

Identificación de Zonas y Formulación de Propuestas para el Tratamiento de Islas de Calor Municipio de Santiago de Cali



Centro Internacional de Agricultura Tropical
Desde 1967 *Ciencia para cultivar el cambio*



ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca



CIAT

El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) —miembro del Consorcio CGIAR— desarrolla tecnologías, métodos innovadores y nuevos conocimientos que contribuyen a que los agricultores, en especial los de escasos recursos, logren una agricultura eco-eficiente —es decir, competitiva y rentable así como sostenible y resiliente. Con su sede principal cerca de Cali, Colombia, el CIAT realiza investigación orientada al desarrollo en las regiones tropicales de América Latina, África y Asia.

www.ciat.cgiar.org

CGIAR es una alianza mundial de investigación para un futuro sin hambre. Su labor científica la llevan a cabo los 15 centros de investigación que integran el Consorcio CGIAR, en colaboración con cientos de organizaciones socias.

www.cgiar.org

CVC

La Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca es la entidad encargada de administrar los recursos naturales renovables y el medio ambiente del Valle del Cauca, que como máxima autoridad ambiental y en alianza con actores sociales propende por un ambiente sano, contribuyendo al mejoramiento de la calidad de vida de la población y la competitividad de la región en el marco del desarrollo sostenible.

www.cvc.gov.co

DAGMA

El Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente, DAGMA, es una entidad del Municipio de Santiago de Cali creada desde 1994 para ser la máxima autoridad ambiental y el organismo técnico, director de la gestión del medio ambiente y de los recursos naturales. El propósito del DAGMA es hacer de Santiago de Cali un modelo de ciudad, ambientalmente sostenible, que contribuya a su competitividad en el contexto local y global.

www.cali.gov.co/dagma

Identificación de Zonas y Formulación de Propuestas para el Tratamiento de Islas de Calor

Municipio de Santiago de Cali

Convenio CVC-CIAT-DAGMA
No. 110 de 2015
Informe Técnico





Iglesia La Ermita
Fuente: <http://bit.ly/1RDiWxX>

Esta es una publicación de la
Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), con el apoyo del **Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)** y el **Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA)**, a través del Convenio

CVC-CIAT-DAGMA No. 110 de 2015:

“Aunar esfuerzos y recursos humanos, económicos y técnicos para desarrollar acciones en el marco de la mitigación y adaptación al cambio climático en el municipio de Santiago de Cali”

Rodrigo Guerrero Velasco
Alcalde del Municipio de Santiago de Cali

Rubén Darío Materón Muñoz
Director, CVC

Ruben Echeverría
Director General, CIAT

María del Mar Mozo Muriel
Directora, DAGMA

Comité Técnico

Andrés Carmona Tobar
Profesional Especializado, CVC
Supervisor del Convenio

Carlos Arturo Hoyos Gómez
Profesional Especializado, CVC

Gisela Arizabaleta Moreno
Coordinadora del Grupo de Calidad del Aire, DAGMA

Jeimar Tapasco
Coordinador del Convenio, CIAT

Compilación, orientación y edición técnica

Angélica Enciso Arango
Ingeniera Agrícola, CIAT

Wilmar Loaiza Cerón
Geógrafo, MSc Desarrollo Sustentable, CIAT

José Guido Morán Burgos
Geógrafo, CIAT



Estatua de Sebastián de Belalcázar
Fuente: <http://bit.ly/1oh2vi5>

Agradecimientos

Este documento cuenta con los valiosos aportes técnicos de las siguientes personas, a quienes agradecemos su participación, contribuciones en talleres y reuniones, así como el tiempo, interés y motivación dedicados a la construcción de este instrumento.

María de las Mercedes Romero
Gerente Empresa Municipal de Renovación Urbana
EIC-EMRU

Alejandra Peña Nieto
Geógrafa

Sindy Nova Pérez
Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente
DAGMA

Asimismo, un agradecimiento especial a todas las personas que participaron en el desarrollo de este estudio de las islas de calor urbanas y la formulación de propuestas en el marco del convenio para el municipio de Santiago de Cali.

Contenido

Introducción	1
Metodología	5
Selección de imágenes satelitales recientes.....	5
Tratamiento de imágenes satelitales y obtención de indicadores (TS, NDVI, NDWI y NDBI).....	5
Definición de parámetros respecto a los índices estimados para identificar islas de calor	6
Identificación y descripción de las islas de calor urbanas (ICU)	7
Formulación de propuestas para el tratamiento de las ICU.....	7
Socialización de resultados y análisis de la identificación de las islas de calor de Santiago de Cali.....	7
Resultados	9
Selección de imágenes satelitales recientes.....	9
Tratamiento de imágenes satelitales y obtención de indicadores (TS, NDVI, NDWI y NDBI).....	9
Definición de parámetros respecto a los índices estimados para identificar islas de calor	11
Identificación y descripción de las islas de calor urbanas (ICU)	13
Formulación de propuestas para el tratamiento de las ICU.....	18
Socialización de resultados y análisis de la identificación de las islas de calor	21
Conclusiones	23
Anexos	24
Acrónimos y abreviaturas	28
Bibliografía	29

Cuadros

Cuadro 1.	Valores de emisividad	5
Cuadro 2.	Clasificación máxima intensidad de ICU.....	6
Cuadro 3.	Clasificación de los indicadores NDVI, NDWI y NDBI	7
Cuadro 4.	Clasificación de la intensidad de las ICU por comuna	11
Cuadro 5.	Características de las comunas identificadas con ICU.....	13
Cuadro 6.	Propuestas y estrategias para el tratamiento de las ICU en el municipio.....	18
Cuadro 7.	Materiales de construcción para reducir los efectos del calentamiento de las superficies	20
Cuadro 8.	Materiales de construcción.....	21

Figuras

Figura 1.	Localización general del municipio de Santiago de Cali	1
Figura 2.	Bandas espectrales del sensor Landsat 8 para el análisis de las ICU	9
Figura 3.	Temperatura superficial terrestre en °C del municipio de Santiago de Cali	10
Figura 4.	NDVI para el municipio de Santiago de Cali.....	10
Figura 5.	NDWI para el municipio de Santiago de Cali	10
Figura 6.	NDBI para el municipio de Santiago de Cali.....	10
Figura 7.	Clasificación por tipo de cobertura para el municipio de Santiago de Cali	12
Figura 8.	Principales características relacionadas con las ICU en la comuna 3	14
Figura 9.	Principales características relacionadas con las ICU en la comuna 4	15
Figura 10.	Principales características relacionadas con las ICU en la comuna 5	16
Figura 11.	Principales características relacionadas con las ICU en la comuna 8	17
Figura 12.	Principales características relacionadas con las ICU en la comuna 13.....	17
Figura 13.	Mesa de trabajo del taller de análisis de ICU.....	22



Introducción

El municipio de Santiago de Cali se encuentra ubicado al suroccidente colombiano (Figura 1). Es la capital del departamento del Valle del Cauca y es la tercera ciudad más poblada del país, después de Bogotá y Medellín, con 2.319.655 habitantes (DAPM, 2014a). El municipio presenta dos características geográficas o zonas topográficas: (1) la zona del valle del río Cauca hacia el oriente y (2) la zona de piedemonte o ladera hacia el occidente sobre la margen derecha de la cordillera Occidental. Santiago de Cali limita al oeste y sur con el área rural del municipio, al este con el río Cauca y los

municipios de Palmira y Candelaria, y al norte con el municipio de Yumbo.

El clima del municipio varía en relación al rango altitudinal que abarca entre 916 y 1,438 msnm. En la zona más plana, se presenta un clima cálido con características semihúmedas hacia el sur y semiáridas hacia el norte del municipio; y para la zona de ladera se presentan condiciones de clima templado, en condiciones de mayor humedad hacia el sur del municipio. La precipitación anual promedio es de 1.500 mm y la temperatura promedio anual es de 24 °C aproximadamente.

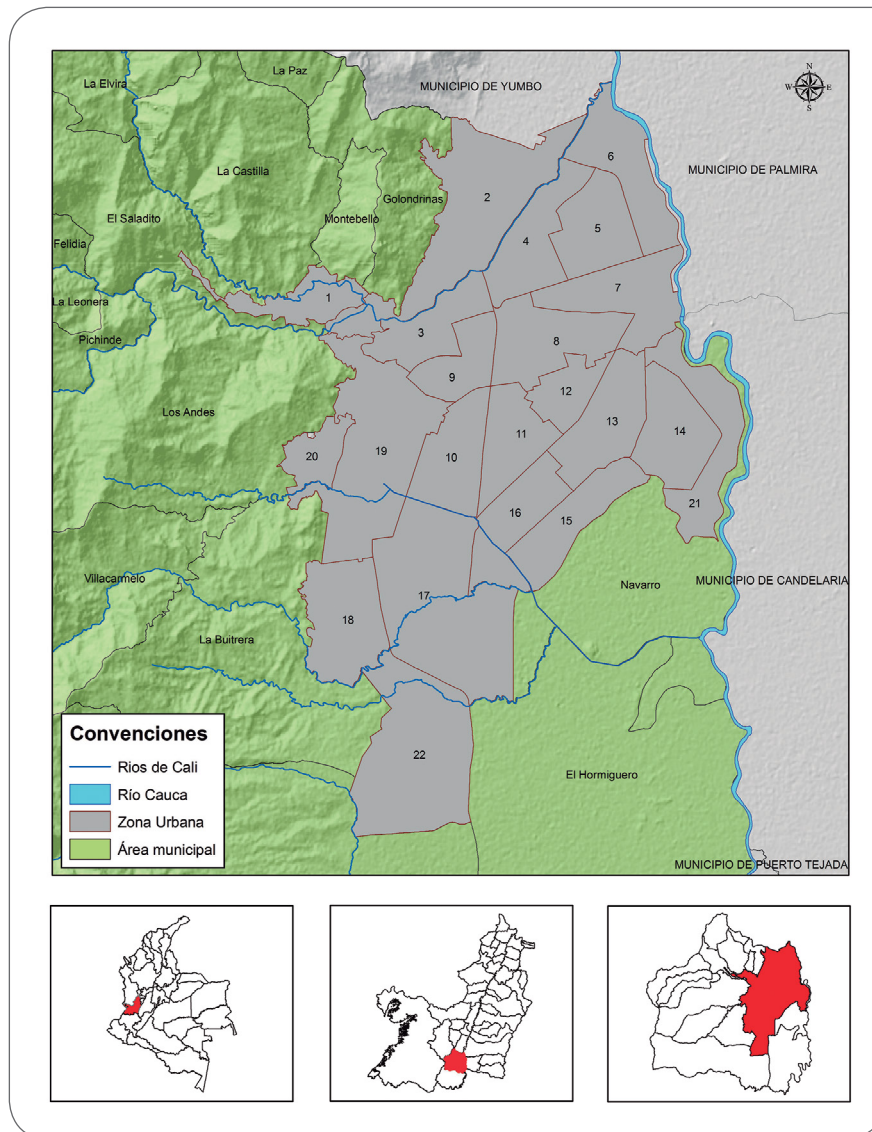


Figura 1. Localización general del municipio de Santiago de Cali.

Durante las décadas de los ochenta y noventa, el municipio de Santiago de Cali presentó el mayor crecimiento urbano a lo largo de su historia. Este incremento de las áreas urbanas, reflejado en el cambio radical de su paisaje natural, no solo modifica la cobertura terrestre, alterando los balances entre el suelo y el aire, sino que también modifica las condiciones climáticas al interior del municipio; efecto conocido como Isla de Calor Urbana (ICU). El número de habitantes en un lugar es un factor decisivo que condiciona la aparición de las islas de calor (Vargas y Aldana, 2011). En ciudades con población de 500.000 a 1.000.000 habitantes, la temperatura del aire suele aumentar de 1,1 a 1,2 °C con respecto a zonas rurales. Para ciudades con más de 1 millón de habitantes, el valor aumenta de 1,2 a 1,5 °C, siendo el caso del municipio en Santiago de Cali con más de 2 millones de habitantes.

Las ICU resultan del desarrollo de los centros poblados y los cambios en las propiedades térmicas e irradiancias de su infraestructura. Se considera que las ICU se producen debido a la contaminación atmosférica de un lugar determinado, dependiendo en gran medida de las características de la superficie, del número de habitantes, transformaciones urbanísticas de las emisiones de calor antropogénicas (Vargas y Aldana, 2011). Las islas de calor son cambios climáticos locales, no globales, porque sus efectos se limitan a una escala menor; sin embargo, sus efectos son similares. Una de las principales características de las ICU es el almacenamiento de calor debido a las superficies construidas con materiales como asfalto, concreto, etc., los cuales, por su condición de impermeabilidad, alteran los flujos de energía, lo que se refleja en mayores temperaturas nocturnas en las zonas más densamente construidas de las ciudades, asociadas a mayores superficies y altas capacidades térmicas. Según Fernández y Martilli (2012), existen dos tipos de islas de calor:

Isla de Calor Urbana atmosférica (ICUa): definida por las diferencias de temperatura del aire entre las zonas urbanas y rurales, y se identifican con mediciones directas, utilizando estaciones climatológicas o instrumentos móviles de medición.

Isla de Calor Urbana superficial (ICUs): indica las diferencias térmicas entre las superficies artificiales (pavimento, edificios, tejados, etc.) y las naturales

(vegetación, cultivos), a través de mediciones indirectas, usando imágenes térmicas obtenidas de sensores remotos.

Los sensores remotos son una herramienta útil para entender y monitorear los procesos urbanos relacionados con el espacio físico. La investigación en este aspecto ha sido intensa alrededor del mundo en los últimos años, pues se considera un elemento clave para el estudio del calentamiento global. El procesamiento digital de imágenes permite apoyar los procesos de toma de decisiones en la planificación y gestión ambiental urbana (Wilson et al., 2003), mediante la generación de indicadores ambientales. En los diferentes trabajos que se realizan sobre el ambiente urbano, empleando indicadores obtenidos a partir de imágenes satelitales o de sensores remotos como NOAA-AVHRR, Landsat TM y ETM, MODIS, ASTER, etc., el enfoque principal se centra en la determinación y caracterización del clima e islas de calor urbanas, clasificación de uso del suelo, crecimiento urbano, densidad de población y evaluación de calidad y sostenibilidad ambiental (Santana et al., 2010). Las transformaciones de imágenes más utilizadas están relacionadas con el análisis de la distribución de la vegetación y zonas construidas, siendo el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés) y la temperatura superficial (TS) los más utilizados.

Mediante el análisis de las imágenes obtenidas por sensores remotos, se puede calcular la TS a partir de los niveles digitales (ND) detectados por el sensor, cuyo resultado permite la identificación de las ICU. Asimismo, los resultados obtenidos al calcular la TS se pueden comparar con diversos indicadores como el NDVI, el índice de agua de diferencia normalizada (NDWI, siglas en inglés), el índice de área construida de diferencia normalizada (NDBI, siglas en inglés), entre otros, con el fin de identificar las principales características asociadas con las zonas de mayor TS en las ciudades.

El NDVI ha sido reconocido como uno de los indicadores más útiles para el estudio de características de la biosfera terrestre y su dinámica (Santana et al., 2010). Valores altos de NDVI indican alta presencia de vegetación, lo cual corresponde a una buena calidad ambiental. En estos espacios, se genera transferencia a la atmósfera, mediante la transpiración del calor latente almacenado

en el suelo, lo que ocasiona una disminución de la temperatura de la superficie, entre otros (Santana et al., 2010). Entre los índices de vegetación, el NDVI es el más común para estimar la cantidad y el grado de desarrollo de una zona vegetal referido a un territorio concreto (Sancha, 2010). Por otro lado, el NDWI permite identificar la medida de cantidad de agua que posee la vegetación o el nivel de saturación de humedad que posee el suelo; a menor cantidad de agua, mayor reflectividad. Mientras que el NDBI permite identificar o estimar zonas con superficies construidas o edificadas junto a superficies desnudas o descubiertas.

En Colombia, existen pocos estudios realizados en el tema con análisis multitemporales y comparación con índices. Sin embargo, en el municipio de Santiago de Cali, se han adelantado algunos estudios sobre el reconocimiento de las ICU, como el realizado por Santana et al., 2010, en donde se propone un modelo para obtener un índice de calidad ambiental a partir del uso de imágenes satelitales Landsat ETM+ de 2003, obteniendo cinco índices, entre los que se cuenta la TS y el NDVI. El estudio evidenció que los barrios o zonas que requieren mayor intervención para mejorar la calidad de vida de las personas, en cuanto al mejoramiento de la calidad ambiental, se clasifican como clases de uso del suelo CH (uso comercial y habitacional próximo al centro administrativo, barrio San Nicolás), I (barrios industriales, con grandes y pequeñas industrias, barrio Flora Industrial) y H1 (barrios habitacionales con alta densidad de construcciones y con habitantes de bajos ingresos económicos, barrios El Vergel y El Poblado). Los barrios con mayor TS promedio ($> 30^{\circ}\text{C}$) están ubicados en el centro administrativo y comercial y en el sector oriente denominado Distrito de Aguablanca y son los que tienen mayor proporción de área construida y/o suelo desnudo y, en general, corresponden a barrios con desarrollo no planificado y ocupado por población de muy bajos ingresos.

Otro estudio realizado por Vargas y Aldana (2011), utilizando imágenes Landsat 4 TM 1989 y Landsat 7 ETM+ 2001, analizaron la relación entre los índices NDVI, NDWI y NDBI. El estudio identificó ICU en la parte central del municipio, especialmente en la zona de mayor actividad industrial. Además, se observa una disminución de áreas verdes en el municipio de 6,37% en 12 años (1989–2001). Para el mismo período, se observó un aumento del tejido urbano del 17,29%, principalmente hacia la zona oriente

del municipio. Según el estudio, estos cambios de uso del suelo evidencian un incremento en la temperatura de la zona urbana, dando lugar a las ICU.

Por otro lado, Fernández y García (2013) realizaron el análisis de islas frescas urbanas (IFU) para Santiago de Cali, a partir de imágenes Landsat 5 TM de los años 1999 y 2011, con el uso de indicadores NDVI, NDWI y NDBI. En su estudio, determinaron umbrales límite para cada indicador con el fin de establecer criterios para identificar dichas IFU. Las zonas identificadas como IFU arrojaron como resultado áreas con presencia de vegetación vigorosa y con buen contenido de humedad, con baja densidad de edificaciones y con temperaturas superficiales inferiores a 26°C . Estas zonas se identificaron principalmente en el noroeste, oeste y en mayor medida hacia la zona sur del municipio, con menor presencia en la zona centro y oriente.

En 2014, Cárdenas y Muñoz analizaron la influencia del crecimiento urbano medido como crecimiento poblacional sobre el desarrollo del fenómeno de isla de calor para Santiago de Cali. En este caso, utilizaron datos de tipo atmosférico, interpretando series históricas de temperatura de estaciones ubicadas en la zona urbana y rural, con el fin de identificar las diferencias entre las zonas y así determinar la presencia de islas de calor en el municipio y su relación con el crecimiento poblacional de la misma para un período de tiempo de 40 años desde 1970 hasta 2010. Los resultados obtenidos muestran que, en general, las pendientes de las series de temperatura son positivas, mostrando que la zona urbana siempre presenta a lo largo del tiempo temperaturas superiores al área rural; esto debido al cambio de cobertura que ha sufrido este espacio.

Con base en lo anterior, este estudio busca identificar y analizar la existencia y ubicación actual de las ICU en Santiago de Cali, a partir del uso de cuatro indicadores ambientales derivados de imágenes satelitales: TS, NDVI, NDWI y NDBI, que permiten determinar las principales características de dichas zonas. Con la caracterización de las ICU, se formulan recomendaciones de tratamiento que puedan servir como guía o recurso de información en los procesos de planificación y gestión ambiental en el municipio.



EL GATO DEL RÍO
ESCALA EN BRONCE ELABORADA
POR EL MAESTRO
HERNANDO TEJADA
BAJO EL ASESORIO DEL GOBERNADOR
DEL VALLE DEL CAUCA
GERMAN VILLEGAS VILLEGAS
Y EL ALCALDE DE SANTIAGO DE CALÍ
MAURICIO GUZMAN CUEVAS
SANTIAGO DE CALÍ JUNIO 3 DE 1993

El Gato del Río
Fuente: <http://bit.ly/1RGtOOa>

Metodología

Selección de imágenes satelitales recientes

La imagen satelital se obtuvo a través del servidor gratuito Earth Explorer de la Encuesta Geológica de los Estados Unidos (USGS, siglas en inglés).¹ La selección de la imagen se realizó teniendo en cuenta la disponibilidad del archivo de imágenes del satélite Landsat 8 OLI/TIRS, lanzado al espacio el 11 de febrero de 2013, siendo la versión más reciente de los Landsat que cuenta con un sensor térmico infrarrojo (TIRS). Por ser este estudio un análisis de carácter espacial, se seleccionó solo una imagen reciente que presentara buena calidad en cuanto a la presencia de nubes en la zona de estudio.

Tratamiento de imágenes satelitales y obtención de indicadores (TS, NDVI, NDWI y NDBI)

Como proceso inicial, se realizó la conversión de los niveles digitales (ND) de las bandas térmicas a temperatura de la superficie (TS). En este caso, no se realizó la corrección atmosférica, ya que la imagen se obtuvo en buenas condiciones, además de estar georreferenciada, lo cual facilitó el procesamiento de la misma. Todo el procesamiento digital de la imagen se realizó utilizando ArcGis 10.1. Inicialmente se realizó la corrección radiométrica, es decir, la conversión de los números o niveles digitales (ND) de las bandas térmicas (10 y 11) en valores físicos, utilizando en este caso la ecuación de la radiancia (Ecuación 1).

Ecuación 1

$$L_{\lambda} = M_L * Q_{cal} + A_L$$

Donde:

- L_{λ} : Radiancia espectral
- M_L : Radiance_Mult_Band x (valor encontrado en el metadato de la imagen)
- Q_{cal} : Banda X
- A_L : Radiance_add_Band x (valor encontrado en el metadato de la imagen)

Posteriormente, a través de la Ecuación 2, se calculó la temperatura de brillo superficial T para cada banda térmica, obteniendo finalmente el valor promedio.

Ecuación 2

$$T = \frac{K_2}{L_n \left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1 \right)}$$

Donde:

- T: Temperatura de brillo superficial
- L_{λ} : Radiancia espectral
- K_1 : Constante de conversión K_1 específica para cada banda (valor encontrado en el metadato de la imagen)
- K_2 : Constante de conversión K_2 específica para cada banda (valor encontrado en el metadato de la imagen)

Luego se halló la emisividad de la superficie por medio de la Ecuación 3.

Ecuación 3

$$e = \epsilon_v * P_V + \epsilon_s * (1 - P_V)$$

Donde:

- e: Emisividad de la superficie terrestre (LSE, por sus siglas en inglés)
- ϵ_v : Emisividad de la vegetación (Cuadro 1)
- ϵ_s : Emisividad del suelo (Cuadro 1)
- P_V : Fracción de la cobertura vegetal, la cual se calcula con la Ecuación 5, para lo cual es necesario el cálculo previo del NDVI, mediante la Ecuación 4.

Cuadro 1. Valores de emisividad.

Emisividad	Band 10	Band 11
Suelo	0,971	0,977
Vegetación	0,987	0,989

Fuente: Xiaolei et al. (2014).

1 <http://earthexplorer.usgs.gov/>

Ecuación 4

$$NDVI = \frac{Band\ 5 - Band\ 4}{Band\ 4 + Band\ 5}$$

Donde:

Band 5: Banda del infrarrojo cercano

Band 4: Banda del rojo visible

Ecuación 5

$$P_V = \left(\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^2$$

Finalmente se calcula la temperatura de la superficie con la Ecuación 6 para cada banda térmica, obteniendo como resultado final la temperatura promedio de la superficie.

Ecuación 6

$$T_s = \frac{T}{I} + \lambda * \left(\frac{T}{\rho} \right) * \ln(e)$$

Donde:

T_s : temperatura de la superficie

T : Temperatura de brillo superficial

λ : Longitud de onda de radiación emitida

ρ : 14380, constante extraída de la fórmula $h * c/s$ ($1.438 * 10^{-2}$ mK)

h : Constante de Planck ($6.626 * 10^{-34}$ Js)

c : Constante de Boltzmann ($1.380 * 10^{-23}$ J/K)

s : Velocidad de la luz ($2.998 * 10^8$ m/s)

e : Emisividad de la superficie

Una vez obtenida la T_s , se procedió al cálculo del NDBI y el NDWI, utilizando las Ecuaciones 7 y 8 respectivamente.

Ecuación 7

$$NDBI = \frac{Band\ 6 - Band\ 5}{Band\ 6 + Band\ 5}$$

Ecuación 8

$$NDWI = \frac{Band\ 5 - Band\ 6}{Band\ 5 + Band\ 6}$$

Donde:

Banda 5: Banda del infrarrojo cercano

Banda 6: Banda del infrarrojo medio

Definición de parámetros respecto a los índices estimados para identificar islas de calor

Inicialmente se realizó un análisis estadístico de los valores obtenidos para los índices calculados clasificados por comunas² para determinar medidas de tendencia central como la media, y valores máximos y mínimos para el caso de la TS. A partir de lo anterior, se clasificó cada comuna según la máxima intensidad de ICU que presentaban, utilizando las categorías sugeridas por Fernández (1996), identificando como islas de calor las zonas en donde la temperatura máxima supera en más de 2 °C la temperatura superficial promedio del área analizada como se muestra en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Clasificación máxima intensidad de ICU.

Clasificación	Temperatura (°C)
Débil	Hasta 2
Moderada	2 a 4
Fuerte	4 a 6
Muy fuerte	> 6

Fuente: Fernández (1996).

Respecto a los índices NDVI, NDWI y NDBI, se definieron los criterios que permiten identificar las principales características de la superficie por comuna, teniendo en cuenta que estos varían en un rango de -1 a 1 como se muestra en el Cuadro 3. Esta clasificación se realizó para determinar cómo influye el tipo o cobertura de la superficie en el comportamiento de la temperatura en el municipio.

2 La clasificación se realizó por comunas ya que estas corresponden a la división político-administrativa de ordenamiento, gestión y planificación de la zona urbana de Santiago de Cali.

Cuadro 3. Clasificación de los indicadores NDVI, NDWI y NDBI.

Descripción	NDVI	NDWI	NDBI
Vegetación sana y densa	$\geq 0,5$	$> 0,05$	< 0
Vegetación en estado crítico o suelo semidescubierto	0,2	> 0	0
Zonas edificadas o descubiertas	$< 0,2$	≤ 0	> 0
Agua	< 0	> 0	< 0

Fuente: Adaptado de Sancha (2010), Chen et al. (2006) y Uddin et al. (2010).

Identificación y descripción de las Islas de Calor Urbanas (ICU)

La identificación de las ICU se realizó con base en la TS a partir del valor promedio al interior del área urbana, seleccionando aquellas comunas que presentaron temperaturas cercanas o superiores a los 4 °C del promedio de toda la zona urbana, es decir, de ICU moderada a fuerte, apoyado por la identificación visual del mapa que indica los sitios de mayor TS. A partir de esta selección se identificaron las principales características físicas de las comunas donde se presentan las ICU, en particular con base en los resultados preliminares del censo arbóreo realizado en el municipio de Cali durante 2014–2015 por la CVC, el DAGMA y la Universidad Autónoma de Occidente.

Formulación de propuestas para el tratamiento de las ICU

Identificadas y descritas las características de las ICU, se formularon las medidas, propuestas y lineamientos de gestión que permitirán reducir el efecto de la temperatura sobre el municipio, orientados principalmente hacia un

mejor aprovechamiento y uso adecuado del espacio público y alternativas en materiales y modelos de construcciones urbanas.

Socialización de resultados y análisis de la identificación de las islas de calor de Santiago de Cali

Una vez obtenidos los resultados del análisis de ICU en el municipio e identificadas las principales características de las zonas en donde se presentan estas condiciones climáticas, se realizó una socialización de los principales resultados, con base en un taller en donde los participantes y personas interesadas en el tema expusieron sus opiniones, inquietudes y sugerencias al respecto. Esto permitió complementar y validar las estrategias y lineamientos propuestos arriba mencionados. Este taller tuvo lugar en las instalaciones de la Unidad Municipal de Asistencia Técnica Agropecuaria (UMATA), el 4 de diciembre de 2015 y asistieron principalmente profesionales del DAGMA y UMATA. En el Anexo 1, se encuentra la invitación y programación del taller.



Cristo Rey

Fuente: <http://bit.ly/1Tm2UfK>

Resultados

Selección de imágenes satelitales recientes

Para este estudio, se utilizó parte de la imagen Landsat 8 OLI/TIRS, identificada con el código 9 – 58 (Path y row), con fecha y hora del 20 de junio de 2015 a las 3:18 p.m. La imagen cuenta con 11 bandas espectrales, las cuales tienen un tamaño de pixel de 30 m para las bandas OLI 1 a 7 y 9; 15 m para la banda 8 y 100 m para

las bandas TIRS 10 y 11, pero remuestreadas a 30 m. El sector de la imagen corresponde al perímetro urbano del municipio de Santiago de Cali. Para efectos del estudio, se utilizaron solo 5 de las 11 bandas espectrales, las cuales se muestran a continuación.

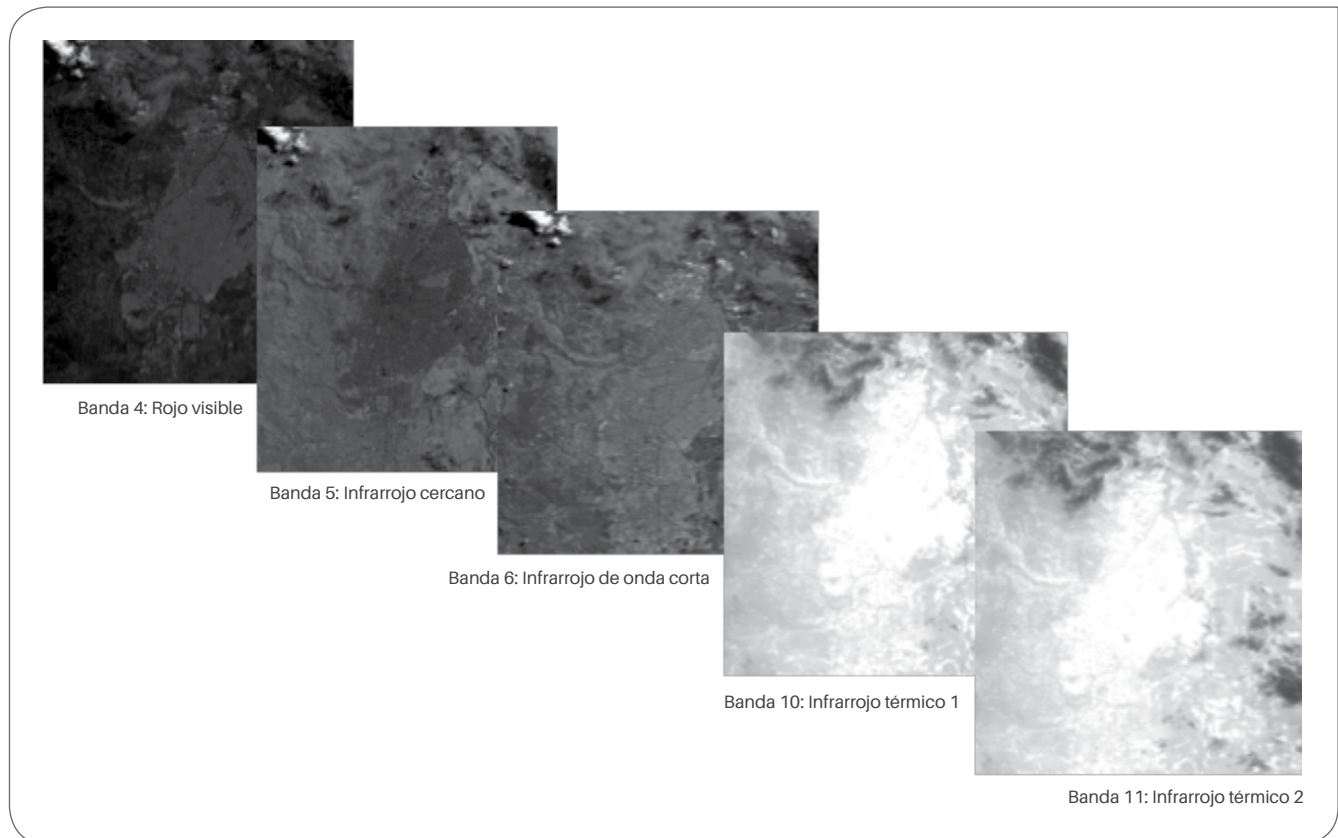


Figura 2. Bandas espectrales del sensor Landsat 8 para el análisis de las ICU.

Tratamiento de imágenes satelitales y obtención de indicadores (TS, NDVI, NDWI y NDBI)

En la Figura 3, se presenta el resultado del cálculo de la TS terrestre para el municipio de Santiago de Cali, con una temperatura promedio de 23,07 °C, una máxima de 27,2 °C y una mínima de 16,1 °C, siendo las zonas centro y oriente del municipio las que reflejan mayores TS y las zonas sur y occidente las de menor temperatura.

En las Figuras 4, 5 y 6, se presenta el resultado de los NDVI, NDWI y NDBI. Los índices, en general, muestran que la zona centro y oriente del municipio es la que presenta el mayor déficit de vegetación (Figura 4) con valores que varían entre -0,135 a 0,106, en condiciones de baja humedad del suelo, como lo indica la Figura 5 (-0,308 a -0,040) y mayor área construida con valores

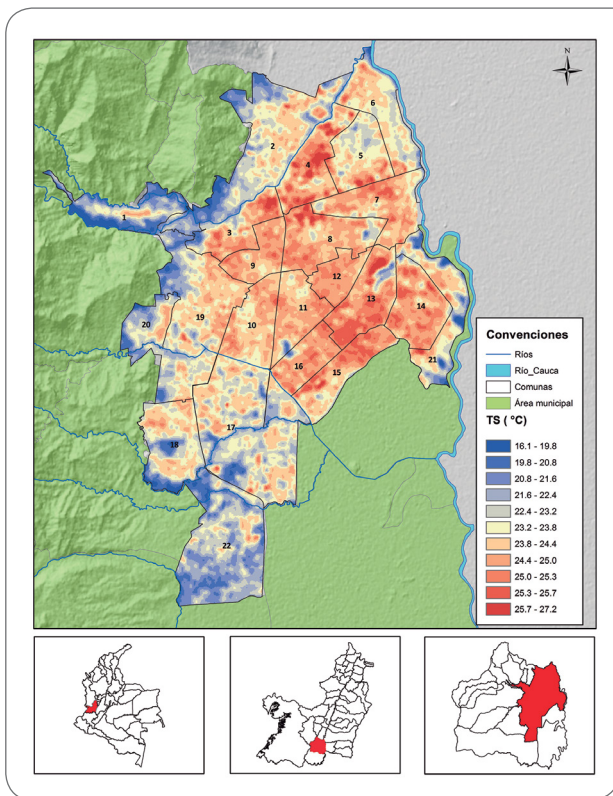


Figura 3. Temperatura superficial terrestre en °C del municipio de Santiago de Cali.

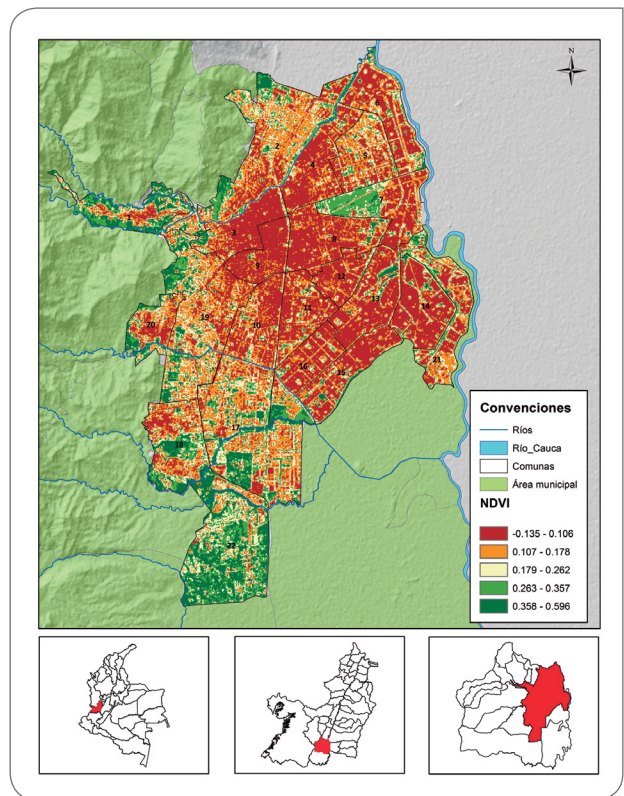


Figura 4. NDVI para el municipio de Santiago de Cali.

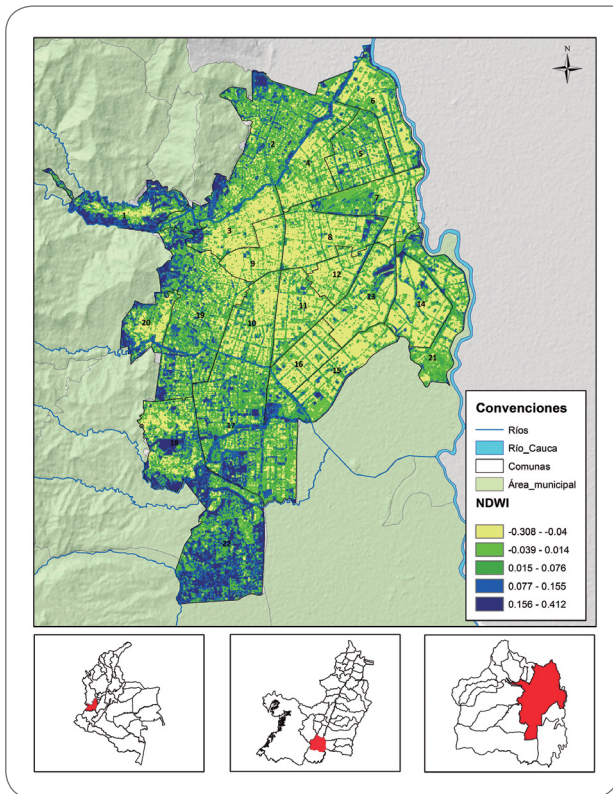


Figura 5. NDWI para el municipio de Santiago de Cali.

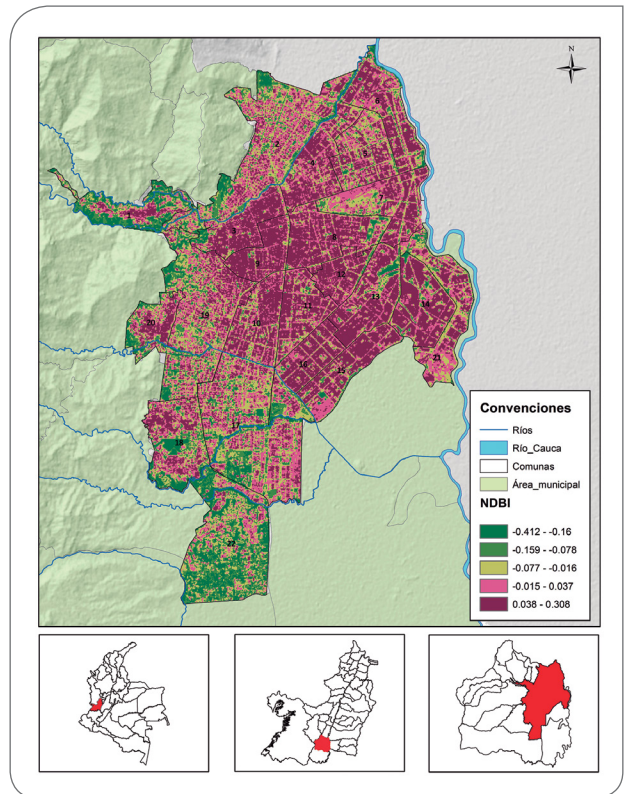


Figura 6. NDBI para el municipio de Santiago de Cali.

de 0,038 a 0,308 como se muestra en la Figura 6. Los resultados presentados reflejan principalmente que la temperatura superficial se relaciona de forma directa con la presencia o ausencia de vegetación en el municipio, siendo las zonas con mayor índice de vegetación (sur y occidente) las que presentan mayor confort habitacional al generar ambientes climáticamente más agradables por la disminución de la temperatura superficial como un servicio ecosistémico de las coberturas vegetales. Caso contrario pasa en las zonas de menor índice de vegetación, en donde las temperaturas máximas afectan las condiciones ambientales y, por ende, la calidad de vida de sus habitantes. Esto en relación a los efectos que pueden generar las altas temperaturas en la salud y el bienestar de las personas.

Definición de parámetros respecto a los índices estimados para identificar islas de calor

Con base en los resultados de la TS para el municipio de Cali, el Cuadro 4 muestra la clasificación de las 22 comunas de acuerdo a la intensidad de las ICU que se presentan con base en lo propuesto por Fernández (1996) (ver Cuadro 2). Las comunas del municipio representan islas de calor con intensidades que van desde débil como las comunas 1, 18, 20 y 22, cuya diferencia con la TS promedio (23,07 °C) no supera los 2 °C, hasta fuerte como la comuna 4, con una diferencia de más de 4 °C. La mayor parte del municipio presenta condiciones moderadas con algunas comunas con tendencia hacia una intensidad fuerte como la 3, 5, 8 y 13. En el Anexo 2, se muestra la TS máxima, media y mínima por comuna.

Cuadro 4. Clasificación de la intensidad de las ICU por comuna.

Comuna	TS Máxima (°C)	Diferencia	Clasificación ICU
1	24,8	1,8	Débil
2	25,9	2,8	Moderada
3	26,9	3,9	Moderada-fuerte
4	27,2	4,1	Fuerte
5	26,8	3,7	Moderada-fuerte
6	25,5	2,4	Moderada
7	25,8	2,7	Moderada
8	26,9	3,8	Moderada-fuerte
9	25,6	2,5	Moderada
10	25,7	2,6	Moderada
11	25,5	2,4	Moderada
12	25,5	2,5	Moderada
13	27,1	4,0	Moderada-fuerte
14	26,0	2,9	Moderada
15	26,3	3,2	Moderada
16	25,8	2,8	Moderada
17	25,7	2,6	Moderada
18	25,1	2,0	Débil
19	25,7	2,6	Moderada
20	24,9	1,8	Débil
21	26,1	3,1	Moderada
22	25,0	2,0	Débil

La Figura 7 presenta la clasificación por tipo de cobertura para el municipio de Santiago de Cali, resultado del análisis de los indicadores NDVI, NDWI y NDBI, cuyos valores promedio por comuna se presentan en el Anexo 3. El municipio presenta cuatro tipos

característicos de cobertura de acuerdo al grado y estado de la vegetación y la presencia de áreas edificadas, siendo la zona centro-oriente (color gris) la que presenta mayor área construida o suelo descubierto (comunidades 3, 4, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 y 15).

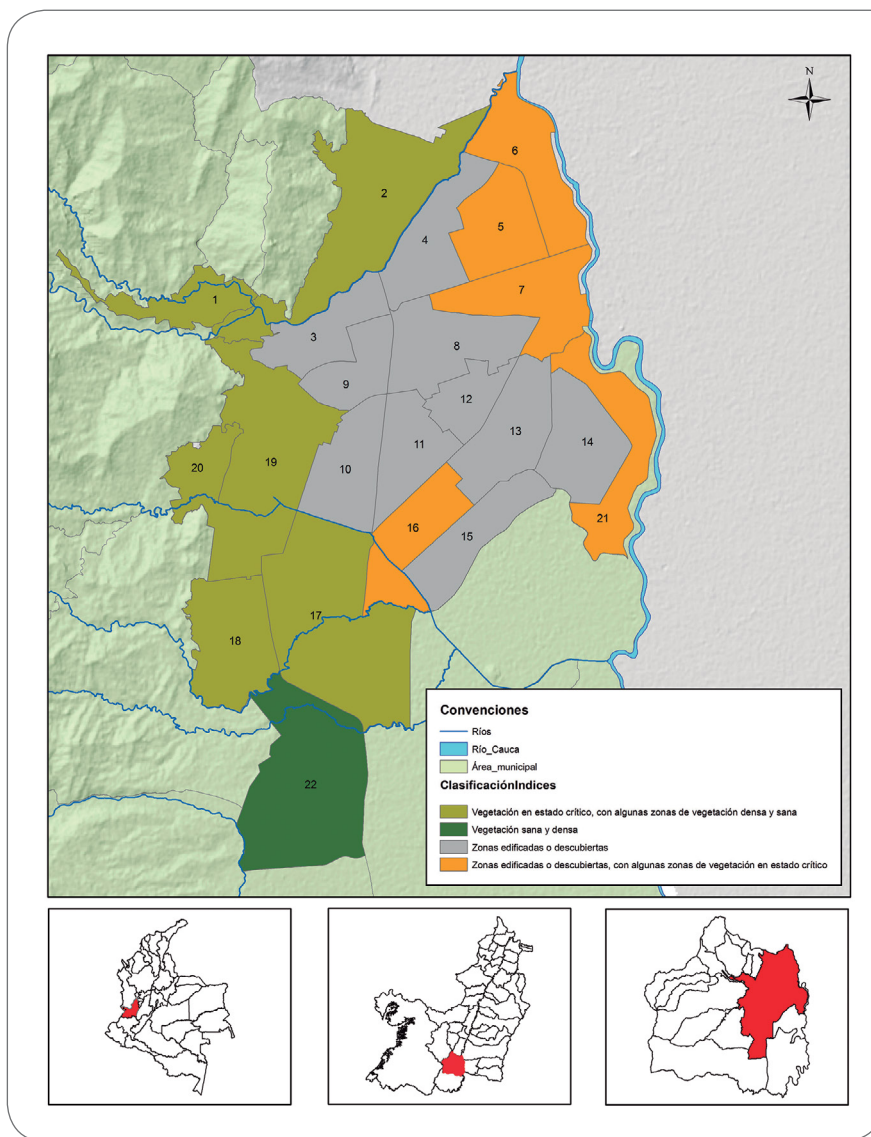


Figura 7. Clasificación por tipo de cobertura para el municipio de Santiago de Cali.

Hacia la zona nororiente (color naranja), el municipio presenta en su mayoría características de zona edificada o descubierta, pero hay presencia de algunas zonas con vegetación en estado crítico (comunidades 5, 6, 7, 16 y 21). En la zona occidental y sur (color verde claro), se presenta mayor grado de vegetación; sin embargo, esta se encuentra en su mayoría en estado crítico con

algunos sitios de vegetación sana y densa (19 y 20) y como comunas 1, 2, 17 y 18. Especial se encuentra la zona sur representada por la comuna 22 como la única área del municipio en donde se encuentra en mayor proporción coberturas con características de vegetación sana y densa.

Identificación y descripción de las islas de calor urbanas

A partir de la clasificación anterior, se seleccionaron las comunas que representan las principales ICU para el municipio de Santiago de Cali, siendo las comunas 3, 4, 5, 8 y 13 las zonas donde se hace más notable la presencia de este tipo de microclima. Estas comunas presentan características en su mayoría de suelo edificado o descubierto, con baja presencia de vegetación, y la poca cobertura existente presenta condiciones críticas, lo cual disminuye su valor y servicio ambiental. Estas comunas además presentan intensidad de TS moderada con tendencia hacia una condición fuerte.

En el Cuadro 5, se presentan algunas de las características de las comunas seleccionadas con presencia de ICU, siendo la comuna 4 la que presenta la

mayor intensidad y área de cobertura abarcando cinco barrios con estas condiciones de TS. Adicionalmente, esta comuna es la segunda en el municipio con menor área destinada a equipamiento recreativo, y a su vez la tercer comuna con menos espacio público de zonas verdes. Las actividades desarrolladas en las comunas seleccionadas se clasifican en tres campos: (1) actividad mixta, en donde se encuentran usos de vivienda, comerciales, industriales, entre otros, como las comunas 3 y 8 ubicadas en el centro del municipio; (2) actividad residencial predominante en las comunas 5 y 13, siendo esta última la segunda comuna con mayor densidad poblacional según las proyecciones para 2015 (DAPM, 2014a); y (3) actividad industrial en la comuna 4.

Cuadro 5. Características de las comunas identificadas con ICU.

Comuna	Clasificación ICU	Barrio ICU	Densidad poblacional proyectada a 2015	Área equipamiento recreación por comuna (ha) ^a	Espacio público efectivo		Actividad por área predominante (ha)
					Parques	Zonas verdes	
3	Moderada-fuerte	San Nicolás	46.400	1,10	131,70	41,90	Mixta ^b (53,7%)
4	Fuerte	Manzanares, Bolivariano, La Alianza, Evaristo García, Flora Industrial	53.369	0,5	75,90	17,1	Industrial (41,5%)
5	Moderada-fuerte	Villa del Prado	112.089	2,80	236	121,30	Residencial predominante (59,4%)
8	Moderada-fuerte	El Troncal e Industrial	102.388	2,20	28,40	50,10	Mixta (50,8%)
13	Moderada-fuerte	Villa del Lago	177.641	4,10	18,4	288,8	Residencial predominante (84%)

^a Zonas verdes, parques ornamentales, protectoras marginales de los cuerpos de agua, plazas y plazoletas, entre otros.

^b Equipamientos, vivienda, comercial, abastecimiento, servicios industriales, empresariales, entre otros.

Fuente: DAPM (2014a, b).

A continuación, se presenta una descripción general para cada una de las comunas que representan ICU en el municipio, de acuerdo con la presencia de vegetación arbórea y zonas de espacio público, como parques, zonas

verdes, plazas y plazoletas. Para esto, se tomaron como insumos los resultados del censo arbóreo realizado en el municipio de Cali en 2014–2015 y datos del DAPM (2014a).

Comuna 3

En esta comuna, la ubicación de la ICU se concentra hacia el barrio San Nicolás, en donde se desarrollan principalmente actividades industriales y comerciales. La distribución de árboles (Figura 8, derecha) muestra la baja densidad de vegetación que existe en la comuna, con un total de 534 árboles que representan el 9,1% del total de árboles censados en el municipio. De los árboles ubicados en la comuna, el 69% (367 árboles)

presentan una vitalidad regular, y los de mejor estado (sanos) se encuentran principalmente en la ribera del río Cali y al oeste de la comuna. A pesar de que hacia el lado derecho del barrio San Nicolás se presenta una amplia franja de zona verde, esta se encuentra descubierta de vegetación, lo que disminuye el servicio ambiental que este tipo de zonas presta al reducir el impacto de las altas temperaturas.

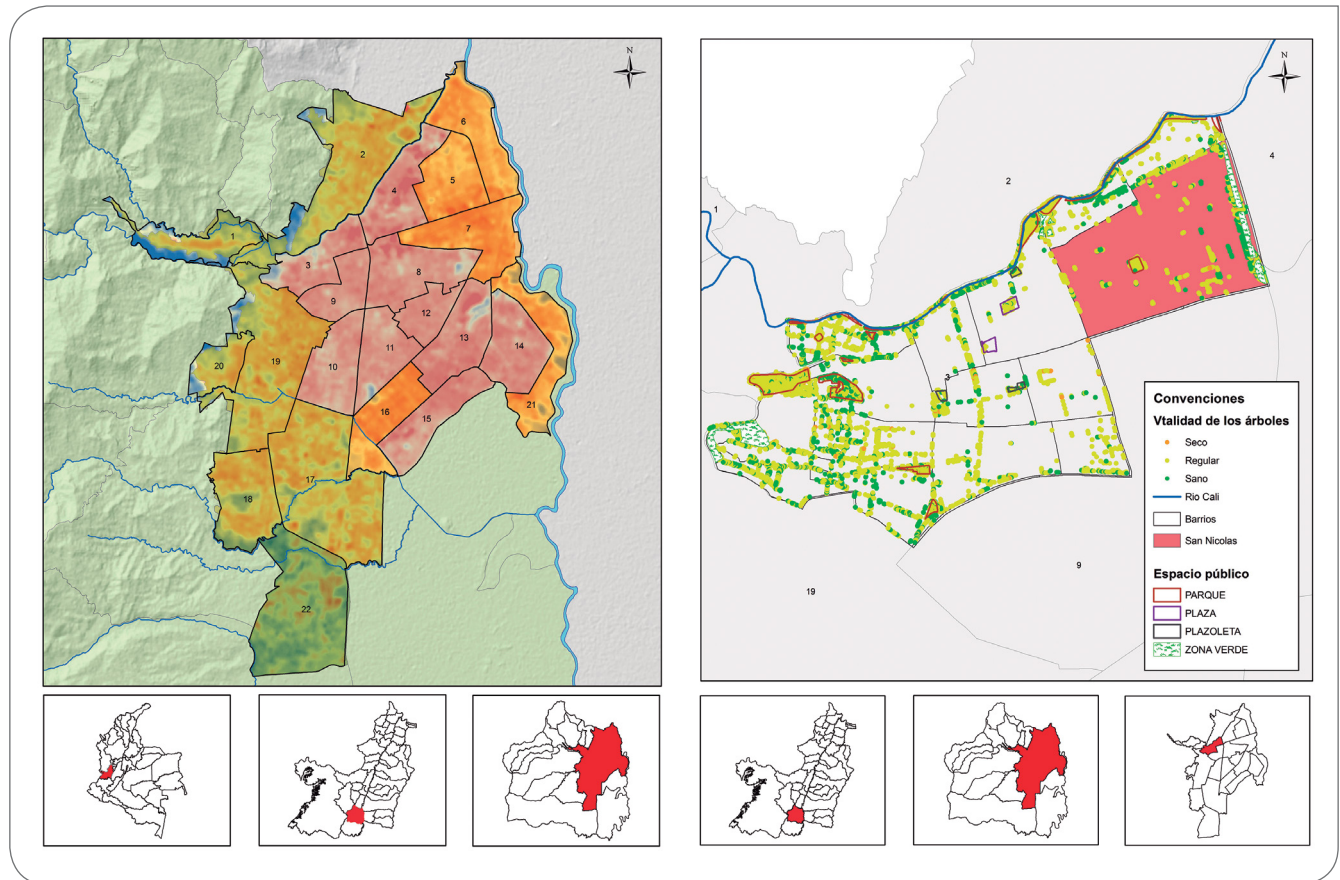


Figura 8. Principales características relacionadas con las ICU en la comuna 3.

Comuna 4

Las principales ICU se ubican en los barrios Manzanares, Bolivariano, Evaristo García, Flora Industrial y La Alianza, siendo este último el que presenta la mayor TS (Figura 9). El tipo de actividad que se desarrolla es, en su mayoría, de tipo industrial. La comuna concentra un total de 3.678 árboles que representan el 29,7% del

total de árboles del municipio. El 83% de los árboles (3.059) localizados en esta comuna se encuentran en un estado regular, y los que presentan condiciones sanas se concentran hacia el sur de la comuna. En relación al espacio público en las zonas donde se ubican las ICU, no existen zonas verdes ni parques con áreas significativas.

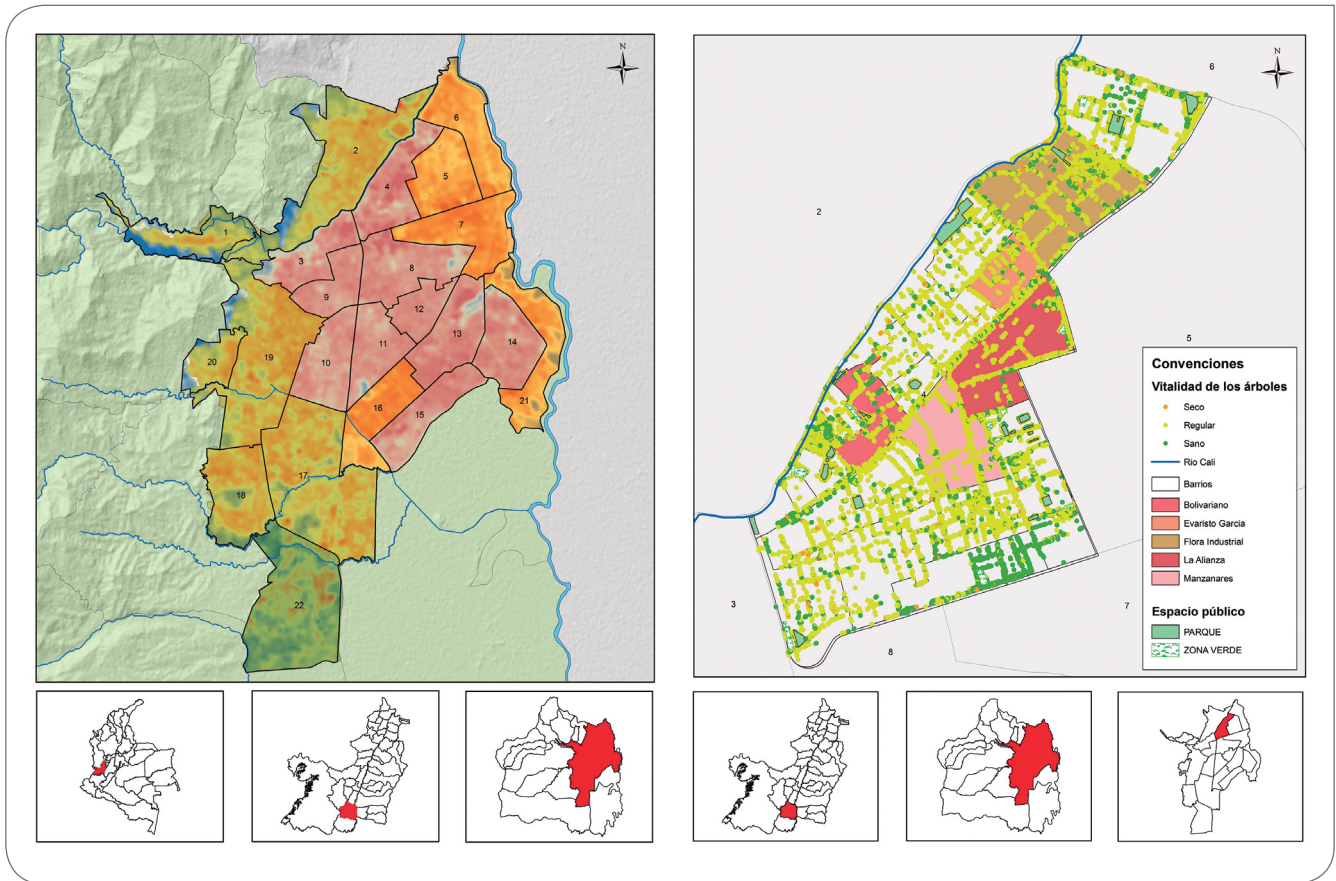


Figura 9. Principales características relacionadas con las ICU en la comuna 4.

Comuna 5

En el caso de la comuna 5, la ubicación de la ICU se localiza en el barrio Villa del Prado hacia el sector sur, donde se observa menor densidad arbórea y actividad industrial (Figura 10). En esta comuna, se encuentran un total de 2.726 árboles, que representan el 15,5% del total del municipio y de los cuales el 70% presenta

condiciones de vitalidad regular. Existen amplias zonas verdes y parques al interior de la comuna; sin embargo, presentan condiciones de suelo descubierto y vegetación en estado regular, lo que disminuye el efecto de control sobre la temperatura de la zona.

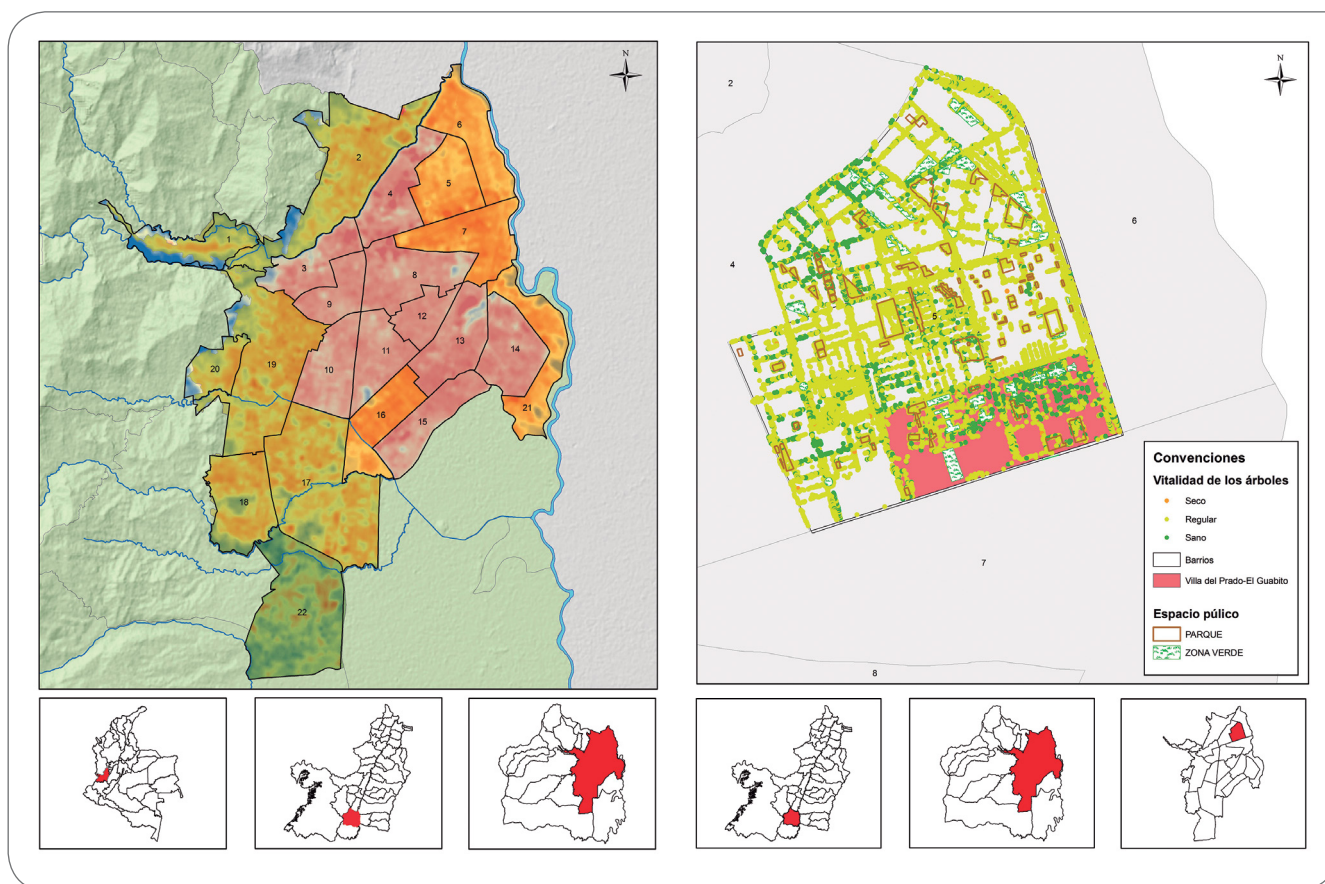


Figura 10. Principales características relacionadas con las ICU en la comuna 5.

Comuna 8

La ICU localizada en esta comuna se ubica en los barrios El Troncal e Industrial en el norte de la comuna (Figura 11), donde se presentan actividades de tipo mixto. En esta comuna, se localizan 2.649 árboles, que representan el 18,5% del total que se encuentran en el municipio. Estos árboles en su mayoría (75,5%) presentan un estado de vitalidad regular. Existen espacios públicos como plazas, plazoletas y zonas verdes, siendo los parques el espacio público más representativo, sin presentar áreas de gran magnitud.

Comuna 13

La ICU localizada en la comuna 13 se ubica en el barrio Villa del Lago, representando la misma distribución espacial que este (Figura 12). Esto es reflejo de la gran influencia que las características físicas y urbanísticas de la zona generan sobre el clima del municipio. La comuna 13 presenta uno de los porcentajes más bajos de densidad arbórea del municipio con un 1,3%, representado en 84 árboles de los cuales el 78,5% presentan un estado de vitalidad regular. En esta zona, se encuentra una de las mayores áreas de espacio público de zona verde del municipio, localizada alrededor de la laguna del Pondaje; sin embargo, son áreas descubiertas, sin vegetación y ocupadas por asentamientos de tipo ilegal.

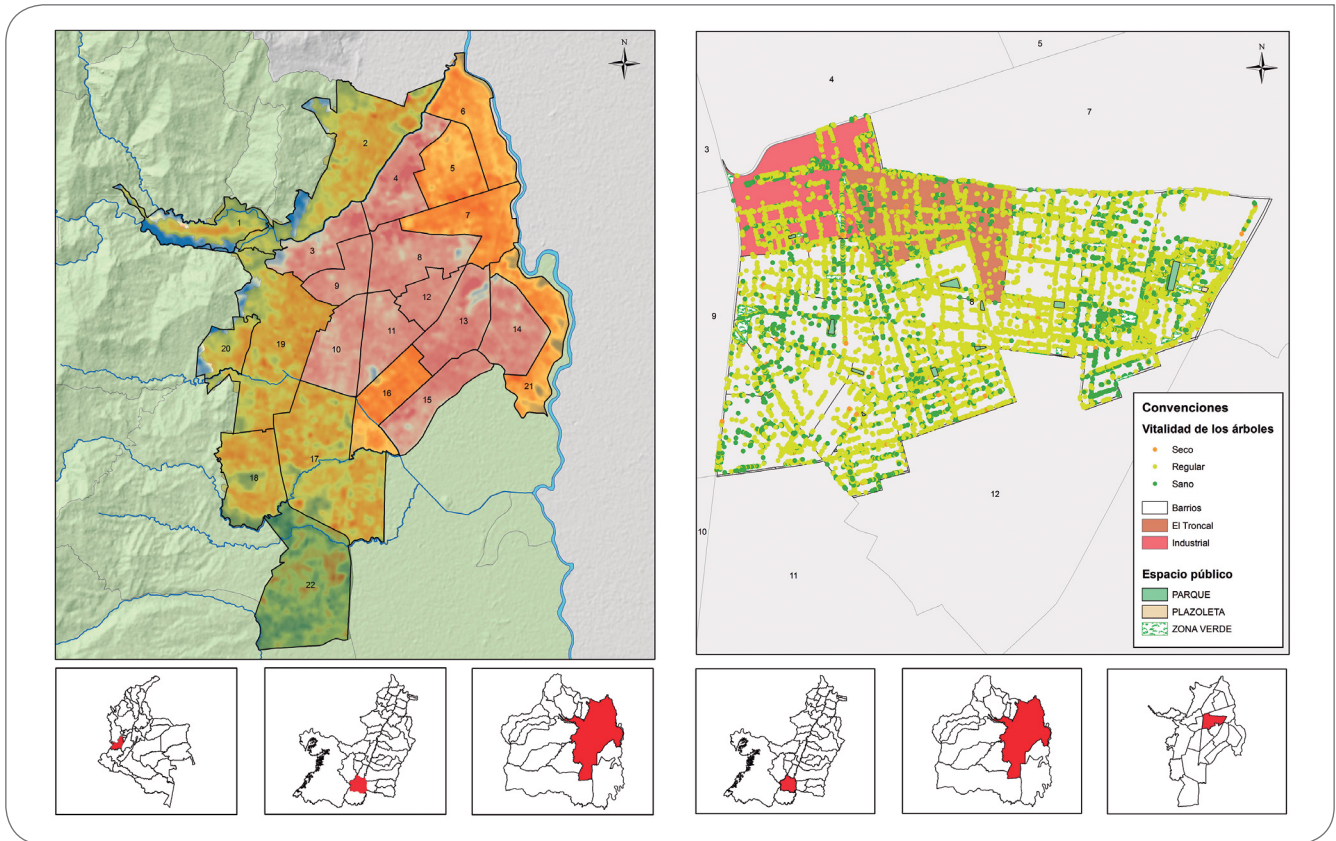


Figura 11. Principales características relacionadas con las ICU en la comuna 8.

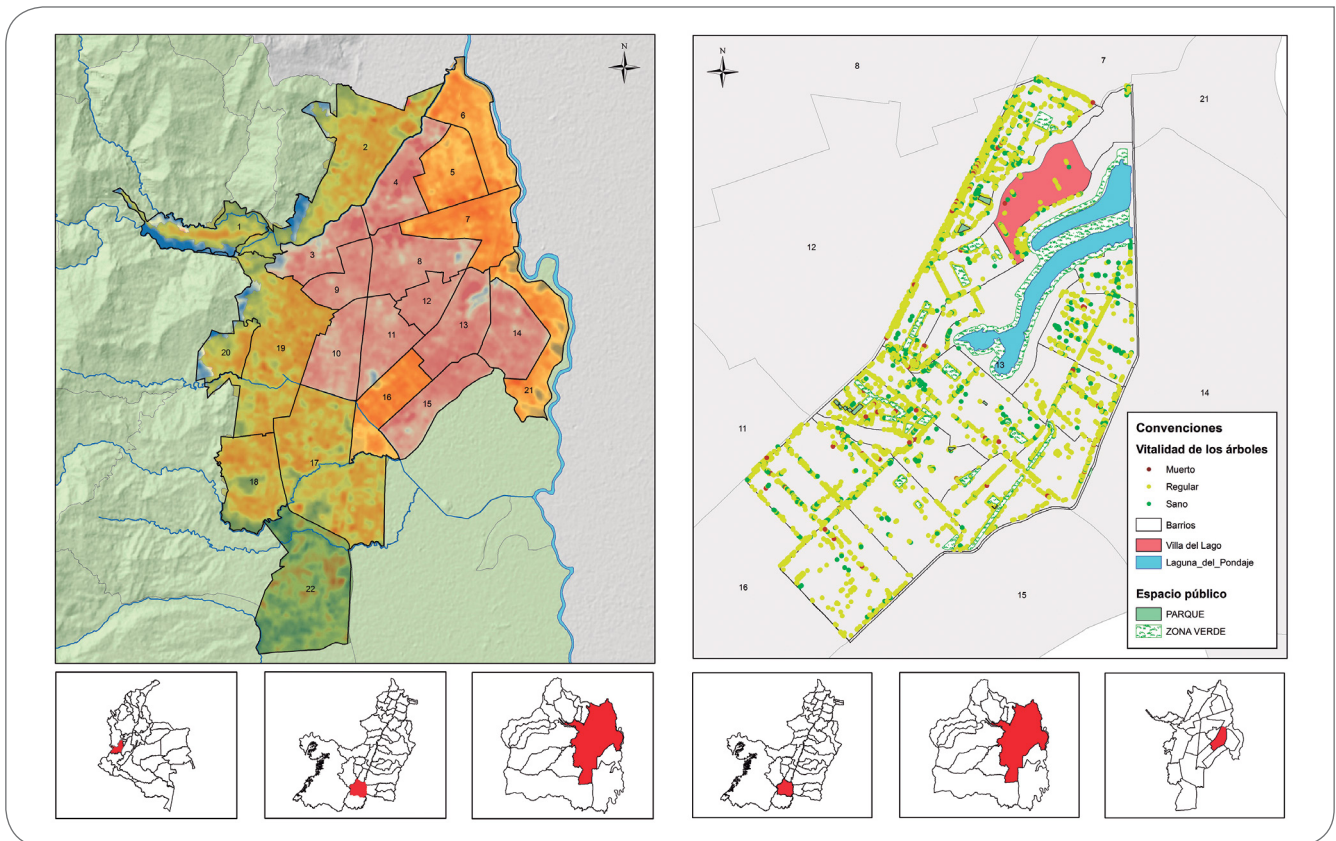


Figura 12. Principales características relacionadas con las ICU en la comuna 13.

Formulación de propuestas para el tratamiento de las ICU

Dentro de las propuestas que se plantean para el tratamiento de las ICU en el municipio de Santiago de Cali, se retoman algunos lineamientos y estrategias planteadas en el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del municipio (DAPM, 2014a), clasificado principalmente en tres componentes que involucran procesos de mejoramiento de la calidad ambiental, de la vivienda y del espacio público del municipio, y que con base en los resultados obtenidos en el análisis de las ICU del municipio, corresponden a los principales componentes que intervienen y caracterizan la aparición de estos microclimas. En el Cuadro 6, se presentan algunas de las propuestas y estrategias planteadas desde el POT

con las cuales se pueden generar procesos de mitigación de los efectos de las ICU sobre los sitios más críticos del municipio.

Con base en lo planteado por el POT, se vienen adelantando en el municipio diversos proyectos que buscan principalmente la recuperación del espacio público, como zonas verdes, siembra de árboles y renovación urbana. Las estrategias y acciones que componen estos proyectos se encuentran directamente relacionadas con las principales medidas que deben implementarse en el municipio para el tratamiento de las ICU identificadas. A continuación, se mencionan los principales proyectos considerados como clave en el mejoramiento de las condiciones ambientales y de confort urbano del municipio.

Cuadro 6. Propuestas y estrategias para el tratamiento de las ICU en el municipio.

Componente	Propuesta	Estrategias
Calidad ambiental	Mejorar la calidad de vida del hábitat urbano y rural, previniendo y mitigando los efectos del cambio climático	<ul style="list-style-type: none"> • Incremento en la oferta y mejoramiento de la calidad ambiental de parques, zonas verdes y arborización urbana • Renovación y re-densificación urbana, mejoramiento integral de barrios, promoción de mecanismos de generación, mejoramiento y sostenibilidad del espacio público
Vivienda	<p>Aprovechar las áreas seleccionadas del municipio en las cuales es posible la re-densificación mediante el ajuste de normas de edificabilidad y tratamientos urbanísticos</p> <p>Adelantar acciones encaminadas a impulsar procesos de mejoramiento urbano a través de actuaciones que posibiliten adecuadas condiciones habitacionales</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Definir condiciones diferenciales en el municipio para la formulación y ejecución de intervenciones asociadas a la renovación urbana • Definir criterios y normas para la transición de las áreas identificadas con programas de mejoramiento integral de barrios a tratamiento urbanístico de consolidación
Espacio público	<p>Incrementar el índice de espacio público efectivo a partir de la generación de espacio público de escala urbana y regional</p> <p>Establecer la priorización de proyectos de espacio público por barrios con el objetivo de aumentar la cobertura en espacio público efectivo de escala local y zonal</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Generar nuevas áreas de espacio público de escala local en las áreas que se encuentran por debajo del índice promedio actual, de 2,6 metros cuadrados por habitante • Aumentar la generación de espacio público a través de la regularización e implantación de equipamientos, comercio y otros usos, mediante instrumentos de planeación • Desarrollar el instrumento para administrar y gestionar el espacio público, en el cual se establezcan los mecanismos que permitan su manejo • Generar espacio público de calidad en los nodos de equipamientos y centralidades, tales como alamedas, plazas, parques y plazoletas

Fuente: DAPM (2014a).

Proyecto Corredor Verde

Este proyecto se considera como el nuevo eje de desarrollo del municipio, siendo un eje articulador y estructurante del ordenamiento territorial (DAPM, 2014a), desarrollado por la Alcaldía de Santiago de Cali, Gerencia de Gestión e Innovación de Proyectos (GIP Pacífico), Empresas Municipales de Cali (EMCALI), Empresa de Energía del Pacífico (EPSA), Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Cámara de Comercio de Cali y Grupo Empresarial Vallecaucano (GEV). El Corredor Verde se llevará a cabo con el fin de posicionar a Santiago de Cali como una ciudad más moderna e incluyente, recuperando más de 22 km de vía férrea, incluidos sus alrededores, los cuales son ocupados por bodegas, industrias, invasiones, zonas abandonadas e inseguras. Esto con la intención de reintroducir la naturaleza en ambientes grises y contaminados, fortaleciendo así la estructura ecológica principal del municipio, recuperando un espacio público importante y ayudando a generar una movilidad sostenible, además de amable con el medio ambiente. Para esto, se pretende recuperar la vegetación comprometida, incorporando elementos como ciclovías, y finalmente la implementación de un tranvía contribuirá a un nuevo modelo de ciudad sostenible ambientalmente. Este proyecto comprende un trayecto que va de norte a sur desde la Calle 70 con Avenida 4 Norte (límite con el municipio de Yumbo) hasta la Calle 25 con Carrera 126 (límite con el municipio de Jamundí) y en su trayecto oriente-occidente entre la Carrera 7 con Carrera 8 desde la Calle 25 hasta la Calle 73. La construcción del proyecto comprende tres fases:

1. Obras correspondientes a la Carrera 8 (año 2015).
2. Adecuar espacios públicos en el trayecto norte-sur, incluyendo ciclo vía (años 2016-2017).
3. Construcción del tranvía, garantizando la sostenibilidad del medio de transporte a través de la demanda que pueda tener.

Proyecto de siembra de 20.000 árboles en el municipio

Este proyecto surge de la necesidad e importancia del manejo ambiental del municipio de Santiago de Cali y propone mecanismos que fomenten la participación

directa de las comunidades en el manejo y conservación de los ecosistemas urbanos, en búsqueda de una ciudad saludable y sostenible. Se busca además que las áreas y espacios verdes del municipio jueguen un papel importante en la mitigación de los efectos del cambio climático, ayudando a moderar microclimas urbanos como las ICÚ, buscando contribuir con el mejoramiento de la calidad y la salud pública. Dentro de los principales objetivos del proyecto, se encuentran:

- La promoción de procesos de participación ciudadana que sean de utilidad para la implantación de acciones de recuperación de las zonas verdes del casco urbano de Santiago de Cali.
- Desarrollo de iniciativas generadas desde las organizaciones locales para la gestión y la conservación de los recursos naturales del casco urbano del municipio de Santiago de Cali.
- La sensibilización, conscientización y empoderamiento de los habitantes del casco urbano de Santiago de Cali acerca de la importancia de la participación y la organización para la gestión de los recursos naturales.
- La recuperación paisajística de Santiago de Cali.
- La reducción del impacto ambiental que ha causado la desaparición de masa vegetal.

Según indicadores de la Organización Mundial de la Salud (OMS), una ciudad como Santiago de Cali debería tener una población arbórea cercana a los 800.000 árboles (un árbol por cada tres habitantes, incluyendo espacios públicos y privados). Sin embargo, de acuerdo con los resultados del censo arbóreo de 2014-2015, se han contabilizado cerca de 290.000 árboles en espacios públicos. Estos resultados generan la necesidad de fortalecer, además de las actividades de siembra y renovación del arbolado urbano, actividades de educación, apropiación y empoderamiento social. El proyecto plantea la siembra de tres tipos de especies, entre ellas, de porte bajo, medio y alto con alturas que van desde los 6 a los 12 m, principalmente en las comunas 3, 4 y 8. Este proyecto es liderado por la Administración Municipal de Santiago de Cali y la CVC. En la actualidad, se han sembrado alrededor de 17.000 árboles en el municipio;

sin embargo, la ubicación de los sitios de siembra ha sido uno de los principales inconvenientes del proyecto, ya que no existen zonas de espacio público adecuadas o disponibles para tal fin.

Proyecto Ciudad Paraíso

Ciudad Paraíso es un proyecto de renovación urbana ubicado en el centro tradicional, corazón del municipio de Santiago de Cali, cuyo principal objetivo es la transformación y dinamización de este importante sector. La revitalización de esta zona del municipio se da gracias al restablecimiento de las diferentes actividades que se desarrollan en su interior, con vocación que va desde la residencial, cultural, hasta comercial y de servicios. El proyecto busca el establecimiento de nuevos equipamientos institucionales y culturales, la generación de nuevas áreas comerciales, de servicios, vivienda, espacio público e infraestructura, propiciando con ello transformaciones no solo en lo urbano-arquitectónico, sino también en lo social, mejorando la calidad de vida de todos los ciudadanos. El proyecto tiene una extensión de 23,16 ha, equivalente a 30 manzanas, y abarca 926 predios. Se recuperarán 35.604 m² de zonas verdes para uso público, se renovararán 33.406 m² de vías, se construirán edificios de hasta 12 pisos que darán lugar a 2.464 apartamentos potenciales y un área de 465.822 m² para uso comercial. Este proyecto se ejecutará en tres fases. La primera tendrá lugar en la zona que comprende la Fiscalía General de la

Nación y El Calvario; la siguiente fase en San Pascual y, por último, en Sucre.

Adicionalmente, existen algunas estrategias que se vienen implementando a nivel mundial que buscan reducir el impacto del cambio climático sobre los centros urbanos, caracterizados principalmente por la presencia de islas de calor. Entre ellas, se encuentran la utilización de materiales de construcción que disminuyan o mitiguen los efectos de los factores ambientales como las altas temperaturas sobre las superficies edificadas; y adaptaciones en estructuras ya edificadas como los llamados techos verdes. En Colombia, existe el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible (CCCS), que es una red de más de 135 miembros entre personas, empresas y entidades que promueven la transformación de la construcción. Este Consejo afirma que el mayor potencial de mitigación de gases de efecto invernadero está en el sector edificador y en las ciudades. En la actualidad, existen normatividades en relación a los materiales que se emplean para la construcción de nuevas edificaciones, que obligan a la utilización de materiales cuyos compuestos ayuden a mitigar el efecto de calentamiento de las superficies edificadas, con el fin de mantener una temperatura estable al interior de las edificaciones sin interferencia de los cambios del clima. Además de mantener los niveles térmicos al interior de las construcciones, este tipo de materiales genera construcciones más livianas y aíslan el ruido. Algunos de los materiales más utilizados para tal fin se listan en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Materiales de construcción para reducir los efectos del calentamiento de las superficies.

Material	Descripción
Ladrillo de cenizas volcánicas	Utilizado principalmente en la construcción de pequeñas edificaciones como casas. Es un material natural utilizado como aislante térmico y sonoro
Fibra de carbono	Es un material que aumenta la resistencia y disminuye el desgaste estructural de las construcciones, resistente a agentes externos y tiene efectos de aislante térmico
Pintura fotovoltaica	Permite el aprovechamiento de la energía solar para la generación de electricidad, disminuyendo la cantidad de radiación que alimenta las islas de calor
Espumas de poliuretano	Es un material utilizado como aislante térmico y absorbente acústico, se introduce entre las estructuras de panel yeso, las tejas o separaciones de paredes
Concreto celular o espumado	Por su naturaleza transpirable, ligera y durable, permite el aislamiento térmico y el flujo de la energía solar entre la superficie y la atmósfera
Techos planos fabricados con cloruros de polivinilo blanco	El color de la luz refleja el calor, manteniendo las estructuras más frescas en comparación con los techos tradicionales de color oscuro
Paneles solares	Actúan como tejado y brindan eficiencia energética al interior de las edificaciones

A lo anterior, se suma la tendencia de la construcción de edificios con cubiertas vegetales y jardines en las terrazas. Los techos verdes, técnicamente llamados “arquitectura vegetalizada”, son uno de los conceptos de construcción que puede significar un gran aporte en la calidad de vida de las grandes ciudades y, hoy por hoy, son clave para la solución de problemas públicos y privados en las ciudades.³ Esta es una alternativa que requiere una técnica adecuada y rigurosa que permita su legitimación en el tiempo. Esta alternativa es más factible en ciudades donde la zona verde por habitante no supera los 10 m², siendo este el valor mínimo que debería existir.

A nivel mundial, Alemania es la autoridad ambiental en materia de techos verdes, con 5 décadas de trabajo en su desarrollo y perfección, otorgando incentivos públicos a quien implemente esta alternativa, lo que impulsa su aplicación masiva. En materia de legislación, Toronto es la ciudad más avanzada. Allí es obligatoria la instalación de techos vivos en contextos urbanos. A nivel nacional en Colombia, se ha venido implementando a gran escala esta iniciativa y existe actualmente una guía técnica pionera en Latinoamérica llamada “Guía de techos verdes de Bogotá”, que detalla los mínimos criterios técnicos que deben tenerse en cuenta para no desestimar la tecnología de los mismos y evitar

que empiecen a construirse de manera desordenada. Algunas de las ventajas de la implementación de techos o cubiertas verdes son: permiten la captura de 0,2 kg de PM 10 (partículas contaminantes) por metro cuadrado al año; tienen la capacidad de absorber el 40% del agua lluvia; reducen el ruido entre 5 y 10 decibeles, dependiendo de la fuente de sonido; y pueden extender la vida de una cubierta a 40 años o el doble de una cubierta tradicional. La instalación de un metro cuadrado de cubierta verde extensiva cuesta entre COP\$180.000 y \$200.000.⁴

Socialización de resultados y análisis de la identificación de las islas de calor

Como resultado del taller realizado para la socialización de los hallazgos del análisis de ICU en Santiago de Cali, en general, las propuestas se orientaron principalmente a la recuperación del espacio público del municipio, a generar proyectos de innovación en materia de urbanización, a generar procesos de educación ambiental y a la regulación y cumplimiento de la normatividad en relación al tema. El Cuadro 8 enuncia las principales propuestas en relación a medidas que permitan mitigar los efectos de las ICU del municipio y prevenir la aparición de nuevos focos en la zona urbana.

Cuadro 8. Materiales de construcción.

Componente	Propuestas
Espacio público	Monitoreo y control a sector industrial para mitigar impacto de las islas de calor (reverdecimiento)
	Adopción de zonas verdes, incluyendo el interior de las empresas
	Recuperación de zonas verdes utilizadas como parqueaderos en toda el municipio
	Recuperación de zonas blandas para sembrar individuos arbóreos en estos sitios propiedad del municipio (aumento de cobertura vegetal)
	Siembra de árboles en sitios estratégicos del espacio público que se debe recuperar
Urbanización-construcción	Zonas de expansión y proyectos de vivienda nueva, adoptar iniciativas de techos verdes y utilizar materiales que aumenten el microclima
	Promover el uso de pintura blanca en fachadas y techos
Educación ambiental	Trabajar con comités ecológicos, Juntas de Acción Comunal (JAC), Juntas Administradoras Locales (JAL), escuelas y colegios para crear sentido de pertenencia
	Educación ambiental en todos los niveles
	Programas de educación ambiental en los barrios que se constituyen como islas de calor
Normatividad	Realizar convenio con el municipio de Yumbo para reforestar la zona industrial de Acopi

3 www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-9121821

4 Ídem.



Figura 13. Mesa de trabajo del taller de análisis de ICU.

Conclusiones

Los resultados encontrados en el análisis de ICU en el municipio de Santiago de Cali reflejan la existencia de zonas con presencia de islas de calor que afectan las condiciones de confort y calidad ambiental del municipio, con el aumento significativo de la temperatura superficial urbana, efecto que se percibe en mayor proporción en horas de la noche, cuando la temperatura almacenada durante el día por las superficies impermeables es liberada, creando ambientes térmicos más cálidos en comparación a las condiciones climáticas de lugares donde existe mayor presencia de vegetación y cobertura natural.

El municipio presenta un amplio déficit en espacio público, principalmente relacionado al espacio de zonas verdes y la densidad de árboles que se encuentran en las diferentes comunas y barrios. Esta deficiencia de coberturas naturales se debe principalmente a la ocupación del espacio público para actividades comerciales, industriales, urbanísticas y de invasión, que transforman las coberturas naturales del suelo, impermeabilizándolo e impidiendo el flujo energético natural, lo que ocasiona el almacenamiento de calor en dichas superficies.

El microclima urbano tiene una estrecha relación con la sensación de bienestar térmico de los habitantes de las ciudades, siendo la temperatura, el grado de humedad, la exposición a los vientos, la luminosidad e intensidad de los rayos solares los principales factores que condicionan la calidad de los espacios urbanos. Es por esto que, hacia la zona oeste y sur del municipio,

se perciben ambientes más agradables en relación al confort térmico, asociado con las condiciones y servicios ambientales que las coberturas vegetales propician.

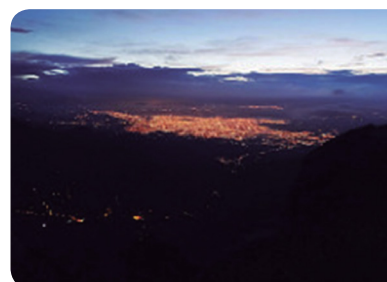
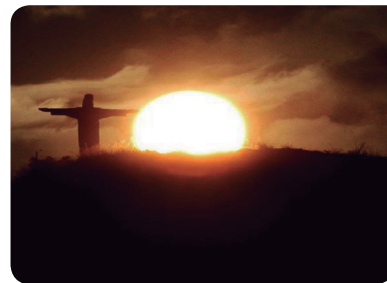
La aplicación de medidas para mitigar el efecto de las ICU pueden depender de muchos factores, entre ellos, algunos corresponden a medidas o estrategias de planificación, mientras que otros se escapan del uso y geometría de los espacios (Tumini, 2010). Comparando las dinámicas entre el espacio rural y el urbano, se puede concluir que el uso de espacios verdes y árboles en las ciudades es la medida más efectiva para reducir los efectos asociados a las ICU.

El municipio debe contar con sistemas de monitoreo eficientes de las condiciones ambientales del municipio en relación a la presencia de ICU, controlando constantemente el estado de la vegetación, las zonas verdes, la ocupación del espacio público, los procesos de urbanización, con el fin de generar estrategias y planes que promuevan mejores condiciones de vida para los habitantes y una mejor planificación del territorio.

La formulación de propuestas o estrategias para el tratamiento o reducción de los efectos de las ICU adquiere su importancia principalmente en relación a la reducción del consumo energético y el mejoramiento del confort urbano. Los elementos que regulan las ICU dependen principalmente del medio en el que estas se desarrollan, ya que las medidas implementadas para mitigar estas microzonas en un sitio específico posiblemente no son las mismas que se deban implementar en otro lugar.

Anexos

Anexo 1. Invitación y programación al Taller de Análisis de Islas de Calor Urbanas en el Municipio de Santiago de Cali.



4 de diciembre

Taller de Análisis de Islas de Calor Urbanas en el Municipio de Santiago de Cali

Convenio No. 110 de 2015

“Aunar esfuerzos y recursos humanos, económicos y técnicos para desarrollar acciones en el marco de la mitigación y la adaptación al cambio climático en el municipio de Santiago de Cali”

UMATA
Avenida 5AN # 20N-08, piso 8
Cali, Valle del Cauca
Sala de reuniones
4 de diciembre de 2015
9:00 a.m. a 1:00 p.m.



Taller de Análisis de Islas de Calor Urbanas en el Municipio de Santiago de Cali

4 de diciembre de 2015
UMATA, Avenida 5AN # 20N-08, piso 8, Cali

PROGRAMACIÓN

Hora	Actividad	Descripción
9:00	Registro y presentación de participantes	Registro (listado de asistencia) y presentación de participantes
9:30	Presentación general del Convenio	Presentación de las principales actividades que se enmarcan en el Convenio 110 de 2015
10:00	Presentación de las actividades, microzonificación climática para el municipio de Santiago de Cali e identificación de islas de calor	Presentación de la metodología y principales resultados de la microzonificación climática del municipio e identificación de las islas de calor urbanas en la ciudad
10:45	Refrigerio	
11:15	Taller de participación para formular propuestas en relación a las islas de calor urbanas	Taller en donde los asistentes formularán las acciones o estrategias que se pueden implementar en la ciudad para el tratamiento de las islas de calor urbanas
13:00	Cierre de la jornada	

Convenio No. 110 de 2015 para
“Aunar esfuerzos y recursos humanos, económicos y técnicos para desarrollar acciones en el marco de la mitigación y la adaptación al cambio climático en el municipio de Santiago de Cali”



Anexo 2. Temperatura superficial, máxima, media y mínima por comuna.

Comuna	Máxima	Media	Mínima
1	24,84	21,46	17,80
2	25,92	22,72	18,83
3	26,94	24,14	19,69
4	27,19	24,66	21,82
5	26,79	23,79	21,16
6	25,49	23,43	18,44
7	25,81	24,31	20,67
8	26,88	24,50	20,45
9	25,58	24,55	22,81
10	25,65	24,21	22,67
11	25,48	24,28	20,05
12	25,54	24,65	23,36
13	27,09	24,74	20,52
14	26,00	24,61	21,14
15	26,27	24,51	21,69
16	25,84	24,11	20,37
17	25,69	23,17	19,29
18	25,06	23,00	18,95
19	25,68	23,20	19,22
20	24,91	22,55	18,89
21	26,13	23,06	16,45
22	25,05	22,08	19,01

Anexo 3. Clasificación de las comunas de acuerdo a los indicadores NDVI, NDWI y NDBI.

Comuna	NDVI	NDWI	NDBI	Clasificación
1	0,27	0,09	-0,09	Vegetación en estado crítico, con algunas zonas de vegetación densa y sana
2	0,18	0,03	-0,03	Vegetación en estado crítico, con algunas zonas de vegetación densa y sana
3	0,11	-0,03	0,03	Zonas edificadas o descubiertas
4	0,11	-0,02	0,02	Zonas edificadas o descubiertas
5	0,15	0,00	0,00	Zonas edificadas o descubiertas, con algunas zonas de vegetación en estado crítico
6	0,14	0,00	0,00	Zonas edificadas o descubiertas, con algunas zonas de vegetación en estado crítico
7	0,18	-0,01	0,01	Zonas edificadas o descubiertas, con algunas zonas de vegetación en estado crítico
8	0,11	-0,03	0,03	Zonas edificadas o descubiertas
9	0,09	-0,05	0,05	Zonas edificadas o descubiertas
10	0,12	-0,02	0,02	Zonas edificadas o descubiertas
11	0,12	-0,03	0,03	Zonas edificadas o descubiertas
12	0,11	-0,03	0,03	Zonas edificadas o descubiertas
13	0,12	-0,02	0,02	Zonas edificadas o descubiertas
14	0,11	-0,03	0,03	Zonas edificadas o descubiertas
15	0,01	-0,02	0,02	Zonas edificadas o descubiertas
16	0,15	-0,01	0,01	Zonas edificadas o descubiertas, con algunas zonas de vegetación en estado crítico
17	0,20	0,03	-0,03	Vegetación en estado crítico, con algunas zonas de vegetación densa y sana
18	0,21	0,03	-0,03	Vegetación en estado crítico, con algunas zonas de vegetación densa y sana
19	0,20	0,03	-0,03	Vegetación en estado crítico, con algunas zonas de vegetación densa y sana
20	0,18	0,02	-0,02	Vegetación en estado crítico, con algunas zonas de vegetación densa y sana
21	0,17	0,00	0,00	Zonas edificadas o descubiertas, con algunas zonas de vegetación en estado crítico
22	0,30	0,10	-0,10	Vegetación sana y densa

Acrónimos y abreviaturas

ICU	Isla de calor urbana
ICUa	Isla de calor urbana atmosférica
ICUs	Isla de calor urbana superficial
IFU	Islas frescas urbanas
ND	Niveles digitales
NDBI	Índice de área construida de diferencia normalizada <i>[Normalized difference built-up index]</i>
NDVI	Índice de vegetación de diferencia normalizada <i>[Normalized difference vegetation index]</i>
NDWI	Índice de agua de diferencia normalizada <i>[Normalized difference water index]</i>
TS	Temperatura superficial
UMATA	Unidad Municipal de Asistencia Técnica Agropecuaria

Bibliografía

- Cárdenas G; Muñoz Y. 2014. Influencia del crecimiento urbano medido como crecimiento poblacional sobre el desarrollo del fenómeno de isla de calor en la ciudad de Santiago de Cali, Colombia. Tesis de grado de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Universidad de La Salle. Bogotá.
- Chen X; Zhao H; Li P; Yin Z. 2006. Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Remote Sensing of Environment* 104(2):133-146. DOI: [10.1016/j.rse.2005.11.016](https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.11.016)
- DAPM (Departamento Administrativo de Planeación Municipal). 2014a. Revisión ordinaria del Plan de Ordenamiento Territorial de Santiago de Cali (POT). Santiago de Cali. Disponible en: <http://bit.ly/1ZeJUzM>
- DAPM (Departamento Administrativo de Planeación Municipal). 2014b. Cali en cifras 2013. Santiago de Cali. Disponible en: <http://bit.ly/1T204Mm>
- Fernández F. 1996. Manual de climatología aplicada. Clima, medio ambiente y planificación. Madrid, España: Editorial Síntesis.
- Fernández F; Martilli A. 2012. El clima urbano: aspectos generales y su aplicación en el área de Madrid. *Revista Índice* 50:21-24. Disponible en: <http://bit.ly/1PjyRxT>
- Fernández J; García N. 2013. Caracterización de Islas Frescas Urbanas (IFU) en la ciudad de Santiago de Cali, Colombia. *Revista Entorno Geográfico* 9:122-144. Disponible en: <http://bit.ly/1Ud11Ty>
- Sancha E. 2010. El estudio de los índices de vegetación como base para conocer las relaciones entre la vegetación y el clima. En: Ojeda J; Pita MF; Vallejo I. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica: La información geográfica al servicio de los ciudadanos*. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla. Sevilla. pp.1095-1108. Disponible en: <http://bit.ly/1R6wfcl>
- Santana L; Escobar L; Capote P. 2010. Estimación de un índice de calidad ambiental urbano, a partir de imágenes de satélite. *Revista de Geografía Norte Grande* 45:77-95. DOI: [10.4067/S0718-34022010000100006](https://doi.org/10.4067/S0718-34022010000100006)
- Tumini I. (2010). Estrategias para reducción del efecto isla de calor en los espacios urbanos. Estudio aplicado al caso de Madrid. Ponencia en: Sustainable Building Conference SB10mad. Edificación sostenible. Revitalización y Rehabilitación de Barrios. Madrid, España, 28 al 30 de abril. Disponible en: <http://bit.ly/1RbEaSi>
- Uddin S; Ghadban A; Dousari A; Murad M; Shamroukh D. 2010. A remote sensing classification for land-cover changes and micro-climate in Kuwait. *International Journal of Sustainable Development and Planning* 5(4):367-377. DOI: [10.2495/SDP-V5-N4-367-377](https://doi.org/10.2495/SDP-V5-N4-367-377)
- Vargas M; Aldana A. 2011. Análisis de presencia de islas de calor en Santiago de Cali empleando técnicas de teledetección. *Ventana Informática* 24: 95-114. Disponible en: <http://bit.ly/1VoUy7c>
- Wilson J; Clay M; Martin E; Stuckey D; Vedder-Risch K. 2003. Evaluating environmental influences of zoning in urban ecosystems with remote sensing. *Remote Sensing of Environment* 86(3):303-321. DOI: [10.1016/S0034-4257\(03\)00084-1](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00084-1)
- Xiaolei Y; Xulin G; Zhaocong W. 2014. Land surface temperature retrieval from Landsat 8 TIRS - Comparison between Radiative Transfer Equation-based Method, Split window algorithm and single channel method. *Remote Sensing* 6(10):9829-9852. DOI: [10.3390/rs6109829](https://doi.org/10.3390/rs6109829)

Diagramación

Lorena García

Edición de producción

Victoria Eugenia Rengifo, CIAT

Impresión

Velásquez Digital S.A.S.
Cali, Colombia

Diciembre 2015



Informes

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca

www.cvc.gov.co

Teléfono: (57 2) 6206600 Ext. 1332 y 1325