

# EVALUACIÓN DE PATRONES TÉRMICOS EN EDIFICACIONES DE PLANTA EXTENSA EN LA CIUDAD DE CARACAS, CON RECURSOS GEOTECNOLÓGICOS

Karenia Córdova Sáez

Instituto de Geografía y Desarrollo Regional, Área de Energía y Ambiente. Universidad Central de Venezuela, e-mail: [kareniac@gmail.com](mailto:kareniac@gmail.com)

## RESUMEN

El incremento en la temperatura superficial en las áreas urbanas, sobre todo en los últimos 20 años, ha contribuido con los cambios ambientales y climáticos que se observan en las ciudades. Estos aumentos en la temperatura superficial, alteran las variables climáticas que tienen relación con el confort térmico, modificando en consecuencia el comportamiento térmico de las estructuras construidas y aumentando las demandas sobre los sistemas de climatización. En consecuencia las edificaciones de planta extensa, al poseer una mayor superficie expuesta a la radiación solar incidente, sufren más los rigores del calentamiento superficial y transfieren mayor cantidad de calor a las capas bajas de la atmosfera en contacto con el dosel urbano. Con el uso de sensores remotos, en particular la banda térmica de LANDSAT 7 ETM+, e integrando esta información en un SIG, es posible identificar estructuras de planta extensa en la ciudad y observar las variaciones en la respuesta térmica. Para este estudio se seleccionaron, las zonas industriales remanentes en la ciudad (La Yaguara, Chacao y los Ruices), y se analizaron comparativamente las respuestas térmicas observadas con el sensor. Se espera con esta técnica poder contribuir con el estudio del comportamiento térmico en edificaciones de planta extensa.

**Palabras clave:** Geotecnologías, patrones térmicos, edificaciones de planta extensa.

## INTRODUCCIÓN

En un escenario de cambio climático, donde se asume que las olas de calor y los periodos de sequía podrían aumentar significativamente tanto en frecuencia como en intensidad en el siglo 21 (IPCC, 2007; Arndt, et al. 2010; Meehl y Tebaldi, 2004) el monitoreo de patrones térmicos locales, como la isla urbana de calor-ICU con geotecnologías, será fundamental para apoyar el desarrollo de las estrategias de prevención y mitigación que puedan evitar riesgos ambientales y sanitarios severos. Las islas urbanas de calor o islas térmicas urbanas, se refieren al gradiente térmico observado entre los espacios urbanos densamente ocupados y construidos y la periferia rural o peri-urbana (EPA, 2009). Este patrón o gradiente térmico se asocia a una progresiva pérdida del entorno vegetal natural, intra y peri urbano, substituyéndolo por superficies impermeables, (como el concreto, asfalto, ladrillo y otros materiales de construcción) que alteran el balance hídrico y radiativo superficial, induciendo en consecuencia, un aumento de la temperatura en las áreas urbanas (Chen *et al.*, 2006, EPA, 2009, Córdova, 2011, 2012). En los países del ámbito latinoamericano el uso de sensores remotos con banda térmica, ha resultado una alternativa científica viable para analizar a nivel de superficie, la formación de la isla térmica urbana y estimar la extensión espacial e

intensidad del fenómeno (Voogt and Oke, 2003). En este trabajo se presentan los resultados del análisis en edificaciones de planta extensa localizados en las zonas industriales de la Yaguara, Chacao y los Ruices en la ciudad de Caracas, para observar las variaciones en los patrones térmicos superficiales, durante la época de sequía (Marzo, 2001, 2003, 2010), bajo condiciones climáticas que tienden a intensificar el fenómeno de la isla térmica superficial.

## 1. MATERIALES Y METODOLOGÍA

A los efectos de este trabajo fueron seleccionadas imágenes LANDSAT 7 ETM+, del repositorio global de datos de la USGS. La selección tomo en consideración la calidad de los datos, nubosidad y errores en la imagen. Para el caso de estudio de la ciudad de Caracas, se seleccionaron 3 imágenes de cielos despejados correspondientes de la temporada seca en Marzo del 2001, Marzo del 2003 y Marzo 2010, ello permitió observar las variaciones de la temperatura superficial en los parques industriales con edificaciones de planta extensa en la ciudad. En este trabajo sin embargo, se muestran los resultados del análisis para Marzo del 2010, por la importancia de los eventos climáticos extraordinarios ocurridos en ese periodo. Con la información resultante del procesamiento térmico de las imágenes satelitales, se desarrolló un sistema de información geográfica-SIG con capas de información relativas a límites administrativos, catastro urbano, vialidad, hidrografía, topografía y otras relevantes a los fines de este estudio. Los modelos raster y las capas vectoriales fueron ajustadas geoméricamente con ERDAS 9.1 y ArcGis 9.2 de UTM /WGS84 a Lat/Long WGS84.

Se trabajó con ERDAS 9.1, Arc-Gis 9.2, para restituir las imágenes tanto para espectro visible VIS e infrarrojo cercano-NIR (bandas 1,2,3,4,5 y 7), como para el infrarrojo térmico TIR (bandas 6-1 y 6-2), así como procesar y corregir geoméricamente los *subset* de análisis definidos para cada área. Para el análisis térmico se procedió a la transformación de los DN de los píxeles del subset en formato .img para la banda térmica (banda 6-1 low gain, 6-2 high gain), en radianza o reflectancia utilizando (Ec. 1, LA)

Ec. 1:

$$LA = GAIN \times DN + OFFSET \text{ Ec. (1)}$$

Donde:

(Lλ): Es la radianza espectral de los píxeles de la banda térmica expresados en w/(m<sup>2</sup>· sr· μm), Gain/DN es la variación en la función de conversión radianza/DN según el valor de los píxeles de la imagen.

DN es el valor de un determinado píxel (0-255), y OFFSET es la intercepción de la función de conversión de radianza/DN.

Los valores de ganancia (Gain) y compensación (Offset) pueden ser encontrados en la metadata de la imagen. Los valores de radianza para la banda térmica de Landsat 7 ETM +, fueron transformados a temperatura superficial radiante en °C o temperatura de brillo, usando las constantes de calibración del Landsat-7 Science Data User's Handbook, según la Ec.2 (NASA 2010).

Ec. 2:

$$Ts (\text{Landsat}) = K2 / \ln((K1 / L\lambda) + 1) - 273 \text{ Ec. (2)}$$

Donde:

Ts, es la temperatura efectiva del satélite en K, K1 y K2 son constantes de calibración (Pre-lanzamiento), para Landsat 7 ETM +.

K1 = 666.09 w/(m2.sr.µm) y K2= 1281. 71K.

Para obtener la temperatura de superficie (Ts) a partir de la temperatura de brillo se utilizó el algoritmo de corrección monocanal (Qin et al., 2001, Jiménez-Muñoz and Sobrino, 2003).

Ec. 3:

$$T_{sup} = (a_6 (1-C_6-D_6) + [b_6 (1-C_6-D_6) + C_6 + D_6] T_s - D_6 T_a)/C_6. (3)$$

Donde

Tsup es la temperatura de superficie (K),

Ts es la temperatura de brillo (K) de la banda 6 del satélite LANDSAT 7 ETM +Ta es la temperatura efectiva media atmosférica (K), a6 y b6 son constantes para temperatura de superficie entre 273.5 K y 343.5 K. (a6 = -67.355351 y b6 = 0.458606).

Adicionalmente, la integración de los modelos raster de temperatura con coberturas vectoriales de (topográficas, de calles, límites administrativos) en un sistema de información geográfica, fue la respuesta para obtener mayor precisión en los análisis a escala urbana (Figura 1).

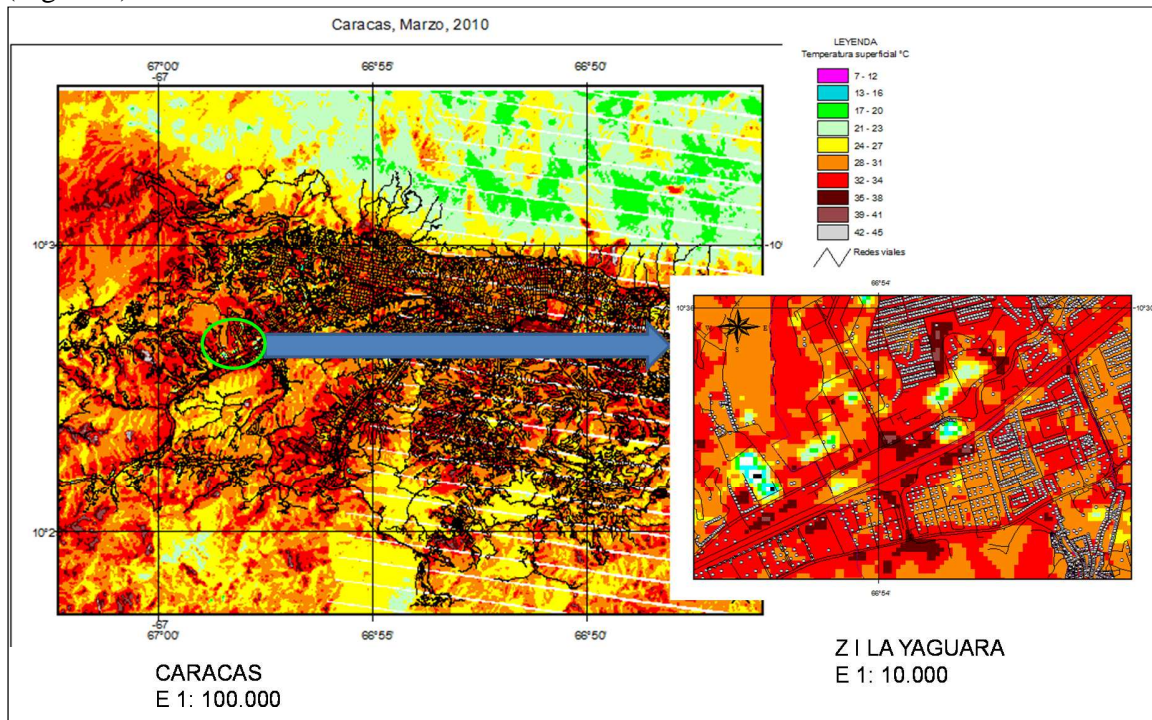


Figura N° 1. Detalle del SIG. Variación histórica de la isla térmica superficial en Caracas, Marzo 2001, Marzo 2003 y Marzo 2010. Fuente: Elaboración propia, Glovis-USGS, colección de imágenes LANDSAT 7 ETM+.

Este proceso facilitó el aprovechamiento de la información geoespacial derivada de las imágenes satelitales, permitiendo el ajuste de la información de una escala meso (E. 1:100.000) a una escala de trabajo urbana más local (E.1:25.000-10.000), que pudiera ser de utilidad a los planificadores urbanos y a la gestión ambiental de la ciudad. Gracias a los atributos que describen las coberturas vectoriales de calles, es posible la localización de direcciones y sectores urbanos, permitiendo asociar las respuestas térmicas obtenidas, con estructuras y elementos del espacio urbano. Se consideraron edificaciones de planta extensa en este caso de estudio, los centros comerciales, los galpones industriales o con fines comerciales, como almacenadoras, así como los hiper y supermercados.

## 2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el análisis muestran un incremento sostenido en las temperaturas superficiales urbanas en la serie de imágenes estudiada, correspondiente a Marzo del 2001, Marzo del 2003 y Marzo de 2010. Entre Marzo del 2003 y Marzo del 2010 se observa un incremento neto en la temperatura superficial en +10 °C, durante el peor episodio de calor analizado en esta serie histórica, como se muestra en la Fig.2.

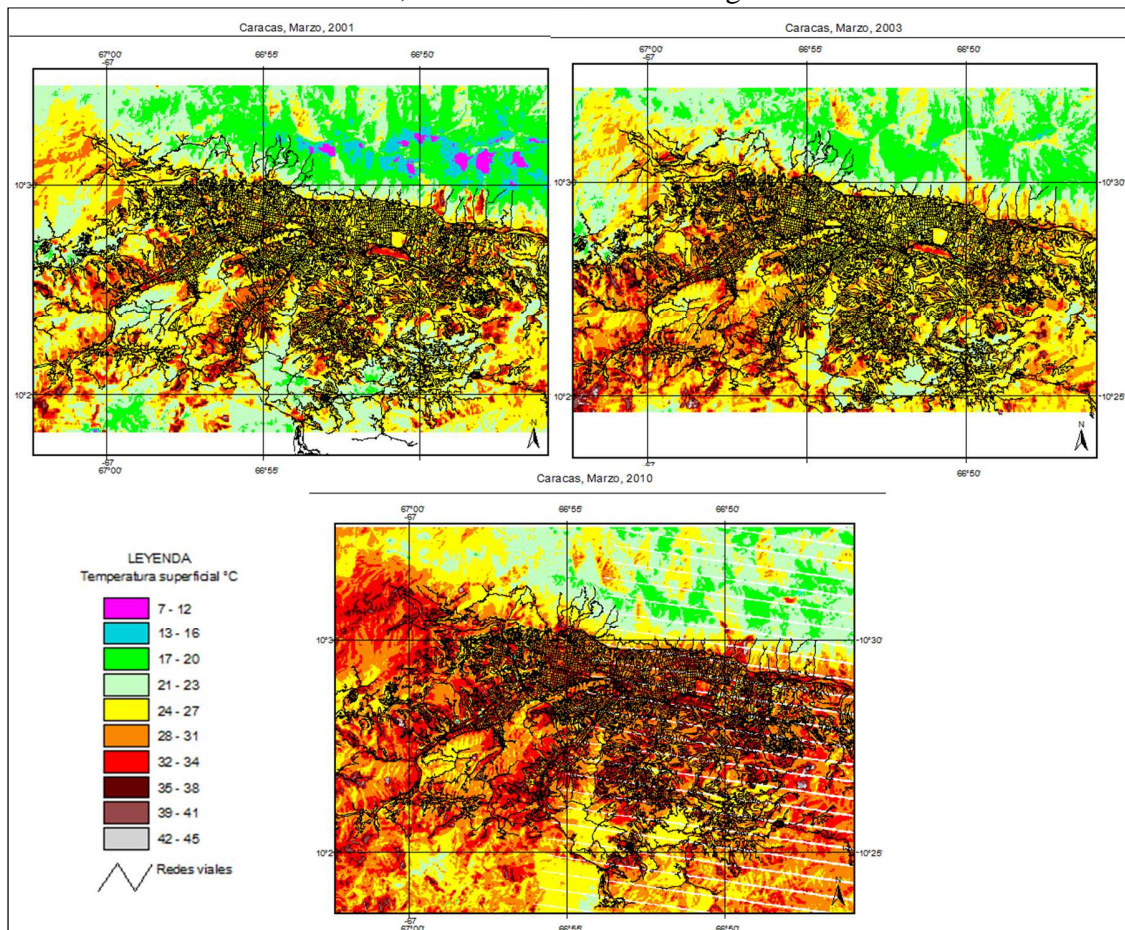


Figura N° 2. Variación histórica de la isla térmica superficial en Caracas, Marzo 2001, Marzo 2003 y Marzo 2010. Fuente: Elaboración propia, Glovis-USGS, colección de imágenes LANDSAT 7 ETM+.

Para observar la respuesta térmica de las estructuras localizadas en los parques industriales de La Yaguara, Chacao y los Ruices-Los Cortijos, se seleccionó la imagen de Marzo del 2010, de esta forma se estaría observando la respuesta térmica de las edificaciones, bajo las condiciones extremas de calor registradas en Marzo del 2010 en la ciudad de Caracas (Córdova, 2012).

Se elaboraron mapas a escala E 1: 10.000 con los patrones térmicos resultantes para analizar la respuesta térmica de las edificaciones de planta extensa en las zonas industriales seleccionadas, y se utilizó la imagen de Google Earth, para analizar comparativamente e identificar las estructuras asociadas a los patrones térmicos superficiales determinados con la banda térmica (6-2) de LANDSAT 7 ETM+, en modo de alta resolución (Fig.3, 4 y 5).

En los sectores industriales de la Yaguara y los Ruices-Los Cortijos se observaron importantes anomalías térmicas negativas (valores considerablemente más bajos que el entorno) asociadas a edificaciones como almacenadoras con cadena de frío, hiper-mercados como MAKRO, y otras instalaciones industriales remodeladas, con estructuras tipo galpón sin separación entre el ambiente interno y el techo, y con ductos expuestos (Fig. 3 y 4).

Los valores térmicos observados hacen presumir una importante pérdida de enfriamiento a través del techo de estas edificaciones, lo cual incidiría sobre el rendimiento térmico y la eficiencia de las unidades de enfriamiento. En el sector de la Zona industrial de Chacao, en cambio con edificaciones de mediano porte y técnicas tradicionales de construcción (cemento-bloque, placa techo), se observaron temperaturas superficiales entre los 32 a 39°C (Fig.5).

El complejo de edificaciones del CCT, presentó también valores de temperatura superficial entre 32 a 39°C. Las zonas con mayor temperatura entre 39 °C o más, se observaron en las carpetas asfálticas y estacionamientos del CCT y la pista de la Carlota (Fig.5).

Es necesario recordar que la hora de toma de la imagen por el satélite es aproximadamente las 10. 15 am, por lo que es de esperar que estas temperaturas aumenten hasta las primeras horas de la tarde. En los geotermómetros de la estación climatológica Ciudad Universitaria, se han reportado máximas en la temperatura superficial del suelo en el mes de Marzo, de hasta 63°C (Córdova, 2012). En todo caso, la imagen térmica obtenida muestra la interacción entre las edificaciones con su entorno, estas son más claramente identificables, cuando ocurren anomalías térmicas que permiten diferenciarlas de la respuesta térmica promedio.

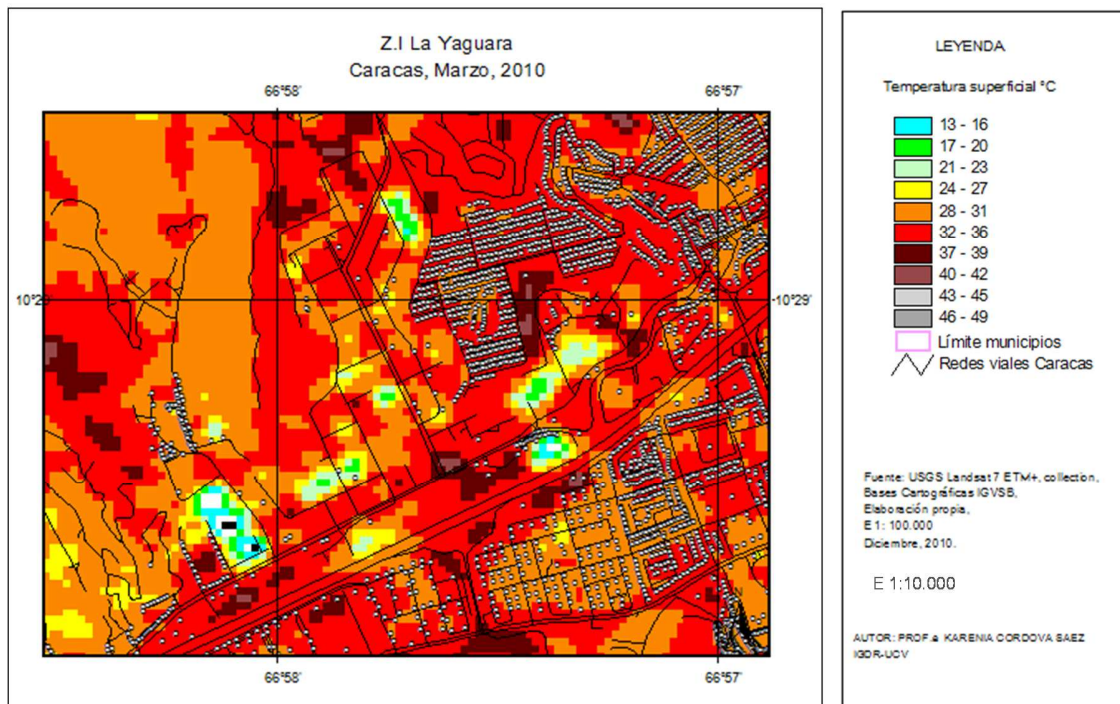


Figura N° 3. Z.I La Yaguara, patrones térmicos superficiales observados en Marzo 2010. Fuente: Elaboración propia, Glovis-USGS, colección de imágenes LANDSAT 7 ETM+.

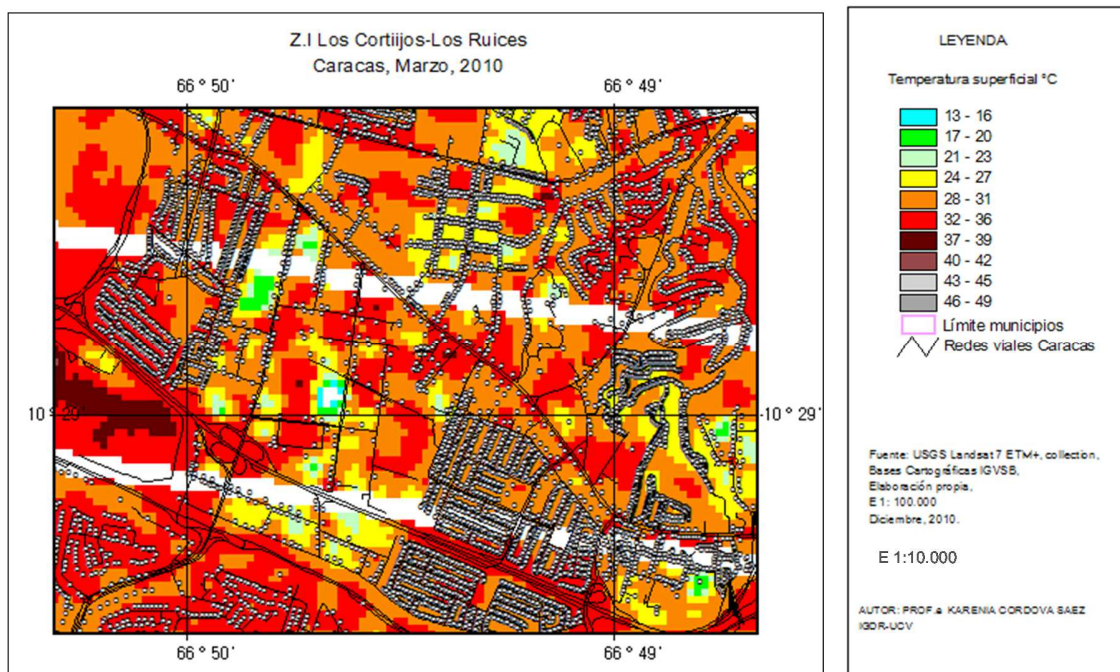


Figura N° 4. Z.I Los Ruices-Los Cortijos, patrones térmicos superficiales observados en Marzo 2010. Fuente: Elaboración propia, Glovis-USGS, colección de imágenes LANDSAT 7 ETM+.

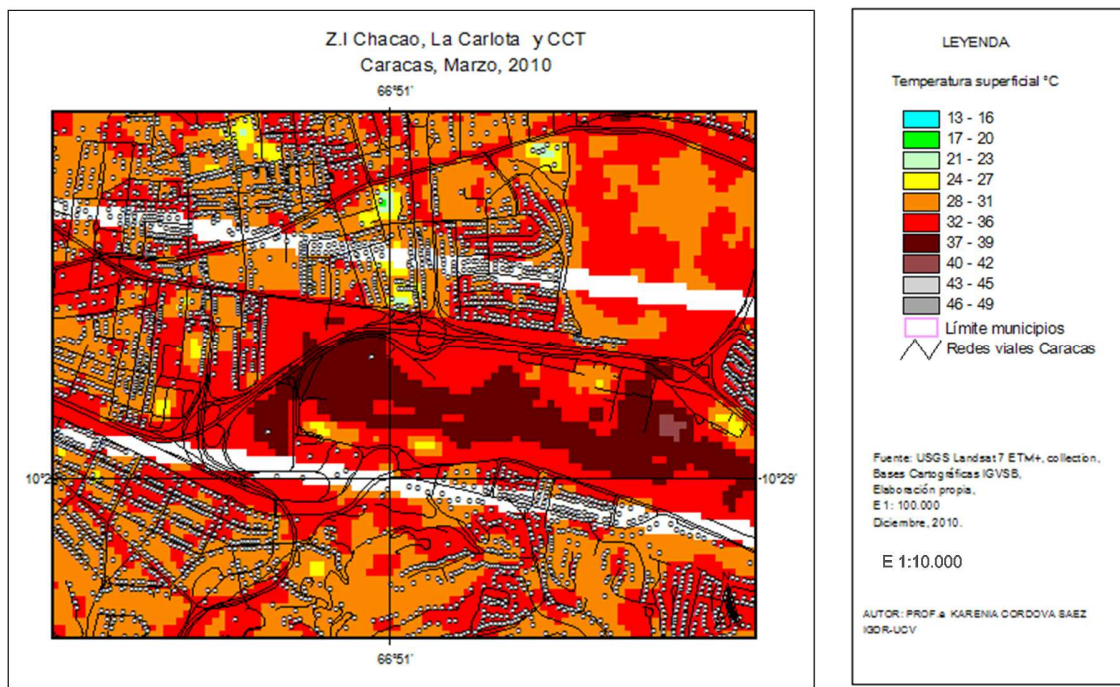


Figura N° 5. Z.I Chacao-Complejo CCCT y la Carlota, patrones térmicos superficiales observados en Marzo 2010. Fuente: Elaboración propia, Glovis-USGS, colección de imágenes LANDSAT 7 ETM+.

## CONCLUSIONES

Debido al uso creciente de estas técnicas constructivas tipo galpón, sin separación entre el ambiente interno y el techo, en hipermercados, instalaciones comerciales e industriales, es recomendable estudiar los problemas relacionados con el aislamiento térmico, los puentes térmicos de la estructura y otras variables relacionadas con el diseño y los materiales, que afectan la eficiencia térmica de estas unidades y de los sistemas de refrigeración o climatización.

Una de las medidas claves de adaptación para enfrentar el cambio climático es aumentar la eficiencia en el uso de la energía. En un mundo más cálido, donde se espera que los eventos extremos de calor se intensifiquen, como el episodio ocurrido en Marzo del 2010 en Caracas, los sistemas de climatización y refrigeración tenderán a consumir más energía para mantener las temperaturas internas, por lo que es importante minimizar las pérdidas de frío, para aumentar la eficiencia de estos sistemas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arndt, D. S., M. O. Baringer, and M. R. Johnson, Eds. (2010): State of the Climate in 2009. Bull. Amer. Meteor. Soc., 91 (7), S1–S224.

Chen, X.L., Zhao, M.Z., Li, P.X., Yin, Z.Y., 2006. Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Remote Sensing of Environment*. 104, 133–146.

Córdova, Karenia (2011) Spatial Geotechnology applied to urban climate studies: Thermal analysis of urban surface and urban land use in the city of Caracas, *Urban Climate News*, ISSUE N° 39 MARCH 2011, pp 15-21, Marzo, 2011 [Online] <http://urban-climate.com/IAUC039.pdf>

Córdova, Karenia (2012) Geotecnología espacial aplicada al estudio del fenómeno de islas térmicas urbanas. Una contribución al estudio de la dinámica socio-ambiental de las islas de calor urbano, en la ciudad de Caracas, Tesis Doctoral, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela, 276 pp.

Chuvieco S, Emilio (2007) Teledetección Ambiental. Editorial Ariel S.A, 3era impresión, Barcelona España, 2007. ISBN 978-84-344-8072-8.

EPA (Environmental Protection Agency) (2009) Urban Heat Island Basics, Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies, Environmental Protection Agency, U.S, [Online] <http://www.epa.gov/hiri/resources/compendium.htm>

IPCC, (Intergovernmental Panel on Climate Change) 2007: Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, 104 pp, 2008, Ginebra, Suiza.

Meehl, Gerald and Tebaldi, Claudia (2004). More Intense, More Frequent, and Longer Lasting Heat Waves in the 21st Century, *Science*. 2004 Aug 13; 305(5686):994-7.

National Aeronautics and Space Administration (NASA) (2010). LANDSAT-7 SCIENCE DATA USER'S HANDBOOK, Chapter 9 - Calibration Parameter File. [Online] [http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/pdfs/Landsat7\\_Handbook.pdf](http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/pdfs/Landsat7_Handbook.pdf)

OMM (Organización Mundial de Meteorología) (2010). Statement on the status of the global climate in 2009. N° 1055, 2010, ISBN 978-92-63-11055-8, World Meteorological Organization, Ginebra, Suiza.

OMM (Organización Mundial de Meteorología) (2011). Statement on the status of the global climate in 2010. N° 1074, 2011, ISBN 978-92-63-11074-9, World Meteorological Organization, Ginebra, Suiza.

Voogt, J.A., Oke. T.R. (2003) Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*. 86, 370-384.