

## INTERDEPENDENCIA ENTRE ISOTERMAS E ISOHUMAS CON LA MODALIDAD DE LA ESTRUCTURA URBANA

A. PAPPARELLI (\*) - A. KURBAN (\*\*) - M. CUNSULO (\*\*\*) - E. MONTILLA (\*\*\*\*)  
 Area Arquitectura Ambiental (UNSJ - CONICET), Santa Fé 198 oeste - 5400 - San Juan  
 TE 064-226218 - Email: apappare@farqui.unsj.edu.ar

### RESUMEN

El trabajo se enmarca en las disciplinas "Climatología Urbana" y "Planificación Urbana", particularizando su estudio en el diseño bioclimático urbano de ciudades localizadas en zonas áridas, con el fin de contribuir al logro del confort higrotérmico de sus habitantes por medio del aprovechamiento de energías no convencionales.

El objetivo es analizar los cambios producidos en el clima natural de la región, debido a los procesos de urbanización de la ciudad de San Juan, estudiando el comportamiento de las variables climáticas de temperatura y humedad relativa, en su relación con la distribución de la masa térmica edilicia, durante las estaciones extremas de **Invierno y Verano**.

Se modeliza el comportamiento de los índices urbanísticos en el ejido urbano y el de las variables climáticas citadas. Se obtienen índices de ambas variables que las correlacionan con las Bandas Urbanas Características de la ciudad, lo que permite conocer el comportamiento del clima urbano en cualquier sector del Gran San Juan.

### INTRODUCCION

Los procesos de antropización en áreas urbanas de zonas áridas debido a sus crecientes cambios en las condiciones del soporte físico original, conllevan una modificación del potencial bioclimático, producido por el aumento o disminución del volumen edilicio, de la superficie vial pavimentada y de la forestación urbana. Cada uno de estos factores incide en el clima macroscalar (Mazzeo, 1984; 2°), con cambios cuya espacialización coincide con la distribución territorial de las áreas construidas. Superando un cierto nivel de densidad urbana, dichos cambios son más marcados e influyen en las condiciones higrotérmicas, tanto del interior de los edificios como de las áreas abiertas públicas. Por ello se hace necesario conocer las reales características climáticas del sitio de implantación de un edificio o conjunto edilicio, a fin de incorporarlo como dato real al diseño bioclimático urbano-arquitectónico, para lograr condiciones adecuadas de confort higrotérmico.

### ADQUISICION Y PROCESAMIENTO DE DATOS URBANISTICOS

A fin de conocer la distribución de los índices urbanísticos, se procedió a relevar el asentamiento, aplicando un método de regresión lineal georeferenciado, con un muestreo de 142 nodos urbanos correspondientes a 16 orientaciones cardinales (rumbos, medios rumbos y cuartos de rumbo), con origen en el centro de la ciudad: plaza 25 de Mayo (Papparelli *et al.*, 1994). Con los valores obtenidos se calcularon los siguientes índices urbanísticos: FOS (Factor de Ocupación del Suelo); DE (Densidad Edilicia); CU (Canopia Urbana). Los tres índices fueron espacializados por medio de isolíneas que permitieron conocer el comportamiento de los mismos en todo el espacio de la ciudad, obteniéndose por métodos estadísticos cuatro bandas concéntricas de condiciones urbanas homogéneas, las cuales se denominaron: **Bandas Urbanas Características (B.U.C.)**. Los valores de cada B.U.C. resultaron:

B.U.C.	F.O.S. (%)	D.E. ( m <sup>3</sup> /Ha)	C.U. ( m)
EMINENTEMENTE URBANA (EU)	FOS > 40	DE > 15.000	CU > 10
URBANA (UR)	40 > FOS > 20	15.000 > DE > 5.000	10 > CU > 5
SUBURBANA (SU)	20 > FOS > 5	5.000 > DE > 1.500	5 > CU > 2,5
NO URBANA (NU)	5 > FOS	1.500 > DE	2,5 > CU

**TABLA N°1 Índices urbanos límites de las Bandas Urbanas Características**

Con el límite entre la Banda Suburbana y la Banda No Urbana, quedó definido el límite urbano de la ciudad de San Juan.

### ADQUISICION Y PROCESAMIENTO DE DATOS CLIMATICOS

A partir del año 1991, se realizaron mediciones climáticas itinerantes en toda el área urbana de la ciudad de San Juan, en ambas estaciones extremas (invierno y verano). El programa de mediciones climáticas itinerantes se realizó en 48 nodos urbanos representativos de los 142 característicos de la ciudad, en coincidencia con los nodos de relevamiento y distribuidos a lo largo de toda su superficie, en las 16 orientaciones cardinales citadas. En cada uno de estos puntos se realizaron mediciones climáticas tri-diurnas (9hs - 15hs - 21hs) de temperatura y humedad relativa en las estaciones de invierno y verano. Desde 1994, estos datos fueron complementados con mediciones climáticas obtenidas en una estación meteorológica fija localizada en la Banda Eminentemente Urbana de la ciudad. Con 5 años de mediciones (1991-1995), se confeccionó un banco de datos anual y otro quinquenal del clima urbano de la ciudad.

(\*) Prof. Ppal. CONICET - Prof. Titular FAUD (UNSJ)  
 (\*\*\*) Prof. Adj. CONICET - Prof. E.M (UNSJ)

(\*\*) Prof. Adj. CONICET - Prof. Titular FAUD (UNSJ)  
 (\*\*\*\*) Prof. JTP FAUD (UNSJ)

## CALCULO DE INDICES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA

Para poder obtener un resultado comparativo entre las áreas representativas de los diferentes sectores cardinales, se procedió a referenciar los valores climáticos promedio en cada Banda Urbana Característica para cada sector cardinal con los valores climáticos de la Banda No Urbana del mismo sector cardinal. De esta manera se obtuvieron Indices que caracterizan a cada sector urbano: **Indice de Temperatura** ( $I_t = T^{\circ}\text{Csc} / T^{\circ}\text{CscNU}$ ) e **Indice de Humedad Relativa** ( $I_{hr} = \text{HR}\% \text{sc} / \text{HR}\% \text{scNU}$ ). Por medio del método de "Las Diferencias" se determinaron tres tipos de áreas diferenciadas en su comportamiento higrotérmico, las que se definieron como: Sectores de Índice Máximo, Índice Medio e Índice Mínimo de temperatura y de humedad relativa. Estos valores fueron calculados en las Tablas 2, 3, 4 y 5 para luego ser espacializados y restituidos a la plancheta urbana de la ciudad (Ver Figuras 1, 2, 3 y 4), representando con: GRIS OSCURO los Mínimos; con GRIS MEDIO los Medios y con GRIS CLARO los Máximos.

BUC	SECT. CARD.	TEMP. PROM. (1)	INDICE T °C (2)	SECT. ORDENADOS	
				SECT. CARD.	INDICE T °C
E.U.	N	10,0	1,136	SE	1,190
	NE	9,4	1,119	E	1,159
	E	10,4	1,169	N	
	SE	9,4	1,190	S	
	S	10,0	1,136	O	
	SO	9,5	1,118	NE	
	O	10,3	1,120	SO	
	NO	9,5	1,105	NO	
U.R.	N	9,2	1,045	SE	1,076
	NE	8,7	1,036	E	
	E	9,5	1,067	SO	
	SE	8,5	1,076	NO	
	S	9,2	1,045	N	
	SO	8,9	1,047	S	
	O	9,6	1,043	O	
	NO	9,0	1,047	NE	
S.U.	N	8,9	1,011	SE	1,025
	NE	8,5	1,012	SO	1,024
	E	9,1	1,022	E	
	SE	8,1	1,025	NE	
	S	8,9	1,011	NO	
	SO	8,7	1,024	N	
	O	9,3	1,011	S	
	NO	8,7	1,012	O	
N.U.	N	8,8			
	NE	8,4			
	E	8,9			
	SE	7,9			
	S	8,8			
	SO	8,5			
	O	9,2			
	NO	8,6			

TABLA 2: Indices de Temperatura para INVIERNO

BUC	SECT. CARD.	HUM. REL. PROM. (1)	INDICE HR% (2)	SECT. ORDENADOS	
				SECT. CARD.	INDICE HR%
E.U.	N	45,5	0,923	E	0,916
	NE	49,5	0,929	N	0,923
	E	45,0	0,916	SE	0,927
	SE	49,3	0,927	NE	0,929
	S	45,6	0,931	S	0,931
	SO	49,1	0,948	O	0,936
	O	45,4	0,936	SO	
	NO	49,0	0,951	NO	
U.R.	N	47,8	0,970	E	0,967
	NE	51,9	0,974	N	0,976
	E	47,5	0,967	S	0,977
	SE	51,8	0,974	O	0,976
	S	47,7	0,973	NE	0,976
	SO	50,7	0,979	SE	0,979
	O	47,2	0,973	SO	0,979
	NO	50,4	0,979	NO	0,979
S.U.	N	48,9	0,9919	NE	0,9887
	NE	52,7	0,9887	S	0,9898
	E	48,7	0,9919	SE	0,9906
	SE	52,7	0,9906	O	0,9918
	S	48,5	0,9898	N	0,9923
	SO	51,4	0,9923	E	0,9918
	O	48,1	0,9918	NO	0,9922
	NO	51,1	0,9922	SO	
N.U.	N	49,3			
	NE	53,3			
	E	49,1			
	SE	53,2			
	S	49,0			
	SO	51,8			
	O	48,5			
	NO	51,5			

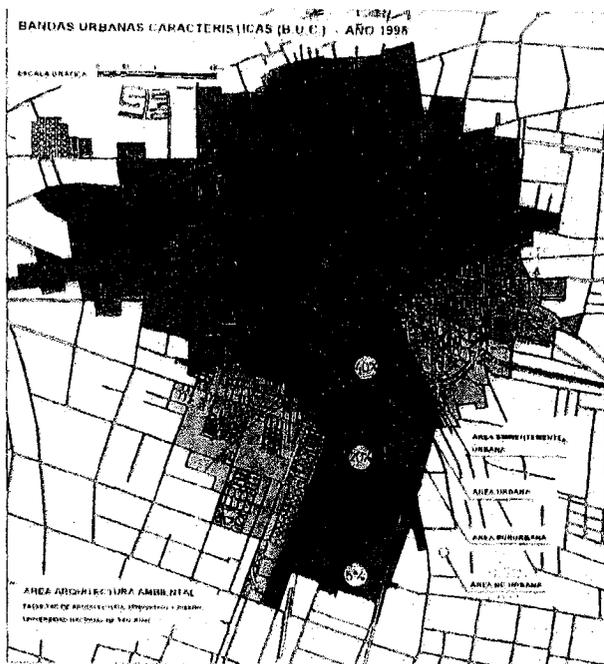
TABLA 3: Indice de Humedad Relativa para INVIERNO

BUC	SECT. CARD.	TEMP. PROM. (1)	INDICE T °C (2)	SECT. ORDENADOS	
				SECT. CARD.	INDICE T °C
E.U.	N	28,9	1,036	E	1,078
	NE	28,9	1,047	SE	1,078
	E	29,0	1,078	NE	
	SE	29,0	1,070	NO	
	S	28,9	1,032	N	
	SO	28,9	1,036	SO	
	O	28,9	1,036	O	
	NO	28,9	1,043	S	
U.R.	N	28,3	1,014	E	1,030
	NE	28,1	1,018	SE	1,030
	E	27,7	1,030	NE	
	SE	27,8	1,026	NO	
	S	28,3	1,011	N	
	SO	28,3	1,014	SO	
	O	28,3	1,014	O	
	NO	28,2	1,018	S	
S.U.	N	28,0	1,0036	E	1,0074
	NE	27,8	1,0072	SE	1,0074
	E	27,1	1,0074	NE	1,0072
	SE	27,3	1,0074	NO	1,0072
	S	28,1	1,0036	N	
	SO	28,0	1,0036	SO	
	O	28,0	1,0036	O	
	NO	27,9	1,0072	S	
N.U.	N	27,9			
	NE	27,6			
	E	26,9			
	SE	27,1			
	S	28,0			
	SO	27,9			
	O	27,9			
	NO	27,7			

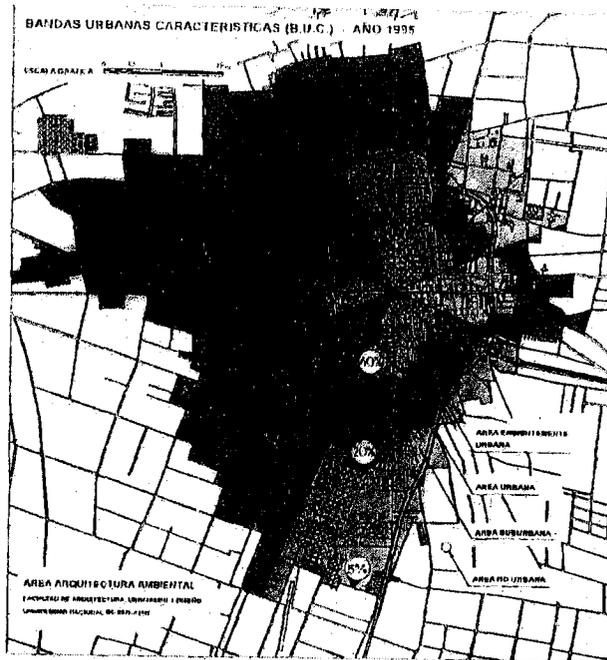
TABLA 4: Indices de Temperatura para VERANO

BUC	SECT. CARD.	HUM. REL. PROM. (1)	INDICE HR% (2)	SECT. ORDENADOS	
				SECT. CARD.	INDICE HR%
E.U.	N	28,7	0,908	SE	0,815
	NE	28,7	0,914	E	0,815
	E	28,0	0,833	N	
	SE	28,6	0,815	NE	
	S	28,7	0,938	NO	
	SO	28,4	0,947	O	
	O	28,3	0,922	S	
	NO	28,6	0,920	SO	
U.R.	N	30,5	0,965	SE	0,932
	NE	30,4	0,968	E	0,935
	E	31,4	0,935	N	0,965
	SE	32,7	0,932	NO	0,965
	S	29,9	0,977	O	0,967
	SO	29,3	0,977	NE	0,968
	O	29,7	0,967	S	0,977
	NO	30,0	0,965	SO	
S.U.	N	31,3	0,991	SE	0,974
	NE	31,0	0,987	E	0,982
	E	33,0	0,982	NE	0,982
	SE	34,2	0,974	NO	0,982
	S	30,4	0,993	SO	0,982
	SO	29,7	0,990	O	0,982
	O	30,4	0,990	N	0,982
	NO	30,7	0,987	S	0,982
N.U.	N	31,6			
	NE	31,4			
	E	33,6			
	SE	35,1			
	S	30,6			
	SO	30,0			
	O	30,7			
	NO	31,1			

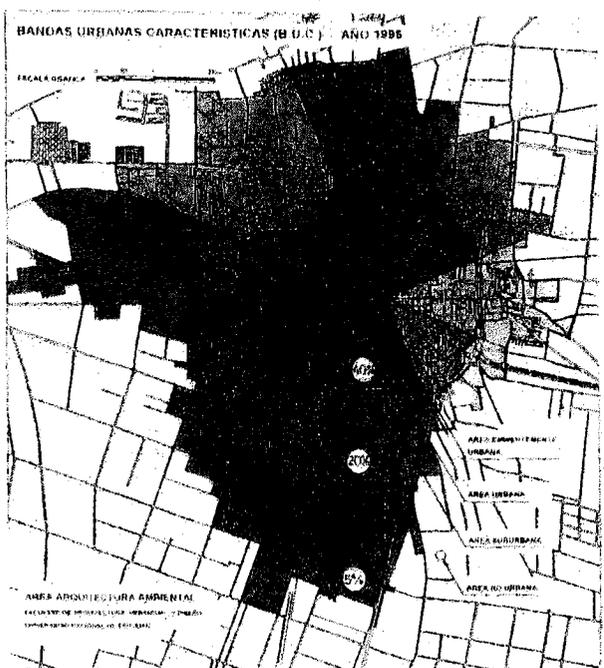
TABLA 5: Indice de Humedad Relativa para VERANO



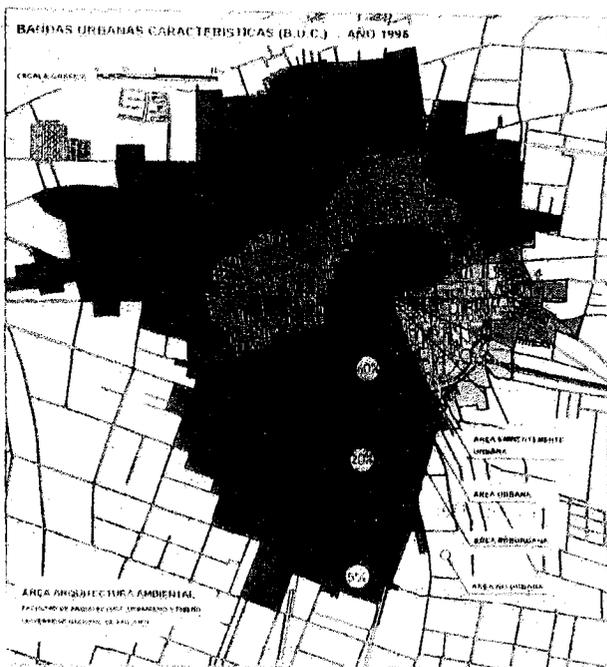
**FIGURA 1:**  
INDICES DE TEMPERATURA - INVIERNO



**FIGURA 2:**  
INDICES DE HUMEDAD RELATIVA - INVIERNO



**FIGURA 3:**  
INDICES DE TEMPERATURA - VERANO



**FIGURA 4:**  
INDICES DE HUMEDAD RELATIVA - VERANO

### MODELIZACION ESPACIAL DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA EN LAS B.U.C.

A fin de obtener los valores de temperatura y humedad relativa de cualquier punto de la ciudad, por medio del software Grapher se construyeron para las 8 direcciones cardinales principales, distintos tipos de curvas de ajuste de los datos climáticos, resultando la curva de función logarítmica la más apropiada a todas las nubes de puntos. Por medio de la información climática y la base de datos urbanísticos, se calcularon los valores de las diferencias de temperatura y humedad relativa entre centro urbano y periferia para cada sector cardinal, tanto para Invierno como para Verano, arrojando los valores máximos y mínimos siguientes:

**INVIERNO:**  $\Delta T_{\max} = + 4,96^{\circ}\text{C} \cong 5,0^{\circ}\text{C} \rightarrow$  Sector SUROESTE;  $\Delta T_{\min} = + 2,69^{\circ}\text{C} \cong + 2,7^{\circ}\text{C} \rightarrow$  Sector NORTE  
 $\Delta HR_{\max} = - 13,08\% \cong -13,1\% \rightarrow$  Sector NORESTE;  $\Delta HR_{\min} = -10,4\% \cong -10,4\% \rightarrow$  Sector OESTE

**VERANO:**  $\Delta T_{\max} = + 3,50^{\circ}\text{C} \cong 3,5^{\circ}\text{C} \rightarrow$  Sector ESTE;  $\Delta T_{\min} = + 2,92^{\circ}\text{C} \cong + 2,9^{\circ}\text{C} \rightarrow$  Sector NORTE  
 $\Delta HR_{\max} = - 7,29\% \cong - 7,3\% \rightarrow$  Sector ESTE;  $\Delta HR_{\min} = - 5,08\% \cong - 5,1\% \rightarrow$  Sector SUROESTE

Las curvas representativas de estos cálculos no se presentan en este escrito por limitaciones de espacio requeridas.

## RESULTADOS OBTENIDOS

- La forma de distribución de la Temperatura, tanto en INVIERNO como en VERANO para todas las direcciones cardinales desde el centro urbano hacia la periferia, es siempre DECRECIENTE, presentando una fuerte pendiente en la Banda Eminentemente Urbana, una pendiente moderada en la Banda Urbana, y una pendiente muy suave en la Banda Suburbana, tendiendo a estabilizarse (horizontalizarse) en la Banda No Urbana.
- La forma de distribución de la Humedad Relativa, tanto en INVIERNO como en VERANO para todas las direcciones cardinales desde el centro urbano hacia la periferia, es siempre CRECIENTE, presentando una fuerte pendiente en la Banda Eminentemente Urbana, una pendiente moderada en la Banda Urbana, y una pendiente muy suave en la Banda Suburbana, tendiendo a estabilizarse (horizontalizarse) en la Banda No Urbana.
- Queda demostrada cuantitativamente la existencia de Isla de Calor, la que se manifiesta con mayor intensidad en Invierno que en Verano.

## CONCLUSIONES

- La máxima diferencia de temperatura entre el centro urbano y la periferia de la ciudad, se manifiesta en las direcciones cardinales ESTE y SURESTE, tanto en invierno como en verano; deduciéndose que dichos sectores son los más frescos de todo el ejido urbano (Ver Figs. 1 y 3).
- La máxima diferencia de humedad relativa entre el centro y la periferia de la ciudad, se manifiesta en las direcciones cardinales ESTE y SURESTE, para el verano; no presentando idénticas tendencias para invierno, ya que la máxima diferencia se presenta en sectores alternados y no contiguos, como son SUR, SURESTE y NORESTE (Ver Figs. 2 y 4).
- Visualizando las Figuras 1, 2, 3 y 4, y de acuerdo a las dos conclusiones anteriores puede inferirse que el eje NORESTE-SUROESTE divide a la ciudad en dos grandes áreas que presentan comportamientos higrotérmicos diferentes. Toda el área que se localiza al NOROESTE del eje mencionado presenta una MENOR diferencia tanto en temperatura como en humedad relativa, mientras que el área que se encuentra al SURESTE del eje mencionado presenta MAYOR diferencia tanto de temperatura como de humedad relativa. Por lo que puede deducirse que toda el área NOROESTE de la ciudad es más cálida y seca que la localizada al SURESTE del eje NORESTE-SUROESTE.
- Se observa que los sectores ESTE y SURESTE son los que menor superficie urbana ocupan, para casi todas las Bandas Urbanas Características (Ver Figs. 1, 2, 3 y 4). Esto confirma la estrecha relación entre temperatura y humedad relativa con la modalidad de la ocupación urbana, esto es:
  - A mayor diferencia de ocupación urbana → mayor diferencia de T°C y HR% entre centro y periferia.
  - A menor diferencia de ocupación urbana → menor diferencia de T°C y HR% entre centro y periferia.
- Analizando en forma particularizada el comportamiento de la temperatura y de humedad relativa para cada una de las Bandas Urbanas Características se destaca que en:
  - VERANO:**
    - En las 3 Bandas que conforman la totalidad del ejido urbano, esto es en las Bandas: Eminentemente Urbana (EU), Urbana (UR) y Suburbana (SU), los sectores más frescos son el ESTE y el SURESTE, coincidiendo con los sectores más húmedos. Esto significa que la ciudad tiene un comportamiento similar para las 3 Bandas.
  - INVIERNO:**
    - En las Bandas: Eminentemente Urbana (EU) y Urbana (UR), los sectores más cálidos son: SUR, SUROESTE, OESTE, NOROESTE, NORTE y NORESTE, no coincidiendo con los sectores de menor humedad relativa, los que se presentan en forma alternada, no determinando un área continua de similares características.
    - En la Banda Suburbana (SU) los sectores más cálidos son: OESTE, NOROESTE, NORTE, NORESTE y SUR, coincidiendo parcialmente con los sectores más secos.

## BIBLIOGRAFIA

- Chandler, T.J. (1976) *Urban Climatology and its relevance to urban design*, WMO Technical Note N° 149, Switzerland.
- Givoni, B. (1985) *Urban design and urban climate*, EEUU, Documento inédito.
- Mazzeo, N. (1984) *Bases físicas del clima - Micrometeorología*, UBA, Bs. As.
- Mazzeo, N. (1984) *Aplicaciones del diagnóstico climático a problemas relacionados con el urbanismo*, UBA, Bs. As.
- Oke, T. (1982) *The Energetic Basis of the Urban Heat Island*, Londres.
- Oke, T. (1986) *Urban Climatology and the tropical city*, Proceedings of the Technical Conference: Urban climatology and its applications with special regard to tropical areas, Secretariat of the WMO N° 652, Switzerland.
- Papparelli, A.; Kurbán, A.; Cúnsulo, M. (1996) *CLIMA URBANO - Estrategias Bioclimáticas para el Diseño Arquitectónico en Área Urbana de Zona Árida*, Informe Final Proyecto de Investigación trianual UNSJ.
- Papparelli, A.; Kurbán, A.; Cúnsulo, M. (1994) *Características de la distribución espacial en la ciudad de San Juan*, S. Juan, Editado por Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, UNSJ.