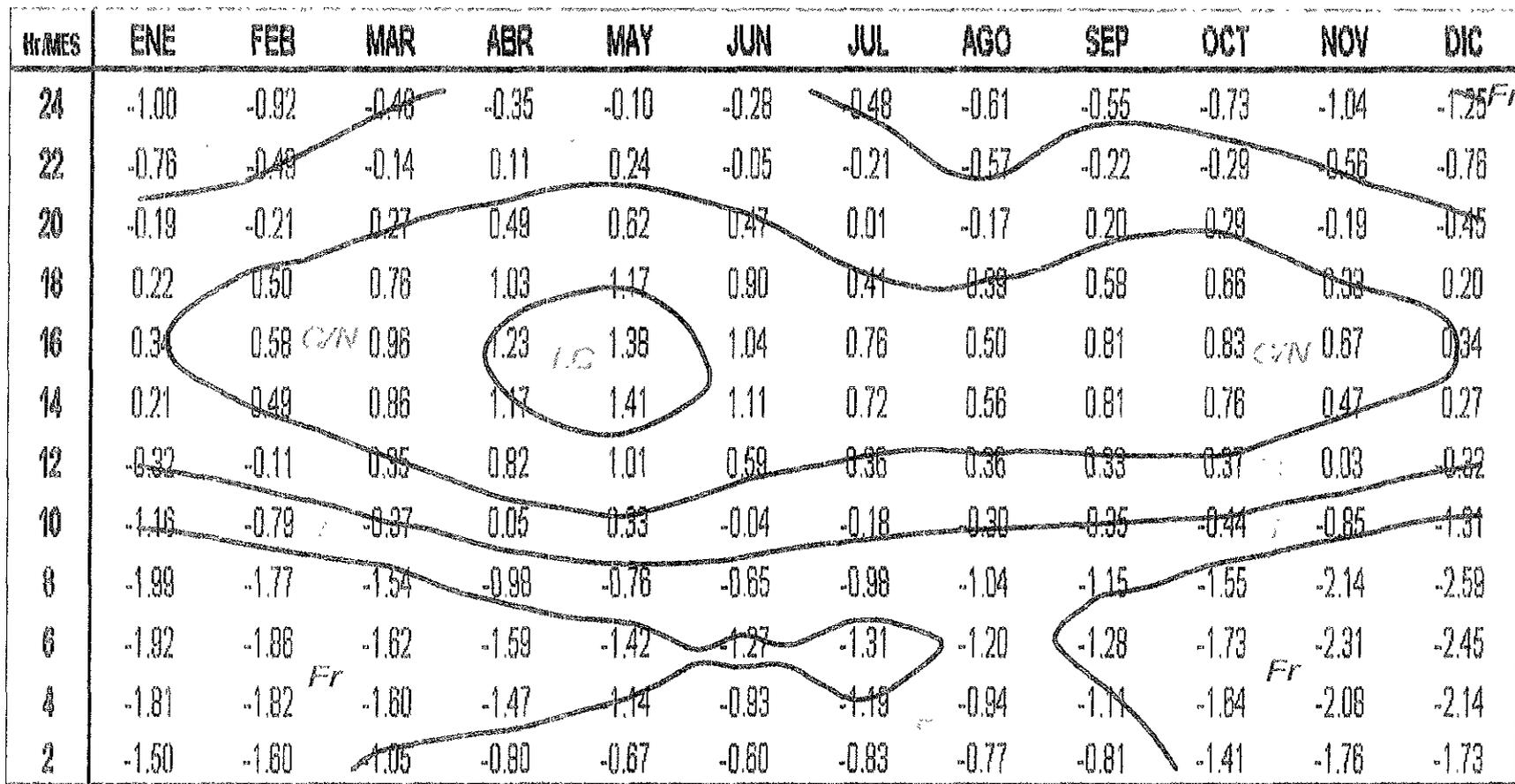
1.4	<PMV3	MC	Muy Caluroso
-0.3	<PMV3 ≤ 1.4	C	Caluroso
-2.0	<PMV3 ≤ -0.3	LC	Lig. Caluroso
-3.7	≤PMV3 ≤ -2.0	C/N	Confortable/Neutro
-5.4	≤PMV3 < -3.7	LF	Lig. Fresco
-7.1	≤PMV3 < -5.4	F	Fresco
	PMV3 < -7.1	Fr	Frío

Fig. A2.22. Marcha diurna del PMV3 en Merced durante 1995.



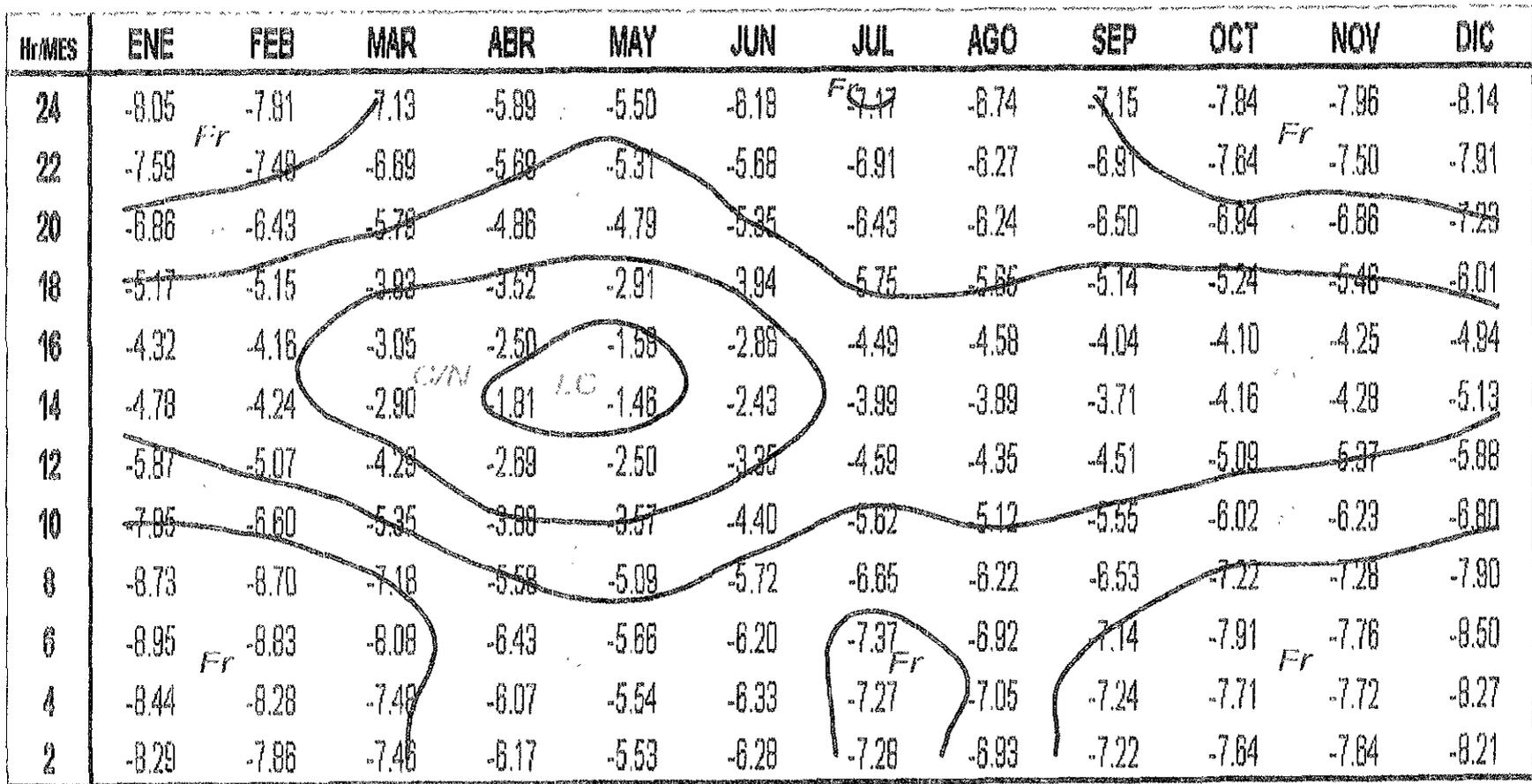
2.5	<PMV4	MC	Muy Caluroso
1.5	<PMV4<	C	Caluroso
0.5	<PMV4<	LC	Lig. Caluroso
-0.6	≤PMV4≤	C/N	Confortable/Neutro
-1.6	≤PMV4<	LF	Lig. Fresco
-2.6	≤PMV4<	F	Fresco
	PMV4<	Fr	Frio

Fig. A2.23. Marcha diurna del PMV4 en Merced durante 1995.



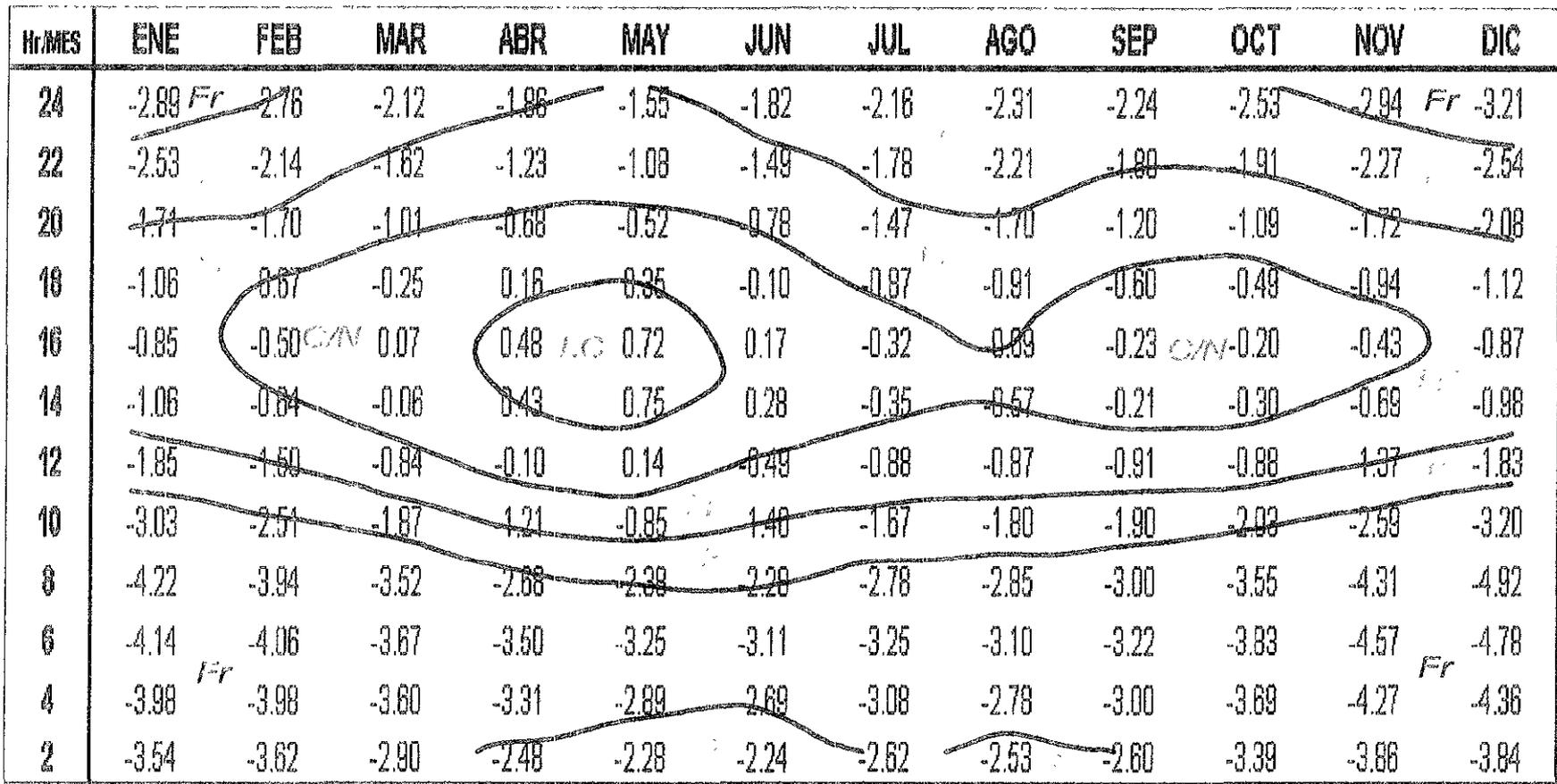
2.6	<PMV2	MC	Muy Caluroso
1.9	<PMV2 ≤ 2.6	C	Caluroso
1.1	<PMV2 ≤ 1.9	LC	Lig. Caluroso
0.4	≤PMV2 ≤ 1.1	C/N	Confortable/Neutro
-0.4	≤PMV2 < 0.4	LF	Lig. Fresco
-1.2	≤PMV2 < -0.4	F	Fresco
	PMV2 < -1.2	Fr	Frío

Fig. A2.24. Marcha diaria del PMV2 en Tacubaya durante 1995.



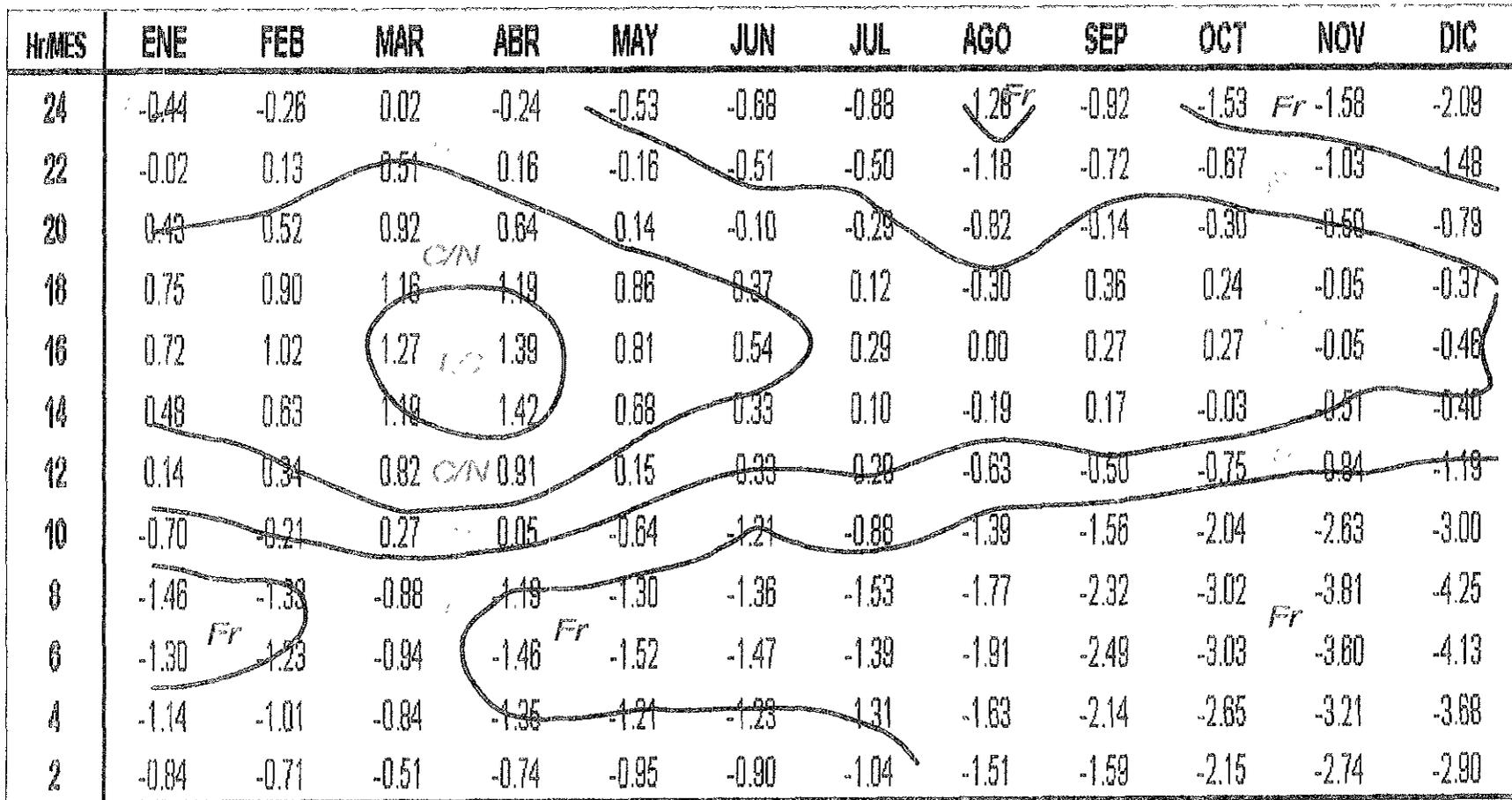
1.4	<PMV3		MC	Muy Caluroso
-0.3	<PMV3 ≤	1.4	C	Caluroso
-2.0	<PMV3 ≤	-0.3	LC	Lig. Caluroso
-3.7	≤PMV3 ≤	-2.0	C/N	Confortable/Neutro
-5.4	≤PMV3 <	-3.7	LF	Lig. Fresco
-7.1	≤PMV3 <	-5.4	F	Fresco
	PMV3 <	-7.1	Fr	Frío

Fig. A2.25. Marcha diurna del PMV3 en Tacubaya durante 1995.



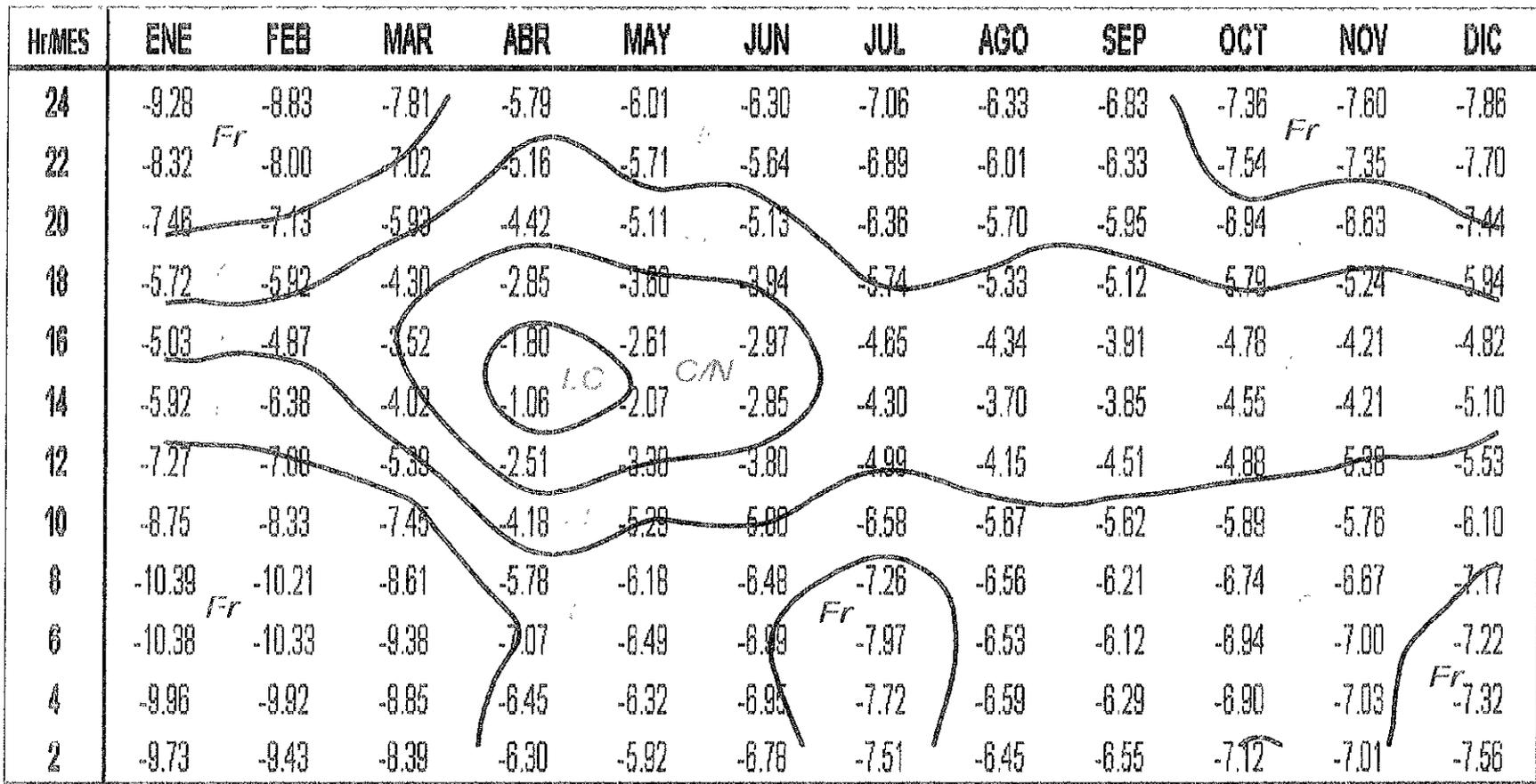
2.5	<PMV4	MC	Muy Caluroso
1.5	<PMV4 ≤ 2.5	C	Caluroso
0.5	<PMV4 ≤ 1.5	LC	Lig. Caluroso
-0.6	≤PMV4 ≤ 0.5	C/N	Confortable/Neutro
-1.6	≤PMV4 < -0.6	LF	Lig. Fresco
-2.6	≤PMV4 < -1.6	F	Fresco
	PMV4 < -2.6	Fr	Frío

Fig. A2.26. Marcha diurna del PMV4 en Tacubaya durante 1995.



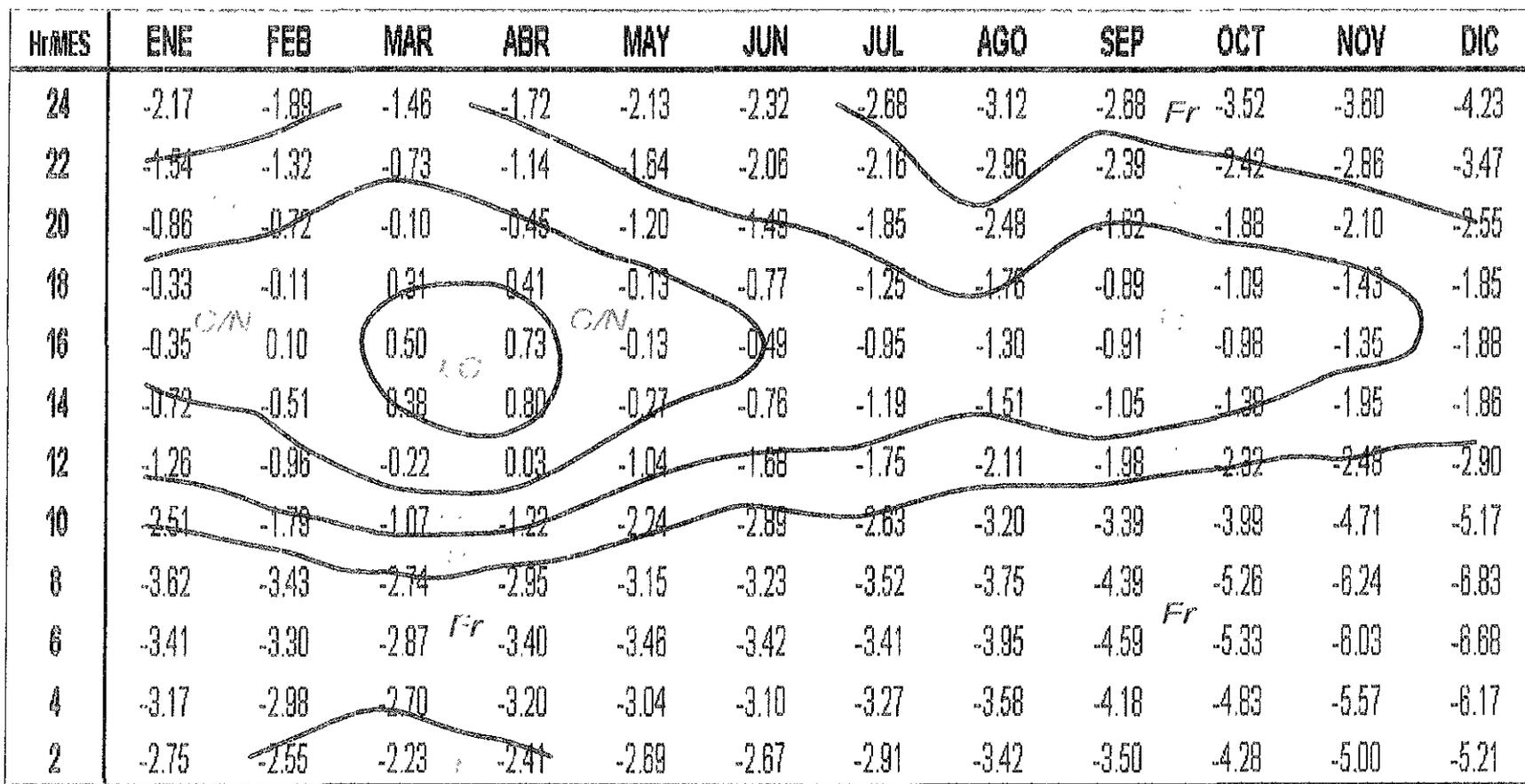
2.6	<PMV2	MC	Muy Caluroso
1.9	<PMV2 ≤ 2.6	C	Caluroso
1.1	<PMV2 ≤ 1.9	LC	Lig. Caluroso
0.4	≤PMV2 < 1.1	C/N	Confortable/Neutro
-0.4	≤PMV2 < 0.4	LF	Lig. Fresco
-1.2	≤PMV2 < -0.4	F	Fresco
	PMV2 < -1.2	Fr	Frío

Fig. A2.27. Marcha diurna del PMV2 en Tacuba durante 1995.



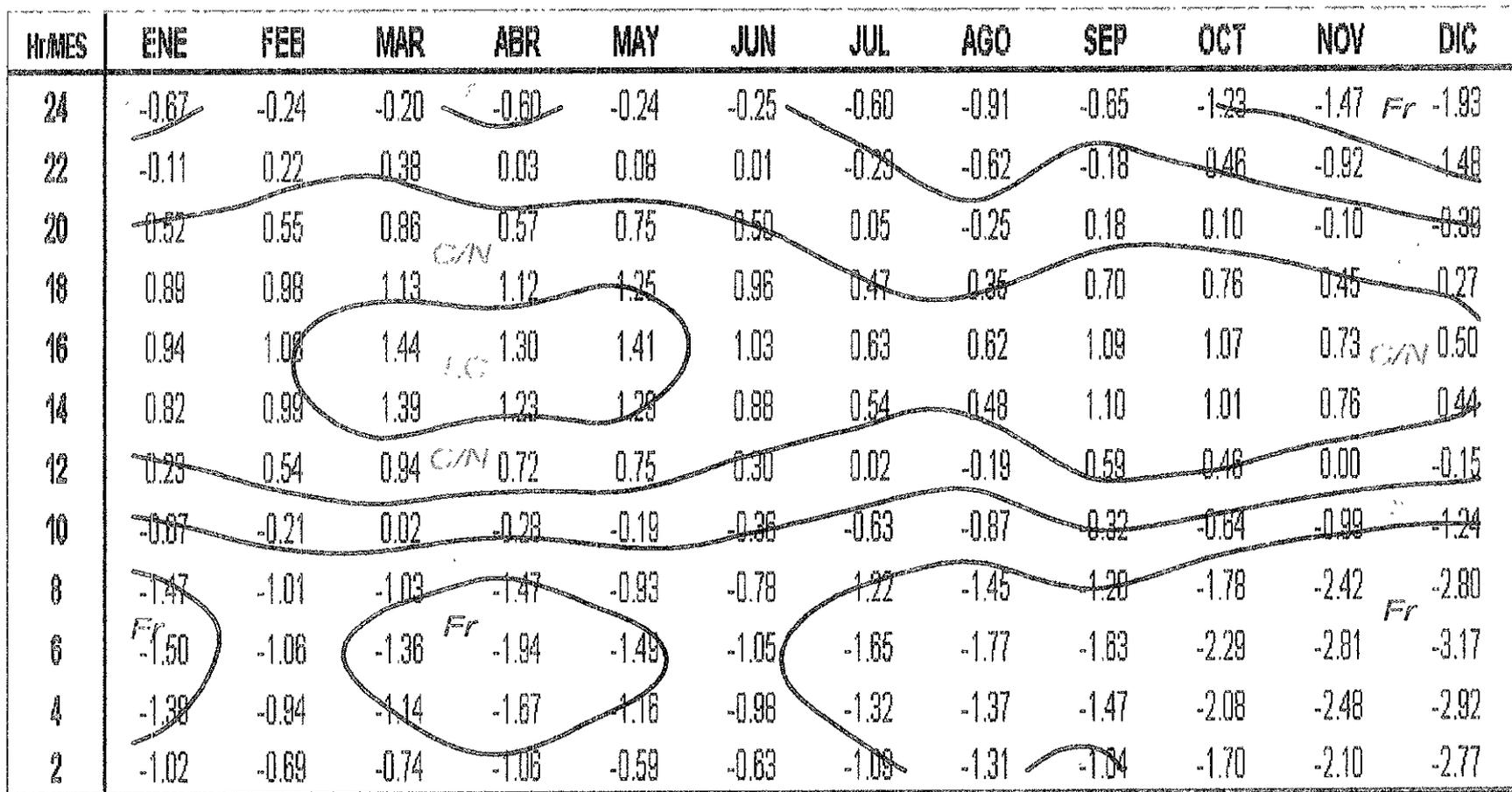
1.4	<PMV3	MC	Muy Caluroso
-0.3	<PMV3 ≤ 1.4	C	Caluroso
-2.0	<PMV3 ≤ -0.3	LC	Lig. Caluroso
-3.7	<PMV3 ≤ -2.0	C/N	Confortable/Neutro
-5.4	<PMV3 ≤ -3.7	LF	Lig. Fresco
-7.1	<PMV3 ≤ -5.4	F	Fresco
	PMV3 < -7.1	Fr	Frio

Fig. A2.28. Marcha diurna del PMV3 en Tacuba durante 1995.



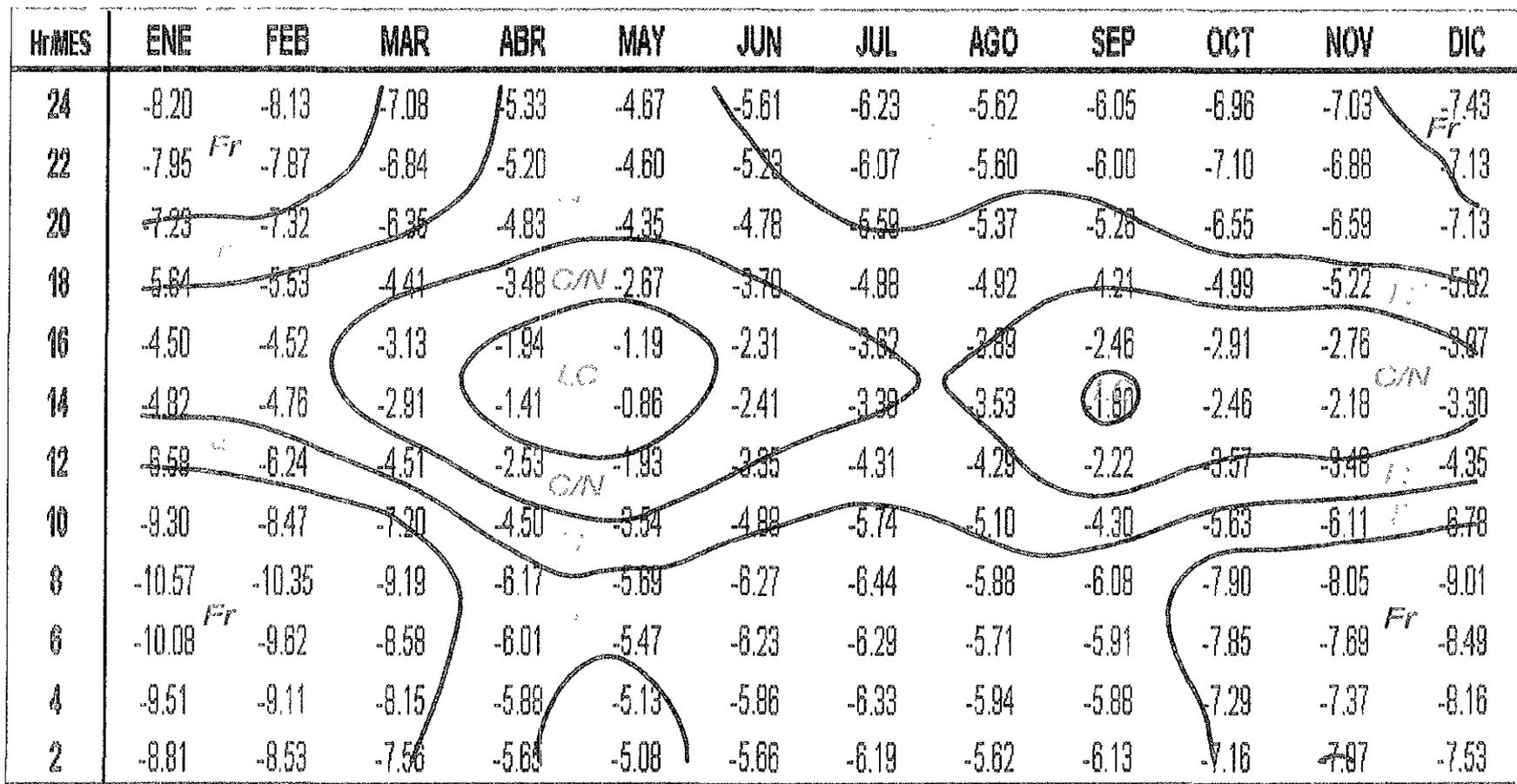
2.5	<PMV4	MC	Muy Caluroso
1.5	<PMV4≤ 2.5	C	Caluroso
0.5	<PMV4≤ 1.5	LC	Lig. Caluroso
-0.6	≤PMV4≤ 0.5	C/N	Confortable/Neutro
-1.6	≤PMV4< -0.6	LF	Lig. Fresco
-2.6	≤PMV4< -1.6	F	Fresco
	PMV4< -2.6	Fr	Frio

Fig. A2.29. Marcha diurna del PMV4 en Tacuba durante 1995.



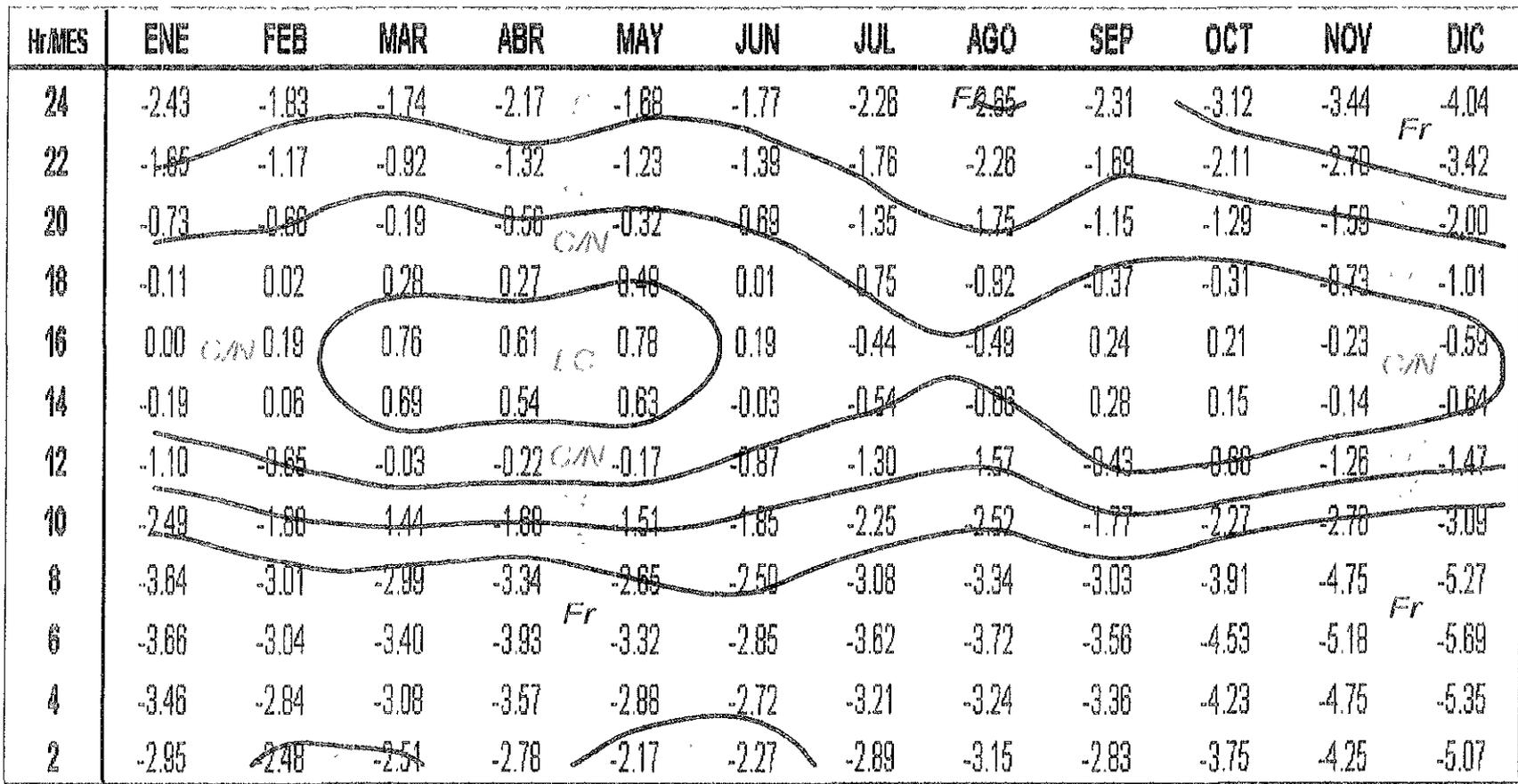
2.6	<PMV2	MC	Muy Caluroso
1.9	<PMV2 ≤ 2.6	C	Caluroso
1.1	<PMV2 ≤ 1.9	LC	Lig. Caluroso
0.4	≤PMV2 ≤ 1.1	C/N	Comfortable/Neutro
-0.4	≤PMV2 < 0.4	LF	Lig. Fresco
-1.2	≤PMV2 < -0.4	F	Fresco
	PMV2 < -1.2	Fr	Frio

Fig. A2.30. Marcha diaria del PMV2 en Hangares durante 1995.



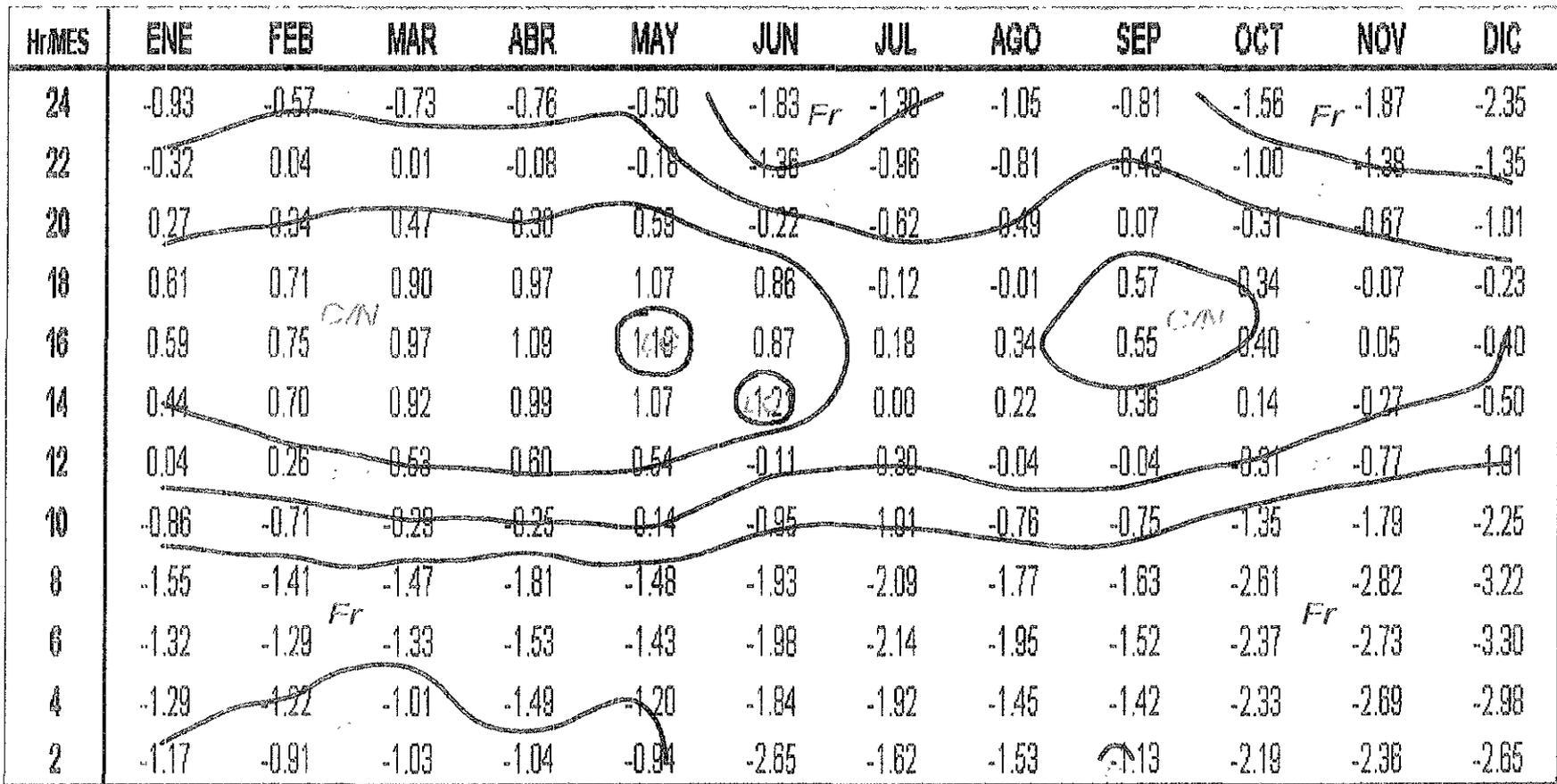
1.4	<PMV3	MC	Muy Caluroso
-0.3	<PMV3 ≤ 1.4	C	Caluroso
-2.0	<PMV3 ≤ -0.3	LC	Lig. Caluroso
-3.7	≤PMV3 ≤ -2.0	C/N	Confortable/Neutro
-5.4	≤PMV3 < -3.7	LF	Lig. Fresco
-7.1	≤PMV3 < -5.4	F	Fresco
	PMV3 < -7.1	Fr	Frio

Fig. A2.31. Marcha diurna del PMV3 en Hangares durante 1995.



2.5	<PMV4	MC	Muy Caluroso
1.5	<PMV4 ≤ 2.5	C	Caluroso
0.5	<PMV4 ≤ 1.5	LC	Lig. Caluroso
-0.6	≤PMV4 < 0.5	C/N	Confortable/Neutro
-1.6	≤PMV4 < -0.6	LF	Lig. Fresco
-2.6	≤PMV4 < -1.6	F	Fresco
	PMV4 < -2.6	Fr	Frio

Fig. A2.32. Marcha diurna del PMV4 en Hangares durante 1995.



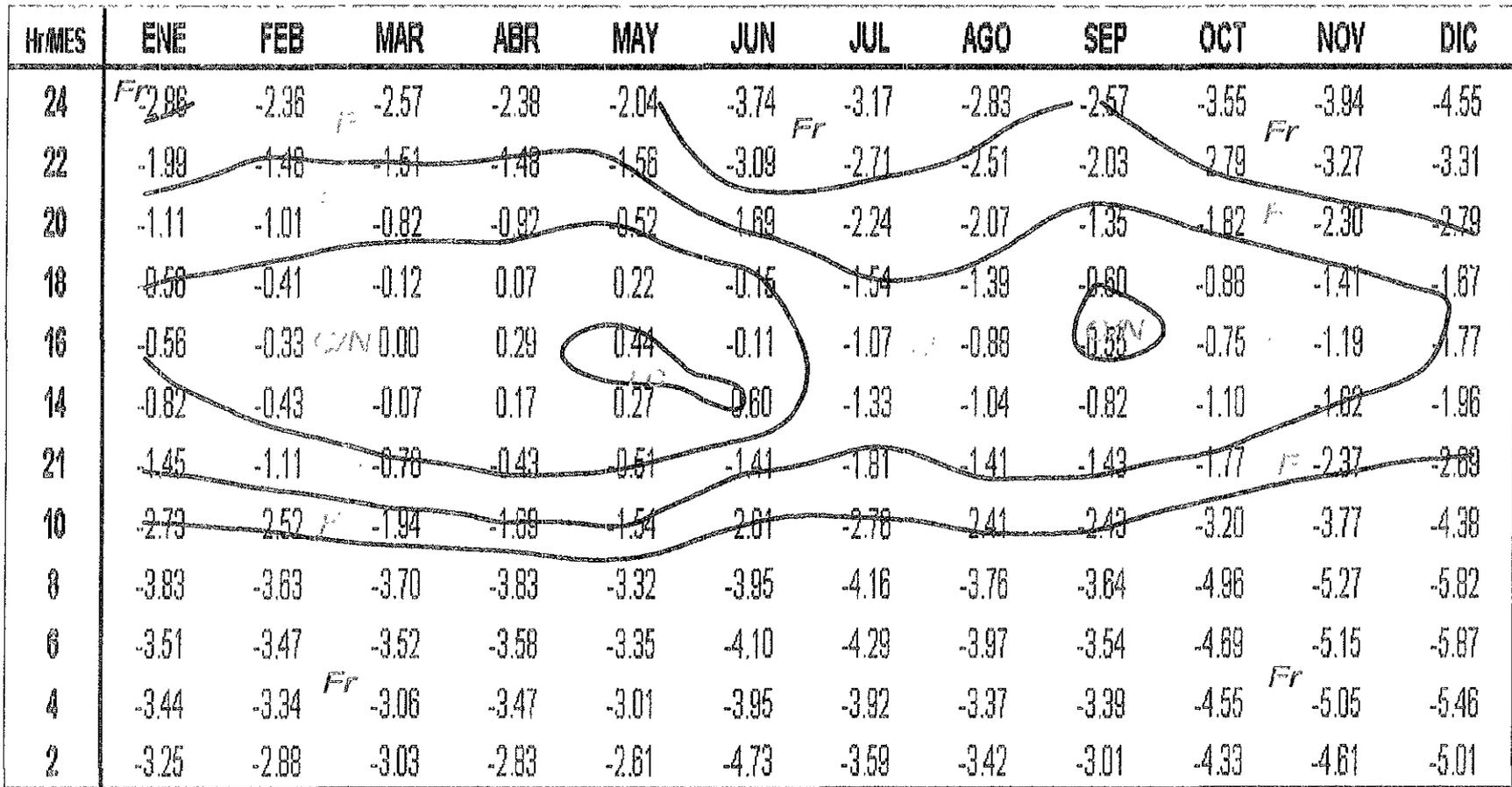
2.6	<PMV2	MC	Muy Caluroso
1.9	<PMV2 ≤ 2.6	C	Caluroso
1.1	<PMV2 ≤ 1.9	LC	Lig. Caluroso
0.4	≤PMV2 ≤ 1.1	C/N	Confortable/Neutro
-0.4	≤PMV2 < 0.4	LF	Lig. Fresco
-1.2	≤PMV2 < -0.4	F	Fresco
	PMV2 < -1.2	Fr	Frío

Fig. A2.33. Marcha diaria del PMV2 en ENEP-Acatlán durante 1995.

HrMES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
24	-9.26	-9.32	-9.13	-5.70	-4.87	-5.35	-7.10	-6.26	-6.80	-7.23	-7.17	Fr -7.52
22	-8.49	Fr -8.72	-8.42	-5.41	-4.09	-4.88	-6.88	-6.05	-6.45	-6.77	-6.64	-7.72
20	-7.70	-7.65	-7.84	-4.53	-3.89	-5.58	-6.37	-5.73	-5.88	-6.22	-6.25	-7.01
18	-6.12	-6.23	-5.92	-3.43	C/N -2.65	-4.00	-5.72	-5.12	-4.72	-4.95	-4.89	-5.70
16	-5.47	-5.37	-5.02	-2.35	-1.53	-3.57	-4.66	-4.20	-3.71	-4.10	-3.87	-4.45
14	-6.38	-5.75	-5.26	-2.05	-1.72	-1.97	-4.62	-4.24	-3.93	-4.24	-3.99	-4.87
1	-7.88	-7.21	-6.82	-3.24	C/N -2.71	-3.88	-5.40	-4.57	-4.78	-5.17	-5.22	-5.72
10	-8.79	-8.73	-8.68	-4.87	-4.33	-4.87	-6.49	-5.57	-5.97	-6.30	-6.41	-6.88
8	-11.40	-11.88	-11.15	-6.75	-5.42	-5.81	-7.10	-6.27	-6.99	-8.03	-8.43	-9.33
6	Fr -11.32	-11.39	-11.41	-7.93	-6.29	-6.76	Fr -7.51	-6.19	-7.27	-8.46	-8.53	Fr -8.96
4	-10.83	-10.60	-10.95	-7.10	-5.76	-6.98	-6.65	-6.54	-7.80	-7.65	-7.99	-8.69
2	-10.15	-10.15	-9.84	-6.47	-5.11	-5.47	-7.28	-6.13	-6.87	-7.25	-7.65	-8.22

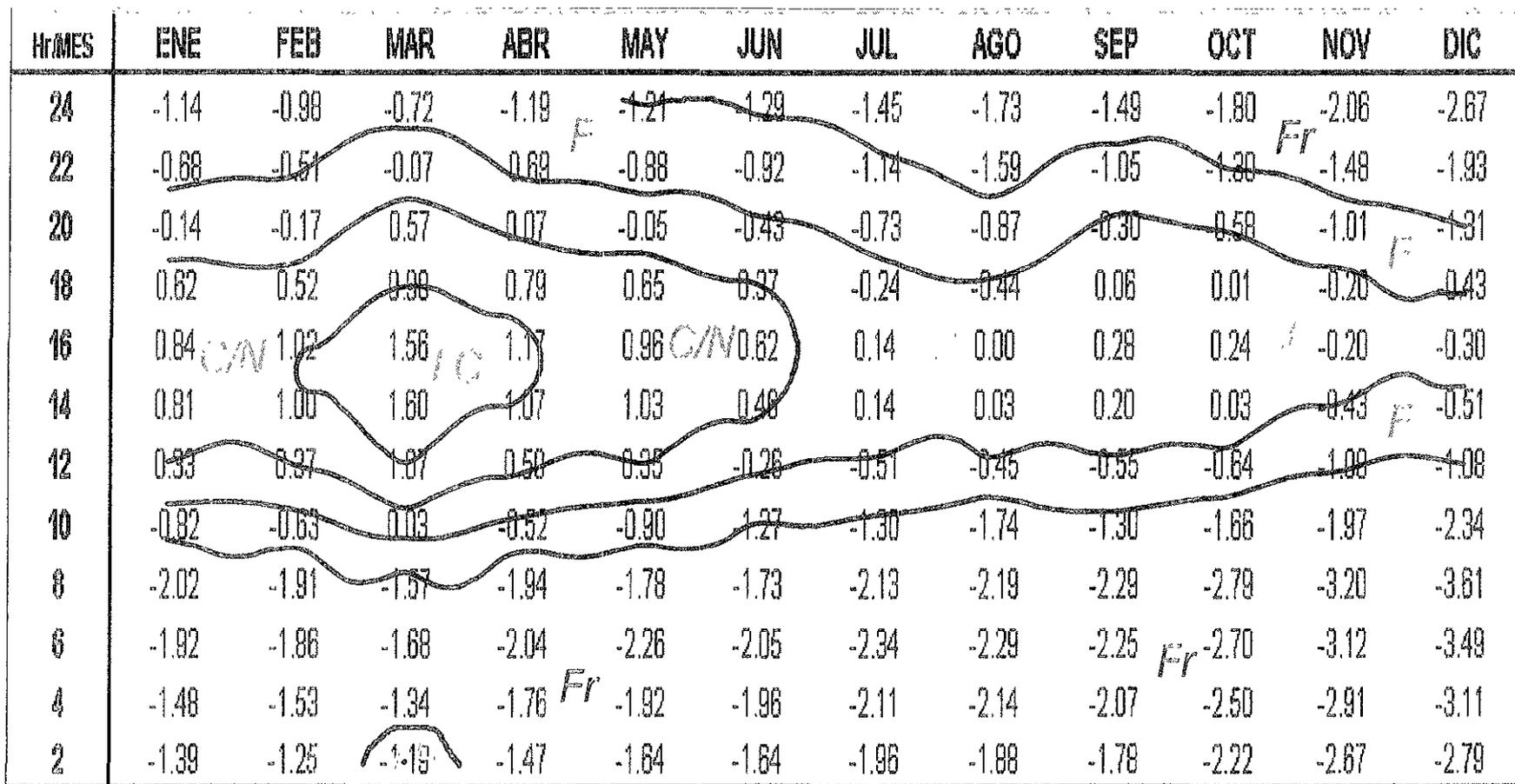
1.4	<PMV3	MC	Muy Caluroso
-0.3	<PMV3 ≤ 1.4	C	Caluroso
-2.0	<PMV3 ≤ -0.3	LC	Lig. Caluroso
-3.7	≤PMV3 ≤ -2.0	C/N	Confortable/Neutro
-5.4	≤PMV3 < -3.7	LF	Lig. Fresco
-7.1	≤PMV3 < -5.4	F	Fresco
	PMV3 < -7.1	Fr	Frio

Fig. A2.34. Marcha diaria del PMV3 en ENEP-Acatlán durante 1995.



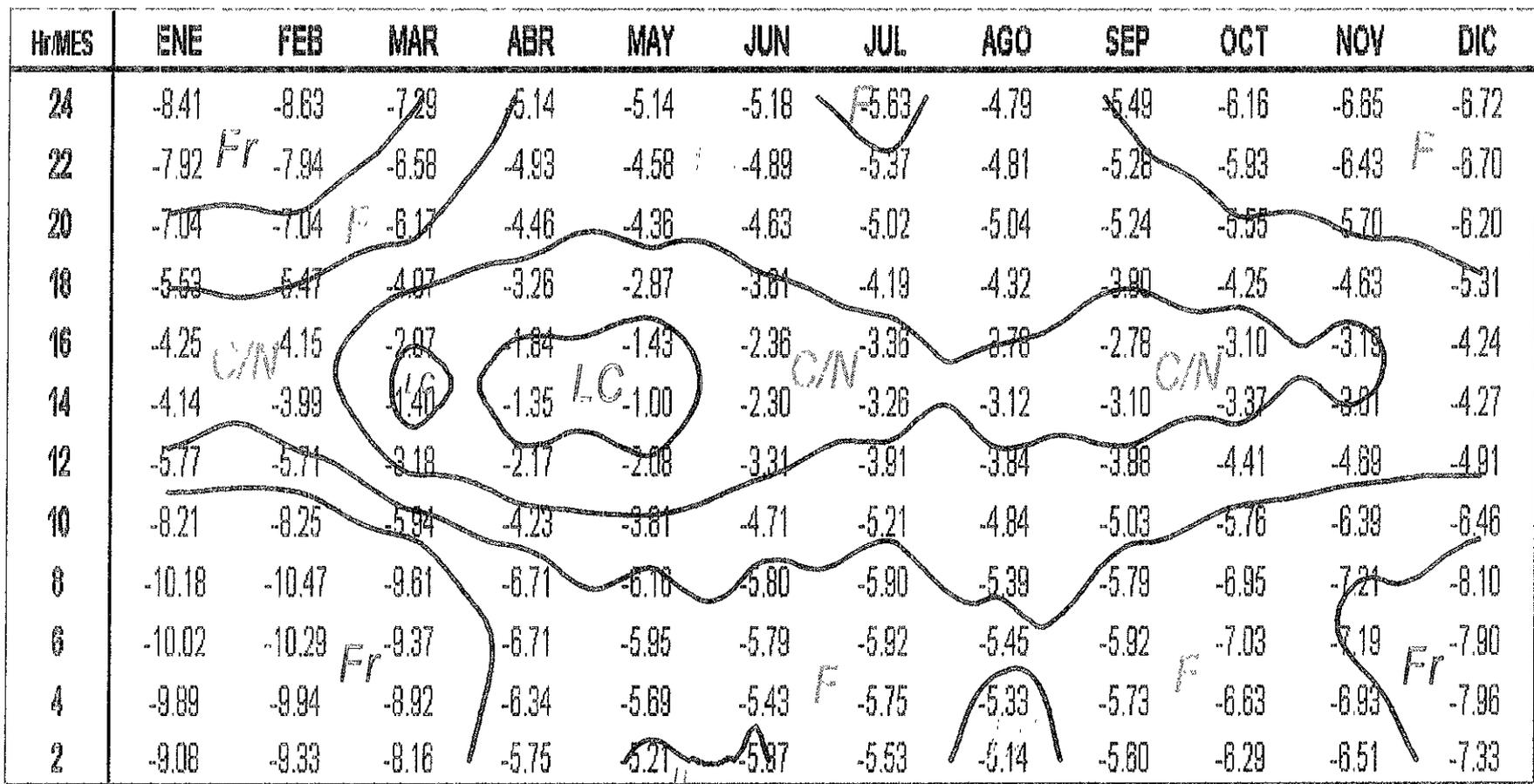
2.5	<PMV4	MC	Muy Caluroso
1.5	<PMV4 ≤ 2.5	C	Caluroso
0.5	<PMV4 ≤ 1.5	LC	Lig. Caluroso
-0.6	≤PMV4 < 0.5	C/N	Confortable/Neutro
-1.6	≤PMV4 < -0.6	LF	Lig. Fresco
-2.6	≤PMV4 < -1.6	F	Fresco
	PMV4 < -2.6	Fr	Frio

Fig. A2.35. Marcha diurna del PMV4 en ENEP-Acatlán durante 1995.



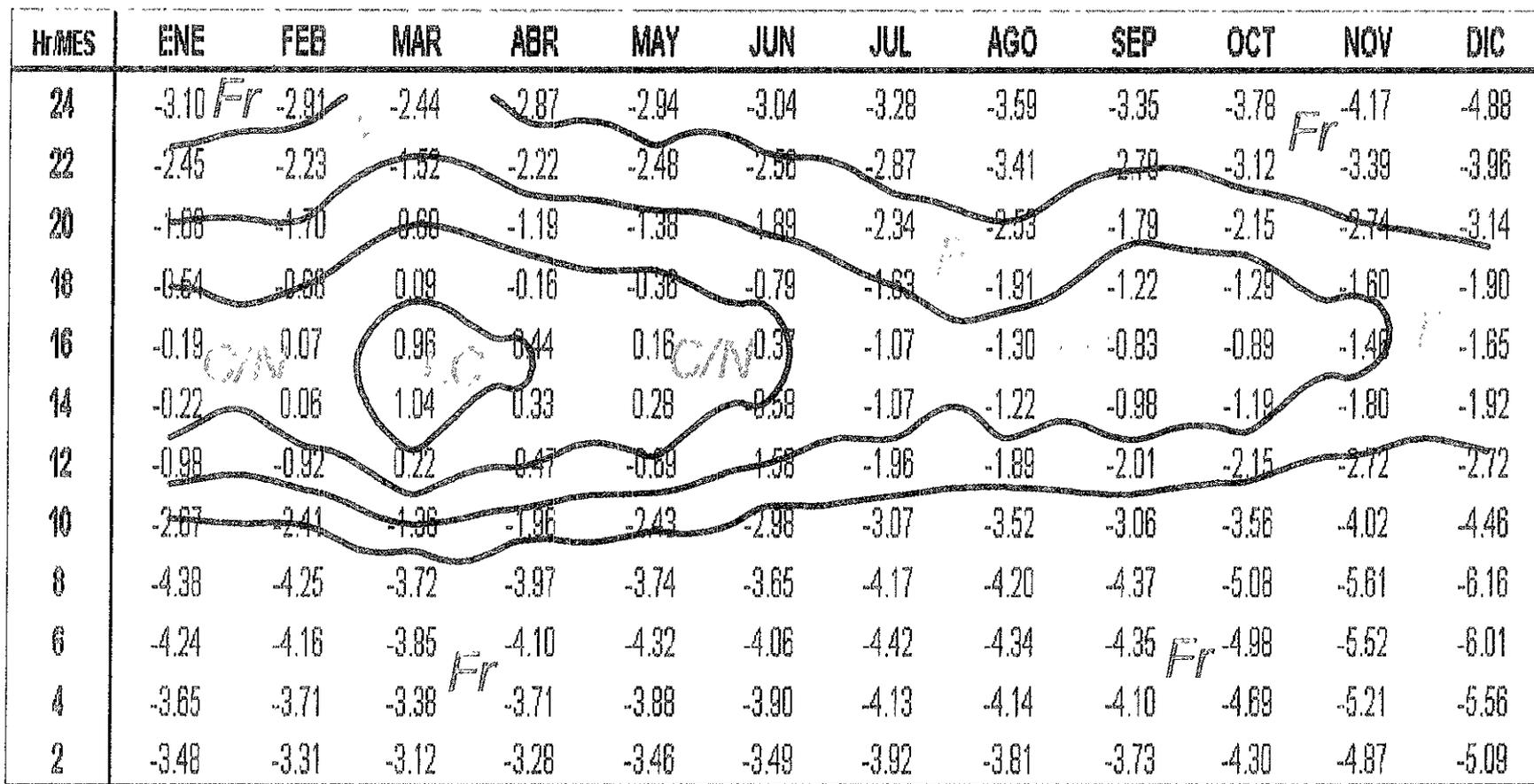
2.6	<PMV2	MC	Muy Caluroso
1.9	<PMV2 ≤ 2.6	C	Caluroso
1.1	<PMV2 ≤ 1.9	LC	Lig. Caluroso
0.4	≤PMV2 ≤ 1.1	C/N	Confortable/Neutro
-0.4	≤PMV2 < 0.4	LF	Lig. Fresco
-1.2	≤PMV2 < -0.4	F	Fresco
	PMV2 < -1.2	Fr	Frio

Fig. A2.36. Marcha diurna del PMV2 en Cerro de la Estrella durante 1995.



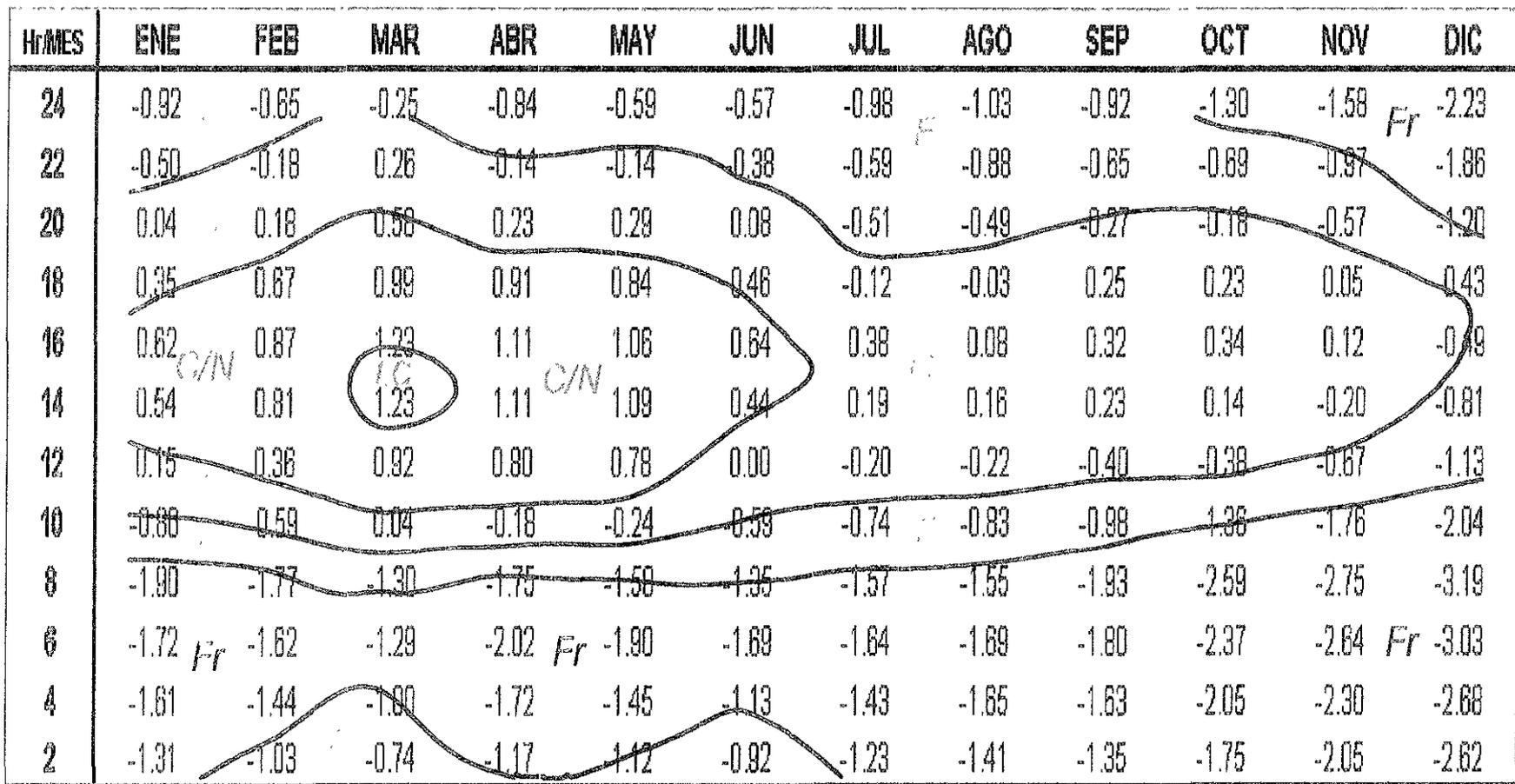
1.4	<PMV3		MC	Muy Caluroso
-0.3	<PMV3 ≤	1.4	C	Caluroso
-2.0	<PMV3 ≤	-0.3	LC	Lig. Caluroso
-3.7	≤PMV3 ≤	-2.0	C/N	Confortable/Neutro
-5.4	≤PMV3 <	-3.7	LF	Lig. Fresco
-7.1	<PMV3 <	-5.4	F	Fresco
	PMV3 <	-7.1	Fr	Frio

Fig. A2.37. Marcha diurna del PMV3 en Cerro de la Estrella durante 1995.



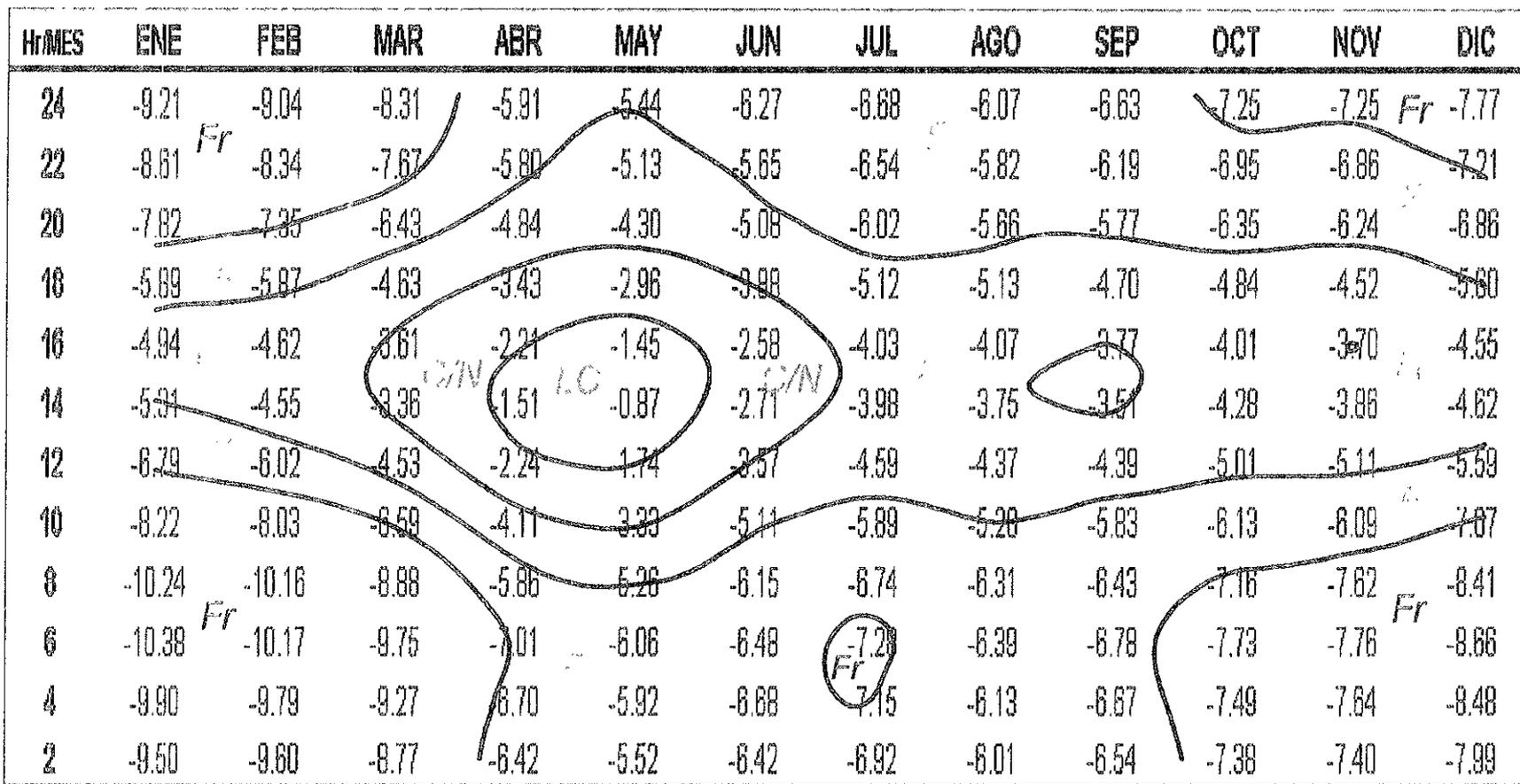
2.5	<PMV4	MC	Muy Caluroso
1.5	<PMV4≤ 2.5	C	Caluroso
0.5	<PMV4≤ 1.5	LC	Lig. Caluroso
-0.6	≤PMV4≤ 0.5	C/N	Confortable/Neutro
-1.6	≤PMV4< -0.6	LF	Lig. Fresco
-2.6	≤PMV4< -1.6	F	Fresco
	PMV4< -2.6	Fr	Frío

Fig. A2.38. Marcha diaria del PMV4 en Cerro de la Estrella durante 1995.



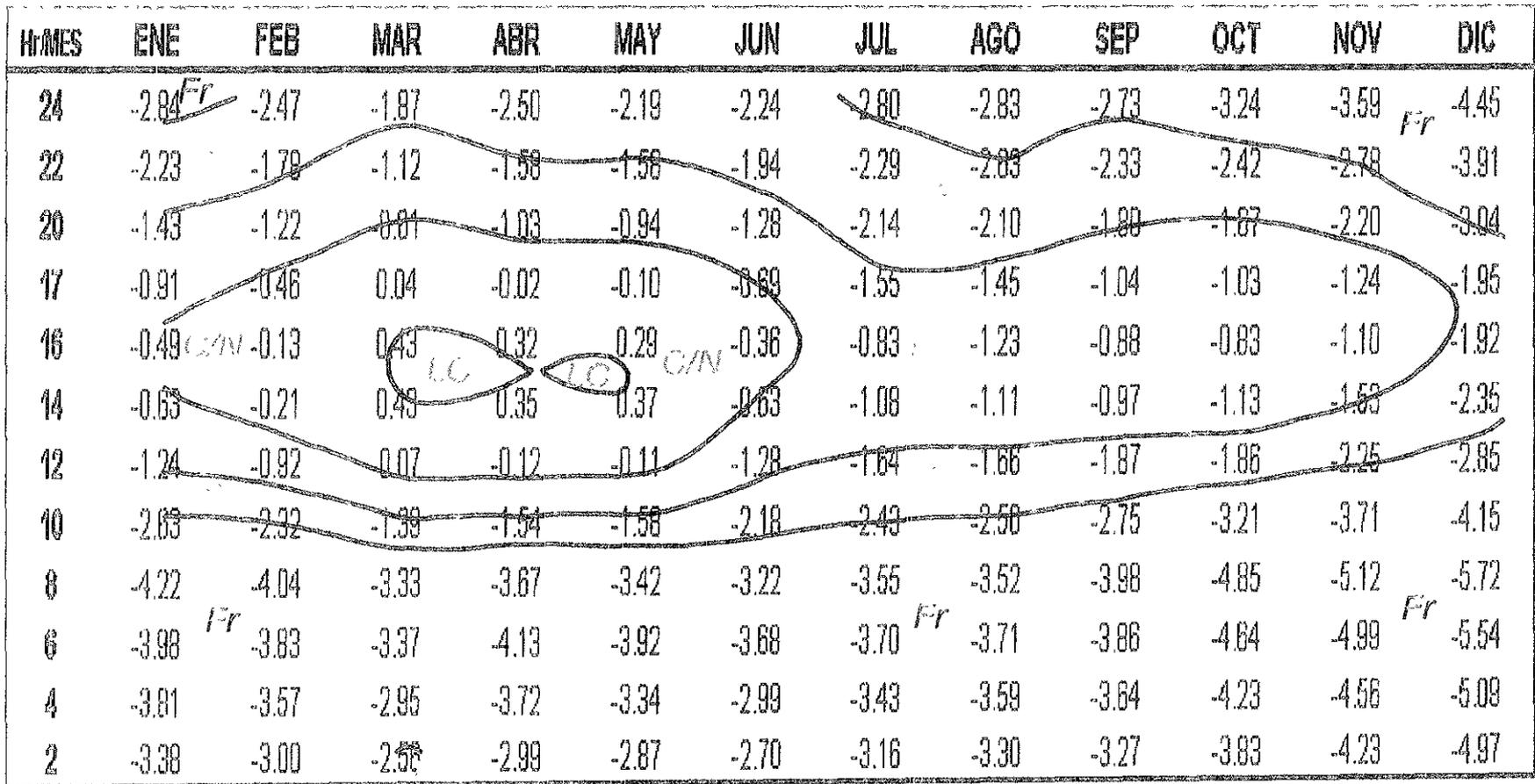
2.6	<PMV2	MC	Muy Caluroso
1.9	<PMV2 ≤ 2.6	C	Caluroso
1.1	<PMV2 ≤ 1.9	LC	Lig. Caluroso
0.4	≤PMV2 ≤ 1.1	C/N	Confortable/Neutro
-0.4	≤PMV2 < 0.4	LF	Lig. Fresco
-1.2	≤PMV2 < -0.4	F	Fresco
	PMV2 < -1.2	Fr	Frio

Fig. A2.39. Marcha diaria del PMV2 en Plateros durante 1995.



1.4	<PMV3	MC	Muy Caluroso
-0.3	<PMV3 ≤ 1.4	C	Caluroso
-2.0	<PMV3 ≤ -0.3	LC	Lig. Caluroso
-3.7	≤PMV3 ≤ -2.0	C/N	Confortable/Neutro
-5.4	≤PMV3 < -3.7	LF	Lig. Fresco
-7.1	≤PMV3 < -5.4	F	Fresco
	PMV3 < -7.1	Fr	Frio

Fig. A2.40. Marcha diurna del PMV3 en Plateros durante 1995.



2.5	<PMV4	MC	Muy Caluroso
1.5	<PMV4 ≤ 2.5	C	Caluroso
0.5	<PMV4 ≤ 1.5	LC	Lig. Caluroso
-0.6	≤PMV4 ≤ 0.5	C/N	Confortable/Neutro
-1.6	≤PMV4 < -0.6	LF	Lig. Fresco
-2.6	≤PMV4 < -1.6	F	Fresco
	PMV4 < -2.6	Fr	Frío

Fig. A2.41. Marcha diaria del PMV4 en Plateros durante 1995.

- En el caso de Chapultepec (estación de áreas verdes) donde sólo se calculó el PMV1 y PMV3 puesto que no se contó con datos de viento ni los correspondientes a diciembre, las condiciones no muestran cambios significativos, aunque curiosamente el periodo *frío* es más amplio bajo las condiciones del PMV1.

Considerando a las estaciones agrupadas en los cuatro biotopos, se observa que en las estaciones de espacio abierto, los periodos de sensación *frío* son mayores que en el resto (lo cual era de esperarse). Por su parte, algunas estaciones del centro de la ciudad como Palacio de Minería, Merced y Tacubaya, presentan también periodos de menor sensación de *frío* que las estaciones de la zona industrial. Una posible forma de visualizar el efecto del viento en la sensación térmica se tiene en la distribución del bioclima en Chapultepec, donde se observa que la sensación de *frío* es la menor de todas las estaciones; en este caso debe recordarse que para el cálculo del PMV el viento se consideró constante (0.2 m/s).

Este sencillo bosquejo de las condiciones bioclimáticas en diferentes lugares de la ciudad, muestra, por una parte, la importancia de la posición en el tejido urbano, y por otra, la importancia de dos variables de entre las seis consideradas de impacto en la sensación térmica, en este caso, el viento y el aislamiento de la ropa (valor clo).