

VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE LA DISPONIBILIDAD DE ENFRIAMIENTO INVERNAL EN LA CIUDAD DE BUENOS AIRES Y EN EL CONURBANO BONAERENSE¹

G. M. MURPHY², J. A. HERRERA³ y R. HURTADO⁴

Recibido: 14/07/99

Aceptado: 23/09/99

RESUMEN

Se calcularon las "horas de frío" (HF) para el Observatorio Central de Buenos Aires (OCBA) a partir de las temperaturas horarias disponibles para el período 1911- 1998. La evolución temporal se analizó usando la tendencia de las series correspondientes al total anual y al otoño, invierno y primavera, que resultaron siempre negativas con valores de -5,76 hs/año, -0,95 hs/año, -3,80 hs/año y -1,00 hs/año, respectivamente.

El otoño y la primavera son las estaciones del año más afectadas por el calentamiento urbano, lo que se manifiesta en los valores del Índice porcentual de Disminución Anual (IDA %) que superan a los del invierno y reflejan la concentración de las HF en los meses de junio, julio y agosto.

Para los suburbios de la Ciudad de Buenos Aires las HF se estimaron a partir de los promedios decádicos de temperatura, lo que permitió obtener resultados similares a los del OCBA en lo referente a su variación temporal, con tendencias que varían entre -6,01 hs/año y -0,62 hs/año e IDA de 3,59% a 0,11% según la estación del año, el grado de urbanización de las zonas circundantes y la proximidad al Río de la Plata. Para mostrar el efecto de estos factores en la distribución geográfica de las HF se trazaron dos cartas de HIF invernales para los períodos 1941-50 y 1981-90.

Palabras clave: "horas de frío", espacios verdes, calentamiento urbano.

WINTER CHILLING AVAILABILITY VARIATION IN BUENOS AIRES CITY AND ITS SUBURBS

SUMMARY

Buenos Aires Central Observatory (OCBA) chilling hours (HF) were calculated from available hourly temperatures for 1911- 1998 period. The temporary evolution was analyzed using the trend of annual, autumn, winter and spring series, that were always negative with values of -5.76 hs/year, -0.95 hs/year, -3.80 hs/year and -1.00 hs/year, respectively. Autumn and spring are the seasons most affect by urban heating. Its Annual Diminution Index (IDA%) surpass those of winter and reflect the HF concentration in June, July and August.

Decade average of temperature were used to estimate HF for Buenos Aires suburbs. Results are similar to those of OCBA respect to temporary variation with trends varying between -6.01 hs/year and -0.62 hs/year and IDA% from 3.59% to 0.11% according to seasons, urbanization of surrounding zones and closeness to the "Plate" River. To show the effects of this factors on geographic distribution of HF two charts of winter HF for 1941-50 and 1981-90 periods were layout.

Key words: "chilling hours", urban forest, urban heating.

INTRODUCCION

La disponibilidad de frío durante el período de descanso invernal de las plantas perennes criófilas,

especialmente importante para los frutales, es también relevante para aquellas especies arbóreas o arbustivas que componen la vegetación de par-

¹ Trabajo realizado en el marco del subsidio UBACYT TG 039 (1998-2000).

² Climatología y Fenología Agrícolas, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.

³ Investigación Operativa, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del Salvador.

ques y calles de la ciudad cuyo despertar vegetativo y reproductivo en primavera está condicionado por las características térmicas del invierno precedente.

Las grandes ciudades se han transformado en "islas de calor", debido a la acumulación de energía producida por el aumento de la edificación y pavimentos, a la contaminación del aire, al calor producido por las actividades humanas, a la menor evapotranspiración y a la reducción del transporte turbulento de calor por la disminución de la velocidad del viento, entre otros muchos factores. Las consecuencias se manifiestan en un aumento entre 5°C y 10°C de la temperatura del aire de los centros urbanos comparados con las zonas rurales circundantes, lo que se traduce en mayores costos para el acondicionamiento del aire y aumento de la contaminación, deterioro de la confortabilidad del ambiente y causa de múltiples enfermedades de las denominadas "sociales", como estrés, agotamiento físico y violencia, por citar sólo algunos ejemplos. (Camilloni y Barros, 1997; Moreno García, 1994; Oke, 1982; Ackerman, 1985).

Las superficies abiertas, donde el elemento principal de su composición son las plantas y el arbolado de las calles, tienen importante efecto moderador de varios de los aspectos negativos señalados, reduciendo las temperaturas por el sombreado que brindan y el aumento de la evapotranspiración, eliminando gases tóxicos como el dióxido y monóxido de carbono, óxidos de azufre, de nitrógeno y de plomo, fijando partículas de polvo atmosférico sobre la superficie foliar en una magnitud de 3 a 30 veces mayor que el pavimento, según se trate de césped o árboles. Asimismo, disminuyen significativamente los ruidos, el primer contaminante de las grandes ciudades, e incorporan al paisaje urbano el color verde vinculado con la tranquilidad y la placidez.

La Ciudad de Buenos Aires, capital de la Argentina ocupa una superficie de unas 200.000 ha y la rodean hacia el norte, el oeste y el sur una serie de conglomerados urbanos (el Gran Buenos Aires) que se suceden sin solución de continuidad en un radio de 30 a 40 km. Habitan en la Capital

algo más de 3 millones de personas, a los que se suman los que ingresan por las distintas vías de acceso, por las que circulan diariamente más de 1 millón de vehículos provenientes del Gran Buenos Aires, donde viven alrededor de 8 millones de personas (Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 1998). Se trata, en consecuencia, de un conglomerado urbano de unos 11 millones de habitantes.

La totalidad de los espacios verdes de la Capital Federal suma unas 1500 ha. Existen actualmente 4,62 m²/habitante de espacios verdes, cifra distante de los 10 m² recomendados por la Organización Mundial de la Salud y de los 22m² disponibles en 1921, pero que mejora, sin embargo, los 2,28m² de 1935 o los 3,9m² de 1972.

La vegetación natural de la región, ha desaparecido casi totalmente y sólo por la acción del hombre se han implantado árboles que, en todos los casos, provienen de regiones más o menos distantes, de nuestro propio país, de América del Sur o de otros continentes. Las especies predominantes son el fresno americano (*Fraxinus americana*) con 120.394 ejemplares, el paraíso (*Melia azedarach*) y el plátano (*Platanus x acerifolia*) con 38.490 y 37.019 respectivamente, la tipa blanca (*Tipuana tipu*) con 9.930 ejemplares y el jacarandá (*Jacaranda mimosifolia*) con 5.948, existiendo más de 100.000 individuos de las más variadas especies y procedencias, según el censo del año 1993 realizado por la entonces Dirección General de Saneamiento y Espacios Verdes. En los actuales planes de reforestación, se están utilizando mayoritariamente fresnos americanos, especie nativa de América del Norte que crece naturalmente desde el NE de Canadá (45° N) hasta el N de Florida (30°N) y desde la costa atlántica hasta los 95°W hacia occidente, región con estaciones del año bien marcadas que permiten suponer que la especie debe incluir cierta necesidad de frío para un correcto crecimiento y desarrollo.

Incrementar la superficie destinada a espacios verdes como prever su adecuada proporción en la correcta planificación del crecimiento urbano es una necesidad impostergable. Para lograr los beneficios esperados se deberá proceder cuidadosamente, colocando las especies correctas en los

Cuadro N° 1. Ubicación geográfica de los observatorios utilizados

Observatorio	Ubicación	Latitud	Longitud	Altura (m)
Aeroparque J. Newbery	Ciudad de Buenos Aires	34° 34' S	58° 25' W	6
Observatorio Central Buenos Aires	Ciudad de Buenos Aires	34° 35' S	58° 29' W	25
Ezeiza	Gran Buenos Aires	34° 50' S	58° 32' W	20
El Palomar	Gran Buenos Aires	34° 36' S	58° 36' W	21
Castelar	Gran Buenos Aires	34° 40' S	58° 39' W	22
San Miguel	Gran Buenos Aires	34° 33' S	58° 44' W	26

lugares adecuados, de manera que sus requerimientos bioclimáticos sean plenamente satisfechos por las disponibilidades climáticas regionales.

Existen trabajos que han analizado la evolución temporal de algunos elementos meteorológicos para Buenos Aires y para otras ciudades grandes de la Argentina, (Sierra *et al*, 1992; Camilloni y Barros, 1997). Sin embargo, son mucho menos frecuentes aquellos que analizan los cambios ambientales ocurridos por la influencia del crecimiento urbano a través de índices bioclimáticos con los que es posible sensibilizar la información climática en función de los requerimientos de las plantas. (Pascale y Aspiazú, 1965; Pascale y Damario, 1993/94).

El análisis de la evolución de la disponibilidad de enfriamiento invernal en la Ciudad de Buenos Aires y sus alrededores es una contribución que aportará información para interpretar los cambios fenológicos de la vegetación, fenómeno ocurrido como consecuencia del cambio ambiental producido por el crecimiento urbano, siendo de utilidad, también, en la elección de nuevas especies y lugares de plantación.

MATERIALES Y METODOS

Las horas de frío (HF), para el Observatorio Central Buenos Aires (OCBA), fueron determinadas, a partir de los registros térmicos horarios para el período 1911-98, contando el número de horas en que la temperatura del aire era igual o menor a 7°C. Su variación temporal se analiza tomando los totales anuales y los correspondientes al invierno (junio, julio y agosto), otoño (marzo, abril y mayo) y primavera

(setiembre, octubre y noviembre). La expresión de la disponibilidad de frío utilizando los meses correspondientes al invierno, en lugar de los cinco meses más fríos usados en estudios anteriores (Damario *et al*, 1998), se fundamenta en el efecto devernalizante de las temperaturas elevadas (Richardson *et al*, 1974), que en la Ciudad de Buenos Aires afecta, principalmente, los meses de mayo y setiembre, que alcanzan niveles térmicos que reducen significativamente su aporte en HF.

Para el resto de las localidades, cuyo listado y coordenadas figuran en el Cuadro N° 1 y su distribución geográfica en las Figuras 4 y 5, se utilizaron los datos climáticos de cuatro a seis décadas disponibles, para los períodos 1928-37, 41-50, 51-60, 71-80 y 81-90 (SMN, 1944, 1958, 1972, 1981, 1986 y 1992). En estos casos las HF fueron estimadas utilizando el método propuesto por Damario, (1969), pero para cada una de las décadas, en lugar de utilizar el promedio de una serie más larga, lo que permitió la realización del análisis de su variación en el tiempo.

El uso de la pendiente de las rectas de ajuste de las series brinda cierta información acerca del efecto del calentamiento urbano sobre la cantidad de HF, pero la diferencia existente entre la magnitud de las disponibilidades de cada serie, correspondientes a distintas localidades y estaciones del año, dificulta su comparación y evaluación. A tal efecto se creó el Índice de Disminución Anual, (IDA%), que surge de expresar porcentualmente el cociente entre la tendencia de la recta de ajuste de la serie y su promedio.

El análisis de la distribución espacial de las HF se realizó usando las estimaciones efectuadas para las décadas 1941-50 y 1981-90 para trazar las respectivas cartas de HF de la Ciudad de Buenos Aires y el conurbano bonaerense.

RESULTADOS Y DISCUSION

Las disponibilidades de frío en el OCBA que se muestran en el Cuadro N° 2, están expresadas en

sus valores anuales y para el otoño, invierno y primavera. El invierno aporta casi el 75% del total anual de HF. La tendencia de las rectas de ajuste de las respectivas series (Cuadro N° 2 y Figura 1) es siempre negativa e indica que las HF van disminuyendo gradualmente a lo largo del tiempo, en una magnitud variable según se trate de los valores

anuales (-5,76) o de invierno, otoño y primavera (-3,80, -0,95 y -1,00, respectivamente). Sin embargo, cuando se analiza el porcentaje de disminución anual puede verse que las HF primaverales presentan el mayor IDA (1,50%) y el menor corresponde al invierno (0,90%).

Cuadro N° 2. Horas de frío anuales y estacionales para el Observatorio Central Buenos Aires. Período 1911-98

	Anual	Otoño (Mar. Abr. May.)	Invierno (Jun. Jul. Ago.)	Primavera (Ser. Oct. Nov.)
Promedio	562	75	420	66
Desvío Estándar	210,5	53,9	161,8	41,4
I.D.A.%	1,03	1,27	0,90	1,51
Máximo	1094	249	921	251
Mínimo	157	0	104	9
Tendencia (m)	-5,76	-0,95	-3,80	-1,00
Ordenada (h)	11810	1938	7840	2010

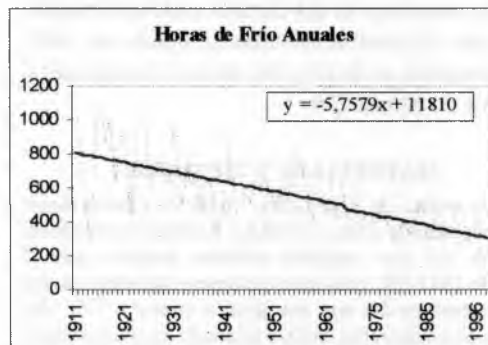
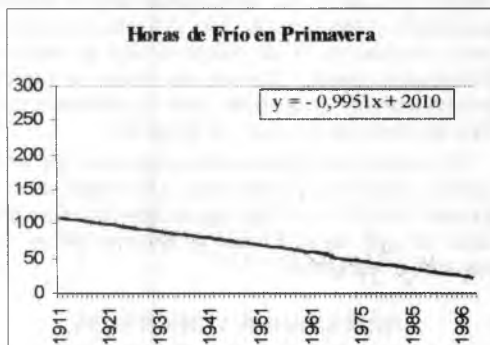
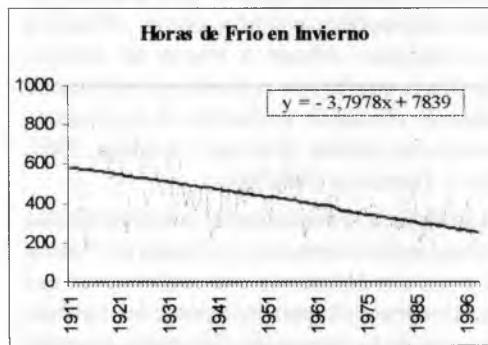


Figura 1. Variación temporal de las "horas de frío" anuales y estacionales

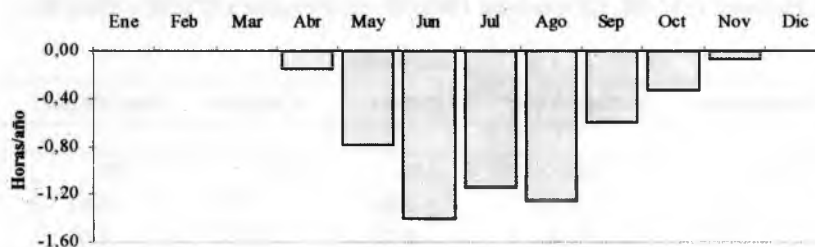


Figura 2. Tendencia de las "horas de frío" mensuales para el Observatorio Central Buenos Aires. Período 1911-98

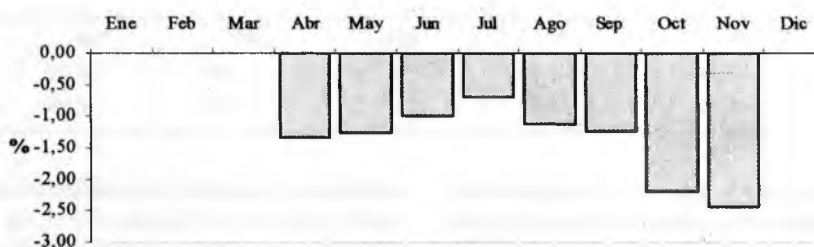


Figura 3. Índice de disminución porcentual anual (IDA%) para los meses del otoño, invierno y primavera en el Observatorio Central Buenos Aires. Período 1911-98

La tendencia individual y el IDA de cada uno de los meses de las tres estaciones del año consideradas puede analizarse en las Figuras 2 y 3. Los meses correspondientes al invierno son los que tienen las pendientes negativas más pronunciadas, las que disminuyen a medida que se avanza hacia el comienzo o fin del año, en otoño y primavera, respectivamente. Sin embargo, si se analiza la disminución porcentual anual (IDA) surge con claridad que son los meses del otoño y, especialmente, los de la primavera, los más afectados por el calentamiento de la ciudad, traducido en una mayor reducción porcentual de HF por año.

Es evidente que las disponibilidades de frío se han concentrado en los meses invernales con predominancia en julio, dado que en otoño y primavera disminuye significativamente la cantidad de HF y su efectividad, por el efecto devernalizante de las temperaturas en aumento en

estas estaciones. Parece recomendable, en consecuencia, circunscribir a los meses invernales la expresión de las disponibilidades de HF en todos los estudios en que sea necesaria la comparación de éstas con las exigencias de las plantas en la Ciudad de Buenos Aires y el Gran Buenos Aires, o en otros centros urbanos donde se manifiesten similares tendencias de las temperaturas de otoño y primavera.

La distribución espacial de las HF en la Ciudad de Buenos Aires y el conurbano bonaerense se presentan para el otoño, invierno y primavera en el Cuadro N°3 pudiendo apreciarse las notables diferencias de HF existentes entre las distintas localidades. Por ejemplo, las disponibilidades invernales en el Aeroparque son menos de la mitad de los valores de Ezeiza o San Miguel, así como las del OCBA son sensiblemente más bajas que las de El Palomar o Castelar. La cercanía al Río de la Plata

Cuadro N° 3. Horas de frío medias estimadas para la Ciudad de Buenos Aires y en el conurbano bonaerense. (1) Período 1951-90. (2) Período 1941-90. (3) Período 1927-38 y 1941-90.

	Localidades					
	Aeroparque ¹	Buenos Aires ³	El Palomar ²	Castelar ¹	San Miguel ³	Ezeiza ¹
Invierno						
Promedio	233	360	530	527	574	592
Pendiente	-2,89	-3,85	-3,86	-5,02	-6,01	-0,62
I.D.A.%	1,24	1,07	0,73	0,95	1,05	0,11
Otoño						
Promedio	35	66	124	124	133	167
Pendiente	-1,28	-0,85	-1,54	-2,67	-1,68	-0,76
I.D.A.%	3,59	1,30	1,24	2,15	1,26	0,45
Primavera						
Promedio	43	79	134	140	166	166
Pendiente	40,48	-1,15	-1,51	-2,66	-3,29	-0,75
I.D.A.%	1,13	1,47	1,13	1,90	1,98	0,45

y el calentamiento provocado por el conglomerado urbano de la ciudad son, sin duda, las causas de estas variaciones que determinan un elevado gradiente en las HF, con un incremento a medida que aumenta la distancia al río y con el alejamiento respecto de las áreas más urbanizadas.

La tendencia es, en todos los casos, negativa pero variable en su magnitud para las distintas localidades y estaciones del año. La pendiente de las rectas de ajuste de las HF invernales es mayor a las del otoño y primavera en todos los observatorios. Sin embargo, cuando se analiza el IDA se ve, nuevamente, que la reducción porcentual anual es menor en el invierno que en las otras dos estaciones del año, las mayormente afectadas por el calentamiento urbano, con la sola excepción de la primavera en Aeroparque (1,13%), explicable por el efecto del Río de la Plata que suaviza el incremento de las temperaturas en este trimestre, tornando la primavera más fresca. En el otoño la cercanía al río provoca una atenuación del descenso térmico determinando una estación más cálida, con la consiguiente disminución de las HF. Estos efectos desaparecen con el incremento de la distancia al espejo de agua mencionado.

Con el objetivo de mostrar la distribución geográfica de las HF en la Ciudad de Buenos Aires y sus

alrededores y analizar su variación en el tiempo, se confeccionaron las Figuras 4 y 5, en las que se presentan las cartas correspondientes a las HF invernales para los períodos 1941-50 y 1981-90.

Puede apreciarse que la ciudad establece, en ambas décadas, un importante gradiente de unas 300 HF en un radio de no más de 40 km, que se hace especialmente evidente en las zonas de mayor concentración urbana, donde las isóneas se encuentran muy próximas entre sí. En la década 1941-50 la disponibilidad de enfriamiento invernal es mayor que en el 81-90 en unas 150 hs en cualquier punto del área en estudio, debido al crecimiento de la población y de las actividades urbanas, entre ellas el tránsito vehicular.

La trayectoria de las isóneas en la década 1941-50 es casi latitudinal en las zonas cercanas a la costa donde se ejerce la influencia del Río de la Plata, para cambiar luego a una orientación nortesur cuando se atenúa la misma. La expansión de la Ciudad de Buenos Aires hacia el oeste (zonas representadas por los observatorios de El Palomar, San Miguel y Castelar) determina que las isóneas para el 81-90 mantengan su trayectoria latitudinal más hacia el oeste como consecuencia del calentamiento provocado por el crecimiento urbano de la Ciudad de Buenos Aires que provoca la reducción de la disponibilidad de frío.

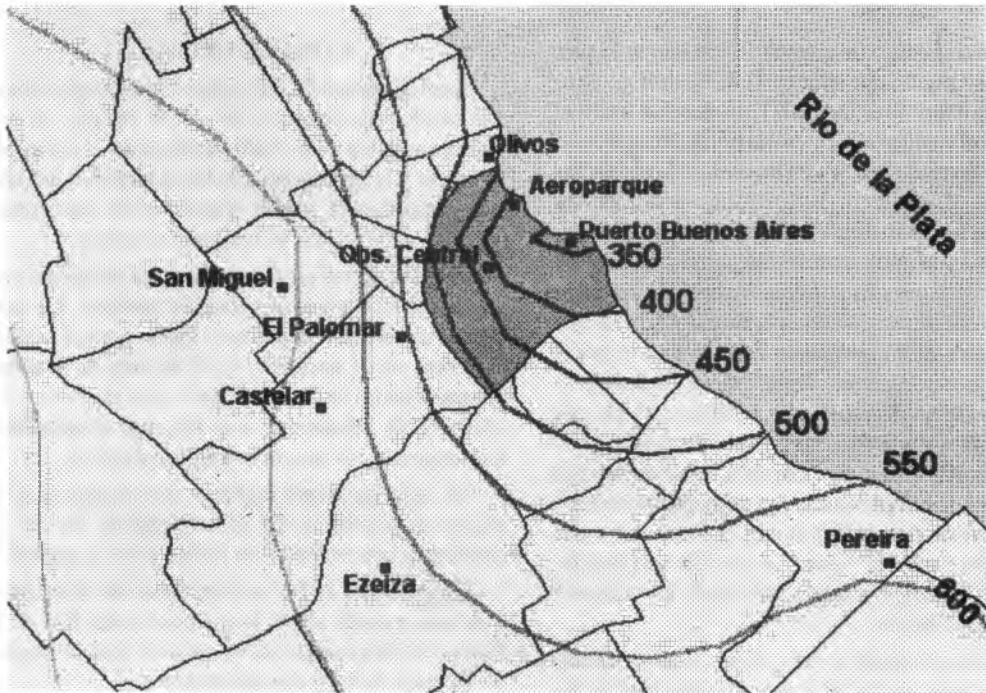


Figura 4. Carta de "horas de frío" invernales para la década 1941-50

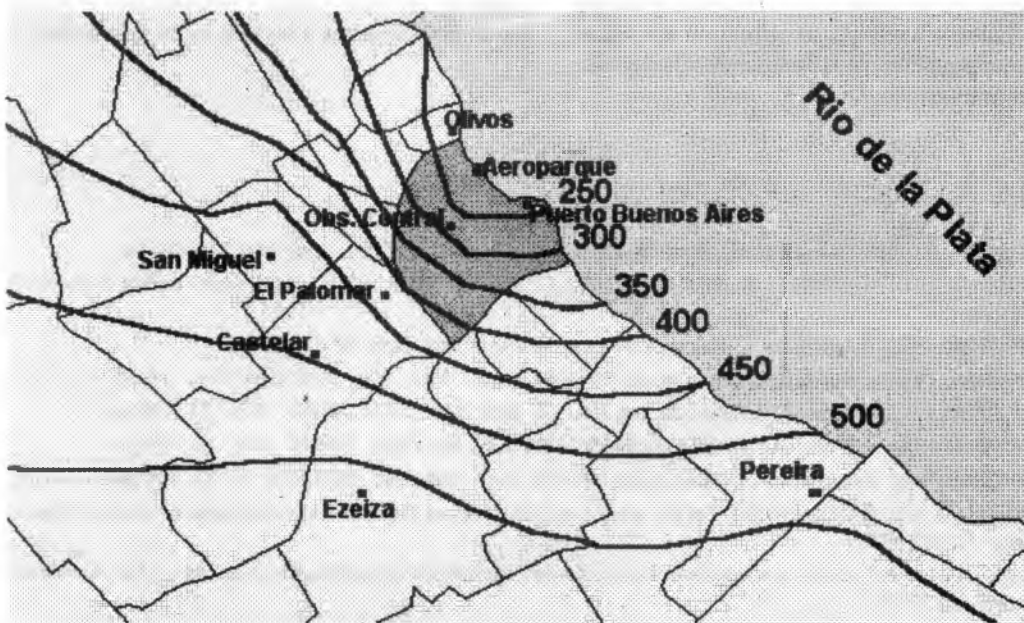


Figura 5. Carta de "horas de frío" invernales para la década 1981-90

Una carta como la que se presenta en la Figura 5 donde se puede apreciar la distribución geográfica de la disponibilidad de HF, es de gran utilidad en la planificación de la composición florística de nuevos espacios verdes o en la remodelación de los existentes. En efecto, las especies a utilizar en diferentes lugares, sean anuales o perennes deberán cambiar de acuerdo a la adecuada satisfacción o no de sus requerimientos de vernalización, si el enfriamiento invernal afecta la función para la que se las utiliza. Por ejemplo, si una planta integra el diseño de un espacio verde por el colorido y duración de su floración, la satisfacción de sus requerimientos en frío será, probablemente, bastante importante dado la estrecha relación de esta fase con las temperaturas invierno-primaverales. Si por el contrario su función es el sombreado o la protección contra el viento, es posible que la relevancia del enfriamiento invernal se reduzca significativamente.

Futuras urbanizaciones en los alrededores de Buenos Aires, en las cuales se planifique adecuadamente la proporción entre construcciones y espacios verdes, podrán incluir especies diferentes de las que puedan ser utilizadas en la remodelación de una plaza de la Capital Federal o en el arbolado de sus calles y avenidas, teniendo en cuenta el importante gradiente de HF existente y la función a la que estén destinadas.

CONCLUSIONES

Las HF para el OCBA entre 1911-98 presentan una tendencia negativa de $-5,76$ hs/año en sus valores anuales y de $-3,80$ hs/año para el invierno. El otoño y la primavera son las estaciones del año que presentan la mayor disminución porcentual anual (1,27% y 1,51% respectivamente).

El resto de las estaciones meteorológicas analizadas presentan una situación similar. La tendencia es siempre negativa y varía, para el invierno, entre $-6,01$ hs/año y $-0,62$ hs/año de acuerdo al crecimiento urbano del área que las rodea. El otoño y la primavera son las que evidencian, nuevamente, los mayores valores de IDA.

El calentamiento urbano determinó que la mayor disponibilidad y efectividad de las HF se encuentra concentrado en junio, julio y agosto.

El gradiente de HF se manifiesta de norte a sur y de este a oeste según la influencia del Río de la Plata y el calentamiento producido por la ciudad de Buenos Aires y sus alrededores.

El conocimiento de la disponibilidad bioclimática de la satisfacción del enfriamiento invernal actual permitirá el planeamiento urbanístico adecuado de espacios verdes y plantaciones arbóreas según las funciones a las que estén destinados.

BIBLIOGRAFÍA

- ACKERMAN, B. 1985. Temporal march of the Chicago heat island. *J. Clim. Appl. Met.* 24:547-554.
- ARGENTINA. 1944. Estadísticas climatológicas 1928-37. Min. De Agric. Dir. De Met. Geof. e Hidr. Serie B N° 1, 121 pp.
- ARGENTINA. 1958. Estadísticas climatológicas 1941-50. Serv. Met. Nac. N° 3, 160 pp.
- ARGENTINA. 1972. Estadísticas climatológicas 1951-60. Serv. Met. Nac. SERIE B N° 6, 156 pp.
- ARGENTINA. 1981. Estadísticas climatológicas 1961-70. Serv. Met. Nac. SERIE B N° 35, 188 pp.
- ARGENTINA. 1986. Estadísticas climatológicas 1971-80. Serv. Met. Nac. SERIE B N° 36, 169 pp.
- ARGENTINA. 1992. Estadísticas climatológicas 1981-90. Serv. Met. Nac. SERIE B N° 37, 709 pp.
- CAMILLONI, I. y V. BARROS 1997. On the urban heat island effect dependence on temperature trends. *Climate Change* 37:665-681.
- DAMARIO, E.A. 1969. Carta estimada de horas de frío de la República Argentina. *Rev. Fac. Agr. y Vet. de Buenos Aires*, 17 (2):25-38.
- DAMARIO, E. A.; A. J. PASCALE y C. BUSTOS 1998. Método simplificado para la estimación agroclimática de horas de frío anuales. *Rev. Facultad de Agronomía*, 18 (1-2):93-97.

- GOBIERNO DE LA CIUDAD DE BUENOS AIRES, 1998. Plan urbano ambiental. Secretaria de Planeamiento Urbano y Medio Ambiente : 142-167.
- LITTLE, E. (Jr). 1971. Atlas of U.S. Trees. Vol 1: Conifers and important hardwoods. USDA Forest Service. *Miscellaneous Publication* N° 1146. Washington.
- MORENO GARCIA, M. C. 1994. Intensity and form of the urban heat island in Barcelona. *Int.J.Clim.* 14:705-710.
- OKE, T. R. 1982. The energetic basis of the urban heat islands. *Quart.J.Roy.Meteorol.Soc.* 108:1-24.
- PASCALE, A.J.; AZPIAZU, C. 1965. Régimen de horas de frío durante el invierno en Buenos Aires. *Rev. Fac. Agr. y Vet. de Buenos Aires* 16 (II):63-82.
- PASCALE, A.J. y E. A. DAMARIO 1993/94. Tendencia de la amplitud térmica diaria en la Argentina desde 1901 hasta 1990. *Rev. Facultad de Agronomía* 14 (2):127-138.
- RICHARDSON E. A.; S. D. SEELEY and D. R. WALKER. 1974. A model for estimation the completion of rest for Red-haven and Elberta peach trees. *Hort. Science*, 9 (4): 331-332.
- SIERRA, E.; A. BELTRAN; S. MAIO e I. BARNATAN 1992. Cambios en el régimen de temperaturas mínimas de la ciudad de Buenos Aires (período 1906-1992). *Rev. Facultad de Agronomía* 13(2-3):253-260.