Alianza

Apoyo en la implementación de medidas de adaptación de acuerdo con el Plan Integral de Adaptación de Cambio Climático (PIACC) del municipio de Palmira.

Identificación de islas de calor para el área urbana (ICU) del municipio de Palmira y formulación de propuestas para el tratamiento de zonas prioritarias

Informe técnico

Convenio de Asociación MP-993-2020 entre Alcaldía de Palmira y CIAT

Palmira, Valle del Cauca
Diciembre 29, 2020

Bioversity International y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) son parte de CGIAR, un consorcio mundial de investigación para un futuro sin hambre.
Bioversity International es el nombre operativo del Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI)

Oficina Regional para las Américas
Km 17, Recta Cali-Palmira CP 763537
Apartado Aéreo 6713
Cali, Colombia
Tel. (+57) 2 4450000

www.bioversityinternational.org
www.ciat.cgiar.org
www.cgiar.org

TABLA DE CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN 1

2 AREA DE ESTUDIO 3

3 SELECCIÓN DE IMÁGENES SATELITALES, TRATAMIENTO Y OBTENCIÓN DE INDICADORES 5

3.1 Metodología para la selección y tratamiento de imágenes satelitales 5

3.2 Indicadores obtenidos (Ts, NDVI, NDWI y NDBI) 7

4 IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE ISLAS DE CALOR URBANO SUPERFICIAL (ICUs) 13

4.1 Identificación de las ICUs 13

4.2 Caracterización y descripción de las ICUs 15

4.2.1 Caracterización por tipo de cobertura 15

4.2.2 Descripción de las principales características de las ICUs 20

5 FORMULACIÓN DE ACCIONES PARA EL TRATAMIENTO DE ZONAS PRIORITARIAS 26

5.1 Formulación de acciones a partir de los lineamientos del Plan de Desarrollo Municipal 2020 – 2023. 26

5.2 Formulación de acciones generales para el tratamiento de las zonas prioritarias 29

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 36

7 BIBLIOGRAFÍA 37

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Localización general del área urbana del municipio de Palmira.....4
Figura 2. Bandas espectrales del sensor Landsat 8 para el análisis de las ICU.....5

LISTADO DE MAPAS

Mapa 1. Temperatura superficial terrestre en la ciudad de Palmira.....9
Mapa 2. NDVI en la ciudad de Palmira.....10
Mapa 3. NDWI en la ciudad de Palmira.....11
Mapa 4. NDBI en la ciudad de Palmira.....12
Mapa 5. Identificación espacial de las ICUs.....14
Mapa 6. Clasificación de comunas por tipo de cobertura.....16
Mapa 7. Clasificación de barrios ICUs por tipo de cobertura.....19
Mapa 8. Identificación de zonas de confort térmico y zonas prioritarias para intervención.....21
Mapa 9. Identificación de zonas de confort térmico y zonas prioritarias para intervención en las comunas 3, 4, 5 y 6.....23
Mapa 10. Identificación de zonas de confort térmico y zonas prioritarias para intervención en la comuna 7.....25

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación máxima intensidad de ICU.....13
Tabla 2. Clasificación de la intensidad de las ICUs por comuna.....13
Tabla 3. Clasificación de los indicadores NDVI, NDWI y NDBI por cobertura.....15
Tabla 4. Características de las comunas identificadas con ICUs.....17
Tabla 5. Propuestas y estrategias para el tratamiento de las ICU en la ciudad.....26
Tabla 6. Estrategias para el enfriamiento de ICU.....31
Tabla 7. Materiales de construcción para reducir los efectos del calentamiento de las superficies 34

1 INTRODUCCIÓN

Los cambios en el clima representan un tema decisivo para las comunidades, ya que sus impactos pueden influir en la economía, la salud y los ecosistemas. El aumento de la temperatura a nivel global, regional y local es cada vez más evidente y representa un desafío para la resiliencia de las ciudades, ya que se están convirtiendo en puntos calientes. El efecto del calentamiento que sufren las ciudades eleva la temperatura en 1 a 3 °C en comparación con zonas periurbanas y rurales (Bounoua et al., 2015; Municipalidad de Curridabat, 2019). El incremento de las áreas urbanas representa un cambio radical en el paisaje natural, ya que no sólo modifica la cobertura terrestre, altera los balances entre el suelo y el aire, sino que además modifica las condiciones climáticas al interior de las ciudades, efecto conocido como Isla de Calor Urbano (ICU), este efecto se produce cuando en un centro urbano hay una temperatura mayor que en los alrededores. Este concepto no es algo reciente, se viene estudiando desde la década de los años 60, sin embargo, ha tomado mayor importancia en la actualidad debido a los impactos del cambio climático; a pesar de que las islas de calor son cambios climáticos locales y no globales porque sus efectos se limitan a una escala menor, sus efectos son similares.

Las ciudades son más calientes, debido a que las estructuras o edificios que las conforman evitan la circulación del aire; los materiales oscuros como el asfalto, el cemento y algunos techos, retienen más calor y debido a su impermeabilidad alteran los flujos de calor reflejado en mayores temperaturas nocturnas en las zonas más densamente construidas de las ciudades; la falta de espacios o zonas verdes impiden el proceso de regulación hídrica y por tanto del equilibrio climático; y debido a la contaminación atmosférica. Según Fernández García & Martilli, (2012) existen dos tipos de islas de calor, las ***Isla de calor Urbana atmosférica (IUCa)***, que son 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 y las ***Isla de calor Urbana superficial (IUCs)***, que 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 cuales son una herramienta útil para entender y monitorear los procesos urbanos relacionados con el espacio físico.

El procesamiento digital de las imágenes producto de sensores remotos, entre ellos, NOAA – AVHRR, Landsat TM y ETM, MODIS, ASTER, etc., permite apoyar los procesos de toma de decisiones en la planificación y gestión ambiental urbana, mediante la generación de indicadores ambientales,

los cuales se utilizan principalmente para la determinación y caracterización de clima e islas de calor urbano, clasificación de uso del suelo, crecimiento urbano, densidad de población y evaluación de calidad y sostenibilidad ambiental (Santana, Escobar, & Capote, 2010; Wilson, Clay, Martin, Stuckey, & Vedder-Risch, 2003).

Las transformaciones de imágenes más utilizadas están relacionadas con el análisis de la distribución de la vegetación y zonas construidas, por medio de lo cual se puede obtener la temperatura superficial (Ts) para identificar las ICUs; y diversos indicadores como el Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), el Índice de Agua de Diferencia Normalizado (NDWI), el Índice de Construcción de Diferencia Normalizado (NDBI), entre otros, con los cuales se puede identificar las principales características asociadas a las zonas de mayor Ts en las ciudades es decir, las islas de calor urbano.

El NDVI ha sido reconocido como uno de los indicadores más útiles para estimar la cantidad y el grado de desarrollo de una zona vegetal referido a un territorio concreto (Sancha, 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 atmosfera, mediante la transpiración, del calor latente almacenado en el suelo, lo que ocasiona una disminución de la temperatura de superficie, entre otros (Santana et al., 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.

A nivel departamental se han realizado algunos estudios para la identificación de islas de calor urbano en la ciudad de Santiago de Cali (Cárdenas & Muñoz, 2014; CVC, CIAT, & DAGMA, 2015; Fernández & García, 2013; Preciado & Aldana, 2011; Santana et al., 2010), estos estudios han evidenciado que las zonas con mayor Ts promedio y dónde se identifican las ICUs, corresponden a sectores comerciales e industriales, del centro y norte de la ciudad, al igual que las zonas residenciales del oriente, que presentan mayor proporción de área construida y/o suelo desnudo y en general corresponden a barrios con desarrollo no planificado; estas zonas tienen como característica principal pocas o nulas áreas con vegetación y una tendencia al aumento de la Ts.

Teniendo en cuenta lo descrito anteriormente y como parte del apoyo en la implementación de medidas de adaptación de acuerdo con el Plan Integral de Adaptación de Cambio Climático (PIACC) del municipio de Palmira, a través de la línea estratégica que busca del municipio un territorio resiliente y sostenible, a continuación, se presenta el estudio desarrollado para la identificación y

análisis de la existencia y ubicación de ICUs en la ciudad, a partir del uso de cuatro índices ambientales derivados de imágenes satelitales: Ts, NDVI, NDWI y NDBI. La caracterización de las ICUs se realiza como insumo para la formulación de medidas de gestión y adaptación del territorio, hacia la consolidación de Palmira como una ciudad sostenible y resiliente.

2 AREA DE ESTUDIO

El área de estudio corresponde a la zona urbana del municipio de Palmira, ubicado al sur del departamento del Valle del Cauca, en el suroccidente colombiano (Figura 1). Este municipio limita a norte con el municipio de El Cerrito, al este con el departamento del Tolima, al sur con los municipios de Pradera y Candelaria y al oeste con los municipios de Cali, Yumbo y Vijes. La cabecera municipal se encuentra ubicada en la zona plana, sobre la margen derecha del valle geográfico del río Cauca y su división político – administrativa está dada por comunas, contando con siete (7) divisiones en la zona urbana. Con base en el censo de 2018 el municipio de Palmira cuenta con 302.642 habitantes, de los cuales 237.162 se encuentran en la cabecera[1]. La ciudad se encuentra en un piso térmico cálido, a una altura aproximada de 1.000 msnm; con precipitaciones promedio anual de 894 mm y temperatura promedio anual de 23,5 ^{o}C aproximadamente[2].

[1] Dato tomado del explorador de datos del DANE con base en el censo realizado en 2018. https://sitios.dane.gov.co/cnpv/#!/,

[2] Datos climáticos tomados del IDEAM, archivo Característica climatológicas de ciudades principales y municipios turísticos. http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima

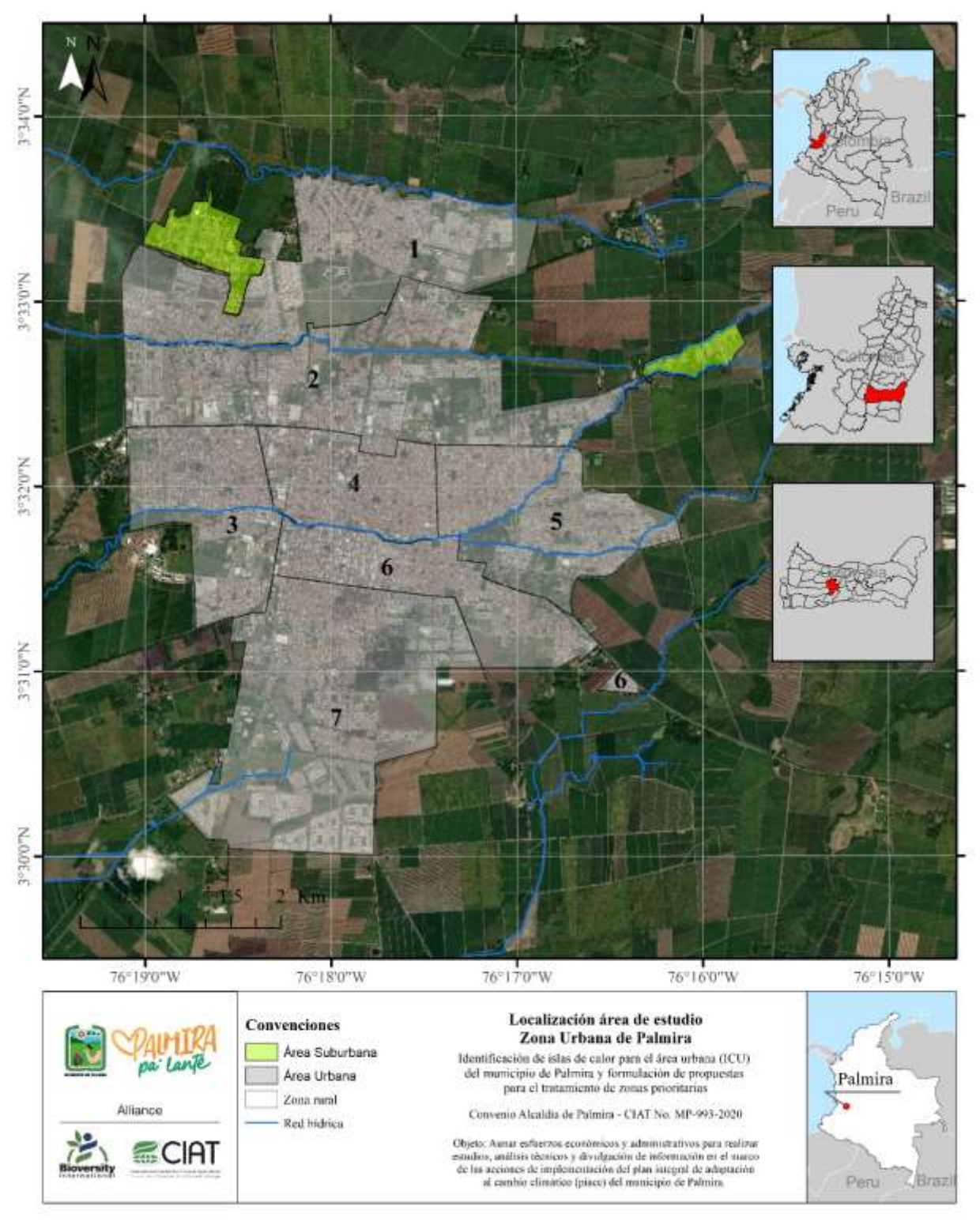


Figura 1. Localización general del área urbana del municipio de Palmira
Fuente: Elaboración Propia

3 SELECCIÓN DE IMÁGENES SATELITALES, TRATAMIENTO Y OBTENCIÓN DE INDICADORES

3.1 Metodología para la selección y tratamiento de imágenes satelitales

La identificación de las islas de calor urbano en el municipio de Palmira, se realizó a partir de la definición de las islas de calor urbana superficial (ICUs), para lo cual se utilizan imágenes obtenidas de sensores remotos que permiten obtener la temperatura de la superficie terrestre. Para efectos del estudio, la imagen satelital se obtuvo a través del servidor gratuito Earth Explorer de la USGS[3] (U.S. Geological Survey), 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 sólo una imagen reciente que presentara buena calidad en cuanto a la presencia de nubes sobre la zona de estudio, la imagen seleccionada corresponde a la ID: LC08_L1TP_009058_20190717_20190731_01_T1, tomada el día 17 de julio de 2019 a las 3:19 pm. El sector de la imagen que se utilizó para el estudio, corresponde al perímetro urbano de la ciudad de Palmira (Figura 2). Para efectos del estudio se utilizaron sólo 4 de las 11 bandas espectrales que posee la imagen Landsat.

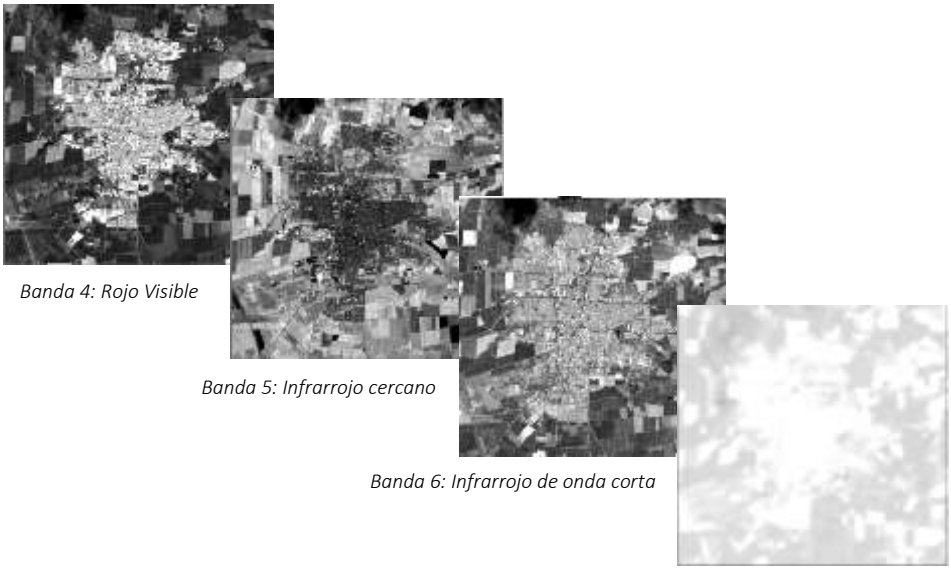


Figura 2. Bandas espectrales del sensor Landsat 8 para el análisis de las ICU
Fuente: Elaboración Propia

[3] http://earthexplorer.usgs.gov/

La identificación de las ICUs se basó en el cálculo de la temperatura de la superficie (Ts), para lo cual se realizó como proceso inicial, la corrección radiométrica de la imagen, es decir, la conversión de los niveles digitales (ND) de la banda térmica (banda 10) en valores físicos, utilizando la ecuación de la radiancia.

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

Donde:
L_λ: Radiancia espectral (W/m^{2}srμm)
M_L: Radiance_ Mult_ Band 10 (metadato de la imagen)
Q_{cal}: Banda 10
A_L: Radiance_ add_ Band 10 (metadato de la imagen)

Posteriormente se calcula la temperatura de brillo superficial (Tb):

$$Tb = \left(\frac{K_2}{Ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \right) - 273{,}15$$

Donde:
Tb: Temperatura de brillo superficial (°C)
L_λ: Radiancia espectral (W/m^{2}srμm)
K_1: Constante de conversión K1 de la banda 10 (W/m^{2}srμm) (metadato de la imagen)
K_2: Constante de conversión K2 de la banda 10 (W/m^{2}srμm) (metadato de la imagen)

Luego se calcula la emisividad de la superficie, definida por de Andrés, (2019), esta ecuación depende de los valores de emisividad tanto del suelo como de la vegetación para la banda térmica 10 de Landsat 8.

$$\varepsilon_{10} = 0{,}0015 * P_V + 0{,}9848$$

Donde:
ε_{10}: Emisividad de la Superficie Terrestre para la banda 10
P_V: Fracción de la cobertura vegetal, la cual se calcula por medio de la siguiente ecuación

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

El NDVI corresponde al Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado, el cual es calculado a través de la combinación de las bandas 5 y 4:

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

Donde:

$Band\ 5$: Banda del Infrarrojo cercano

$Band\ 4$: Banda del Rojo visible

Finalmente se calcula la temperatura de la superficie (Ts):

$$Ts = \frac{Tb}{\left\{1 + \left[\left(\frac{\lambda * Tb}{\rho}\right) * \ln(\varepsilon)\right]\right\}}$$

Donde:

Ts: Temperatura de la superficie (°C)

Tb: Temperatura de brillo superficial (°C)

λ: Longitud de onda media de la banda 10 (10,895 µm)

ρ: 14380 µmK, constante extraída de la fórmula h*c/s

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*108 m/s)

ε: Emisividad de la superficie

Adicionalmente se calculó el índice de construcción de diferencia normalizada (NDBI) y el índice de agua de diferencia normalizada (NDWI), como índices de apoyo al análisis de las ICUs

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

Donde:

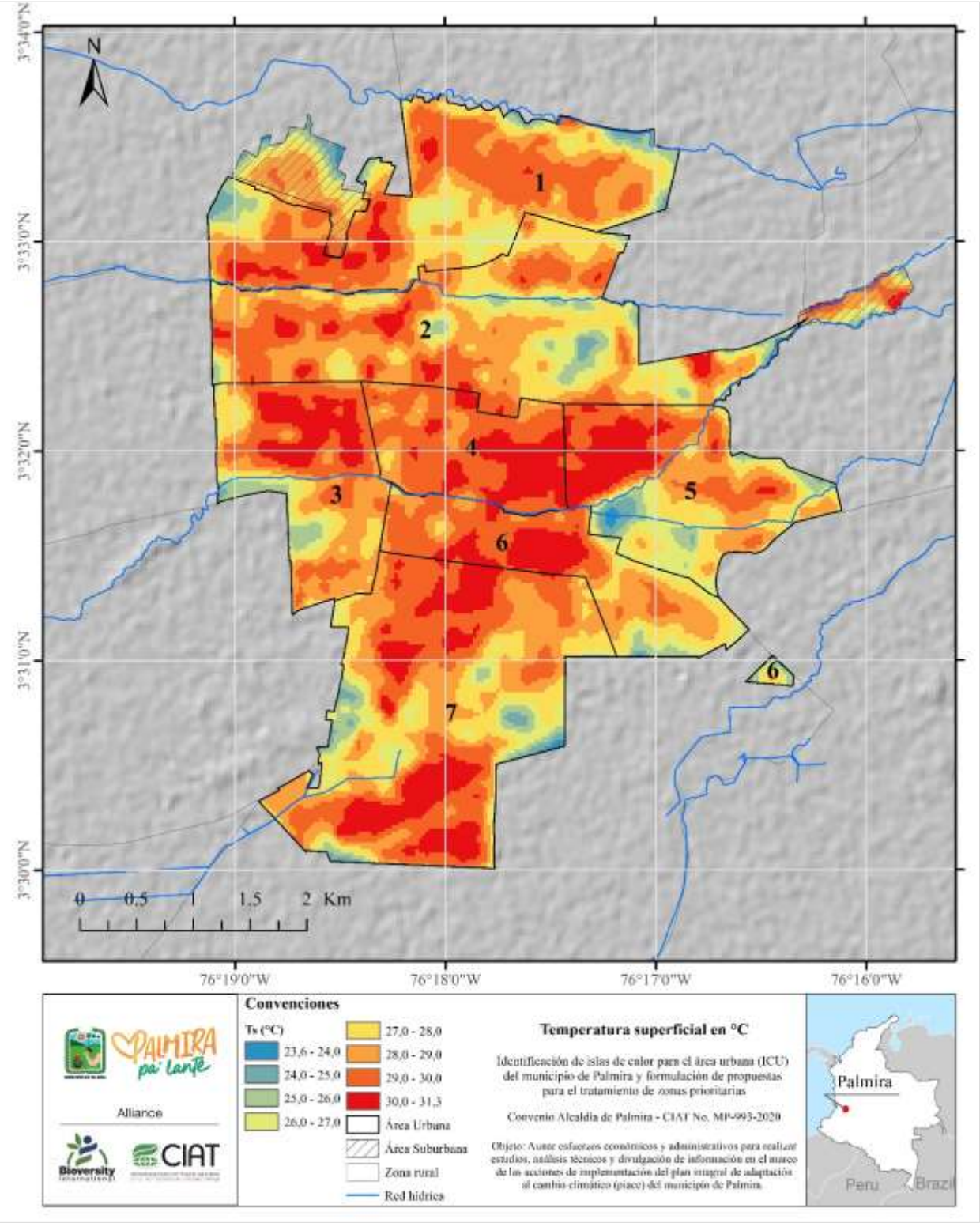
$Band\ 6$: Banda del Infrarrojo medio

3.2 Indicadores obtenidos (Ts, NDVI, NDWI y NDBI)

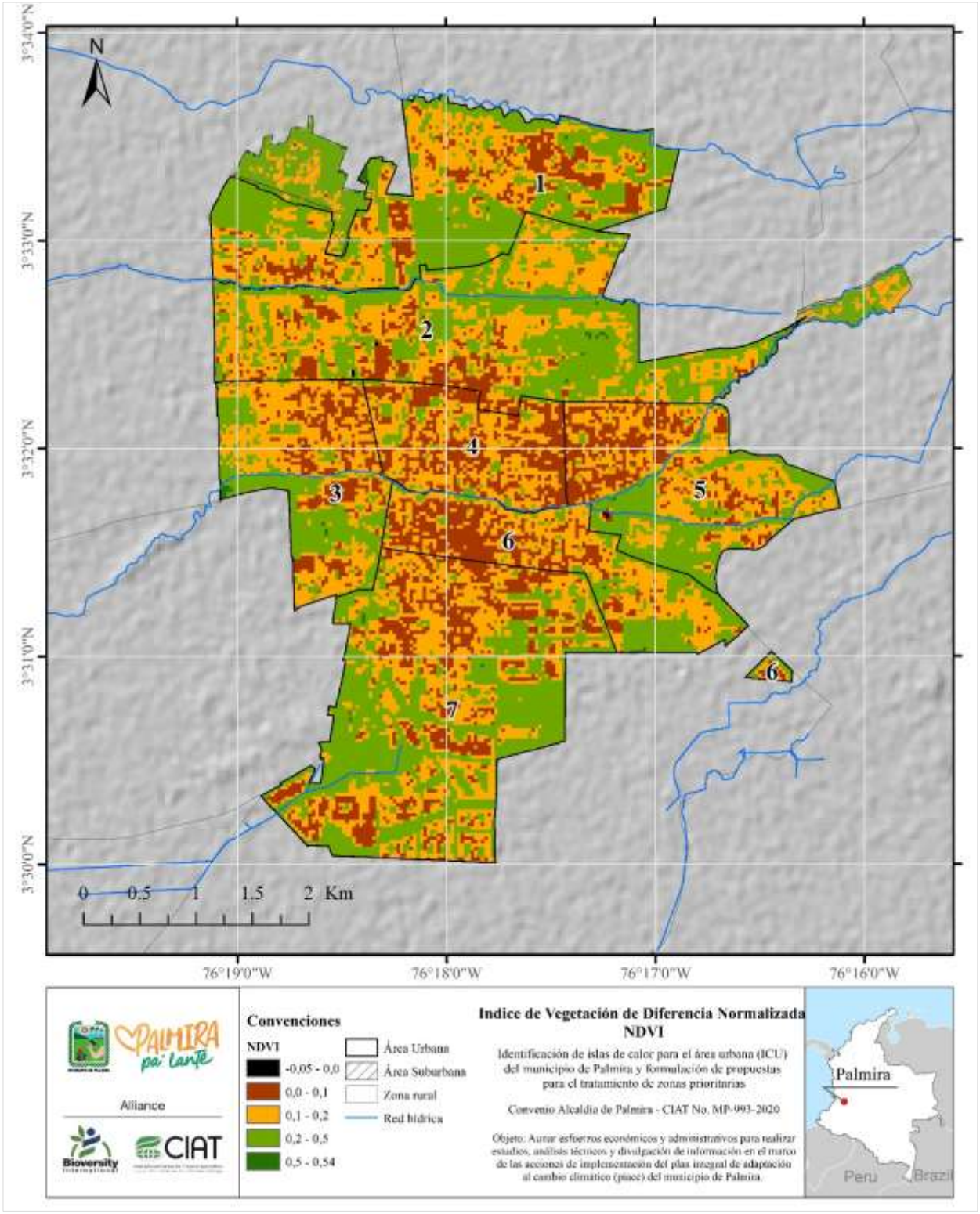
A partir de la metodología anterior se obtuvo que la temperatura de la superficie terrestre (Ts) en la ciudad de Palmira es en promedio 28,5 °C, presentando un máximo de 31,3 °C y un mínimo de 23,6 °C; como se observa en el Mapa 1; las zonas de mayor Ts, se localizan principalmente en el

centro, occidente y sur de la ciudad, y la Ts más baja se localiza en las periferias destacando la zona oriental y norte de la cuidad.

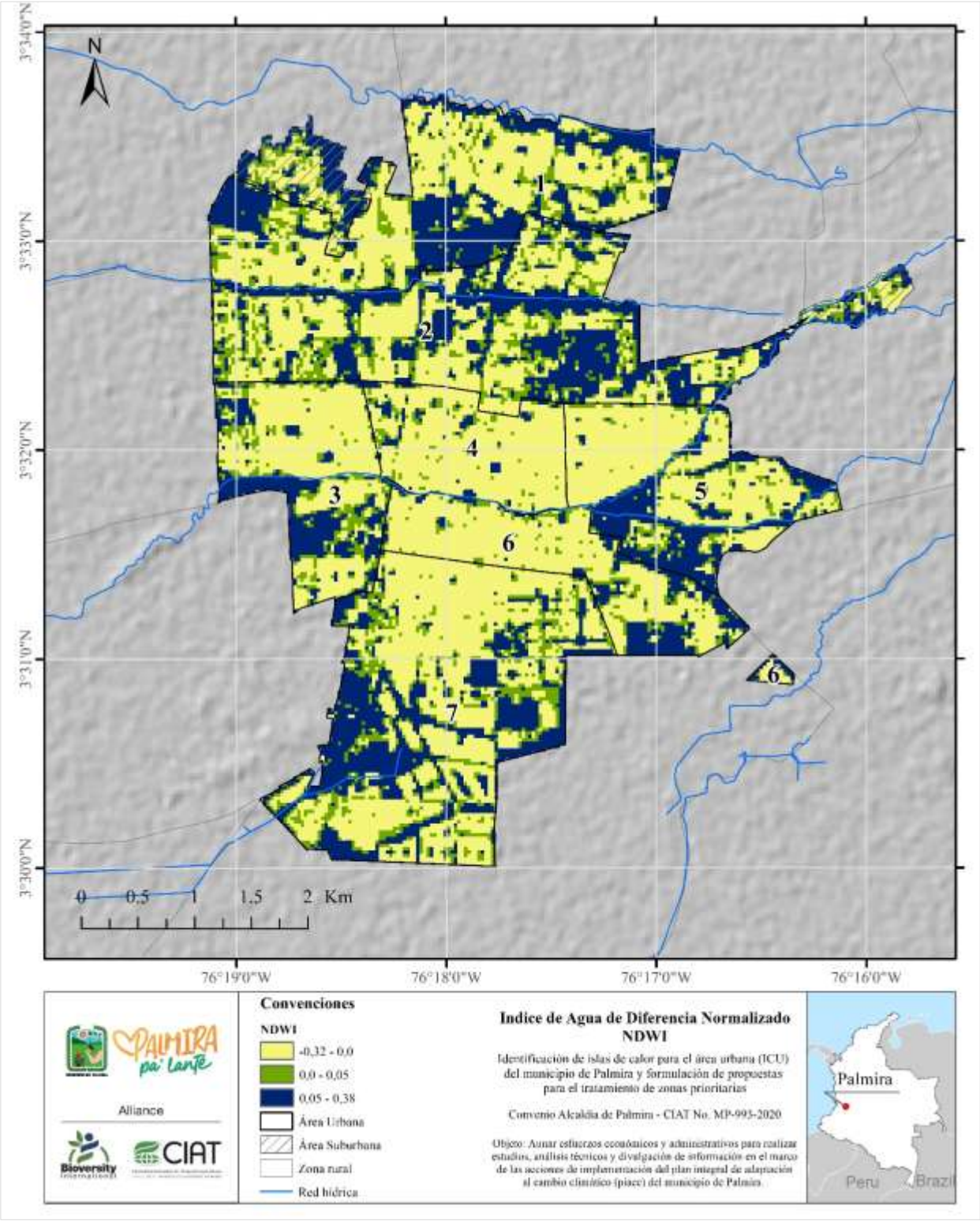
Con respecto a los resultados obtenidos para los indicadores NDVI, NDWI y NDBI (Mapas 2, 3 y 4), se refleja que la zona centro de la ciudad, entre las comunas 3, 4, 5 y 6 y la zona norte y sur de la comuna 7, presenta el mayor déficit de vegetación, en condiciones de baja humedad del suelo y mayor densidad de superficie edificada. Estos resultados verifican la relación directa que existe entre la ausencia de vegetación y el aumento de la Ts, así como la alta densidad de los espacios construidos o impermeabilizados; estos espacios con temperaturas máximas afectan las condiciones ambientales y por ende la calidad de vida de sus habitantes, respecto a los impactos que pueden ocasionar las altas temperaturas en la salud y el bienestar de las personas. Por su parte las áreas que de acuerdo con el NDVI poseen como cobertura arbustos o pastizales y que además reflejan un alto contenido de humedad (NDWI), arrojan los valores de Ts más bajos, como se observa hacia el sector oriental de la comuna 2 y la zona sur de la comuna 1 y 5; estos resultados indican zonas con mayor confort habitacional al generar ambientes climáticamente más agradables.



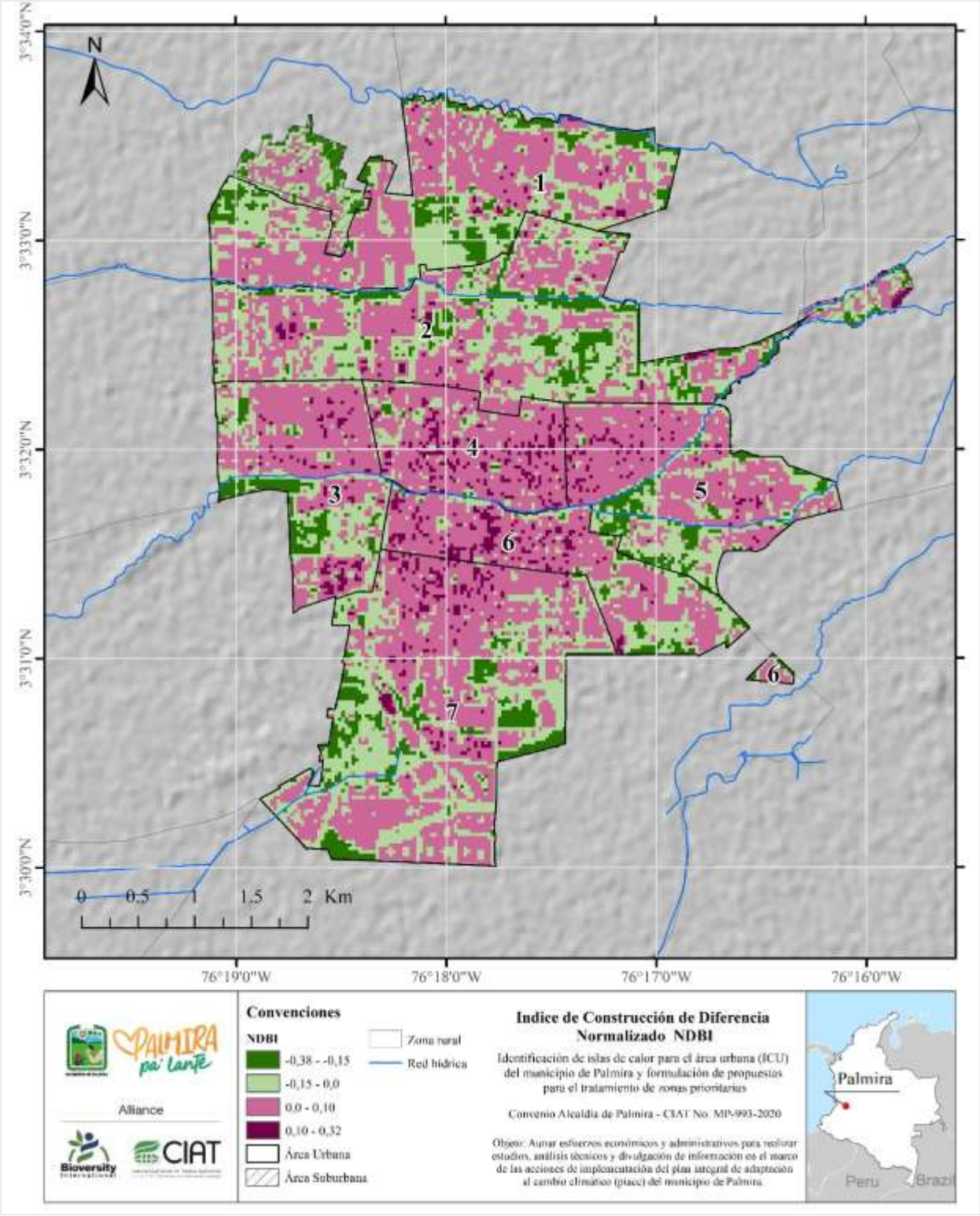
Mapa 1. Temperatura superficial terrestre en la ciudad de Palmira.
Fuente: Elaboración Propia



Mapa 2. NDVI en la ciudad de Palmira
Fuente: Elaboración Propia



Mapa 3. NDWI en la ciudad de Palmira.
Fuente: Elaboración Propia



Mapa 4. NDBI en la ciudad de Palmira
Fuente: Elaboración Propia

4 IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE ISLAS DE CALOR URBANO SUPERFICIAL (ICUs)

4.1 Identificación de las ICUs

Para identificar las islas de calor en la ciudad, se realizó un análisis clasificando la Ts por comunas (división político-administrativa de ordenamiento, gestión y planificación de la zona urbana) para determinar medidas de tendencia central como la media, y valores máximos y mínimos. Se clasificó cada comuna según la máxima intensidad de ICUs, utilizando las categorías sugeridas por Fernandez, (1996) (Tabla 1), donde se identifican como islas de calor para Palmira, las zonas en donde la temperatura máxima supera en más de 2 °C la temperatura superficial promedio del área analizada.

Tabla 1. Clasificación máxima intensidad de ICU

Clasificación	Temperatura (ºC)
Débil	Hasta 2
Moderada	2 a 4
Fuerte	4 a 6
Muy Fuerte	> 6

En la Tabla 2 se presenta la clasificación de las siete comunas y el área suburbana de acuerdo a la intensidad de la ICUs que cada una de ellas representa; dichos resultados indican que en todos los casos se presentan áreas con temperaturas máximas que revelan ICUs moderadas, es decir que superan en 2 °C la temperatura promedio del área urbana (28,5 °C). las comunas con mayor temperatura máxima superficial son, la zona suburbana, la comuna 7 y 3 con 31,3 °C, 31,2 °C y 31,1 °C respectivamente.

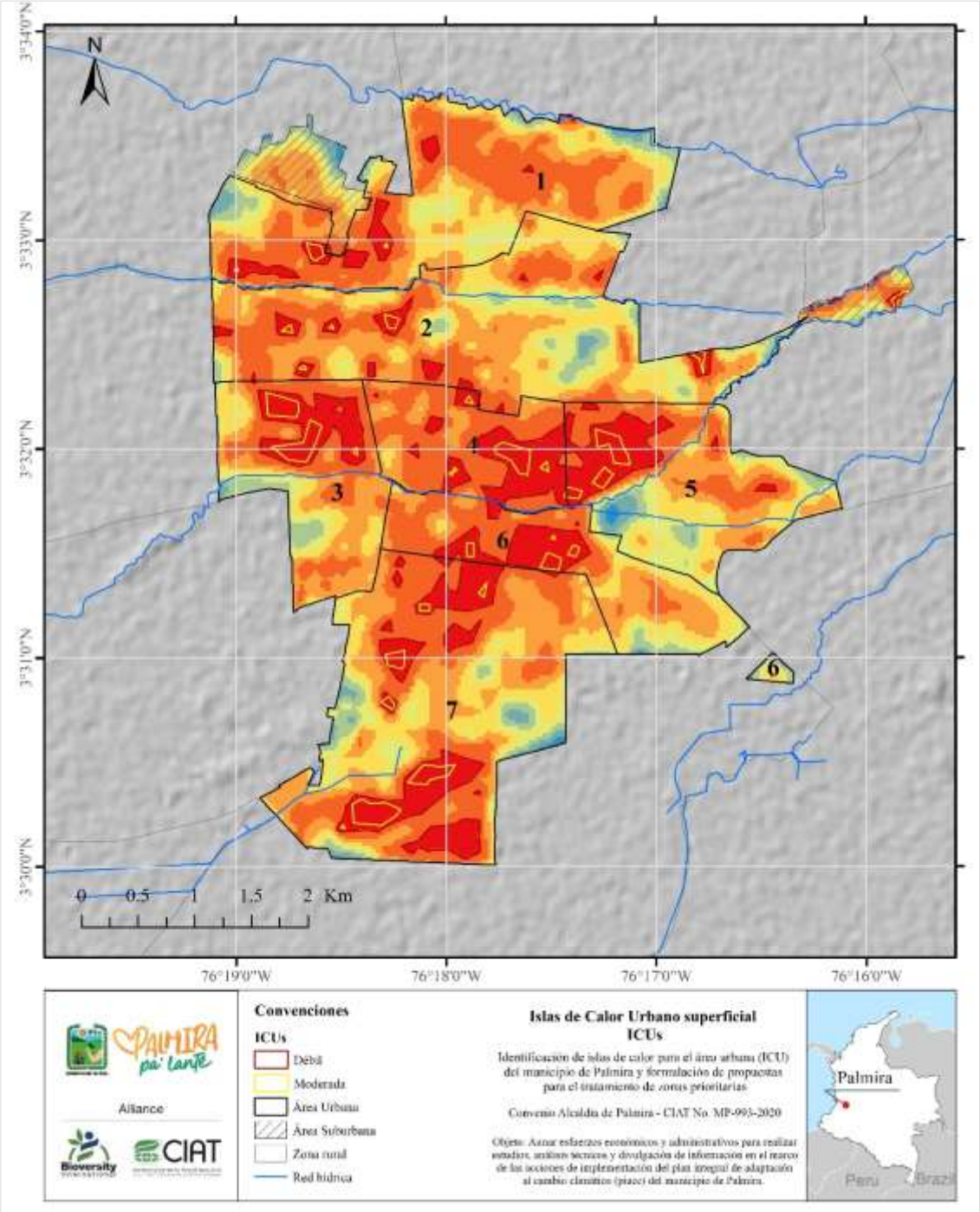
Tabla 2. Clasificación de la intensidad de las ICUs por comuna

Comuna	Ts Máxima(°C)	Diferencia(°C)*	Clasificación ICUs	Área ICUs moderadas (Ha)
1	30,90	2,38	Moderada	1,59
2	30,85	2,34	Moderada	2,32
3	31,12	2,61	Moderada	10,99
4	30,70	2,19	Moderada	5,55
5	30,66	2,15	Moderada	7,19
6	30,74	2,22	Moderada	3,24
7	31,21	2,70	Moderada	14,62
Zona Suburbana	31,32	2,80	Moderada	1,06

*Diferencia entre la Ts promedio de toda la zona urbana y la Ts máxima en cada comuna

En cuanto a la distribución espacial de las ICUs, en el Mapa 5, se puede observar que a pesar de que en todas las comunas se presentan islas de calor, su extensión es mayor en algunas zonas como la

comuna 7 y 3 (14,62 y 10,99 Has, respectivamente) y son menores en la zona suburbana (1,06 Ha), la comuna 1 (1,59 Ha) y 2 (2,32 Ha).



Mapa 5. Identificación espacial de las ICUs
Fuente: Elaboración Propia

4.2 Caracterización y descripción de las ICUs

Una vez detalladas las zonas donde se localizan las ICUs, que en este caso corresponde a todas las comunas de la zona urbana del municipio, se identificaron las principales características de la superficie, con base en la definición de unos criterios obtenidos a partir de los índices NDVI, NDWI y NDBI (Tabla 3), este análisis permite determinar cómo influye el tipo de uso o cobertura del suelo en el comportamiento de la temperatura en la ciudad. Posteriormente se analizó la cobertura de la estructura pública y equipamientos, teniendo en cuenta principalmente las zonas verdes, con base en la cartografía del POT municipal 2014.

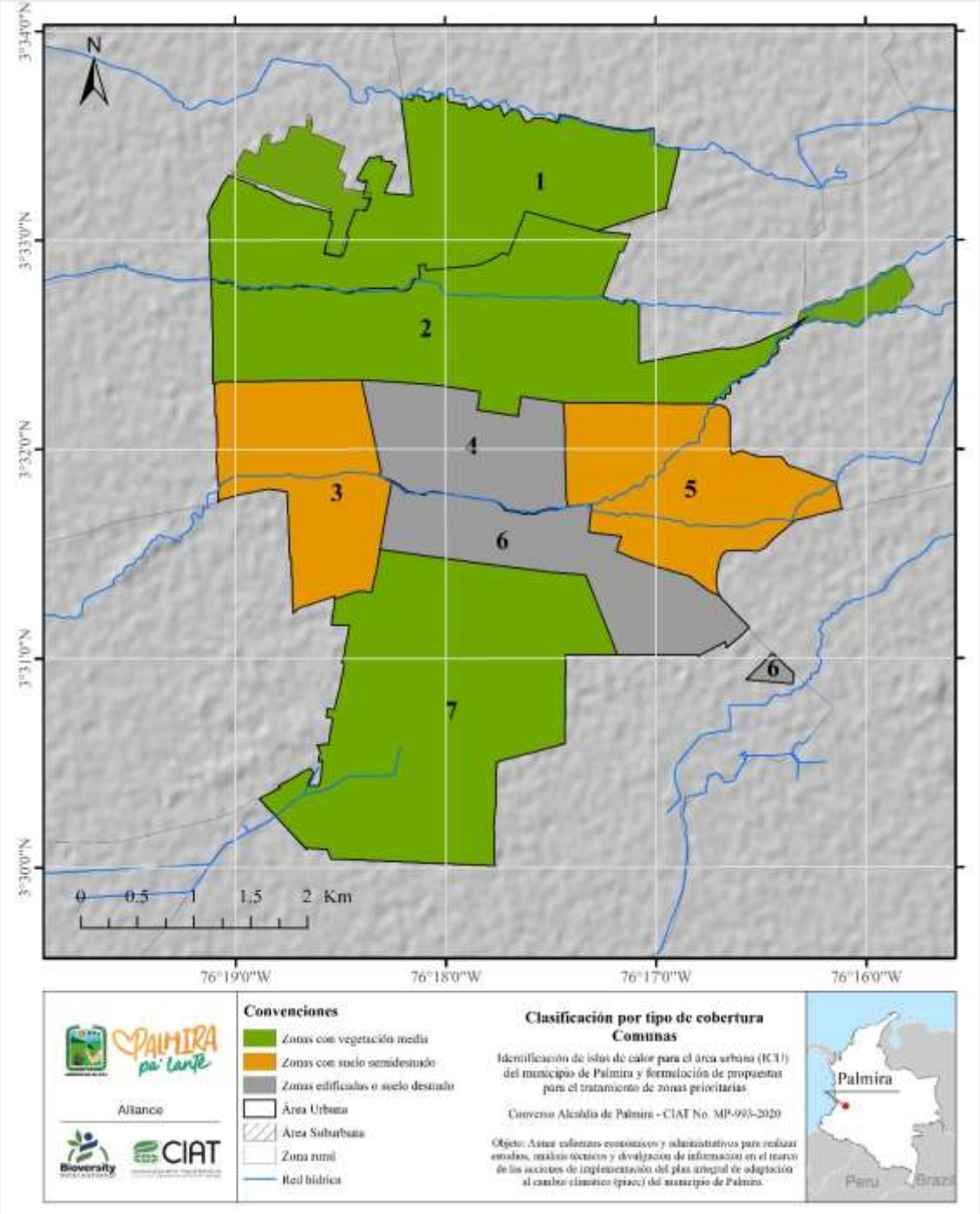
Tabla 3. Clasificación de los indicadores NDVI, NDWI y NDBI por cobertura

Descripción	NDVI	NDWI	NDBI
Vegetación densa (bosques)	>0,6	>0,05	<0
Vegetación media (arbustos, pastizales)	0,2 – 0,5	>0,05	<0
Vegetación en estado crítico o suelo semi desnudo	0,1 – 0,2	≤0	0
Zonas edificadas o descubiertas, suelo desnudo	0,01 – 0,1	<0	>0
Agua, nieve o nubes	<0	>0	<0

Fuente: (Chen, Zhao, Li, & Yin, 2006; de Andrés, 2019; Uddin, Al Ghadban, Al Dousari, Al Murad, & Al Shamroukh, 2010),

4.2.1 Caracterización por tipo de cobertura

La clasificación por tipo de cobertura en la ciudad de Palmira (Mapa 6) presenta en general tres tipos de cobertura, de acuerdo al grado y estado de la vegetación y la presencia de áreas edificadas, siendo la zona centro, comunas 4 y 6 las de mayor área de zonas edificadas o suelos desnudos. Hacia el oriente y occidente de la ciudad, comunas 3 y 5, el tipo de cobertura representativo son los suelos semidesnudos, caracterizados por presentar zonas edificadas o descubiertas, con presencia de vegetación en estado crítico. El norte y sur de la zona urbana, comunas 1, 2 y 7, y la zona suburbana, presentan en promedio zonas con vegetación media, indicando menor densidad de áreas construidas y vegetación como arbustos y pastizales y en algunas zonas vegetación densa. Sin embargo, este análisis a nivel de comuna no permite visibilizar algunas zonas importantes identificadas como ICUs, por ejemplo, en la comuna 7.



Mapa 6. Clasificación de comunas por tipo de cobertura
Fuente: Elaboración Propia

A partir de lo anterior, se identificaron los barrios donde se localizan estas islas de calor, los cuales se presentan en la Tabla 4; para la identificación de estos barrios se utilizó la información

cartográfica de la base de datos del POT vigente, con fecha de 2017, la cual presenta una delimitación barrial de 172 polígonos. En la tabla se presentan además algunas características de las comunas, las cuales están asociadas principalmente a la densidad poblacional, factor decisivo que condiciona la aparición de las islas de calor, según Wypych y Bokwa, (2004) citado por Preciado & Aldana, (2011), en ciudades con población de 500.000 a 1'000.000, la temperatura del aire suele aumentar de 1,1 a 1,2 °C con respecto a las zona rurales; también se presenta la actividad predominante y los espacios verdes que poseen, denominados allí como estructura verde, que hace referencia a parques longitudinales con zonas de protección, parques, áreas con arborización notable, equipamiento con arborización notable y áreas de actividad con parques culturales y de recreación.

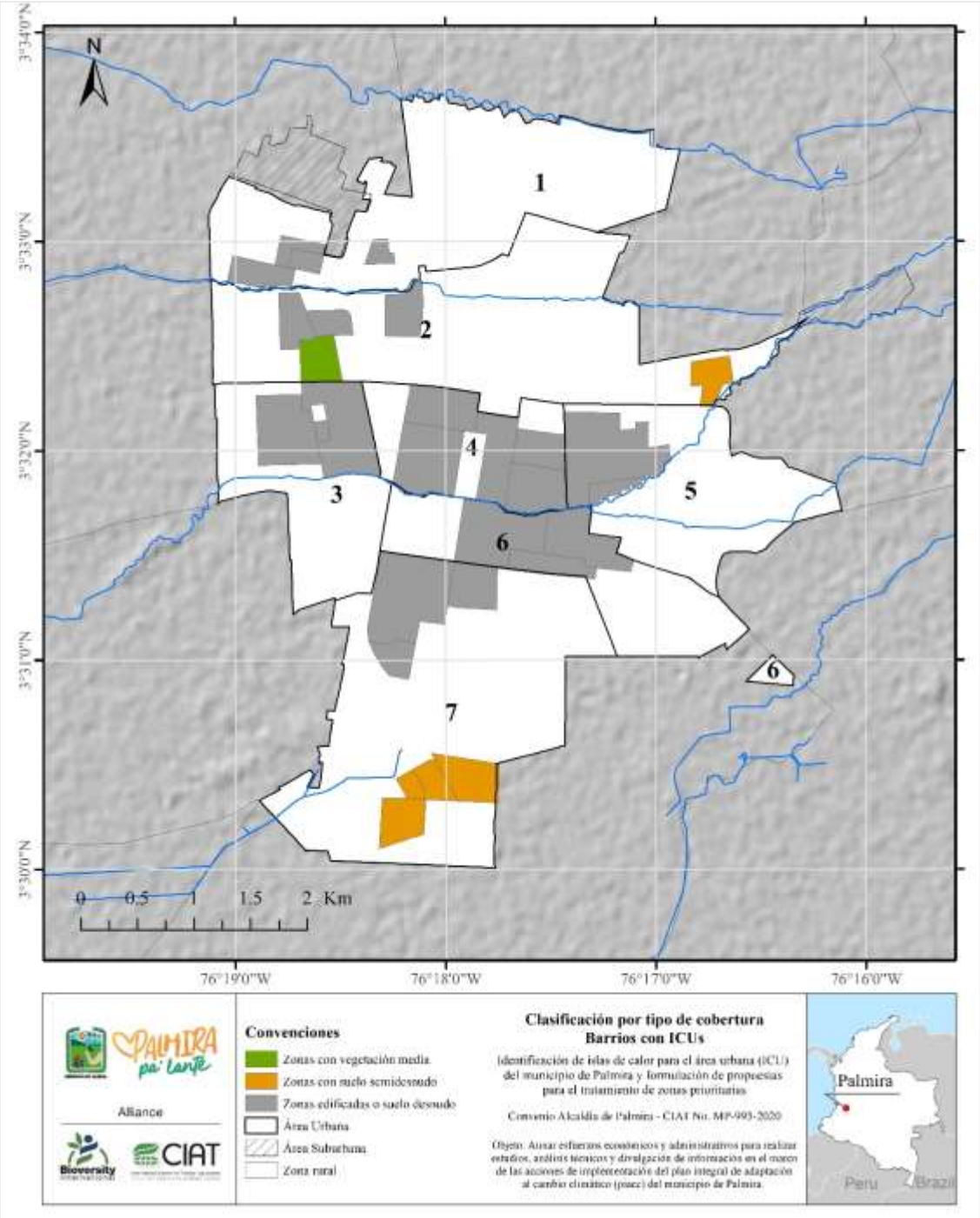
Tabla 4. Características de las comunas identificadas con ICUs

Comuna	Barrio ICUs	Densidad poblacional a 2016*	Estructura Pública (Verde)			Actividad por área predominante (Ha)
			% del área de la comuna	Estructura representativa de la comuna	% del área de la ZU	
1	Caimitos, La Carbonera, Villa de Caimitos, Villa del Rosario.	46.616	18%	Parques longitudinales zonas de protección (11%)	3%	Residencial neto (34%)
2	Conjuntos Multicentro, Juan Pablo II, La Benedicta, Santa María del Palmar, Santa Teresita.	52.639	24%	Parques longitudinales zonas de protección (15%)	5%	Residencial neto (47%)
3	Concordia, Emilia, Prado.	31.143	25%	Parques longitudinales zonas de protección (19%)	2%	Residencial neto (70%)
4	Alfonso López, Bizerta, Colombia, Obrero, Uribe Uribe.	18.896	12%	Parques longitudinales zonas de protección (11%)	1%	Múltiple (46%)
5	Danubio, San Pedro.	46.987	34%	Parques longitudinales zonas de protección (22%)	4%	Residencial neto (59%)
6	Colombina, Libertadores, Trinidad.	20.768	11%	Parques longitudinales zonas de protección (8%)	1%	Residencial neto (51%)
7	Barrio Nuevo, Caminos de la Hacienda, Delicias, Independencia, Paraíso de la Italia, Parques de la Italia, Villa Fontana	54.882	22%	Parques longitudinales zonas de protección (13%)	5%	Residencial neto (36%)

***** Información con base en el anuario estadístico de Palmira 2016, en los anuarios actuales no se incluye esta información.

Fuente: (CCPalmira, 2017; Concejo municipal de Palmira, 2014)

Con base en los resultados de la Tabla 4, las comunas más pobladas son la 7 y la 2 con más de 50.000 habitantes, lo cual a su vez está relacionado con el área, siendo las más extensas; así mismo estas comunas presentan la mayor cantidad de barrios con ICUs. En cuanto a la actividad predominante en cada comuna, en general son zonas netamente residenciales, a excepción de la comuna 4 con una actividad múltiple cuyos usos principales son vivienda, comercio y servicios. El porcentaje de estructura pública o estructura verde refleja que las comunas 2, 5 y 7 son las de mayor área de espacios verdes respecto a toda la zona urbana, siendo los parques longitudinales y zonas de protección las más representativas. La comuna con mayor porcentaje de áreas verdes respecto a su área total, es la comuna 5 con un 34%, lo cual puede estar asociado a las zonas de protección de las dos corrientes hídricas que la atraviesan y la presencia del bosque Municipal con un área aproximada de 17 hectáreas. En el Mapa 7 se presenta la clasificación del tipo de cobertura para los barrios seleccionados por presentar ICUs; la mayoría representan zonas edificadas y/o con suelo desnudo, en estos barrios la densidad de construcción es mayor, con deficiencia de zonas verdes y vegetación en estado crítico, lo cual representa zonas con un bajo valor y servicio ambiental. En las comunas 2 y 7, a pesar de que los barrios representan ICUs, algunos presentan vegetación media y suelo semidesnudo.



Mapa 7. Clasificación de barrios ICUs por tipo de cobertura
Fuente: Elaboración Propia

4.2.2 Descripción de las principales características de las ICUs

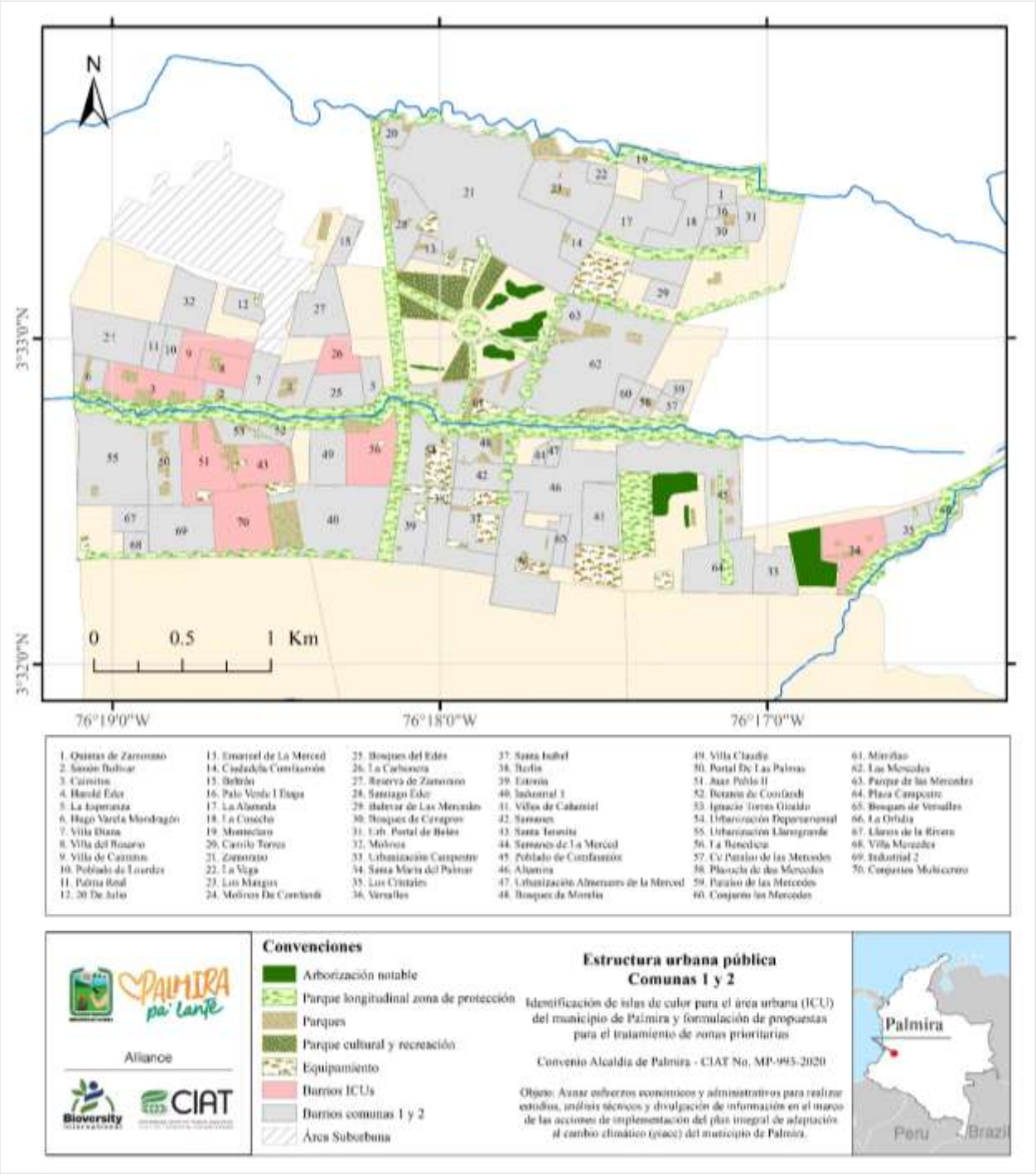
A partir de la selección de los barrios donde se localizaban las ICUs, se describen las principales características en cuanto a la estructura verde que posee la ciudad, lo cual permite identificar las zonas de confort térmico y las zonas prioritarias para intervención con base en este tipo de estructura de espacio público. Para lo anterior se dividió el área urbana en tres zonas principales, teniendo en cuenta los resultados de la clasificación por tipo de cobertura; la primera zona corresponde a las comunas 1 y 2, en la segunda zona se agrupan las comunas 3, 4, 5 y 6, y por último una tercera zona que corresponde a la comuna 7.

Zona 1: Comunas 1 y 2

Esta zona se caracteriza por presentar en promedio zonas con vegetación media, como arbustos y pastizales, los cuales como se muestra en la Mapa 8, se ubican principalmente hacia el centro y oriente del área analizada, destacándose zonas con arborización notable y los parques longitudinales y/o zonas de protección, las cuales ocupan el 13% del área total. Hacia la región occidental de la zona 1, donde se localizan la mayoría de los barrios con ICUs, la cobertura verde es menos evidente, siendo los parques la segunda estructura más representativa, los cuales por lo general son espacios semidesnudos o descubiertos, disminuyendo el servicio ambiental que podrían brindar en cuanto a la regulación de la Ts.

En la comuna 1 el barrio con mayor área de ICUs es Villa de Caimitos y en la 2 es La Benedicta; ambos presentan como actividad principal la residencial neta, esto con base en el POT (Concejo municipal de Palmira, 2014); y se clasifican además dentro del tipo de cobertura de áreas edificadas o suelos desnudo, siendo este un indicador de la presencia de islas de calor. En general estos barrios presentan mayor densidad de construcciones con poca o nula cobertura vegetal esto con base en los resultados para los índices NDVI y NDBI.

Las áreas prioritarias para intervención en esta zona de la ciudad corresponden entonces a los barrios con presencia de ICUs, asociadas principalmente a la densidad de las construcciones, áreas con suelo desnudo y deficiencia de zonas con vegetación. Por su parte las regiones que representan mayor confort térmico por la presencia de vegetación notoria, como árboles y zonas de protección principalmente asociado a los cauces, son los barrios La Orlidia, Villas de Cañamiel, Quintas de Zamorano, Bosques de Morelia, Urb. Portal de Belén, Urbanización Campestre, Urbanización departamental, Montecarlo y Poblado de Comfaunión; todos estos presentan en promedio 1,3°C por debajo de la Ts promedio en toda la ZU.



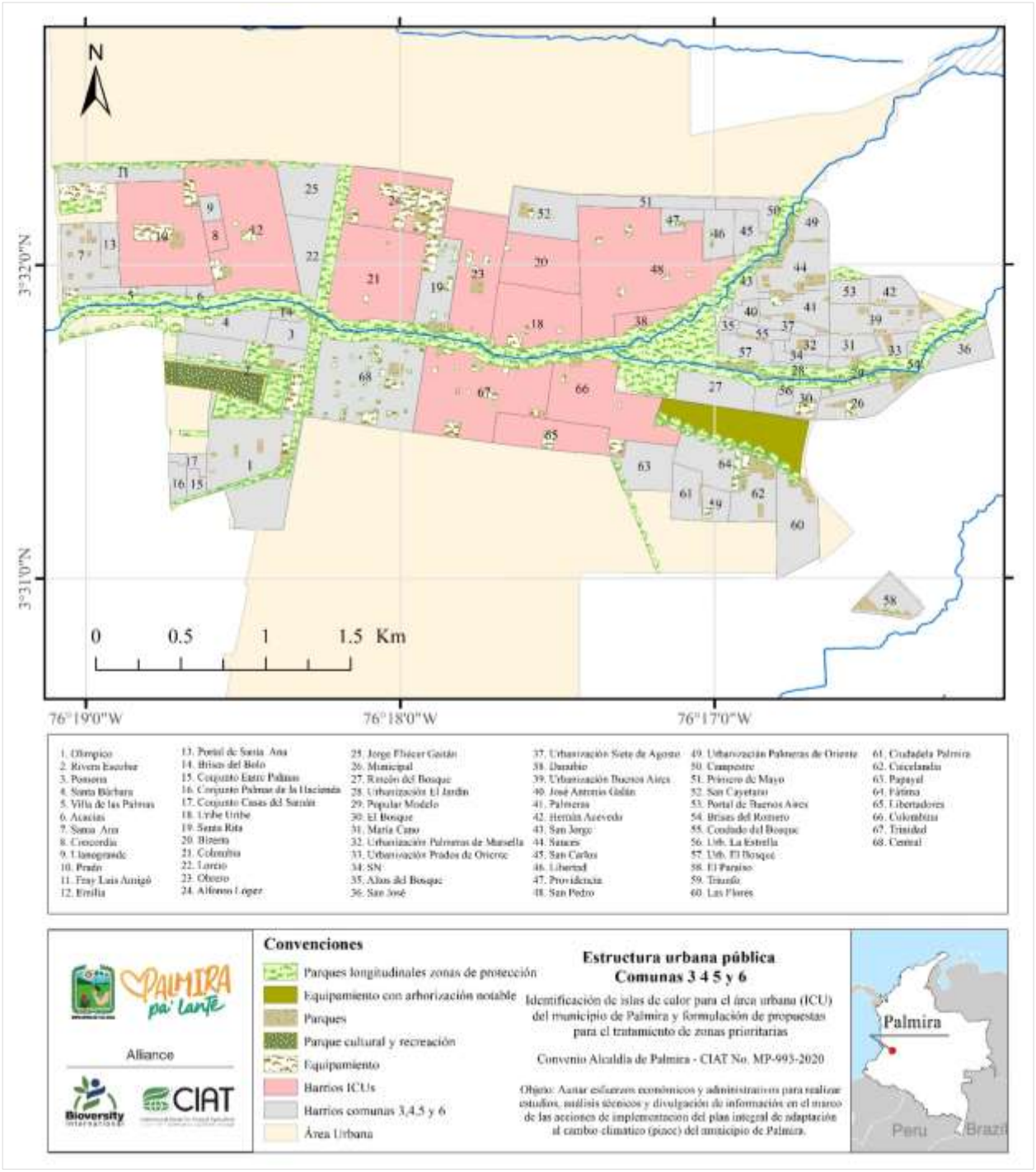
Mapa 8. Identificación de zonas de confort térmico y zonas prioritarias para intervención en las comunas 1 y 2.
Fuente: Elaboración Propia

Zona 2: Comunas 3, 4, 5 y 6

En la zona se presentan principalmente coberturas relacionadas a zonas edificadas o suelos desnudos, donde la mayor cobertura de espacios verde la representa los parques longitudinales o zonas de protección de la red hídrica que atraviesa esta zona la cual con base en la cartografía del POT 2014 corresponde al 22% del área total (Mapa 9). Sin embargo, con base en los mapas de NDVI y NDBI, la margen de estas corrientes se encuentra edificada, con poca presencia de cobertura arbórea, a excepción del área donde se cruzan el río Palmira y el Zanjón Romero, y a la salida del río Palmira de la zona urbana. La principal estructura verde se localiza en el occidente y oriente de la zona de estudio, donde se resalta además de las zonas de protección, el equipamiento con arborización notable. En general la zona centro y noroccidental se encuentra desprovista de áreas verdes representativas, generando que sea en esta región donde se localizan las ICUs.

Los barrios que representan las ICUs, tienen en común una cobertura de tipo zonas edificadas y descubiertas, para la comuna 3 el barrio más representativo por el área que ocupa la isla de calor es Prado, cuya actividad principal es la residencial neta; en la comuna 4, se destacan El Obrero, Bizerta y el Uribe Uribe, de los cuales el primero tiene como actividad principal el uso múltiple (mayores dinámicas comerciales y de servicios y existencia de uso residencial) y los últimos el uso residencial mixto (usos comerciales, de servicio e industrial compatible con la vivienda); en la comuna 5 el barrio San Pedro con uso predominante como residencial neto; y en la comuna 6, el barrio Libertadores, que abarca uso residencial mixto, neto y uso múltiple. la mayoría de estos barrios se localizan en la margen derecha en sentido de la corriente del río Palmira.

Las áreas prioritarias para intervención en esta zona de estudio corresponden a todos los barrios identificados como ICUs y en especial a los localizados en las comunas 4 y 6 por representar la mayor densidad de edificaciones y baja cobertura vegetal y como factor principal la escasa margen de protección del río Palmira. Además de lo anterior por ser la zona que representa el centro de la ciudad con actividades comerciales y de servicios, la densidad poblacional en esta área es mucho mayor, factor que aporta al aumento de la Ts. Por otro lado, las regiones que mayor confort térmico representan en esta área debido a la presencia de extensas zonas con arborización y vegetación notable son los barrios, El Paraíso, Rincón del Bosque, Urb. La Estrella, El Bosque, Brisas del Romero, Urbanización del Jardín, Hernán Acevedo, Portal de Buenos Aires y Urb. El Bosque; estos barrios en promedio poseen una Ts de 1,5°C inferior al promedio en toda la ZU, y se destaca la cercanía que tienen al bosque municipal.



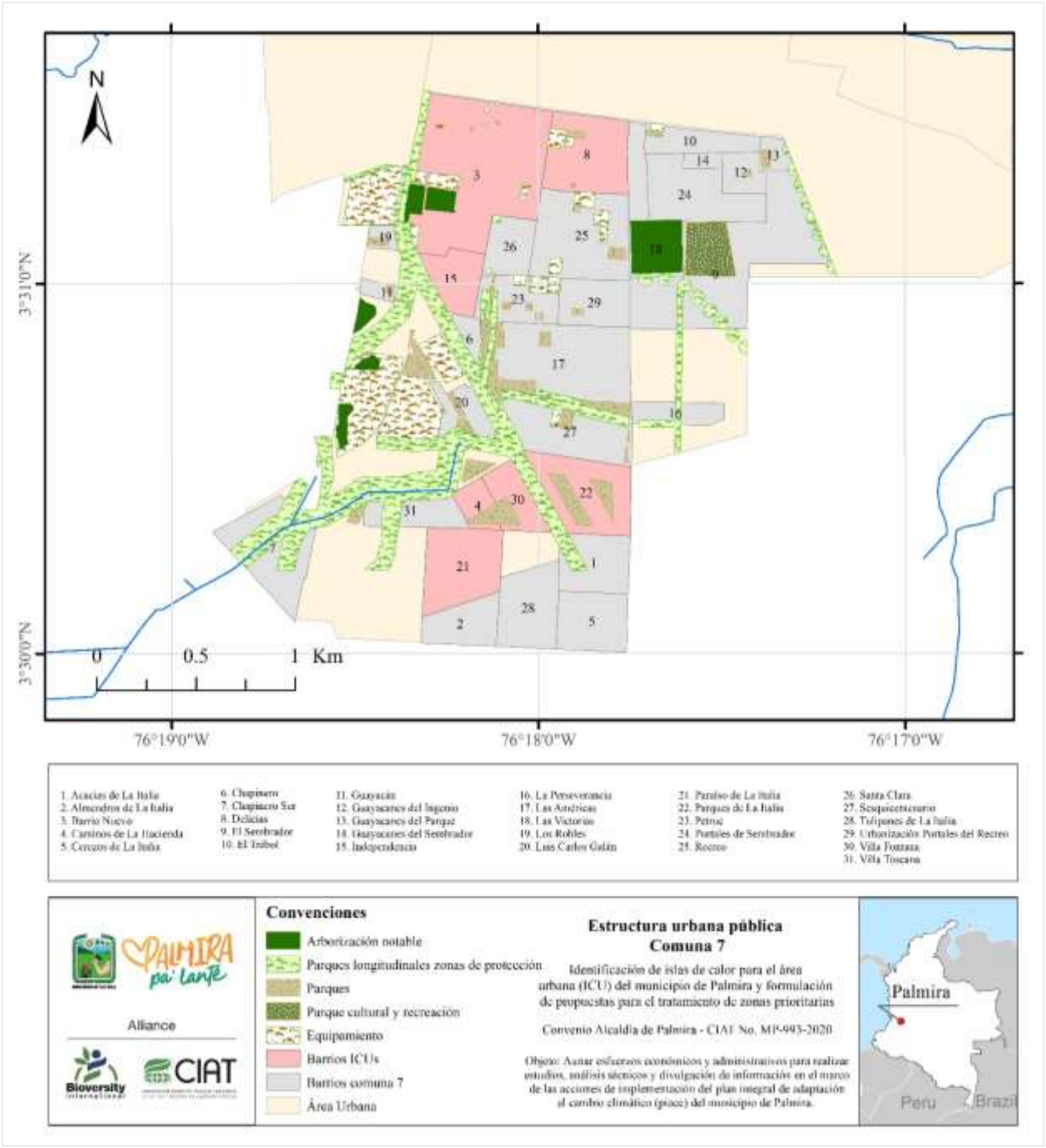
Mapa 9. Identificación de zonas de confort térmico y zonas prioritarias para intervención en las comunas 3, 4, 5 y 6.
Fuente: Elaboración Propia

Zona 3: Comuna 7

Esta zona representativa del sur de la ciudad, presenta como principal cobertura zonas con vegetación media; se resalta al igual que en los casos anteriores los parques longitudinales y/o zonas de protección los cuales representan el 13% del área total de la comuna (Mapa 10). También se destacan importantes zonas con arborización notable, principalmente en el sector del campus de la Universidad Nacional. La mayoría de las estructuras públicas verdes se localizan al occidente de la comuna; la mayor densidad de construcciones o áreas edificadas se localizan al norte y en algunas regiones centrales.

Los barrios que representan ICUs muestran diferencias en cuanto al tipo de cobertura representativo, los ubicados más al norte acorde a lo que ya se ha mencionado son zonas edificadas o con suelo desnudo, mientras que los ubicados al sur su cobertura representativa es el suelo semidesnudo, lo que indica zonas edificadas con algunas áreas con cobertura vegetal. De estos los de mayor extensión de ICUs son Villa Fontana, Paraíso de la Italia e Independencia; en los primeros las principales actividades con base en el POT de 2014 están relacionadas con áreas para expansión urbana; en la actualidad su uso es residencial, con una alta densidad de edificaciones con baja o nula presencia de vegetación, lo cual se ve reflejado en los resultados de los índices. Por su parte el barrio Independencia presenta uso residencial mixto, múltiple e industrial.

Las áreas de interés prioritario para el tratamiento de ICUs en la comuna 7 son en general donde hay presencia de estas, sin embargo, cabe resaltar los barrios en donde la extensión es mayor y actualmente se están llevando a cabo procesos de expansión urbana, que reflejan una alta densidad de edificaciones, extensas zonas con suelos semidesnudos y baja cobertura vegetal, con áreas de protección de cauces mínima. En cuanto a las regiones de mayor confort térmico en la comuna, se destacan los barrios, La Perseverancia y Urbanización Portales del Recreo, los cuales en promedio están 1,8 °C por debajo de la Ts de la ZU. En esta comuna cabe destacar como zona confort térmico por la densidad de arborización, cobertura vegetal y baja densidad de construcciones, el área de la universidad Nacional y sus alrededores, al suroccidente de la comuna.



Mapa 10. Identificación de zonas de confort térmico y zonas prioritarias para intervención en la comuna 7.
Fuente: Elaboración Propia

5 FORMULACIÓN DE ACCIONES PARA EL TRATAMIENTO DE ZONAS PRIORITARIAS

Identificadas y descritas las características de las ICUs a continuación se formulan algunas medidas, propuestas y lineamientos de gestión que permitan reducir el efecto de la temperatura superficial sobre la ciudad, orientadas principalmente hacia un mejor aprovechamiento y uso adecuado del espacio público, incrementando áreas verdes y alternativas en materiales y modelos de construcciones urbanas.

5.1 Formulación de acciones a partir de los lineamientos del Plan de Desarrollo Municipal 2020 – 2023.

Dentro de las propuestas que se plantean para el tratamiento de las ICU en la ciudad de Palmira, se retoman algunos lineamientos y estrategias planteadas en el Plan de Desarrollo 2020 - 2023 “Palmira Pa´Lante” (Alcaldia de palmira, 2020), el cual plasma como uno de los principios rectores, la Sostenibilidad y Resiliencia, donde el desarrollo de la ciudad vaya de la mano con el cuidado del medio ambiente. Las estrategias seleccionadas del Plan de Desarrollo se clasifican principalmente en tres componentes que involucran procesos de mejoramiento de la calidad ambiental, de la vivienda y del ordenamiento territorial, y que, con base en los resultados obtenidos en el análisis de las ICUs de la ciudad, corresponden a los principales componentes que intervienen y caracterizan la aparición de estos microclimas. En la Tabla 5 se presentan algunas de las propuestas y estrategias planteadas desde el Pla de Desarrollo para 2020 - 2023 con las cuales se pueden generar procesos de mitigación de los efectos de las ICUs sobre los sitios más críticos de la ciudad.

Tabla 5. Propuestas y estrategias para el tratamiento de las ICU en la ciudad.

Línea Estratégica	Sector	Objetivo	Estrategias
Palmira, Territorio Resiliente y Sostenible	Ambiente y Desarrollo Sostenible	Incrementar la conservación en áreas de importancia estratégica como acciones para la mitigación del cambio climático y promover el uso sostenible de los ecosistemas para garantizar la oferta del recurso hídrico y demás servicios ecosistémicos.	• Diseñar e implementar programas de reforestación urbana y de centros poblados. • Implementar la Política Municipal de Educación Ambiental. • Realizar acompañamiento e incentivar la implementación de fuentes de energías alternativas. • Operativizar el Sistema de Gestión Ambiental Municipal – SIGAM.

Línea Estratégica	Sector	Objetivo	Estrategias
	Vivienda Sostenible, Saneamiento Básico y Servicios Públicos	Contener y reducir el déficit de vivienda existente en el municipio y apoyar proyectos inmobiliarios diseñados bajo parámetros de sostenibilidad que permitan propiciar condiciones dignas de habitabilidad a los ciudadanos.	• Incentivar la ejecución de proyectos de vivienda de acuerdo con los parámetros y lineamientos de construcción sostenible conforme lo definido en el Documento CONPES 3919 del 23 de marzo de 2018 y la Resolución No. 0549 del 10 de julio de 2015 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. • Aunar esfuerzos con el concesionario de alumbrado público para incrementar la cobertura del servicio, promover el uso de energías renovables y no convencionales; y propiciar el cambio de luminarias convencionales por tecnologías de bajo consumo.
Palmira, territorio Planificado, Ordenado y Conectado.	Ordenamiento Territorial	Consolidar un nuevo modelo de ordenamiento que permita el aprovechamiento sostenible y ambientalmente responsable del territorio, a través de acciones territoriales integrales que aumenten la resiliencia y sostenibilidad ambiental.	• Estructurar un instrumento de Planificación Territorial vanguardista, consciente de los retos del cambio climático. • Priorizar la estructura ecológica principal en un marco de acción que permita proteger y mitigar los problemas derivados de la contaminación ambiental y prevenir las amenazas generadas por el cambio climático y ser la columna vertebral del territorio municipal y de la región.

Fuente: (Alcaldía de Palmira, 2020)

A continuación, se describen algunas líneas estratégicas de los principales programas del Plan de Desarrollo 2020 – 2023, como base para la implementación de medidas de mitigación de las ICUs.

Línea Estratégica 3. Palmira, Territorio Resiliente y Sostenible

Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible

Con relación a lo que se puede considerar como estrategias para la mitigación de las ICUs, este sector busca mejorar la relación árbol/habitante acompañados de entornos ambientalmente saludables, realizar mantenimiento adecuado a los árboles del municipio, promover la utilización de fuentes de energías alternativas, fortalecer la institucionalidad ambiental y mejorar la gobernanza ambiental del municipio, fortalecer la cultura ambiental de los habitantes.

Programa: Páramos y Ecosistemas Estratégicos para la Vida: Palmira Reverdece y Pa'Lante: Con base en Alcaldia de palmira, (2020), en la ciudad existe una escasez en la relación árbol – habitante, ya que con base en las recomendaciones de la OMS debe existir 1 árbol por cada 3 habitantes, y en Palmira la relación es de 0,12 árboles por habitante. A partir de lo anterior este programa tiene como uno de sus objetivos, la implementación del Plan de Reforestación Urbana y Centros Poblados que permitirá la recuperación de áreas degradas con la siembra de 10.000 árboles abarcando un área de 32 Ha (Alcaldía de Palmira, 2020) .

Programa: Cultura Ambiental y Pa'Lante: Existe una falta de promoción de cultura ambiental ciudadana lo que impide un desarrollo ambiental y económico en la ciudad. Este programa busca generar una cultura ambiental que fortalezca la participación ciudadana, en la recuperación, conservación y protección de los recursos naturales.

Programa: Gobernanza Ambiental: Sumado a lo anterior ha existido una baja articulación institucional para el fortalecimiento de acciones para la conservación ambiental; todo lo anterior ha llevado a un deterioro de la calidad ambiental en la ciudad, lo que hoy se refleja en la presencia de ICUs en toda la zona urbana, siendo más evidentes e intensas en los sectores con menor calidad ambiental. Por lo anterior este programa busca mejorar la gestión ambiental mediante el desarrollo técnico y operativo del Sistema de Gestión Ambiental (SIGAM), a través del fortalecimiento de las instancias de coordinación, el fomento de la participación ciudadana, la formación de líderes comunales y organizaciones de base en procesos sensibles frente al cambio climático.

Sector Vivienda Sostenible, Saneamiento Básico y Servicios Públicos

Programa: Vivienda digna y sostenible: La ciudad de Palmira en los últimos años ha incrementado los proyectos inmobiliarios tanto públicos como privados, alcanzando en 2016, 12 proyectos de unidades de vivienda. Este acelerado crecimiento urbanístico requiere de medidas que ayuden a mitigar la formación de ICUs en la ciudad, ya que como se apreció en la comuna 7, este tipo de construcciones están ocasionando un alto impacto por el aumento de la temperatura de la superficie. Si bien es importante mejorar el déficit de viviendas en el municipio, se deben considerar diseños con mayor participación de áreas de regulación térmica como son las zonas verdes, así mismo considerar la utilización de materiales de construcción termo-reguladores, entre otras estrategias. Lo anterior se ajusta a la propuesta del gobierno actual de la generación de construcciones sostenibles, donde se promueve la eficiencia energética bajo en concepto de

“Ciudades y Comunidades Sostenibles” por parte de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Alcaldia de palmira, 2020). El primer objetivo de este programa es promover la implementación de una guía de construcción sostenible para ahorro de agua y energía, además que permita armonizar el espacio construido con el espacio natural, fomentando la construcción de viviendas con parámetros de sostenibilidad que involucre medias activas y pasivas.

Línea Estratégica 4. Palmira, Territorio Planificado, Ordenado y Conectado

Sector Ordenamiento territorial

Programa: Planeando el territorio para la calidad de vida: El municipio actualmente cuanta con un Plan de Ordenamiento Territorial POT, adoptado mediante el Acuerdo Municipal N° 109 de 2001, cuya última revisión y ajuste se realizó mediante el acuerdo N° 028 de 2014. Sin embargo, con base en Alcaldia de palmira, (2020) teniendo en cuenta la evolución de Palmira desde 2016 se ha venido realizando el proceso para la generación de un POT moderno que deberá abordar temas importantes para el desarrollo del municipio, entre los cuales se cuenta:

- La degradación del soporte ambiental y la baja calidad ambiental urbana, por la falta de planeación y gestión territorial
- La consolidación de núcleos urbanos adicionales al centro principal de la ciudad, los cuales a pesar de ser necesarios requiere de una adecuada planificación y gestión.
- El deterioro que ocasiona las zonas industriales antiguas y los vacíos urbanos.
- Falta de regulación de las condiciones de uso y manejo del espacio público en articulación con la reglamentación del manejo de la estructura ecológica principal. Avanzar en la definición de indicadores cualitativos como base para la gestión de espacios públicos más verdes.

Este programa tiene como uno de los objetivos generar un modelo de ocupación territorial integrado funcionalmente en torno a la estructura ecológica, para facilitar el desarrollo sostenible y la protección del medio ambiente.

5.2 Formulación de acciones generales para el tratamiento de las zonas prioritarias

Diversas investigaciones realizadas en regiones donde el fenómeno de ICU ha sido detectado, han permitido desarrollar una amplia variedad de estrategias para contrarrestar el impacto del aumento

de la temperatura; las técnicas de mitigación están enfocadas a equilibrar el balance de energía de las ciudades propiciando el enfriamiento pasivo y evitando la acumulación de calor (Sosa, 2018). Investigaciones como la de Rizwan, Dennis, & Liu, (2008) propone dos estrategias principales de mitigación; (i) controlar los mecanismos de intercambio de energía y (ii) evaluar la etapa de planificación urbana en la que se encuentre el área de intervención. Para la primera las acciones van encaminadas al diseño y materiales de la envolvente urbana (techos verdes, fachadas con altos niveles de albedo, etc.); a la reducción de calor antropogénico liberado (menor uso de aires acondicionados, disminución del tráfico urbano, etc.) y a otros factores tecnológicos (humidificación, paneles fotovoltaicos, pinturas termo-crómicas, etc.). Para la segunda estrategia, las acciones se clasifican en dos, propuestas que sólo pueden ejecutarse en la fase de diseño (factor de visión de cielo, selección de materiales de construcción, etc.) y medidas de rehabilitación a entornos urbanos existentes (enverdecer las áreas de parques, pinturas o revestimientos reflectivos en fachadas y techos).

Por otra parte Kleerekoper, Esch, & Baldiri, (2012), analizan el impacto de cuatro categorías en el diseño urbano, la vegetación, el agua, la forma de construcción y el material. Con la **Vegetación**, mediante la implementación de bosques urbanos, árboles de alineación, verde en patios privados, techos y fachadas verdes, se podría lograr un enfriamiento de 1 a 4,7°C que se extiende de 100 a 1000 m en una zona urbana; sin embargo, esto depende de la cantidad de agua que el árbol dispone. **Agua,** la incorporación de agua en el espacio urbano funciona como amortiguador de calor, con un efecto de enfriamiento promedio de 1 a 3°C, en una extensión aproximada de 30 a 35 m; esta estrategia es más eficiente cuando se tiene una gran superficie o el agua está en movimiento. La **Forma construida**, en esta categoría de tiene en cuenta el indicador H/W (relación de la atura de la edificación con respecto al ancho de la calle), Bourbia & Awbi, (2004), recomiendan que para H/W < 0,5, se deben introducir árboles para mejorar la condición térmica. Y el **Material,** se refiere a los materiales de las coberturas urbanas, considerada una de las estrategias de menor costo para reducir el efecto de ICU, aunque los efectos son menores a los obtenidos con la vegetación. Al aumentar los valores de albedo en grandes extensiones, la temperatura podría disminuir entre 1 a 4°C, reduciendo así la demanda de energía de enfriamiento (Sosa, 2018).

Con base en la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, existen cinco estrategias principales para el enfriamiento de las islas de calor urbano, las cuales se detallan a continuación en la Tabla 6.

Tabla 6. Estrategias para el enfriamiento de ICU

Estrategia	Descripción	Beneficios
1. Aumentar la cobertura arbórea y de vegetación.	Los árboles de sombra y las plantas más pequeñas, como arbustos, enredaderas, pastos y la cobertura natural del suelo, ayudan a enfriar el entorno urbano proporcionando sombra y eliminando el calor del aire a través de la evapotranspiración.	• La evapotranspiración sola o en combinación con sombra pueden reducir las temperaturas máximas de verano de 1 a 5°C. • Reduce el uso de energía (uso de aires acondicionados). • Mejora la calidad del aire y reduce las emisiones de gases de efecto invernadero. • La sombra sobre los pavimentos disminuye su deterioro. • Mejora la calidad de vida por su valor estético y ambiental.
2. Instalar techos ecológicos.	Un techo ecológico, es una capa vegetativa que crece en una terraza; proporcionan sombra, eliminan el calor del aire y reducen las temperaturas de la superficie del techo y del aire circundante. Existes dos clases, techos verdes extensivos e intensivos. Los primeros son más simples, con plantas resistente y altura media, livianas y requieren poco mantenimiento. Los intensivos, son más complejos, parecen jardines o parques convencionales, requieren una estructura de soporte y mayor mantenimiento.	• Puede moderar el efecto de ICU, especialmente en el día, en entornos o ciudades con poca vegetación. • Presentan temperaturas de 1 a 4°C más bajas que los techos convencionales, y pueden reducir la temperatura ambiente en toda la ciudad. • Reduce el uso de energía (aires acondicionados).
3. Instalar techos fríos (principalmente reflectantes).	Un techo frío está elaborado con materiales o recubrimientos que reflejan considerablemente la luz solar y reducen el calor de un edificio. Transfiere menos calor al edificio que cubre, por lo tanto, se mantiene más fresco y demanda menos energía para alimentar los sistemas de aire acondicionado.	• Los techos absorben menos calor y se mantienen entre 28 a 33°C más frescos que los convencionales durante los días más cálidos. • Reduce el uso de energía. • Salud humana y confort mejorado.
4. Utilizar pavimentos fríos (ya sea reflectantes o permeables).	Un pavimento frío está elaborado con materiales que reflejan más energía solar, mejoran la evaporación del agua (pavimentos permeables) o se modificaron para que permanezcan más fríos que los pavimentos convencionales.	• Enfría la superficie y el aire circundante. • Reduce la escorrentía y mejora la calidad del agua • Mejora la visibilidad nocturna.
5. Utilizar prácticas de desarrollo inteligente.	El desarrollo inteligente, también llamado crecimiento inteligente, se refiere a estrategias de desarrollo y conservación que ayudan a proteger el entorno natural. Incluyen la preservación de espacios abiertos, el suministro de opciones sostenibles de transporte y el fomento de la colaboración comunitaria en las decisiones de desarrollo, entre otras. Principios básicos: • Mezclar usos del suelo (residencial, comercial y recreativo).	• Al combinar crecimiento inteligente y estrategias de enfriamiento urbano, las comunidades pueden reducir la temperatura de las ICU y al mismo tiempo fomentar la habitabilidad de los vecindarios. • Hacen que las comunidades sean más atractivas, habitables y económicamente más fuertes

Estrategia	Descripción	Beneficios
	• Variedad de oportunidades y opciones de vivienda. • Crear barrios transitables. • Fomentar comunidades con sentido de pertenencia. • Preservar los espacios abiertos, naturales, cultivados y áreas ambientalmente críticas. • Proporcionar variedad de opciones de transporte. • Fomentar la colaboración comunitaria y de las partes interesadas en decisiones de desarrollo.	

Fuente: (EPA, 2020)

A nivel mundial se tiene como objetivo lograr un desarrollo más sostenible de las ciudades, implementando estrategias que buscan reducir el impacto del cambio climático sobre los centros urbanos, caracterizados principalmente por la presencia de islas de calor. Algunos de los lineamientos son el llamado "*urbanismo bioclimático*"(Higueras, 2011), el cual busca adecuar los trazados urbanos a las condiciones propias del territorio, bajo este modelo se sugiere como primer paso, realizar un diagnóstico a escala local de factores como el relieve, paisaje, vegetación, evacuación del agua superficial, entre otros. En segundo lugar, determinar las condiciones y parámetros del microclima local, vientos, radiación, precipitaciones, etc. Y en tercer lugar definir estrategias generales que se plasmarán en los documentos de planificación territorial oportunos, articulados mediante los sistemas urbanos (red vial, equipamientos y zonas verdes) (Sosa, 2018). En California, desde el 2006 se vienen implementando estrategias que se busca la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) mediante la creación de comunidades frescas o "*cool communities*" donde se promueve la generación y rehabilitación de las áreas urbanas, por medio de los techos verdes, pavimentos fríos, paredes frías y vegetación urbana, las cuales han sido identificadas como medidas voluntarias efectivas en la reducción de las emisiones de GEI. El proyecto *cool communities*, brinda asistencia técnica a las comunidades en el desarrollo de programas de ahorro de energía y mejoramiento del medio ambiente urbano, esto incluye tanto investigación científica como esfuerzos educativos y de divulgación[4]. Así mismo en Nueva York existe la iniciativa de techos frescos llamada "*cool roof initiative*" (coolroofs.org), donde voluntarios pintan techos oscuros de color blanco y así disminuyen la absorción de radiación de las edificaciones.

4 https://heatisland.lbl.gov/projects/projects-cool-communities

La tendencia actual es la construcción de edificios con cubiertas vegetales y jardines en las terrazas. Los techos verdes, técnicamente llamados "*Arquitectura vegetalizada*" es uno de los conceptos de construcción que puede realizar un gran aporte en la calidad de vida de las grandes ciudades y hoy son un elemento clave para la solución de problemas públicos y privados en las ciudades[5]. Esta es una alternativa que requiere una técnica adecuada y rigurosa que permita su legitimación en el tiempo. La alternativa de los techos verdes es más factible en ciudades donde la zona verde por habitante no supera los 10 m^2 siendo este el valor mínimo que debería existir. A nivel nacional, se ha venido implementando a gran escala esta iniciativa y existe actualmente una guía técnica pionera en Latinoamérica llamada "*Guía de techos verdes en Bogotá*"[6], en donde están consignados los criterios técnicos mínimos que deben tenerse en cuenta para no desestimar la tecnología en la implementación de los techos verdes y evitar que empiecen a construirse de manera desordenada. Por otra parte, en Medellín se han implementado procesos experimentales para hacerle frente a los fenómenos climáticos tratando de incluir fachadas verdes en sus vías y edificios, con propuestas innovadoras como el distrito térmico la Alpujarra, proyecto diseñado por EPM (Empresas Públicas de Medellín), siendo el primero de su tipo en construirse en América Latina, el cual provee el aire acondicionado a los edificios de la Alcaldía, el Consejo municipal, la Gobernación de Antioquia, entre otros, a través de un diseño de alta eficiencia energética, mediante tuberías y turbogeneradores que proporcionan los elementos para la generación de confort térmico al interior de dichas instalaciones. Adicional a este, otros 17 proyectos en la ciudad han implementado materiales de eficiencia térmica y cubiertas verdes (Tejada & Solano, 2018).

Según Monterrosa, (2019), Colombia se encuentra en el tercer lugar de países suramericanos que más impulsan la construcción de proyectos inmobiliarios sostenible, con base en el estudio titulado World Green Building Trends for 2018, llevado a cabo por la firma Dodge Data & Analytics. El gobierno nacional y las entidades privadas están desarrollando iniciativas como los créditos verdes preferenciales; en 2018 la Unidad de Planeación Minero Energética (Upme) expidió la resolución 463, en la cual se otorgan beneficios tributarios para los proyectos sostenibles avalados por certificaciones como LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), siendo esta la más importante a nivel mundial. Además, por medio de la alianza suscrita entre el Consejo Colombiano de Construcción Sostenibles (Cccs), el U.S Green Building Council (Usgbc) y el Green Business Certification Inc. (Gbci) se han facilitado herramientas con el fin de acelerar la adopción de prácticas de edificación sostenible en el país. En 2018sSe promulgó el CONPES 3919 que busca impulsar la inclusión de criterios de sostenibilidad dentro del ciclo de vida de las edificaciones, a través de

[5] http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-9121821.
6 http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/73753/GUIA+DE+TECHOS+VERDES_2011.pdf

instrumentos para la transición, seguimiento y control, e incentivos financieros que permitan implementar iniciativas de construcción sostenible con un horizonte de acción hasta el año 2025 [7].

En la actualidad existen normatividades en relación a los materiales que se emplean para la construcción de nuevas edificaciones, en donde se obliga 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 la Tabla 7.

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

Material	Descripción
Ladrillos de cenizas volcánicas	Utilizado principalmente en construcción de pequeñas edificaciones como casas, es un material natural utilizado como aislante térmico y sonoro.
Bloques de tierra comprimida BTC	Son una variante del tradicional adobe, altamente usado en las construcciones antiguas, pero se diferencia en la presión que se le aplica en el proceso de moldeado y que lo hace más resistente a la compresión, la erosión y de cierta manera, menos permeable. debido a sus propiedades térmicas, tienen la capacidad de conservar el calor en climas fríos y mantener el ambiente fresco en zonas más calientes.
Tapia	Consiste en la compactación dinámica de varias capas de suelo entre formaletas móviles para conformar muros de tierra que sean durables y resistentes. Entre los beneficios de esta técnica de construcción, se encuentran las bajas emisiones de CO2, los bajos costos de mantenimiento, durabilidad, resistencia al fuego, excelente aislamiento térmico y acústico, eficiencia en costos y rapidez en el proceso constructivo.
Guadua	Es un material con características de resistencia, durabilidad y fácil manejo, ideal para brindar soluciones de construcción rápidas, económicas y seguras.
Fibras 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.

7 https://www.grupobancolombia.com/wps/portal/empresas/capital-inteligente/especiales/sector-construccion-colombia-2019/construccion-sostenible-colombia-2019-avances-retos

Material	Descripción
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.
Pavimentos permeables en hormigón	Construido usando las materias primas tradicionales para un pavimento en hormigón, pero se usa una mezcla de concreto especial de alta porosidad que se obtiene mediante un mayor número de vacíos causados por la poca o no inclusión de materiales finos a la mezcla.
Pavimentos permeables en adoquines	Utilizando adoquines que tienen una geometría especialmente diseñada para dejar pasar el agua a través de las juntas o recortes en los mismos adoquines, que son llenados con arena o gravilla fina-

Fuente: (CVC et al., 2015; González, Quevedo, & Álvarez, 2019)

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El crecimiento poblacional en las ciudades demanda cada vez más espacios naturales, lo cual puede ocasionar alteraciones en el equilibrio ambiental, trayendo como consecuencias mayores temperaturas superficiales y por ende la intensificación o aparición de nuevas islas de calor en la ciudad y el deterioro de la calidad ambiental en la misma; y aunque es imposible frenar el crecimiento poblacional, si es posible implementar estrategias que permitan desarrollos bioclimáticos, logrando ciudades confortables y sostenibles ambientalmente.

Actualmente Palmira representa un reto como modelo de desarrollo urbano, con la posibilidad de introducir propuestas innovadoras en los actuales planes de renovación y modernización del Plan de Ordenamiento Territorial, logrando integrar de forma sostenible el entorno natural con las actividades urbanas. La situación actual del municipio en especial de su zona urbana, permite tanto la implementación de estrategias para la mitigación del impacto negativo y la restauración de los espacios naturales en las zonas ya construidas, como la implementación de diseños de desarrollo sostenibles donde el eje central sea la conservación del entorno natural.

A partir del conocimiento de fenómenos ambientales urbanos como las islas de calor, se pueden realizar lecturas objetivas de los impactos climáticos y así mismo idear estrategias que permitan mitigar tales impactos, estas acciones enfocadas principalmente a la restitución de la calidad ambiental, permitiendo una relación entre el factor natural y el artificial.

Debido a que actualmente la Administración Municipal se encuentra adelantando acciones de renovación y estructuración del POT, como la actualización de los límites territoriales del municipio, entre ellos la división barrial, y la definición del espacio público efectivo y no efectivo en la ciudad, durante el presente estudio se tomó como referencia la información del POT vigente (Acuerdo N° 028 de 2014), por tanto se recomienda ajustar los resultados expuestos en el presente informe con respecto a la clasificación por barrios, una vez definidos y aceptados los nuevos límites y espacio público de la ciudad.

Se recomienda, en futuros análisis de ICUs en la ciudad, incluir los resultados del censo arbóreo que actualmente adelanta la Dirección de Gestión del Medio Ambiente, con el fin de complementar el análisis respecto a la relación entre las islas de calor y la ausencia de vegetación.

7 BIBLIOGRAFÍA

Alcaldia de palmira. (2020). *Plan de Desarrollo Municipal 2020-2023, "Palmira Pa'Lante."* Palmira, Colombia. Retrieved from https://www.palmira.gov.co/convocatorias/wp-content/uploads/2020/03/PDM-4.0-Bases-Anexos.pdf

Alcaldía de Palmira, . (2020). *Exposición motivos y articulado Plan de Desarrollo*. Palmira, Colombia. Retrieved from https://palmira.gov.co/acuerdo-plan-de-desarrollo-2020-2023.html

Bounoua, L., Zhang, P., Mostovoy, G., Thome, K., Masek, J., Imhoff, M., … Toure, A. M. (2015). Impact of urbanization on US surface climate. *Environmental Research Letters*, *10*(8). https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/8/084010

Bourbia, F., & Awbi, H. B. (2004). Building cluster and shading in urban canyon for hot dry climate Part 2: Shading simulations. *Renewable Energy*, *29*(2), 291–301. https://doi.org/10.1016/S0960-1481(03)00171-X

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*. Universidad de La Salle.

CCPalmira. (2017). *Anuario estadístico de Palmira 2017*. Palmira, Colombia. Retrieved from https://ccpalmira.org.co/anuarios_estadisticos/palmira/anuario_2017/

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*, 133–146. https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.11.016

Concejo municipal de Palmira, . (2014). *Acuerdo Nº 028 de 2014 - Ajuste al POT*. Palmira, Colombia. Retrieved from http://www.palmira.gov.co/attachments/article/841/Acuerdo 028 2014 02 06 Modifica normas urbanisticas POT.pdf

CVC, CIAT, & DAGMA. (2015). *Identificación de Zonas y Formulación de Propuestas para el Tratamiento de Islas de Calor Municipio de Santiago de Cali*. Santiago de Cali.

de Andrés, P. (2019). *Temperatura Superficial Terrestre a Partir De Imágenes Satelitales: Herramienta Para Su Cálculo*. Escuela Politécnica Superior de Ávila. Retrieved from https://gredos.usal.es/handle/10366/139879

EPA. (2020). Estrategias de enfriamiento para islas de calor. Retrieved January 15, 2021, from https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/estrategias-de-enfriamiento-para-las-islas-de-calor

Fernandez, F. (1996). *Manual de climatología aplicada. Clima, medio ambiente y planificación*. Madrid, España: Editorial Síntesis.

Fernández García, F., & Martilli, A. (2012). El clima urbano: aspectos generales y su aplicación en el área de Madrid. *Revista Índice*, *50*, 21–24. Retrieved from http://www.revistaindice.com/numero50/p21.pdf

Fernández, J., & García, N. (2013). Caracterización de islas frescas urbanas - IFU - en la ciudad de Santiago de Cali, Colombia. *Revista Entorno Geográfico*, (9).

González, J., Quevedo, D., & Álvarez, B. (2019). *Materiales y prácticas de construcción sostenibles;*

construcciones sostenibles en Vilavicencio (Meta). Universidad Cooperativa de Colombia.
Higueras, E. (2011). Urbanismo bioclimático. *Cuadernos de Investigación Urbanística*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/279474037_Urbanismo_bioclimatico
Kleerekoper, L., Esch, M. Van, & Baldiri, T. (2012). Resources , Conservation and Recycling How to make a city climate-proof , addressing the urban heat island effect. *"Resources, Conservation & Recycling," 64*, 30–38. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.06.004
Monterrosa, H. (2019). Aumenta el número de proyectos de construcción sostenible en Colombia. Retrieved January 15, 2021, from https://www.larepublica.co/responsabilidad-social/aumenta-el-numero-de-proyectos-de-construccion-sostenible-en-colombia-2822277
Municipalidad de Curridabat, . (2019). *Islas de calor, impactos y respuestas: El caso del cantón de Curridabat*. Curridabat, Costa Rica. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25704.21762
Preciado, M., & Aldana, A. (2011). Análisis de presencia de islas de calor en Santiago de Cali empleando técnicas de teledectección. *Revista Ventana Informática*, (24), 95–114.
Rizwan, A. M., Dennis, L. Y. C., & Liu, C. (2008). A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of Environmental Sciences*, *20*(1), 120–128. https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)60019-4
Sancha, E. (2010). El estudio de los índices de vegetación como base para conocer las relaciones entre la vegetación y el clima. In J. Ojeda, M. Pita, & I. Vallejo (Eds.), *Tecnologías de la información Geográfica: La información Geográfica al servicio de los ciudadanos* (pp. 1095–1108). Sevilla, España: Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla.
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. Retrieved from https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022010000100006
Sosa, M. B. (2018). *Estrategias de mitigación de la isla de calor, sustentabilidad ambiental y eficiencia energética de perfiles urbanos de baja densidad en zonas áridas*. Universidad Nacional de Salta. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/324866719_ESTRATEGIAS_DE_MITIGACION_DE_LA_ISLA_DE_CALOR_SUSTENTABILIDAD_AMBIENTAL_Y_EFICIENCIA_ENERGETICA_DE_PERFILES_URBANOS_DE_BAJA_DENSIDAD_EN_ZONAS_ARIDAS
Tejada, E., & Solano, N. (2018). *Fenómeno islas de calor . Estrategias de mitigación desde el entendimiento de la ocupación espacial y el clima en el Valle de Aburrá*. Universidad Colegio Mayor de Antioquia, Medellín. Retrieved from https://issuu.com/cartillasinvestigacion/docs/isla_de_calor
Uddin, S., Al Ghadban, A. N., Al Dousari, A., Al Murad, M., & Al 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. https://doi.org/10.2495/SDP-V5-N4-367-377
Wilson, J. S., 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. https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00084-1