

# Evaluación de la infraestructura verde y su relación con los servicios ecosistémicos urbanos en el Cantón de La Unión

## Créditos

### Publicado por:

Municipalidad de La Unión

### Elaboración técnica:

Cristian Brenes Pérez

Lenin Corrales Chaves

Rebeca Brenes Roldán

Miguel Cifuentes-Jara

Laboratorio de Modelado Ecosistémico

Unidad de Acción Climática

Cátedra en Gestión de Ecosistemas

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)

### Fotografías:

Lenin Corrales Chaves

### Revisión técnica:

José Ricardo Laurent Aguilar

Katherine Quirós Monge

Municipalidad de La Unión

Esta publicación puede citarse sin previa autorización con la condición de que se mencione la fuente.

Citar como:

Municipalidad de La Unión. 2020. Evaluación de la infraestructura verde y su relación con los servicios ecosistémicos urbanos en el Cantón de La Unión, Cartago, Costa Rica.

Esta investigación fue desarrollada por el Laboratorio de Modelado Ecosistémico de la Unidad de Acción Climática del CATIE a partir del análisis de datos de sensores remotos e información secundaria recopilada por la Municipalidad de La Unión. La Unidad de Modelado está enfocada en la investigación y la asistencia técnica sobre el efecto del cambio global en los ecosistemas, servicios ecosistémicos e implicaciones para la sociedad latinoamericana, mediante el desarrollo y la aplicación de herramientas de modelado biofísico y socioeconómico dirigidas a apoyar la planificación de toma de decisiones y la gestión de proyectos de acción climática.



# Tabla de contenidos

<b>Introducción</b> .....	7
<b>Infraestructura gris e islas de calor en La Unión</b> .....	9
La urbanización .....	9
Las islas de calor urbano y salud humana .....	11
Los efectos de la vegetación sobre el calentamiento de la ciudad.....	14
Relación entre la temperatura superficial de la tierra y los centros educativos del cantón de La Unión .....	16
Temperatura superficial de la tierra sobre otros sitios de interés público en el cantón de La Unión .....	18
Gradiente térmico fuera y dentro de la ciudad.....	20
<b>Vegetación urbana y calentamiento de la ciudad</b> .....	23
Vegetación urbana .....	23
Infraestructura verde.....	26
Desigualdades territoriales e infraestructura verde.....	33
Contenido de carbono en la vegetación del cantón de La Unión.....	35
<b>Ocupación de la infraestructura verde y gris dentro de zonas de protección de ríos, quebradas y nacientes</b> .....	37
Infraestructura verde y gris dentro de zona de protección de ríos y quebradas.....	38
Zona de influencia de 10 metros .....	38
Zona de influencia de los cursos de agua de acuerdo con los parámetros de la Ley Forestal 7575 .....	40
Infraestructura verde y gris dentro de las áreas de protección de nacientes .....	41
<b>Conclusiones y recomendaciones</b> .....	45
<b>Referencias</b> .....	47
<b>Anexo 1. Costa Rica: Población total proyectada al 30 de junio según cantón y distrito de La Unión, Provincia de Cartago, 2011-2025</b> .....	50
<b>Anexo 2. Índice de Diferencia Normalizada Edificada (NDBI) del cantón de La Unión 2019</b> .....	51
<b>Anexo 3. Metodología para la elaboración del mapa de infraestructura verde del cantón de La Unión, Provincia de Cartago, 2020</b> .....	52
Adquisición de imagen de satélite de base .....	52
Pre-procesamiento de la imagen.....	52
Corrección atmosférica .....	52
Corrección topográfica.....	54
Procesamiento de la imagen .....	54
Definición de la leyenda temática .....	54
Clasificación de la imagen.....	55
Insumos para la clasificación .....	55

# Índice de cuadros

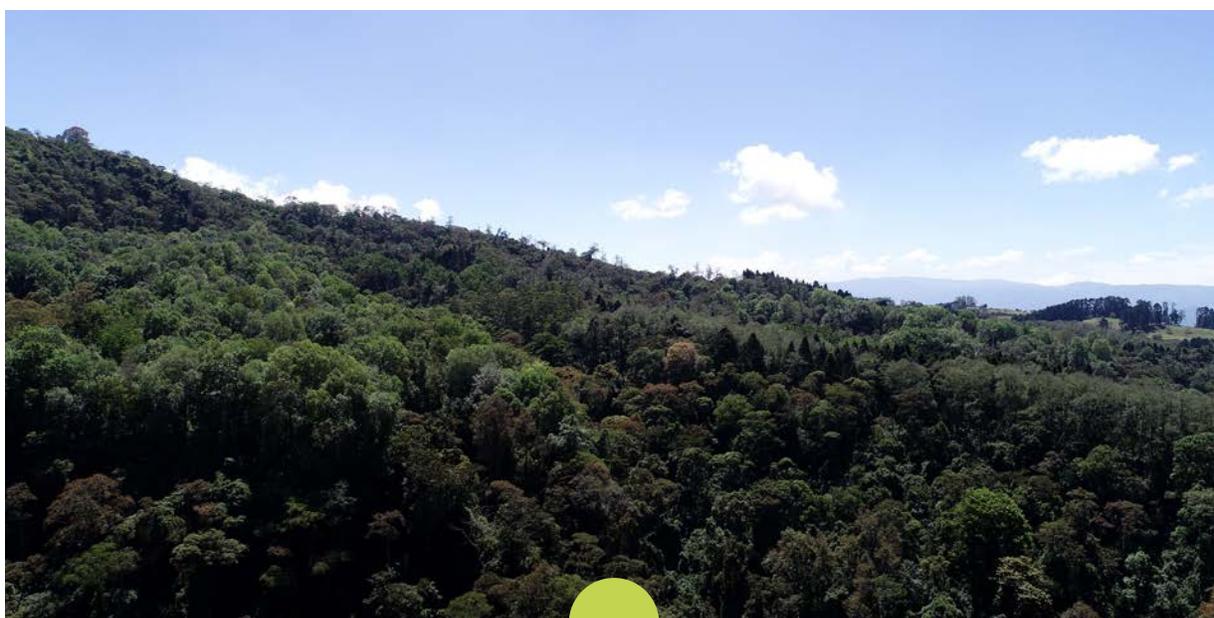
<b>Cuadro 1.</b>	Temperatura superficie del terreno (LST) por distrito en el cantón de La Unión, periodo 2013-2019.....	13
<b>Cuadro 2.</b>	Valor de la temperatura superficial de la tierra en los centros educativos públicos en el cantón de La Unión.....	18
<b>Cuadro 3.</b>	Valor de la temperatura superficial de la tierra en instalaciones de atención, redes de cuidado, salud, alimentación.....	20
<b>Cuadro 4.</b>	Cobertura de infraestructura azul, gris y verde cantón de La Unión (2019).....	24
<b>Cuadro 5.</b>	Cobertura de infraestructura gris y verde por distrito en el cantón de La Unión 2019.....	25
<b>Cuadro 6.</b>	Tipología de la infraestructura verde en el cantón de La Unión.....	27
<b>Cuadro 7.</b>	Cobertura de infraestructura verde en el cantón de La Unión (2019).....	32
<b>Cuadro 8.</b>	Cobertura (en hectáreas, ha) de infraestructura verde por distrito en el cantón de La Unión (2019).....	33
<b>Cuadro 9.</b>	Índice Desarrollo Social, temperatura superficial, porcentajes de cobertura de infraestructura verde, y población por distrito.....	34
<b>Cuadro 10.</b>	Stock de carbono en las zonas de vida del cantón de La Unión.....	35
<b>Cuadro 11.</b>	Almacenamiento total de carbono por distrito en el cantón de La Unión.....	37
<b>Cuadro 12.</b>	Distribución de la infraestructura verde y gris dentro de una zona de protección de 10 m a cada lado de las márgenes de los cursos de agua.....	39
<b>Cuadro 13.</b>	Parámetros para la creación de zonas de protección de ríos y quebradas.....	41
<b>Cuadro 14.</b>	Distribución de la infraestructura verde y gris dentro de zonas de protección variables, de acuerdo con lo establecido en la Ley Forestal 7575.....	42
<b>Cuadro 15.</b>	Distribución de la infraestructura verde y gris dentro de las zonas de proyección de nacientes en el cantón de La Unión.....	43

# Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Población total proyectada y tasa de cambio por distrito en el cantón de La Unión. 2011-2025.....	8
<b>Figura 2.</b> Índice de Diferencia Normalizada Edificada (NDBI) del cantón de La Unión. 2019. ....	10
<b>Figura 3.</b> Relación del índice de construcción (NDBI) y temperatura superficial del terreno (TST) a nivel de Distrito en el cantón de La Unión, 2019.....	11
<b>Figura 4.</b> Temperatura de la superficie del terreno (LST) en el cantón de La Unión, periodo 2013-2019.....	13
<b>Figura 5.</b> Índice de Vegetación Normalizado (NDVI) del cantón de La Unión, 2019.....	14
<b>Figura 6.</b> Relación entre el índice de construcción, el índice de vegetación y el calentamiento en el cantón de La Unión.....	15
<b>Figura 7.</b> Relación de temperatura superficial y porcentaje de vegetación a nivel de distrito en el cantón de La Unión.....	16
<b>Figura 8.</b> Temperatura superficial de la tierra asociada a los centros educativos públicos en el cantón de La Unión (°C).....	17
<b>Figura 9.</b> Distribución espacial de facilidades de atención pública y asistencia médica en el cantón de La Unión, y temperatura superficial de la tierra (°C).....	19
<b>Figura 10.</b> Islas de calor (color rojo intenso) dentro de la infraestructura gris del cantón de La Unión.....	21
<b>Figura 11.</b> Valor promedio de la temperatura superficial de la tierra en función de la distancia a la infraestructura gris en el cantón de la Unión .....	22
<b>Figura 12.</b> Vegetación urbana del cantón de La Unión (2019).....	24
<b>Figura 13.</b> Porcentaje de cobertura de infraestructura gris y verde por distrito en el cantón de La Unión (2019).....	25
<b>Figura 14.</b> Infraestructura verde del cantón de La Unión (2019).....	31
<b>Figura 15.</b> Relación entre el índice de desarrollo social IDS, infraestructura verde, temperatura superficial y población.....	34
<b>Figura 16.</b> Densidad de carbono en el cantón de La Unión con base en los datos del Inventario Nacional Forestal .....	36
<b>Figura 17.</b> Disposición espacial de algunas de las zonas de protección de nacientes y áreas de influencia sobre las márgenes de la red hídrica, en el sector norte del cantón de La Unión.....	38
<b>Figura 18.</b> Ubicación espacial de las áreas de protección de nacientes en el cantón La Unión.....	44



# Evaluación de la infraestructura verde y su relación con los servicios ecosistémicos urbanos en el Cantón de La Unión



La Unión es el cantón número tres de la provincia de Cartago, fundado el 7 de diciembre de 1848. Posee un área de 44,83 km<sup>2</sup>, con una población de 112.508 habitantes, según la proyección para el año 2020 del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). La anchura máxima del cantón es de 9 km en dirección noroeste a suroeste, desde la Planta Eléctrica María del Rosario, en el río Tiribí, hasta la confluencia de los ríos Damas y Azul. El cantón limita al norte con el cantón de Montes de Oca; al este con Cartago; hacia el sur con los cantones de Cartago y Desamparados; y al oeste con Curridabat y Desamparados. Cuenta con 8 distritos (Tres Ríos, San Juan, San Ramón, Dulce Nombre, Concepción, San Rafael, Río Azul y San Diego). Cerca del distrito de San Diego se encuentra la confluencia de los ríos Tiribí, Chiquito y La Cruz. Esta particularidad geográfica se usa popularmente para explicar el origen del nombre histórico del cantón y de su ciudad cabecera: Tres Ríos.

En los últimos años, en el cantón de La Unión la población se ha ido conglomerando cada vez más en asentamientos. Esas aglomeraciones de construcciones dependen en gran medida de la infraestructura y disponibilidad de servicios subyacentes, incluidos los sistemas de transporte (carretera, ferrocarril, peatonal, etc.), el abastecimiento de agua y energía, los sistemas de saneamiento y drenaje y las redes de comunicación. La complejidad de esa infraestructura y su vulnerabilidad, aumenta de manera no lineal con el tamaño del asentamiento. El incremento demográfico a nivel del cantón (proyectado en un 16,1 % para 2025, relativo a la población de 2011) varía según el distrito (Figura 1). El distrito de Río Azul presenta la mayor tasa de cambio y el distrito de Tres Ríos la menor hacia el año 2025. Estos datos se correlacionan más adelante con la distribución de la temperatura superficial asociada al crecimiento de la infraestructura gris del sector residencial y comercial, y la vegetación remanente.

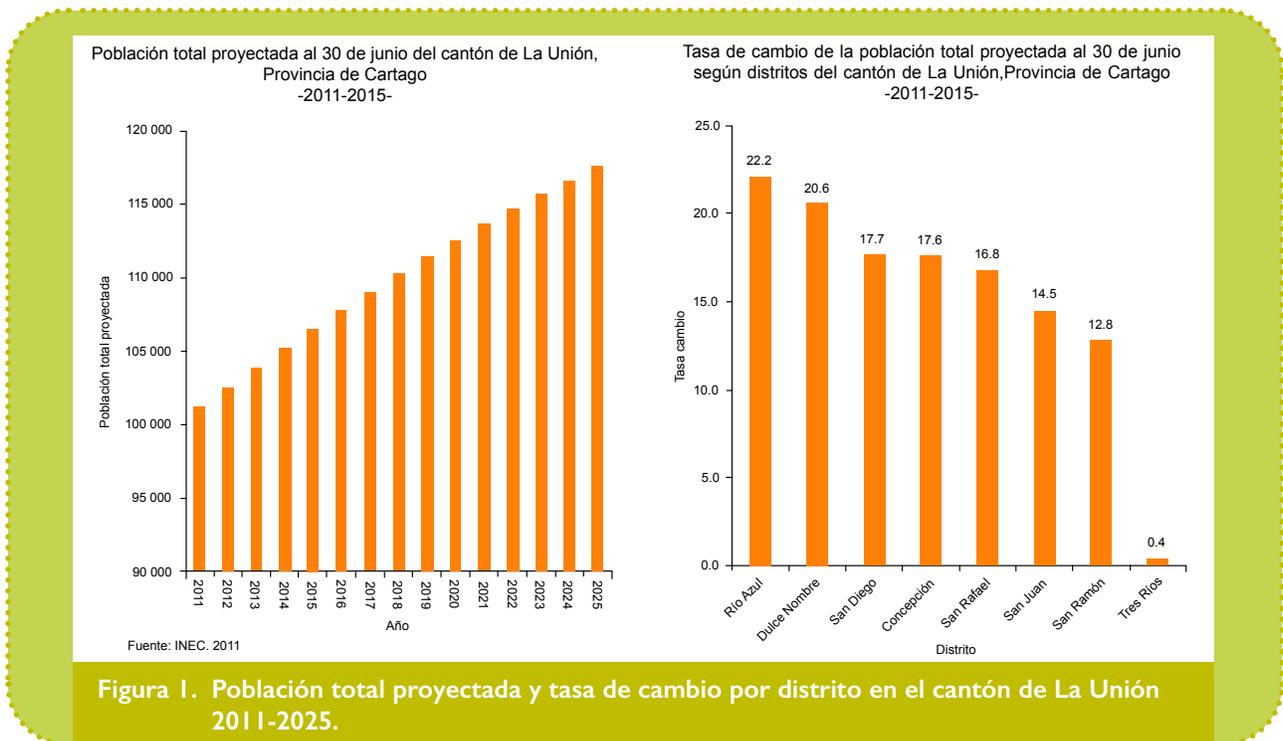


Figura 1. Población total proyectada y tasa de cambio por distrito en el cantón de La Unión 2011-2025.

A medida que crece la población, se van desarrollando mecanismos de presión ambiental, social y ecológica que representan una amenaza para la naturaleza y para el bienestar humano de los habitantes del cantón. Sin embargo, el cantón de La Unión ha venido creciendo de una manera muy heterogénea lo cual hace que todavía queden importantes espacios verdes que proporcionan servicios ecosistémicos a la población y refugio para las comunidades de vida silvestre. Por otra parte, el desarrollo de infraestructura gris, la cual se expande a expensas de la pérdida de cobertura vegetal, provoca cambios en los patrones térmicos locales que producen lo que se conoce como *islas de calor* o *islas térmicas* que producen efectos adversos sobre la salud de los habitantes y la vida silvestre.

El presente reporte recoge la distribución de la temperatura superficial de la tierra en el cantón de La Unión en un período de 74 meses (07-04-2013 a 26-10-2019) a partir de imágenes del sensor Landsat 8 con el objetivo de identificar y analizar los gradientes de calor urbano. Además, se describe la distribución de la vegetación urbana del cantón a partir de una interpretación de imágenes de sensores remotos con resolución de 1,2 m (WorldView-3®) basada en dos sistemas de clasificación: *vegetación urbana e infraestructura verde*, y se hace un análisis de los servicios ecosistémicos presentes en el cantón.

# Infraestructura gris e islas de calor en La Unión

## La urbanización

Existen dos mecanismos principales por los cuales el clima local de los centros urbanos puede ser afectado. En primer lugar, las características urbanas como la morfología y las emisiones de calor influyen en las temperaturas locales, la circulación del aire, las precipitaciones y la frecuencia e intensidad de las tormentas eléctricas. En segundo lugar, los cambios en las emisiones químicas y las reacciones resultantes de los contaminantes atmosféricos alterarán el tiempo y el clima<sup>1</sup>.

Además, muchas características de las ciudades pueden influir en el flujo atmosférico, su régimen de turbulencias y el microclima, modificando el transporte, la dispersión y la deposición de los contaminantes atmosféricos, dentro y fuera de las áreas urbanas (una de las formas es la lluvia ácida). Algunos ejemplos clave incluyen<sup>2</sup>:

1. La distribución de los edificios y otros obstáculos (o más generalmente de todos los elementos de rugosidad<sup>3</sup>) afecta al régimen de turbulencia, la velocidad y la dirección del flujo.
2. El uso extensivo de materiales impermeables y la frecuente reducción de la vegetación en las zonas urbanas afecta al régimen hidrometeorológico y la deposición de contaminantes.
3. La liberación de calor antropogénico por las actividades humanas (como el transporte) afecta al régimen térmico.
4. La liberación de contaminantes (incluidos los aerosoles) afecta la transferencia de radiación, la formación de nubes y la precipitación.
5. La geometría de las calles afecta al régimen de flujo y al intercambio de calor entre diferentes superficies (como carreteras y muros).

El resultado neto de todo lo anterior se puede traducir en la aparición de islas de calor urbanas (zonas de temperaturas más cálidas) que pueden dar lugar a ciudades con temperatura superficial varios grados más cálidos que las zonas rurales cercanas. Esas diferencias de temperatura pueden perturbar la circulación regional del aire: los patrones de viento pueden alterarse debido a los edificios de gran altura cada vez más numerosos, además de conducir a niveles alterados de precipitación, contaminación del aire y frecuencias de tormentas eléctricas<sup>4</sup>. Por ejemplo, para el año 2019, los distritos de San Juan, Tres Ríos y Río Azul presentan un índice mayor de construcción y a la vez son los que muestran mayor temperatura superficial a nivel del terreno, en contraste los distritos de San Diego, San Rafael y Dulce Nombre con valores menores. El mayor desarrollo de superficie edificada se encuentra hacia el centro y noroeste del cantón, mientras que en el este

<sup>1</sup> WMO, 2014

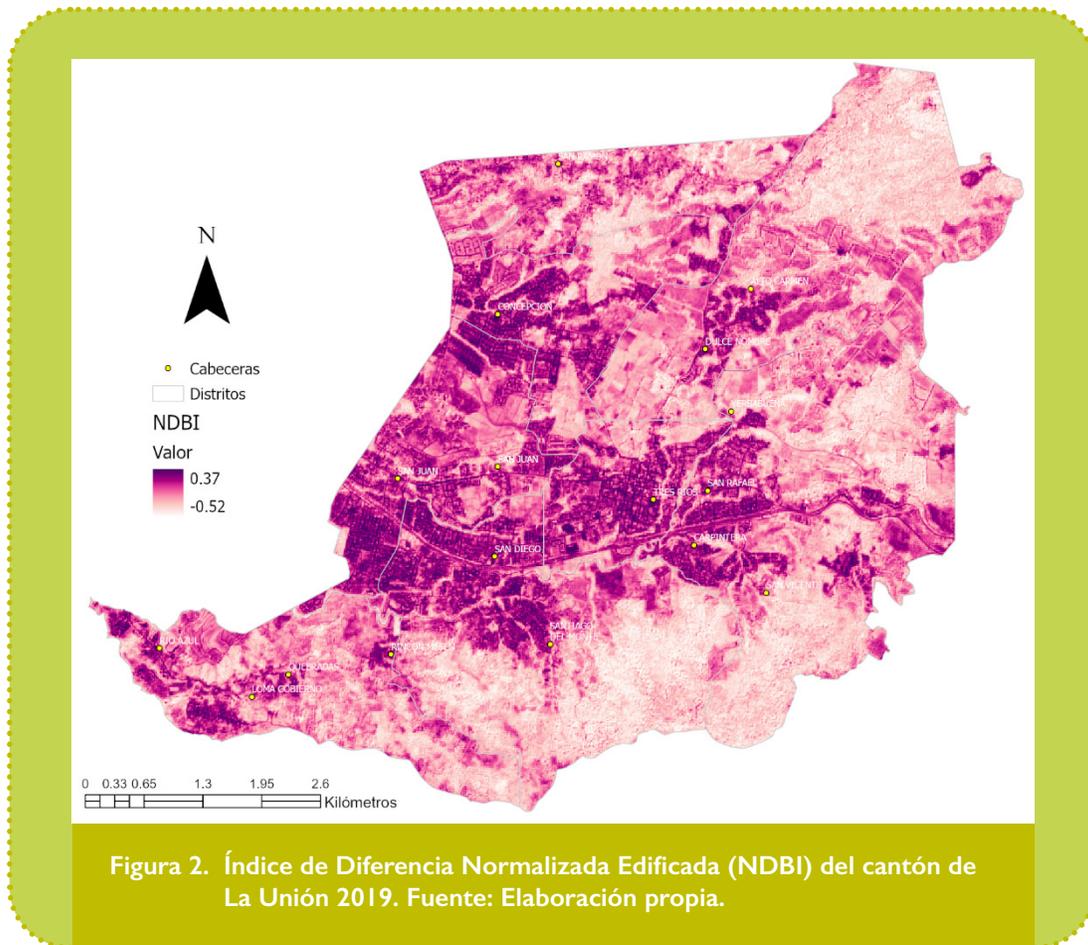
<sup>2</sup> Idem

<sup>3</sup> Entendida como un indicador de la textura de una superficie

<sup>4</sup> Idem

se presenta una mayor proporción de cultivos y áreas importantes de bosque en las partes altas. En el sur del cantón se presenta una importante área no edificada que corresponde en su mayoría a bosque por la existencia de la Zona Protectora Cerros de La Carpintera (Figura 2). Esta información se deriva gracias al Índice de Diferencia Normalizada Edificada (NDBI), el cual permite estimar las zonas con superficies edificadas o en desarrollo de construcción frente a zonas con vegetación o desnudas<sup>5</sup>. Este índice permite además analizar e identificar los núcleos urbanos e infraestructuras antrópicas de mayor densidad (Anexo 2). El intervalo de valores del NDBI oscila entre -1 y 1, donde los valores negativos indican presencia de zonas con vegetación y los positivos mayor densidad de construcción.

Hay una estrecha relación directamente proporcional entre la densidad de infraestructura (índice de construcción) y la temperatura (Figura 3). Los distritos que hoy presentan los menores valores en el índice de construcción y temperatura superficial son aquellos que ocupan los primeros lugares en las proyecciones de aumento de población hacia el 2025 (Figura 1), lo que indica que la tendencia es de un mayor desarrollo de infraestructura gris y un aumento de temperaturas superficiales de manera generalizada, por lo que el mantenimiento o mejoramiento de la cobertura vegetal se vuelve una tarea importante en el futuro cercano.



<sup>5</sup> Zha et al., 2003



Figura 3. Relación del índice de construcción (NDBI) y temperatura superficial del terreno (TST) a nivel de distrito en el cantón de La Unión, 2019. Fuente: Elaboración propia.

## Las islas de calor urbano y salud humana

Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) de las Naciones Unidas, las temperaturas mundiales aumentarán varios grados para finales de este siglo. Incluso, si el mundo redujera drásticamente las emisiones hoy en día, el planeta seguiría calentándose durante décadas a causa del efecto de inercia radiativa de los gases de efecto invernadero ya almacenados en los océanos y la atmósfera<sup>6</sup>. Es probable que el aumento previsto de la temperatura sea aún mayor en las zonas urbanas, donde vive más del 80 % de la población. Inclusive si la temperatura superficial del planeta no estuviera aumentando, las ciudades ya tienen un problema de calor; el efecto de isla de calor urbano<sup>7</sup>. Las ciudades son más calurosas que las zonas rurales porque el pavimento, los edificios y otras infraestructuras eliminan las fuentes de sombra y retienen el calor durante el día y lo liberan durante la noche. En consecuencia, el calentamiento urbano representa uno de los problemas más relevantes en el contexto actual y futuro. La reducción de las islas de calor urbano puede mitigar el cambio climático (reducir las emisiones de gases de efecto invernadero) y ayudar a adaptarse al cambio climático (prepararse para los impactos inevitables del cambio climático).

<sup>6</sup> IPCC, 2007

<sup>7</sup> Thomas et al., 2009

Las superficies tradicionales del pavimento y los techos pueden ser más calientes que el aire, mientras que es más probable que la vegetación y las superficies rurales estén a la temperatura del aire o por debajo de ella<sup>8</sup>. En promedio, las altas temperaturas de la superficie hacen que el aire urbano sea más caliente que el de las zonas circundantes durante el día y más caliente por la noche<sup>9</sup>. El calor urbano ya está afectando a la salud humana, al tiempo que aumenta los costos de la energía y la contaminación ambiental. La exposición a altas temperaturas puede provocar insolación, agotamiento, calambres, sarpullido y malestar general. La gravedad de las enfermedades relacionadas con el calor también aumenta con la edad: “Los calambres por calor en una persona de 17 años pueden ser un agotamiento por calor en una persona de 40 años y un golpe de calor en una persona mayor de 60”<sup>10</sup>.

Las personas de mayor edad, junto con otras personas en condiciones de riesgo social debido a bajos ingresos, tienen menos capacidad para pagar el recibo por energía eléctrica, que por lo general aumenta por el uso de ventiladores o aires acondicionados usados para contrarrestar el calor, lo que las hace más vulnerables. Los lactantes, los niños y los residentes socialmente aislados corren un riesgo especial de sucumbir a las enfermedades relacionadas con el calor. Los trabajadores a la intemperie, personas con desafíos cognitivos o físicos, las personas sin hogar y los que padecen ciertas afecciones crónicas también son más vulnerables al calor que el residente medio<sup>11</sup>.

Las islas de calor también dañan la salud pública al disminuir la calidad del aire. La combinación del aumento de la contaminación y las temperaturas más altas da lugar a más *smog* (ozono a nivel del suelo). El *smog* agrava las enfermedades respiratorias como el asma, que son más frecuentes entre los mismos grupos que ya son vulnerables a las enfermedades relacionadas con el calor: los ancianos, los niños pequeños, los pobres y las personas con enfermedades crónicas preexistentes<sup>12</sup>. Además, las islas de calor pueden reducir la calidad del agua mediante la contaminación térmica porque las superficies calientes en las zonas urbanas calientan el aire ambiente y también transfieren calor a las aguas pluviales<sup>13</sup>.

En el cantón de La Unión, los distritos de Río Azul, Concepción, Tres Ríos y San Juan presentan importantes islas de calor (Figura 4 - color más intenso/oscurito y Cuadro 1) que corresponden a las regiones con mayor desarrollo de infraestructura gris y que coinciden con una temperatura promedio de la superficie de la tierra (LST<sup>14</sup>, por sus siglas en inglés) que ronda entre los 38 °C y los 42 °C. En contraste, los distritos de Dulce Nombre y San Ramón, presentan LST < 35 °C (Cuadro 1). Sin embargo, la variación entre los valores mínimo y máximo de la LST no corresponde a estas diferencias en valores extremos: El distrito de Tres Ríos presenta una variación por debajo de los 10 °C, mientras que los distritos de San Rafael y San Diego, duplican ese ámbito, pero su LST está 6 °C por debajo del promedio de Tres Ríos (Cuadro 1)

Las islas de calor también dañan la salud pública al disminuir la calidad del aire. La combinación del aumento de la contaminación y las temperaturas más altas da lugar a más *smog*.

<sup>8</sup> EPA, 2012

<sup>9</sup> EPA, 2012

<sup>10</sup> NOAA, 2012

<sup>11</sup> EPA, 2006

<sup>12</sup> EPA, 2008

<sup>13</sup> Aicardo Roa-Espinos, et al., 2003

<sup>14</sup> LST es una medida del calentamiento directo de la superficie terrestre, donde los rayos del sol son absorbidos y reemitidos.

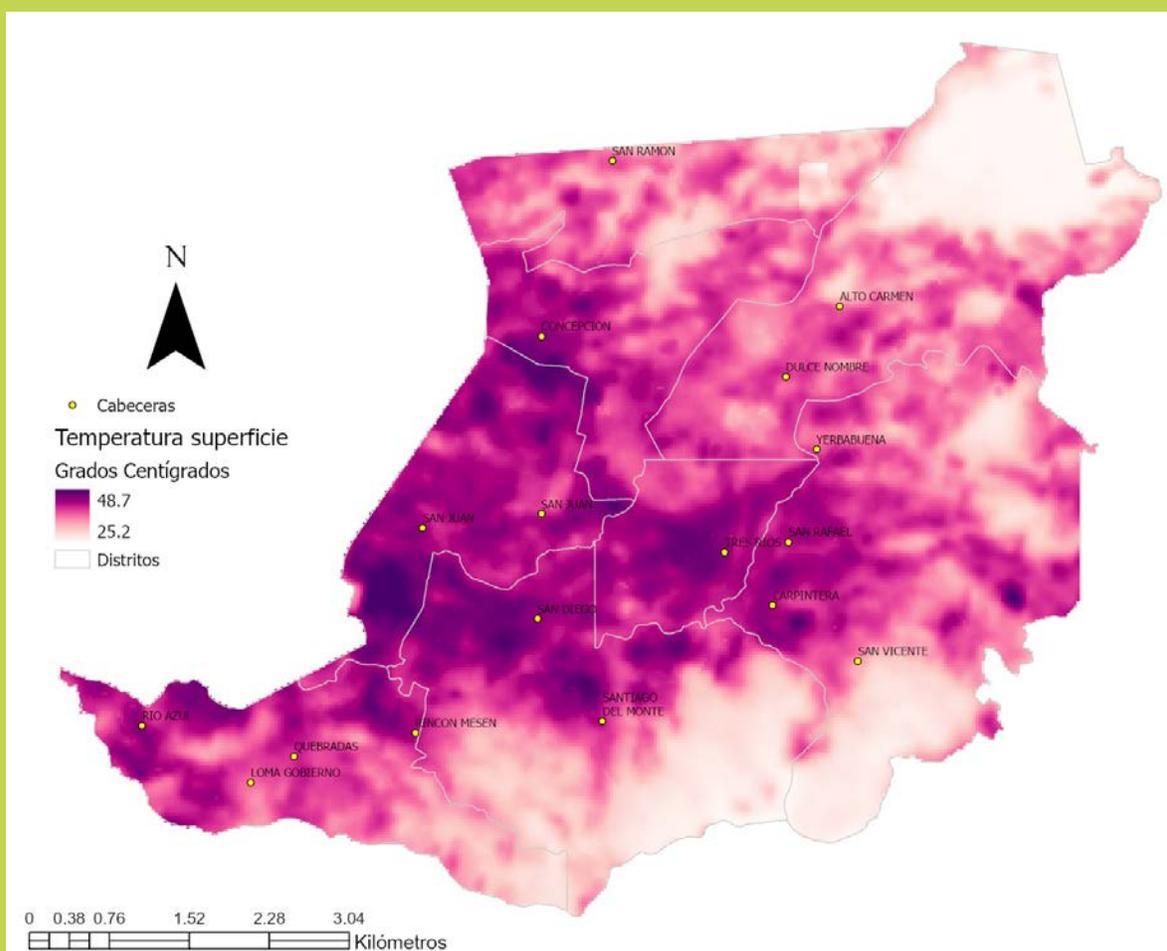


Figura 4. Temperatura de la superficie del terreno (LST) en el cantón de La Unión, periodo 2013-2019. Fuente: Elaboración propia.

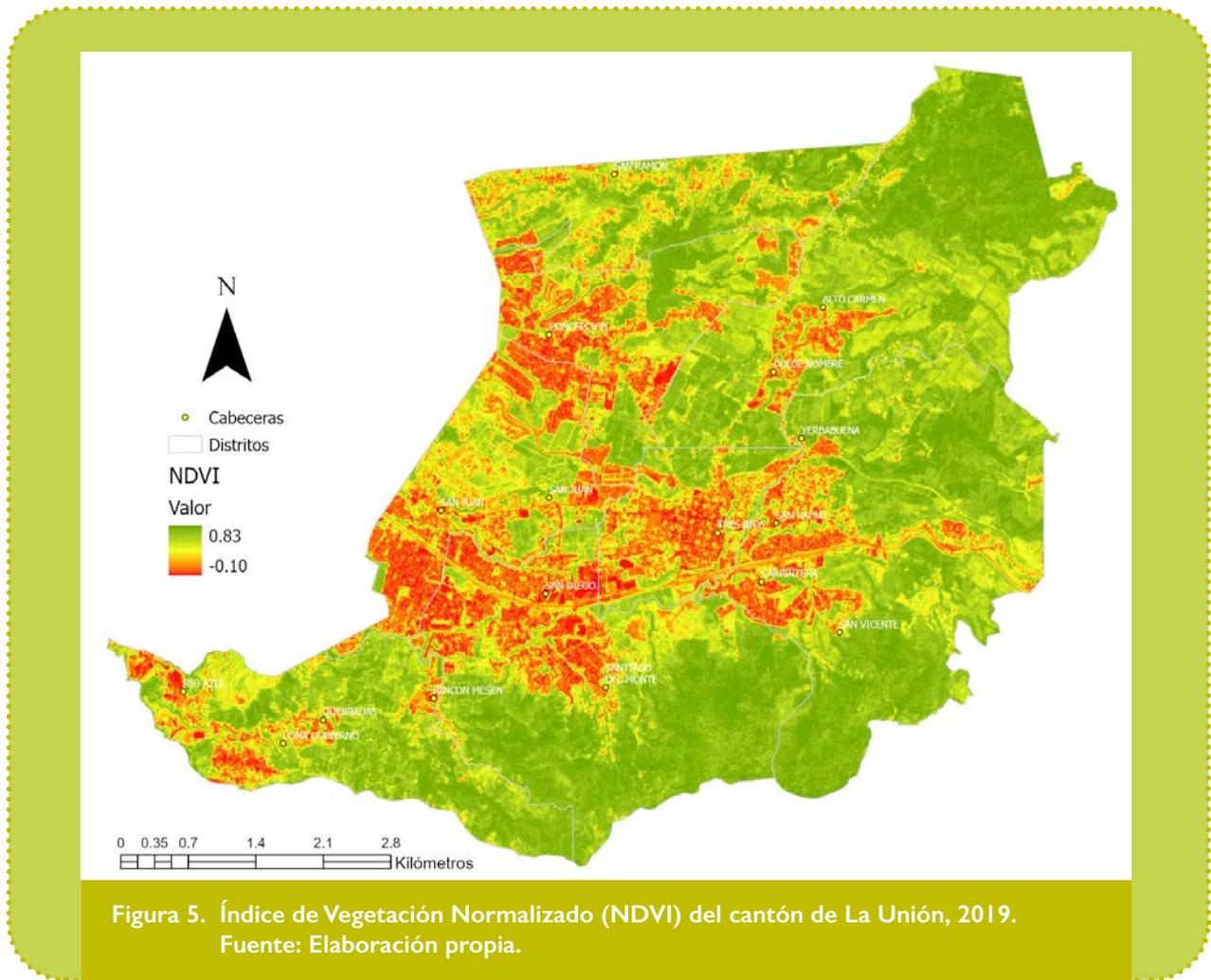
Cuadro I. Temperatura superficie del terreno (LST) por distrito en el cantón de La Unión, periodo 2013-2019.

Distrito	Mínima	Máxima	Rango	Promedio
Dulce Nombre	25,24 °C	43,14 °C	17,89 °C	33,17 ± 4,72 °C
San Ramón	26,35 °C	41,97 °C	15,62 °C	35,20 ± 2,82 °C
San Rafael	26,42 °C	46,52 °C	20,10 °C	35,77 ± 4,40 °C
San Diego	26,19 °C	46,07 °C	19,89 °C	35,88 ± 5,60 °C
Río Azul	28,53 °C	45,29 °C	16,75 °C	37,94 ± 3,79 °C
Concepción	29,53 °C	45,98 °C	16,45 °C	38,82 ± 3,03 °C
Tres Ríos	35,12 °C	45,01 °C	9,90 °C	41,21 ± 2,12 °C
San Juan	34,90 °C	48,72 °C	13,82 °C	42,14 ± 2,07 °C

Fuente: Elaboración propia.

# Los efectos de la vegetación sobre el calentamiento de la ciudad

El Índice de Vegetación Normalizado (NDVI) del cantón permite visualizar las áreas con mayor cobertura vegetal y corresponde a la inversa de lo que muestra el NDBI de la Figura 2. El intervalo de valores va de 1 a -1; los valores cercanos a 1 muestran mayor densidad de vegetación. Para facilitar su interpretación visual, este índice se puede representar en una gradiente de colores, de rojo a verde. Los tintes rojo-naranja-amarillo indican suelo desnudo o vegetación muerta o escasa, y todos los tonos de verde son un signo de cubierta de vegetación normal a densa<sup>15</sup>. El 46.9 % del cantón aún conserva vegetación natural con importantes parches densos de vegetación en las partes altas del este y sur como se mencionó anteriormente (Figura 5). Así mismo, la figura evidencia importantes áreas sin cobertura o con poca vegetación (áreas en amarillo). Las áreas rojas evidencian las áreas edificadas, concentradas hacia la porción centro-sur y oeste del cantón (Figura 5).



<sup>15</sup> Jiang et al., 2006

A nivel espacial, hay una evidente relación entre el índice de construcción, el índice de vegetación y el calentamiento en el cantón de La Unión (Figura 6); donde se presentan los mayores desarrollos de infraestructura es donde se presentan islas de calor. Por el contrario, en los lugares con los menores valores de temperatura es donde se presenta la mayor densidad de vegetación lo que lleva a concluir que:

- A mayor índice de construcción, menor índice de vegetación.
- A mayor índice de construcción, más islas de calor.
- A mayor índice de vegetación, menor temperatura superficial.

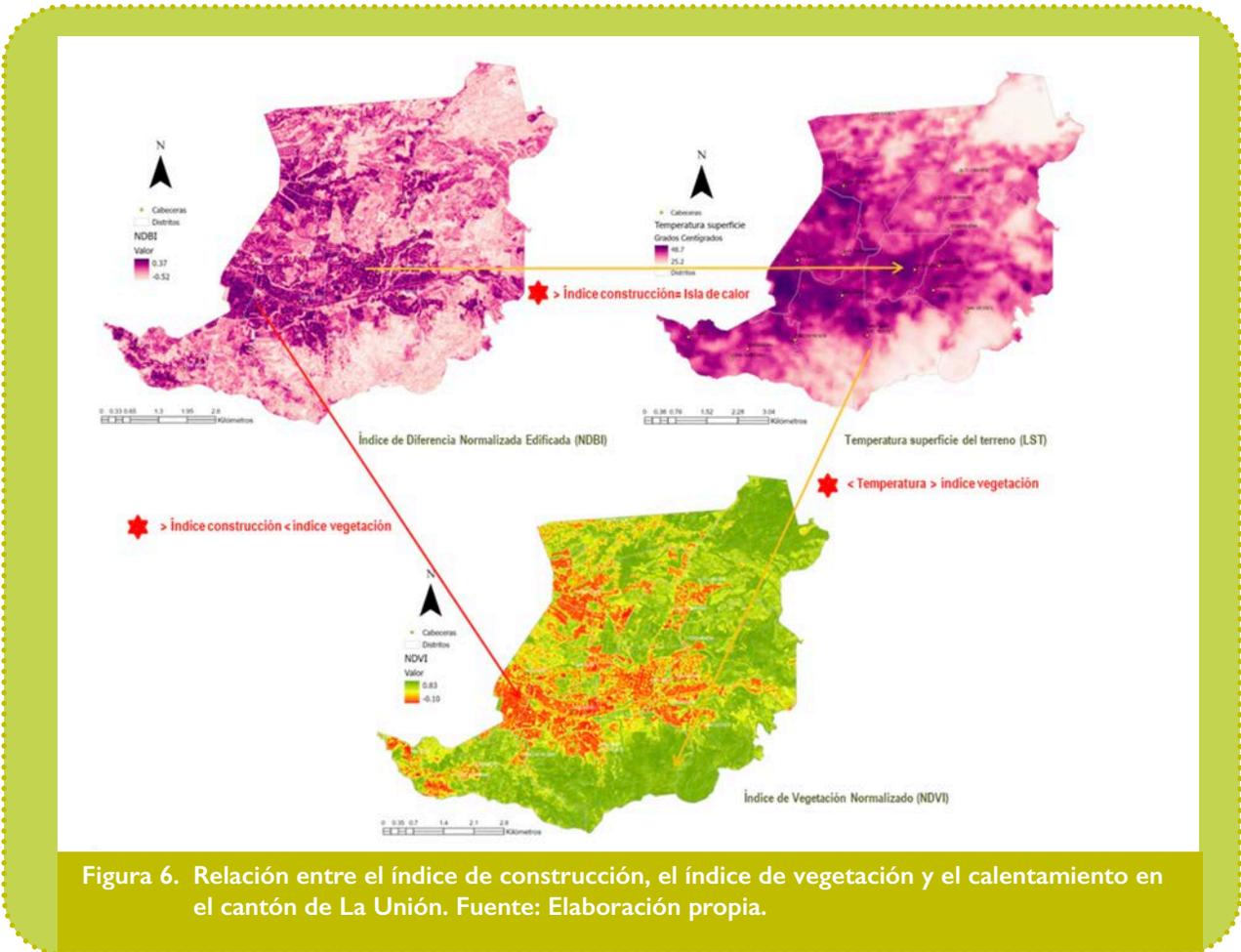


Figura 6. Relación entre el índice de construcción, el índice de vegetación y el calentamiento en el cantón de La Unión. Fuente: Elaboración propia.

De la mano con lo anterior, a nivel distrital, aquellos que presentan menor porcentaje de vegetación remanente poseen a la vez las temperaturas superficiales mayores (Figura 7), lo que demuestra la importancia de la vegetación y su distribución en el espacio.

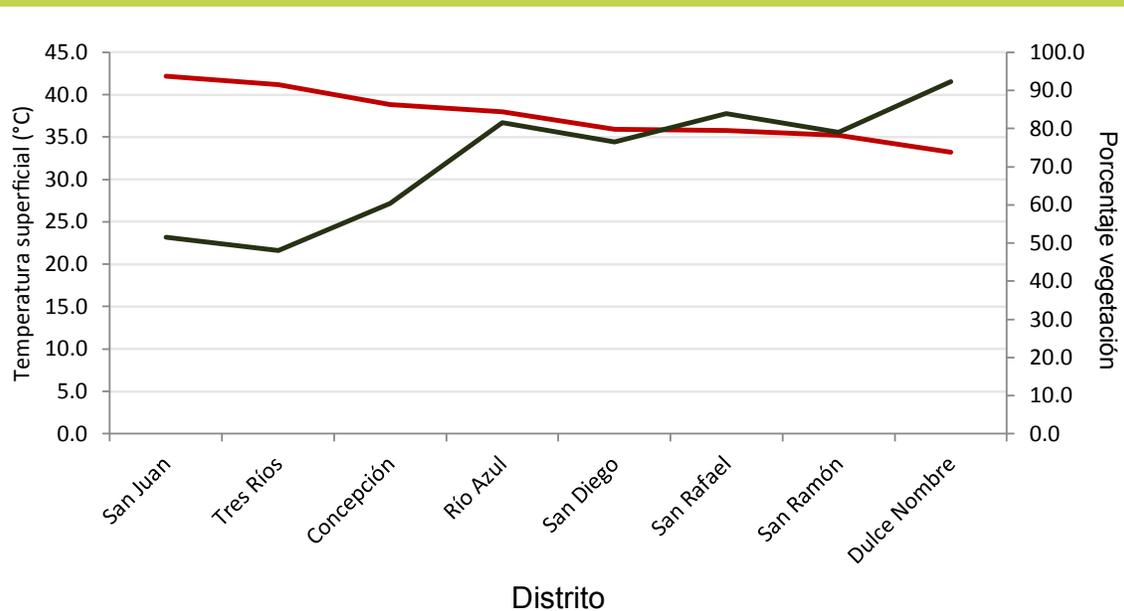


Figura 7. Relación de temperatura superficial y porcentaje de vegetación a nivel de distrito en el cantón de La Unión. Fuente: Elaboración propia.

## Relación entre la temperatura superficial de la tierra y los centros educativos del cantón de La Unión

Como ya se mencionó, la exposición a altas temperaturas al interior de las ciudades puede repercutir sobre la salud y el bienestar humano en general y, en particular, de grupos más vulnerables, como los niños y adolescentes. Debido a esto, se analizó esta relación sobreponiendo la capa de puntos (centroides) de los centros educativos públicos con el mapa de temperatura superficial de la tierra. En general, el rango de temperatura superficial al que están expuestos los centros educativos varía entre los 35 °C y los 46.5 °C (Figura 8). De la mano con los patrones espaciales de las variables estudiadas anteriormente, no sorprende encontrar las mayores temperaturas (42 – 46 °C) en los centros educativos ubicados en las áreas con mayor densidad de infraestructura en el cantón (Figura 8).

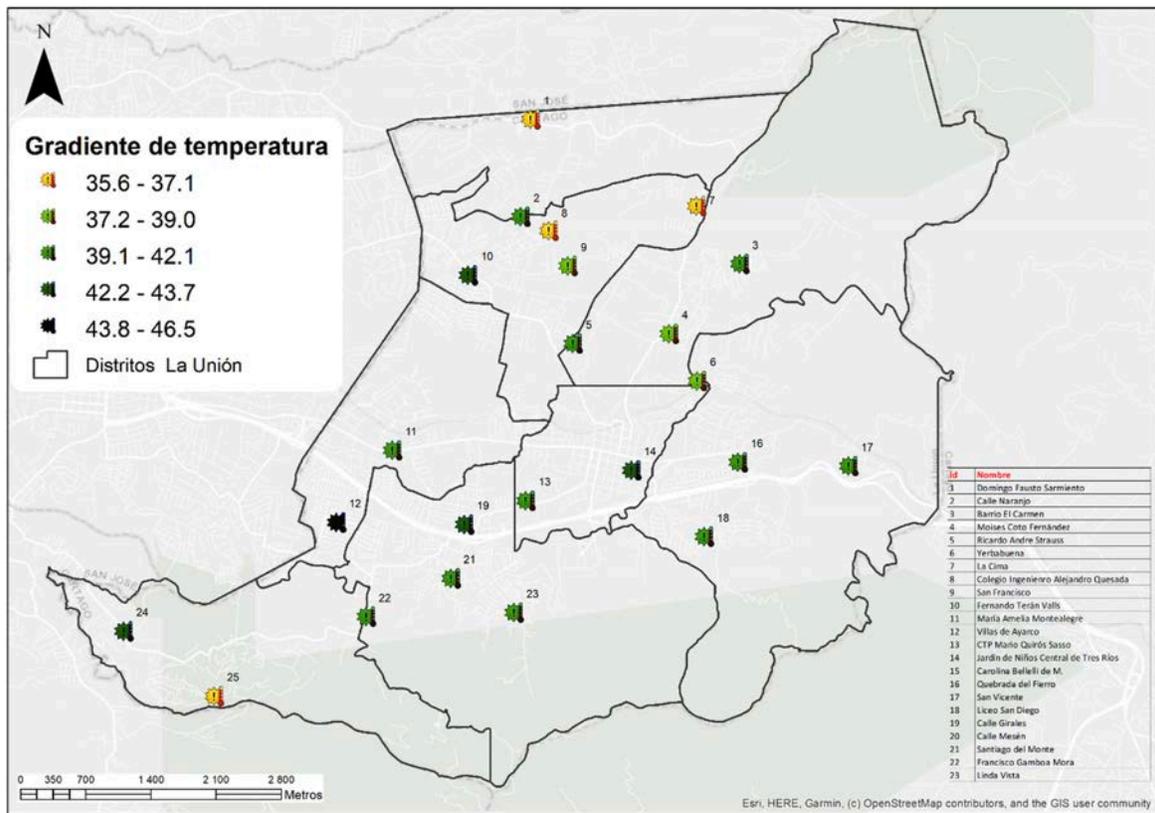


Figura 8. Temperatura superficial de la tierra (°C) asociada a los centros educativos públicos en el cantón de La Unión. Fuente: Elaboración propia.

El gradiente térmico dentro del conjunto de centros educativos muestra que la temperatura promedio es de 40,8 °C con una amplitud térmica de 10,8 °C. Un valor mínimo de 35,6 °C fue cuantificado en la escuela de Linda Vista, distrito de Río Azul, y una temperatura máxima de 46,5 °C en la escuela Villas de Ayarco, en el distrito de San Juan.

La exposición a altas temperaturas al interior de las ciudades puede repercutir sobre la salud y el bienestar humano en general y, en particular, de grupos más vulnerables.

**Cuadro 2. Valor de la temperatura superficial de la tierra (°C) en los centros educativos públicos en el cantón de La Unión.**

Distrito	Nombre del centro educativo	Temperatura superficial
San Juan	Villas de Ayarco	46.5
Río Azul	Francisco Gamboa Mora	43.4
Tres Ríos	Jardín de Niños Central de Tres Ríos	43.2
Concepción	Fernando Terán Valls	43
San Diego	Liceo San Diego	42.7
Tres Ríos	CTP Mario Quirós Sasso	42.1
San Diego	Santiago del Monte	41.8
San Diego	Calle Giraes	41.7
San Rafael	Carolina Bellelli de M.	41.5
San Diego	Calle Mesén	41.3
San Juan	María Amelia Montealegre	41.2
San Rafael	San Vicente	41.2
San Rafael	Quebrada del Fierro	40.8
Dulce Nombre	Barrio El Carmen	40.6
Dulce Nombre	Ricardo Andre Strauss	40.4
Concepción	Calle Naranja	40.2
Dulce Nombre	Yerbabuena	39
Concepción	San Francisco	38.7
Dulce Nombre	Moises Coto Fernández	38.1
Concepción	La Cima	37.1
San Ramón	Domingo Fausto Sarmiento	36.7
Concepción	Colegio Ingeniero Alejandro Quesada	36.1
Río Azul	Linda Vista	35.6

Fuente: Elaboración propia

## Temperatura superficial de la tierra sobre otros sitios de interés público en el cantón de La Unión

Un segundo grupo de población vulnerable al efecto de las islas de calor son las mujeres embarazadas, infantes, adultos mayores y personas situación de calle. La temperatura superficial promedio para todas instalaciones de atención, redes de cuidado, salud, alimentación, entre otras facilidades es de 41,8 °C (Figura 9). El 75 % de estas instalaciones se ubican en los distritos de Tres Ríos, Dulce Nombre y San Diego, convirtiendo estos distritos en foco de atención prioritaria para la municipalidad del cantón.

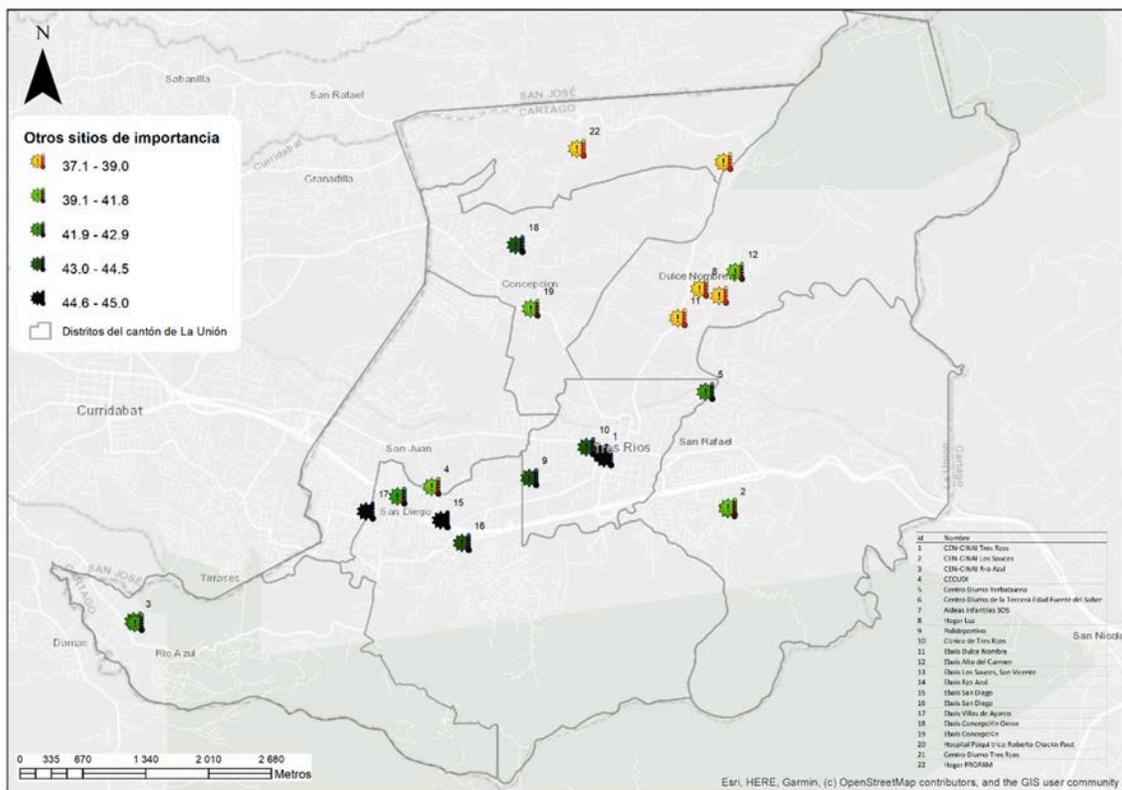


Figura 9. Distribución espacial de facilidades de atención pública y asistencia médica en el cantón de La Unión, y temperatura superficial de la tierra (°C).

El Ebais de Villas de Ayarco y el Centro Diurno de Tres Ríos son los centros de atención que registran los mayores valores de LST, con 45,0 °C. En el otro extremo se ubican el Hogar Luz y las Aldeas Infantiles SOS, con valores de 38,0 y 37,1 °C respectivamente (Cuadro 3).

Las mujeres embarazadas, infantes, adultos mayores y personas situación de calle son los grupos de población más vulnerables al efecto de las islas de calor.

**Cuadro 3. Valor de la temperatura superficial de la tierra (°C) en instalaciones de atención, redes de cuidado, salud, alimentación.**

Distrito	Nombre de la instalación de atención social	Temperatura superficial
San Juan	Ebais Villas de Ayarco	45.0
Tres Ríos	Centro Diurno Tres Ríos	45.0
Tres Ríos	CEN-CINAI Tres Ríos	44.9
San Diego	Ebais San Diego	44.7
San Diego	Ebais San Diego	44.5
Tres Ríos	Clínica de Tres Ríos	43.9
Concepción	Ebais Concepción Oeste	43.7
Tres Ríos	Polideportivo	43.0
Río Azul	Ebais Río Azul	42.9
Río Azul	CEN-CINAI Río Azul	42.7
San Diego	Centro Diurno de la Tercera Edad Fuente del Saber	42.6
Tres Ríos	Centro Diurno Yerbabuena	42.0
Concepción	Ebais Concepción	41.8
Dulce Nombre	Ebais Alto del Carmen	41.1
San Rafael	CEN-CINAI Los Sauces	40.6
San Rafael	Ebais Los Sauces, San Vicente	40.6
San Juan	CECUDI	40.2
Dulce Nombre	Ebais Dulce Nombre	39.0
San Ramón	Hospital Psiquiátrico Roberto Chacón Paut	38.6
San Ramón	Hogar PROPAM	38.2
Dulce Nombre	Hogar Luz	38.0
Dulce Nombre	Aldeas Infantiles SOS	37.1

Fuente: Elaboración propia

## Gradiente térmico fuera y dentro de la ciudad

De manera complementaria, se analizó el comportamiento del patrón térmico de la temperatura superficial considerando sólo la infraestructura gris del cantón. Sobresalen de manera clara tres islas de calor dentro del entorno urbano: el centro de distrito de Tres Ríos, el Residencial Monserrat, y otra isla de calor importante compuesta por los distritos de San Juan y San Diego (Figura 10). En estos sitios, la temperatura superficial ronda entre los 43 y 48 °C, mientras que el promedio de la temperatura superficial dentro de la totalidad de la infraestructura gris del cantón es de 40,9 °C. En contraste, el promedio de la temperatura para el resto del territorio es de 35,5 °C; una diferencia promedio de 5,7 °C entre la temperatura de la infraestructura gris y el entorno verde, lo que demuestra la gran importancia de las áreas verdes para la regulación de la temperatura urbana.

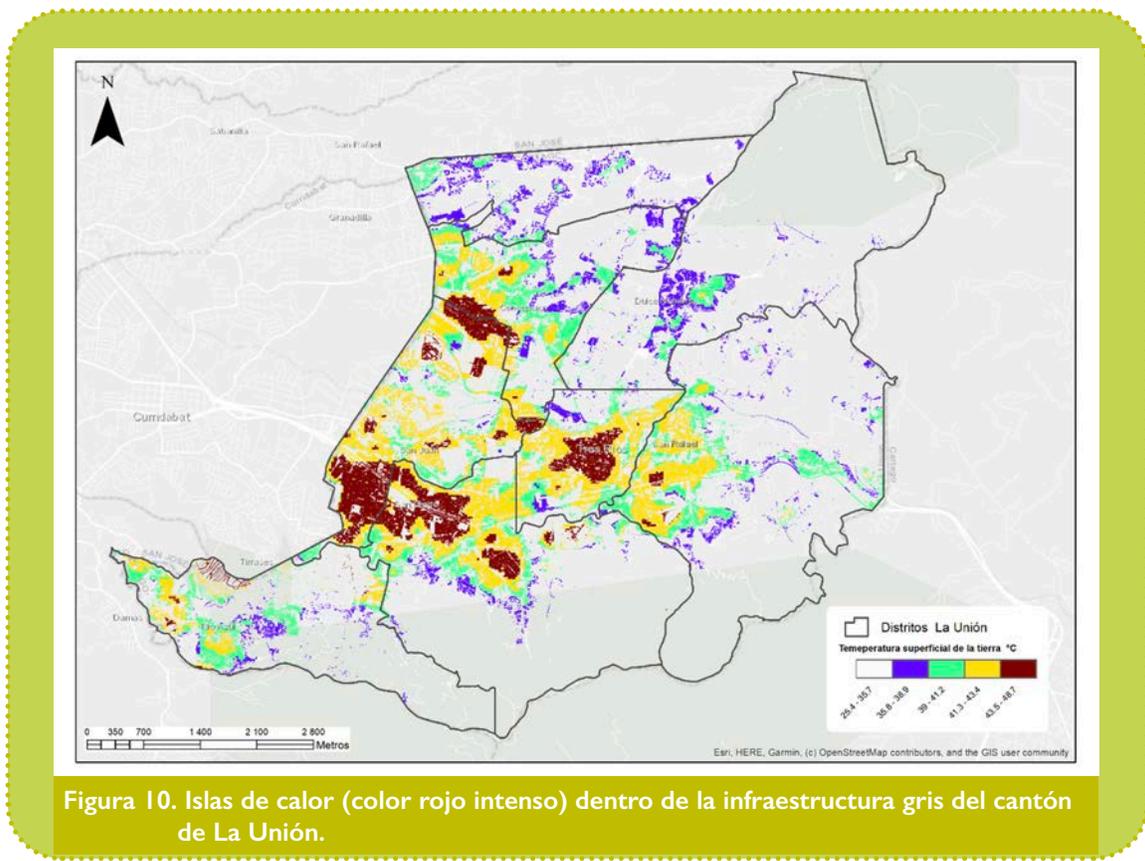


Figura 10. Islas de calor (color rojo intenso) dentro de la infraestructura gris del cantón de La Unión.

La disminución de la temperatura superficial conforme aumenta la distancia horizontal hacia las zonas más alejadas del centro urbano es muy evidente y guarda una relación de forma exponencial negativa. En una distancia promedio de 50 m lejos de la infraestructura gris, la temperatura superficial es de 32,5 °C, mientras que a 100 m es de 30,2 °C y a 400 m decae a 26,7 °C (Figura 11). Este tipo de información constituye una línea base para analizar la tendencia de la temperatura superficial a futuro dentro de cantón, es decir, medir la efectividad de la implementación de medidas de acción climática, como arborización en calles, parques, paredes y techos verdes, aceras dulces, restauración de franjas ribereñas, dentro las zonas urbanas. En un escenario ideal en donde la implementación de las medidas resulta eficaz en el tiempo, el inicio de la curva tenderá a aplanarse en la medida que la temperatura de las ciudades y el entorno tiendan a equilibrarse.

En una distancia promedio de 50 m lejos de la infraestructura gris, la temperatura superficial es de 32,5 °C, mientras que a 100 m es de 30,2 °C y a 400 m decae a 26,7 °C.

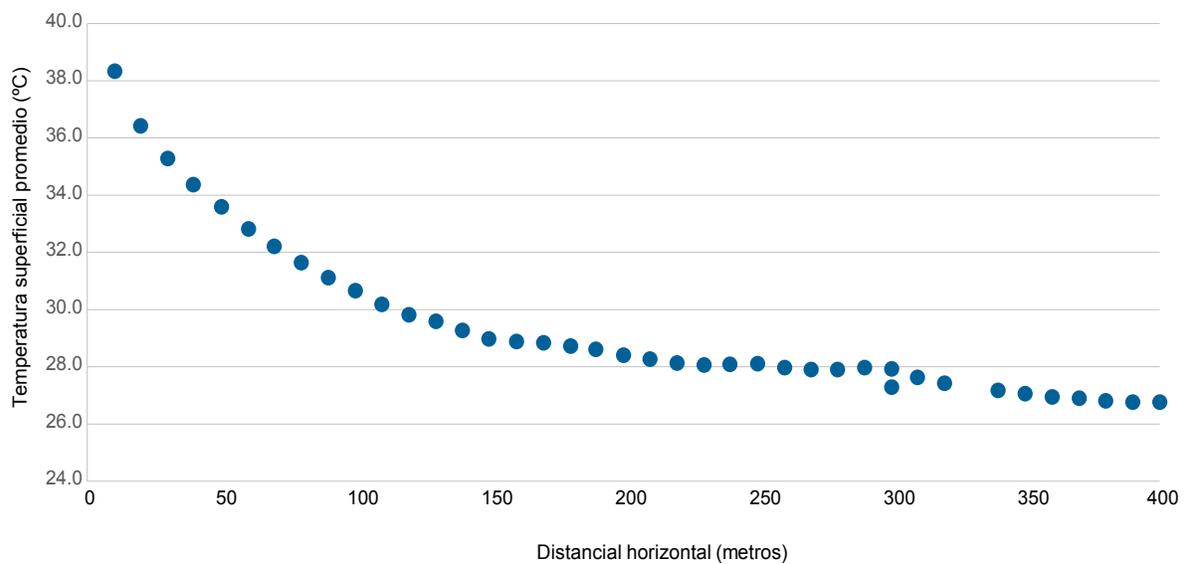


Figura 11. Valor promedio de la temperatura superficial de la tierra (°C) en función de la distancia a la infraestructura gris en el cantón de la Unión 2013-2019. Fuente: Elaboración propia.



# Vegetación urbana y calentamiento de la ciudad

Como se evidenció en los apartados anteriores, el cantón de La Unión presenta áreas con aumento de la temperatura, formando islas de calor asociadas directamente al aumento de infraestructura gris y los cambios en las propiedades radiativas y térmicas de la infraestructura urbana. El calentamiento que se produce en las islas de calor urbanas en áreas pequeñas, como las que se presentan en el cantón son un ejemplo de cambio climático a nivel local. Los cambios climáticos locales resultantes de las islas de calor urbanas difieren fundamentalmente de los cambios climáticos globales, en que sus efectos se limitan a la escala local y disminuyen rápidamente con la distancia de su fuente. Los cambios climáticos globales no están limitados local o regionalmente.

Tomando en consideración lo anterior, surge la necesidad de desarrollar estrategias para reducir las islas de calor urbano, siendo la vegetación natural una de las herramientas más efectivas y de menor costo de implementación. En las zonas rurales, la vegetación y las tierras abiertas suelen dominar el paisaje; los árboles y la vegetación proporcionan sombra, lo que ayuda a bajar las temperaturas de la superficie y también ayudan a reducir las temperaturas del aire a través de la evapotranspiración, que disipa el calor ambiental. Por el contrario, las zonas urbanas se caracterizan por tener superficies secas e impermeables, como tejados convencionales, aceras, carreteras y aparcamientos. A medida que las ciudades se desarrollan, se pierde más vegetación, y más superficies se pavimentan o se cubren con edificios y superficies impermeables que conservan el calor. El cambio de la cubierta del suelo da lugar a menos sombra y humedad para mantener frescas las zonas urbanas. Las zonas edificadas evaporan menos agua, lo que contribuye aún más a elevar las temperaturas de la superficie y del aire<sup>16</sup>.

Pequeños o grandes cambios en el clima urbano tienen consecuencias directas o indirectas para los ecosistemas, la biodiversidad y los servicios ecosistémicos fundamentales, e inciden directamente en la salud y bienestar humano de sus habitantes. La conservación de los ecosistemas urbanos y la diversidad biológica, constituyen una herramienta esencial para la implementación de estrategias de adaptación y mitigación al cambio climático desde las ciudades, y enfocadas a lograr resultados más resistentes, sostenibles y habitables<sup>17</sup>.

La conservación, la restauración y la expansión de los ecosistemas urbanos bajo las crecientes presiones del desarrollo urbano climático y no climático requerirán una mejor planificación urbana, políticas, gobernanza y cooperación multisectorial. Así, la planificación de la ciudad debe seguir un enfoque de sistemas a largo plazo para la adaptación climática basada en los ecosistemas. Ese enfoque reconoce explícitamente el papel de los servicios críticos de los ecosistemas urbanos y periurbanos y promueve su gestión para proporcionar su suministro sostenido a lo largo de horizontes temporales de 20, 50 y 100 años<sup>18</sup>.

## Vegetación urbana

La vegetación urbana o **infraestructura verde** se define como *la organización de elementos espaciales y nodales que se entrelazan entre sí con presencia de vegetación desarrollada por acción natural o creada por el ser humano que impulsa el cultivo de las plantas con algún fin, y que son parte de la estructura de la ciudad. La infraestructura*



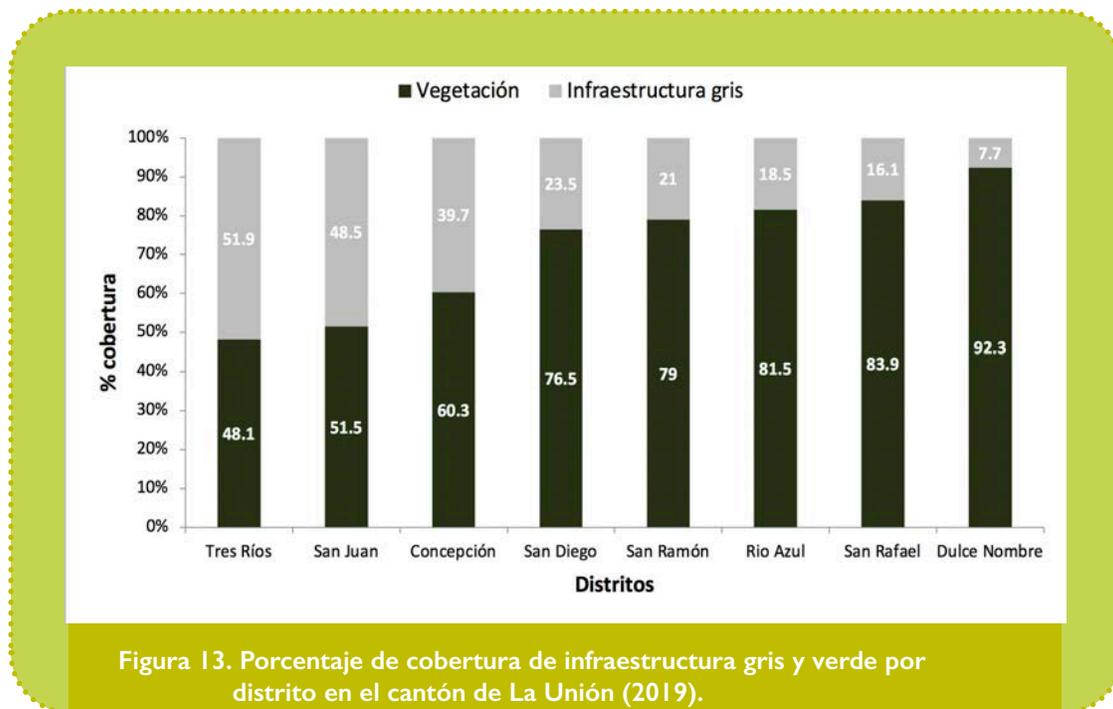


Figura 13. Porcentaje de cobertura de infraestructura gris y verde por distrito en el cantón de La Unión (2019).

En el cuadro 5 se muestra el área y porcentaje de la infraestructura verde versus la infraestructura gris. El valor porcentual muestra una tendencia; a mayor infraestructura gris menor infraestructura verde y viceversa. De esta forma, los distritos de Tres Ríos, San Juan y Concepción muestran porcentajes menores de 60% en infraestructura verde y porcentajes de infraestructura alrededor de 40%. El cantón también muestra distritos con prevalencia de infraestructura verde, con porcentajes mayores al 80%, a saber, Río Azul, San Rafael y Dulce Nombre.

Cuadro 5. Cobertura de infraestructura gris y verde por distrito en el cantón de La Unión 2019

Distrito	Infraestructura verde		Infraestructura gris	
	Superficie (ha)	%	Superficie (ha)	%
Tres Ríos	109,7	48,1	118,3	51,9
San Juan	203,9	51,5	191,8	48,5
Concepción	228,7	60,3	150,6	39,7
San Diego	619,1	76,5	190,4	23,5
San Ramón	275,0	79,0	72,9	21,0
Río Azul	396,5	81,5	89,9	18,5
San Rafael	798,8	83,9	153,7	16,1
Dulce Nombre	763,9	92,3	63,4	7,7

Fuente: Elaboración propia.

# Infraestructura verde

Las ciudades y centros poblados se enfrentan a varias presiones clave de manera simultánea, entre ellas:

1. Los centros urbanos se están calentando: La infraestructura gris y la ausencia de vegetación provocan un aumento de las temperaturas urbanas.
2. Las ciudades se enfrentan a verdaderos desafíos relacionados con el agua: específicamente, con la provisión y abastecimiento de agua potable de calidad para la población, unido al manejo y gestión de las áreas propensas a inundación y/o falta de agua, y a la contaminación del recurso hídrico a nivel local.
3. La concientización de las comunidades, que eligen tener más espacios verdes: una creciente apreciación de la necesidad y el deseo de ciudades más sanas y verdes, con árboles urbanos y espacios verdes que contribuyan al sentido de identidad, al mejoramiento de la calidad de vida y mejoras en la habitabilidad de los espacios urbanos.
4. Las expectativas en cuanto a los niveles y calidad de los servicios están aumentando: la evolución y el crecimiento continuo del entorno urbano va relacionado con las mejoras en la calidad de los servicios y el aumento de las expectativas de acceso a mejores niveles de servicio a la comunidad local<sup>21</sup>.

La respuesta a estas presiones podría ser también una gran oportunidad para el desarrollo a nivel local, mediante una planificación proactiva dirigida a implementar soluciones basadas en la naturaleza (SbN) que pueden basarse en las sinergias entre la gestión local del agua, la conservación y el reverdecimiento de las ciudades. De esta forma, se enfocaría al crecimiento urbano de manera sostenible y verde y promovería la resiliencia urbana, definida como la capacidad de un sistema urbano para adaptarse (mantener o volver rápidamente a las funciones anteriores) cuando se enfrenta a una perturbación<sup>22</sup>.

Buscando estrategias a largo plazo, es crucial mejorar la capacidad urbana para hacer frente a los nuevos retos impuestos por los desequilibrios y amenazas climáticas. El uso de soluciones basadas en la naturaleza (SbN) puede mejorar la capacidad adaptativa urbana, especialmente a largo plazo. La infraestructura gris tradicional, como el hormigón, edificios, desagües subterráneos y estaciones de bombeo pueden ser efectivos a corto plazo, pero son herramientas monofuncionales y no adaptables. Por el contrario, la infraestructura verde integra los procesos naturales y es más flexible y adaptable<sup>23</sup>. Así pues, la infraestructura verde puede tener un papel crucial para hacer frente al cambio climático en ciudades<sup>24</sup> y es la base esencial de las soluciones basadas en la naturaleza.

La infraestructura se define comúnmente como instalaciones y servicios necesarios para que una sociedad, comunidad y/o economía funcione. Estas instalaciones y los servicios pueden ser duros (por ejemplo, transporte y servicios públicos) o blandos (por ejemplo, institucionales como la educación, la atención de la salud y la gobernanza). El término infraestructura verde, por otra parte, fue acuñado en Florida, en 1994, y aparece por primera vez en un informe al gobernador sobre estrategias de conservación de la tierra, que subraya que

<sup>22</sup> Pickett (eds.), 2013; Lhomme et al., 2013; Meerow et al., 2016

<sup>23</sup> Voskamp y Van de Ven, 2015

<sup>24</sup> Elmqvist et al., 2015

los sistemas naturales son importantes componentes de la infraestructura<sup>25</sup>. La infraestructura verde se define como: “una red interconectada de espacio verde que conserva los valores y funciones de los ecosistemas naturales y proporciona beneficios asociados a las poblaciones humanas”<sup>26</sup> o como “una red estratégica planificada y gestionada de zonas silvestres, parques, vías verdes, conservación servidumbres, y tierras de trabajo con valor de conservación que apoyan a las especies nativas, y mantiene los procesos ecológicos naturales”<sup>27</sup>.

La infraestructura verde se considera blanda y es importante para la creación de capacidades ambientales, la mejora de la salud, las oportunidades de trabajo, y la cohesión de la comunidad<sup>28</sup>. Incluye los sistemas naturales, seminaturales<sup>29</sup> y redes artificiales de sistemas ecológicos multifuncionales relacionados con las zonas urbanas<sup>30</sup>. Está presente a través de las vías fluviales, humedales y bosques, hábitats de vida silvestre, vías verdes, parques y otras áreas naturales, que contribuyen a la salud y la calidad de vida de las comunidades y las personas<sup>31</sup>.

Para el proceso de identificación de la infraestructura verde (IV) del cantón, se definieron 15 tipos de categorías, considerando una matriz principal, es decir si el principal componente es forestal o natural, agrícola, componentes lineales o de conexión, componentes puntuales e infraestructura gris (Cuadro 6). De esta manera se facilita el análisis de patrones del uso del espacio a nivel geoespacial y usos socioproductivos.

**Cuadro 6. Tipología de la infraestructura verde en el cantón de La Unión.**

Componentes	Definición	Foto
<b>Espacios naturales / forestales</b>		
Bosques y arbolados periurbanos	Masas boscosas que se encuentran o rodean la ciudad y que pueden suministrar beneficios provenientes de la naturaleza.	
Bosques y arbolados en la ribera de los ríos	Masas ocupadas por vegetación arbórea ubicada en las márgenes de los cursos de agua permanentes o temporales.	

<sup>25</sup> Firehock, 2010

<sup>26</sup> Benedict & McMahon, 2001

<sup>27</sup> Benedict & McMahon, 2012

<sup>28</sup> Rouse, 2013

<sup>29</sup> Espacios naturales incluyen bosques primarios, bosques secundarios, remanentes de bosques, vegetación de ribera. Vegetación seminatural incluye campos agrícolas, áreas de cultivos (Proyecto Biodiver\_City, GIZ, 2021).

<sup>30</sup> Sandstrom, 2002; Tzoulas et al., 2007

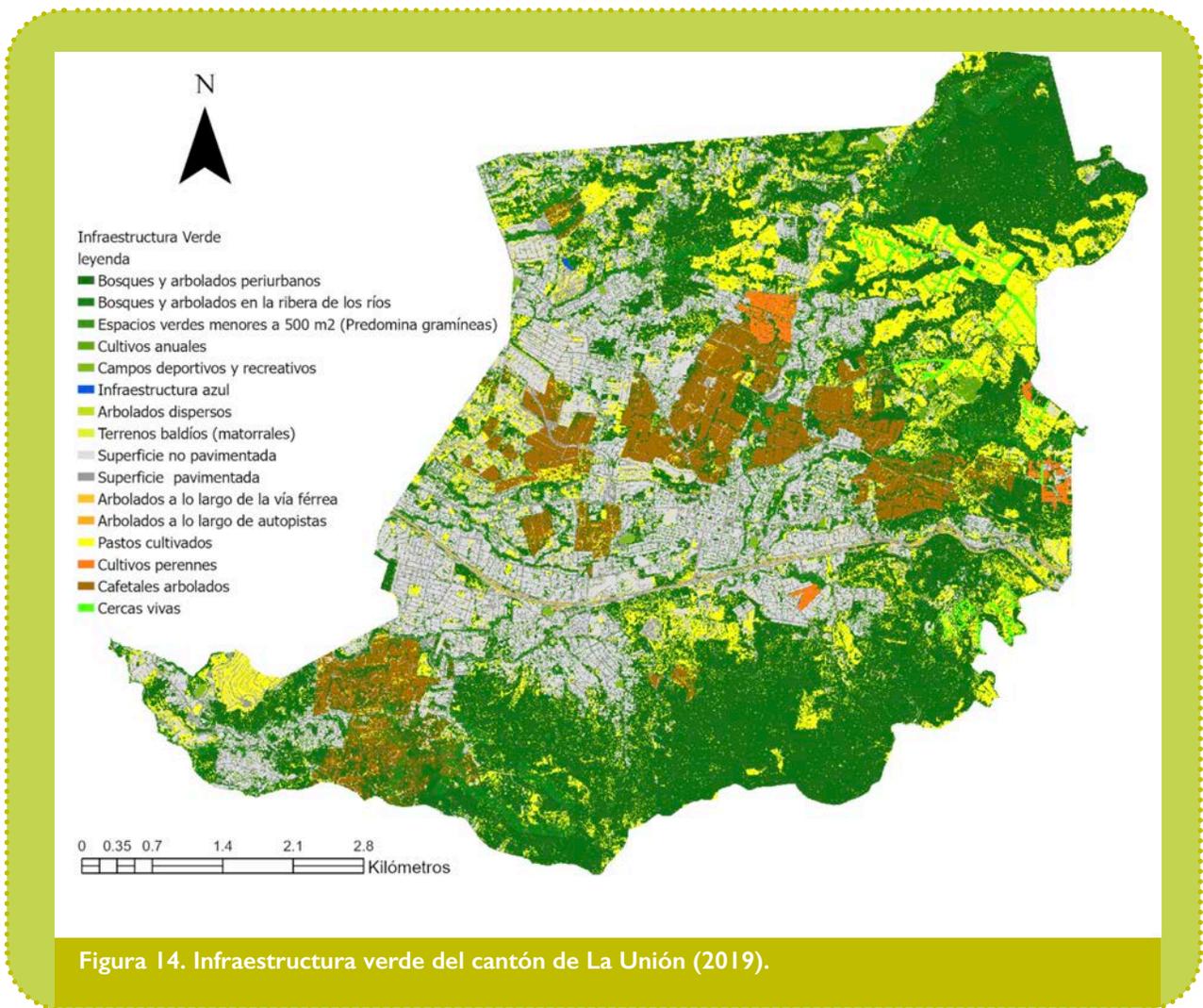
<sup>31</sup> Benedicto & McMahon, 2001; Benedict et al., 2006; Comisión Europea, 2010

Componentes	Definición	Foto
Arbolados dispersos	Especimen o colección de ellos creciendo dentro de una localidad urbana o suburbana. En un sentido amplio, incluye cualquier clase de vegetal leñoso creciendo en asentamientos humanos.	
<b>Espacios agrícolas</b>		
Cafetales arbolados	Finca agrícola con una estructura vegetativa variada tomando en cuenta diversos estratos arbóreos (Por ejemplo: cafetales arbolados).	
Pastos cultivados	Tierras cultivadas con hierba densa de composición florística dominada principalmente por gramíneas, de la familia Poaceae con fines de pastoreo o corta de forraje. Se evidencia la existencia de estructuras de cercados y caminos que delimitan las áreas de pastos. Estos van incluidos en los pastos limpios.	
Cultivos perennes	Áreas cultivadas que están dedicadas a cultivos cuyo ciclo vegetativo es mayor a dos años, produciendo varias cosechas sin necesidad de volverse a sembrar.	
Cultivos anuales	Áreas ocupadas con cultivos cuyo ciclo vegetativo puede ser de dos años o menos, llegando incluso a ser de unos pocos meses; tiene como característica fundamental, que después de la cosecha es necesario volver a sembrar para seguir produciendo.	

Componentes	Definición	Foto
<b>Elementos lineales y de conexión</b>		
Arbolados a lo largo de autopistas	Espécimen arbóreo o colección de ellos creciendo a lo largo de una autopista.	
Arbolados a lo largo de la vía férrea	Espécimen arbóreo o colección de ellos creciendo a lo largo de la línea férrea.	
Cercas vivas	Líneas de vegetación que delimitan una propiedad.	
<b>Elementos puntuales</b>		
Espacios verdes < 500 m cuadrados (> gramíneas)	Espacio ocupado por plantas o arbustos cuyos usos pueden ser variables.	
Terrenos baldíos (matorrales)	Terreno sin edificar o cultivar con o sin cobertura de vegetación tipo pasto.	

Componentes	Definición	Foto
Campos deportivos y recreativos	Recinto o construcción provista de los medios necesarios para el aprendizaje, la práctica y la competición de uno o más deportes con sustrato verde.	
<b>Infraestructura azul</b>		
Humedales	Tierras anegadizas, que pueden ser inundadas o temporalmente inundadas y pueden estar parcialmente cubiertos por vegetación <i>hidrófila</i> .	
<b>Infraestructura gris</b>		
Superficie pavimentada	Áreas de la superficie de la tierra en que el ser humano cubierto con capa lisa dura, impermeable y resistente de asfalto, cemento, madera, adoquines u otros materiales.	
Superficie no pavimentada	Áreas de la superficie de la tierra utilizadas por el ser humano pero que no poseen una cubierta resistente de asfalto, cemento, madera, o adoquines, tales como caminos u otras instalaciones de tierra o lastre.	

Fuente: Elaboración propia.



La categoría de cobertura de infraestructura verde de mayor extensión en el cantón la constituyen la clase bosques y arbolados periurbanos (42,42 %). En segunda instancia se ubican los pastos cultivados (13,46 %) y luego los cafetales arbolados (7,72 %), que se mantienen como una importante extensión de vegetación remanente seminatural importante para algunos grupos de biodiversidad, pero con mayor propensión a conversión de uso hacia nuevos desarrollos urbanos, y los bosques y arbolados en la ribera de los ríos (4,28 %) (Cuadro 7). Las instancias de árboles aislados son mínimas (<1 % de la superficie total).

**Cuadro 7. Cobertura de infraestructura verde en el cantón de La Unión (2019).**

Cobertura	Superficie (ha)	%
Bosques y arbolados periurbanos	1.877,9	42,42
Superficie no pavimentada	724,6	16,37
Pastos cultivados	596,0	13,46
Cafetales arbolados	341,7	7,72
Superficie pavimentada	306,5	6,92
Bosques y arbolados en la ribera de los ríos	189,3	4,28
Espacios verdes < 500 m cuadrados (> gramíneas)	130,8	2,95
Terrenos baldíos (matorrales)	124,5	2,81
Arbolados dispersos	42,2	0,95
Cercas vivas	34,7	0,78
Cultivos perennes	30,1	0,68
Cultivos anuales	15,1	0,34
Campos deportivos y recreativos	7,5	0,17
Arbolados a lo largo de autopistas	4,5	0,1
Arbolados a lo largo de la vía férrea	1,3	0,03
Infraestructura azul	0,6	0,01

Fuente: Elaboración propia.

La extensión y distribución de la infraestructura verde varía por distrito (Cuadro 8). El distrito de San Rafael presenta la mayor cobertura de bosques y arbolados periurbanos, seguido del distrito de San Diego. Por otro lado, el distrito que presenta el menor valor de esta cobertura es el de Tres Ríos. El distrito con la mayor cobertura de bosques y arbolados en la ribera de los ríos es Dulce Nombre y la de menor cobertura el distrito de Tres Ríos. El distrito de Río Azul presenta la mayor cobertura de cafetales arbolados, seguido de Dulce Nombre y San Rafael. El distrito con mayor presencia de espacios verdes menores a 500 m<sup>2</sup> es San Rafael. En el distrito de San Juan no fue detectado ningún campo deportivo o recreativo; y en el distrito de Concepción se ubica el único humedal reconocido por el Inventario Nacional de Humedales.



**Cuadro 8. Cobertura (en hectáreas, ha) de infraestructura verde por distrito en el cantón de La Unión (2019).**

Categorías	Río azul	San Diego	Tres Ríos	San Rafael	San Juan	Concepción	San Ramón	Dulce Nombre
Bosques y arbolados periurbanos	192,4	463,2	42,4	468,3	53,2	100,1	154,9	403,3
Bosques y arbolados en la ribera de los ríos	42,4	21,1	7,5	26,4	13,2	20,0	9,2	49,4
Arbolados dispersos	5,2	5,3	4,8	6,4	4,8	5,5	6,4	3,9
Cafetales arbolados	83,1	12	21,8	68,6	55,6	21,9	3	75,7
Pastos cultivados	48,3	67	13,6	132,1	50,1	56,4	60,5	168,1
Cultivos perennes	0,0	0,0	0,0	12,4	0,0	0,0	0,0	17,6
Cultivos anuales	0,0	0,0	0,0	7,7	0,0	0,0	7,4	0,0
Arbolados a lo largo de autopistas	0,0	1	0,6	2,5	0,4	0,0	0,0	0,0
Arbolados a lo largo de la vía férrea	0,0	0,0	0,4	0,7	0,3	0,0	0,0	0,0
Cercas vivas	0,0	0,0	0,0	15,5	0,0	0,0	0,0	19,1
Espacios verdes < 500 m cuadrados (> gramíneas)	10,7	17,1	13,8	21,1	19,6	16,7	20,4	11,3
Terrenos baldíos (matorrales)	13,4	31,1	2,9	36,6	6,7	6,8	12,2	14,7
Superficie no pavimentada	62,3	134	82,8	107,2	130,5	110,7	52,6	44,5
Superficie pavimentada	27,7	56,4	35,5	46,5	61,3	39,9	20,4	18,9
Campos deportivos y recreativos	1,0	1,3	1,8	0,6	0,0	1,3	0,9	0,7
Infraestructura azul	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0
<b>Total</b>	<b>486,4</b>	<b>809,5</b>	<b>228</b>	<b>952,6</b>	<b>395,6</b>	<b>379,9</b>	<b>347,9</b>	<b>827,3</b>

Fuente: Elaboración propia.

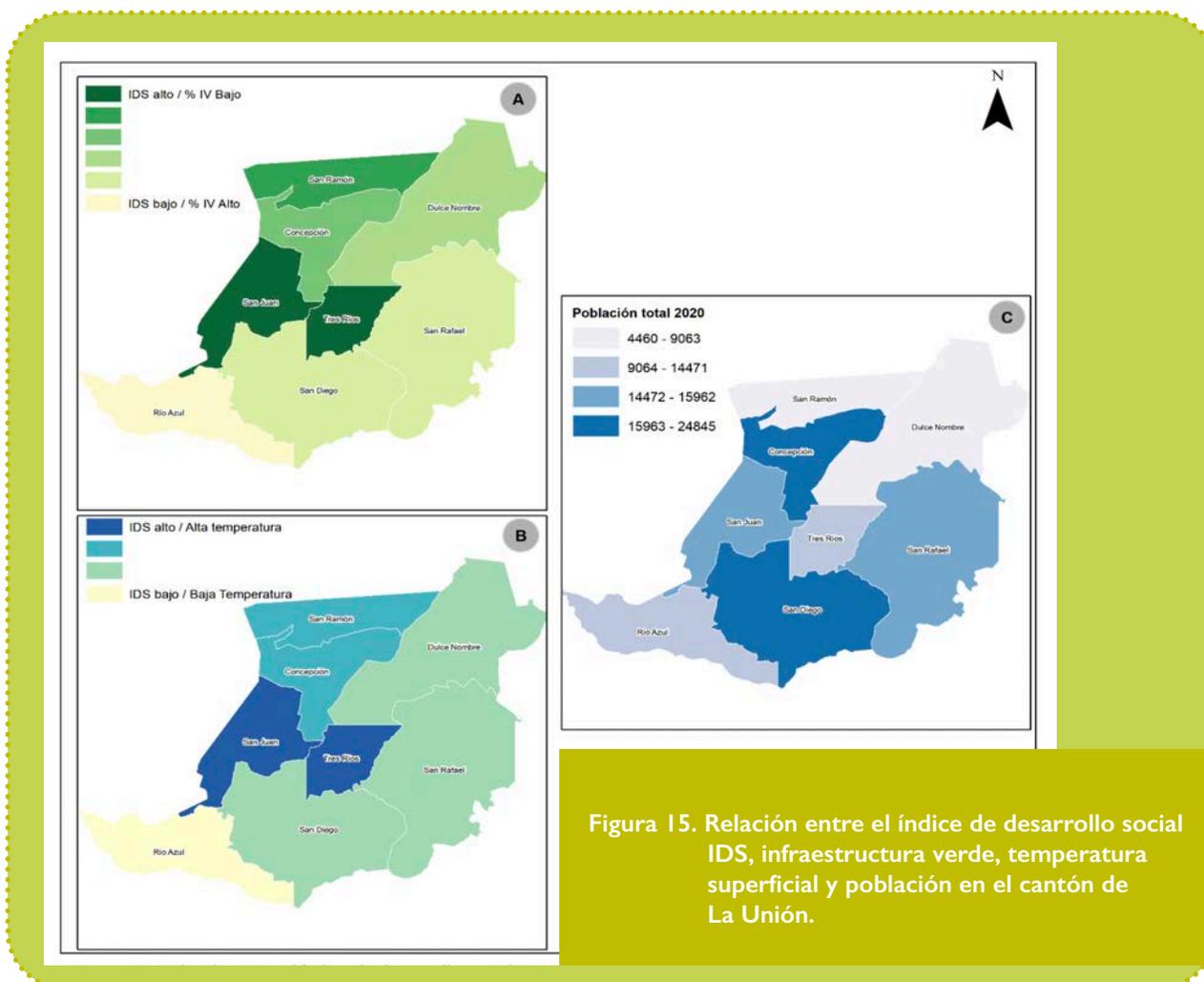
## Desigualdades territoriales e infraestructura verde

Con el fin de brindar una visión comparativa e integradora, se analizó a nivel distrital el comportamiento de la temperatura superficial, el porcentaje de cobertura de infraestructura verde y el índice de desarrollo social (IDS). Este último, es una herramienta del Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (MIDEPLAN) que permite ordenar los distritos y cantones de Costa Rica en función de su desarrollo social. El índice está compuesto de 5 dimensiones: económica, participación electoral, salud, educación y seguridad.

Se observan diferencias importantes en el valor de IDS a nivel distrital, mientras el distrito de San Juan está en la posición 4, una de las mayores a nivel nacional (de 488 en total), el distrito de Tres Ríos se ubica en la posición 26 y Río Azul, se ubica en una de las posiciones más bajas a nivel urbano; la 276.

**Cuadro 9. Índice Desarrollo Social, temperatura superficial, porcentajes de cobertura de infraestructura verde, y población por distrito para el cantón de La Unión..**

Distrito	IDS	Posición (de 488)	Temperatura superficial	Población 2020	% Infraestructura verde
San Juan	96,9	4	42,1	15.506	51,1
Tres Ríos	88,0	26	41,2	9.328	48,1
San Ramón	79,2	68	35,2	4.460	79,0
Concepción	74,7	101	38,8	18.873	60,3
Dulce Nombre	69,6	163	33,1	9.063	92,3
San Rafael	68,0	194	35,8	15.962	89,3
San Diego	67,3	200	35,9	24.845	76,5
Río Azul	60,0	276	38,0	14.471	81,5



**Figura 15. Relación entre el índice de desarrollo social IDS, infraestructura verde, temperatura superficial y población en el cantón de La Unión.**

Tanto los distritos de San Juan como Tres Ríos son los que presentan los valores de IDS más altos, pero a su vez muestran los porcentajes de cobertura más bajos. En el caso inverso está el distrito de Río Azul con IDS bajo, pero temperaturas superficiales más bajas (Figura 15). Este patrón se repite con la temperatura superficial: San Juan y Tres Ríos presentan los IDS más altos, pero poseen las temperaturas superficiales más elevadas, mientras que en Río Azul el IDS es bajo pero menor temperatura superficial. Esto muestra una relación dicotómica en el espacio con relación al índice de desarrollo social (IDS) y las condiciones ambientales, ya que los distritos potencialmente más desarrollados son los que menos cobertura de infraestructura verde poseen y tienen una temperatura superficial promedio más elevada que sus vecinos con menor IDS.

## Contenido de carbono en la vegetación del cantón de La Unión

Los beneficios o contribuciones directas o indirectas que la sociedad obtiene de las funciones de los ecosistemas y sus componentes para el bienestar humano en las ciudades se conocen como los *servicios de los ecosistemas urbanos (SEU)*. Los ecosistemas urbanos son aquellos en los que la infraestructura construida cubre una gran proporción de la superficie terrestre, o aquellas en las que la gente vive en altas densidades<sup>32</sup>. En esta sección, se le ha dado relevancia al componente de almacenamiento de carbono, dado que es un servicio ecosistémico global importante en el cantón de La Unión, al contar con un capital natural abundante (46,5% de cobertura de bosque y arbolados periurbanos y en la ribera de los ríos). Esta cobertura forestal desempeña un rol importante en el mantenimiento de la temperatura local y disminución de las islas de calor, asimismo, brinda otros servicios ecosistémicos como protección de las nacientes y márgenes de los cuerpos de agua, además de servir como refugio a remanentes de biodiversidad local y conectada con áreas protegidas aledañas al cantón.

El almacenamiento y secuestro de carbono ejerce un papel fundamental en la reducción de los gases de efecto invernadero (GEI). Dentro del marco conceptual de los servicios ecosistémicos, es un indicador de *regulación del clima local*, el cual se engloba dentro de los denominados *servicios ecosistémicos de regulación*. De acuerdo con los datos del Inventario Nacional Forestal de Costa Rica 2014<sup>33</sup>, el stock de carbono almacenado por hectárea en las zonas de vida presentes en el cantón de La Unión varía entre 115 y 248 MgC/ha, con un promedio de 223,5 Mg/ha.

**Cuadro 10. Stock de carbono en las zonas de vida del cantón de La Unión.**

Zona de vida	C > 2 cm (MgC/ha)
Bosque húmedo montano bajo	115,0
Bosque húmedo premontano	117,0
Bosque muy húmedo premontano bajo	248,0
Bosque muy húmedo premontano	213,0

Fuente: Inventario Nacional Forestal, 2014.

<sup>32</sup> GIZ, 2020.

<sup>33</sup> SINAC, 2014

Los valores máximos de carbono se localizan sobre las partes altas de los sectores montañosos en donde existen remanentes importantes de cobertura forestal, como en los Cerros de La Carpintera y Dulce Nombre (Figura 16). La parte central de cantón, donde se asienta la mayoría de la población, se observa escasa cobertura forestal y con un grado de fragmentación mayor, y en donde los parches remanentes son parte de los arbolados en la ribera de los ríos, el almacenamiento de C en estos lugares es de aproximadamente 160 MgC/ha. Este gradiente está relacionado estrictamente con la cantidad de cobertura forestal de cada distrito y el valor del stock según la zona de vida; es por ello de suma importancia promover la restauración de los ecosistemas, y la arborización dentro del tramado de la ciudad y los parques públicos.

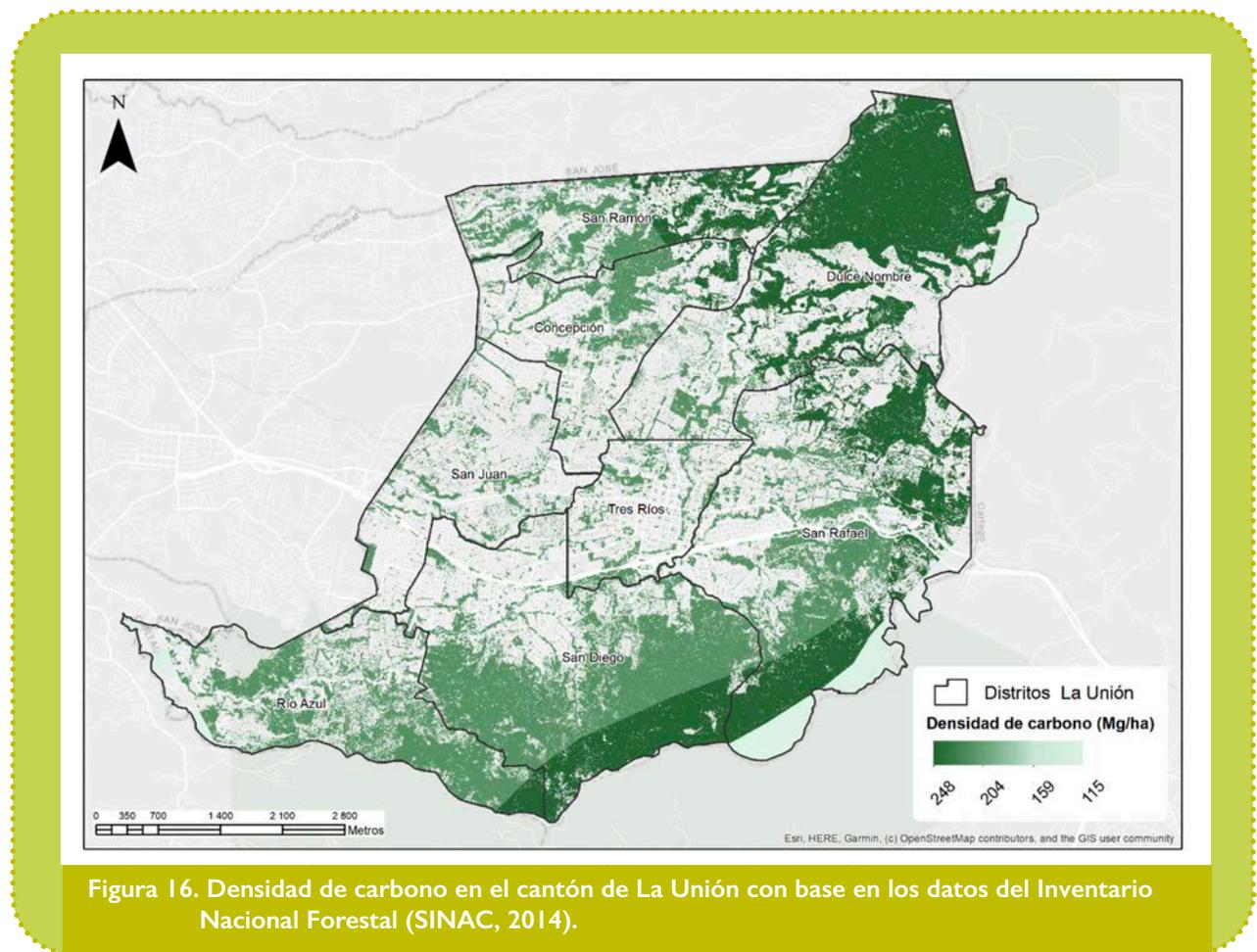


Figura 16. Densidad de carbono en el cantón de La Unión con base en los datos del Inventario Nacional Forestal (SINAC, 2014).

En total, el stock de C en el cantón es de 461.041,7 MgC (Cuadro 11). Esta estimación es indirecta, ya que no se están usando datos de parcelas permanentes o temporales dentro del área de estudio, sino datos extrapolados a nivel nacional y armonizados dentro de las zonas de vida. Se recomienda, por tanto, que la municipalidad establezca un sistema de monitoreo de carbono, instalando parcelas en diferentes usos y coberturas de la tierra con el objetivo de cuantificar datos y estimaciones más exactas para próximos análisis.

Cuadro 11. Almacenamiento total de carbono por distrito en el cantón de La Unión.

Distrito	Carbono total (MgC)
Dulce Nombre	108.581,5
San Rafael	107.857,2
San Diego	106.935,0
Río Azul	49.274,1
San Ramón	37.498,3
Concepción	26.167,0
San Juan	14.119,0
Tres Ríos	10.609,5
<b>Total</b>	<b>461.041,7</b>

Fuente: Elaboración propia.

## Ocupación de la infraestructura verde y gris dentro de zonas de protección de ríos, quebradas y nacientes

Se realizó un análisis de ocupación de la infraestructura verde y gris del cantón dentro de zonas de protección de ríos, quebradas y nacientes para caracterizar la provisión de agua en el cantón. Para esto utilizaron 2 elementos de zonificación para la protección del recurso hídrico: la cartografía de las nacientes y zonas de captación, y la red hídrica. Los insumos para el análisis fueron suministrados por la Unidad Ambiental de la Municipalidad de La Unión y el Dirección de Aguas del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE).

El objetivo de este análisis fue estimar el porcentaje de infraestructura verde y gris dentro de los elementos antes mencionados. En algunos sectores las áreas de protección de nacientes y las áreas de influencia de las márgenes pueden traslaparse (Figura 17). Además, algunas áreas de protección de nacientes se encuentran fuera del cantón; dichas áreas no se contabilizaron en los análisis.

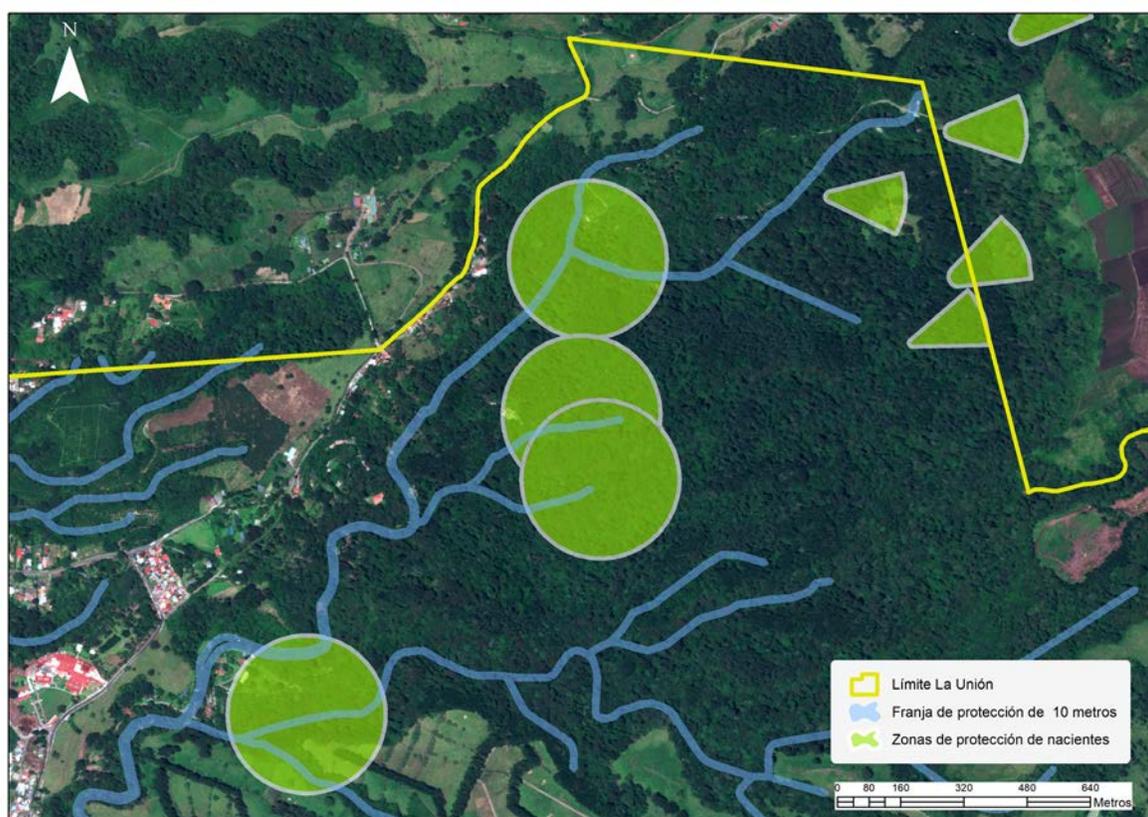


Figura 17. Disposición espacial de algunas de las zonas de protección de nacientes y áreas de influencia sobre las márgenes de la red hídrica, en el sector norte del cantón de La Unión.

## Infraestructura verde y gris dentro de zona de protección de ríos y quebradas

Este análisis se realizó en dos pasos: en primera instancia se elaboró una zona de influencia (buffer) de 10 m a cada lado de la capa de cursos de agua (ríos y quebradas) del cantón. Un segundo paso correspondió a la creación de las zonas de influencia, basadas en los parámetros establecidos por la Ley Forestal 7575.

### Zona de influencia de 10 metros

Para ejecutar este análisis se realizó una extracción del mapa de infraestructura verde usando como capa de corte de un área de influencia (buffer) de 10 m sobre la red hídrica. La superficie total del área de buffer es de 324,7 ha, lo que corresponde a un 7,26 % de la extensión de cantón, y la longitud total de la red de drenaje es de 191.494 m. El 73,2 % de toda el área buffer de 10 m está cubierta de bosques arbolados y periurbanos

(47,6%) y de bosques y arbolados en la ribera de los ríos (25,5%). Esto se traduce en un “vacío de conservación” del 27,8%, es decir, espacios dentro del buffer que están ocupados por usos distintos a las categorías de bosque. Por ejemplo, la superficie pavimentada y no pavimentada corresponde al 9,1% de la superficie total del área buffer, demostrando la presencia de actividad antrópica dentro de las márgenes de los ríos.

Si se comparan los datos a nivel de distrito (Cuadro 12), distritos como Tres Ríos y San Juan, al ser netamente urbanos, poseen menor ocupación de bosques y arbolados periurbanos, pero aún conservan franjas ribereñas; el resto del espacio del área buffer los ocupan la superficie pavimentada y no pavimentada. Los distritos de Dulce Nombre y San Rafael, poseen un área buffer con muy alta cobertura dentro de las clases de bosque y arbolados periurbanos y en la ribera de los ríos. Dulce Nombre presenta un 82,8% de infraestructura verde y una un área buffer de 55,3 ha. San Rafael presenta un porcentaje de infraestructura verde del 72,9 % y un área buffer de 74,2 ha (Cuadro 12).

**Cuadro 12. Distribución de la infraestructura verde y gris dentro de una zona de protección de 10 m a cada lado de las márgenes de los cursos de agua para distritos del cantón de La Unión..**

Categorías de cobertura	Río azul	San Diego	Tres Ríos	San Rafael	San Juan	Concepción	San Ramón	Dulce Nombre
	ha							
Bosques y arbolados periurbanos	10,5	39,5	2,6	40,4	1,1	11,6	20,2	28,6
Bosques y arbolados en la ribera de los ríos	13,4	10,8	6,9	13,7	9,6	8,5	2,9	17,1
Parques y jardines pequeños con árboles (< 0,5 ha)	0,9	1,4	0,8	1,3	0,7	0,8	0,2	0,3
Cultivos anuales	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0
Campos deportivos y recreativos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Lagunas estacionales/intermitentes de agua dulce	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
Arbolados dispersos	0,5	1,0	0,6	1,0	0,4	0,5	0,1	0,2
Terrenos baldíos (matorrales)	0,8	2,3	0,5	3,1	0,5	0,7	0,6	1,1
Superficie no pavimentada	2,8	4,0	2,4	3,9	1,5	1,5	0,3	1,2
Superficie pavimentada	2,3	3,5	1,4	2,3	1,0	0,7	0,2	0,7
Arbolados a lo largo de la vía férrea	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Arbolados a lo largo de autopistas	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Pastos cultivados	0,0	0,3	0,0	3,4	0,0	1,4	0,3	1,6
Cultivos perennes	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Cafetales arbolados	6,5	0,8	0,7	1,9	2,4	1,0	0,0	4,0
Terrenos baldíos (predominancia de gramíneas)	1,7	4,4	0,9	1,7	1,2	0,5	0,7	0,4
Cercas vivas	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Total</b>	<b>39,3</b>	<b>68,0</b>	<b>16,7</b>	<b>74,2</b>	<b>18,3</b>	<b>27,2</b>	<b>25,6</b>	<b>55,3</b>

Fuente: Elaboración propia.

## Zona de influencia de los cursos de agua de acuerdo con los parámetros de la Ley Forestal 7575

De acuerdo con el artículo 33<sup>34</sup> de la ley forestal 7575 se declaran áreas de protección las siguientes:

“Una franja de quince metros en zona rural y de diez metros en zona urbana, medidas horizontalmente a ambos lados, en las riberas de los ríos, quebradas o arroyos, si el terreno es plano, y de cincuenta metros horizontales, si el terreno es quebrado.”

Establecida esta definición operativa, se determinaron cuáles distritos son urbanos y rurales dentro del cantón de La Unión. De acuerdo con INDER<sup>35</sup>, son distritos rurales: San Rafael, San Diego, Rio Azul y Dulce Nombre.

Por último, fue necesario determinar los rangos de pendientes del terreno para la creación de las zonas de influencia. Para esto, el Colegio de Topógrafos de Costa Rica<sup>36</sup> establece lo siguiente:

- Terreno plano: Aquel cuyas pendientes van de 0 al 15%, ya sea determinado con base en la cartografía oficial existente u otros procedimientos topográficos.
- Terreno ondulado: Aquel cuyas pendientes van de más del 15% al 30% inclusive de pendiente, ya sea determinado con base en la cartografía oficial existente u otros procedimientos topográficos.
- Terreno quebrado: Aquel cuyas pendientes sobrepasan un 30% de pendiente, ya sea determinado con base en la cartografía oficial existente u otros procedimientos topográficos.

Una vez establecidos todos los parámetros se procedió a cortar la capa de la red hídrica con el límite distrital del cantón para determinar qué segmentos de cauce pertenecen a distritos urbanos o rurales (esto de acuerdo con el campo del *nombre de distrito* que figura en la tabla de atributos de la capa). Para la estimación de la pendiente se utilizó un modelo de elevación de 10 m de resolución. *A priori*, se creó un área de influencia de 50 m a cada lado de la red hídrica, la cual se utilizó para cortar el mapa de pendientes creado en el primer paso. Posteriormente, usando la herramienta de estadística zonal del programa *ArcMap 10.8*<sup>37</sup> se determinó el promedio de la pendiente del terreno dentro del buffer que corresponde a cada segmento del cauce. Para la creación del buffer final se asignó un tamaño de buffer de acuerdo con el cumplimiento de las condiciones usando reglas de decisión objetivas (Cuadro 13).

<sup>34</sup> [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=41661&nValor3=94526&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=41661&nValor3=94526&strTipM=TC)

<sup>35</sup> <https://www.inder.go.cr/correque/PTDR-Cartago-Oreamuno-El-Guarco-La-Union.pdf>

<sup>36</sup> Fuente: <https://www.colegiotopografoscr.com/comunicados/2016/Reglamento%20final.pdf>

<sup>37</sup> <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/get-started/introduction/whats-new-in-arcgis.htm>

Cuadro 13. Parámetros para la creación de zonas de protección de ríos y quebradas.

	Pendiente del terreno	
	< 30 %	> 30 %
Zona	Plano	Quebrado
Urbano	10 m	50 m
Rural	15 m	50 m

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el análisis, la superficie total de la delimitación usando los parámetros establecidos por la Ley Forestal es de 785,5 ha, lo que corresponde a un 17,7 % de la superficie total del cantón. Estas zonas de protección están cubiertas en un 71,7 % por bosques arbolados periurbanos y en ribera de los ríos, con un vacío total de conservación de 28,2 %. El 8,7 % de ese vacío corresponde a las superficies pavimentadas y no pavimentadas y el resto a los demás usos/coberturas del suelo.

El análisis por distrito (Cuadro 14), muestra la distribución del uso/cobertura dentro de esta nueva delimitación, siendo el distrito de San Rafael el que cuenta con la zona de protección más amplia, con 191,3 ha. Por su parte, el distrito de San Juan presenta menor superficie de zona de protección, con 22,35 ha. Positivamente, dentro de las áreas de protección de todos los distritos, la cobertura de bosque y arbolados periurbanos y en ribera de los ríos es mayor al 50 %, siendo el distrito de San Ramón el de mayor cobertura (81,1 %), y el distrito de Tres Ríos el de menor cobertura (51,9 %).

## Infraestructura verde y gris dentro de las áreas de protección de nacientes

Las áreas de protección de nacientes se utilizaron para extraer información sobre la cobertura verde y gris. La superficie total de dichas zonas de protección es de 741,2 ha, y algunas de ellas se encuentran fuera de los límites del cantón. Para la determinación de las zonas de protección de nacientes se utilizaron 3 fuentes de datos diferentes:

- Capa de dictámenes punto inicial de Departamento de Aguas del MINAE<sup>38</sup>.
- Capa de concesiones del Departamento de Agua del MINAE<sup>39</sup>.
- Capa de zonas de protección de nacientes previamente diseñadas por la Municipalidad de La Unión.

En el caso de las dos primeras fuentes de información se estableció un radio de 200 m horizontales sobre el centro de cada naciente, en concordancia con la delimitación del plan regulador del cantón de La Unión.

<sup>38</sup> <http://www.da.go.cr/descripcion-sinigirh/>

<sup>39</sup> Ídem

**Cuadro 14. Distribución de la infraestructura verde y gris dentro de zonas de protección variables, de acuerdo con la establecido en la Ley Forestal 7575 para los distritos del cantón de La Unión.**

Categorías	Río azul	San Diego	Tres Ríos	San Rafael	San Juan	Concepción	San Ramón	Dulce Nombre
	<b>ha</b>							
Bosques y arbolados periurbanos	38,21	127,74	2,66	105,11	1,20	17,71	42,98	71,30
Bosques y arbolados en la ribera de los ríos	36,84	15,39	6,99	30,73	10,83	11,64	3,43	40,88
Parques y jardines pequeños con árboles (< 0,5 ha)	2,57	2,77	0,91	2,62	0,89	1,16	0,72	1,44
Cultivos anuales	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	1,76	0,00
Campos deportivos y recreativos	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
Lagunas estacionales/intermitentes de agua dulce	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00
Arbolados dispersos	1,23	1,42	0,65	1,48	0,46	0,58	0,22	0,41
Terrenos baldíos (matorrales)	2,88	7,69	0,51	7,82	0,54	1,15	1,64	3,00
Superficie no pavimentada	11,28	9,47	3,52	10,42	2,23	2,80	1,95	4,35
Superficie pavimentada	5,24	5,41	1,89	5,17	1,40	1,04	0,96	1,88
Arbolados a lo largo de la vía férrea	0,00	0,00	0,00	0,01	0,12	0,00	0,00	0,00
Arbolados a lo largo de autopistas	0,00	0,00	0,08	0,29	0,02	0,00	0,00	0,00
Pastos cultivados	0,00	0,85	0,00	12,50	0,01	5,38	1,99	12,19
Cultivos perennes	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,11
Cafetales arbolados	22,11	2,00	0,69	7,93	2,64	1,01	0,00	6,56
terrenos baldíos (predominancia de gramíneas)	6,10	10,64	0,89	3,56	1,99	0,85	1,55	0,61
Cercas vivas	0,00	0,00	0,00	3,45	0,00	0,00	0,00	0,15
<b>Total</b>	<b>126,48</b>	<b>183,41</b>	<b>18,81</b>	<b>191,34</b>	<b>22,35</b>	<b>43,38</b>	<b>57,22</b>	<b>142,87</b>

Para la tercera capa ya se había establecido una zona de protección, siguiendo en muchos casos criterios topográficos ya que algunas zonas tienen forma de cuña. El área total de todas las zonas de protección es 741,2 ha, de las cuales el 55,8 % están cubiertas de bosques y arbolados periurbanos, 10,98 % de superficie no pavimentada, y 4,45 % en la clase de bosques y arbolados en la ribera de los ríos. Al sumarse las clases forestales del mapa, estas alcanzan un 60,2 % de la superficie, por lo que el vacío de conservación es de aproximadamente de 40 %.

En términos generales, la cobertura de bosques y arbolados periurbanos y en la ribera de los ríos es del 86 %, existiendo un vacío del 14 %, del cual el 5,6 % del total corresponde a pastos cultivados. El elevado porcentaje de cobertura arbórea obedece mayoritariamente a que estas zonas de protección se ubican en las partes perimetrales de los cantones de San Rafael, Dulce Nombre y San Diego, en zonas con una alta cobertura arbórea. Si se analizan los datos por distrito (Figura 18), se encuentra que Dulce Nombre tiene el

mayor porcentaje de ocupación de las zonas de protección con el 21,43 % (158,1 ha) y el distrito de San Juan con el menor porcentaje de ocupación de las zonas de protección (7,10 % o 52,6 ha). En cuanto a los vacíos de conservación de igual forma el distrito de Dulce Nombre tiene una ocupación del 81,9 % de bosques y arbolados periurbanos y en la ribera de los ríos. En el caso inverso, los distritos de San Juan y Concepción son los que tiene un vacío de conservación mayor, con alrededor del 77,0 % del área analizada. Esto se debe a que son distritos netamente urbanos, con un alto grado de antropización.

**Cuadro 15. Distribución de la infraestructura verde y gris dentro de las zonas de proyección de nacientes en el cantón de La Unión.**

Categorías	Río azul	San Diego	San Rafael	San Juan	Concepción	San Ramón	Dulce Nombre
	<b>ha</b>						
Bosques y arbolados periurbanos	48,72	50,79	116,20	5,37	16,85	56,31	119,61
Bosques y arbolados en la ribera de los ríos	6,78	4,29	0,00	4,37	1,88	5,01	10,58
Parques y jardines pequeños con árboles (< 0,5 ha)	1,58	1,84	1,90	1,35	2,79	8,80	0,38
Campos deportivos y recreativos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,67	0,00
Lagunas estacionales/intermitentes de agua dulce	0,00	0,00	0,00	0,00	0,37	0,00	0,00
Arbolados dispersos	0,82	0,67	0,72	0,46	0,94	2,61	0,18
Terrenos baldíos (matorrales)	2,01	4,86	5,55	1,00	1,13	4,80	2,11
Superficie no pavimentada	8,46	10,07	6,19	14,36	19,60	20,77	1,94
Superficie pavimentada	2,91	4,90	2,80	6,77	7,22	7,33	0,97
Arbolados a lo largo de la vía férrea	0,00	0,00	0,14	0,03	0,00	0,00	0,00
Arbolados a lo largo de autopistas	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00
Pastos cultivados	0,00	1,45	9,55	0,07	8,61	8,38	14,77
Cultivos perennes	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,44
Cafetales arbolados	18,39	3,15	7,35	9,65	0,00	0,86	4,60
terrenos baldíos (predominancia de gramíneas)	5,63	6,34	0,91	9,18	3,16	16,50	0,99
Cercas vivas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24
<b>Total</b>	<b>95,30</b>	<b>88,36</b>	<b>151,45</b>	<b>52,62</b>	<b>62,59</b>	<b>132,05</b>	<b>158,81</b>

Fuente: Elaboración propia.



# Conclusiones y recomendaciones

La infraestructura verde ocupa un espacio importante en el cantón de La Unión; sin embargo, su distribución presenta dicotomías y desigualdades territoriales que imponen un desafío, especialmente al analizar la interrelación entre las diferentes variables y su expresión a nivel territorial. Por ejemplo, distritos con valor de islas de calor altas, como Tres Ríos y San Juan, presentan un valor de IDS alto, pero poca cobertura de infraestructura verde. En el otro extremo, el distrito de Río Azul no tiene temperaturas tan elevadas comparadas con el promedio, pero muestra un IDS bajo, e infraestructura verde alta (81 % de ocupación del total del territorio).

Lo anterior está ligado con el patrón de asentamiento del cantón, el cual se concentra hacia el centro – oeste del mismo, quedando los remanentes de los bosques y arbolados periurbanos en los sectores perimetrales. Asimismo, los distritos centrales (San Diego, San Juan y Tres Ríos) son los más densamente poblados, pero presentan menor área de bosque, arbolados periurbanos y bosque en la orilla de los ríos, lo que se relaciona directamente con la presencia de las islas de calor.

El registro de temperaturas superficiales promedio de 40 °C en sitios con presencia de personas vulnerables a las ondas de calor, tales como escuelas, Ebais, clínicas entre otras, es preocupante, por su impacto sobre la salud humana a largo plazo. Se recomienda considerar estrategias y líneas de acción dirigidas a establecer soluciones basadas en la naturaleza (SbN) e infraestructura verde que permitan aminorar el impacto de las islas de calor en estas poblaciones vulnerables.

Encontramos diferencias con relación a las zonas de protección de los cursos de agua, según los parámetros de medición utilizados. La delimitación usando los parámetros de la ley forestal (785,5 ha) es 55,6% mayor en superficie, en comparación si usa la zonificación de 10 m (324,7 ha). En cuanto vacíos de conservación, los valores son muy similares (28,2 ha y 27,8 ha respectivamente), debido en parte a que el drenaje ha sido entubado en las zonas más altamente urbanizadas (Tres Ríos, San Juan) y por la presencia de asentamientos en las riberas de los ríos, lo cual se refleja de igual manera en ambos parámetros utilizados.

En términos globales, se recomienda impulsar, promover, e implementar el concepto de ciudad verde dentro del cantón de La Unión, en el entendido que *“...es aquella ciudad accesible e inclusiva que se gestiona con participación de sus habitantes donde abundan los espacios naturales y la biodiversidad, que impactan de manera directa en su capacidad de resiliencia. Su fin último es maximizar el bienestar humano, resultando en bajos niveles de contaminación, mejora en la apropiación del espacio urbano, propiciando interacciones positivas para la recreación, salud física y mental, con un enfoque ecosistémico<sup>40</sup>”*. Adicional a esto, es condición necesaria que la ciudad verde deba cimentarse en 4 pilares fundamentales: la sostenibilidad, la resiliencia, la equidad y la salud y bienestar.

Por otro lado, a la luz de los resultados obtenidos en el análisis de los servicios ecosistémicos abordados en este estudio, se propone la implementación de una serie de acciones claves que aborden grandes como la adaptación frente al cambio climático, la salud y el bienestar humano, la conservación de la biodiversidad y los paisajes, entre otros:

---

<sup>40</sup> GIZ

1. Fomentar la forestería urbana, los procesos de restauración y recuperación de los espacios verdes urbanos naturales y seminaturales, siguiendo con objetivos y propósitos claros, especialmente para disminuir la sensación térmica e isla de calor, fomentar la creación de espacios de ocio y recreación y diseño adecuado para el objetivo final de uso público.
2. Diseñar e implementar soluciones basadas en la naturaleza para maximizar el enfriamiento y calentamiento naturales de las edificaciones.
3. Promover incentivos directos e indirectos para la gestión de los bosques urbanos en propiedades privadas y otros espacios.
4. Valorar la creación de estímulos fiscales para el desarrollo de infraestructura azul-verde (IAV), como techos verdes, jardines verticales, pavimentos fríos, paneles solares y aumento de espacios verdes, a nivel local dirigidos al control de la temperatura y el microclima local desde el sector privado.
5. Implementar inventarios de las existencias de carbono a nivel municipal y establecer guías para planes de forestación urbana para aumentar las existencias de carbono.
6. Diseñar un sistema de evaluación y monitoreo de la sanidad de los árboles y su relación con el clima y seguridad.
7. Diseñar un sistema de monitoreo que permitan identificar geográficamente los espacios donde se generan Islas de Calor (ICU) y zonas vulnerables a eventos extremos climáticos a nivel cantonal, y establecer los pasos para desarrollar medidas de adaptación y mitigación.
8. Incluir la salud y seguimiento de riesgos climáticos en la salud dentro de los planes y acciones estratégicas municipales.
9. Establecer normas para el diseño con enfoque paisajístico y gestión de los espacios verdes públicos y privados para fomentar las actividades físicas.
10. Promover la accesibilidad, proximidad y seguridad en los espacios verdes público para todos los habitantes.
11. Considerar las funciones de confort térmico al diseñar espacios públicos y calles.
12. Incluir a los bosques urbanos y otros tipos de vegetación (jardines, huertas escolares, otros) en la planificación y el diseño de escuelas y lugares de atención médica.
13. Construir espacios verdes para la movilidad alternativas (por ejemplo, ciclovías) como medio de promoción de la salud física y mental y de reducción de la contaminación.
14. Establecer metas para maximizar la infraestructura verde sobre la infraestructura gris en las estrategias de crecimiento urbano.
15. Aumentar el porcentaje de superficies permeables y de la cubierta arbórea.
16. Promover el mantenimiento de la cobertura vegetal natural para limitar los daños ambientales y la degradación del suelo en la construcción y en las intervenciones de desarrollo urbano.

# Referencias

- Aicardo Roa-Espinosa, et al. (2013) *Predicting the Impact of Urban Development on Stream Temperature Using a Thermal Urban Runoff Model (TURM)*. Available at <http://www.epa.gov/nps/natlstormwater03/31Roa.pdf>
- Benedict, M.A. and McMahon, E.T. (2001). *Green infrastructure: smart conservation for the 21st century*. [Online]. Available at: <http://www.sprawlwatch.org/greeninfrastructure.pdf>
- Benedict, M. A., McMahon, E. T. and Conservation Fund. (2006). *Green infrastructure: linking landscapes and communities*. Washington, DC: Island Press.
- Benedict, M. A. and McMahon, E. T. (2012). *Green Infrastructure: Linking Landscapes and Communities*. The Conservation Found, Island Press.
- ENVI version 5.5 (Harris Geospatial, Boulder, Colorado). Harris, Geospatial solutions, (2018). <https://www.harrisgeospatial.com/docs/backgroundflash.html>
- Elmqvist, T., Setälä, H., Handel, S., van der Ploeg, S., Aronson, J., Blignaut, J., Gomez-Baggethun, E., Nowak, D., Kronenberg, J., and de Groot, R. (2015). Benefits of restoring ecosystem services in urban areas. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14, p. 101–108. [Online]. Available at: doi:10.1016/j.cosust.2015.05.001
- EPA. (2008). Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies, Urban Heat Island Basics. Environmental Protection Agency's Office of Atmospheric Programs
- European Commission. (2010). *Green infrastructure*. [Online]. Available at: <http://ec.europa.eu/environment/nature/info/pubs/docs/greeninfrastructure.pdf>
- EPA. (2012). Heat Island Effect: Basic Information, available at <http://www.epa.gov/heatislands/about/index.htm>
- NOAA. (2012). *Heat Wave: A Major Summer Killer*, available at [https://www.prattcounty.org/DocumentCenter/View/8/Heat\\_Wave](https://www.prattcounty.org/DocumentCenter/View/8/Heat_Wave)
- EPA. (2012). *Excessive Heat Events Guidebook (2006)*, available at <https://www.epa.gov/heat-islands>
- Firehock, K. (2010). *A Short History of the Term Green Infrastructure and Selected Literature*. [Online]. Available at: <http://www.gicinc.org/PDFs/GI%20History.pdf>
- Haase D. (2015). Reflections about blue ecosystem services in cities. Sustainability of Water Quality and Ecology. <http://dx.doi.org/10.1016/j.swaqa.2015.02.003>
- Hartling, S.; Sagan, V.; Sidike, P.; Maimaitijiang, M.; Carron, J. (2019) Urban Tree Species Classification Using a WorldView-2/3 and LiDAR Data Fusion Approach and Deep Learning. *Sensors* 2019, 19, 1284.
- Hofmann, P.; Strobl, J.; Nazarkulova, A. (2011). Mapping Green Spaces in Bishkek—How Reliable can Spatial Analysis Be? *Remote Sens.* 2011, 3, 1088–1103.
- IPCC (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report* at I.I. Intergovernmental Panel on Climate Change

ITT Visual Information Solutions, (2008). Envi Feature Extraction Module, User's Guide. [http://www.harrisgeospatial.com/portals/0/pdfs/envi/feature\\_extraction\\_module.pdf](http://www.harrisgeospatial.com/portals/0/pdfs/envi/feature_extraction_module.pdf)

Jiang, Zhangyan & Huete, Alfredo & Chen, Jin & Chen, Yun & Li, Jing & Yan, Guangjian & Zou, Yun. (2006). Analysis of NDVI and scaled difference vegetation index retrievals of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment*. 101. 366-378. 10.1016/j.rse.2006.01.003.

Kappelle, M., Castro, M., Acevedo H., González L., Monge H. (2003). Ecosistemas del Área de Conservación Osa. Ecosistemas de Costa Rica: Serie Técnica No. 1. Santo Domingo de Heredia, C.R. Editorial INBio.

Lhomme, S., Serre, D., Diab, Y., and Laganier, R. (2013). *Urban technical networks Resilience assessment*. In: 2013, p. 109–117. *Scopus*.

Matikainen, L.; Karila, K. (2011). Segment-Based Land Cover Mapping of a Suburban Area—Comparison of High-Resolution Remotely Sensed Datasets Using Classification Trees and Test Field Points. *Remote Sens*. 2011, 3, 1777-1804.

Meerow, S., Newell, J. P., and Stults, M. (2016). Defining urban resilience: A review. *Landscape and Urban Planning*, 147, p. 38–49. [Online]. Available at: doi:10.1016/j.landurbplan.2015.11.011

Moskal, L.M.; Styers, D.M.; Halabisky, M. (2011). Monitoring Urban Tree Cover Using Object-Based Image Analysis and Public Domain Remotely Sensed Data. *Remote Sens*. 2011, 3, 2243-2262.

NOAA. (2009). Global Climate Change Impacts in the United States 101, available at <http://downloads.globalchange.gov/usimpacts/pdfs/climate-impacts-report.pdf>. Thomas R.Karl, Jerry M. Melillo & Thomas C. Peterson eds.

Pickett, S. T.A., Cadenasso, M. L., and McGrath, B. (eds.). (2013). *Resilience in Ecology and Urban Design*, Future City. Dordrecht: Springer Netherlands. [Online]. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/978-94-007-5341-9> [Accessed 4 January 2016].

Rouse, D. C. (2013). *Green infrastructure: a landscape approach*. Chicago, IL: American Planning Association.

Rosenzweig C., W. Solecki, P. Romero-Lankao, S. Mehrotra, S. Dhakal, T. Bowman, and S. Ali Ibrahim. (2015). *ARC3.2 Summary for City Leaders*. Urban Climate Change Research Network. Columbia University. New York.

Sandstrom, U. G. (2002). Green Infrastructure Planning in Urban Sweden. *Planning Practice and Research*, 17(4), p. 373–385. [Online]. Available at: doi:10.1080/02697450216356 [Accessed 13 February 2014].

Serial, R., Czibener, D., & Nabel, P. (2009). Teledetección y redes neuronales aplicadas al mapeo de coberturas del suelo de la cuenca del Matanza-Riachuelo, Buenos Aires, Argentina. *Revista Geográfica*, (146), 125-152. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/40996845>

Tzoulas, K., Korpela, K., Venn, S., Yli-Pelkonen, V., Kaźmierczak, A., Niemela, J., and James, P. (2007). Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review. *Landscape and Urban Planning*, 81 (3), p. 167–178.

Voskamp, I. M. and Van de Ven, F. H. M. (2015). Planning support system for climate adaptation: Composing effective sets of blue-green measures to reduce urban vulnerability to extreme weather events. *Building and Environment*, 83, p. 159–167. [Online]. Available at: doi:10.1016/j.buildenv.2014.07.018.

VSG.2017. Planning a Green-Blue City. A how-to guide for planning urban greening and enhanced stormwater management in Victoria. Department of Environment, Land, Water and Planning. Victoria State Government. Australia.

WMO. (2014). Towards Integrated Urban Weather, Environment and Climate Services. World Meteorological Organization. Bulletin n°. Vol 63 (1) - 2014.

Zha, Y.; Gao, Y. y Ni, S., (2003). "Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery". *International Journal of Remote Sensing*, 24, pp. 583–594.

# Anexos

## ANEXO I. Costa Rica: Población total proyectada al 30 de junio según cantón y distrito de La Unión, Provincia de Cartago, 2011-2025.

Distrito/ Año	La Unión	Tres Ríos	San Diego	San Juan	San Rafael	Concepción	Dulce Nombre	San Ramón	Río Azul
2011	101.195	9.187	22.143	14.042	14.313	16.833	7.970	4.091	12.616
2012	102.532	9.220	22.463	14.230	14.501	17.072	8.090	4.133	12.823
2013	103.865	9.247	22.785	14.410	14.690	17.312	8.212	4.173	13.036
2014	105.194	9.276	23.102	14.594	14.877	17.550	8.333	4.218	13.244
2015	106.490	9.303	23.416	14.771	15.060	17.783	8.452	4.257	13.448
2016	107.755	9.314	23.716	14.926	15.249	18.014	8.578	4.299	13.659
2017	108.990	9.322	24.008	15.078	15.432	18.232	8.705	4.343	13.870
2018	110.194	9.324	24.297	15.225	15.613	18.452	8.826	4.382	14.075
2019	111.369	9.331	24.576	15.366	15.787	18.667	8.947	4.420	14.275
2020	112.508	9.328	24.845	15.506	15.962	18.873	9.063	4.460	14.471
2021	113.582	9.316	25.104	15.634	16.121	19.068	9.178	4.493	14.668
2022	114.615	9.298	25.354	15.752	16.277	19.259	9.289	4.526	14.860
2023	115.619	9.273	25.595	15.863	16.433	19.447	9.404	4.557	15.047
2024	116.577	9.248	25.830	15.976	16.576	19.624	9.507	4.583	15.233
2025	117.505	9.221	26.055	16.079	16.718	19.796	9.611	4.615	15.410

Fuente: INEC, 2011.

## ANEXO 2. Índice de Diferencia Normalizada Edificada (NDBI) del cantón de La Unión, 2019.

Distrito	Mínimo	Máximo	Rango	Promedio
San Juan	-0,43	0,33	0,76	-0,04
Tres Ríos	-0,49	0,37	0,86	-0,05
Concepción	-0,49	0,34	0,82	-0,10
Río Azul	-0,47	0,29	0,76	-0,15
San Ramón	-0,48	0,22	0,70	-0,16
San Diego	-0,52	0,34	0,86	-0,17
San Rafael	-0,51	0,31	0,82	-0,18
Dulce Nombre	-0,50	0,34	0,84	-0,20

Fuente: Elaboración propia.



## ANEXO 3. Metodología para la elaboración del mapa de infraestructura verde del cantón de La Unión, Provincia de Cartago, 2020.

### Adquisición de imagen de satélite de base

Para la realización de este trabajo se utilizó una imagen de satélite del sensor WorldView 3<sup>41</sup> (Cuadro 1). La imagen usada cuenta con cuatro bandas espectrales, tres en el espectro visible y una en el infrarrojo cercano, además de banda pancromática a 0.3 metros de resolución. El uso de imágenes de alta resolución para la generación de mapas de cobertura arbórea en ciudades es ampliamente difundido (Moskal et al. 2011; Matikainen et al. 2011; Hoffman et al. 2011; y Harling et al., 2019).

**Cuadro 1. Características básicas del sensor WorldView 3.**

Sensor	Bandas	Resolución
WorldView-3	Pancromática: 450 - 800 nm	Pancromática: 0.31m Multiespectral: 1.24 m
Fecha adquisición:	Multiespectral:	
Octubre 2018	Blue: 445 – 517 nm	
	Green: 507 – 586 nm	
	Red: 626 – 696 nm	
	Near infrared 1: 780 – 920 nm	

### Pre-procesamiento de la imagen

Con el fin de asegurar la rigurosidad en el flujo de trabajo se llevaron a cabo 2 procesos de corrección sobre la imagen cruda adquirida, los cuales fueron a su haber: la corrección atmosférica y la corrección topográfica (orto-rectificación), de acuerdo con lo recomendado por Harley et al (2019).

### Corrección atmosférica

La corrección atmosférica de la imagen se realizó usando el módulo FLAASH del programa ENVI 5.5. Según Harris (2018), el análisis atmosférico de línea de vista rápida de hipercubos espectrales (FLAASH por sus siglas en inglés) es un algoritmo que permite, entre otras cosas:

<sup>41</sup> <http://worldview3.digitalglobe.com/>

- Corrección del efecto de adyacencia (mezclado de pixeles debido a la dispersión de radiación reflejada de la superficie).
- Cálculo de la visibilidad media de la escena (considerando la cantidad de neblina y aerosoles presentes). FLAASH utiliza técnicas avanzadas para el manejo especial de condiciones atmosféricas variadas, tales como la presencia de nubes.

FLAASH comienza el proceso a partir de la aplicación de la ecuación estándar para la radiancia espectral de los pixeles ( $L$ ). La ecuación es la siguiente:

$$L = \left( \frac{A\rho}{1 - \rho_e S} \right) + \left( \frac{B\rho_e}{1 - \rho_e S} \right) + L_a \quad (1)$$

Dónde:

$\rho$ : es la reflectancia de la superficie de los pixeles

$\rho_e$ : es el promedio de la reflectancia de la superficie de los pixeles en un determinado vecindario

$S$ : es el albedo esférico de la atmosfera

$L_a$ : es la radiancia dispersada de vuelta por la atmosfera

$A$  y  $B$  son coeficientes que dependen de las condiciones atmosféricas y geométricas, pero no la superficie terrestre

Adicionalmente, FLAASH incorpora el modelo MODTRAN (transmisión atmosférica de moderada resolución, por sus siglas en inglés) con el fin de eliminar los efectos de la absorción y dispersión debidos a las moléculas y partículas atmosféricas en suspensión.

Los valores de  $A$ ,  $B$ ,  $S$  y  $L_a$  son altamente dependientes de la cantidad de vapor de agua presente en la escena, pero por lo general estos valores no son bien conocidos y pueden variar a través de la imagen. La remoción del vapor de agua se puede realizar a partir de la selección de modelos atmosféricos añadidos por defecto a la herramienta.

Una vez que la remoción del vapor de agua ha sido ejecutada, se aplica una nueva ecuación usando los valores promedio de la imagen de radiancia generada por la ecuación 1.

$$L_e \approx \left( \frac{(A + B)\rho_e}{1 - \rho_e S} \right) + L_a \quad (2)$$

En donde:

$L_e$ : Son los valores promedio de radiancia de la imagen

$\rho_e$ : Son los valores promedio de reflectancia de la imagen

## Corrección topográfica

Una imagen ortorectificada (u ortofoto) es aquella en la que cada píxel representa una ubicación real del terreno y en donde todas las distorsiones geométricas del terreno y de los sensores han sido eliminadas con una precisión especificada.

La ortorectificación transforma la perspectiva central de una fotografía aérea o una imagen derivada de un satélite en una vista ortogonal del terreno, lo que elimina los efectos de la inclinación del sensor y el relieve del terreno. La escala es constante en toda la ortofoto, independientemente de la elevación, lo que proporciona mediciones precisas de la distancia y la dirección. (Harris, 2019).

El proceso de ortorectificación se llevó a cabo usando el módulo *RPC Orthorectification*. Este se basa en el uso de coeficientes polinómicos racionales los cuales son un tipo de transformación matemática que define la relación entre las coordenadas de la imagen y las coordenadas del terreno. Otro insumo adicional es el modelo de elevación digital; para este caso se construyó uno a partir de las curvas de nivel 1:25000 del proyecto Terra (1998). Dicho modelo tiene una resolución espacial de 5 metros.

## Procesamiento de la imagen

La fase de la clasificación de la imagen propiamente dicha se realizó en 2 etapas, en la primera se definió la leyenda temática y en la segunda se aplicaron las herramientas de clasificación para la extracción de la trama verde.

## Definición de la leyenda temática

La leyenda temática del mapa de infraestructura verde se construyó en función de dos aspectos claves, los objetivos del trabajo y resolución espacial de la imagen de base, es decir, que tan fino se puede hilar en cuando a detectar elementos en el paisaje, a continuación, se presenta la lista de las clases temáticas propuestas para el producto.

- Bosques y arbolados periurbanos
- Bosques y arbolados en la ribera de los ríos
- Espacios verdes menores a 500 m cuadrados (predominancia de gramíneas)
- Cultivos anuales
- Campos deportivos y recreativos
- Infraestructura azul
- Arbolados dispersos
- Terrenos baldíos (matorrales)
- Superficie no pavimentada
- Superficie pavimentada
- Arbolados a lo largo de la vía férrea
- Arbolados a lo largo de autopistas
- Pastos cultivados
- Cultivos perennes
- Cafetales arbolados
- Cercas vivas

## Clasificación de la imagen

El proceso de clasificación de la escena de satélite para la extracción de la infraestructura verde se llevó a cabo en 2 etapas usando el programa ENVI 5.5 (Harris Geospatial, 2019). La primera parte consistió en el *Análisis de Imágenes Orientada a Objetos (OBIA)* y la segunda mediante la aplicación de un algoritmo de *Redes Neuronales (Neural Net)*, el cual tiene la habilidad de resolver problemas de clasificación y reconocimiento de patrones debido a su capacidad de adquirir conocimiento a través de aprendizaje autónomo. Este algoritmo está compuesto por neuronas que son las unidades básicas de procesamiento las cuales se conectan entre sí (Serial, 2009).

El OBIA (*Object-Based Image Analysis*) es una técnica utilizada para analizar imágenes digitales que ha sido desarrollada como un enfoque diferente en comparación a los métodos tradicionales basados en el análisis de los píxeles de la imagen. Mientras que los análisis basados en píxeles se centran en la información de cada pixel, el OBIA se concentra en la información de un grupo similar de píxeles llamados objetos de imagen. De manera más específica, los *objetos de imagen* son grupos de píxeles que son similares entre ellos enfocándose en la medida de sus propiedades espectrales; tales como color, tamaño, forma y textura, así como en el contexto de los píxeles vecinos que los rodean (ITT, 2008).

## Insumos para la clasificación

Para el desarrollo de esta fase se usó parte de la metodología de segmentación de imágenes descrita por Harley et al., (2019). En primera instancia se creó un grupo de cuatro índices espectrales como complemento de la clasificación (Cuadro 2).

**Cuadro 2. Índices de vegetación utilizados para clasificar la cobertura de la tierra en el cantón de La Unión.**

Nombre del índice de vegetación	Acrónimo	Fórmula
Índice de vegetación de diferencia verde normalizada	GNDVI	$(\text{Nir1}-\text{Green})/(\text{Nir1}+\text{Green})$
Índice de vegetación de diferencia normalizada	NDVI	$(\text{Nir1}-\text{Red})/(\text{Nir1}+\text{Red})$
Índice de vegetación ajustado al suelo	SAVI	$(\text{Nir1}-\text{Red})/(\text{Nir1}+\text{Red})*(1+L)$
Índice de vegetación de diferencia normalizada – Cociente verde/rojo	NDVI-GR	$\text{Nir1}-(\text{Green}+\text{Red})/\text{Nir1}+(\text{Green}+\text{Red})$

Posteriormente se realizó el proceso de segmentación usando la imagen multiespectral y el conjunto de índices de vegetación creados en el paso previo. Para este fin se utilizó el módulo *Example Based Feature Extraction Workflow (Envi 5.5)*, procedimiento que requiere el ajuste de dos parámetros básicos: el filtro *Edge*, que regula la detección de bordes dentro de la escena, y la función *Full Lambda Schedule*, que controla la agregación de los segmentos creados, es decir, regula el tamaño, forma y variedad de los objetos de salida. Para este ejercicio los parámetros utilizados fueron *Edge= 5* y *Full Lambda Schedule= 50*.

Adicionalmente a los parámetros de agregación y borde, se usó un conjunto de características espectrales, texturales y de forma, asociadas a los objetos en la imagen. La interacción de estos parámetros con el resto de la información espectral y textura es la que permitió la extracción de los polígonos de entrenamiento, los cuales fueron etiquetados de acuerdo con la leyenda temática definida previamente. Posteriormente, estos datos usaron usados como entrenamiento del algoritmo de redes neuronales del cual se obtuvo el mapa final de la trama verde.

Finalmente, usando el conjunto de firmas espectrales y la imagen corregida geométrica y atmosféricamente se procedió a la aplicación del algoritmo de clasificación de redes neuronales, usando los valores por defecto que trae cada uno de los parámetros de dicha herramienta (Figura 1).

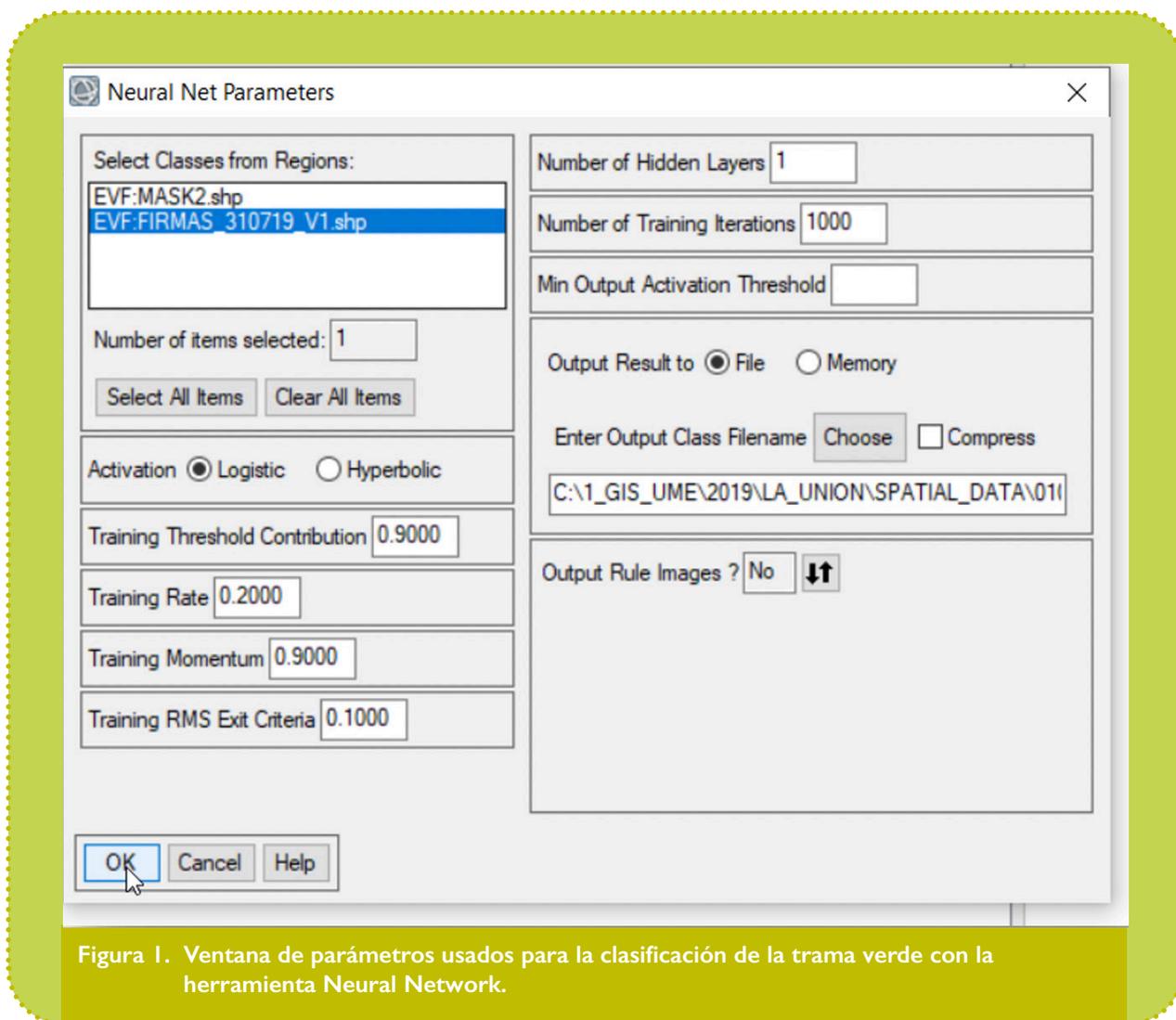


Figura 1. Ventana de parámetros usados para la clasificación de la trama verde con la herramienta Neural Network.

