

CLASIFICACION BIOCLIMATICA DE LA REGION NEA *

Daniel Perone y Nelba Cannelli

Centro de Estudios Bioambientales
Facultad de Arquitectura, Planeamiento y Diseño
Universidad Nacional de Rosario
Pabellones A y B - CUR - Riobamba 220 bis - 2000 Rosario

Resumen:

Se presenta una propuesta para la clasificación bioclimática de la región nordeste del país (Misiones, Corrientes, Entre Ríos, Formosa, Chaco y Santa Fe), orientada específicamente a problemas de confort higrotérmico en edificios.

Se seleccionó un conjunto de 13 variables climáticas que describen el comportamiento medio de la temperatura, humedad, viento, nubosidad y lluvia de 126 estaciones meteorológicas del NEA y sus provincias circundantes. Se clasificó el NEA en 11 regiones bioclimáticas homogéneas a partir de un análisis estadístico multivariado, que permite agrupar jerárquicamente las estaciones en función de su similitud.

Introducción:

Con esta propuesta de clasificación se pretende definir características bioclimáticas particularizadas de las distintas subregiones que comprende el NEA, a los efectos de ser utilizada como referencia para el diseño de edificios climáticamente adecuados a cada región, o bien como herramienta para la evaluación higrotérmica de edificios o proyectos alternativos. Por otra parte, la clasificación bioclimática de esta amplia región podría ser utilizada como base para la elaboración de una normativa sobre el uso racional de la energía en el sector terciario y residencial.

Si bien en este trabajo no se pretende discutir ni comparar clasificaciones anteriores (Norma IRAM 11603, Hoffmann, Thornthwaite, etc.), se analizan los problemas básicos que plantea toda clasificación climática [1]. En primer lugar, el problema de dónde poner los límites es particularmente crucial en esta región, en la que sus elementos geográficos se alteran muy gradualmente. Por ejemplo, las isolíneas de altitud se presentan prácticamente equiespaciadas creciendo de Este a Oeste y apenas superan la cota de 150 m, salvo en las estribaciones del macizo de Brasilia en el este de Misiones [2]. Por otra parte, el problema de cómo definir cuantitativamente la similitud entre dos estaciones para agruparlas de manera objetiva, también resulta complicado en esta región, donde se observa a priori una gran homogeneidad en el comportamiento de algunas variables bioclimáticas de importancia. Por ejemplo, los valores medios de temperatura, humedad relativa y velocidad del viento en El Palomar (Buenos Aires) no se diferencian rotundamente de los de Marcos Juárez (Córdoba) o los de Villaguay (Entre Ríos).

Por estos motivos, y a partir de entender al clima como un fenómeno de gran complejidad compuesto por la interrelación de muchos elementos simples medidos separadamente, se utiliza un análisis estadístico multivariado.

Por último, es importante reiterar que esta propuesta de clasificación está orientada específicamente a problemas de confort higrotérmico en edificios, razón por la cual en la selección de las variables a utilizar se han descartado algunas que sí son incluidas en análisis climáticos más generales o con otros fines. En este sentido, la utilización del término bioclimática expresa dicha especificidad.

* Trabajo financiado por el CONICET

Datos:

Se utiliza como fuente de información las Estadísticas Climatológicas 1941/50, 1951/60, 1961/70 y 1971/80, publicadas por el Servicio Meteorológico Nacional. Sobre un total de 126 estaciones meteorológicas de la región NEA (figura 1) y sus provincias circundantes (Santiago del Estero, Tucumán, Córdoba, Catamarca, San Luis, La Pampa y Buenos Aires), se seleccionaron 13 variables climáticas:

- 01 Temperatura media de verano [Tv] (C)
- 02 Temperatura media de invierno [Ti] (C)
- 03 Temperatura máxima media de verano [Mv] (C)
- 04 Temperatura máxima media de invierno [Mi] (C)
- 05 Temperatura mínima media de verano [mv] (C)
- 06 Temperatura mínima media de invierno [mi] (C)
- 07 Tensión de vapor media de verano [Pv] (mb)
- 08 Tensión de vapor media de invierno [Pi] (mb)
- 09 Nubosidad media de verano [Nv] (octavos)
- 10 Nubosidad media de invierno [Ni] (octavos)
- 11 Velocidad de viento media de verano [Vv] (km/h)
- 12 Velocidad de viento media de invierno [Vi] (km/h)
- 13 Precipitación pluvial media de invierno [Li] (mm)

Los valores indicados como de verano e invierno corresponden al promedio de los datos meteorológicos de diciembre, enero y febrero, y de junio, julio y agosto, respectivamente.

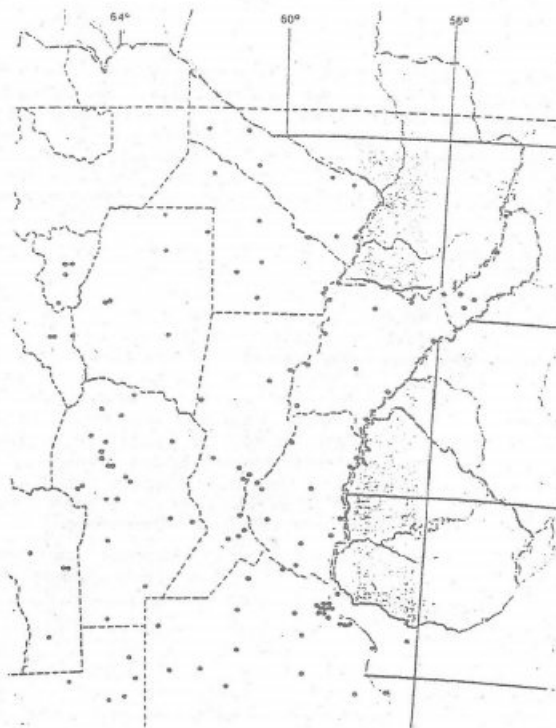


Figura 1: Localización geográfica de las 126 estaciones meteorológicas

Algunas estaciones cuentan con períodos disjuntos de información, de manera que los valores de las variables se basan en períodos de diferente amplitud. Para resolver este problema se calcularon las tendencias de 11 series de tiempo correspondientes a 11 estaciones respectivamente (Buenos Aires, El Palomar, Nueve de Julio, Córdoba, Pilar, Gral. Paz, Paraná, Victoria, Campo Gallo, Ceres y Rafaela), que además de proveer las series completas para todas las variables, no habían sufrido modificaciones en las coordenadas de posición durante las cuatro décadas. A través del análisis de series se comprobó que las variables incluidas no presentan tendencia a lo largo de los 40 años, lo cual permitió utilizar tanto las medias calculadas con series completas como las calculadas con series incompletas, como representativas de todo el período.

Por otra parte, existen datos perdidos para algunas variables (por lo general temperaturas máximas y mínimas y nubosidad) en un grupo reducido de estaciones. Los datos faltantes, que sólo representan el 0.4 % de la información total, se estimaron por regresión simple de las variables más correlacionadas. En el caso que los datos faltantes correspondieran a uno de los períodos deca-anales se calculó la regresión con el o los períodos con información completa para la misma estación. Mientras que en el caso de estaciones con un único período de información se estimó la relación a partir de las estaciones geográficamente más cercanas.

Por último, cabe indicar que en algunas estaciones se producen cambios notorios en los valores de la variable "velocidad de viento media" de un período a otro, sin que se observen cambios en el resto de las variables ni en las coordenadas de posición. Según lo informado por personal de la Estación Meteorológica Rosario ante la consulta, este hecho podría originarse en alteraciones de las condiciones de medición (posición y altura del anemómetro, tipo de instrumental, cercanía de edificios o árboles, etc.), lo cual se suma a la natural variabilidad y complejidad del fenómeno.

Análisis estadístico:

En primer término, el análisis se ha centrado en la exploración de las características del fenómeno climático [3]. En la Tabla I se observa que, como era de esperar, las correlaciones entre todas las variables que describen temperatura son altas y positivas, como así también las de tensión de vapor con las temperaturas, mientras que resultan negativas y relativamente bajas las correlaciones de temperaturas con viento.

	TMEDV	TMEDI	TMAXV	TMAXI	TMINV	TMINI	TMFV	TMFI	NUB	NUBI	WTOV	WTOI	LUVI
TMEDV	1.00												
TMEDI	0.87	1.00											
TMAXV	0.93	0.72	1.00										
TMAXI	0.90	0.93	0.86	1.00									
TMINV	0.85	0.91	0.64	0.82	1.00								
TMINI	0.71	0.93	0.48	0.74	0.89	1.00							
TMFV	0.72	0.88	0.53	0.77	0.82	0.86	1.00						
TMFI	0.67	0.86	0.46	0.68	0.75	0.91	0.92	1.00					
NUB	0.22	0.40	0.10	0.37	0.37	0.38	0.46	0.35	1.00				
NUBI	-0.22	-0.19	-0.29	-0.37	-0.22	-0.04	-0.06	0.12	0.25	1.00			
WTOV	-0.32	-0.39	-0.36	-0.47	-0.23	-0.24	-0.37	-0.28	-0.23	0.24	1.00		
WTOI	-0.17	-0.14	-0.23	-0.27	-0.07	0.04	-0.12	0.01	-0.15	0.26	0.87	1.00	
LUVI	-0.03	0.19	-0.20	-0.06	0.11	0.39	0.28	0.52	0.11	0.45	0.05	0.17	1.00

Tabla I: Matriz de correlaciones

Diagonalizando la matriz de correlaciones se obtienen los autovalores (Tabla II), donde cada autovalor es parte de la varianza total y explica una fracción de la misma.

	autovalor	%	% acum.
1	6.939	53.4	53.4
2	2.334	18.0	71.3
3	1.508	11.6	82.9
4	0.863	6.6	89.6
5	0.638	4.9	94.5
6	0.259	2.0	96.5
7	0.199	1.5	98.0
8	0.140	1.1	99.1
9	0.058	0.4	99.5
10	0.026	0.2	99.7
11	0.018	0.1	99.9
12	0.014	0.1	100.0
13	0.003	0.0	100.0

Tabla II: Autovalores

Regionalización:

En esta etapa se busca agrupar las estaciones según su similitud, formando clusters que representarán zonas geográficas. Se aplica para esto un método jerárquico de clasificación y se utiliza como medida de disimilaridad entre casos la distancia euclídea, y el criterio para determinar las distancias entre grupos es el del promedio [4].

En primer lugar, se agrupan de a dos las estaciones más próximas en el espacio de las 13 dimensiones (de las variables), y luego cada grupo se va agregando a otro grupo, el más próximo, según la distancia media entre los individuos de ambos grupos. Cada etapa de agrupamiento significa una clasificación posible desde la división de toda la región en tantos grupos como estaciones, hasta la que las reúne en un único grupo. Los límites se van trazando en el mapa siguiendo un orden jerárquico, hasta llegar al nivel a partir del cual la subdivisión resultante significa un agrupamiento de estaciones en el que deja de haber correspondencia entre la proximidad euclídea y la geográfica. Esto sucede, entre otros casos, en el este de la provincia de Buenos Aires, donde al pretender establecer una clasificación más "fina", la estación Buenos Aires se une antes con Concepción del Uruguay que con El Palomar, por ejemplo, siendo esta última geográficamente mucho más próxima. Estas situaciones podrían explicarse por la aparición de microclimas derivados de la localización de estaciones en zonas altamente urbanizadas, o por la gran homogeneidad climática de esta región, o bien por las propias impresiones o errores de medición.

El proceso de agrupamiento se representa en el dendograma de la figura 2, cortado a la distancia en que se detuvo el trazado de los límites, indicándose los niveles jerárquicos. Es así como se obtiene la clasificación bioclimática de la región (figura 3), y se denominan con letras los grupos obtenidos.

Cabe aclarar que los grupos B y F responden a situaciones muy particulares. Por un lado, el E está constituido por una única estación (Prácticos Recalada) que por su localización, en la boca del Río de la Plata, no encuentra similitud con ninguna otra estación de la región, y en consecuencia se separa rápidamente del resto. Por otra parte, el grupo F reúne estaciones geográficamente lejanas: dos

Los tres primeros factores explican el 83 % de la varianza total. Los factores que siguen en importancia explican cada vez menor proporción de la varianza (según sus respectivos autovalores), y se hace cada vez más complejo interpretar su significado bioclimático. Por lo tanto, se considera que el porcentaje de la varianza explicada por los tres primeros factores, resulta satisfactorio para encontrar las tres causas que introducen mayor variabilidad en el bioclima de la región en estudio.

A partir de la interpretación de las correlaciones entre las variables originales y los factores (Tabla III), se puede entender que el factor 1 describe grados de calidez, el factor 2 la humedad de invierno y el factor 3 las condiciones de viento.

	1	2	3	4	5	6
TMEDV	0.901	-0.154	0.249	0.024	0.273	0.053
TMEDT	0.984	0.056	0.056	-0.012	-0.054	0.014
TMAXV	0.761	-0.359	0.284	0.036	0.425	0.125
TMAXT	0.936	-0.239	0.113	0.081	0.023	0.120
TMINV	0.915	0.068	0.184	0.061	-0.136	-0.054
TMITI	0.896	0.327	0.035	-0.088	-0.166	-0.073
TVAPV	0.907	0.203	-0.101	-0.009	-0.125	-0.193
TVAPT	0.861	0.411	-0.102	-0.183	-0.005	-0.119
NUEV	0.422	0.210	-0.450	0.714	-0.177	0.176
NUEI	-0.190	0.687	-0.353	0.218	0.532	-0.166
VVICV	-0.455	0.538	0.647	0.181	-0.032	0.079
VVICI	-0.224	0.670	0.658	0.114	-0.051	-0.007
LUVI	0.169	0.738	-0.338	-0.454	0.024	0.320

Tabla III: Correlaciones entre las variables y los seis primeros factores

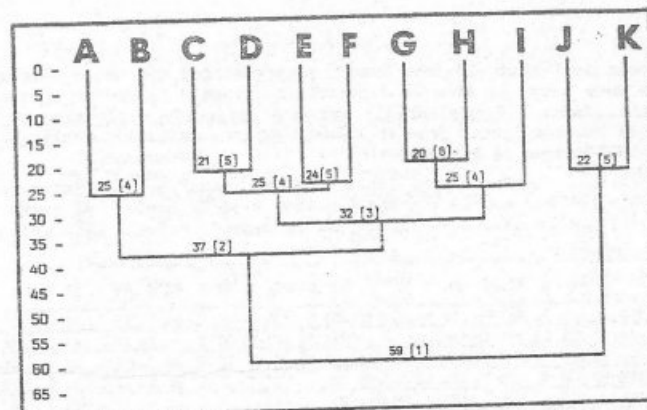


Figura 2: Dendograma cortado a la distancia en que se forman los grupos

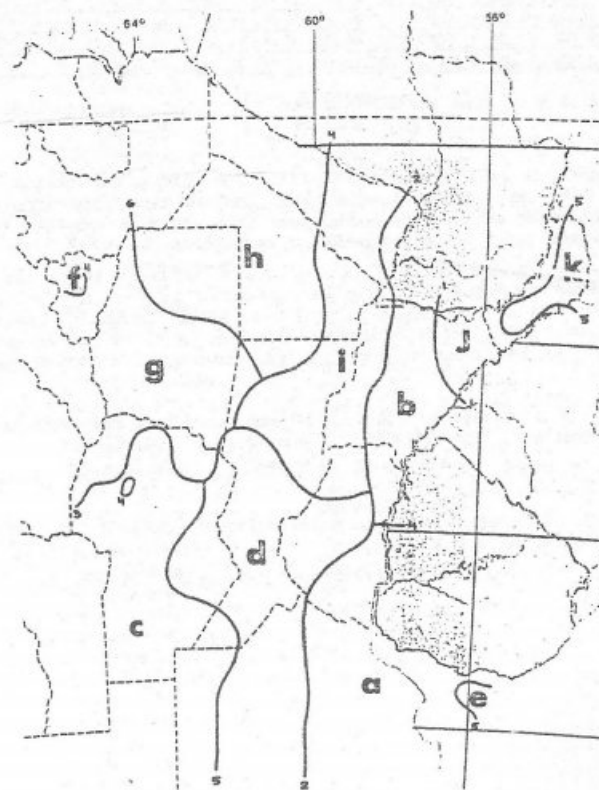


Figura 3: Clasificación en once grupos bioclimáticos homogéneos

de la provincia de Córdoba (Huerta Grande y Ascochinga) con una de Tucumán (Villa Nougues). En este caso, si bien la distancia euclídea a la que se agrupan es considerablemente grande, la similitud entre ellas puede explicarse a partir de considerar que son las únicas tres estaciones de toda la región emplazadas por encima de los 1000 metros de altitud.

En la tabla IV se presenta el listado de las estaciones que integran cada uno de los grupos obtenidos con la regionalización, y en la tabla V se transcriben los promedios y desvíos de las trece variables, correspondientes a cada grupo.

Grupo	Tv	S	TI	S	Pv	S	MI	S	mv	S	ml	S	Pv	S	PI	S	Nv	S	NI	S	Vv	S	VIS	LI	S	
A	225	9	105	9	288	12	157	10	184	14	80	12	185	8	106	4	34	2	44	2	12	3	11	2	185	24
B	257	7	146	15	322	10	204	18	194	11	97	17	215	19	133	11	37	3	41	2	10	2	11	2	224	26
C	231	7	97	12	309	10	174	13	156	10	34	13	165	15	83	6	31	5	39	5	11	3	10	3	47	14
D	234	9	110	12	306	8	173	13	166	13	58	13	193	11	106	7	34	2	41	3	11	2	11	2	109	22
E	218	-	114	-	250	-	134	-	183	-	91	-	201	-	113	-	37	-	44	-	22	-	21	-	80	-
F	186	8	92	8	248	14	150	8	146	10	53	10	154	19	78	9	38	11	34	5	12	2	11	1	43	32
G	254	11	131	8	325	17	207	10	193	9	87	8	208	21	101	10	36	4	34	5	9	4	8	3	26	11
H	270	6	166	11	347	8	240	11	203	5	101	9	223	9	126	8	38	6	39	2	9	3	9	3	49	17
I	263	7	158	14	331	10	221	17	199	7	103	11	232	14	138	11	35	3	39	4	9	3	10	2	127	17
J	258	8	159	6	324	4	225	7	190	8	101	10	235	19	145	14	38	8	39	4	8	3	10	4	304	25
K	249	2	160	2	315	6	217	8	192	8	110	10	225	4	141	3	39	3	40	2	10	6	11	9	395	19

Tabla IV: Promedios y desvíos estándares de las 13 variables para cada grupo

Conclusiones:

Esta propuesta de regionalización bioclimática, podría perfeccionarse incorporando una variable de gran incidencia en el confort higrotérmico de edificios, como lo es la radiación solar. Esta variable no pudo incluirse en este trabajo por no existir registros en la mayor parte de las estaciones meteorológicas.

Por otra parte, respecto de la metodología estadística surge una propuesta que puede completar este trabajo. Esta clasificación se realizó por medio de un método jerárquico, sería interesante repetir este mismo esquema de trabajo utilizando un método de clasificación de centros móviles. Luego se podrán extraer conclusiones a partir de la comparación de los dos métodos.

Referencias:

- [1] Steiner, D. "A multivariate statistical approach to climatic regionalization and classification". Aardrijkskundig Gemotsdrap 82, 327-347.
- [2] Chiozza, E. y otros. "Atlas Total de la República Argentina". Centro Editor de América Latina, 1981.
- [3] Cuadras, C.M. "Métodos de Análisis Multivariante". EUNIBAR (Editorial Universitaria de Barcelona S.A.), 1981.
- [4] Escudero, L. "Reconocimiento de Patrones". Paraninfo S.A. Madrid, 1977.

Grupo A:	Grupo D:	Grupo I:
001 Buenos Aires	007 Junín	054 Bella Vista
002 Aeroparque	012 Nueva de Julio	055 Corrientes
003 El Palomar	013 Pehuajó	056 Esquina
005 Martín García	014 Pergamino	059 Goya
006 J.C. Paz	022 Bolívar	063 Pº de la Patria
008 La Plata	035 Bell Ville	065 Cº Benítez
009 Las Flores	045 Marcos Juárez	070 Resistencia
010 Mercedes	077 Las Delicias	076 La Paz
011 Morón	079 Paraná	099 Laguna Blanca
015 Punta Indio	081 Victoria	100 San Francisco
016 San Miguel	082 Villaguay	101 Tacuaglé
017 Castellar	106 Angel Gallardo	107 Reconquista
018 San Pedro	108 Castilda	116 Vera
020 Ezeiza	109 Ceres	
021 Dolores	110 Esperanza	Grupo J:
023 Lobos	111 Oliveros	057 Ituzaingó
024 Olivos	112 Rafaela	064 Santo Tomé
025 San Clemente	113 Rosario	117 Eldorado
026 Los Hornos	114 Zavalla	119 Posadas
027 Parque Iraola	115 Sauce Viejo	120 Iguazú
028 Don Torcuato		Grupo K:
073 C. del Uruguay	Grupo E:	118 Loreto
074 Gualagaychú	029 Recalada	121 Carro Azul
075 Gualagay	Grupo F:	122 Oberé
078 Mazaruca	044 Huerta Grande	
	048 Ascochinga	
	124 Villa Nougues	
Grupo B:	Grupo G:	
058 Gral. Paz	030 Sumallo	
060 Mercedes	031 Catamarca	
061 Monte Caseros	032 Cº Achalco	
062 Pº de los Libres	036 Cruz del Eje	
072 Concordia	048 Miramar	
080 Salto Grande	052 Quilino	
088 Formosa	093 Añetuya	
	095 La Benda	
Grupo C:	097 Sº del Estero	
004 Gral. Villegas	123 Tucumán	
018 Tronque Lauquen	125 La Cocha	
033 Córdoba	128 Famallá	
034 Manfredi		
037 Embalse	Grupo H:	
038 Laboulaye	066 Cº Castelli	
039 Pilar	067 Las Breñas	
040 Río Tercero	068 Nueva Pompeya	
041 Villa Dolores	069 Saenz Peña	
042 Dique La Vile	071 Villa Angala	
043 Pisco Huasi	092 Monte Quemado	
046 Río Cuarto	094 Campo Gallo	
047 Villa María	096 Pº Guasucos	
050 Escuela Militar	102 Las Lomitas	
051 Huínca Renancó	104 Pilcomayo	
053 Sº Santa María	105 Ing. Juárez	
063 Gral. Pico		
064 Quemú Quemú		
065 Anquill		
066 Santa Rosa		
067 Victoria		
068 San Luis		
069 Villa Mercedes		
090 Unión		
091 Villa Reynolds		

Tabla V: Estaciones pertenecientes a cada grupo bioclimático