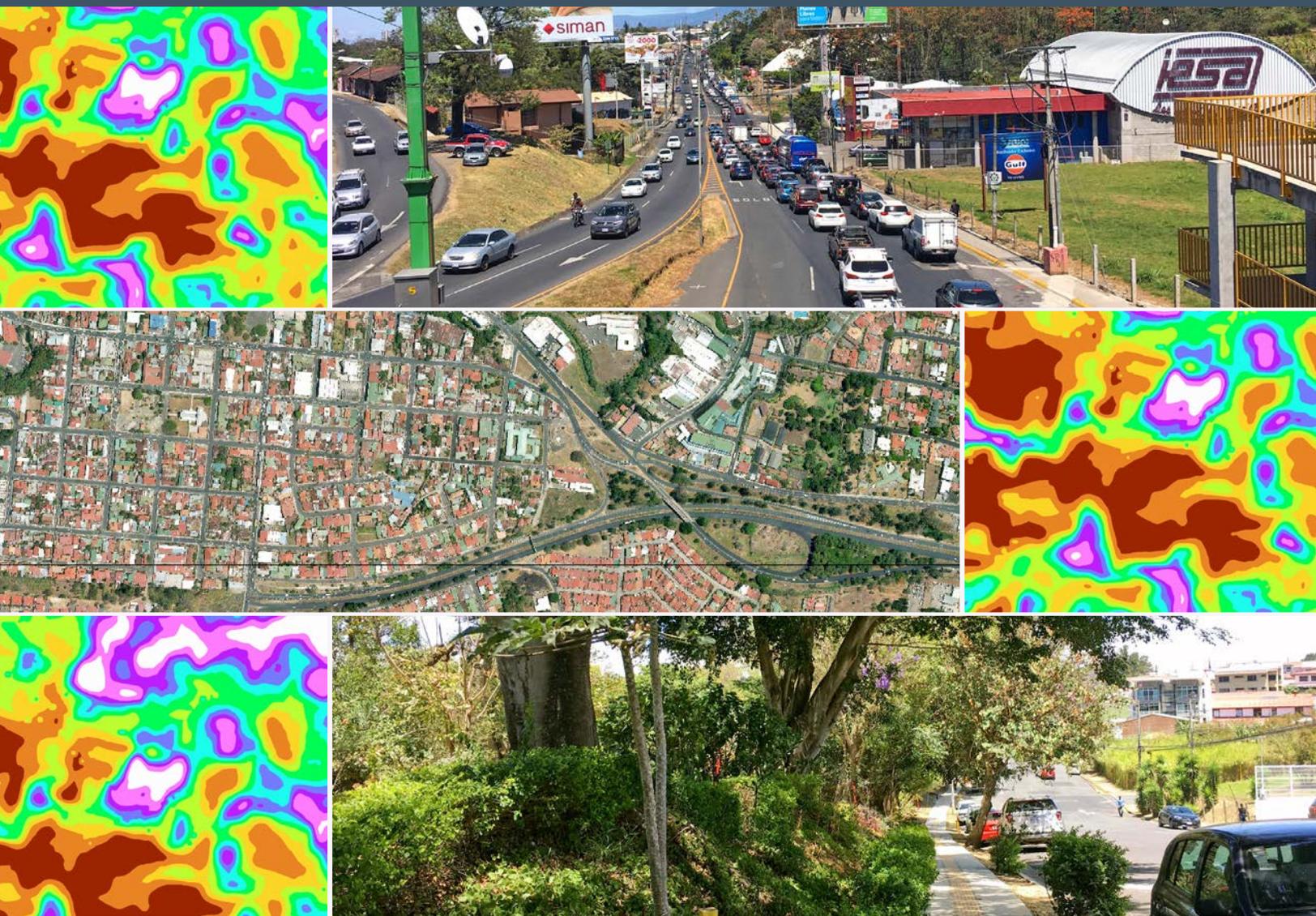


Islas de calor, impactos y respuestas: El caso del cantón de Curridabat



Curridabat
CIUDAD DULCE



Solutions for environment and development
Soluciones para el ambiente y desarrollo

Créditos

Publicado por:

Municipalidad de Curridabat

Elaboración técnica:

Mtro. Lenin Corrales

Msc. Christian Brenes

Unidad de Modelado Ecosistémico

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)

Fotografías:

Lenin Corrales

Jimena González (Página 11)

Revisión técnica:

Alejandro Muñoz

Irene García

Municipalidad de Curridabat

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

Citar como:

Municipalidad de Curridabat .2019. Islas de calor, impactos y respuestas: El caso del cantón de Curridabat. Curridabat-Costa Rica

Esta investigación fue desarrollada por la Unidad de Modelado Ecosistémico del Programa de Bosques, Biodiversidad y Cambio Climático del CATIE a partir del análisis de datos de sensores remotos y de las bases de datos facilitadas por el Centro de Inteligencia Territorial de la Municipalidad de Curridabat a través de la Gerencia de Despacho. 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 para mitigación y adaptación a la variabilidad y el cambio climático.





Índice

Resumen	4
Introducción	5
Curridabat bajo escenarios futuros de cambio climático	7
Islas de calor en Curridabat	11
Los efectos en la salud y el calentamiento de la ciudad	15
Adultos mayores y los trabajadores de ambientes externos	16
Los niños y las niñas	18
Centros de salud	21
Enfermedades infecciosas sensibles al clima	22
Poblaciones vulnerables y desarrollo social	24
La vegetación limita los efectos del calentamiento de la ciudad	25
Respuestas al calentamiento	30
Referencias consultadas	35



Resumen

Las islas de calor o islas térmicas se refieren al patrón térmico que se encuentra en sitios altamente urbanizados en el centro o en la periferia de las ciudades. Son generadas por la pérdida de cobertura vegetal la cual es substituida por superficies impermeables como las carreteras de asfalto, edificios de concreto, ladrillo y otros materiales de construcción, dando como resultado el cambio en el balance hídrico y radiativo superficial, generando, por lo tanto, aumentos en la temperatura de las áreas urbanizadas. La identificación de estas islas térmicas permite desarrollar medidas de adaptación en sitios puntuales de la ciudad.

Con el objetivo de conocer el comportamiento de las islas de calor en el Cantón de Curridabat se realizó un análisis de las temperaturas de los últimos cuatro años obtenidas de imágenes satelitales LandSat 8. Los resultados obtenidos reflejan un patrón de calentamiento diferenciado dependiendo del nivel de urbanización y la presencia de vegetación. Así mismo, se señala la relación de estas islas de calor con diferentes grupos vulnerables de la población y la necesidad de tomar medidas considerando la situación actual y futura con los cambios probables del clima.

Análisis relacionados con la vegetación remanente en el cantón muestran la importancia de tomar acciones sobre parches de bosques en propiedades privadas y la atención al espacio verde público por habitante que muestra una situación de desigualdad dependiendo del distrito en que se ubique.

Finalmente se propone la necesidad de desarrollar una definición para bosque urbano, y de acciones para atender principalmente todo lo relacionado a la adaptación al cambio climático basada en ecosistemas en la ciudad.



Introducción

Los cambios en el clima registrados durante las últimas décadas y los cambios previstos hacia el futuro representan un tema crucial para todas las comunidades, debido a que sus impactos pueden influir en la salud, la economía y los ecosistemas. Cada una de las últimas tres décadas ha sido sucesivamente más cálida en la superficie de la Tierra que cualquier década anterior desde 1850, y un aumento en los eventos extremos de temperatura (días calurosos, noches tropicales, olas de calor) se han registrado desde 1950¹.

La señal de aumento de temperatura es evidente a diferentes escalas espaciales: global, regional y local, incluso si la magnitud es diferente y se está constituyendo en un nuevo desafío para la resiliencia en las ciudades ya que estas se están convirtiendo en puntos calientes conocidos. Se ha observado que el efecto de calentamiento que se sufre en ellas eleva la temperatura de las ciudades en 1 a 3 °C en comparación con las zonas periurbanas y rurales, esto debido a la presencia de asfalto, concreto, piedra, acero y otras superficies impermeables que absorben el calor e interrumpen el efecto de enfriamiento natural provisto por la vegetación remanente².

1 IPCC, 2013

2 Bounoua, L. et al, 2015

Las ciudades son lugares en los que los riesgos asociados con un calentamiento de 1.5 ° C, como el estrés por calor, las inundaciones terrestres y costeras, los nuevos vectores de enfermedades, la contaminación del aire y la escasez de agua, se unirán en el futuro³. Pero si miramos el presente observamos que la expansión de las áreas urbanizadas ha causado cambios en el balance de calor de las zonas densamente pobladas, en muchos casos, tanto la temperatura del aire, así como la temperatura de la tierra en los centros urbanos es más alta respecto a las zonas rurales circundantes, a este fenómeno se le conoce como *islas de calor o islas térmicas*⁴.

Los efectos de las islas de calor han sido estudiados desde los años 80, como en el caso de Brasil y China, en donde se ha demostrado que la existencia de las mismas intensifica el efecto de las olas de calor en el verano, lo que expone a las poblaciones locales a condiciones térmicas extremas⁵. La identificación de estas islas térmicas permite desarrollar medidas de adaptación en sitios puntuales de la ciudad⁶, así mismo, se ha encontrado que la extensión de las islas de calor está altamente correlacionada a factores económicos, vinculados con la pobreza, alta concentración demográfica y de zonas industriales⁷.

La formación de las islas de calor se puede atribuir a 3 factores principalmente; a) los efectos de la transformación de la energía en las ciudades; b) el decrecimiento de la evapotranspiración; c) la producción de energía antropogénica⁸. Adicionalmente, las islas de calor se pueden clasificar en tres tipos: a) isla de calor de dosel; b) isla de calor de borde; c) e isla de calor de superficie⁹.

El Cantón de Curridabat se encuentra al este del Gran Área Metropolitana de Costa Rica. Con una extensión de 16,4 km² y una población aproximada de 77.000 habitantes, constituye un clásico ejemplo de densificación urbana de una ciudad en Centroamérica donde la cobertura de vegetación natural se ha venido perdiendo paulatinamente.

El presente reporte recoge la distribución de la temperatura superficial de la tierra en el Cantón de Curridabat en un período de 34 meses (2016-2018) a partir de imágenes del sensor LandSat 8 con el objetivo de identificar y analizar los gradientes de calor urbano en el Cantón con la finalidad de priorizar acciones en la planificación territorial y proponer medidas de adaptación y mitigación basadas en ecosistemas.

3 Dodman et al., 2017a; Satterthwaite y Bartlett, 2017

4 Betchel et al, 2012

5 Ogashawara et al, 2012

6 Córdova-Sáez 2010

7 Ogashawara et al, 2012

8 Roth et al, 1989

9 La isla de calor de dosel y la isla de calor de borde se refieren a un calentamiento de la atmósfera urbana; la última se refiere al calor relativo de las superficies urbanas. La capa de dosel urbana (CDU) es la capa de aire de las ciudades que está más cercana a la superficie, la cual se extiende hacia arriba aproximadamente hasta la altura media de las edificaciones. Por encima de la capa de dosel urbana se encuentra la capa de perímetro urbana la cual puede ser de 1 kilómetro (km) o más de espesor durante el día, y encogerse a cientos de metros o menos durante la noche. La ICCP es la que forma una cúpula de aire más caliente que se extiende en dirección del viento más allá de la ciudad. Los tipos de isla de calor varían en cuanto a su forma espacial (forma), características temporales (relacionado con el tiempo), y algunos de los procesos físicos subyacentes que contribuyen a su desarrollo. Los científicos miden las temperaturas del aire para la ICCD y la ICCP directamente usando termómetros, mientras que la ICS es medida con sensores remotos instalados sobre satélites o aviones.



Curridabat bajo escenarios futuros de cambio climático

Datos disponibles de los últimos 55 años (1960-2015) muestran una tendencia de calentamiento en varias zonas del país, aunque se señala que el período analizado es muy corto en términos de conocer cuáles son las verdaderas causas de ese calentamiento. Los registros obtenidos para la ciudad de San José muestran que se ha calentado significativamente entre 1960 y el 2015 con una tendencia de calentamiento de $0,09\text{ }^{\circ}\text{C}$ por década¹⁰, lo que sugiere que el cantón de Curridabat ha seguido la misma tendencia. De acuerdo a las investigaciones este aumento de temperatura podría deberse por ejemplo a la urbanización que provoca islas de calor, aunque también son consistentes con las causas ligadas al aumento en la concentración de gases de efecto invernadero.

En otras simulaciones futuras adaptadas al escenario climático RCP 4.5¹¹ y tomando en cuenta un período comprendido entre 1960 y 2050 muestran que en Centroamérica en 2021-2050 se proyecta con un calentamiento medio de aproximadamente 1 a 1.5 grados Celsius, una reducción de la precipitación para la temporada de lluvias, así como el fortalecimiento de la sequía de mediados de verano y una intensificación de las temperaturas extremas¹².

¹⁰ <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2017/09/12/san-jose-se-ha-calentado-en-los-ultimos-50-anos.html>

¹¹ Escenario de calentamiento global del Quinto Informe del Panel Intergubernamental de Cambio Climático catalogado como de estabilización al 2100 donde el calentamiento que se alcanza es de 4.5 W/m^2 con un horizonte de emisiones de dióxido de carbono de 538 ppm.

¹² Imbach et al.2018

Temperatura ambiental

La figura 1 muestra la trayectoria de la temperatura ambiental del Cantón de Curridabat para el período histórico (1979-1999) y bajo escenarios de calentamiento global (RCP4.5) al año 2050¹³. Con base a las trayectorias mostradas se espera un incremento promedio de temperatura hasta de 4.3 °C al año 2050 tomando como base el período 1979-1999 para el Municipio, no obstante, si se observan a nivel de temperaturas mínimas y máximas se obtiene que las variaciones podrían estar en rango de los 4.4 °C en la temperatura mínima y de 5.5 °C en las temperaturas máximas tomando como referencia el mismo período de tiempo.

Precipitación

Tomando como base la precipitación acumulada promedio del Cantón de Curridabat (Figura 2) para el período histórico (1979-1999) y bajo escenarios de calentamiento global (RCP4.5) al año 2050¹⁴ ésta no muestran tendencias de incremento o disminución importantes, no obstante, en la figura se muestra la variabilidad natural. Estos resultados sugieren que aún no disponemos de información concluyente sobre la trayectoria que llevarían las precipitaciones y como impactaría al cantón de Curridabat, sin embargo, se deben tomar medidas de adaptación que conduzcan a una mayor preparación para los cambios que vendrán en el futuro ya que como se observó en el caso del aumento de la temperatura (Figura 1) estas provocarán cambios a nivel local impactando potencialmente el clima a nivel muy local.

Días de calor mortal

El calentamiento de las ciudades y la probable aparición de olas de calor en las ciudades Centroamericanas en un futuro cercano, según el último informe sobre cambio climático¹⁵, sugiere poner atención al tema. Las olas de calor representan en la actualidad una preocupación considerable para la vida humana ya que cuando estas se producen se puede llegar a condiciones donde se excede la capacidad del cuerpo para expulsar el calor, pudiendo amenazarse la vida mediante el proceso de la hipertermia. Numerosos casos como la ola de calor europea de 2003 -cuando 70,000 personas murieron en una ola de calor de dos semanas- o la ola de calor de Moscú de 2010 -cuando 10,000 personas murieron en una ola de calor de dos meses-, son algunos ejemplos asombrosos del riesgo a la vida que representan las olas de calor.

Un artículo publicado a mediados del 2017 evaluó las condiciones climáticas en 164 ciudades alrededor del mundo. La investigación estimó el umbral común de temperatura y humedad más allá del cual las condiciones se tornan mortales. A partir de eso, los investigadores observaron el número de días en un año en que las condiciones de temperatura y de humedad superaban ese umbral, según los escenarios de cambio climático.

¹³ Hidalgo et al. 2017

¹⁴ Hidalgo et al. 2017

¹⁵ IPCC, 2013

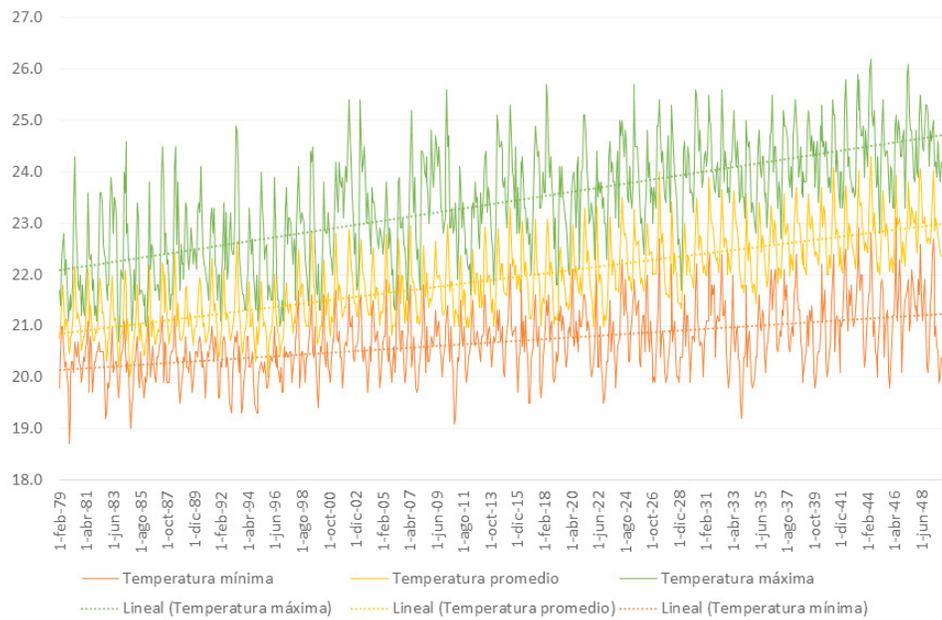


Figura 1. Temperatura del Cantón de Curridabat para el período histórico (1979-1999) y bajo escenarios de calentamiento global (RCP4.5) al año 2050¹⁶

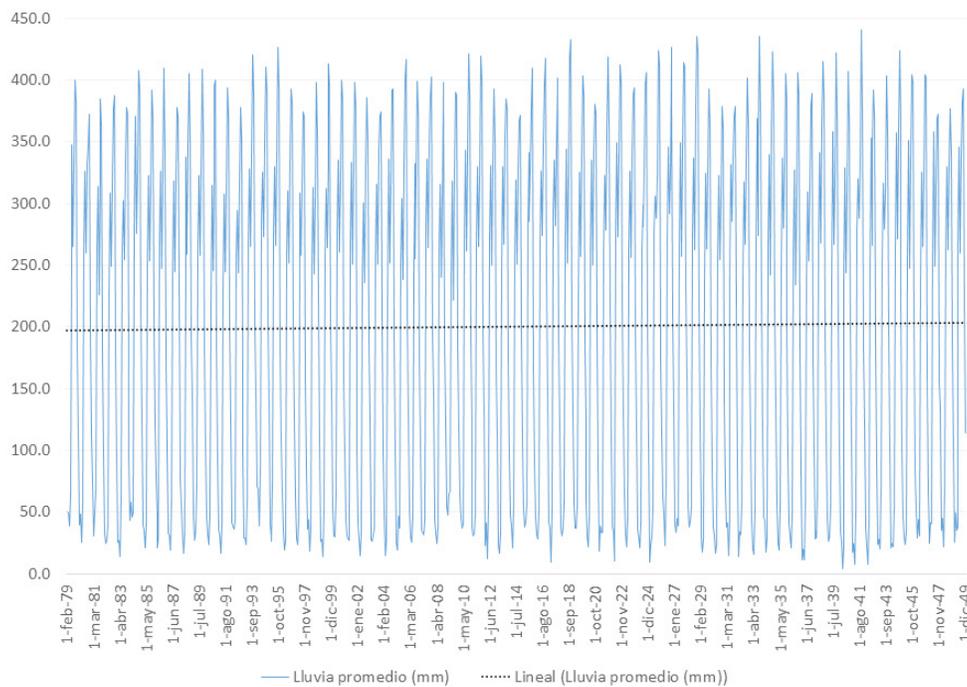


Figura 2. Precipitación acumulada del Cantón de Curridabat para el período histórico (1979-1999) y bajo escenarios de calentamiento global (RCP4.5) al año 2050¹⁷.

16 Hidalgo et al. 2017

17 Hidalgo et al. 2017

Aplicando los escenarios anteriores a Curridabat se obtiene que al año 2050 podrían alcanzarse 136 días de calor mortal en Curridabat bajo un escenario RCP45 (es decir, un escenario en el que el mundo logre alcanzar una reducción de gases de efecto invernadero antes de 2050). En una situación más crítica bajo un escenario RCP85 (en el que los seres humanos continuaremos con altas emisiones de gases de efecto invernadero) los valores podrían llegar a 208 días de calor mortal en Curridabat (Figura 3).

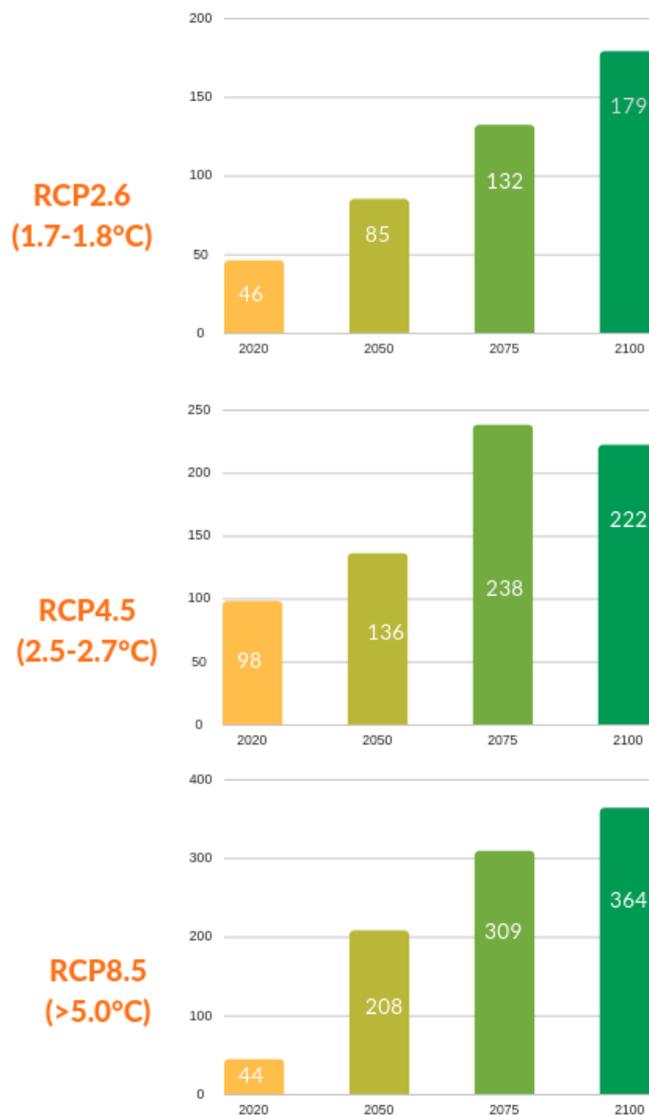


Figura 3. Días de calor mortal en el Cantón de Curridabat para el período (2000-2100) y bajo escenarios de calentamiento global¹⁸.

¹⁸ Mora et al. 2017



Islas de calor en Curridabat

La temperatura superficial es de vital importancia en los estudios de climatología urbana, ya que esta condiciona y modula la temperatura del aire en las capas más bajas de la atmósfera urbana, además, que ayuda a entender las condiciones bioclimáticas en el interior de los edificios, y, también, los intercambios térmicos con el entorno, que afectan al confort de los habitantes de la ciudad¹⁹. Esta temperatura superficial de la tierra se considera un “proxy” para la temperatura del aire en la ciudad (valores altos usualmente corresponden a valores altos de temperatura del aire en la ciudad).

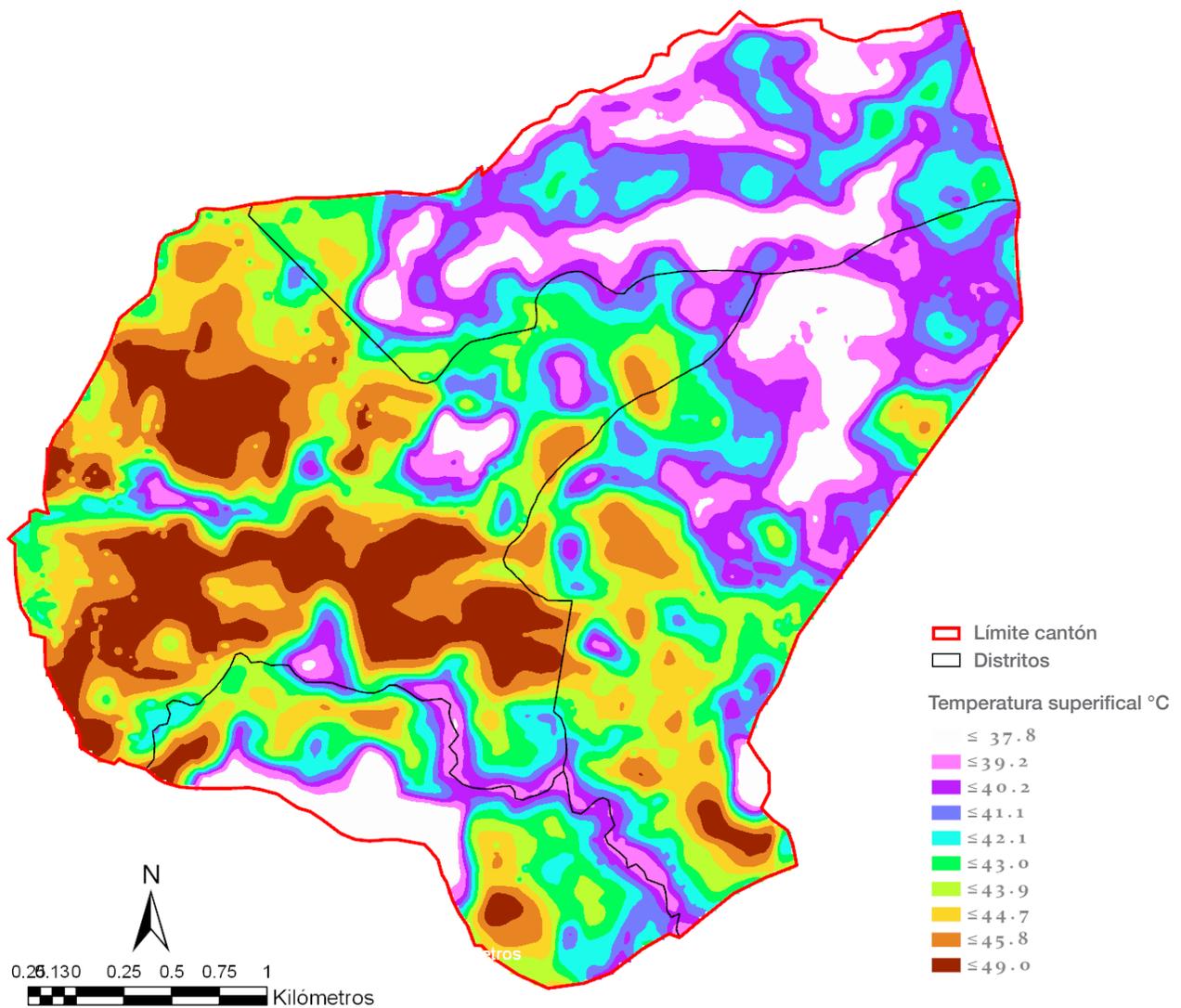
Para obtener la temperatura superficial de Curridabat se utilizó la herramienta Climate Engine²⁰, la cual utiliza un producto derivado del sensor Landsat 8 denominado *Temperatura Superficial de la Tierra*²¹. Dicho producto es una capa en formato raster con una resolución espacial de 30 metros, en donde el valor de cada pixel es un dato de temperatura del terreno, permitiendo así conocer su distribución espacial y, estimar la Isla de Calor Urbana de superficie (ICU). La información analizada correspondió a las temperaturas máximas en un periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 31 de octubre de 2018 (34 meses). El resultado es una capa con el promedio de las temperaturas superficiales máximas.

¹⁹ Espinoza y Martín, 2014

²⁰ <https://app.climateengine.org/>

²¹ <https://landsat.usgs.gov/sites/default/files/documents/LSDS-1330-lst-product-guide.pdf>

La estadística descriptiva de los datos muestra que la temperatura máxima superficial promedio de es 41.0 grados Celsius, con una mínima de 31.9 y una máxima de 49.2 grados Celsius. Espacialmente, se observa un gradiente de temperatura que corre de norte a sur, en donde las temperaturas más bajas se presentan hacia el centro-norte del cantón (Distrito Curridabat) y la extremas hacia el sur (Distrito Tirrases y parte sur del distrito Sánchez), esta distribución está altamente correlacionada con la densidad de construcción (zonas más calientes) y temperaturas más bajas en los sectores del cantón con menor densidad de urbanización (Distrito Granadilla y Norte de distrito Sánchez), presencia de zonas verdes, cafetales y franjas de vegetación ribereña.

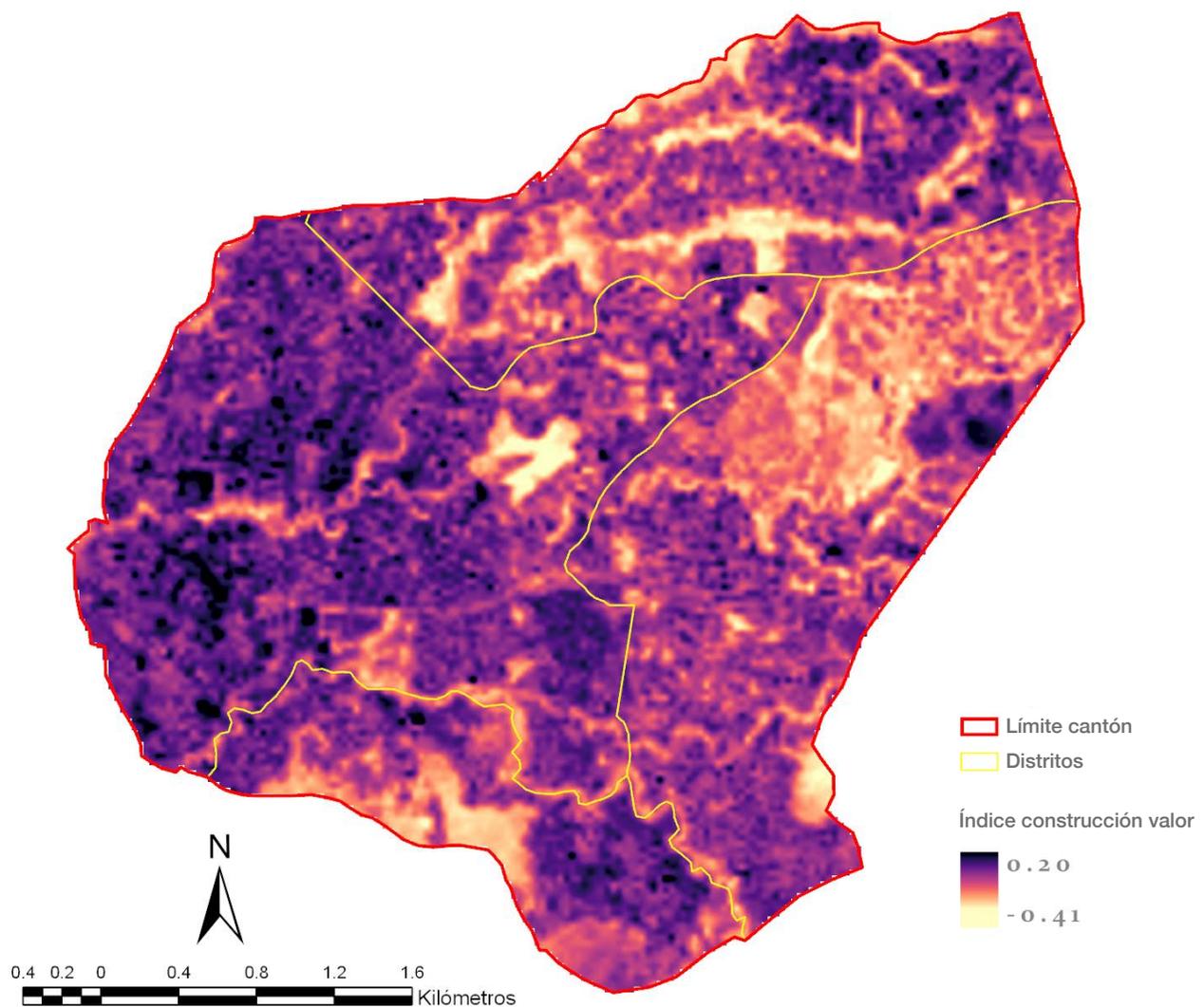


Fuente datos: UME-CATIE

Figura 4. Islas de calor en el cantón de Curridabat, San José.

Para complementar el análisis se derivaron adicionalmente dos índices espectrales; el índice normalizado de construcción y el índice normalizado de vegetación (NDVI) cuyos resultados se muestran en la figura 5 y 6 respectivamente. El Índice normalizado de construcción, es inversamente proporcional al NDVI, valores cercanos a -1 indican área cubiertas de vegetación, y cercanos a 1, zonas densamente cubiertas de construcción.

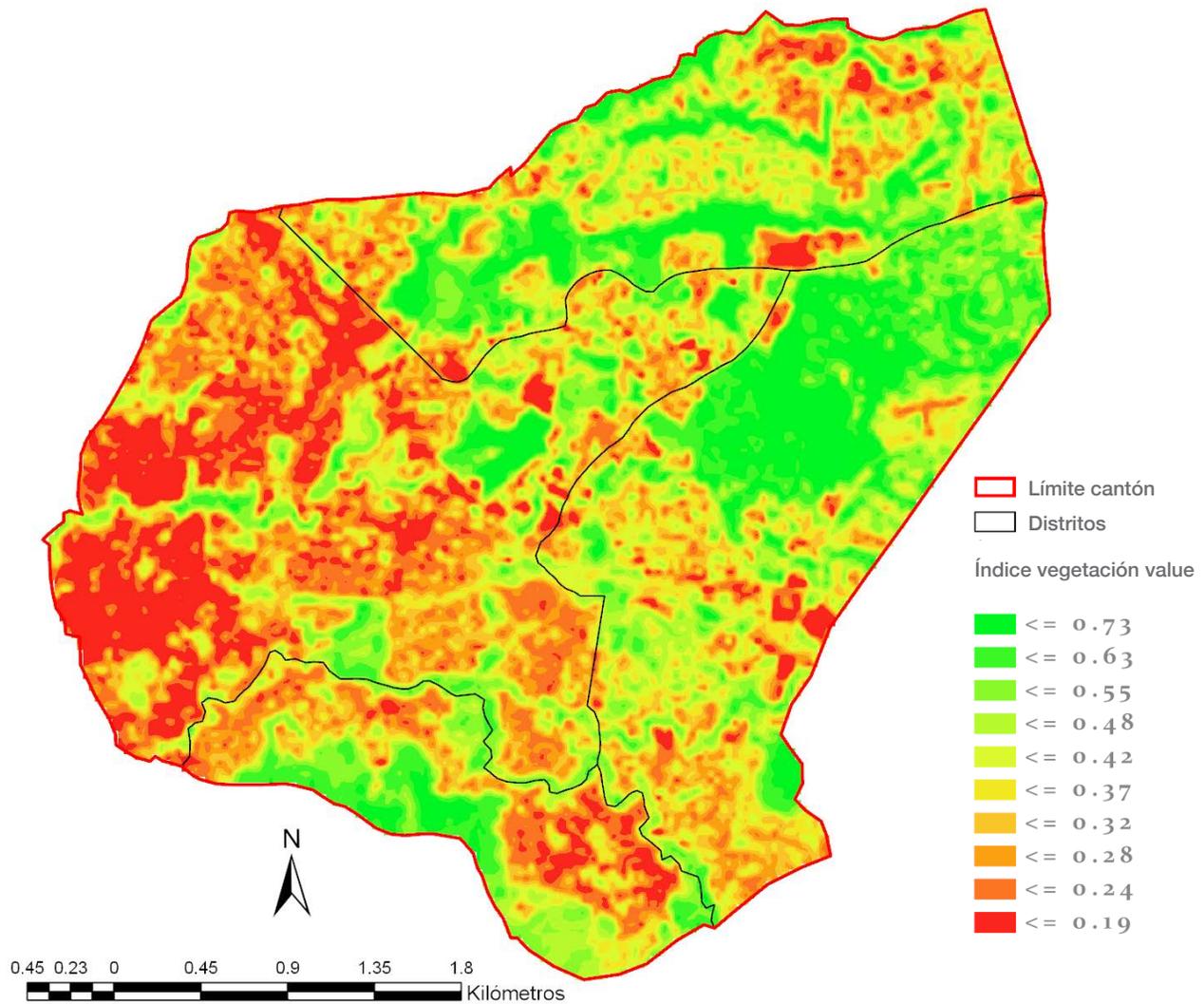
El índice normalizado de construcción (Figura 5), muestra los valores más altos en las áreas más densamente pobladas, mientras los valores bajos se registran en zonas abiertas y con presencia de vegetación. Este comportamiento está altamente correlacionado con el mapa de isla de calor, ya que en las zonas de alta densidad de construcción es precisamente donde se registran las mayores temperaturas.



Fuente datos: UME-CATIE

Figura 5. Índice Normalizado de Construcción para el cantón Curridabat, San José

En la figura 6, se muestra el índice normalizado de vegetación, su comportamiento es totalmente inverso al índice de construcción, los valores altos indican zonas con cobertura forestal y mucho más importante, están asociados con aquellas localidades en donde la temperatura superficial es mucho menor, en comparación a las áreas urbanizadas.



Fuente datos: UME-CATIE

Figura 6. Índice Normalizado de Vegetación para el cantón de Curridabat, San José



Los efectos en la salud y el calentamiento de la ciudad

Uno de los impactos más probables en el futuro del cambio climático antropogénico lo constituye la posibilidad de un aumento en la mortalidad futura relacionada con el calor principalmente en zonas urbanas²².

Un aumento en los efectos sobre la salud se proyecta a partir de los aumentos en las temperaturas promedio²³ y con ello un incremento en la frecuencia e intensidad de los eventos de olas de calor²⁴. En casi todas las poblaciones donde se ha estudiado mortalidades asociadas a altas temperaturas estas muestran un incremento en los últimos años²⁵.

El aumento de las temperaturas como resultado del cambio climático continuará exponiendo a las poblaciones vulnerables a una morbilidad adicional relacionada con el calor, incluido el estrés por calor, las enfermedades cardiovasculares y las enfermedades renales. Los adultos mayores de 65 años son particularmente vulnerables, al igual que las personas con enfermedades cardiovasculares

²² Smith et al., 2014

²³ Huang et al., 2011

²⁴ IPCC, 2012

²⁵ Curriero et al., 2002; Honda et al., 2007

subyacentes, diabetes y enfermedades respiratorias crónicas, y las que viven en áreas urbanas. En todas las regiones del mundo, la proporción de poblaciones vulnerables a la exposición al calor está aumentando probablemente como resultado de una población más anciana que vive en áreas urbanas²⁶.

La creciente vulnerabilidad a los riesgos del cambio climático relacionados con el calor se refleja en una mayor exposición humana a temperaturas más altas. En 2017, aunque el aumento de la temperatura media global en relación con el período de referencia 1986-2005 fue de 0.3 °C, el aumento de la temperatura de exposición humana (el aumento de la temperatura en las zonas pobladas) fue más del doble (0.8 °C)²⁷.

Un incremento fue observado con picos notables en la exposición a las olas de calor en los años 2010 y 2015. En promedio, cada persona estuvo expuesta a 1-4 días adicionales de ola de calor del año 2000 al 2017 (en comparación con la línea de base 1986-2005). Además, en 2017, se produjeron 157 millones de eventos de exposición adicionales (un evento de exposición fue una ola de calor experimentada por una persona), 18 millones más que en 2016. Este aumento en la exposición de la población a las olas de calor continúa arriesgando directamente la salud de las poblaciones expuestas, pero también de manera indirecta (por ejemplo, a través de la inseguridad alimentaria resultante de la exposición del ganado a las olas de calor)²⁸.

Lo anterior conlleva a poner atención a los impactos del calentamiento global ya que estos están afectando de manera desproporcionada la salud de las poblaciones vulnerables y las personas en los países de ingresos bajos y medios. Al socavar los determinantes sociales y ambientales que sustentan la buena salud, el cambio climático exacerba las desigualdades sociales, económicas y demográficas, con el impacto que eventualmente sentirán todas las poblaciones²⁹.

Los vínculos entre el calentamiento global y la salud pública son cada vez más claros³⁰ por lo que en un cantón como Curridabat se debe empezar a poner atención a los grupos más vulnerables los cuales en el presente informe los constituyen los adultos mayores, los niños y las niñas, las mujeres embarazadas, los trabajadores a cielo abierto y las poblaciones pobres.

Adultos mayores y los trabajadores de ambientes externos

Los efectos del cambio climático en el nivel individual estarán condicionados a factores como el lugar donde viven; su edad, salud, ingresos y ocupación; y cómo se desenvuelven en su día a día. Los adultos mayores son más vulnerables a los impactos en la salud relacionados con el cambio climático por varias razones. Una razón es que los cambios normales en el cuerpo asociados con el envejecimiento, como la pérdida muscular y ósea, pueden limitar la movilidad. Los adultos mayores

26 Watts et-al.2018

27 Watts et-al.2018

28 Watts et-al.2018

29 Watts N., et al. 2018A

30 Watts N., et al. 2018A

también tienen más probabilidades de tener una condición de salud crónica, como la diabetes, que requiere medicamentos para el tratamiento. Algunos adultos mayores, especialmente aquellos con discapacidades, también pueden necesitar asistencia con las actividades diarias³¹.

Como se ha mencionado en párrafos anteriores el cambio climático aumentará los eventos de calor extremo y conducirá a temperaturas más altas durante todo el año. La exposición al calor extremo puede aumentar el riesgo de enfermedad y muerte entre los adultos mayores, especialmente las personas con insuficiencia cardíaca congestiva, diabetes y otras enfermedades crónicas que aumentan la sensibilidad al calor. Las temperaturas más altas también se han relacionado con un aumento en los ingresos hospitalarios para personas mayores con afecciones cardíacas y pulmonares. Los adultos mayores con ingresos limitados tendrán menos acceso a la compra o al pago de recibos de electricidad cuyos objetivos sea operar aparatos como aires acondicionados o ventiladores que les ayude a enfrentar con mayor comodidad el calor³².

A nivel global las evidencias muestran claramente que la exposición a olas de calor son cada vez más frecuentes y que su intensidad está aumentando, con un estimado de 125 millones de adultos mayores vulnerables adicionales expuestos a las olas de calor entre 2000 y 2016³³.

Uno de los primeros pasos para el diseño de medidas de adaptación al cambio climático en el área urbana de Curridabat es el conocer dónde se concentra la mayor cantidad de población adulta mayor. La figura 7 muestra la relación de la población de adultos mayores con el mapa de islas de calor, mostrándose que dicha población en los distritos de Curridabat y Tirrases se encuentran sobre las áreas de mayor calentamiento superficial, el otro grupo importante esta sobre el distrito de Granadilla que presenta temperaturas menores. La distribución observada sugiere la importancia de la priorización a la hora de implementar acciones de adaptación que contribuyan con el enfriamiento de la ciudad a través de acciones de infraestructura verde que serán descritas y propuestas más adelante.

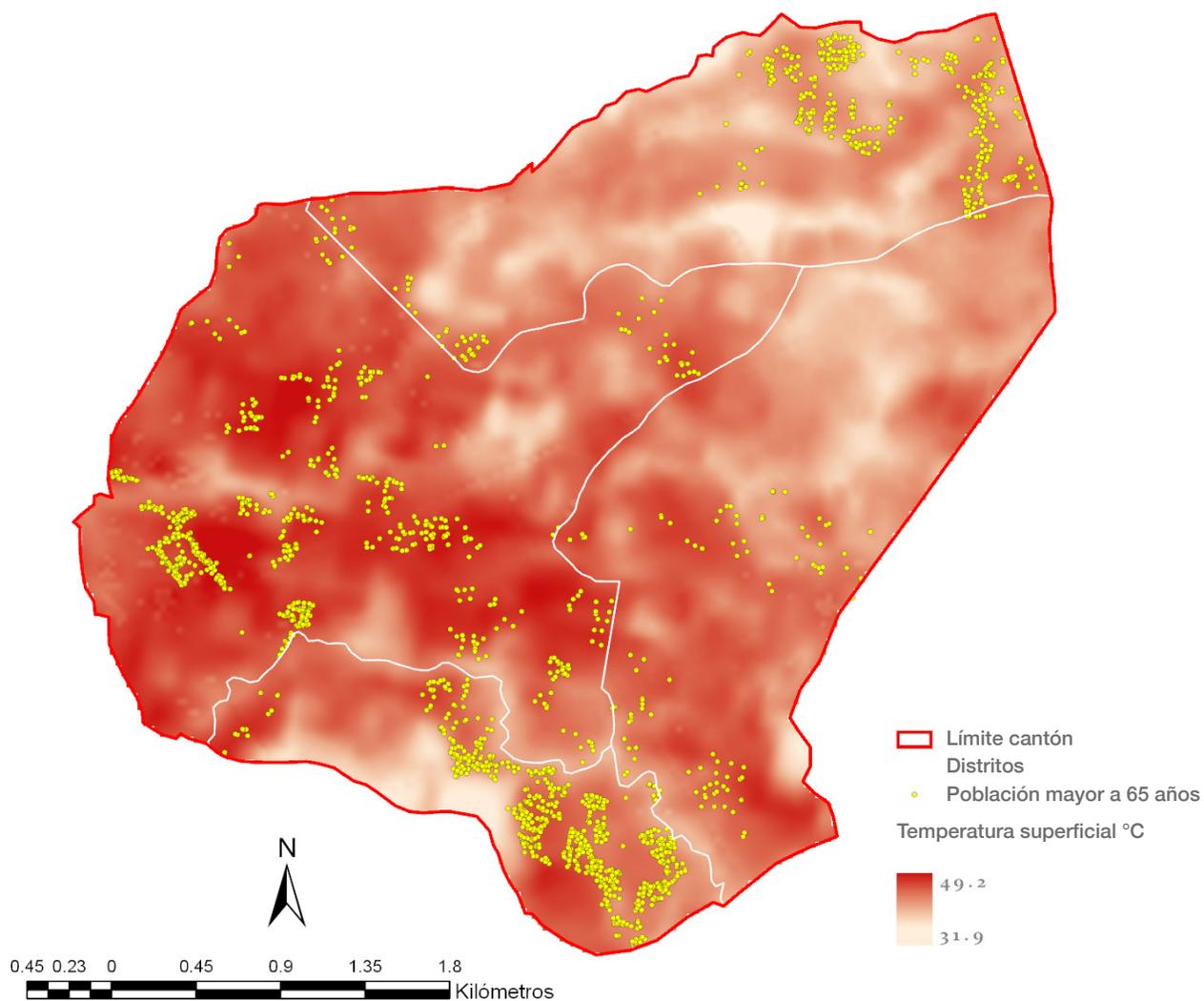
Otro aspecto relevante relacionado con la exposición al calor lo constituyen los empleos que se realizan en ambientes externos. Por ejemplo, a nivel global en 2017, se perdieron 153 mil millones de horas de trabajo (3 a 4 mil millones de semanas de trabajo), un aumento de 62 mil millones de horas en relación con 2000. En particular, el 80% de estas pérdidas correspondieron al sector agrícola. Así el aumento de las temperaturas es un riesgo clave para la salud ocupacional, ya que las temperaturas ambientales superan regularmente los límites de la temperatura fisiológica. En 2017 se estimó que los efectos del aumento de la temperatura ambiente han resultado en una reducción estimada del 5,3% en la productividad de la mano de obra manual en ambientes exteriores³⁴, aspectos que deben ser tomados en cuenta para la planificación del trabajo de los colaboradores de la Municipalidad, así como de otras labores como la construcción.

31 EPA.2016

32 EPA.2016

33 Watts N., et al. 2018A

34 Watts N., et al. 2018A y Watts et-al. 2018



Fuente datos población: UIT-Municipalidad de Curridabat

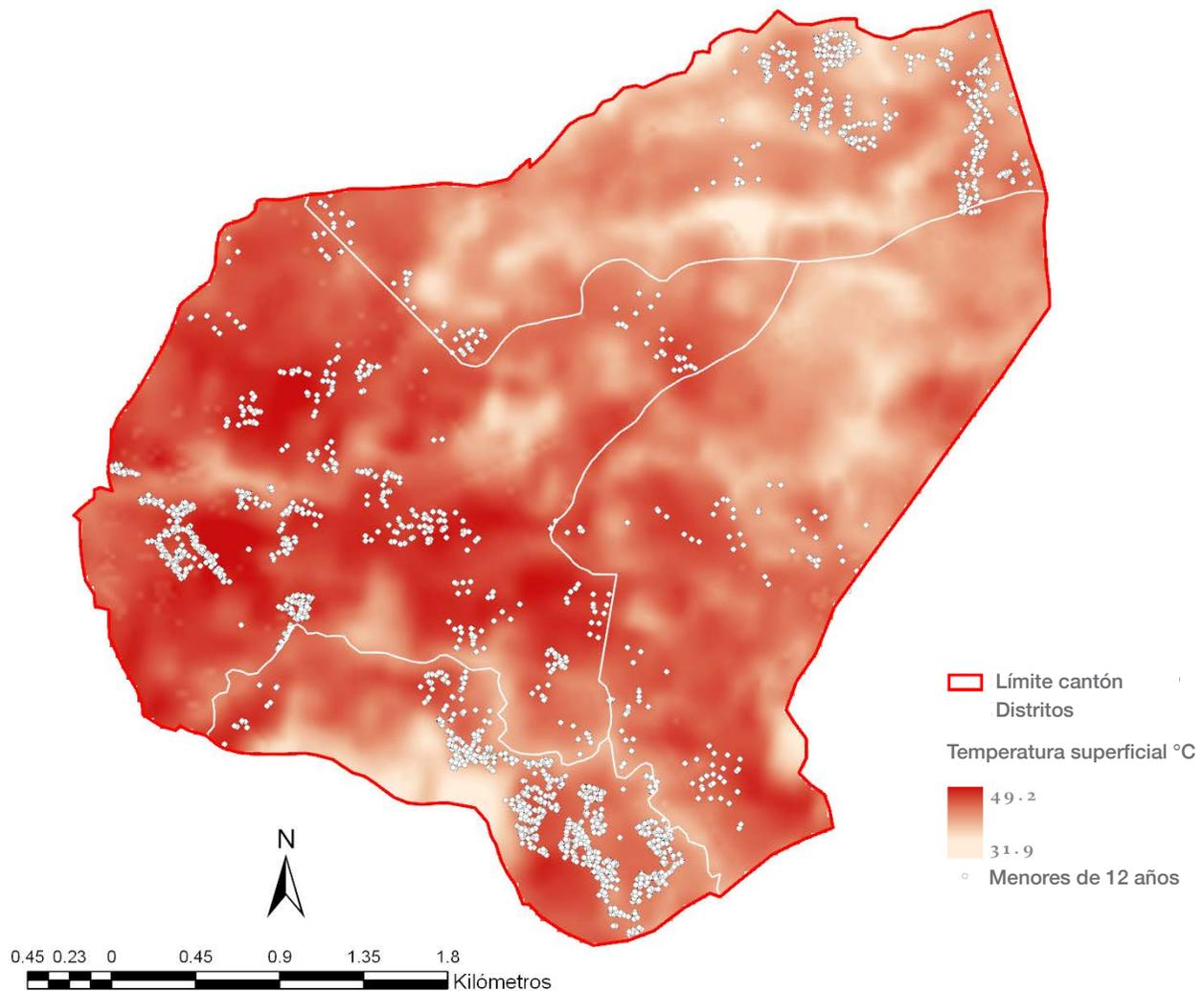
Figura 7. Distribución de la población mayor a 65 años en el cantón de Curridabat, San José y su relación con las Islas de calor

Los niños y las niñas

Las personas experimentan diferentes sensibilidades inherentes a los impactos del cambio climático en diferentes edades y etapas de la vida. Así como lo adultos mayores son sensibles, también lo son los niños y las niñas. Los bebés y niños pequeños son particularmente sensibles a los contaminantes del aire, el calor extremo y la contaminación microbiana del agua, que están todos afectados por el cambio climático. La exposición al ozono en niños pequeños y la exposición a contaminantes del aire y toxinas en el humo de los incendios forestales se asocian con un mayor riesgo de asma y otras enfermedades respiratorias. Los niños pequeños y los bebés son particularmente vulnerables a las

enfermedades relacionadas con el calor y a la muerte, ya que sus cuerpos son menos capaces de adaptarse que los adultos. Los niños menores de cuatro años se ha encontrado que experimentan mayores ingresos hospitalarios por enfermedades respiratorias durante las olas de calor³⁵.

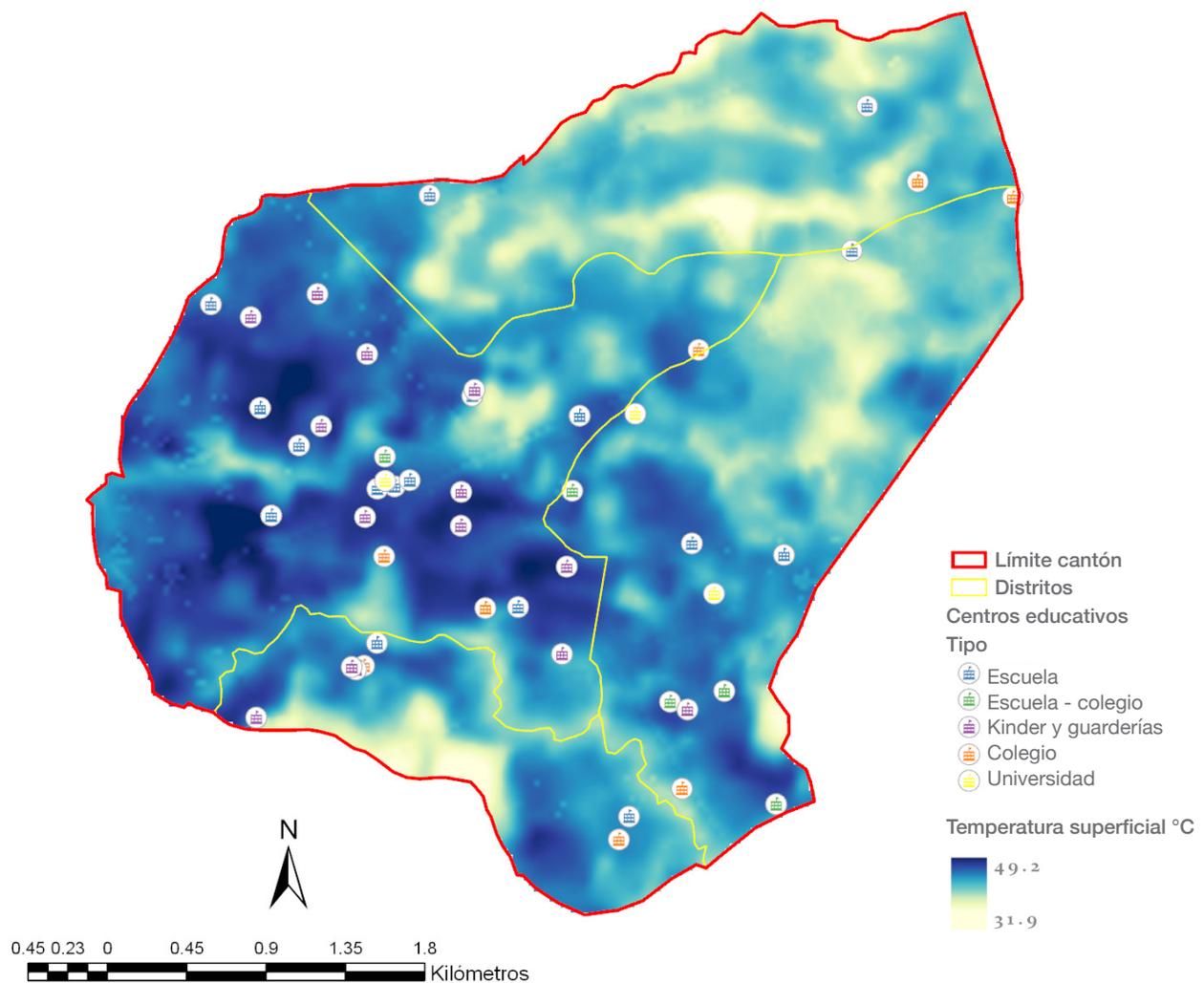
En la figura 8 se muestran las distribuciones de la población de niños y niñas menores a 12 años. Los datos reflejan que el distrito de Tirrases es donde se presenta la mayor concentración de niños y niñas. Es este distrito la densidad de población por km² se duplica en comparación con los otros distritos del Cantón, a lo que se debe sumar el tipo de construcción prevaleciente en muchos casos está produciendo mayores efectos de calentamiento.



Fuente datos población: UIT-Municipalidad de Curridabat

Figura 8. Distribución de niños y niñas menores a 12 años en el cantón de Curridabat, San José y su relación con las Islas de calor (Izquierda: registros presencia, derecha: densidad de niños y niñas)

Otro aspecto relevante lo constituye mirar hacia los centros educativos, los cuales por una norma general se encuentran en los lugares más densamente poblados, y como es lógico, coincidiendo plenamente con las islas de calor (Figura 9). Quizás el problema fundamental no es que estén en esos lugares sino si tiene la infraestructura adaptada al calentamiento actual y futuro. Por ejemplo, llama la atención observar centros educativos sin trama verde dentro del recinto o alrededor del mismo ya que esto tiene dos consecuencias bien marcadas; la primera el hecho de que los estudiantes no tenga contacto con la naturaleza en su proceso de aprendizaje y segundo en un planeta cada vez más cálido se va a requerir la adaptación bioclimática para que en el proceso de aprendizaje se tenga confort climático.



Fuente datos Centros Educativos: UIT-Municipalidad de Curridabat

Figura 9. Centros Educativos en el cantón de Curridabat, San José y su relación con las Islas de calor

La figura 10 muestra la distribución de los Centros Educativos según frecuencia y ámbitos de temperatura superficial, observándose que más de 79% supera valores de los 42°C. Un aspecto a resaltar es que los lugares donde se encuentran los niños más pequeños (Kínder y Guarderías) presentan valores de temperatura superficial que oscilan en un ámbito entre los 41,6 °C y los 46,9 °C.

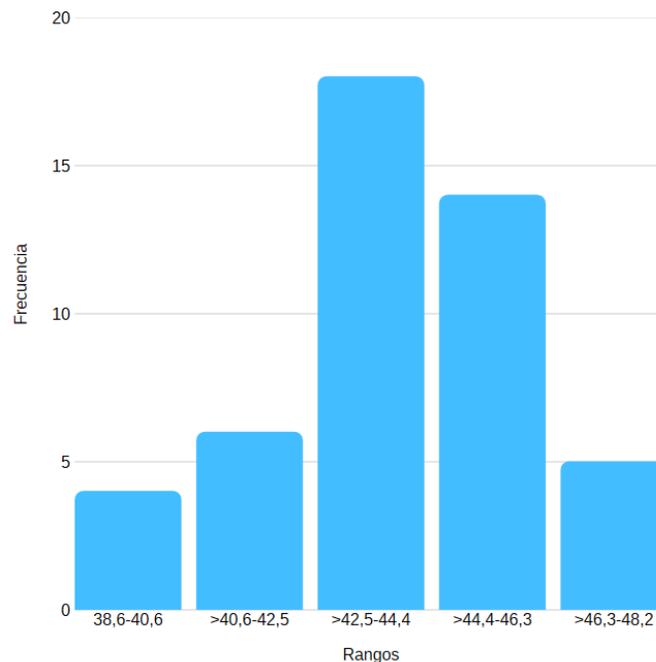


Figura 10. Distribución de los Centros Educativos en el cantón de Curridabat, San José y su relación con las islas de calor según temperaturas superficiales

Centros de salud

Los Centros de Salud están asociados a la atención de un grupo que también es muy vulnerable como lo son las mujeres en estado de embarazo y los bebés³⁶. El calentamiento de la ciudad amplifica los efectos de sequías, falta de lluvia, los niveles de ozono en el suelo y el total de partículas en suspensión, lo que incrementa las enfermedades respiratorias³⁷.

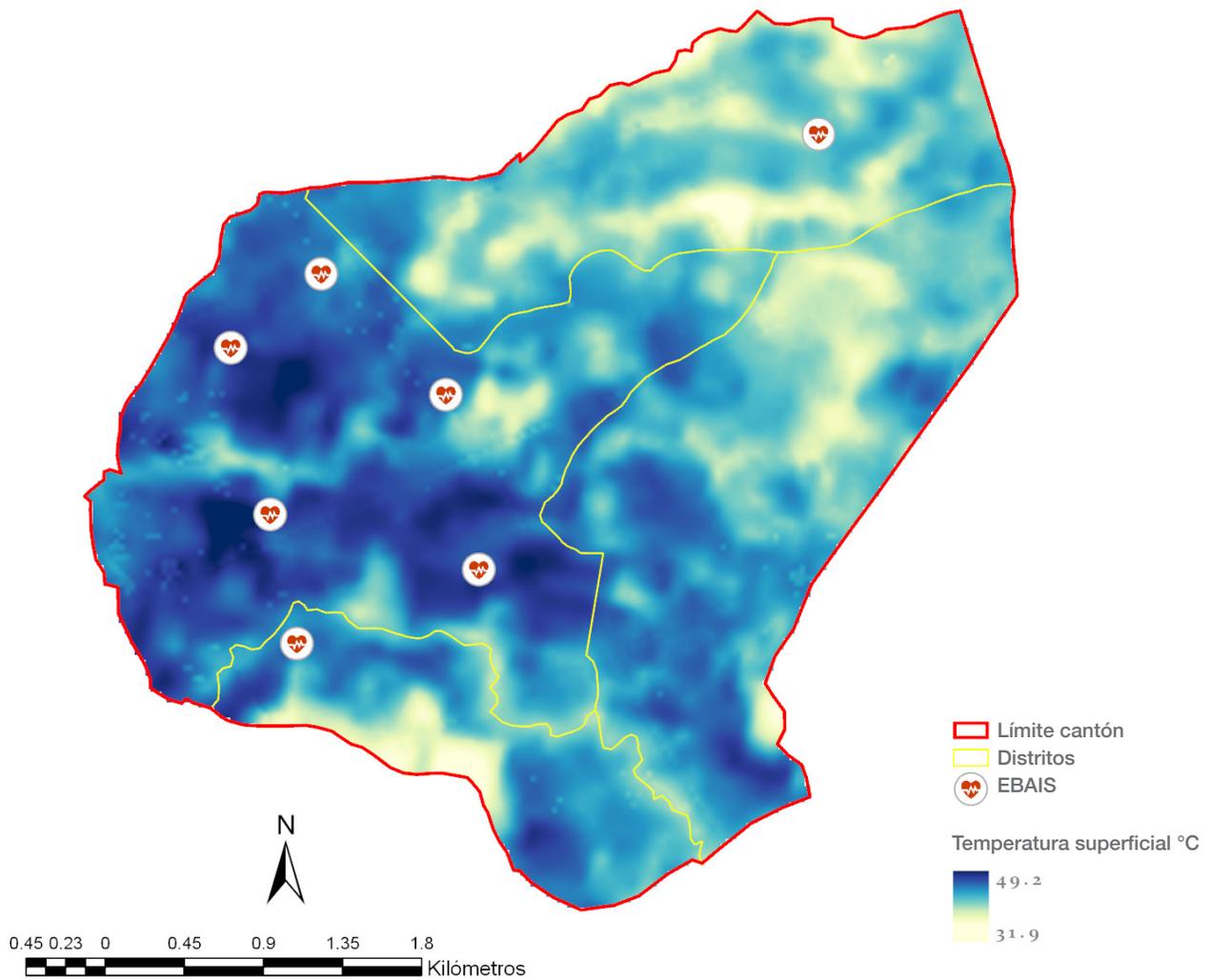
Las exposiciones relacionadas con el clima pueden llevar a resultados adversos en el embarazo y la salud del recién nacido, que incluyen aborto espontáneo, bajo peso al nacer (menos de 5,5 libras), parto prematuro (nacimiento antes de las 37 semanas de embarazo), aumento de la muerte neonatal, deshidratación e insuficiencia renal asociada, desnutrición, diarrea y enfermedades respiratorias³⁸.

³⁶ USGCRP, 2016

³⁷ CEPAL.2017

³⁸ USGCRP, 2016

En la misma línea de los Centros Educativos los EBAIS (Figura 11) se encuentran en los centros más densamente poblados del cantón coincidiendo con las islas de calor de la ciudad lo que plantea nuevamente la necesidad de revisar la infraestructura actual mirando hacia un futuro más cálido.



Fuente datos EBAIS: UIT-Municipalidad de Curridabat

Figura 11. Equipos Básicos de Atención Integral en Salud (EBAIS) en el cantón de Curridabat, San José y su relación con las Islas de calor

Enfermedades infecciosas sensibles al clima

Las condiciones climáticas cambiantes son un determinante clave para la propagación y el impacto de muchas enfermedades infecciosas. El cambio climático está alterando la idoneidad ambiental de los vectores de enfermedades³⁹ tales como el dengue. El dengue que es causado por un flavivirus, es transmitido por mosquitos vectores del género *Aedes* principalmente el *Aedes aegypti* el cual es un eficiente vector epidémico debido principalmente a su alta susceptibilidad a los virus del dengue, su preferencia de alimentarse de los humanos, ser un consumidor diurno, y su capacidad de visitar a varias personas en un período corto⁴⁰.

El clima afecta la transmisión de la fiebre del dengue en áreas tropicales relacionadas con la capacidad vectorial, incluyendo supervivencia, tasa de picaduras y el período de incubación extrínseca. Se ha demostrado que la capacidad vectorial aumenta con temperaturas cálidas de hasta 29°C, mientras que aumenta aún más allá de este límite óptimo de transmisión⁴¹.

El impacto del clima y el cambio climático en la distribución del dengue aún es incierto. Esta incertidumbre se relaciona en parte con las influencias de varios factores co-actuales además de cambio climático, como la urbanización y los movimientos de población⁴².

En 2016, la capacidad vectorial global para la transmisión del virus del dengue fue de las más altas registradas a nivel global, con un aumento de 9,1% por encima de la línea de base de 1950 para *Aedes aegypti* y 11,1% por encima de la base de *Aedes albopictus*. Las proyecciones sugieren que este aumento continuará para ambos vectores al mismo paso que las emisiones de gases de efecto invernadero. Es importante señalar la contribución de la movilidad y la globalización a la expansión del vector del virus del dengue y la carga de la enfermedad del dengue, junto con el impacto del cambio climático⁴³.

La figura 12 muestra los casos de dengue registrados en el cantón de Curridabat entre el 2012 y el 2018 de donde se observa que el mismo ha tenido una tendencia a la baja de manera inversa a lo reportado a nivel global, no obstante, debe mantenerse el monitoreo del mismo en el largo plazo por ser un vector cuya distribución es altamente dependiente del clima.

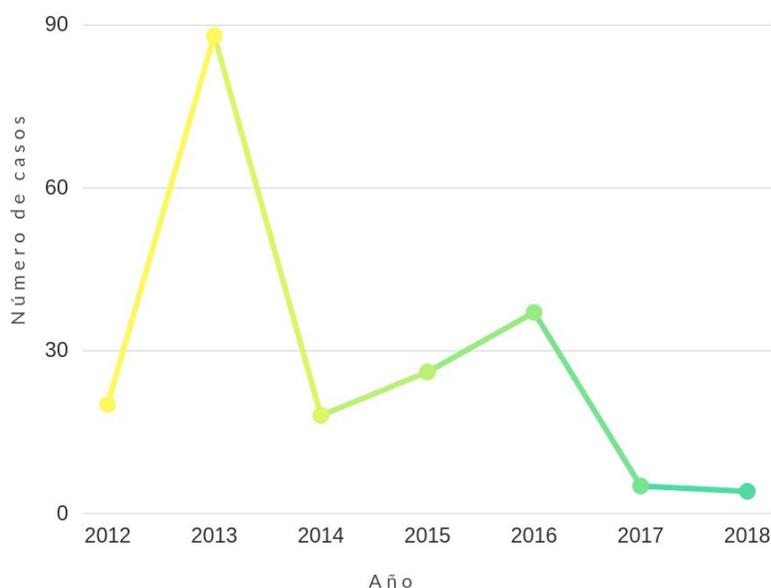
39 Watts et-al. 2018

40 Gibbons y Vaughn, 2002; Gubler, 2002

41 Liu-Helmersson et al., 2014

42 Hales et al., 2002; Wilder-Smith & Gubler, 2008

43 Watts et-al. 2018



Fuente: Vigilancia de la Salud. Ministerio de Salud 2018

Figura 12. Incidencia de dengue en el Cantón de Curridabat 2012-2018

Poblaciones vulnerables y desarrollo social

Se prevé que los efectos del cambio climático impacten de manera más profunda a las poblaciones vulnerables y de escasos recursos. Si utilizamos el índice de desarrollo social como referencia de clasificación de los habitantes de Curridabat, nos encontramos en primera instancia una gran brecha entre los distritos ya que uno de los distritos ocupa el segundo lugar a nivel nacional (Distrito Sánchez) pero otro ocupa el lugar 206 a nivel nacional (Distrito Tirrases) siendo a la vez este el de mayor densidad de población del cantón y el que sostiene el 47,5% de la población total del cantón (Cuadro 1) en el año 2016. Los valores mostrados en el cuadro 1 señalan que uno de los principales retos de la política pública en materia de cambio climático constituye la reducción de brechas y diferencias territoriales, la redistribución del ingreso hacia los sectores sociales y regiones del territorio que tienen menor acceso a los beneficios del desarrollo en comparación con el resto del cantón. A lo anterior también se debe agregar que el Distrito de Tirrases presenta mayores temperaturas superficiales y el menor acceso de la población a espacios públicos verdes de todo el cantón.

Cuadro 1. Índice de Desarrollo Social Distrital 2017 en el Cantón de Curridabat según posición a nivel nacional

Distrito	Población 2016	IDS	Posición Nacional	Nivel desarrollo relativo	Extensión km ²	Densidad hab./km ²
Curridabat	32.413	84,4	37	Mayor	6,5	5.000
Granadilla	17.944	86,4	30	Mayor	3,0	5.262
Sánchez	6.494	99,5	2	Mayor	4,2	1.557
Tirrases	20.177	66,4	206	Menor (nivel medio)	1,9	10.676

Fuente: MIDEPLAN, (2018)



La vegetación limita los efectos del calentamiento de la ciudad

La presencia o escasez de vegetación es un factor esencial en el calentamiento urbano. Las temperaturas asociadas con las islas de calor urbano varían dentro de la ciudad, con temperaturas máximas en el centro de la ciudad, a menudo sin árboles y reduciéndose en los vecindarios ricos en árboles⁴⁴.

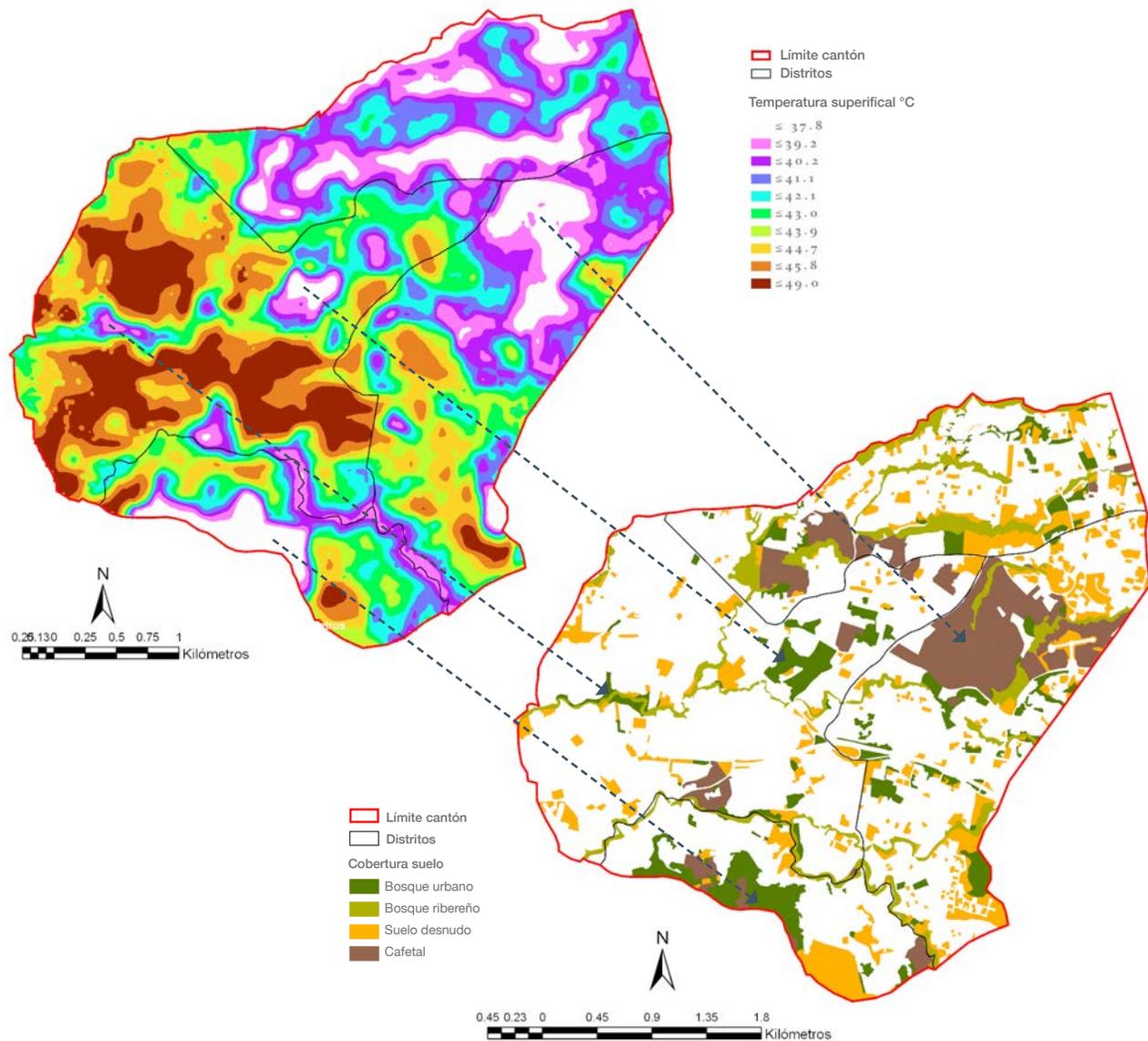
La cantidad y el tipo de vegetación juegan un papel importante en la forma en que la urbanización cambia la temperatura. El efecto de isla de calor urbano ocurre principalmente durante el día, cuando las superficies impermeables urbanas absorben más luz solar que las áreas vegetadas circundantes. Los árboles, los pastos y otra vegetación naturalmente enfrían el aire como un subproducto de la fotosíntesis. Liberan agua a la atmósfera mediante el proceso de evapotranspiración, que enfría la temperatura de la superficie local de la misma manera que el sudor enfría la piel de una persona cuando se evapora⁴⁵. Los árboles con hojas anchas, como los que se encuentran en muchos parches de vegetación en Curridabat tienen más poros para intercambiar agua y por lo tanto tienen más efecto de enfriamiento.

⁴⁴ Bounoua, L. et al, 2015

⁴⁵ Bounoua, L. et al, 2015

A nivel humano, un aumento de 1°C puede aumentar la demanda de energía para el aire acondicionado en el verano de 5 a 20 por ciento en los Estados Unidos, según la Agencia de Protección Ambiental.

El mapa superior (Figura 13) muestra la distribución de la temperatura superficial de Curridabat donde las áreas más rosadas representan las áreas relativamente más frescas y el color marrón las áreas más cálidas. Así mismo en el mapa de la derecha los parches de árboles se muestran en verde oscuro, los árboles en la ribera de los ríos en verde claro y las zonas que aún conservan café con sombra en color naranja siendo estas tres coberturas las que presenta las menores temperatura, mostrando esto la importancia de la vegetación en la ciudad para reducir el efecto de calentamiento.



Fuente: Unidad de modelado Ecosistémico-CATIE

Figura 13. Islas de calor y distribución de la vegetación remanente en el Cantón de Curridabat

La cobertura del uso del suelo excluyendo lo urbanizado del cantón de Curridabat (Figura 14) desarrollada a partir de una ortofoto del año 2017 (escala 1:1000), muestra que aún el 35% del cantón se encuentra sin urbanizar, siendo la cobertura de suelo desnudo la que presenta mayor extensión (186 ha) seguido en segundo lugar de la extensión de cafetal (142 ha), en tercer lugar la cobertura arbórea dentro de la ciudad (121 ha) y en último lugar se ubica la extensión de vegetación riparia (109 ha).

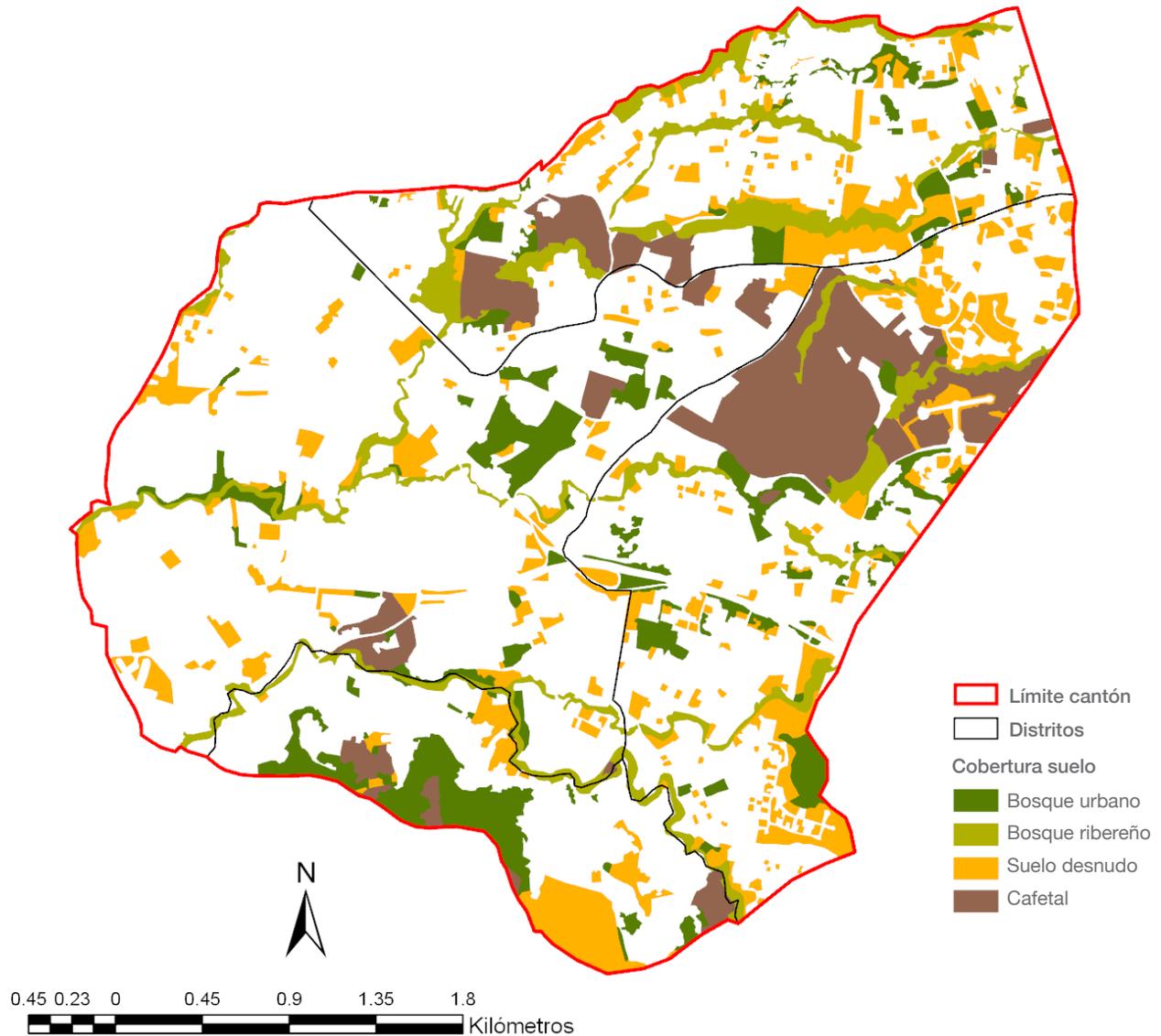


Figura 14. Cobertura de uso del suelo excluyendo lo urbanizado en el Cantón de Curridabat

En relación a la cobertura de cafetales y suelo desnudo por distrito la figura 15 muestra que el distrito de Sánchez presenta la mayor cobertura (151 ha), seguido de Granadilla (49 ha), Curridabat (61 ha) y Tirrasas con la menor área (38 ha). En relación a la cobertura natural remanente representado por la vegetación dentro de la ciudad y bosque ribereño, la figura 16 muestra su distribución a nivel distrital mostrando que el distrito de Sánchez es el que presenta más área y el distrito de Tirrasas la menor área. Sin embargo, es importante mencionar que la cobertura de vegetación de la ciudad (121 has) es mayor al bosque ribereño (109) a nivel de todo el cantón y que está en su conjunto representa el 14% del cantón, aunque bosque ribereño presenta un potencial de recuperación ya que en algunas partes de la ribera de los ríos se ha perdido.

Otro aspecto que requiere análisis como respuesta al impacto del calentamiento de la ciudad lo constituye la presencia de áreas verdes públicas que cumplen varias funciones entre las que se encuentran la provisión de servicios ecosistémicos como el control de la erosión del suelo y la precipitación, la captación y absorción del agua de lluvia, la purificación de la atmósfera a través de la liberación de oxígeno que produce la fotosíntesis de las plantas, absorción de dióxido de carbono, control de olores desagradables y la contaminación de material particulado. Además, regula las temperaturas, disminuyendo los efectos de las islas de calor, a través de la intercepción de los rayos del sol y liberando vapor de agua⁴⁶.

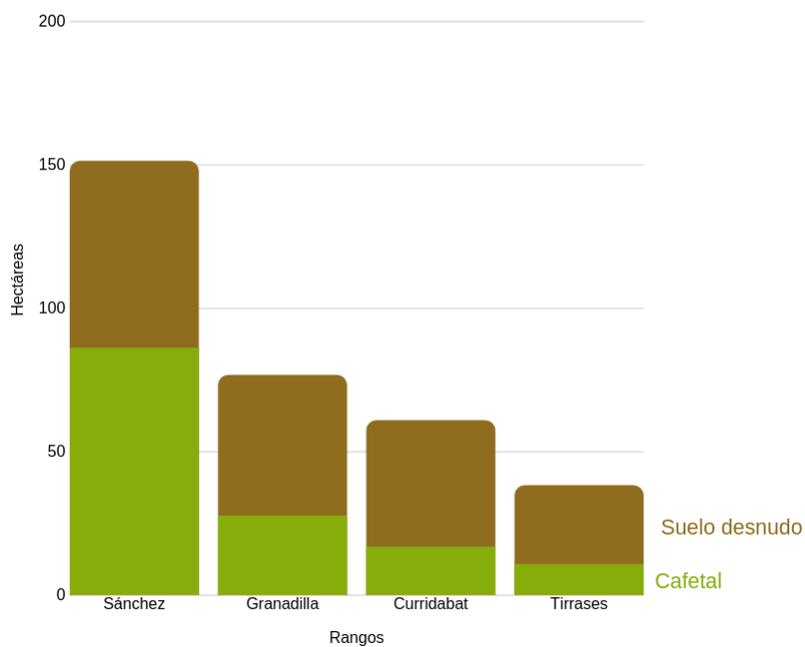


Figura 15. Cobertura de cafetales y suelo desnudo por distrito en el Cantón de Curridabat

46 OPS/OMS.2016

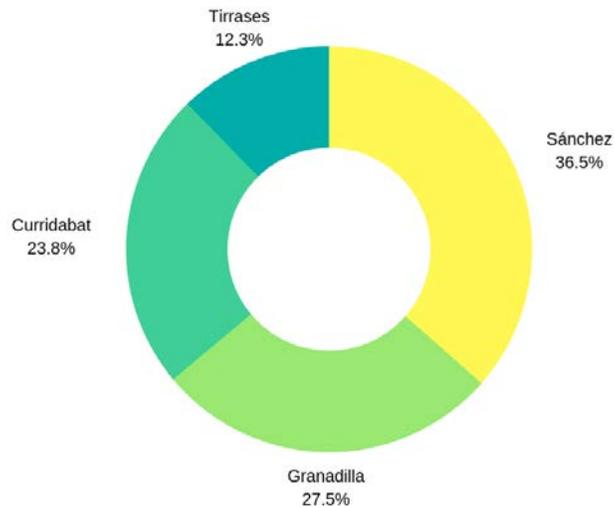


Figura 16. Cobertura remanente de vegetación natural o bosque por distrito en el Cantón de Curridabat

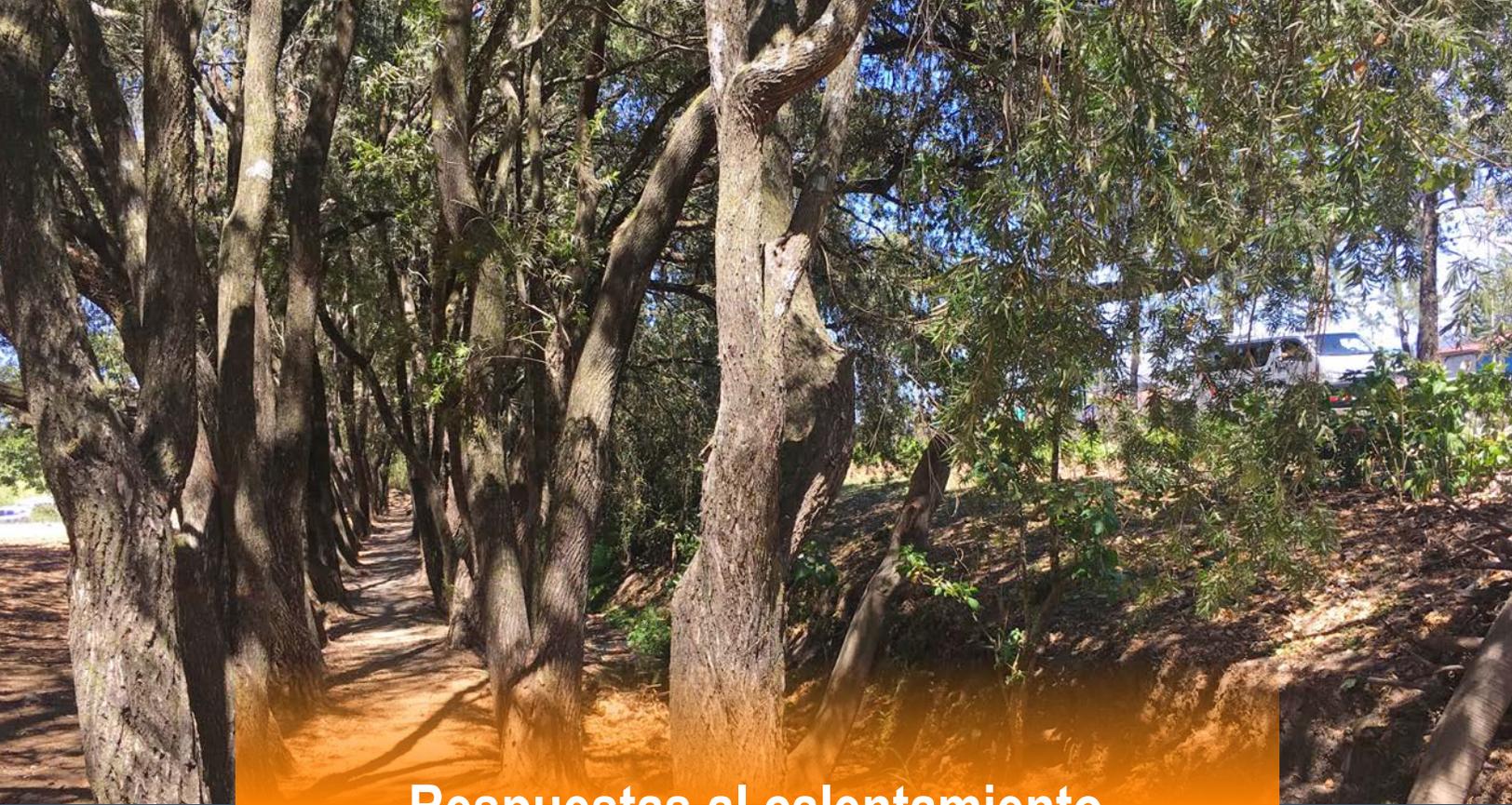
La Organización Mundial de la Salud recomienda para ciudades un mínimo de 9 m² por habitante⁴⁷, en el cantón de Curridabat cada habitante cuenta con 7,7 m² lo que presenta un 85% del mínimo recomendado por la OMS si tomamos en cuenta el valor global por el cantón, no obstante, si desagregamos el espacio verde por la población a nivel de distrito observamos grandes diferencias como se muestra en el cuadro 2, donde un habitante del distrito de Sánchez goza de más de 4 veces el espacio verde público que un habitante del distrito de Tirrases, 3 veces el de un habitante del distrito Curridabat y 2 veces el distrito de Granadilla.

Cuadro 2. Espacio verde por habitante en el Cantón de Curridabat

	Población 2016	Espacio verde público m ²	Espacio verde por habitante m ²
Distrito #1: Curridabat	32.413	216.125	6,7
Distrito #2: Granadilla	17.944	158.526	8,8
Distrito #3: Sánchez	6.494	126.703	19,5
Distrito #4: Tirrases	20.177	91.220	4,5
Cantón Curridabat	77.028	592.574	7,7

Fuente: Elaboración propia (Datos población: INEC.2017; Datos espacio verde público: Municipalidad de Curridabat)

47 OPS/OMS.2016



Respuestas al calentamiento

Partiendo de las condiciones descritas en los párrafos anteriores y considerando que dentro del marco de planificación territorial de la Municipalidad se ha venido implementando una estrategia con una visión de desarrollo multidimensional llamada “Ciudad Dulce” la cual está basada en cinco dimensiones (Biodiversidad, Infraestructura, Hábitat, Convivencia y Productividad), siendo la dimensión de Biodiversidad la base fundamental de donde parten las otras dimensiones, se sugiere que el camino a seguir para enfrentar el calentamiento de la ciudad se haga bajo el concepto de bosque urbano.

Curridabat como ciudad, comparte una estructura que comprende la infraestructura “gris” (edificios, carreteras, etc.), infraestructura “azul” (p.ej. ríos) y la infraestructura verde (p.ej. parques, jardines, etc.) y que con el fin de prepararla para responder a los desafíos del calentamiento global y el cambio climático se hace fundamental optimizar la interacción entre estos tres elementos (gris-azul-verde) a través del desarrollo del bosque urbano.

Un bosque urbano se define como una red o sistemas que comprenden todos los arbolados (rodales), grupos de árboles y árboles individuales ubicados en las áreas urbanas y periurbanas; por tanto, se incluyen bosques, árboles en las calles, árboles en los parques y jardines y árboles en las esquinas de las calles⁴⁸, así, los bosques urbanos (Cuadro 3) son la espina dorsal de la infraestructura verde del área urbana que mejora la huella ambiental de las ciudades y ayuda a la mitigación y la adaptación al cambio climático.

Los bosques urbanos suministran una amplia gama de servicios ecosistémicos que identificados y gestionados pueden ayudar al bienestar humano de los habitantes del Municipio de Curridabat (Cuadro 4). Sin embargo, se deben afrontar muchos desafíos tales como; la mitigación y adaptación al cambio climático, la salud y el bienestar humano, la conservación de la diversidad biológica, la exigencia de empleo y de ingresos económico, la gestión y reducción del riesgo de desastres, la degradación de la tierra y el suelo, la protección de las cuencas hidrográficas, la seguridad alimentaria y nutricional y los valores socioculturales.

Cuadro 3. Principales tipos de bosque urbanos

Bosques y arbolados periurbanos	Los bosques y las masas boscosas que se encuentran en la ciudad o rodean los poblados y ciudades y que pueden suministrar bienes y servicios tales como leña, fibras, frutas, otros productos forestales no madereros (PFNM), agua limpia, recreación y turismo.
Parques municipales y bosques urbanos (> 0,5 ha)	Grandes parques urbanos o municipales con una variedad de cubierta terrestre y, al menos, parcialmente equipados con instalaciones para el tiempo libre y la recreación.
Parques y jardines pequeños con árboles (<0,5 ha)	Pequeños parques municipales equipados con instalaciones para la recreación/tiempo libre y jardines y áreas verdes privados
Árboles en las calles o en las plazas públicas	Poblaciones de árboles lineales, pequeños grupos de árboles y árboles individuales en las plazas, aparcamientos, calles, etc.
Otras áreas verdes con árboles	Por ejemplo, los lotes agrícolas urbanos, campos deportivos, terrenos baldíos, prados, riberas de ríos, campos abiertos, cementerios y jardines botánicos

Fuente: Adaptado de FAO (2016)

48 FAO.2016

Cuadro 4. Beneficios potenciales de los bosques urbanos

Aspectos urbanos	Beneficios potenciales de los bosques urbanos
Seguridad alimentaria	Suministran alimentos, agua limpia y leña
Pobreza urbana	Crean empleos y aumentan los ingresos
Degradación del suelo y del paisaje	Mejoran las condiciones del suelo y previenen la erosión
Reducción de la biodiversidad	Preservan y aumentan la biodiversidad
Contaminación del aire y acústica	Remueven los contaminantes del aire y fungen como barrera acústica
Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)	Secuestran el carbono y mitigan el cambio climático, mejoran el clima local y fomentan la resiliencia
Eventos climáticos extremos	Mitigan el clima local y fomentan la resiliencia
Escasez de energía	Ahorran energía por medio de sombra/enfriado y aumentan la disponibilidad de combustible leñoso
Efecto isla de calor	Refrescan el entorno edificado con la sombra y la evapotranspiración
Acceso limitado a las áreas verdes	Brindan mayor acceso a las áreas naturales y verdes
Salud pública	Mejoran la salud física y mental de los residentes
Inundaciones	Mitigan las escorrentías y atenúan las inundaciones
Oportunidades recreativas limitadas	Suministran oportunidades para la recreación y la educación ambiental
Exposición	Ofrecen refugio
Recursos hídricos limitados	Permiten la infiltración y la reutilización de las aguas residuales
Falta de cohesión comunitaria y social	Ofrecen lugares particulares para la interacción al aire libre formal e informal

Fuente: Adaptado de FAO 2016

A continuación se proponen una serie de acciones clave que pueden ayudar a elevar la contribución del bosque urbano a los desafíos pero sobre todo a la acción climática del cantón.

Tema	Objetivos de Desarrollo Sostenible	Acciones claves
El cambio climático	 	<ul style="list-style-type: none"> • Fomentar la plantación de árboles en los sitios de mayor temperatura de la ciudad • Promover incentivos directos e indirectos para la gestión de los bosques urbanos en propiedades privadas y demás infraestructura verde • Diseño de soluciones basadas en la naturaleza para maximizar el enfriamiento y calentamiento naturales de las edificaciones • Implementación de inventarios de las existencias de carbono a nivel municipal • Diseñar un sistema de evaluación y monitoreo de la sanidad de los árboles y su relación con el clima
Salud y bienestar humano	 	<ul style="list-style-type: none"> • Promover la colaboración y el intercambio de información entre la Municipalidad y los recintos de atención médica para detectar patologías asociadas al calentamiento de la ciudad • Establecer normas para el diseño y gestión de los espacios verdes públicos y privados para fomentar las actividades físicas y mejorar la salud mental • Promover la accesibilidad, proximidad y seguridad en los espacios verdes público para todos los habitantes • Maximizar las funciones de confort térmico al diseñar espacios públicos y calles • Promover la inclusión de espacios públicos con acceso a la producción de alimentos • Incluir a los bosques urbanos en la planificación y el diseño de escuelas y lugares de atención médica • Construir espacios verdes para la movilidad alternativas (p.ej. ciclo vías) como medio de promoción de la salud física y mental y de reducción de la contaminación. • Minimizar el potencial de impactos de los árboles sobre la salud mediante una planificación científica y técnica
La biodiversidad y los paisajes	 	<ul style="list-style-type: none"> • Promover la armonización de políticas y coordinar a nivel interinstitucional para la gestión de los bosques urbanos y demás infraestructura verde a nivel de paisaje, a fin de mejorar la conservación de la biodiversidad urbana • Promover la valoración ecológica de los bosques urbanos en la conservación de la biodiversidad local mediante la participación activa de los propietarios privados e institucionales • Incluir la conservación de la biodiversidad como objetivo fundamental de los planes de gestión forestal urbana de más infraestructura verde • Clasificar los ecosistemas arbóreos, establecer su estado de amenaza y restaurar los ecosistemas degradados amenazados, así como proteger las especies de flora y fauna autóctonas • Promover los corredores verdes, aumentar la conectividad y la funcionalidad de la infraestructura verde dentro de la ciudad • Promover la plantación de especies autóctonas priorizando aquellas que ofrecen hábitats para las aves y otras especies • Desarrollar una estrategia de erradicación de las especies vegetales y animales invasoras no autóctonas

Tema	Objetivos de Desarrollo Sostenible	Acciones claves
Beneficios económicos y economía verde		<ul style="list-style-type: none"> • Establecer metas para maximizar la infraestructura verde sobre la infraestructura gris en las estrategias de crecimiento urbano • Promover el desarrollo de una estrategia de pago de servicios ambientales para promover el establecimiento y la protección de las áreas verdes urbanas por los propietarios privados y empresarios
Gestión de riesgos		<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar una estrategia de gestión de riesgo de árboles/ arboricultura (p.ej., podado y remoción de los árboles). • Establecer una cartografía del riesgo de árboles utilizando sistemas de información geográfica y modelaciones para evaluación y predicción de riesgos de árboles • Sensibilizar a los habitantes de la ciudad sobre los riesgos relacionados con los árboles, especialmente los relacionados con la seguridad pública (p.ej., caída de árboles) para minimizar los riesgos para su salud y seguridad personal • Mantener y diseñar los nuevos espacios verdes públicos con especies apropiadas a la localidad, resistentes al viento, a las sequías e insectos, y que no produzcan materiales alergénicos
Degradación de la tierra y del suelo		<ul style="list-style-type: none"> • 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 • Gestionar la restauración áreas industriales abandonadas, tierras degradadas y terrenos baldíos
El agua y las cuencas hidrográficas		<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar evaluaciones de campo de los bosques urbanos remanentes e identificar oportunidades de restauración potencial • Evaluar y monitorear las zonas de inundaciones y escorrentías en las áreas urbanas • Aumentar el porcentaje de superficies permeables y de la cubierta arbórea • Aplicar enfoques de infraestructura verde y azul tales como pavimentos permeables, techos ecológicos, calles verdes, humedales arbolados y jardines de lluvia, para mitigar los impactos de las escorrentías
Seguridad alimentaria y nutricional		<ul style="list-style-type: none"> • Promover el desarrollo de bosques comestibles • Desarrollar huertas urbanas que complementen los espacios verdes
Valores socioculturales		<ul style="list-style-type: none"> • Garantizar la distribución equitativa de áreas verdes públicas de calidad en los distritos • Diseñar espacios verdes multifuncionales para el deleite de toda la comunidad que se vuelvan atractivos y mejoren la interacción y la inclusión social • Crear áreas verdes alrededor de los edificios públicos, edificios religiosos, municipales y cementerios • Utilizar los espacios verdes públicos urbanos como instrumentos de valor educativo para las comunidades locales



Referencias consultadas

- Bechtel, B; Zaksek, K; Hoshyarupour, G. 2012. Downscaling Land Surface Temperature in an Urban Area: A Case Study for Hamburg, Germany. Remote Sensing. Remote Sens. 2012, 4, 3184-3200; doi:10.3390/rs4103184. www.mdpi.com/journal/remotesensing
- Bounoua, L. et al, (2015). Impact of urbanization on US surface climate. Environmental Research Letters 10 (8).
- Curriero F, Heiner KS, Samet J, Zeger S, Strug L, Patz JA (2002). Temperature and mortality in 11 cities of the Eastern United States. Am J Epidemiol. 155:80-87.
- CEPAL. 2017. Valoración económica de los beneficios en la salud asociados a la reducción de la contaminación del aire El caso de la Gran Área Metropolitana de Costa Rica. (Alpizar F., Piaggio M., Pacay E. (eds.). Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Espinoza P., y Martín J. (2014). El estudio de la Isla de Calor Urbana de Superficie del Área Metropolitana de Santiago de Chile con imágenes Terra-MODIS y Análisis de Componentes Principales. Revista de Geografía Norte Grande, 57: 123-141 (2014)
- EPA (2016). Climate Change and the Health of Older Adults. United States Environmental Protection Agency. EPA 430-F-16-058 May 2016
- FAO. 2016. Directrices para la silvicultura urbana y periurbana, por Salbitano, F., Borelli, S., Conigliaro, M. y Chen, Y. 2017. Directrices para la silvicultura urbana y periurbana, Estudio FAO: Montes No 178, Roma, FAO.
- Gibbons RV, Vaughn DW (2002). Dengue: an escalating problem. BMJ. 324:1563-6.
- Gubler DJ (2002). The global emergence/resurgence of arboviral diseases as public health problems. Arch Med Res. 33:330-42.
- Hales S, de Wet N, Maindonald J, Woodward A (2002). Potential effect of population and climate changes on global distribution of dengue fever: an empirical model. Lancet. 360:830-34.
- Honda Y, Kabuto M, Ono M, Uchiyama I (2007). Determination of optimum daily maximum temperature using climate data. Environ Health Prevent Med. 25:209-16.

- Huang C, Barnett AG, Wang X, Vaneckova P, Fitzgerald G, Tong S (2011). Projecting future heat-related mortality under climate change scenarios: a systematic review. *Environ Health Perspect*, 119:1681–90.
- Hidalgo, H., Alfaro, E. & Quesada-Montano, B. (2017). Observed (1970–1999) climate variability in Central America using a high-resolution meteorological dataset with implication to climate change studies. *Climatic Change* 141: 13. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1786-y>
- IPCC (2012) Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.
- IPCC (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp. doi:10.1017/CBO9781107415324.
- Imbach P, Chou SC, Lyra A, Rodriguez D, Rodriguez D, Latinovic D, et al. (2018) Future climate change scenarios in Central America at high spatial resolution. *PLoS ONE* 13(4): e0193570. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0193570>
- Liu-Helmersson J, Stenlund H, Wilder-Smith A, Rocklov J (2014). Vectorial capacity of *Aedes aegypti*: effects of temperature and implications for global dengue epidemic potential. *PLoS One*. 9:e89783.
- Ogashawara, I; Da Silva Brum Bastos. 2012. A Quantitative Approach for Analyzing the Relationship between Urban Heat Islands and Land Cover. *Remote Sens*. 2012, 4, 3596-3618; doi:10.3390/rs4113596. www.mdpi.com/journal/remotesensing
- OPS/OMS. 2016. Planificación Urbana, Salud y Sostenibilidad: El Caso de las Áreas Verdes en Santiago de Chile. Organización Panamericana de la Salud / Organización Mundial de la Salud. Santiago-Chile
- Picone, N. Comparación de imágenes satelitales Sentinel 2 y Landsat 8 en el estudio de áreas urbanas. 2017. Conference Paper. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/320705706>
- Roth, M; Oke, T.R; Emery W.J. 1989. Satellite-derived urban heat islands from three coastal cities and the utilization of such data in urban climatology. *International Journal of Remote Sensing*. Volume 10, 1989, Issue 11. <https://doi.org/10.1080/01431168908904002>
- Smith K, Woodward A, Campbell-Lendrum D, Chadee D, Honda Y, Liu Q, et al. (2014). Human health: impacts, adaptation, and co-benefits. In: Field CB, Barros V, Dokken D, editors. *Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability*. Vol i: global and sectoral aspects. Contribution of working group II to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.
- USGCRP, 2016: The Impacts of Climate Change on Human Health in the United States: A Scientific Assessment. Crimmins, A., J. Balbus, J.L. Gamble, C.B. Beard, J.E. Bell, D. Dodgen, R.J. Eisen, N. Fann, M.D. Hawkins, S.C. Herring, L. Jantarasami, D.M. Mills, S. Saha, M.C. Sarofim, J. Tirtanj, and L. Ziska, Eds. U.S. Global Change Research Program, Washington, DC, 312 pp. <http://dx.doi.org/10.7930/JOR49NQX>
- Wilder-Smith A, Gubler DJ (2008). Geographic expansion of dengue: the impact of international travel. *Med Clin North Am*. 92:1377–90, x.
- Watts et-al. (2018). The 2018 report of the Lancet Countdown on health and climate change: shaping the health of nations for centuries to come. *Lancet*
- Watts N., et al. (2018A). The Lancet Countdown on health and climate change: from 25 years of inaction to a global transformation for public health. *Lancet*

