



Artículo Original

Evolución de islas de calor en la ciudad de Pilar, República del Paraguay, utilizando Sensores Remotos

[Evolution of heat islands in the city of Pilar, Republic of Paraguay, using Remote Sensors]

Víctor M. Portillo S.(1) Miguel A. Delpino A.(2) Carlos R. Mora S.(3)

(1) Docente de la cátedra Tecnologías Ambientales, del Tercer Curso de la Carrera Ingeniería Ambiental, Instituto de Ciencias Ambientales, FCA-UNP, email: vportillososa@gmail.com

(2) Docente de la cátedra Ordenamiento Territorial y Cartografía, Carrera Ingeniería Ambiental, Instituto de Ciencias Ambientales, FCA-UNP, email: mdelpino167@gmail.com

(3) Docente Investigador, Facultad de Ciencias, Tecnologías y Artes, FCA-UNP, email: morastanley@yahoo.com

Título abreviado: Evolución de islas de calor...

Resumen

La ciudad de Pilar cuenta con dos estaciones meteorológicas, que resultan insuficientes para obtener temperaturas de la superficie en forma distribuida e imposibilita la identificación de las Islas de Calor. Mediante la aplicación del uso de imágenes del satélite LANDSAT 7 ETM+, se puede abordar dichas interrogantes. Todas las imágenes satelitales utilizadas en el presente trabajo han sido tomadas en el mismo horario, las mismas han sido correlacionadas con los registros de temperatura de las estaciones meteorológicas de la ciudad, para las fechas de correspondencia de los datos de sensoramiento remoto. Se ha podido identificar islas de calor en la ciudad, su evolución temporal, así como las posibles razones para dicho comportamiento.

Palabras claves: Islas de calor, Landsat 7 ETM+, Pilar.



Abstract

The city of Pilar has two meteorological stations, which is insufficient to obtain surface temperatures in a distributed manner and makes it impossible to identify the Islands of Heat. By applying the use of LANDSAT 7 ETM + satellite images, the questions can be addressed. The satellite scenes used correspond to the same time of taking the images, which have been correlated with the records of the temperature of the meteorological stations of the city, for the dates of correspondence of the remote sensor data. It is a temporary behavior.

Keywords: island of heat, Landsat 7 ETM+, Pilar.

Introducción

La ciudad de Pilar, en la última década ha evidenciado un aumento poblacional que a la fecha se estima en más de 32000 habitantes (DGEEC, 2012), que se ha traducido en un mayor grado de demanda de nuevos espacios de urbanización, y por lo tanto de presión antrópica sobre las áreas naturales que rodean al núcleo poblacional, que en décadas pasadas se ha mantenido en un área históricamente de asentamiento con reducida expansión territorial (Delpino Aguayo, González Bordón & Portillo Sosa, 2002).

A priori, los cambios en el uso del suelo, se traducirán en afectaciones en la escorrentía, la absorción del agua y el clima en el área de los nuevos asentamientos, con probabilidad de que dichos efectos se acentúen en el núcleo urbano histórico, como consecuencia de las mayores actividades, la adopción de nuevas tecnologías y materiales en la construcción, el mayor índice de

cobertura de las vías de tránsito, la mayor concentración de construcciones; todo lo cual, se esperaría causen efectos en la calidad de vida de sus habitantes (Galindo 2009; Sobero Forsberg & Obregón Párraga, 2016; EPA, 2018).

Se entiende por isla de calor urbana a un fenómeno de origen térmico que se produce en áreas urbanas y que consiste en la existencia de una temperatura diferente, que tiende a ser más elevada; esta temperatura diferenciada se evidencia especialmente en horarios nocturnos y en los centros de las ciudades o en las zonas de mayor concentración edilicia (Domínguez, 2002).

La diferenciación térmica, puede ser debido a diversos factores, pudiendo citarse los materiales utilizados en las construcciones, la cobertura de la calle, los sistemas de climatización, los medios de transportes, sistemas de iluminación, las actividades industriales.



Para la determinación de las islas de calor urbana, se realizó un trabajo de correlación entre los registros diarios de la estación meteorológica de la ciudad de Pilar, con la fecha de adquisición de las escenas satelitales, de manera a que ambas fechas coincidieran, en la multitemporalidad de análisis.

Se realizó así mismo, una clasificación del uso y la cobertura del suelo, a través de una clasificación no supervisada de las imágenes del sensor ETM+ del satélite Landsat. Esta tarea es a fin de determinar el porcentaje de superficie cubierta por las diversas coberturas (vegetación, capa asfáltica, construcciones), de manera a que, posteriormente se realice la relación entre dichas coberturas y la presencia y evolución de las islas de calor; utilizando el software QGIS.

El sensor ETM+ del LandSat 7, posee una banda espectral en el infrarrojo térmico (10,40 μ m-12,50 μ m), correspondiente a la banda 6, con una resolución espacial de 60m, con resolución radiométrica de 8 bits, y la resolución temporal de 16 días.

El uso de los sensores remotos en la determinación de la temperatura constituye una alternativa viable en los casos en que se deba cubrir extensas áreas geográficas a un costo relativamente bajo; permitiendo realizar estudios climáticos,

hidrológicos, ecológicos, agrícolas y biogeoquímicos.

Al utilizar la técnica del sensoramiento remoto, se determinan “islas de calor urbano superficial” como resultado de la obtención de valores, que representan las temperaturas superficiales de los materiales emisores, y no de las temperaturas del aire (isla de calor urbana atmosférica), razón por la cual, la variabilidad de tipos de coberturas existentes en el ámbito urbano, se traduce en un amplio rango de valores de temperatura.

Material y Método

Las escenas adquiridas, se procesaron siguiendo la siguiente metodología:

1. Revisión bibliográfica
2. Selección del área de estudios
3. Obtención de las escenas del satélite LandSat 7 ETM+ y las meta datas, del repositorio <http://earthexplorer.usgs.gov>
4. Uso del software QGIS, en el procesamiento de las imágenes (reproyecciones, correcciones)
5. Calculo de radianza, a partir de la imagen satelital obtenida de la NASA, convertir valores de pixeles a radianza; considerando los valores de la metadata, adjunto a la banda 6, contenida en el fichero MTL, aplicando a través de la calculadora raster, el siguiente algoritmo:

Evolución de islas de calor...

Víctor M. Portillo S., Miguel A. Delpino A., Carlos R. Mora S.



$$R=(\text{Radiance_Mult_Band_6} \quad * \quad \text{BANDA_TERMICA_6}) + \text{Radiance_Add_Band_6}$$

6. Cálculo de la temperatura de brillo, para la banda 6, a partir del cálculo de la radianza, realizado previamente; aplicando el uso de la calculadora raster, utilizando el siguiente algoritmo:

$$T(^{\circ}\text{C})=((K2/\text{Ln}((K1/\text{Radianza Banda 6}) + 1) - 273,15))$$

7. Obtención de los mapas multitemporales de islas de calor y su evolución

8. Análisis y resultados

El inicio del poblamiento del asentamiento de la ciudad de Pilar se remonta al año 1779. El emplazamiento corresponde a una región baja y pantanosa, que sin embargo no dejaba de ser apta para la ganadería. (Citado por Alfredo Viola en “La Villa de Nuestra Señora del Pilar y sus Distritos”, separata de Historia Paraguaya. Anuario de la Academia Paraguaya de la Historia, Vol. XXXI - Asunción, 1993. pp. 91.), a pesar de que la misma se estableció “... sin cumplir con las leyes del libro 4°, título 7 de las municipalidades de las Recopilaciones de las Leyes de los Reinos de las Indias” (Aguirre, 1950).

La localidad se destaca, en la región, como un centro comercial, turístico y asiento de la principal

empresa textil del País. Los pobladores, se dedican además a la pesca extractiva y deportiva, la producción bovina, y en menor medida a la agricultura, en la que se destaca la horticultura.

La ciudad está ubicada en la margen izquierda del río Paraguay, en la desembocadura del arroyo Ñeembucú, dicho arroyo divide a la ciudad en dos sectores, vinculados a través de un puente sobre la misma (Fig. 1).

El clima es templado a cálido, con una media de 22.1 °C, siendo enero el mes más cálido, en tanto que julio el más frío. Las precipitaciones, de acuerdo con la distribución media anual (Fig. 2. y Fig. 3.), corresponde a una media de 1364 mm; siendo agosto el mes más seco, en tanto que abril es el mes más lluvioso (DGEEC, 2008, 2010, 2014).

La velocidad promedio del viento por hora, tiene variaciones estacionales leves en el transcurso del año. Siendo el periodo más ventoso de julio a noviembre, con vientos de velocidad promedio de 13,4 Km/h. Los meses de menor ventosidad corresponden al periodo diciembre a junio. La dirección predominante durante el año es noreste (Weatherspark, 2018).

El área de estudio seleccionado para la realización del presente trabajo corresponde al espacio geográfico definido por el ejido de la ciudad de Pilar, en el XII Departamento de Ñeembucú, en el extremo suroeste de la Región Oriental de la República del Paraguay. Al mencionado espacio, se anexa un área buffer, definidos por las siguientes coordenadas UTM X1= 368590.000, X2= 373939.000, e Y1= 7035783.000, Y2= 7020326.000, FUSO21. Se establece el uso de la Proyección denominada Universal Transversa del Mercator (UTM), y como Datum la representación WGS84 (World Geodesic Systems).

Fig. 1. Localización Geográfica del ejido urbano de la ciudad de Pilar y el área buffer de estudio (Imagen LandSat 7 ETM+, RGB-543- 04/03/2008)



La superficie total abarcada por la zona objeto de análisis es de aproximadamente 145 Km², abarcando la totalidad del ejido urbano de la ciudad de Pilar, y áreas aledañas.

Se ha procedido a la revisión de los registros pluviométricos para la estación meteorológica de la ciudad de Pilar (Lat. -26°52' / Long. -58°19') y de datos obtenidos en la web (TUTTIEMPO, 2018); para posteriormente realizar una búsqueda de imágenes satelitales disponibles acorde con el objetivo propuesto para la investigación.

Los datos meteorológicos (Tabla 1), así como la distribución media normal de las precipitaciones y la temperatura en el año (Fig. 2 y Fig. 3.), resultan relevantes a fin de orientar la búsqueda y selección de las imágenes satelitales al propósito de la investigación.

La precipitación total (en milímetros), coincidentes con las escenas satelitales, para la estación meteorológica de Pilar (Lat. -26°52' / Long. -58°19').



Referencias:

T: temperatura media (°C)

TM: Temperatura máxima (°C)

Tm: Temperatura Mínima (°C)

SLP: Presión atmosférica a nivel del mar (hPa)

H: Humedad relativa media (%)

PP: Precipitación total de lluvia (mm)

VV: Visibilidad media (Km)

V: Velocidad media del viento (Km/h)

VM: Velocidad máxima sostenida del viento
(Km/h)

VG: Velocidad de ráfagas máximas de viento
(Km/h)

RA: Indica si hubo lluvia o llovizna (en la media mensual, total que llovió)

SN: Indica si nevó (en la media mensual, total días que nevó)

TS: Indica si hubo tormenta (en la media mensual, total días con tormenta)

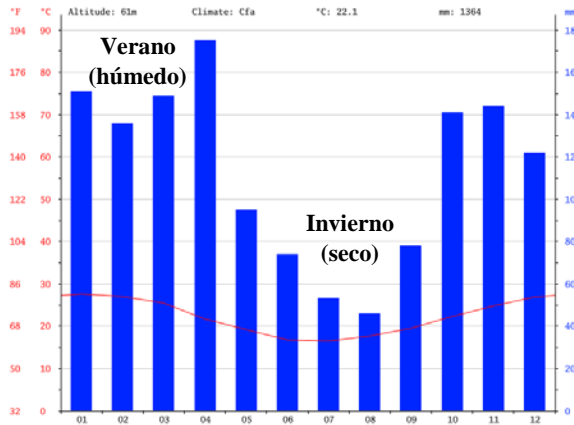
FG: Indica si hubo niebla (en la media mensual, total días con niebla)

Tabla 1. Precipitación registrada para las fechas de las escenas satelitales, para los años 2008, 2010 y 2014, el área de estudios (DGEEC, 2008, 2010, 2014; TUTIEMPO, 2018).

Fecha	T	TM	Tm	SLP	H	PP	VV	V	VM	VG	RA	SN	TS	FG
04/03/2008	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	Sd	sd	sd	sd	sd
\bar{x} mensual	21,3	28,4	15,7	1012,1	66,2	25,0	19,9	5,3	8,5	Sd	1	0	2	0
27/08/2008	28,9	35,0	18,0	1006,1	46,0	0	20,0	12,6	25,9	Sd	sd	sd	sd	sd
\bar{x} mensual	16,9	24,6	11,2	1014,1	66,6	35,0	19,8	9,1	15,5	Sd	1	0	2	0
10/03/2010	29,6	36,2	22,0	1011,5	71,0	0	20,0	4,4	7,6	Sd	sd	sd	sd	sd
\bar{x} mensual	25,7	32,4	21,0	1010,9	73,2	105,0	19,7	5,6	11,1	Sd	1	0	2	1
18/09/2010	14,3	23,6	12,0	1021,3	82,0	0	20,0	7,0	18,3	Sd	sd	sd	sd	sd
\bar{x} mensual	18,4	25,0	14,0	1014,5	79,8	107,8	18,8	9,0	16,9	Sd	5	0	3	1
05/03/2014	25,3	31,0	17,2	1012,2	69,0	0	20,0	6,3	11,1	Sd	sd	sd	sd	sd
\bar{x} mensual	23,4	29,0	18,7	1011,8	72,2	438,9	18,7	9,6	15,8	Sd	8	0	6	1
13/09/2014	22,7	31,0	10,0	1011,9	71,0	0	20,0	5,6	7,6	Sd	sd	sd	sd	sd
\bar{x} mensual	21,1	30,5	20,3	1011,4	73,9	156,3	19,6	14,0	21,2	Sd	6	0	6	0

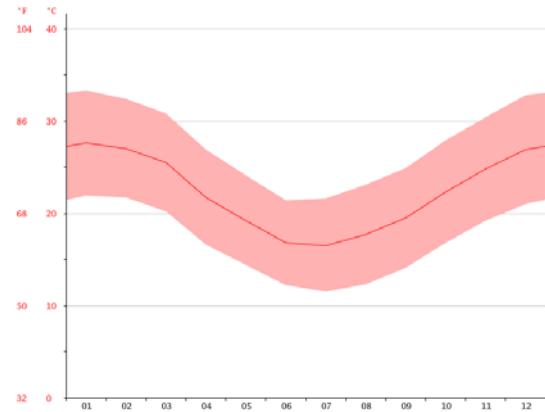


Fig. 2. Distribución normal de la precipitación y la temperatura, en la estación meteorológica de la ciudad de Pilar (CLIMA, 2018).



La disponibilidad de escenas satelitales del LandSat 7 ETM+ (Tabla 2), correspondiente con los datos pluviométricos (temporadas cálidas y húmedas y

Fig. 3. Diagrama de la distribución de la temperatura media, mínima y máxima, en la estación meteorológica de la ciudad de Pilar (CLIMA, 2018).



temporadas secas y frescas) y de temperatura; relacionados con la distribución promedio anual.

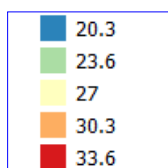
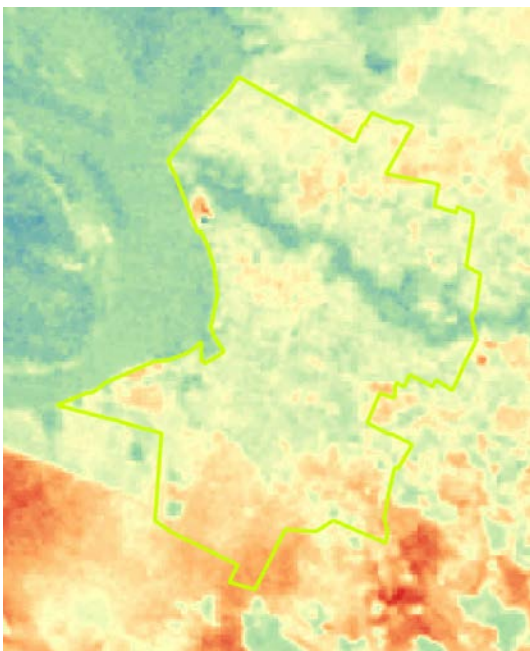
Tabla 2. Escenas del satélite LandSat 7 ETM+, seleccionadas para el estudio.

Escenas satélite LandSat 7 ETM+	Fecha de adquisición	Hora de adquisición SCENE_CENTER_TIME
LEO7_LT1TP_226079_20080304_20161230_01_T1	04/marzo/2008	13:38:59.6907508Z
LEO7_LT1TP_226079_20080827_20161228_01_T1	27/agosto/2008	13:37:53.1643252Z
LEO7_LT1TP_226079_20100310_20161215_01_T1	10/marzo/2010	13:40:55.2849624Z
LEO7_LT1TP_226079_20100918_20161212_01_T1	18/septiembre/2010	13:41:06.3254393Z
LEO7_LT1TP_226079_20140305_20161117_01_T1	05/marzo/2014	13:45:36.2926056Z
LEO7_LT1TP_226079_20140913_20161110_01_T1	13/septiembre/2014	13:46:27.4037021Z

Resultados

Obtenidas las diversas escenas para las diversas temporalidades, se procedió a su procesamiento, siguiendo la metodología propuesta, para la

Fig. 4. Promedio de la temperatura ambiental, para la imagen LandSat 7 ETM+ del 04 de marzo de 2008, con referencia de valores, indicado en colores y guarismos (°C).



obtención de las imágenes con los valores promedio de la temperatura ambiental (Figuras 4 a 9), para las imágenes satelitales previamente tratadas.

Fig. 5. Promedio de la temperatura ambiental, para la imagen LandSat 7 ETM+ del 27 de agosto de 2008, con referencia de valores, indicado en colores y guarismos (°C).

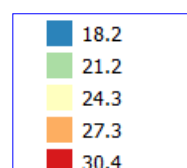
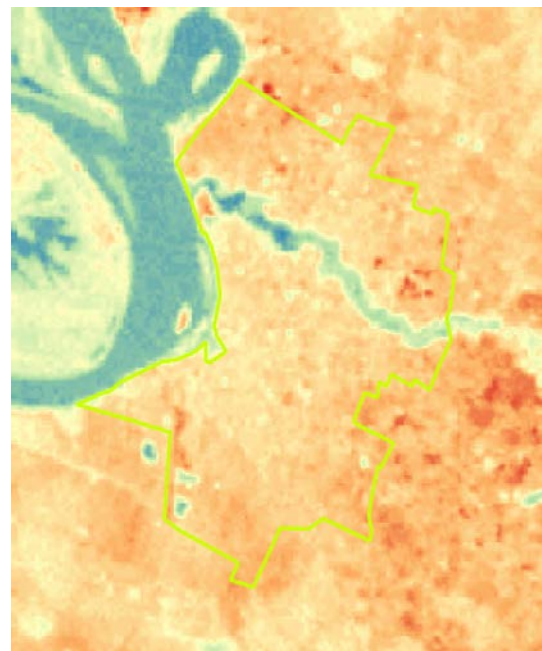


Fig. 6. Promedio de la temperatura ambiental, para la imagen LandSat 7 ETM+ del 10 de marzo de 2010, con referencia de valores, indicado en colores y guarismos (°C).

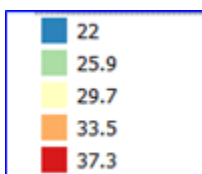


Fig. 7. Promedio de la temperatura ambiental, para la imagen LandSat 7 ETM+ del 18 de septiembre de 2010, con referencia de valores, indicado en colores y guarismos (°C).

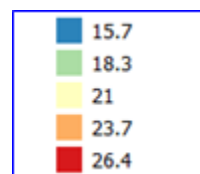
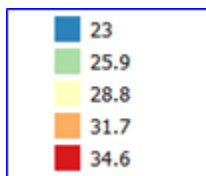
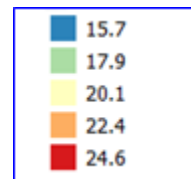
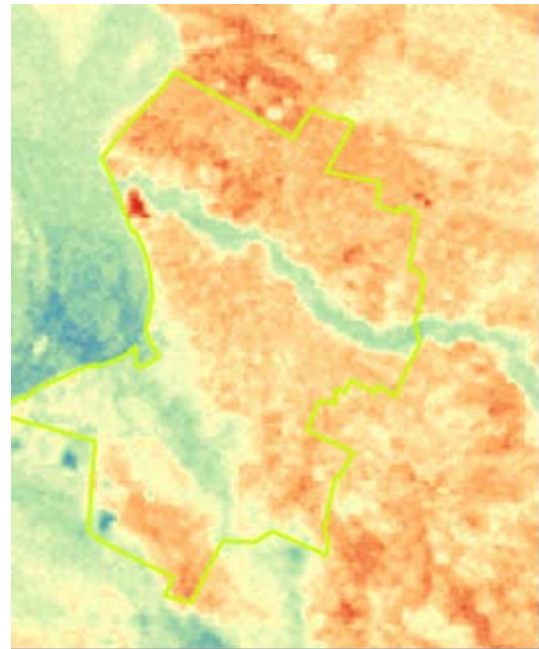


Fig. 8. Promedio de la temperatura ambiental, para la imagen LandSat 7 ETM+ del 05 de marzo de 2014, con referencia de valores, indicado en colores y guarismos (°C).



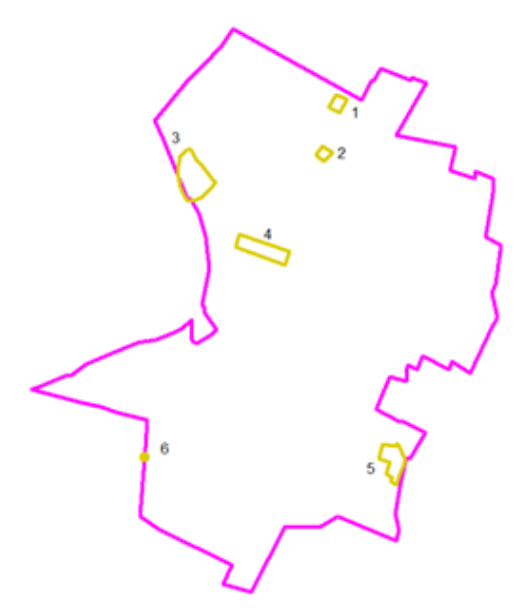
Una vez obtenidos los valores promedio de la temperatura ambiental, se procedió a la identificación de áreas de muestreo, para la zona de

Fig. 9. Promedio de la temperatura ambiental, para la imagen LandSat 7 ETM+ del 13 de septiembre de 2014, con referencia de valores, indicado en colores y guarismos (°C).



estudio, correspondiente a las diversas áreas de interés, de acuerdo con las unidades señaladas en la Fig. 10 y Fig. 11.

Fig. 10. Unidades y puntos de muestreo, para la zona de estudio, identificados por números



Las unidades de muestreo seleccionadas, para el área de estudio, se realizaron teniendo en cuenta la representatividad de dichas unidades para la zona. Para cada uno de los sitios de muestreo, se ha definido un punto central de referencia, para la determinación de las coordenadas de cada una de

Fig. 11. Unidades y puntos de muestreo, sobre imagen satelital LandSat 7 ETM+, para la zona de estudio, identificados por números



ellas, basadas en el sistema de coordenadas del País (Datum: WGS84, Coordenadas: UTM, Fuso 21J). A partir de la identificación de los sitios de muestra, se obtuvieron los valores mínimos y máximos de temperatura promedio ambiental, para cada una de las imágenes procesadas, de acuerdo con los datos resumidos en la Tabla 4.



Tabla 3. Relación de los valores de temperatura promedio ambiental, para las escenas LandSat 7 ETM+, y la estación meteorológica de Pilar (369022/7026025 UTM, Fuso21J), para las diversas temporalidades analizadas.

Temperatura Media				
Fecha	Estación Meteorológica Pilar (temperatura del aire)	Temperatura Media Ambiental Calculada (materiales emisores)	Diferencia en °C	Diferencia %
04/03/2008 (s/d, \bar{x} mensual)	21,3 (\bar{x} mensual)	27,7	6,6	23,1
27/08/2008	28,9	26,0	-2,9	-11,2
10/03/2010	29,6	31,6	2	6,3
18/09/2010	14,3	22,3	8	35,9
05/03/2014	25,3	27,5	2,2	8,0
13/09/2014	22,7	20,8	-1,9	-9,1

Tabla 4. Rango de valores de temperatura promedio ambiental, para las escenas LandSat 7 ETM+, para las diversas temporalidades, correspondiente a los sitios de muestreo.

Orden	Descripción (sitio)	Coordenadas (UTM, Fuso 21J)		Imágenes Satelitales LandSat 7 ETM+					
				Año: 2008		Año: 2010		Año: 2014	
		X	Y	04/Mar.	27/Ago.	27/Mar.	18/Sep.	05/Mar.	13/Sep.
Rango de valores de temperatura promedio ambiental (°C mínimos y °C máximos)									
1	Palacio de Justicia	369644,8	7029532,0	26,4 a 27,9	25,3 a 26,9	28,3 a 30,9	19,1 a 21,9	25,7 a 28,5	21,0 a 22,6
2	Polideportivo Municipal/Club América	371380,6	7030418,6	27,4 a 28,7	25,3 a 26,2	30,3 a 31,9	21,5 a 22,8	27,4 a 29,2	22,3 a 23,0
3	Manufacturas de Pilar S.A.	371212,5	7029798,7	24,0 a 31,2	21,9 a 28,2	26,9 a 33,0	16,6 a 26,2	24,0 a 34,6	20,3 a 24,6
4	Área Comercial, calles Tacuary y Alberzoni, entre Avda. Irala y Palma	370455,0	7028607,4	26,8 a 28,8	24,0 a 26,8	28,7 a 30,1	21,0 a 23,0	27,2 a 30,0	20,8 a 22,4
5	Campus Universitario UNP	372048,0	7025944,0	24,4 a 28,3	22,7 a 27,7	26,8 a 32,2	19,1 a 21,7	24,9 a 27,5	19,8 a 22,1

Evolución de islas de calor...

Víctor M. Portillo S., Miguel A. Delpino A., Carlos R. Mora S.



Discusiones

Se han seleccionado una serie de puntos de muestreos para el presente estudio, en que se identifican diversos tipos de coberturas de la superficie y, por ende, diversos niveles de emisividad de calor, correspondiente a las temporalidades de temporada cálida y húmeda; y al periodo fresco/frío y seco (Fig. 2 y Fig. 3.).

Se destaca que para los sectores 1 y 2, correspondiente a edificaciones con un área de cobertura relativamente importante en la ciudad, cuyo techado corresponde al tipo chapa metálica y de tipo fibrocemento. En las áreas núcleo de dichas coberturas se aprecian los valores más elevados para todas las temporalidades, no obstante, en el sector de dichos complejos, aledaños a la misma, se evidencian valores menores al sector nuclear, pero aún elevados con relación al entorno (Tabla 4).

Con relación al sector 3, la misma corresponde a la Empresa Manufacturas de Pilar S.A., empresa textil de importancia nacional, la misma, debido a la actividad propia, a la presencia activa de hornos tipo caldera y la cobertura del techo de fibrocementos, la misma presenta los más altos valores y los mayores rangos de variabilidad en las diversas temporalidades analizadas (Tabla 4); así mismo se evidencia la diferencia existente con el entorno, cercano a los cursos de agua

(Río Paraguay y Arroyo Ñeembucú), así como la presencia de áreas de cobertura florística de diversos tipos, principalmente de tipo riparia y acuática.

En lo referente al sector 4, área dedicada primordialmente al sector comercial y de servicios en la ciudad, la presencia de altas temperaturas y un amplio rango de variabilidad en dicho sector, se debería al grado de concentración de las construcciones, en un nivel significativamente mayor que el de otros sectores de la ciudad; a más de ellos, el uso de los tipos de materiales para el techado de las construcciones, la predominancia de capa asfáltica en el sector y el grado de uso de equipos de climatizaciones, contribuiría a la diferenciación térmica de éste sector, con relación al entorno inmediato, que presenta niveles térmicos marcadamente menores a la presente.

En cuanto se refiere a sector 5, situado en un área periurbana de la ciudad, el Campus Universitario de la Universidad Nacional de Pilar, predio de poco más de 10 Has, la misma presenta una diferenciación térmica propia en el sector y con respecto al entorno. Internamente, la diferenciación está dada por la presencia de un cuerpo de agua de aproximadamente 1,5 Has con una profusa vegetación acuática, la cual crea un área con una emisión térmica mucho menor al de otros puntos

Evolución de islas de calor...

Víctor M. Portillo S., Miguel A. Delpino A., Carlos R. Mora S.



del predio, siendo ésta última de un valor muy superior al del entorno del mencionado campus.

La mencionada diferenciación térmica, en los puntos que presentan mayor emisividad térmica, se debería a las construcciones, las que en su mayoría cuentan con techados de tipo chapa metálica, la que contribuiría con una alta emisividad.

Los valores registrados, se mantienen constantes tanto para la temporada cálida/húmeda como para la fría/seca.

Conclusiones

La identificación, seguimiento y caracterización de las islas de calor urbana, puede contribuir a realizar propuestas e implementar estrategias que ayuden al logro de una mejor calidad de vida de los habitantes; contribuir con uso eficiente de la energía y por lo tanto a un ahorro económico que ella reporta; con la consecuente reducción en la emisión de los gases de efecto invernadero y de otros gases contaminantes (Streutker, 2003; EPA, 2018).

El sólo hecho de identificar las islas de calor urbano, constituye una variable más a ser tenida en cuenta en el proceso de ordenamiento territorial, y la consideración de estrategias sostenibles que contribuyan a su mitigación o reducción, como ser, la adopción de nuevas tecnologías, el reemplazo de determinados materiales de construcción, la consideración de aumentar áreas verdes en las zonas, entre otras opciones

Agradecimientos

A la Facultad de Ciencias Aplicadas de la Universidad Nacional de Pilar, en la persona del Decano, Lic. Jorge Fornerón por su permanente ayuda y aliento en la realización de los trabajos de Investigación; a la Directora de Investigación y Postgrado, Dra. Nélida Soria Rey al facilitar la publicación de éste trabajo; y al Instituto de Ciencias Ambientales de la FCA-UNP, en la persona de la Directora, la Lic. Lida Ramoa, quien en todo momento ha estado presente en las diversas tareas que hacen al trabajo.



Bibliografía

- Aguirre, Juan Francisco. (1950). Diario, Tomo II, Segunda Parte. Revista de la Biblioteca Nacional, Tomo XIX, Buenos Aires, pp. 558-559.
- Contreras Roqué, Julio Rafael, Andrés Oscar Contreras y Miguel Ángel Delpino Aguayo. (2007). Estudios Bioecológicos sobre los humedales del Ñeembucú: Desarrollo urbano y antropización creciente del medio Natural en el departamento de Ñeembucú al sur del Río Tebicuary, República del Paraguay, Primera Edición, Fundación de Historia Natural Félix de Azara, Buenos Aires, Argentina, pp.1 - 24.
- Contreras, Julio R. (2004). Aportes para una visión histórica y estructural. Capítulo 3, pp.29-40, en Danilo Salas Dueñas, Fátima Méreles Y Alberto Yanosky (Editores): Humedales del Paraguay. Comité Nacional de Humedales del Paraguay, Asunción.
- Delpino Aguayo, Miguel Angel; González Bordón, Narciso Rafael; Portillo Sosa, Víctor Milciades.(2002). Proyecto 12 de octubre: Mapas e Imágenes de la ciudad de Pilar. CD-Rom, Universidad Nacional de Pilar. Pilar, Paraguay.
- Domínguez Bascón, P. (2002) Clima regional y microclimas urbanos en la provincia de Córdoba. Córdoba: Servicios de publicaciones de la Universidad de Córdoba. 110 p.
- Galindo Estrada, Ignacio. (2009). Estrategias de mitigación de islas de calor en México. Coquimatlan, Colima, México.
- Sobero Forsberg, Vanessa Sofía Y Obregón Párraga, Esaúl. (2016). Identificación de islas de calor en la ciudad de Lima Metropolitana, utilizando imágenes del satélite LandSat 5 TM. Anales Científicos, 77(1), 34-44(2016). ISSN 2519-7398. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. DOI: <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v77i1.475>. Accedido 25/03/2018.
- Streutker, David R. (2003). Satellite-measured growth of the urban heat island of Houston, Texas. Remote Sensing of Environment (85): 282–289.
- [CLIMA, 2018] <https://es.climate-data.org/region/1254/>. Accedido 25/03/2018.
- [DGEEC, 2008] Dirección General de Estadísticas Encuestas y Censos. 2008. Anuario Estadístico del Paraguay. Territorio, hidrología y climatología.
- [DGEEC, 2010] Dirección General de Estadísticas Encuestas y Censos. 2010. Anuario Estadístico del Paraguay. Territorio, hidrología y climatología.
- [DGEEC, 2012] <http://www.dgeec.gov.py/>. Accedido 25/03/2018.



- [DGEEC, 2014] Dirección General de Estadísticas Encuestas y Censos. 2014. Anuario Estadístico del Paraguay. Territorio, hidrología y climatología.
- [EPA, 2018] ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Reducing Urban Heat Islands. Compendium of Strategies. [en línea]. Washington: U.S. Environmental Protection Agency, mayo de 2018, <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>. Consultado 25/05/2018.
- [LANDSAT 8, 2016]. Avdan Ugur y Jovanovska, Gordana. 2016. Algorithm for automated mapping of Land Surface Temperature using LandSat 8 Satellite Data (Research Article, en línea). En <https://landsat.usgs.gov/using-usgs-landsat-8-product>, accedido 01/03/2018.
- [TUTTIEMPO, 2018] <https://www.tuttiempo.net/clima/03-2008/ws-862550.html>. Consultado 25/03/2018
- [WEATHERSPARK, 2018] <https://es.weatherspark.com/y/29060/Clima-promedio-en-Pilar-Paraguay-durante-todo-el-a%C3%B1o>. Consultado 25/03/2018.