

EVALUACION DE TEMPERATURAS URBANAS DE ACUERDO AL USO DEL SUELO: ROSARIO

G. Chiarito¹ y E. Chiarito²

Facultad de Arquitectura, Planeamiento y Diseño, UNR, Riobamba 250, Rosario
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, UNR, Riobamba 250, Rosario

RESUMEN: El objeto de este trabajo es analizar el fenómeno denominado "isla de calor urbano" para la ciudad de Rosario. Se evalúa la temperatura superficial urbana mediante registros remotos que provee la plataforma satelital LANDSAT 5 TM.

A partir de este cúmulo de información es posible analizar el territorio urbano por sectores de densidad variada y relacionarlo con los registros de temperatura.

Mediante análisis estadístico se puede determinar, de acuerdo a los pasos periódicos del satélite, la variabilidad del fenómeno térmico y relacionarlo con el tipo de suelo, según tres componentes principales: construcción, vegetación o agua.

Con los datos provistos por las lecturas espectrales del LANDSAT, es posible determinar mediante algoritmos simples el tipo de suelo, de acuerdo a índices temáticos interpretativos. Estos índices ayudan, correlacionados con las temperaturas registradas, a realizar las interpretaciones conclusivas que permiten indicar que en el área de estudio: Rosario, estamos en presencia de una "isla de frío urbana" de acuerdo a los registros obtenidos de mediodía soleados de invierno y verano.

Palabras clave: Isla de calor urbana, teledetección, satélite.

ABSTRACT: This paper analyzes the "Urban Heat Island" effect in Rosario. Land surface temperature is estimated from Landsat 5 TM remote sensing and statistically related to land-use for different study-areas, each one with a particular built-up density associated. Three environment classes are used: water, vegetation and built-up areas, as well as three normalized indexes to identify them.

From this analysis it is possible to affirm that Rosario city is an urban cool island, according to the temperature estimates recorded.

Key words: Urban Heat Island, Remote Sensing,

INTRODUCCIÓN.

Se puede adjudicar el término "Isla de calor" al concepto propuesto en 1958 por el climatólogo inglés Gordon Manley para designar al área urbana con temperaturas nocturnas elevadas respecto a su entorno. Con el tiempo, este término: "islas de calor urbana (ICUs)", se ha identificado con la descripción del fenómeno de sobrecalentamiento de las ciudades de manera extendida y en buena medida mediatizado por los medios de comunicación masiva. El conocimiento de su reverso: "islas de frío urbanas (IFUs)" ha tenido menos difusión y es prácticamente desconocido o al menos ignorado.

Se indica que el incremento de ICUs se relaciona con la sustitución de espacios naturales por espacios urbanos construidos y con el incremento de generaciones internas artificiales de calor (Oke, 1978). Si bien el efecto ICU está presente en muchas ciudades, su intensidad varía de comunidad en comunidad de acuerdo a un gran número de variables, tales como las condiciones climáticas del lugar, la topografía, la tipología edilicia, los patrones constructivos de las urbanizaciones, entre otros. (Sangines Coral, 2013)

¹ Docente FAPyD-UNR

² Becaria CONICET, CURIHAM, FCEIA-UNR

Para ajustar la detección del fenómeno ICUs es necesario el análisis en cada contexto urbano y particularizar el estudio para sectores urbanos, ya que el efecto puede responder a áreas de influencia acotada. La configuración morfológica y material del espacio urbano admite al menos dos escalas de análisis, una global, es decir la ciudad en su conjunto y otra de menor escala como sectores urbanos (Escolano, 2011).

AREA DE ESTUDIO.

Rosario, es una clásica ciudad de llanura del orden de un millón de habitantes que ocupa la cabecera de un área metropolitana dispersa a la vera de la hidrovía fluvial Paraná. En este trabajo se analiza el área urbana propiamente dicha y para favorecer su comprensión y ajustar los mecanismos de evaluación se ha dispuesto una subdivisión en cinco zonas. Las zonas se disponen desde centro a periferia, siguiendo los patrones radiales de distribución urbana coincidentes con la estructura de crecimiento histórica de la ciudad.

Las cinco zonas se identifican dentro de la trama urbana mediante numeración correlativa del área central: Zona I a la zona de barrios de periferia Zona V, no se registran las zonas periurbanas donde la presencia de suelo rural o quintas de cultivo introduce lecturas extraurbanas.

La densidad poblacional y de edificación se corresponde al esquema usual con altos índices en área central y bajos en periferia. Los niveles de vegetación y espacios verdes con área más permeables siguen el trazado de distribución opuesto.



Figura 1: Vista de los sectores analizados sobre la trama urbana de Rosario.

Se identificaron 5 zonas ubicadas sobre el eje calle Córdoba (continuada por la RN9), con orientación Este-Oeste, cada una de las cuales tiene una extensión de 1600m x 1600m (10 píxeles x 10 píxeles para la banda de peor resolución, o sea infrarrojo térmico). La Zona I corresponde al área centro, siendo la Zona V aquella más alejada del mismo. La información recabada remotamente fue contrastada por inspecciones oculares in-situ así como fotografías disponibles en Google Earth.

DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA.

Para realizar el trabajo se recurrió a imágenes satelitales del área de Rosario, que permitieran el análisis de una base de datos extensa, instantánea y de alta resolución espacial. Esta técnica consiste en el aprovechamiento de datos de la superficie terrestre de la energía radiante dentro del rango visible e infrarrojo térmico re-emitida desde la superficie, recopilados por sensores ubicados en plataformas satelitales.

La plataforma usada es LANDSAT 5TM, que ofrece una gran cantidad de imágenes satelitales de libre disponibilidad, lo que sumado a la comparativamente alta resolución espacial del registro, la convierte en una poderosa fuente de información que permite cada 16 días de recurrencia obtener imágenes periódicas del sitio en estudio, siempre que las condiciones de nubosidad y de funcionamiento lo permitan. Se presenta a continuación un análisis preliminar de dos escenas correspondientes al período de verano y dos al período invernal, libre de cobertura nubosa que pueda introducir alteraciones en las mediciones.

El LANDSAT dispone de tres bandas en el visible, una infrarroja cercana y dos medianas con resolución de la cobertura terrestre de 30m de tamaño de celda y una banda del infrarrojo térmica con un tamaño de celda de 120m de resolución. El horario de pasaje que informan los registros de las imágenes de la zona de Rosario utilizadas, se verifican a las 13:46 GMT, vale decir 11:46 hora local.

De la totalidad de imágenes analizadas se presentan un de verano de los días 16-02-2009 y 20-01-2010 y un par de invierno de los días 08-08-2007 y 29-08-2009. En el análisis por zonas se establecieron estudios estadísticos de los resultados mediante histogramas de frecuencia, valores medios y análisis por cuartiles para determinar el comportamiento comparativo inter-zonas.

Se realizaron por otro lado verificaciones mediante la determinación de índices temáticos de teledetección para verificar la lectura de superficie y se establecieron comparaciones inter-zonas para verificar su aproximación. Las imágenes satelitales permiten mediante algoritmos matemáticos elaborar índices que interpreten, reproduzcan y expliquen las condiciones más significativas del tipo de suelo y por tanto mejorar el análisis e interpretación.

Dentro de los índices temáticos se buscó distinguir ambientes con vegetación, agua y construcción o edificación, como variables destinadas a explicar las grandes componentes principales del sistema urbano. Los índices temáticos elegidos para determinar vegetación, agua y construcción fueron: *SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index)*, *MNDWI (Modified Normal Difference Water Index)* y *NDBI (Normal Difference Building Index)*. Básicamente estos índices establecen filtros selectivos para aprovechar la mejor respuesta en las distintas bandas de lectura de acuerdo a las reflectividades de los materiales intervinientes.

A partir de la identificación de estos tres tipos de ambientes, se confeccionó un análisis de reflectancia (emitancia en el caso de temperatura de brillo) de cada uno en las distintas bandas, que justifica la elección de los índices normalizados adoptados:

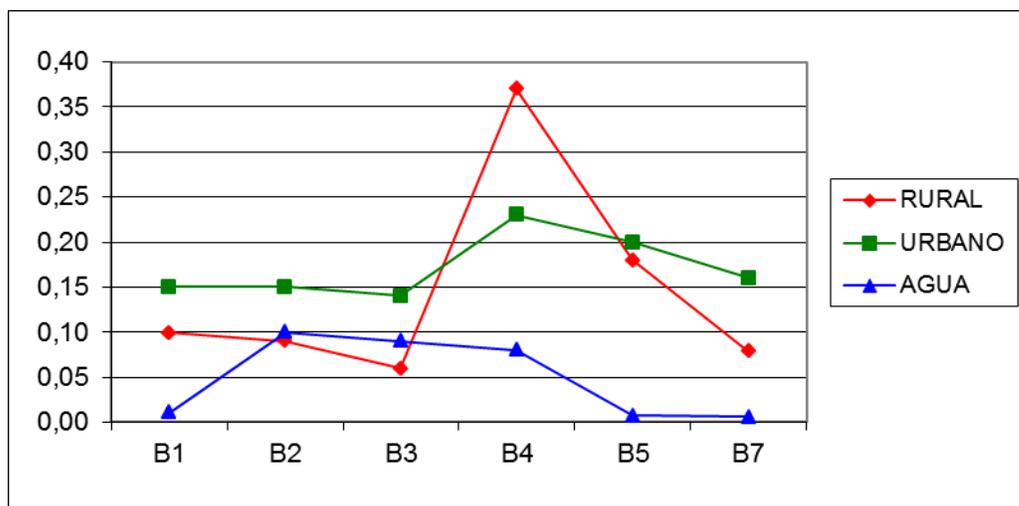


Figura 2: análisis de reflectividad por ambientes para cada banda LANDSAT 5TM

Se puede observar que la diferencia normalizada entre bandas 4 y 3 permite distinguir píxeles con cobertura vegetal de los otros dos ambientes ya que sería el único caso que presentaría valores positivos. Lo mismo sucede con la diferencia normalizada entre bandas 5 y 4 para píxeles con construcción, y para el caso del agua y la diferencia entre bandas 5 y 2. Este último se utiliza ya que los píxeles de agua pueden presentar valores de NDBI mayores que cero, introduciendo errores en la clasificación.

Los tres índices usados para facilitar la interpretación en este trabajo son:

- el **NDBI** (*Normal Difference Building Index*), propuesto por Zha (2003):

$$NDBI = (MIR - NIR) / (MIR + NIR)$$
 que describe al suelo construido o edificado urbano por la mayor reflectancia espectral en la longitud del MIR (infrarrojo medio) que en el NIR (infrarrojo cercano).
- el **MNDWI** (*Modified Normal Difference Water Index*), propuesto por Wu (2005):

$$MNDWI = (GREEN - MIR) / (GREEN + MIR)$$
 este índice modificado de lectura de agua, corresponde a la lectura del GREEN (verde) de la banda TM2, mientras que el MIR (infrarrojo medio) corresponde a la banda TM4
- el **SAVI** (*Soil Adjusted Vegetation Index*), propuesto por Huete (1988):

$$SAVI = (NIR - RED)(1+l) / (NIR + RED + l)$$
 este último índice permite la lectura de vegetación de baja densidad que ajusta mejor a las situaciones urbanas. Donde l es un factor de corrección de densidad que en este trabajo se tomó $l = 0,5$.

RESULTADOS: Verano.

En los registros de verano se destaca un incremento de las temperaturas desde el centro (Zona I) hacia la periferia; esta diferencia en las medias de acuerdo a los histogramas analizados por sectores es de dos a tres grados más alta en periferia que en centro y la dispersión de registros es muy ajustada en cada zona.

18/02/2009					
Temp[°C]	ZONA I	ZONA II	ZONA III	ZONA IV	ZONA V
y mayor...	0	0	0	0	6
39	0	0	1	0	3
38	0	0	11	17	14
37	0	0	15	50	29
36	1	63	94	347	331
35	5	178	151	500	528
34	23	500	642	563	593
33	74	372	355	60	70
32	507	396	323	34	12
31	471	88	8	16	13
30	238	3	0	7	1
29	227	0	0	6	0
28	36	0	0	0	0
27	11	0	0	0	0
26	7	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0

20/01/2010					
Temp [°C]	ZONA I	ZONA II	ZONA III	ZONA IV	ZONA V
y mayor...					
38	0	0	0	0	12
37	0	0	10	24	8
36	0	35	22	75	22
35	1	52	69	190	102
34	4	149	112	475	430
33	50	439	525	632	681
32	296	657	691	141	309
31	463	163	166	40	19
30	421	67	5	12	7
29	221	28	0	8	8
28	120	8	0	3	2
27	22	2	0	0	0
26	2	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0

Tabla.1: frecuencias absolutas del registro de temperaturas de los días 20090218 y 20100120. Si se realiza un análisis por cuartiles se puede ver la composición por zonas.

ZONA	Q2	Q1	max	min	Q3	MEDIANA	MAX-MIN
I	30,35	29,63	35,22	25,2	31,06	30,35	10,02
II	32,46	31,75	35,97	29,51	33,81	32,46	6,45
III	33,11	32,39	38,57	25,2	33,83	33,11	13,37
IV	34,47	33,79	37,32	28,2	35,1	34,47	9,12
V	34,36	33,73	39,97	29,57	34,97	34,36	10,4

Tabla.2: análisis estadístico de registros de temperaturas por cuartiles, máximo, mínimo, amplitud máxima y mediana para imagen 20090218.

ZONA	Q2	Q1	max	min	Q3	MEDIANA	MAX-MIN
I	30,05	29,02	34,07	25,2	30,74	30,1	8,87
II	31,82	31,25	35,74	29,51	32,82	31,8	6,23
III	31,83	31,25	36,73	29,5	32,76	31,8	7,22
IV	32,94	32,36	37,32	27,88	33,51	32,9	9,44
V	32,78	32,16	39,97	27,78	33,36	32,8	12,19

Tabla.3: análisis estadístico de registros de temperaturas por cuartiles, máximo, mínimo, amplitud máxima y mediana para imagen 20100120.

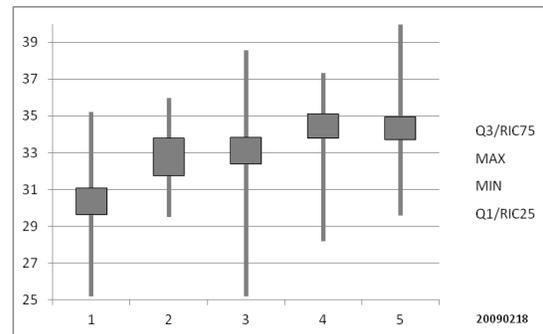
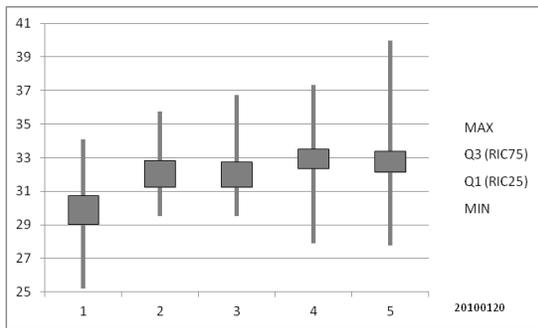


Figura 3: Grafica y tabla de análisis por cuartiles y zonas (I a 5 / 1 a 5) en función de la temperatura [°C]. Archivos 20090218 y 20100120.

Un análisis de los registros estadísticos obtenidos por zonas y su comparación indica:

- 1.1. La tendencia global muestra un crecimiento gradual de temperaturas desde el centro a la periferia, con: diferencia de los registros medios de 2.7°C a 3.0°C.
- 1.2. diferencia las modas es levemente mayor. Los registros indican entre 0.8°C a 1°C más.
- 1.3. diferencia se incrementa en las máximas, con registros de hasta 6°C de variación entre centro y periferia.

La mayor temperatura en periferia que el centro en el verano corresponde a la denominación de "isla de frío". Este fenómeno de refrescamiento central es más evidente en verano. "Las temperaturas medias de las máximas son (...) más elevadas en las estaciones periféricas y con menor edificabilidad, expuestas a un mayor y más rápido caldeoamiento del suelo y del aire, calor que pierde también con mayor rapidez durante la noche (...) puede afirmarse que las áreas densamente urbanizadas, al menos en este ámbito mediterráneo, ofrecen temperaturas diurnas más bajas y mínimas más elevadas que su entorno menos construido o no urbanizado". (Pérez González M^a E., 2003)

2. Dentro de la tendencia global se puede ver una modificación de la pendiente de crecimiento de temperaturas con dos escalones más evidentes.
 - 2.1. El primero y más importante se produce entre la zona I a II, es decir en el paso de la zona central de muy alta densidad edilicia a la siguiente notablemente más baja. La lectura de "rugosidad espacial" es la variable y causa principal.
 - 2.2. Este primer escalón es del orden de 1°C a 2°C. La lectura topológica, indica una clara heterogeneidad espacial en zona I, en donde conviven edificios de altura (30m promedio) con viviendas de menor porte (5m promedio) con los consiguientes sombreados. Todas las construcciones, las altas y bajas, se extienden con una ocupación plena de suelo, con mínima aparición de suelo permeable ni vegetación. En las zonas siguiente (zona II), disminuye el nivel de impermeabilización de suelo, aumenta levemente la vegetación y fundamentalmente el perfil de construcción tiene menos contraste.
 - 2.3. El segundo salto es de menor cuantía: entre 0.5 a 1 °C, se percibe entre la trama urbana consolidada y homogénea (zona II y III) y los barrios de menor densidad (Zona IV y V) donde la presencia de suelo construido y no construido (impermeable-permeable) se combinan en porcentajes equivalentes y la altura de edificación es prácticamente constante. Aumenta el nivel de vegetación en la ocupación de suelo, tanto por vegetación en las calles, denominada "vegetación en línea" como dentro del manzanero por patios internos mucho más permeables.

3. El análisis de amplitud térmica entre máximas-mínimas indica una mayor dispersión en las zonas extremas (centro y periferia) y menor en las zonas urbanas intermedias.
 - 3.1. En la mayor amplitud intercuartil en las zonas extremas (centro y periferia) concurren dos fenómenos diferentes. Mientras en el centro (zona I) es respuesta a la heterogeneidad volumétrica edilicia y sombras consecuentes, que denominamos "rugosidad espacial"; en la periferia (zona V) se debe a la presencia de vegetación en la ocupación de suelo intercalada con la edificación. En ambos casos la diferencia tiene como fundamento el comportamiento superficial diferenciado por heterogeneidad. La textura urbana, homogeneidad/ heterogeneidad, es responsable de la variabilidad, pero no necesariamente la respuesta se deba al mismo fenómeno.
4. La lectura de registros extremos, máximas y mínimas, es siempre de interpretación más compleja por su condición de análisis de límite.
 - 4.1. El pico de máxima se registra siempre en zona V, periferia, y se puede adjudicar a la aparición de suelo desnudo seco. El suelo sin vegetación rápidamente incrementa la temperatura de superficie, dependiendo la inercia del tenor de humedad superficial.
 - 4.2. Los picos de mínima se registran siempre en zona I, centro. Se puede asociar a zonas con baja irradiación solar, tales como las áreas sombreadas.
5. El análisis por zonas de los histogramas indica:
 - 5.1. en todos los casos analizados la distribución de temperaturas es concentrada, con una variabilidad de registros muy estrecha de 4°C a 6°C.
 - 5.2. un corrimiento sucesivo de los picos siempre en incremento; con 3°C a 4°C de diferencia en los picos de máxima desde el centro a la periferia.
 - 5.3. la forma de distribución es levemente distinta entre centro y periferia. Se distingue una campana de Gauss más achatada en la zona centro, lo que estaría indicando una distribución de frecuencia más pareja de temperaturas que en las otras zonas.

RESULTADOS: invierno.

20070808					
Temp[°C]	ZONA I	ZONA II	ZONA III	ZONA IV	ZONA V
y mayor...	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	8
15	0	0	0	0	40
14	0	0	5	0	82
13	0	3	5	0	287
12	0	49	12	41	438
11	13	59	120	352	434
10	22	169	319	655	270
9	65	275	320	313	13
8	243	573	636	160	10
7	538	334	165	39	13
6	444	95	16	23	5
5	114	27	2	5	0
4	129	16	0	12	0
3	32	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0

20080829					
Temp[°C]	ZONA I	ZONA II	ZONA III	ZONA IV	ZONA V
y mayor...	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	18
29	0	0	4	0	83
28	0	0	9	4	327
27	2	27	48	198	415
26	1	94	139	410	421
25	16	303	396	692	311
24	142	720	738	238	15
23	603	308	263	37	9
22	470	106	3	11	1
21	242	36	0	4	0
20	107	6	0	6	0
19	17	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0

Figura.4: Tabla de frecuencias del registro de temperaturas de los días 20070808 y 20080829.

Se eligieron 2 archivos del periodo frío, con diferencias de registros, uno correspondiente a un día muy frío de invierno y otro con temperaturas mucho menos rigurosas. En ambos casos se puede ver el mismo efecto de "isla de frío" en el área central, con incremento de temperaturas a medida que nos alejamos hacia los barrios.

La descripción analítica de los registros de temperaturas por zonas indica:

1. La tendencia global tiene un incremento gradual de temperaturas del centro a la periferia, entre archivos:
 - 1.1. con una diferencia de los valores medios de 5°C y 4.4°C entre centro y periferia.
 - 1.2. la diferencia entre los valores máximos son de 4.4°C y 3.1°C, lo que indica una diferencia muy leve con las medias pero igual tendencia.
 - 1.3. la diferencia en las mínimas para ambos archivos tiene el mismo comportamiento, lo que indica para todos los registros un incremento de temperaturas hacia la periferia del mismo orden.

El comportamiento global muestra que los registros de invierno presentan un área central más fría y el argumento de la rugosidad espacial, con sombras más extensas que en verano por la menor altitud solar durante el recorrido para las fechas de análisis es coincidente con lo apuntado en el caso de verano.

2. Dentro de la tendencia global se puede ver que el incremento de temperaturas de centro a periferia presenta nuevamente dos escalones de forma distinta uno del otro:
 - 2.1. El primero, entre la zona I a II, en el paso de zona central de muy alta densidad edilicia a la siguiente, donde la lectura de rugosidad espacial es la variable nuevamente que habilitaría este comportamiento. Este primer escalón es del orden de 1,5°C.
 - 2.2. El segundo salto es más gradual y se puede ver un incremento con pendiente de registros crecientes de zona III a IV y luego a V. la diferencia acumulada es de 2 a 3°C. El incremento de de suelo permeable de III a IV puede ser el responsable de este comportamiento mientras que el efecto vegetación en invierno por el uso proporcionalmente alto de especies de follaje caduco no tiene la misma influencia que en verano.
3. El análisis de la amplitud máxima-mínimas indica una dispersión prácticamente constante en todas las zonas.
4. Los histogramas muestran:
 - 4.1. en todos los casos analizados una distribución de temperaturas por zonas prácticamente homogénea. El 90% de los registros se ubican en 4°C de diferencia máxima.
 - 4.2. el incremento de temperaturas desde centro hacia la periferia con una forma de distribución de la campana de Gauss levemente más ancha en zona centro y zona periferia.

RESULTADOS: Aplicación de índices temáticos.

Los índices temáticos normalizados permiten interpretar las imágenes de acuerdo a la respuesta espectral de superficies diferenciando suelo construido de vegetación o agua con un buen nivel de ajuste y permiten comprender más claramente el espacio de suelo analizando.

Se muestran una salida gráfica de temperaturas e índices elaborados para un día cálido de verano 20-01-2010, correspondiente a las zonas extremas: centro y periferia.

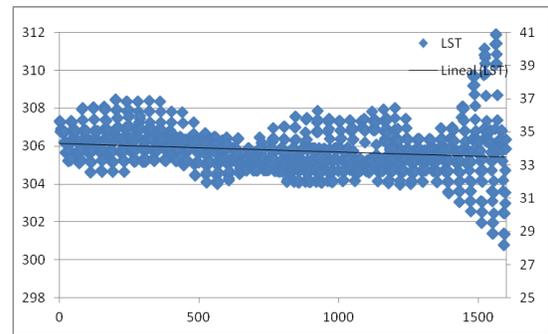
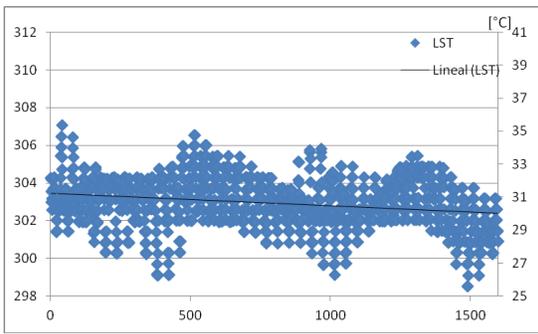


Figura 5: Temperaturas de superficie por zonas según 1600 pixeles en centro y periferia [$^{\circ}K$ (ordenada izquierda) y $^{\circ}C$ (derecha)].

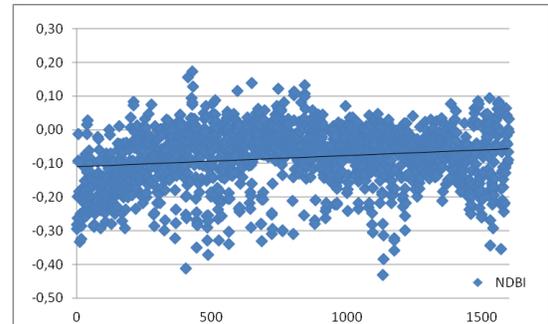
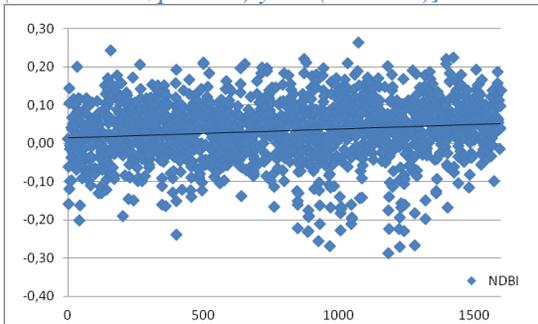


Figura 6: Índice de construcción, NDBI, centro y periferia.

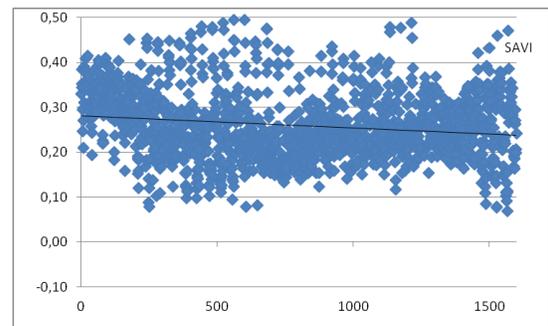
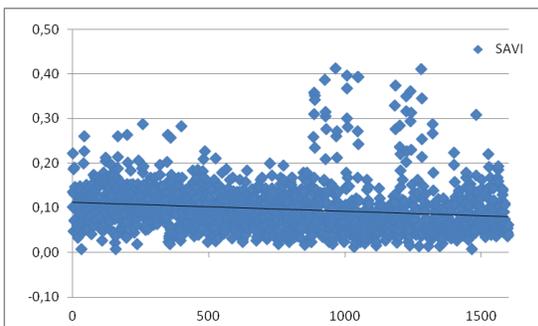


Figura 7: Índice de vegetación SAVI, centro y periferia.

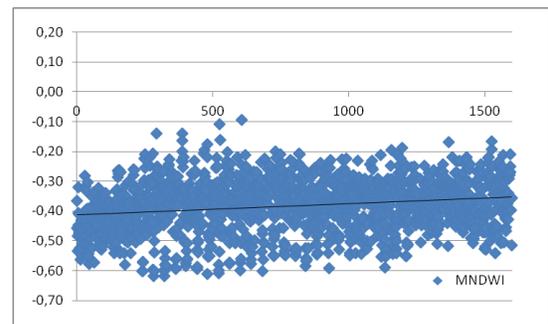
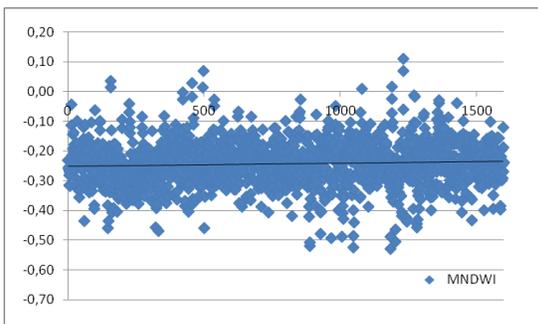


Figura 8: Índice de agua MNDWI, centro y periferia.

En las graficas apareadas para facilitar la comparación se puede ver:

- en figura 5, el incremento de temperaturas superficiales con medias de $30^{\circ}C$ en centro y $34^{\circ}C$ en periferia y la poca dispersión de los valores en ambas zonas.

- *en figura 6*, el índice de construcción indica mayor densidad en centro, con diferencias del orden de 0.15 en ocupación de suelo.
- *en figura 7*, el índice de vegetación, que claramente muestra la presencia verde en superficie en periferia y tiende a 0 en centro.

PRINCIPALES CONCLUSIONES PRELIMINARES.

Como ya se apuntó, Rosario puede caracterizarse como una "isla de frío urbana", con diferencias entre centro y barrios de 3° a 4°C en verano y 4° a 5°C en invierno en las horas de medio día con configuración de cielo soleado.



Figura 9: Imagen satelital de la zona de estudio: Rosario en la banda térmica.

Según una primera apreciación las causales de estos registros diferenciados se pueden orientar al efecto de la radiación solar sobre superficie y los albedos resultantes.

Mientras que la variable denominada "rugosidad urbana" es la responsable por sombreado de reducir el impacto de la irradiación solar en superficie del área central debido a la presencia de edificios en propiedad horizontal de altura media 30m o más sin un completamiento total del manzanero con construcciones vecinas de 3 a 6m y calles a nivel 0 componiendo un impermeabilizado construido total del terreno.

Las generaciones internas que en la bibliografía aparecen como un causal de aumento de temperaturas en aéreas urbanas por pérdidas de la energía auxiliar que se introduce para el funcionamiento no aparecen como un valor visible.

En los archivos analizados que comparan zona I, de máxima densidad edilicia, con V las diferencias de registros se hace más visible en verano que en invierno; lo que vuelve a inducir a considerar el efecto de la radiación solar por encima de las generaciones internas.

Por su parte, las zonas II, III y IV, intermedias entre centro y periferia presentan una disposición de ocupación del suelo más pareja en altura y el efecto radiante solar se produce de manera más homogénea sobre superficie y las temperaturas se muestran con el mismo comportamiento. Finalmente la periferia, zona V, donde se registran los valores de temperaturas globales levemente más altos tiene una composición topológica que a diferencia de las previas incorpora en la ocupación del suelo áreas permeables en la trama consolidada y vegetación en proporción mayor que en el resto del entramado urbano.

En el análisis de periferia propio de la situación de barrios urbanos con mayor presencia de verde, si bien esta comprobado que la vegetación representa un remedo a las altas temperaturas, el suelo desnudo suele introducir mayores temperaturas dentro del rango horario analizado. Los registros comparados de invierno y verano en periferia muestran un mayor calentamiento invernal que puede adjudicarse a la pérdida de masa arbórea propio de las especies de hojas caducas.

PROYECCIONES DEL ESTUDIO.

El trabajo abre una serie de líneas que se están analizando. Por un lado se están evaluando metodologías para cuantificar rugosidad o heterogeneidad espacial y por otra para determinar vegetación.

Si las condiciones de sombreado resultan determinantes como se estima en el menor calentamiento diurno del área central, podría extenderse este comportamiento a las condiciones nocturnas de refrescamiento, ya que el sombreado diurno por obstrucciones es simétrico en su efecto por ocultamiento del cielo visible que permite el intercambio radiante nocturno.

Por otro lado, se está evaluando mediante transectas urbanas definidas sobre las distintas imágenes la influencia térmica de las masas de agua ribereñas en el interno de la trama urbana.

BIBLIOGRAFÍA:

Escolano, S. (2011). *Sobre la medición de la forma del espacio urbano: Aplicación a Santiago de Chile y a Zaragoza*. Madrid, España.: Ministerio de Asuntos Exteriores y de Cooperación.

Huete, A. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment* N°25. , 295-309.

Oke, T. (1978). *Boundary Layer Climates*. London.: Methuen.

Pérez González M^a E., G. R. (2003). Análisis del clima urbano a partir de imágenes de satélite en el centro peninsular español. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense* N° 23 , 187-206.

Ray, T. W. (1994). A FAQ on Vegetation in Remote Sensing.

Sangines Coral, D. (2013). *Metodología de evaluación de la isla de calor urbana y su utilización para identificar problemáticas energéticas y de planificación urbana*. Zaragoza, España.: Universidad de Zaragoza.

Wu, H. J. (2005). Dynamics of urban expansion in Xi'an City using Landsat TM/ETM data. . *Acta Geographica Sinica* N° 60 , 143-150.

Xu, H. (2007). Extracción de Urban Built-up Land feature from Landsat Imagery Using a Thematic oriented index Combination Technique. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. Vol.73, N° 12. , 1381-1391.

Zha, Y. G. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing* N° 24. , 583-594.