

Geotecnología espacial aplicada al estudio del clima urbano: Análisis térmico superficial en la ciudad de Caracas-Venezuela

*Spatial geotechnology applied to urban climate studies:
Thermal analysis of urban surface in the city of Caracas-Venezuela*

Córdova Karenia¹

Recibido: octubre 2010 / Aceptado: marzo 2011

Resumen

La saturación urbana y la ampliación del espacio construido han determinado cambios ambientales, aumentando la ya precaria condición de los sistemas naturales en estos espacios de alta saturación. En los últimos años, las olas de calor urbano, sequías extremas e incendios forestales se han reportado con frecuencia cada vez mayor, perturbando la dinámica del medio ambiente y la calidad de vida en las ciudades afectadas. Utilizando técnicas de teledetección, es posible analizar la información térmica y ambiental recogida por satélites de observación terrestre para producir mapas de temperatura del suelo urbano, uso del suelo e índice de vegetación, que pueden ayudar a identificar sectores urbanos y periurbanos, susceptibles a un mayor riesgo en caso de ocurrencia de anomalías climáticas. El propósito de este estudio es analizar la variación espacial de estas condiciones socio-ambientales en relación con la temperatura superficial urbana en la ciudad de Caracas.

Palabras clave: Geotecnologías; análisis térmico; condiciones socio-ambientales.

Abstract

The urban saturation and the enlargement of the built space have determined environmental changes, increasing the already precarious condition of the natural systems in these spaces of high saturation. In recent years, urban heat waves, extreme droughts and forest fires have been reported with increasing frequency, disturbing the environmental dynamics and the quality of life in the affected cities. By using remote sensing techniques, it is possible to analyze the thermal and environmental information gathered by earth observation satellites to produce maps of the urban surface temperature, land use and vegetation index, which can help identify areas that are susceptible to greater risk in case of occurrence of these weather anomalies. The purpose of this study is to analyze the spatial variation of these socio-environmental conditions related to the urban surface temperatures for the city of Caracas.

Key words: Geotechnology; thermal analysis; urban environment; Caracas city.

1 Universidad Central de Venezuela, Instituto de Geografía y Desarrollo Regional, Área de Energía y Ambiente, Caracas-Venezuela. Correo electrónico: karenia@gmail.com; karenia.cordova@ucv.ve

1. Introducción

La Organización Meteorológica Mundial (WMO, 2002) informó, a principios del año 2000, que los años 2001, 2002 y 2003 podían catalogarse como tres de los cinco años más cálidos registrados desde el bienio 1997-1998 (WMO, 2004). La temperatura media del planeta (temperatura superficial) registró un aumento de entre 0,6 y 0,7 °C (WMO, 2004). En 2003, las temperaturas superficiales estuvieron 0,83 °C por encima del promedio, ubicándose en tercer lugar para el período de registro (1880-2003), mientras que las temperaturas oceánicas registradas clasificaron como la segunda más cálida con 0,44 °C por encima de la media 1880-2003 [National Climatic Data Center (NCDC); National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 2003]. En el año 2003, durante

un evento 'El Niño' (ENOS) positivo, sequías y olas de calor golpearon la India y Europa central, generando emergencias sanitarias y problemas ambientales. Condiciones críticas, debido a la sequía y el calor, también fueron descritas durante un niño positivo para muchas regiones de América Central y del Sur, y el área del Caribe (Aguilar *et al.*, 2005).

La ciudad de Caracas, capital de la República Bolivariana de Venezuela, se encuentra localizada al norte de América del Sur (10° 20' y 10° 35' latitud Norte, y 66° 45' y 67° 0' longitud Oeste), próxima del mar Caribe, en un estrecho valle de unos 36 km de longitud, con una compleja topografía (Figura 1). En la actualidad cuenta con una población cercana a los 4 millones de habitantes, con una alta densidad de construcción y de población y, en consecuencia, con una alta presión sobre los recursos hídricos y del suelo. La

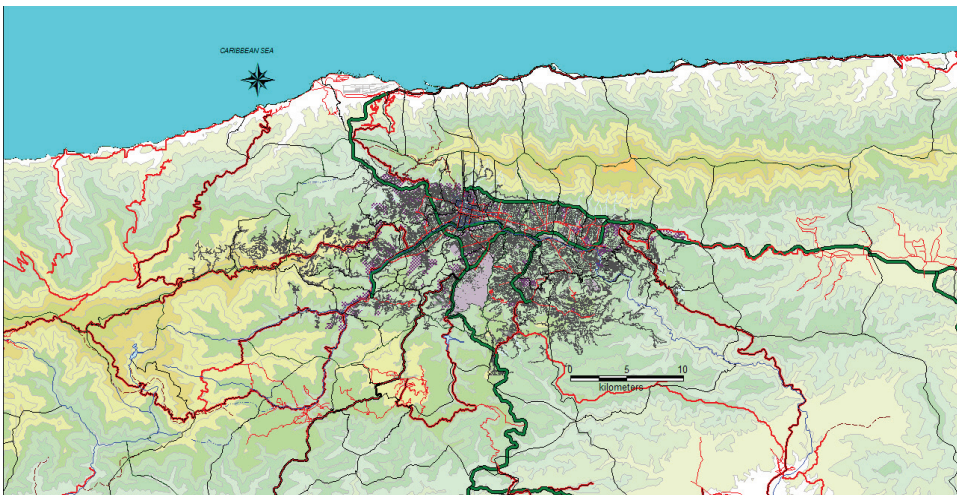


Figura 1. Localización de la ciudad de Caracas. Fuente: Elaboración propia. Bases de datos cartográficas del Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (IGVSB).

mayoría de la población de bajos ingresos (1,2 millones de habitantes aproximadamente) vive en el suroeste y oeste de la ciudad. El índice de desarrollo humano (IDH) por municipios, un indicador socio-económico que refleja la calidad de vida, muestra claras diferencias entre los sectores del este y sureste [municipios: Baruta (0,842); Chacao: (0,860) y El Hatillo: 0,839] y el sector oeste y suroeste de la ciudad, correspondiente al municipio Libertador, donde se aloja el 67% de la población, con un valor de IDH de 0,793. Estos últimos son los sectores con los problemas socio-ambientales más complejos (Colmenares, 2008).

En los últimos años, los lineamientos de políticas y planificación urbana en Venezuela han estado orientados hacia estrategias para proveer soluciones urgentes al problema de la pobreza, la escasez de agua y la salud, pero sin considerar prioritarios los aspectos relacionados con el ambiente urbano y el cambio climático. Recientemente se observa un renovado interés por estos temas, especialmente debido a que durante marzo del 2003, la ciudad sufrió una intensa sequía, altas temperaturas e incendios forestales durante el pico de la estación seca, cuando la temperatura global promedio registró una anomalía positiva de 0,59 °C más en el hemisferio norte, según la Organización Mundial de Meteorología (OMM), en presencia de una fase positiva del fenómeno del Niño (ENOS) en el pacífico ecuatorial (WMO, 2004).

En algunas áreas de la ciudad de Caracas, especialmente en los sectores de bajos ingresos, tales situaciones se han

transformado en serios problemas ambientales y de riesgo para la salud, debido a la mayor ocurrencia de incendios forestales en las áreas periurbanas de estos sectores. Las densas nubes de humo generadas por los incendios forestales causan irritaciones en las mucosas de nariz, ojos y bronquios, provocando reacciones alérgicas y afecciones respiratorias (OMS, 1999). A esto se le agrega que la tala y la quema de vegetación natural en estas áreas, propicia el desplazamiento, desde su hábitat natural hacia las zonas periurbanas y urbanas, de vectores transmisores de enfermedades (Mal de chagas) como el chipo (Noya *et al.*, 2009).

Por lo señalado es que se considera de interés analizar la variación espacial de estas condiciones socio-ambientales relacionadas con las temperaturas superficiales y el fenómeno de isla térmica urbana. Para ello se utilizó técnicas de teledetección remota y registros climáticos, con el fin de determinar posibles relaciones entre el cambio global y la variabilidad climática, con las condiciones climáticas y ambientales en las áreas urbanas. La ciudad de Caracas se presenta como caso de estudio. Este trabajo se propone además, mejorar la información disponible para los planificadores urbanos y los ejecutores políticos en estos temas.

Las variables analizadas con técnicas de teledetección remota fueron: temperatura superficial urbana, uso del suelo e índice de vegetación para el período 2001-2010. Se utilizaron imágenes del período seco y lluvioso (LANDSAT 7 ETM +) para verificar los cambios estacionales en la temperatura superficial

urbana, el stress hídrico de la vegetación y las condiciones climáticas. Dos años críticos fueron seleccionados: 2001, durante el cual se reportó una anomalía global positiva en la temperatura superficial de 0,42 °C, y 2003 que registró un incremento global en la temperatura de 0,46°C (WMO, 2002; 2004).

2. Materiales y métodos

Se seleccionó un set de imágenes de LANDAT 7 ETM+, considerando el nivel de resolución en la banda térmica (60 mts) para ciudades de mediano tamaño, como Caracas (36 Km de longitud). Otros satélites tienen banda térmica, pero con un nivel de resolución más bajo, como MODIS, ASTER (90 mts) y AVHRR (1 km). La cobertura nubosa, la estacionalidad (período seco o lluvioso), los errores en las imágenes, las anomalías en la temperatura superficial, fueron otros de los criterios de selección considerados. El período de análisis 2001-2009 fue elegido tomando en cuenta que durante esta primera década del nuevo siglo, importantes anomalías climáticas se han reportado, en algunos casos, con serios impactos sobre las comunidades urbanas. Sin embargo, esta investigación se enfocó en los 2 años críticos del período: 2001 y 2003.

Los análisis térmicos, de uso del suelo e índice de vegetación (NDVI) se desarrollaron con técnicas de análisis de imágenes (álgebra de imágenes), y técnicas de clasificación con *ERDAS 9.1* and *Arc-Gis 9.2*, *ArcView 3.2*, licencias de programas

disponibles en el Instituto de Geografía y Desarrollo Regional de la Universidad Central de Venezuela. Los análisis estacionales fueron desarrollados en función de la disponibilidad de imágenes para determinar las variaciones en la temperatura superficial urbana, con el propósito de entender la dinámica del fenómeno de la isla de calor urbano (*Heat urban island -HUI*), en la ciudad de Caracas desde el año 2001.

La serie Landsat-7 ETM + posee una banda térmica que recoge datos en la longitud de onda de 10.40 -12.50 μm . Esta banda se puede convertir a temperatura utilizando la información del manual de calibración de instrumentos para Landsat 7 ETM + (NASA, 2009). 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 (*LA Ec. (1)*).

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

Donde:

(*L λ*): Es la radianza espectral de los píxeles de la banda térmica expresados en $\text{w}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m})$, *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 va-

lores de radianza para la banda térmica de Landsat 7 ETM +, se transformaron a temperatura superficial radiante en grados centígrados °C, o temperatura de brillo, usando las constantes de calibración del *Landsat-7 Science Data User's Handbook*, según la Ec.2:

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

Donde:

T_s , es la temperatura efectiva del satélite en K , $K1$ y $K2$ son constantes de calibración (Pre-lanzamiento), para Landsat 7 ETM +: $K1 = 666.09 \text{ w}/(m2.sr.\mu m)$ y $K2 = 1281.71K$.

El índice de vegetación normalizado *NDVI* permite determinar contenido de agua en la vegetación, según la Ec.3.

$$NDVI = \frac{\rho_{IRC} - \rho_R}{\rho_{IRC} + \rho_R} \quad \text{Ec.3}$$

1. Índice de vegetación de diferencia normalizada (*NDVI*), (Chuvieco, 2007):

Donde ρ_{IRC} y ρ_R indican la reflectividad en el canal del infrarrojo cercano y en el rojo, respectivamente.

Coberturas vectoriales de calles y direcciones de la ciudad fueron integradas a los modelos *raster* de temperaturas superficiales e índice de vegetación en un SIG (Sistema de Información Geográfica); este proceso permitió identificar y localizar las áreas con anomalías térmicas o con mayor riesgo de ocurrencia de incendios forestales, a los efectos de la planificación ambiental urbana. Los mo-

delos *raster* y las capas vectoriales fueron ajustadas geométricamente con *ERDAS 9.1* y *ArcGis 9.2* de UTM /WGS84 a Lat/Long WGS84.

El índice de vegetación, realizado de manera complementaria al análisis de temperatura superficial, se desarrolló debido a la alta incidencia de incendios forestales en los años críticos seleccionados. El uso del suelo urbano se analizó por sectores de forma comparativa, observando la respuesta térmica obtenida entre los sectores del oeste y suroeste de la ciudad, con alta densidad urbana (aquí se localiza la mayoría de los sectores de bajos ingresos), y los sectores del este y sureste con menor densidad urbana y mayor presencia de vegetación natural. Se incluyen algunas imágenes de la ciudad para ilustrar estas diferencias.

3. Resultados y discusión

Los patrones en la temperatura superficial urbana muestran significativas diferencias entre los sectores este y sureste de la ciudad, con menor densidad urbana y mayor presencia de vegetación natural, y los sectores de alta densidad y bajos ingresos, localizados al suroeste y oeste de la ciudad. Temperaturas entre 28 °C y 34 °C se observaron en la mayoría de los sectores de bajos ingresos al oeste y suroeste (Figura 2). Estas áreas se caracterizan por la presencia de construcción informal, realizada con ladrillos (en las áreas consolidadas) o paneles de madera y techos metálicos (zinc, galvanizados, aluminio), con una infraestructura de servicios improvi-

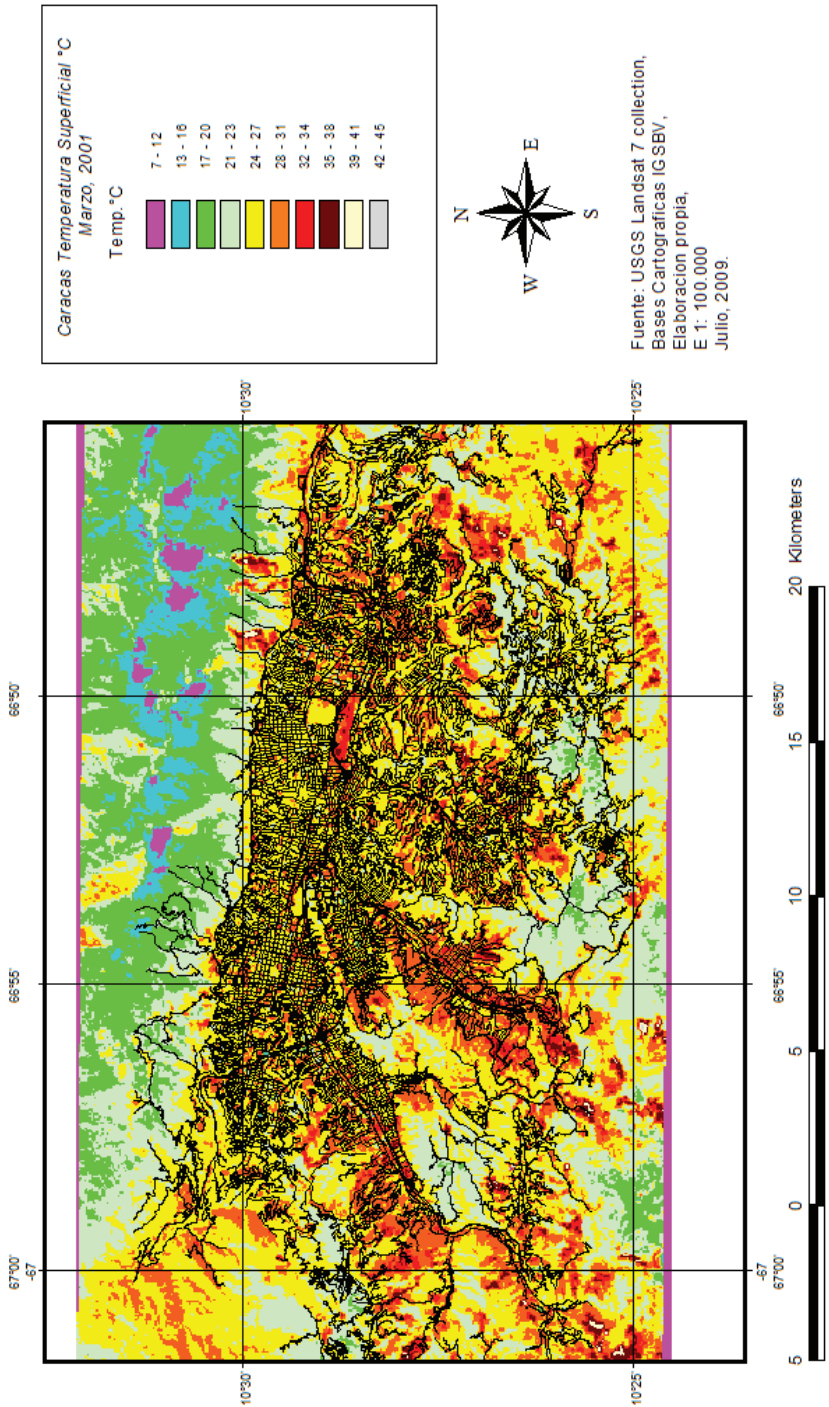


Figura 2. Patrones en la temperatura superficial en marzo 2001, Caracas. Fuente: Elaboración propia, USGS Landsat 7 collection, Bases Cartográficas - Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (IGSB, 2009)

sada, como las redes eléctricas, de agua potable, vialidad y drenajes (Figuras 3 y 4). El efecto de estas extensas superficies urbanas recubiertas de techos metálicos, ha sido descrito para algunas ciudades brasileñas como '*ciudades febriles*'. También se reportaron altas temperaturas superficiales para materiales galvanizados (57,9°C) y laminados de aluminio (69,4 °C), comúnmente utilizados como materiales de techumbre en los sectores de bajos ingresos (Sant'Anna *et al.*, 2008).

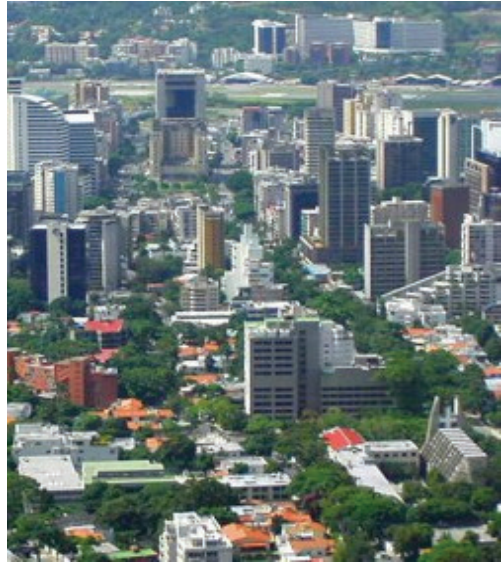
En contraste, temperaturas superficiales más frescas, entre 24 °C y 27 °C, se observaron en la mayoría de los sectores del este y sureste de la ciudad (Figuras 5 y 6), con solo algunas puntos entre 28 y 31 °C, relativos a lugares en los que el suelo está expuesto debido a proyectos urbanísticos en ejecución. Las zonas residenciales ubicadas cerca del Parque Nacional Güaraira Repano (El Ávila), muestran también temperaturas entre 24 y 27°C (Figura 2). Estos sectores se benefician de la proximidad del parque

nacional que provee humedad y aire fresco al sector norte del valle. El aeropuerto de La Carlota (sector centro-este), un espacio abierto recubierto de asfalto y concreto con escasa vegetación, es uno de los lugares más calientes de la ciudad. Anchas avenidas, autopistas (28 - 34°C o más) y las áreas de vegetación quemada, muestran también altos valores de temperatura superficial (35 - 38°C o más).

Los datos registrados en la banda térmica del sensor son colectados a las 10.15 minutos de la mañana aproximadamente (hora del paso del sensor sobre el Ecuador cada 16 días), la información climática de temperaturas del suelo registrada para la ciudad de Caracas a 2 cm del suelo [Estación de la Universidad Central de Venezuela (UCV)], mostro un máximo de 63 °C al mediodía durante el mes de marzo (Figura 7); en consecuencia, la temperatura superficial registrada en la banda térmica del sensor, puede presentar un incremento dependiendo de las propiedades físicas de las superficies urbanas



Figuras 3 y 4. Vistas aéreas de sectores de bajos ingresos (barrios), Caracas. Fuente: Rocco, 2005



Figuras 5 y 6. Caracas. Vistas aéreas del sureste y este. Fuente: Colección personal de vista de la ciudad, 2007

durante el día. Las temperaturas registradas en la estación climática de la UCV, muestran también un máximo de temperatura (35,2°C) durante el pico de la estación seca en el mes de marzo (Figura 7).

En las imágenes satelitales tomadas durante la estación lluviosa, hay una alta probabilidad de ocurrencia de precipitaciones; debido a ello, algunas de las imágenes evaluadas para la ciudad de Caracas, como fue determinado en los datos climáticos diarios, se tomaron en días lluviosos causando mitigación del calentamiento superficial, al momento en que el sensor colectó la información. Esto hace necesario investigaciones adicionales para la temporada lluviosa, que incluyan otras técnicas de análisis superficial de temperaturas y climatológicas, para determinar la intensidad y extensión de este fenómeno.

La incidencia de incendios forestales también se relaciona con las condiciones hídricas de la vegetación. En el año 2001, durante la estación seca, se detectaron altos niveles de estrés hídrico en la mayoría de las áreas periurbanas cubiertas por vegetación decidua, con valores de NDVI entre -0,22 y 0,003 en color marrón (Figura 8). Esta es la vegetación generalmente expuesta a incendios forestales estacionales, especialmente las gramíneas deshidratadas o la vegetación arbustiva decidua (matorrales). Solamente en los topes de las montañas y colinas que rodean la ciudad, se observa humedad remanente debido a las precipitaciones y nieblas orográficas (valores de NDVI entre 0,13 y 0,57). La vegetación quemada es considerada por el índice como áreas sin vegetación, al igual que los sectores urbanos (valores de NDVI entre -0,54 y -0,22)

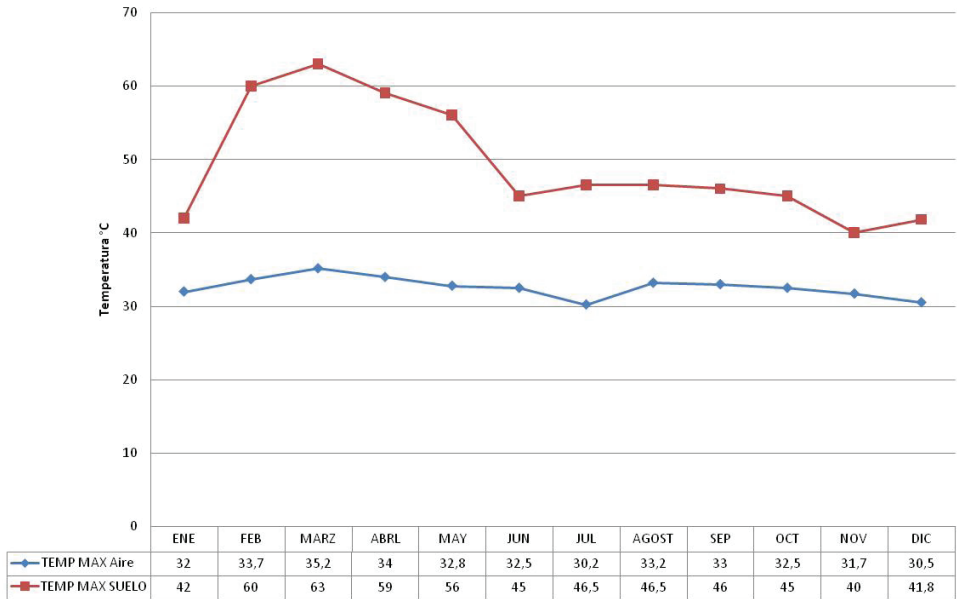


Figura 7. Registros de temperatura superficial (2cms) en geotermómetros y temperatura media del aire, período 1973-2003. Estación Universidad Central de Venezuela (UCV). Fuente: Registros de la estación climatológica de la Universidad Central de Venezuela, 1973-2003. Departamento de Hidrometeorología, Facultad de Ingeniería, Caracas

en color gris claro (Figura 8). El índice de vegetación NDVI muestra las áreas con mayor probabilidad de ocurrencia de fuego, debido al estrés hídrico y la proximidad urbana; como consecuencia de los problemas en la disposición de desechos sólidos, fuegos intencionales, calor y abundante biomasa seca, que son las causas más frecuentes de estos fuegos urbanos y periurbanos.

Las diferencias en los patrones de las temperaturas urbanas resultan más evidentes en el año 2001 que en 2003 (Figura 2), aún en la presencia de una anomalía global positiva (0,42 °C); la estación seca en 2001 fue menos intensa que en el año 2003 (Figuras 2 y 9). En

2003, un evento 'El Niño', de gran intensidad y una anomalía positiva en la temperatura superficial global (0,46 °C) pudieron incidir en la ocurrencia de una de las sequías más fuertes de la presente década (Figura 9). Los análisis térmicos y de NDVI (Figuras 9 y 10) evidencian que casi toda la ciudad se encuentra en condiciones críticas debido a las altas temperaturas, el calor y la incidencia de incendios forestales. Una importante extensión de las anomalías térmicas se observa hacia los sectores oeste y suroeste de la ciudad, afectando principalmente a los habitantes de bajos ingresos que allí viven (Figura 9). Las temperaturas superficiales en el año 2003 verifican, de forma general,

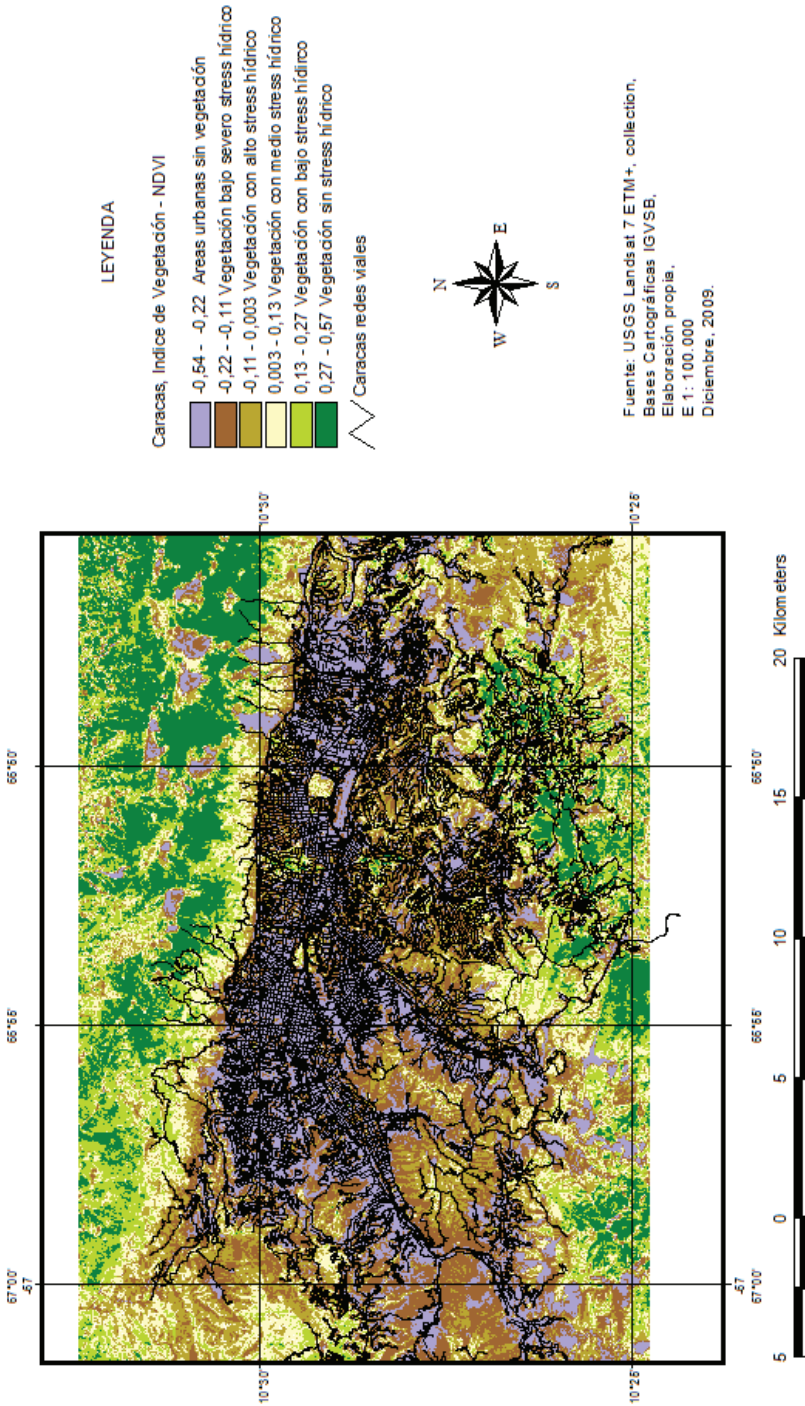


Figura 8. Índice de vegetación, marzo 2001. Caracas. Fuente: Elaboración propia, USGS Landsat 7 collection, Bases Cartográficas del Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (IGVSB, 2009)

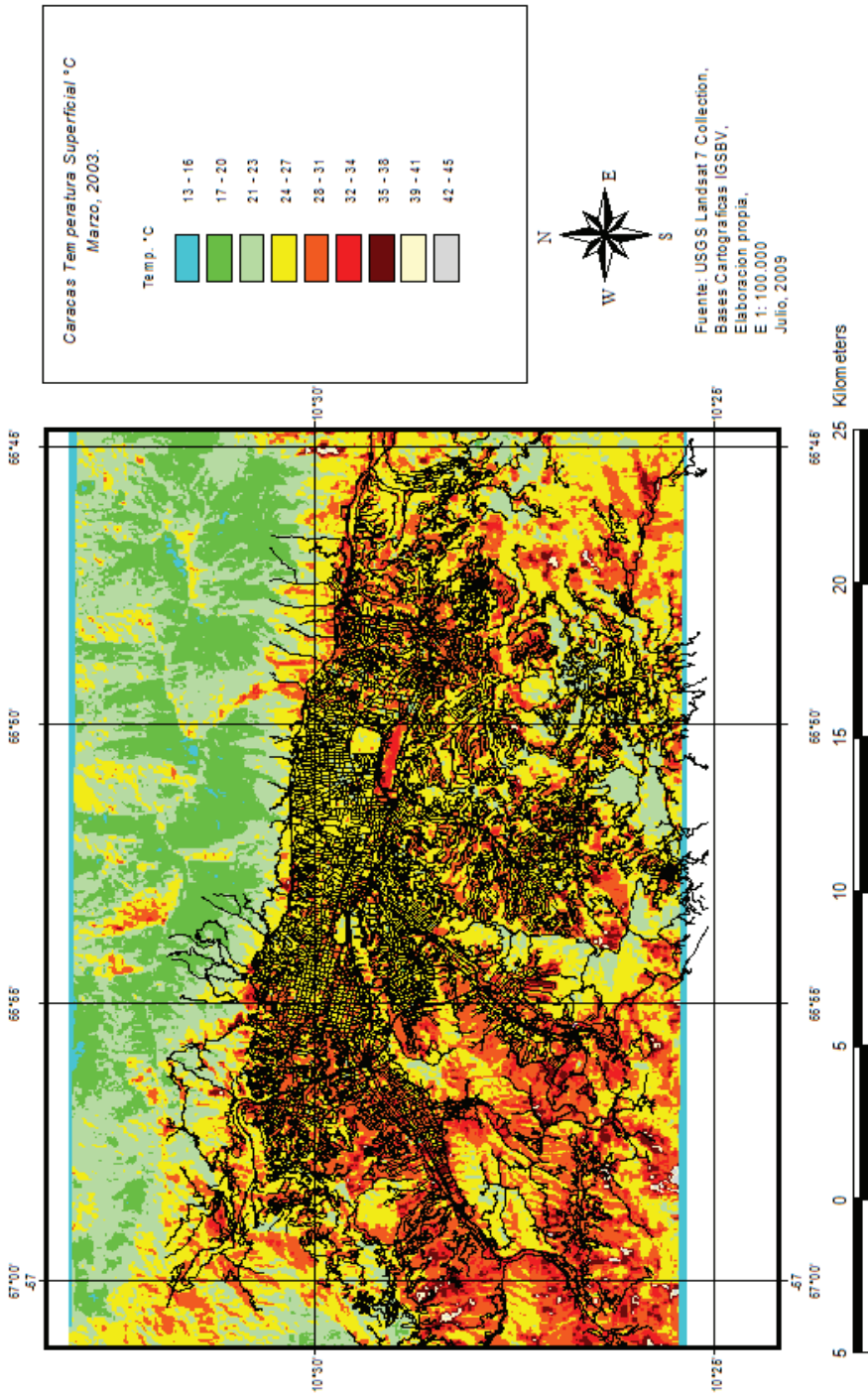


Figura 9. Patrones en la temperatura superficial en marzo 2003, Caracas. Fuente: Elaboración propia, USGS Landsat 7 collection, Bases Cartográficas- Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (IGVSB, 2009)

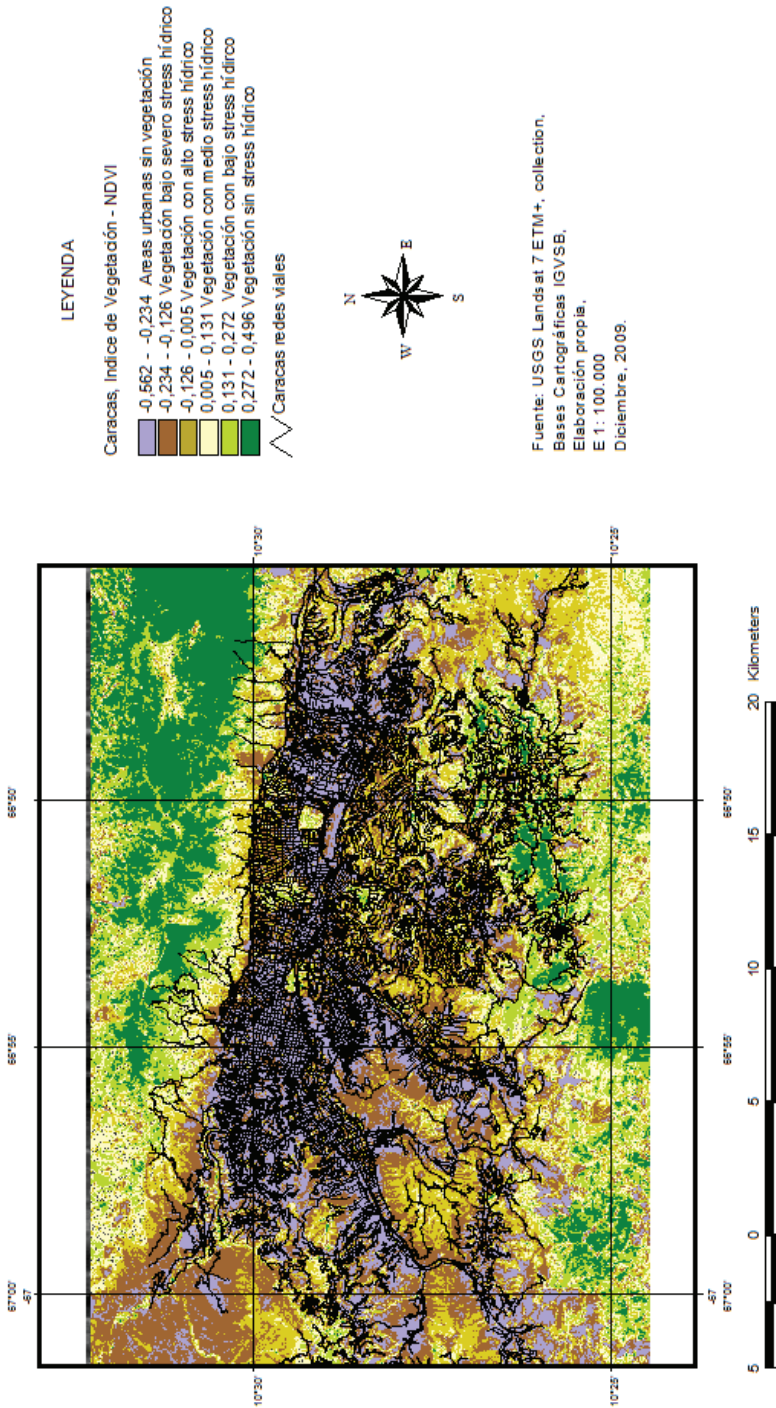


Figura 10. Índice de vegetación, marzo 2003, Caracas. Fuente: Elaboración propia, USGS Landsat 7 collection, Bases Cartográficas - Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (IGVSB, 2009)

un incremento de 5 °C grados en comparación con el año 2001. Las temperaturas más bajas entre 7 °C y 12 °C, usualmente registradas en las partes más altas del Parque Nacional Güaraira Repano (El Ávila), desaparecen. Muchos sectores de las áreas del oeste y suroeste de la ciudad se verán afectados por estas altas temperaturas (Figura 9). La peor incidencia de incendios forestales se observa también en las áreas periurbanas (valores de *TS* entre 38 °C a 45 °C), localizadas alrededor de estos sectores (Figura 9).

Los embalses de agua que abastecen a la ciudad se encuentran también en condiciones críticas; racionamientos de emergencia debieron ser activados, restringiendo el servicio de agua potable a una o dos veces por semana. Los niveles en la represa de Camatagua, uno de los reservorios más importantes para la ciudad de Caracas, experimentaron una caída sostenida en sus volúmenes desde 2001 (Figura 11).

Las condiciones de la vegetación durante la temporada seca del 2003 fueron críticas; una extensión de las áreas bajo alto estrés hídrico se observa en el oeste y suroeste de la ciudad, así como también, una mayor incidencia de incendios forestales en estas sectores (Figura 9 y 10). El índice de vegetación NDVI muestra valores inferiores a 0,5, aún en la parte alta de las montañas, donde usualmente se mantienen mejores condiciones de humedad; en este estado el rol de la vegetación en la mitigación de las altas temperaturas se minimiza durante la estación seca, debido al alto estrés hídrico de la vegetación (Figura. 10).

4. Conclusiones

La estación seca del año 2003 fue uno de los eventos de sequía y calor de mayor intensidad en el período analizado (2001-2009). Los patrones observados en la

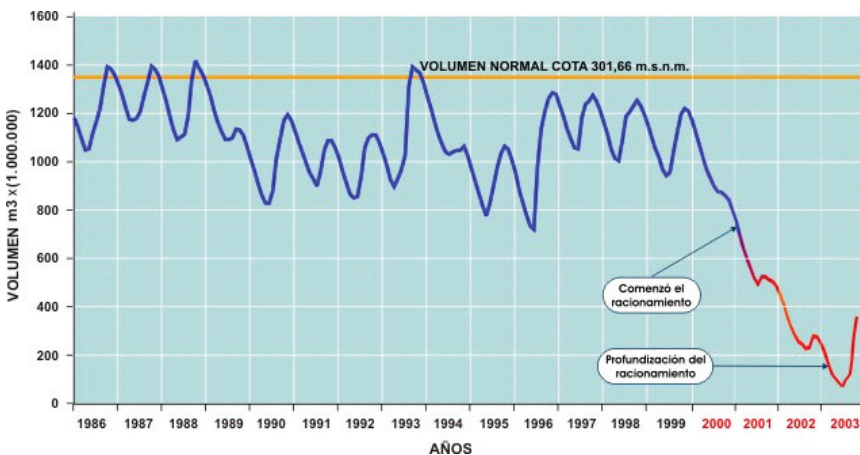


Figura 11. Represa de Camatagua. Niveles del embalse. Fuente: <http://www.hidrocapital.com.ve/>

temperatura superficial urbana muestran significativas diferencias entre los sectores del este y sureste, y el oeste y suroeste de la ciudad. Estas diferencias están relacionadas no solamente con la densidad urbana y la presencia de vegetación, sino también con la calidad de los materiales de construcción de las viviendas de los sectores de bajos ingresos. La incidencia de incendios forestales fue particularmente alta en las zonas periurbanas cercanas a estos sectores. La práctica de quemar basuras, debido a la inexistencia y/o ineficiencia de los mecanismos de recolección, y la quema de vegetación para expandir las áreas ocupadas por urbanismo informal, ha puesto una presión tremenda sobre las áreas naturales remanentes en las zonas periurbanas y, en consecuencia, el paisaje urbano y periur-

bano está cambiando mucho más rápido que las posibilidades de intervención urbana controlada o planificada (Figura 12).

La sequía y el fuego de manera conjunta, incrementan la ocurrencia de enfermedades y los problemas ambientales, intensificando la contaminación del aire (aumentando las emisiones de CO₂, dioxinas y otros gases contaminantes) y la incidencia de enfermedades respiratorias, como alergias, asma y otras afecciones bronquiales. Estos acelerados cambios impactan la calidad del ambiente y del clima urbano. En tanto mayor cantidad de superficie vegetal se pierda sin reemplazo, las temperaturas urbanas tenderán a aumentar, intensificando el fenómeno de las islas térmicas sobre la ciudad de Caracas durante la estación



Figura 12. Procesos de ocupación reciente en las áreas naturales circundantes en el suroeste de la ciudad de Caracas (Sector La Yaguara-Km 1, carretera El Junquito), 2009. Fuente: Colección personal de vistas de la ciudad, 2009

seca. Sin embargo, se considera necesario investigar más los cambios durante la temporada lluviosa.

También se encontró una importante relación entre las anomalías climáticas y la variabilidad climática. En presencia de un evento 'El Niño' de gran intensidad y anomalías globales en la temperatura superficial (más de 11 meses de anomalía positiva ENOS y alrededor de 0,46 °C grados más en la temperatura superficial reportada por la OMM), se observa una intensificación de la temporada seca en la región del Caribe, afectando las regiones costera y del norte de Venezuela [Corporación Andina de Fomento (CAF), 2000; Aguilar *et al.*, 2005) con aumentos en la temperatura superficial, y la incidencia de incendios que pueden generar situaciones sanitarias y ambientales complejas. Estas fueron las circunstancias observadas durante marzo del 2003, cuando un evento de calor intenso impactó la ciudad, intensificando la temporada de sequía y la incidencia de incendios forestales, generando condiciones críticas para el abastecimiento de agua, la calidad ambiental y la salud humana. Estos hechos llaman la atención hacia la necesidad de monitorear los fenómenos de variabilidad climática, en este caso los eventos ENOS (El Niño-La Niña), así como otras condiciones socio-económicas y ambientales en la ciudad.

Artículo revisado y corregido en diciembre 2010, Caracas-Venezuela

5. Nota

Este trabajo constituye un avance de la tesis doctoral en desarrollo; los resultados aquí presentados son parciales.

6. Referencias citadas

- AGUILAR, E.; PETERSON, T. C.; RAMÍREZ OBANDO, P.; FRUTOS, R.; RETANA, J. A.; SOLERA, M.; SOLEY, J.; GONZÁLEZ GARCÍA, I.; ARAUJO, R. M.; ROSA SANTOS, A.; VALLE, V. E.; BRUNET, M.; AGUILAR, L.; ÁLVAREZ, L.; BAUTISTA, M.; CASTAÑON, C.; HERRERA, L.; RUANO, E.; SINAY, J. J.; SÁNCHEZ, E.; HERNÁNDEZ OVIEDO, G. I.; OBED, F.; SALGADO, J. E.; VÁSQUEZ, J. L.; BACA, M.; GUTIÉRREZ, M.; CENTELLA, C.; ESPINOSA, J.; MARTÍNEZ, D.; OLMEDO, B.; OJEDA ESPINOZA, C. E.; NÚÑEZ, R.; HAYLOCK, M.; BENAVIDES, H. and R. MAYORGA. 2005. *Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961-2003*. **J. Geophys. Res.**, 110, D23107, doi: 10.1029/2005JD006119.
- CHUVIECO S, E. 2007. **Teledetección Ambiental**. Editorial Ariel S.A. (3era impresión). Barcelona-España.
- CORPORACIÓN ANDINA DE FOMENTO (CAF). 2000. *Las lecciones de El Niño: Memorias del Fenómeno El Niño 1997-1998: Retos y propuestas para la Región Andina: Venezuela*. Caracas-Venezuela.
- COLMENARES TIMMER, L. C. 2008. *La dualización urbana como resultado del proceso globalizador. Caracas 1980-2007*. Editorial de la Universidad de Granada. Granada-España. Tesis Doctoral, 400 p.

- HIDROCAPITAL. 2009. *Niveles de los embalses para el Área Metropolitana de Caracas*. [On line] <http://www.hidrocapital.com.ve/>. (Consultado en marzo, 2009).
- INSTITUTO GEOGRÁFICO DE VENEZUELA SIMÓN BOLÍVAR (IGVSB). 2009. *Acervo de datos cartográficos digitales de Venezuela*, [On line] <http://igvsb.geoportalsb.gob.ve/>
- NATIONAL AERONAUTICS and SPACE ADMINISTRATION (NASA). 2009. *Landsat-7 Science Data User's Handbook*. Chapter 9-Calibration Parameter File. [On line] http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/handbook/handbook_htmls/chapter9/chapter9.html
- NOYA DE ALARCÓN, B.; DÍAZ BELLO, Z.; COLMENARES, C.; ZAVALA JASPE, R.; MAURIELLO, L.; DÍAZ, M. P.; SOTO, M.; APONTE, M.; RUIZ GUEVARA, R.; LOSADA, S.; NOYA ALARCÓN, O. y O. NOYA GONZÁLEZ. 2009 *Transmisión urbana de la enfermedad de Chagas en Caracas, Venezuela: aspectos epidemiológicos, clínicos y de laboratorio*, **Revista Biomed**, 20(3): 158-164.
- NATIONAL CLIMATIC DATA CENTER (NCDC), NATIONAL OCEANIC and ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). 2003. *State of the Climate: Global Analysis for Annual 2003, published online December 2003*. [Online] Marzo, 2009. <http://lwf.ncdc.noaa.gov/sotc/global/2003/13>.
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). 1999. **Guías de salud para incendios de vegetación**. OMS Ginebra-Suiza.
- ROCCO, N. 2005. **Caracas cenital**. Fundación para la Cultura Urbana. Critería Editorial, C.A. Caracas-Venezuela.
- SANT'ANNA, N.; LIMA, J. e M. C de COSTA TRINDADE. 2008. *Febrile cities: the influence of construction materials in the production of heat islands in low income districts of urban areas with tropical climate in Brazil*. In: *Climate change and urban Desing. Third Annual Congress of the council for European Urbanism*. Oslo-Norway.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). 2009. *Glovis- Global Visualization Viewer*, LANDSAT 7 ETM+ Collection, [Online] Marzo 2009, <http://glovis.usgs.gov/>
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). 2002. **Statement on the status of the global climate in 2001**, N°. 940. Geneva-Switzerland.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). 2004. **Statement on the status of the global climate in 2003**, N°. 966. Geneva-Switzerland.