

Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, FLACSO Ecuador  
Departamento de Desarrollo, Ambiente y Territorio  
Convocatoria 2018-2020

Tesis para obtener el título de maestría de Investigación en Estudios Socioambientales

Infraestructura verde urbana de Quito: Su influencia en la disminución de la isla de calor

Diana Alejandra Orellana Valdez

Asesor: Teodoro Bustamante

Lectores: Ana Cristina Torres Valdivieso y Pedro José Alarcón Cevallos

Quito, enero de 2023

## **Dedicatoria**

A Gilberto, Horus y Sisa

## Índice de contenidos

Resumen .....	X
Agradecimientos.....	XI
Introducción .....	1
Capítulo 1. Planteamiento de la investigación .....	2
1.1 Problemática: El melanoma urbano.....	2
1.2 Justificación del estudio.....	6
1.2.1 El índice verde urbano en Quito.....	6
1.2.2 Los altos índices de radiación en Quito.....	6
1.2.3 La Red Verde Urbana planificada en 2014 pero no ejecutada .....	8
1.3 Hipótesis .....	8
1.4 Objetivos.....	9
Capítulo 2. Fundamentación teórica, conceptual y estado de la cuestión .....	10
2.1 Marco teórico.....	10
2.2 Marco conceptual.....	16
2.2.1 Infraestructura verde: Definiciones y estructura espacial y funcional .....	16
2.2.2 La infraestructura verde y la ecología del paisaje .....	19
2.2.3 Escalas de la infraestructura verde .....	21
2.2.4 La multifuncionalidad de la Infraestructura verde .....	23
2.2.5 Isla de calor: Definiciones y caracterización.....	27
2.2.6 Tipologías de islas de calor .....	27
2.2.7 Balance radiativo.....	30
2.2.8 Balance hídrico.....	32
2.2.9 Balance energético .....	33
2.2.10 Efectos negativos de la isla de calor urbano.....	34
2.3 Estado del Arte .....	34
2.3.1 Influencia de la vegetación en la regulación climática.....	34
2.3.2 Estudios de isla de calor en Ecuador .....	36
Capítulo 3. Áreas de Estudio y Estrategia Metodológica.....	45
3.1 Dos escalas de estudio .....	45
3.2 Procesamiento de imágenes satelitales Landsat 8 (OLI – TIRS) .....	46
3.2.1 Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI).....	49
3.2.2 Cálculo de la temperatura superficial terrestre (LST) .....	50

3.3	Análisis estadístico espacial de los índices espectrales.....	51
3.3.1	Autocorrelación espacial o Índice de Moran.....	51
3.3.2	Análisis de Clúster .....	52
3.4	Toma de datos térmicos in situ .....	53
3.4.1	Análisis de 4 criterios.....	53
3.4.2	Tres hipótesis y tres condiciones.....	54
3.4.3	Selección de los tramos a ser medidos .....	55
3.4.4	Equipo y levantamiento de datos térmicos.....	55
3.4.5	Limitaciones del estudio.....	56
Capítulo 4. Análisis de la infraestructura verde y la isla de calor en el área urbana de Quito a escala urbana. ....		57
4.1	Infraestructura verde a través del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) .....	57
4.2	Isla de calor urbano a través de la temperatura superficial terrestre.....	60
4.3	Relación entre infraestructura verde y temperatura superficial terrestre .....	67
Capítulo 5. Influencia de la infraestructura verde en la isla de calor urbano de 13 zonas piloto		68
5.1	Resultados para la definición de los tramos a monitorear .....	68
5.2	Tramos escogidos y sus hipótesis correspondientes.....	77
5.3	Resultados de la temperatura del aire con y sin sombra de arbolado .....	79
5.3.1	Zona 1: La Delicia - Tramo Bdp – Calle Aurelio Espinoza Pólit (334 metros). 80	
5.3.2	Zona 2: Kennedy - Tramos B – Capitán Ramón Borja (286 metros), Bp y Bpz– De Los Algarrobos (241,7 metros), L – César Dávila Andrade (185,2 metros) y Lp - Romero y Cordero (241,7 metros) .....	82
5.3.3	Zona 5: Iñaquito - Tramos C – Iñaquito (317,4 metros), Cdp - Juan González (246,2 metros) y Cp – Núñez de Vela (304,9 metros) .....	88
5.3.4	Zona 6: Miraflores Bajo - Tramos F – Asunción (402,8 metros), Fp - Santiago (333,4 metros), Fdp – Bogotá (324,8 metros) y Fdpz – Bogotá (67,9 metros).....	90
5.3.5	Zona 9: Rodrigo de Chávez - Tramos G – Gz - Rodrigo de Chávez (371,8 metros), Gp - Gonzalo Díaz de Pineda (336,3 metros) y Gdp - Diego de Sandoval (244,4 metros) 93	
5.3.6	Zona 10: Teniente Hugo Ortiz - Tramos H – Hz – Mariscal Sucre (492 metros), Hp - Luis Iturralde (328 metros), Hdp – Hdpz - Antonio Jaramillo (221,5 metros).....	95
5.3.7	Zona 12: Quitumbe - Tramos J – Jz – Quitumbe Ñan (350,9 metros).....	99



5.3.8	Zona 13: Nueva Aurora - Tramos I – Iz – Quitumbe Ñan (423,7 metros) e Ip - Oe2H (267,1 metros).....	101
5.4	Resultados conjuntos por las 13 zonas .....	104
5.4.1	La Delicia .....	104
5.4.2	Kennedy .....	105
5.4.3	Bicentenario .....	105
5.4.4	Portugal .....	106
5.4.5	Iñaquito.....	106
5.4.6	Floresta .....	107
5.4.7	Miraflores Bajo .....	107
5.4.8	San Blas.....	108
5.4.9	Rodrigo de Chávez.....	108
5.4.10	Teniente Hugo Ortiz.....	109
5.4.11	Mayorista.....	110
5.4.12	Quitumbe.....	110
5.4.13	Nueva Aurora .....	111
Capítulo 6.	Discusión y Conclusiones.....	112
6.1	Análisis de los resultados de temperatura y las interrelaciones entre temperatura superficial y del aire .....	112
6.2	Influencia de las áreas verdes en la temperatura superficial (mesoescala).....	114
6.3	Influencia del arbolado en la temperatura del aire (microescala).....	115
6.3.1	Comprobación de hipótesis .....	116
Conclusiones	.....	121
Listado de referencias.....		124

## Lista de ilustraciones

### Figuras

Figura 2.1. Diagrama del balance energético, hídrico y material del ecosistema urbano de Bruselas de Duvigneaud y Denayeyer (1970).....	13
Figura 2.2. Diagramas de ciudades compactas versus ciudades difusas de Salvador Rueda (1995) .....	15
Figura 2.3. Elementos prioritarios en la planificación de todo paisaje para garantizar su funcionalidad ecológica, según Richard Forman (1996).....	20
Figura 3.1. Área de Estudio en la meseta de Quito .....	45
Figura 3.2. Imágenes Landsat 8 utilizadas para el cálculo de NDVI y LST .....	46
Figura 3.3. Proceso de corrección de imágenes satelitales.....	49
Figura 3.4. Metodología Fase 2.....	53
Figura 3.5. Higrohidrómetro digital HTC-2.....	55
Figura 4.1. Resultado del Índice de Moran aplicado al NDVI del área urbana de Quito .....	57
Figura 4.2. Resultado del índice de vegetación de diferencia .....	58
Figura 4.3. Clúster espacial estadísticamente significativos de valores altos y valores bajos de NDVI en el área urbana de Quito.....	59
Figura 4.4. Resultado del Índice de Moran aplicado a la LST.....	60
Figura 4.5. Resultado de la temperatura superficial terrestre (LST) en el área urbana continua de la ciudad de Quito.....	61
Figura 4.6. Clusters espaciales estadísticamente significativos de valores altos y valores bajos de temperatura superficial terrestre (LST) en el área urbana de Quito. ....	61
Figura 4.7. Área más cálida de la parroquia suburbana San Antonio de Pichincha.....	63
Figura 4.8. Área más cálida de las parroquias suburbanas de Calderón y Llano Chico .....	64
Figura 4.9. Área más cálida de la parroquia urbana de La Concepción.....	65
Figura 4.10. Área más cálida de la parroquia urbana del Centro Histórico .....	66
Figura 4.11. Relación entre temperatura superficial terrestre (LST) e índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI).....	67

Figura 4.12. Comparación de clúster de LST y NDVI.....	67
Figura 5.1. Densidad de Kernel arbórea de La Delicia, Kennedy, Bicentenario, Portugal, CAE, Miraflores, La Floresta y San Blas. ....	69
Figura 5.2. Densidad de Kernel arbórea de Rodrigo de Chávez, Teniente Hugo Ortiz, Mayorista, Quitumbe y Nueva Aurora.....	70
Figura 5.3. Rangos de altura del arbolado en las zonas de La Delicia, Kennedy, Bicentenario, Portugal, CAE, Miraflores, La Floresta y San Blas. ....	71
Figura 5.4. Rangos de altura del arbolado en las zonas Rodrigo de Chávez, Teniente Hugo Ortiz, Mayorista, Quitumbe y Nueva Aurora.....	72
Figura 5.5. Rangos del NDVI en las zonas de La Delicia, Kennedy, Bicentenario, Portugal, CAE, Miraflores, La Floresta y San Blas. ....	73
Figura 5.6. Rangos del NDVI en las zonas Rodrigo de Chávez, Teniente Hugo Ortiz, Mayorista, Quitumbe y Nueva Aurora.....	74
Figura 5.7. Rangos de temperatura superficial terrestre en las zonas de La Delicia, Kennedy, Bicentenario, Portugal, CAE, Miraflores, La Floresta y San Blas. ....	75
Figura 5.8. Rangos de temperatura superficial en las zonas Rodrigo de Chávez, Teniente Hugo Ortiz, Mayorista, Quitumbe y Nueva Aurora. ....	76
Figura 5.9. Tramos seleccionados para la medición in situ. ....	78
Figura 5.10. Temperatura del aire del tramo Bdp de la zona de La Delicia.....	81
Figura 5.11. Sección del tramo L y su arbolado.....	83
Figura 5.12. Temperatura del aire de los tramos L, Lp, B, Bp y Bpz de la zona de La Kennedy. ....	84
Figura 5.13. Temperatura del aire de los tramos C, Cp y Cdp de la zona de Ñaquito.....	89
Figura 5.14. Temperatura del aire de los tramos F, Fp, Fdp y Fdpz de la zona de Miraflores Bajo .....	91
Figura 5.15. Temperatura del aire de los tramos G, Gz, Gp y Gdp de la zona Rodrigo de Chávez.....	94
Figura 5.16. Temperatura del aire de los tramos H, Hz, Hdp y Hdpz de la zona Teniente Hugo Ortíz.....	96

Figura 5.17. Temperatura del aire de los tramos J y Jz de la zona Quitumbe.....	100
Figura 5.18. Temperatura del aire de los tramos I, Iz e Ip de la zona Nueva Aurora. ....	102
Figura 6.1: Ubicación de los tramos.....	118

## Tablas

Tabla 2.1. Ejemplo de espacios urbanos clasificados en función de la estructura modelo de parche-corredor-matriz.....	19
Tabla 2.2. Características de la infraestructura verde según su escala.....	20
Tabla 2.3. Elementos componentes de la infraestructura verde y sus escalas.....	21
Tabla 2.4. Servicios Ecosistémicos según la <i>Millennium Ecosystem Assessment</i> .....	24
Tabla 2.5. Algunos servicios ecosistémicos de la infraestructura verde según la clasificación de la <i>Millennium Ecosystem Assessment</i> .....	25
Tabla 2.6. Características básicas de las islas de calor superficial y atmosférica.....	27
Tabla 2.7. Cambios en la hidrología de la superficie debido a la urbanización.....	31
Tabla 3.1. Valores referenciales de NDVI según tipos de superficies.....	49
Tabla 5.1. Resultados de rango de altura y densidad de árboles en las vías de las 13 zonas piloto.....	68
Tabla 5.2. Orden jerárquico de las 13 zonas piloto en función de altura y densidad arbórea..	77
Tabla 5.3. Relación entre tramos escogidos según hipótesis .....	79
Tabla 6.1: Comparación de resultados térmicos de las zonas La Delicia, Kennedy, Ñaquito, Miraflores Bajo, Rodrigo de Chávez, Teniente Hugo Ortiz, Quitumbe y Nueva Aurora.....	112
Tabla 6.2. Comparación de resultados térmicos bajo sombra y sin sombra de árboles de las zonas La Delicia, Kennedy, Ñaquito, Miraflores Bajo, Rodrigo de Chávez, Teniente Hugo Ortiz, Quitumbe y Nueva Aurora.....	116
Tabla 6.3. Comprobación de hipótesis y nombres de los tramos.....	117

## **Declaración de cesión de derecho de publicación de la tesis**

Yo, Diana Alejandra Orellana Valdez, autora de la tesis titulada “Infraestructura verde urbana de Quito: Su influencia en la disminución de la isla de calor” declaro que la obra es de mi exclusiva autoría, que la he elaborado para obtener el título de maestría de Investigación en Estudios Socioambientales concedido por la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, FLACSO Ecuador.

Cedo a la FLACSO Ecuador los derechos exclusivos de reproducción, comunicación pública, distribución y divulgación, bajo la licencia Creative Commons 3.0 Ecuador (CC BY-NC-ND 3.3 EC), para que esta universidad la publique en su repositorio institucional, siempre y cuando el objetivo no sea obtener un beneficio económico.

Quito, enero de 2023



Firmado electrónicamente por:  
**DIANA ALEJANDRA  
ORELLANA VALDEZ**

---

Diana Alejandra Orellana Valdez

## **Resumen**

En Quito el 45,2% de los días del año durante el periodo 2009 a 2011 registró la categoría 11+ de radiación solar. La vegetación arbórea y el suelo permeable con vegetación a portan significativamente al efecto de la isla de calor urbana. Se maneja el concepto de infraestructura verde por su enfoque sistémico e integral de espacios abiertos naturales de una ciudad que cumplen funciones ecológicas y sociales. Se utilizarán dos métodos: el análisis de imágenes Landsat 8 para la identificación de la isla de calor superficial, y la medición a través de transeptos para identificar la isla de calor a escala humana. Se espera que el geoprocesamiento de las imágenes Landsat 8 ya evidencie menor temperatura y a partir de estos resultados la toma de datos en transeptos incluirá zonas con y sin áreas verdes para compararlos. Estos resultados ayudarán a fortalecer el valor de la vegetación en áreas urbanas.

## **Agradecimientos**

A mi asesor Teodoro Bustamante por el apoyo y la confianza en el proceso de investigación. Al Colegio de Arquitectos del Ecuador, en especial a la Ing. Paulina Cubillo, por permitirme colaborar con el Centro de Investigación Urbana de Quito (CIUQ), y a todas las personas que me apoyaron en el camino y en el levantamiento de datos.

## **Introducción**

Durante el proceso de desarrollo de la tesis de Maestría surge la oportunidad de colaborar con el Centro de Información Urbana de Quito (CIU) del Colegio de Arquitectos del Pichincha, quienes estaban interesados en realizar estudios sobre arbolado urbano. El interés por la tesis de Maestría lleva a crear un nuevo proyecto de investigación en el CIU sobre isla de calor urbana titulado “Valoración de parámetros que influyen en la isla de calor urbano de Quito”. Dicho estudio se divide en 3 fases, una primera en la que se realiza un análisis multitemporal de la temperatura superficial de 2010, 2015 y 2019 con el objetivo de ver su variación, una segunda fase en la que se toman mediciones térmicas in-situ para indentificar en qué medida influye el arbolado urbano en la temperatura del aire y una tercera fase en la que se analizan las características morfológicas del tejido urbano y su influencia en la isla de calor urbana. La autora de la presente tesis desarrolla la segunda fase de ese proyecto, es decir: la “Valoración de parámetros que influyen en la isla de calor urbano de Quito”, como parte del desarrollo de los estudios de maestría. Por esos motivos una de las áreas de análisis de la tesis está determinada por el Centro de Información Urbana de Quito, quienes definieron 13 zonas piloto distribuidas de norte a sur en función de criterios socio-económicos para la caracterización del arbolado urbano en acera y parterre. En dichas 13 zonas el CIU ha identificado mediante drones la ubicación y altura del arbolado, además de las características de acera, información base que me facilitan para la toma de datos y análisis térmico.



## **Capítulo 1. Planteamiento de la investigación**

### **1.1 Problemática: El melanoma urbano**

Las ciudades se han convertido en la forma predominante de asentamientos humanos y constituyen importantes agentes económicos, son un fenómeno global que se expandió velozmente desde 1950 cuando la población urbana se quintuplicó (Gardner 2016). En los sesentas el crecimiento anual de las urbanitas fue de 34 millones de habitantes, 39,7 millones en los setentas, 52,6 millones en los ochentas y 57,6 en los noventas (Terradas 2001).

Rápidamente el crecimiento poblacional urbano superó al rural, así por ejemplo en el periodo 1950 a 1974 el crecimiento rural era mayor al urbano, pero desde 1975 en adelante esta relación se invierte. En la actualidad se espera un crecimiento poblacional de 1760 millones de habitantes entre 2000 y 2024, del cual se calcula que el 86% se ubique en centros urbanos (Montgomery 2008). Los pronósticos de crecimiento poblacional mundial es alarmante, según el Informe World Population Prospect 2019, de un estimado de 7.700 millones de personas en todo el mundo en 2019, se espera llegar a 8500 millones en 2030, a 9700 millones en 2050 y a 10.900 millones de habitantes en 2100 (ONU 2019).

La superficie urbanizada actual representa el 3% de la superficie terrestre y se calcula que para 2050 llegará entre el 4 al 5% (Gardner 2016). Un porcentaje aparentemente mínimo, sin embargo, los patrones dominantes se caracterizan por una expansión poco densa y muy dispersa, ocupando vastas extensiones de suelo rural con alto valor ecológico y agrícola. Las áreas urbanas son las principales consumidoras de recursos, por ejemplo, el sector de la construcción es el responsable del consumo del 40% del agua, del 70% de productos madereros y del 45% de la energía; así mismo, se calcula que 1500 millones de habitantes urbanos están sometidos a contaminación atmosférica que supera los límites permitidos por la Organización Mundial de la Salud (Gardner 2016).

El desarrollo urbano implica la alteración de los procesos naturales a través del cambio de cobertura de suelo que transforma profundamente los ecosistemas locales (Wu, Liang, y Li 2019). La impermeabilización del suelo propia de los núcleos urbanos interviene en la pérdida de vegetación, la alteración del ciclo hídrico y en el aumento de las temperaturas urbanas, cuyas consecuencias recaen en un perverso ciclo de deterioro ambiental general (Hough 1998).

El ciclo hídrico juega un papel esencial en el funcionamiento de los ecosistemas al integrar los complejos procesos físicos, químicos y biológicos que sustentan la vida, determinando la productividad de los ecosistemas, la composición de las especies y la biodiversidad; por lo tanto, al irrumpir este ciclo con la impermeabilización cambia el microclima urbano y la tasa de precipitación, reduciendo la infiltración y aumentando la escorrentía (Alberti 2008).

En comparación con el agua en áreas rurales, el agua en las ciudades se desplaza principalmente sobre superficies impermeables, viaja mucho más rápido y recoge una variedad de contaminantes orgánicos e inorgánicos producidos por el hombre antes de que llegue a una planta de tratamiento (Alberti 2008).

La expansión de la ciudad fragmenta los hábitats en porciones más pequeñas, la falta de conectividad que causan las nuevas vías y los cambios de la cubierta vegetal por asfalto y concreto perturban y reducen la biodiversidad; otros aspectos indirectos de perturbación son el ruido, la contaminación, y el aumento del tránsito humano (Forman, Dramstad, y Olson 1996).

La pérdida de cobertura vegetal al interior de las ciudades tiene serios problemas sobre la salud física y mental de sus habitantes como enfermedades respiratorias y aumento del estrés; por ejemplo, un estudio demuestra que la función más citada de los espacios verdes urbanos, en 90 artículos de veinte y tres países, es la necesidad de contacto con la naturaleza para mantener la salud, mental, física y emocional (Matsuoka y Kaplan 2008). Los árboles regulan la temperatura en el espacio público, e inclusive, interfieren en la disminución de la temperatura al interior de las edificaciones aportando al ahorro energético; además, bajan los niveles de ruido y de gases contaminantes en el ambiente, reteniendo CO<sub>2</sub> y material particulado (Priego 2002) (Wang et al. 2014).

La impermeabilización urbana en constante expansión y la sustitución de la cobertura vegetal configuran un microclima urbano más cálido que se diferencia de su periurbano, a este fenómeno se conoce como isla de calor urbana (ICU) (Akbari et al. 2008). Existe una relación entre el tamaño de la ciudad en términos de densidad y superficie con la intensidad de la isla de calor urbana, es decir que a mayor dimensión de la ciudad mayor será la diferencia térmica entre ésta y su periurbano (Oke 1973).

Las edificaciones almacenan calor y las actividades humanas como la industria y el transporte generan gases de efecto invernadero que aumentan más las temperaturas (Akbari et al. 2008); en un contexto de cambio climático el fenómeno de la ICU se intensifica aún más y puede introducir efectos negativos en la salud a través del estrés térmico y la estimulación del ozono troposférico a nivel del suelo originando enfermedades respiratorias y causando el deterioro del clima en el espacio público (Rizwan, Dennis, y Chunho 2008) (Martins et al. 2016).

Recapitulando, el crecimiento urbano y la impermeabilización del suelo generan un ciclo de causas y efectos que involucran algunas variables: la pérdida de vegetación fragmenta los ecosistemas, la expansión urbana y los bajos índices verdes aumentan la contaminación atmosférica, las actividades productivas intensivas y la densificación incrementan la temperatura. A su vez, algunos de estos efectos se transforman en las causas de nuevos problemas, por ejemplo, los bajos índices verdes y la contaminación atmosférica generan problemas de salud a la población e influyen en su calidad de vida.

Quito no se escapa de esta problemática global de expansión urbana, de hecho, es una ciudad cuyo modelo de crecimiento responde a la dispersión y a las bajas densidades, por ejemplo:

Entre 1962 y 1980 el área urbana tuvo un crecimiento cercano al 500 %, y en ella no se consideraron las áreas conurbanas ni el crecimiento en altura; la densidad global de la ciudad bajó ostensiblemente de 213 a 68 habitantes por hectárea; aparecieron nuevas alternativas residenciales para los sectores de bajos ingresos en los eufemísticamente considerados “barrios periféricos”; se produjo una relocalización de las actividades industriales, comerciales y administrativas; el parque automotor de la ciudad creció en más de seis veces (Carrión y Erazo 2012, 516).

Entre 1960 a 1990 Quito pasa de un modelo concéntrico a uno lineal al crearse dos polos, las residencias de las familias pudientes al norte y los inmigrantes y más pobres al sur, posteriormente, desde 1990 a la actualidad empieza el proceso de una amplia expansión urbana y de metropolización de la ciudad al conturbarse Quito con los Valles; el vehículo se transforma en un artefacto de prestigio y las mayores preocupaciones municipales están enfocadas en la ampliación de vías para “disminuir” tiempos en los recorridos haciéndolos “eficientes” (Carrión y Erazo 2012).

Aunque los primeros rellenos de quebradas datan de la época colonial, fue sobre todo a partir de 1930 bajo la idea de modernización que se ocultó la mayoría del sistema hídrico natural bajo complejos sistemas viales, el imaginario urbano y la idea de progreso rechazaba lo natural o rural, por ejemplo, Pierre Peltre (1989) nos dice:

En los propios límites del perímetro urbano actual, se retienen todas las quebradas en solamente tres desagües: el Río Machángara y las quebradas El Batán al Este y Carcelén (o El Colegio) al Norte. El curso inferior de todas estas quebradas ha sido rellenado durante la urbanización, y reemplazado por la red de alcantarillas que ahora asume no solamente la evacuación de las aguas servidas sino también la de las aguas lluvias del volcán Pichincha (Peltre 1989, 46-47).

Peltre argumenta que la red de alcantarillado construida es insuficiente para evacuar los caudales, el autor registró 457 accidentes (promedio de 5,3 accidentes al año) entre inundaciones, aluviones, derrumbes y hundimientos causados por múltiples rellenos de quebradas entre 1900 a 1986; cuando las intensas lluvias sobrepasaban los caudales de frecuencia decenal el agua y lodo se desbordaba por las calles y a su vez la sedimentación de estos lodos en las alcantarillas reducían aún más la capacidad teórica de evacuación. En 1989 Peltre hacía una reflexión que aún hoy es vigente:

Esta clara que la más sensata solución hubiera sido acondicionar a través de la ciudad, escurrimientos a cielo abierto, asegurando la circulación por puentes; pero la urbanización se realizó según una tradición muy antigua - rellenando los cauces -y la situación es actualmente irreversible, salvo si imaginamos un utópico remodelamiento de la ciudad, políticamente impensable (Peltre 1989, 52).

Esa expansión no solo relleno quebradas sino también ocasionó la fragmentación de los ecosistema, la pérdida de suelo agrícola, las altas dependencias de fuentes hídricas extraterritoriales, el incremento de la contaminación industrial y domiciliaria sobre cuerpos de agua, el aumento de la presión sobre acuíferos, cauces hídricos y suelo así como contaminación acústica y del aire (Municipio del DMQ 2012).

La persistencia urbano expansiva en la última década ha producido la disminución de 395 Has de protección ecológica. También se ha producido la pérdida de 10.754 Ha de cobertura

vegetal -boscosa y áreas semi-naturales y el incremento de 6.413 Has cultivadas en áreas de protección (Municipio del DMQ 2012).

## **1.2 Justificación del estudio**

### **1.2.1 El índice verde urbano en Quito**

Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) el Índice Verde Urbano (IVU) de Quito es de 20,4m<sup>2</sup>/hab (INEC 2012) sobrepasando ampliamente el mínimo de 9m<sup>2</sup>/hab establecido por la OMS; sin embargo, Laura Gómez contradice este indicador al detectar que muchos de los espacios verdes contabilizados son en realidad suelo impermeable y sin vegetación como plazas y/o canchas deportivas. Luego de un análisis muy riguroso establece una nueva recategorización considerando como espacio verde únicamente al suelo permeable, vegetado, público y accesible libre de muros o vallas, resultando apenas un IVU de 5,1 m<sup>2</sup>/hab, es decir apenas el 4% de la superficie total del suelo urbano en Quito (Gómez 2018).

### **1.2.2 Los altos índices de radiación en Quito**

Quito tiene un alto nivel de radiación por sus características geográficas, latitud 0 y altitud de 2800msnm, por cada 1000 metros de incremento de la altitud la intensidad de la radiación ultra violeta aumenta en un 10 a 12% (OMS, OMM, PNUMA, y CIPRNI, 2003). El índice ultravioleta (IUV) tiene cinco categorías de exposición solar: baja (<2), moderada (3-5), alta (6-7), muy alta (8-10) y extremadamente alta (11+) (OMS et al. 2003); en Quito el 45,2% de los días del año durante el periodo 2009 a 2011 registró la categoría 11+ (Ávila, Larco, y Scholz 2014), es decir que casi la mitad del año nos exponemos a máxima radiación ultravioleta.

La exposición a la radiación solar puede producir efectos agudos y crónicos en la salud de la piel, los ojos y el sistema inmunitario como cáncer a la piel, fotoqueratitis, fotoconjuntivitis y aumentar el riesgo de infecciones víricas, bacterianas, parasitarias o fúngicas; en exposiciones que varían de 8 a 11+ se recomienda evitar salir durante las horas centrales del día (10h00 a 14h00), usar ropa que cubra todas las partes del cuerpo, proteger el rostro, ojos y cuello, buscar la sombra y utilizar protección solar extra (OMS et al., 2003).

El alto índice de radiación ultravioleta y el bajo índice verde urbano aumentan la intensidad de la isla de calor en Quito, hasta la fecha de la presentación de este plan de tesis se ha encontrado un solo estudio, pero muy valioso, publicado en 1976 que evalúa la isla de calor

de Quito con datos de abril y mayo tomados en 1971 y 1972, cuando la ciudad contaba con apenas una población de 532.000 habitantes, y con una extensión comprendida entre 13 km de norte a sur y de 1,5 km a 3,5 km entre este y oeste (Hannell 1976).

Los resultados demuestran la existencia de una isla de calor diurna (12H00) de 5° C, es decir que el centro urbano tiene 5° C más que sus periferias este y oeste, una diferencia que destaca con sorpresa Hannell de 5 a 10 veces mayor que cualquiera de las islas de calor diurnas informadas desde otras ciudades en latitudes templadas hasta esa fecha; en cambio por la noche (21h00) la isla de calor desaparece por los fuertes vientos, situación inversa sucede en otras latitudes en donde las mayores temperaturas aumentan durante la noche (Hannell 1976). Un hallazgo especialmente importante para este estudio es que durante el día las temperatura del Ejido, El Panecillo y la Academia Militar fueron más frías que La Mariscal y el Centro Histórico, la diferencia varió entre 4° C a 7° C (Hannell 1976).

Existe un mayor número de estudios relacionados con el cambio climático que demuestran un aumento de temperaturas, por ejemplo entre 1891 y 1989 la temperatura media en la ciudad aumentó 1,3°C, mientras que las mínimas absolutas varían entre 0,9° C a 2,8° C y las máximas absolutas registran valores de cambio de 0,0° C a 2,3° C (Cáceres, Mejía, y Ontaneda 1998) y se espera un incremento de la temperatura media anual de 2,5°C para 2050; adicionalmente, se estimó en el mismo periodo 1891 a 1989 una disminución del 8% de las precipitaciones esperando días con menos frecuencia de lluvia pero más extremas (Narváez y Jiménez 2016) (Serrano Vincenti, Ruiz, y Bersosa 2016).

Existen pruebas de la amplificación del incremento de temperaturas por altitud, es decir que a mayor elevación más velocidad de calentamiento, en la actualidad los Andes han experimentado un aumento de 0.8° C durante el S. XX y se espera que las temperaturas en los Andes Tropicales aumenten entre 2° C a 5° C antes del fin del S. XXI (Johansen et al., 2019), por ejemplo en áreas urbanas interandinas del Ecuador (Quito, Tulcán, Ibarra, Ambato, Baños, Riobamba, Loja y Latacunga) se detectaron aumentos de temperatura de mayor intensidad que de las zonas costeras, esas diferencias variaron entre 0,5° C a 1,6° C en áreas urbanas y 1,5 en zonas rurales (Cáceres et al. 1998).

### **1.2.3 La Red Verde Urbana planificada en 2014 pero no ejecutada**

La Red Verde Urbana<sup>1</sup> estructurada y publicada en 2014 es la concreción teórica y proyectual del Plan Metropolitano de Ordenamiento Territorial 2012 – 2022 (PMOT) y se compone de dos entramados: uno con potencial ecológico y otro recreativo – ornamental, el primero considera áreas y corredores remanentes del proceso de urbanización, es decir aquellos con menor transformación antropogénica, por ejemplo las laderas del Pichincha y áreas naturales periféricas al suelo urbano, los segundos corresponden a áreas verdes “no naturales”, transformadas o creadas como jardines urbanos o remanentes de la geometría urbana, por ejemplo los parques urbanos y metropolitanos (Ávila et al. 2014).

El enfoque de la RVU desde su concepción inicial en el PMOT 2012 – 2022 estuvo fuertemente vinculada con una reactivación del espacio público:

Consolidar un modelo de desarrollo integral urbano-ecológico a través de relacionar e intercalar espacios urbanos con espacios naturales utilizando los recursos geográficos, ecológicos y paisajísticos existentes: montaña, río, quebrada y espacio público (Municipio del DMQ 2012, 57).

Por ello las categorías de ordenamiento que la componen incorporan elementos propiamente urbanos que no necesariamente recaen en suelo permeable vegetado. Estas categorías son: RVU ecológica, RVU de revitalización del espacio público y RVU del patrimonio del paisaje natural y cultural. Hasta la fecha no ha sido concretada en la práctica, solo retomada en documentos posteriores como La Visión 2040 en donde la reconceptualizan implementando los mosaicos agrícolas, también se la retoma en el Atlas Ambiental del Distrito Metropolitano de Quito de 2016; sin embargo, no pasan de ser buenas intenciones de una administración que van siendo relegadas frente a necesidades opuestas como amplificación de carreteras o re bacheos.

### **1.3 Hipótesis**

Uno de los beneficios de la vegetación es su rol termorregulador atribuido a dos mecanismos distintos, la sombra y a evapotranspiración, el primero ocurre a través de la intercepción de la radiación solar por el dosel arbóreo reduciendo la ganancia de calor, el almacenamiento y la

---

<sup>1</sup> Documento publicado bajo el nombre “Ciudades del Buen Vivir, Quito hacia un Modelo Sustentable: Red Verde Urbana Y Ecobarrios” en 2014.

emisión de radiación de onda larga; el segundo mecanismo surge de la conversión del calor sensible en calor latente a través de la combinación de pérdida de agua de las hojas por transpiración y pérdida de agua del suelo por evaporación enfriando el aire dentro y alrededor del dosel (Tan et al. 2018).

Por lo tanto, se espera que las zonas con vegetación tengan menores temperaturas con relación a aquellas que carecen de ella. Para comprobar este supuesto se utilizan dos métodos, primero el análisis del INVI y de la temperatura superficial terrestre a través del geo procesamiento de imágenes Landsat 8; y luego, la toma de medidas térmicas en algunos tramos de vía con y sin arbolado a lo largo de la ciudad de Quito.

## **1.4 Objetivos**

La investigación gira alrededor de responder ¿En qué medida la infraestructura verde urbana de Quito influye en la mitigación de la isla de calor urbana?

### **Objetivo principal**

- Determinar el nivel de influencia de la infraestructura verde en la disminución de la isla de calor urbana en las escalas meso y micro.
- 

### **Objetivos específicos:**

#### **Escala Meso**

- Identificar la infraestructura verde urbana pública y privada a través de la determinación del índice de vegetación de diferencia normalizada.
- Identificar la isla de calor urbano a través de la determinación de la temperatura superficial terrestre.
- Identificar la influencia de la infraestructura verde en la disminución de la temperatura superficial terrestre a través del análisis estadístico espacial.

#### **Escala Micro**

- Identificar las características físicas que tienen los parques urbanos de mayor influencia en la mitigación de la isla de calor urbana y relacionarlo con su distribución espacial.
- Determinar la influencia del arbolado urbano en la disminución de la temperatura del aire en aceras a la altura de 1,2 m en 13 zonas piloto distribuidas de norte a sur.



## Capítulo 2. Fundamentación teórica, conceptual y estado de la cuestión

### 2.1 Marco teórico

El trabajo de investigación se relaciona con dos campos científicos estrechamente interrelacionados: ecología urbana y climatología urbana.

Aunque desde 1925 algunos ecólogos ya empezaron a preocuparse por las ciudades como ecosistemas, la traslación de su terminología no fue del todo fructífera y será en los años 70s cuando se concibe a las ciudades como ecosistemas (Terradas 2001) (Sukopp 1998) (McDonnell y Niemelä 2011).

Por lo tanto, la ecología urbana es una sub disciplina de la ecología que emerge en EEUU, Europa y Asia; y que surge gracias al cambio de paradigma que pasa de entender la naturaleza en perfecto equilibrio a interpretarla más bien como el resultado de constantes procesos y cambios ejercidos por fuerzas externas, esta perspectiva de naturaleza no equilibrada permite la incorporación de las actividades humanas como agente fundamental en su transformación (McDonnell y Niemelä 2011).

Los ecólogos de los 60s restringían el término ecosistema a los sistemas naturales autosuficientes en donde se valoran los flujos energéticos de entrada y salida, por lo tanto la aplicación de la ecología a una ciudad no era del todo compartida; sin embargo, Boyden (1981) afirma que se puede destinar este concepto usando la primera definición de ecología de Arthur Tansley en 1935, según la cual el término aplica a cualquier sistema, biótico y abiótico y a la interacción de sus partes que van desde una escala universal hasta un átomo (Boyden, Millar, Newcombe, y O'Neill 1981).

Para explicar por qué una ciudad es un ecosistema Terradas (2001) argumenta que en ella es posible encontrar las 6 características tradicionalmente analizadas en todo ecosistema: una organización jerárquica de la biósfera, el estudio del biotopo o medio físico, el estudio de las poblaciones biológicas, el estudio de la estructura del ecosistema en el espacio y su evolución en el tiempo, estudio del metabolismo material y energético del ecosistema y el estudio de los intercambios de información y mecanismos de regulación; en conclusión, la ciudad creada y habitada por seres vivos es una parte de la biósfera y se comporta como un sistema disipadores energéticos, así que se considera como un sistema ecológico con pleno derecho,

un sistema ecológico que no deja de depender de ingresos materiales y energéticos (Terradas 2001).

Las ciudades durante mucho tiempo fueron vistas como espacios sin vida y se asumía que pocas plantas y animales podían sobrevivir en estos entornos fuertemente antropizados, sin embargo, estudios recientes han demostrado la existencia de una gran variedad de hábitats, organismos y comunidades; además, los ecosistemas urbanos difieren mucho de los no urbanos pero dependen en gran medida de los recursos naturales rurales (Sukopp 1998).

Por otro lado, el reconocimiento gradual de que las actividades humanas alteran los procesos naturales, como el aumento de emisiones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera demostrado a principios de la década de los 60s (McDonnell y Niemelä 2011) y el reconocimiento gradual de que no hay ya ecosistema terrestre que no haya sido alterado por las actividades humanas (Vitousek, Mooney, Lubchenco, y Melillo 1997), ratifican la importancia de su estudio.

A principios de la década de 1970 el Programa Hombre y la Biósfera de la UNESCO financió la primera investigación de ecología urbana integrada que reunió tres ciencias: ciencias naturales, ingeniería / planificación y ciencias sociales; actualmente existen varias definiciones de ecología urbana dependiendo desde cuál de estos tres campos provenga, por ejemplo, los científicos naturales la definen como las relaciones de los habitantes y sus entornos urbanos en términos de flujos de materia y energía, los ecólogos se preocupan de la abundancia y distribución de los organismos en entornos urbanos, los científicos sociales se centran en la estructura social y la asignación de recursos naturales, su gestión y las instituciones encargadas, y finalmente, los planificadores e ingenieros se enfocan en el diseño de entornos urbanos más verdes y saludables con el objetivo de reducir impactos ambientales y mejorar la calidad de vida de sus habitantes (McDonnell y Niemelä 2011).

Marina Alberti (2008) entiende a la ecología urbana como una disciplina y ciencia inter y transdisciplinaria, que integra ecología, ecología humana, planeamiento urbano, arquitectura, ingeniería, geografía, economía, ciencias políticas, sociología, antropología y ciencias de la salud (Alberti 2008).

Como el interés de este estudio se relaciona en gran medida con el planeamiento urbano destaco algunos pioneros relacionados e influyentes en la ciencia que hoy entendemos como

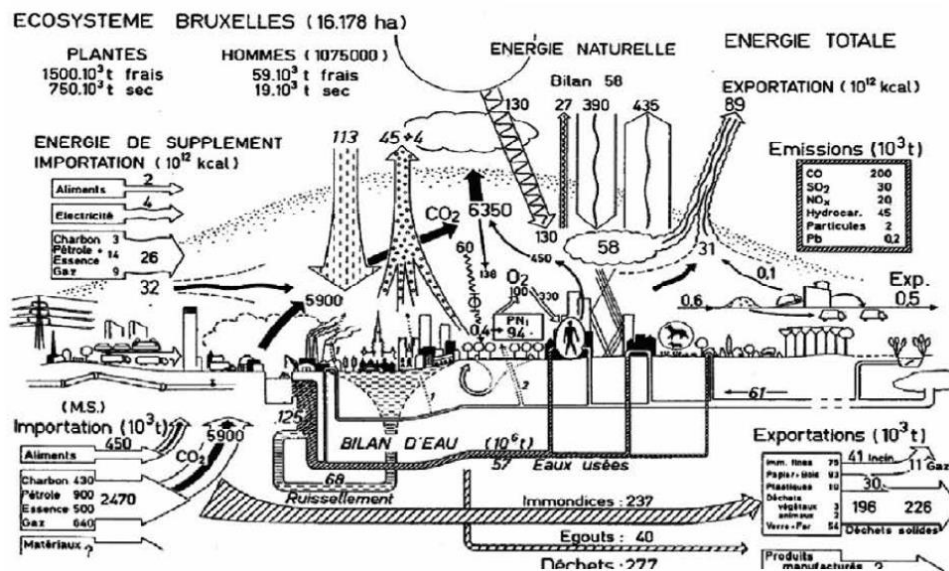
ecología urbana, autores como Patrick Geddes (1914), Paul Duvigneaud y S. Denayeyer Desmet (1970), Ian McHarg (1969), Stephen Boyden (1981), Michael Hough (1984), Richard T. Forman (1986) (1995) y Salvador Rueda (1995), personas clave porque han aportado en la aplicación de esta disciplina en procesos de diseño y planificación urbana y territorial.

Geddes en su libro *Cities in Evolution* (1914) acuña el término conurbación, preocupado por la rápida expansión de los núcleos urbanos y su fuerte dependencia de los recursos naturales rurales, concluyendo que para hacer y entender una ciudad se ha de comprender la totalidad de la región de la cual depende (Geddes 1949). Esta es la primera visión regional que reconoce los procesos metabólicos urbanos en íntima relación con las materias primas provenientes de los campos aledaños.

Duvigneaud y Denayeyer (1970) hicieron una serie de publicaciones sobre lo que denominaban “ecosistema URBS” al estudiar Bruselas como un ecosistema usando los diagramas de flujos de entrada y salida de energía, agua y materia propuestos en 1953 por los hermanos Eugene P. Odum y Howard T. Odum; mediante el análisis de los tres subsistemas: balance energético y de contaminantes, balance hídrico y el balance de materia y residuos, demostraron que los consumos de la ciudad de Bruselas eran superiores a los recursos del lugar, es decir con un balance negativo, y por ende, demuestran la insostenibilidad de la ciudad (Sanz Cerezo 2018).

El concepto de metabolismo urbano no fue verificado hasta el análisis ecológico de Duvigneaud y Denayeyer (1970), que junto a las teorías de Abel Wolman permitieron en 1974 la incorporación formal del término por la UNESCO (Sanz Cerezo 2018). Las conclusiones del análisis ecológico de Bruselas serán clave en el “[...] concepto de metabolismo circular descrito primero por Ian McHarg (1969) y recuperado por McDonough y Braungart (2002)” (Mestre, 2018, citado en Sanz Cerezo 2018, 18).

**Figura 0.1. Diagrama del balance energético, hídrico y material del ecosistema urbano de Bruselas de Duvigneaud y Denayer (1970)**



Fuente: Sanz Cerezo (2018, 16).

Ian McHarg en su libro *Desing with Nature* (1969) (1995) propone el denominado *ecological planning* a escala regional analizando y sobreponiendo como capas cada componente de los sistemas naturales: pendientes, red hídrica, ecosistemas y los suelos susceptibles a la erosión; de hecho, su práctica permitió el posterior desarrollo de los sistemas de información geográfica; en definitiva, promovió la perspectiva ecológica en los procesos de planeamiento (McHarg 1969).

Stephen Boyden realiza el primer análisis de ecología humana aplicado a un asentamiento urbano en su libro *The ecology of a city and its people: the case of Hong Kong* (1981), que estudia y describe un asentamiento humano de manera integral considerando los componentes físico-químicos, bióticos, sociales y culturales de la realidad urbana y sus interrelaciones dinámicas, dichas interrelaciones se vinculan directamente con la salud, bienestar humano y las propiedades de la biósfera (Boyden et al. 1981). El estudio introduce en sus modelos el estado del ambiente natural como determinante de salud y sensación de bienestar de la población (Terradas 2001).

Michael Hough en su libro *City form and natural process* (1984) desarrolla cinco tesis con el afán de conciliar naturaleza y ciudad: el aislamiento de los urbanitas de los valores medioambientales, la poca o nula atención a la comprensión de los procesos naturales que han contribuido a la forma física de las ciudades, el impacto de los procesos urbanos en los ciclos

naturales, la crítica de los valores estéticos alejados de los procesos naturales, y finalmente, los valores y percepciones medioambientales y el cómo respondemos a los entornos que nos rodean (Hough 1984).

De ellos destaco la preocupación de Hough por explicar los procesos naturales y los impactos de la urbanización sobre éstos, en un lenguaje cercano a arquitectos y urbanistas, explica los efectos de la impermeabilización del suelo urbano en el ciclo del agua; la importancia de la vegetación en la regulación del clima y del ciclo hídrico; la pérdida de suelo agrícola; y la isla de calor urbana generada por la impermeabilización del suelo y la densidad construida, un fenómeno que se intensifica por la contaminación del aire. En conclusión, manifiesta la necesidad de hacer visibles los procesos que sustentan la vida y que la sociedad actual tiende a invisibilizar.

Richard Forman en sus libros *Landscape Ecology* (1986) y *Land Mosaics* (1995) estructura los paisajes regionales en parches, corredores y matrices e identifica las interacciones entre estos elementos del paisaje en términos de energía, materia y especies; establece que las actividades antrópicas alteran la estructura del paisaje y por ende sus interrelaciones (Forman y Godron 1986) (Forman 1995).

En su última publicación *Urban Ecology: Science of Cities* (2014) Forman explica los procesos naturales cambiantes en los parches urbanos, describe detalladamente las características ecológicas de los componentes urbanos y sus entornos naturales: suelo urbano, aire y microclima urbano, sistemas hídricos urbanos, vegetación, hábitat y fauna urbanas (Forman 2014).

Salvador Rueda (1995) basándose en la teoría de sistemas complejos expone el por qué las ciudades compactas son sostenibles versus las ciudades difusas. Todos los ecosistemas tienden al aumento de la complejidad y a estadios maduros por la sucesión, esta condición es común a los ecosistemas urbanos y las ciudades difusas contribuyen muy poco a la autoorganización, de hecho, despilfarran recursos y aumentan la incertidumbre (Rueda 1995) (Rueda 1997).

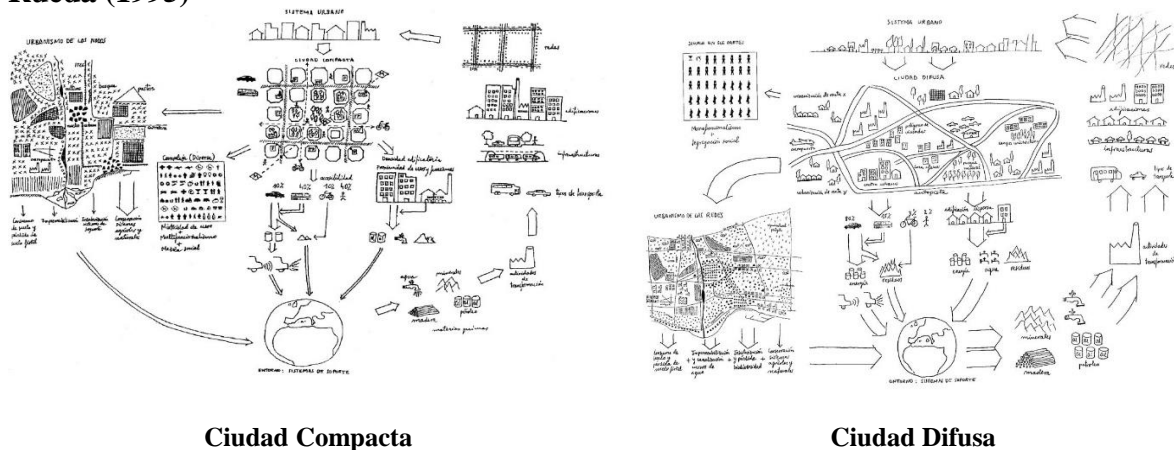
En aquellas partes de la ciudad o en aquellos núcleos urbanos que se han hecho lentamente y de manera ininterrumpida, sin perturbaciones importantes, consolidando y renovando las

estructuras que las sostienen, ha ido aumentando la diversidad de sus componente (Hi) y, en consecuencia, han ido aumentando los depósitos de información organizada proporcionadora de estabilidad y oportunidades, en contra de un aumento excesivo de nueva estructura sostenida en un despilfarro del suelo, de la energía y del tiempo y en el creciente consumo de recursos (Rueda 1997, 11).

Los crecimientos explosivos, como el que ha sucedido en los últimos 25 años en las regiones metropolitanas, proporcionan una aportación mayor de energía y más oportunidades para las nuevas colonizaciones y reinicializaciones. Pero, en estructuras más maduras, las oportunidades son menores, aunque aumenten también la diversidad y se cree una mayor estabilidad. Los sistemas más maduros tienden a preservar testimonios más numerosos del pasado en el mismo lugar, incluyendo información suplementaria (Margalef, R. 1992 citado en Rueda 1997, 11).

Ciudades compactas, densas y diversas significan minimizar la entropía y maximizar la complejidad de los sistemas urbanos, una entropía maximizada en información, situación que obliga a recalificar las formas de intercambio en las ciudades actuales. A partir de esta propuesta Rueda desarrolla un conjunto de “indicadores de sostenibilidad urbana” que persiguen la complejidad del sistema, una de las categorías de dichos indicadores corresponde a la “biodiversidad urbana” que implica el aumento de vegetación y suelo permeable al interior de las urbes.

**Figura 0.2. Diagramas de ciudades compactas versus ciudades difusas de Salvador Rueda (1995)**



Fuente: Rueda (1995).

Todos estos autores concluyen, entre otras cosas, la vital importancia de mantener la mayor cantidad de vegetación al interior de las ciudades; Ian McHarg (1969) por ejemplo, reconoce

los flujos de materia y energía, y realiza el estudio de la matriz física y biofísica de los asentamientos humanos como la base para entender su funcionamiento, Michael Hough explica la función de la vegetación como reguladora climática al interior de la ciudad y su aporte en la disminución de los efectos de la isla de calor urbana (Hough 1998).

Forman explica los procesos de fragmentación de ecosistemas debido a la expansión urbana y propone patrones espaciales de parches y corredores verdes que permitan mantener la conectividad espacial y ecológica en el territorio (Forman et al. 1996). Salvador Rueda (2010) propone la categoría de “biodiversidad urbana” que implica el aumento de vegetación y suelo permeable al interior de las ciudades con 7 indicadores: índice biótico del suelo, superficie verde por habitante, cubiertas verdes, proximidad de la población a espacios verdes, biodiversidad del arbolado viario y conectividad de los corredores verdes urbanos (Rueda 2010) (Rueda, de Cáceres, Cuchí, y Brau 2012).

## **2.2 Marco conceptual**

### **2.2.1 Infraestructura verde: Definiciones y estructura espacial y funcional**

La primera vez que se utiliza el término Infraestructura Verde (IV) es en 1994 en un informe técnico producido por el Departamento de Recursos Naturales del estado en Maryland, Estados Unidos; el informe se titula *Maryland's Green Infrastructure Assessment* y consiste en un modelo aplicado a los Sistemas de Información Geográfica para identificar los espacios naturales más valiosos de su territorio (Weber y Maryland Department of Natural Resources 2003).

La identificación de la IV de Maryland sigue una metodología rigurosa con un enfoque estrictamente ecológico en donde se identifican las zonas prístinas remanentes en todo el estado, ésta IV se compone por parches y corredores escogidos bajo parámetros como: calidad ambiental, biodiversidad, tamaño, topografía, hidrografía, distancias a la zona urbana e infraestructuras de transporte, todo ello pensado desde el punto de vista del flujo de las especies (Benedict y McMahon 2006).

Tras la experiencia de Maryland, *The Conservation Fund* promueve la valoración de la IV como una estrategia de ordenación y gestión del suelo natural, extendiéndose este concepto en todo EE.UU en los siguientes términos:

La infraestructura verde en nuestra nación es el sistema de soporte de la vida natural. Comprende una red interconectada de ríos, humedales, bosques, desiertos, suelos agrícolas y otras áreas naturales como vías verdes, parques, y demás suelos protegidos en los cuales se apoya la vida salvaje, al mismo tiempo que ayuda a mantener los procesos ecológicos, el aire limpio, los recursos hídricos y contribuye a la salud y calidad de vida de la población”Traducción propia de (Benedict y McMahon 2002, 3).

Benedict y McMahon (2006), directores de *The Conservation Fund* hacen aportes teóricos al respecto de cómo planificar infraestructuras verdes, con la intención de promoverlas como una estrategia de conservación de la biodiversidad, ellos plantean dos aproximaciones de definición como sustantivo y como adjetivo respectivamente:

Red interconectada de espacios naturales públicos o privados, suelo de valor agrícola y otros espacios abiertos protegidos, planificados y gestionados por sus recursos naturales y porque aportan beneficios sociales” (Benedict y McMahon 2006, 3). (Traducción propia)

“Describe un proceso que promueve un enfoque sistemático y estratégico para la conservación del suelo a escala nacional, estatal, regional y local, fomentando la planificación y buenas prácticas que benefician tanto a la naturaleza como a las personas (Benedict y McMahon 2006, 3) (Traducción propia).

Si seguimos el impacto que este concepto ha tenido fuera de EE.UU., vemos que Inglaterra lo importa y lo establece a escala nacional, cuando en 2007 introduce el término infraestructura verde en el *Planning Policy Statement 1 (PPS 1): Planning and Climate Change*, al hacer referencia a los suelos que han de protegerse porque favorecen la conservación de la biodiversidad y de ese modo ayudan a mitigar las consecuencias del cambio climático (Local Spatial Planning 2007). Un año más tarde en el *Planning Policy Statement 12: Local Spatial Planning* se define la infraestructura verde como:

Una red multifuncional de espacios abiertos, ya sean nuevos o existentes, rurales o urbanos, los cuales dan soporte a los procesos naturales y ecológicos, al mismo tiempo que es parte integral de la salud y calidad de vida de las comunidades sostenibles (Local Spatial Planning 2008, 5) (Traducción propia).



En 2009 *Natural England*, un organismo público no departamental encargado de guiar al gobierno en materia del medio ambiente natural, elabora un documento guía de la infraestructura verde en el que la define como una:

Red estratégicamente planeada que comprende la más amplia gama de espacios abiertos de alta calidad y otras características ambientales. Debe ser diseñada y gestionada como un recurso multifuncional capaz de suministrar servicios ecológicos y calidad de vida de los pobladores (Land Use Consultants 2009, 7) (Traducción propia).

En el mismo año el término infraestructura verde es introducido en el Libro Blanco de Adaptación al Cambio Climático de la Comunidad Europea, cuando se habla de estrategias para frenar la creciente pérdida de espacios naturales y suelo rural, la motivación principal para asumir esta iniciativa es la falta de efectividad del Proyecto Red Natura 2000, que a pesar de haber establecido un significativo número de áreas protegidas, las más valiosas en varios países europeos, se reconoce que no ha sido suficiente para cumplir con el objetivo principal de mantener la biodiversidad en el continente (Orellana 2014).

En 2013 la Comisión Europea de Medio Ambiente define la infraestructura verde como:

Una red de zonas naturales y semi naturales y de otros elementos ambientales, planificada de forma estratégica, diseñada y gestionada para la prestación de una extensa gama de servicios ecosistémicos. Incorpora espacios verdes (o azules en el caso de los ecosistemas acuáticos) y otros elementos físicos de espacios terrestres (incluidas las zonas costeras) y marinos. En los espacios terrestres, la infraestructura verde está presente en los entornos rurales y urbanos” (Unión Europea 2013, 23).

El uso del concepto infraestructura verde es especialmente útil en el presente estudio por dos razones, la primera porque ayuda a englobar en un solo concepto un conjunto muy variado de términos como: parques, áreas verdes, espacios abiertos, áreas protegidas, bosques, humedales, ríos, corredores ecológicos y otros suelos que conservan sus cualidades naturales y que son básicos para el soporte de la vida, ya sean estos urbanos o rurales.

La segunda corresponde a su enfoque holístico e integrador entendiendo a estas áreas no como la simple suma de espacios verdes sino como un sistema integrado de elementos

naturales que conforman una estructura coherente, cuya interrelación es la condición subyacente que le dota de sentido, y cuyos principios están basados en la ecología del paisaje.

### **2.2.2 La infraestructura verde y la ecología del paisaje**

La ecología del paisaje estudia tres características del paisaje: su estructura, función y cambios; la estructura entiende al paisaje como la suma de parches, corredores y matrices, la función en cambio estudia las interrelaciones entre esos componentes y el estudio de los cambios se refiere las alteraciones producidas en la estructura y sus funciones (Forman y Godron 1986).

Los parches o teselas son superficies no lineales cuyas características difieren de sus alrededores, y que varían en tamaño, forma, tipo, heterogeneidad y en las características de sus bordes y están generalmente embebidas en una matriz de mayor escala; los corredores son espacios lineales para el transporte, protección y fuente de recursos para las especies; la matriz es el tipo de cobertura dominante del paisaje y es la suma de diferentes tipos de parches y corredores dispersos que componen un solo mosaico y por lo tanto es el elemento más extenso y continuo de la totalidad del paisaje (Forman y Godron 1986).

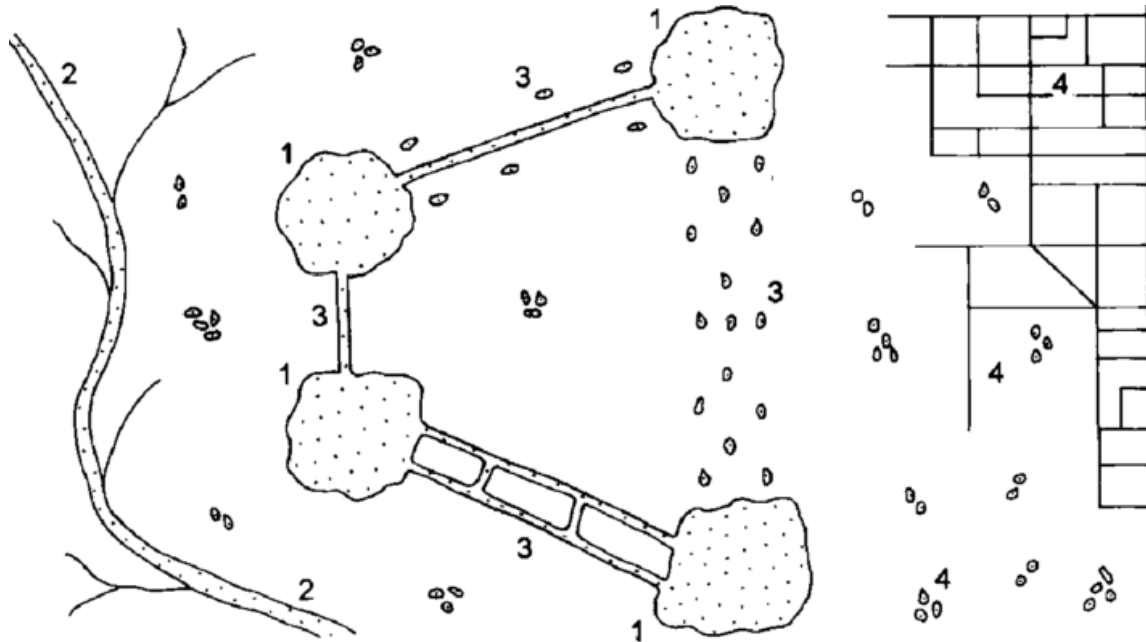
Forman (1995) en su libro *Land Mosaics. The Ecology of Landscapes and Regions* sugiere a los planificadores considerar 4 tipologías de espacios que no deben faltar en un territorio y que son imprescindibles en todo paisaje, y que en función de su nivel de importancia los ordena de la siguiente manera: amplios parches de vegetación natural; amplias áreas de vegetación a lo largo de los cursos de agua como ríos y quebradas; conectores que garanticen los movimientos de las especies entre parches, éstos pueden ser de dos tipos un conjunto de redes verdes continuas que interconecten los parches o la suma de pequeños parches conocidos como *stepping stones* dispuestos entre un parche y otro; y finalmente, la suma de pequeñas áreas heterogéneas dispersas dentro de las áreas urbanizadas (Forman 1995).

Este patrón espacial estructurado por parches, corredores y matriz es el principal axioma de la ecología del paisaje porque la composición de los elementos del paisaje determina su funcionamiento, particularmente en términos de movimientos de especies, nutrientes y flujos de materia y energía (Turner, 1989 citado en Ahern 2007).

Esta configuración espacial del paisaje mediante parches, corredores y matriz han sido aceptadas casi universalmente (Ahern 2007) y se ha adaptado a los espacios verdes urbanos,

en la (Tabla 2.1) se ejemplifican algunos espacios bajo la estructura de los elementos del paisaje: parches, corredores y matriz.

**Figura 0.3. Elementos prioritarios en la planificación de todo paisaje para garantizar su funcionalidad ecológica, según Richard Forman (1996)**



Fuente: Forman (1995, 452).

Nota: (1) grandes parches de vegetación natural, (2) vegetación a lo largo de ríos y/o quebradas / corredores fluviales, (3) conectividad entre parches y *stepping stones*, y (4) pequeñas áreas naturales.

**Tabla 2.1 Ejemplo de espacios urbanos clasificados en función de la estructura modelo de parche-corredor-matriz**

Parches Urbanos	Corredores Urbanos	Matriz Urbana
Parques	Ríos	Barrios residenciales
Campos deportivos	Canales	Distritos industriales
Humedales	Riberas de ríos	Rellenos Sanitarios
Huertos comunitarios	Caminos de drenaje	Áreas comerciales
Cementerios	Caminos	Distritos de usos mixtos
Campus		
Lotes Baldíos		

Fuente: Ahern (2007).

La conectividad en los espacios urbanos es especialmente reducida debido a que el tejido dominante es el suelo impermeabilizado, reduciendo a fragmentos aislados los suelos permeables con impactos significativos en los procesos ecológicos que requieren esa conectividad, por ello las visiones optimistas han visto a las redes de infraestructura vial como

oportunidades para la incorporación de vegetación arbórea que sirvan a la vez como corredores ecológicos (R. Wang, Eckelman, y Zimmerman 2013) (Tjallingii 2000).

### 2.2.3 Escalas de la infraestructura verde

La mayoría de las definiciones de infraestructura verde consideran su aplicación al suelo urbano y rural debido a la perspectiva sistémica de la ecología del paisaje, por ejemplo, en una matriz de escala regional una ciudad es un parche urbano impermeable cuyo sistema vial es el medio que permite los flujos de las actividades humanas pero también encontramos parches naturales como un parque periurbano interconectado a través del sistema fluvial con el resto del sistema montañoso. Esta misma lógica de parches, corredores y matrices se puede aplicar a escala urbana para componer con los espacios verdes existentes, y con la creación de nuevos, una infraestructura verde.

Según la Agencia de Medio Ambiente Europea (*EEA* por sus siglas en inglés) existen dos grandes categorías de infraestructura verde dependiendo de la escala de actuación: urbana y regional o *landscape scale*; aunque en ambos casos el objetivo de adecuar y proteger redes verdes es el mismo, los usos de suelo, la herramientas de gestión y los elementos espaciales que los componen no son los mismos (European Environment Agency 2011), la (tabla 2.2) evidencia que las mayores diferencias están en los beneficios que proveen, los elementos que la componen y las políticas públicas.

**Tabla 2.2. Características de la infraestructura verde según su escala**

<b>Características de la infraestructura verde</b>	<b>Escala Urbana</b>	<b>Escala Regional o <i>Landscape Scale</i></b>
<b>Descripción</b>	Desarrollo y protección de una red de espacios verdes multifuncional en medio-ambientes urbanos.	Desarrollo y protección de una red de espacios verdes multifuncional en medio-ambientes urbanos.
<b>Matriz / obstáculos</b>	- Ambientes urbanos construidos	- Suelos de agricultura intensiva - Áreas construidas - Infraestructura gris
<b>Beneficios clave asociados</b>	- Mitigación de la isla de calor urbana. - Gestión de escorrentía - Retención de agua para evitar inundaciones	- Migración de especies - Retención de agua

	- Placer visual y disfrute de la naturaleza - Habitación de especies	
<b>Estructura</b>	Parques – parterres arbolados – cubiertas verdes – huertos urbanos – humedales al interior de las ciudades.	- Parques nacionales – reservas ecológicas y otras áreas protegidas - Ríos – arroyos - Superposición con el término de red ecológica
<b>Ejemplos de disciplinas que aplican el concepto</b>	- Planeamiento urbano - Arquitectura del paisaje - Gestión medioambiental	- Conservación de especies - Planeamiento territorial - Gestión medioambiental
<b>Políticas</b>	- Calidad de vida de las ciudades - Protección de la biodiversidad - Adaptación al cambio climático - Mitigación del cambio climático	- Protección de la biodiversidad - Adaptación al cambio climático

*Fuente:* Elaborado por la autora con base en European Environment Agency (2011, 31).

Las problemáticas ambientales de las áreas urbanas son diferentes a las de espacios rurales, aspectos como inundaciones por agua de escorrentía o almacenamiento de calor son fenómenos que ocurren principalmente en áreas edificadas, mientras que la pérdida de suelo agrícola o la fragmentación de los ecosistemas son asuntos que aquejan a las zonas rurales periurbanas, es por ello que los beneficios, la estructura y las políticas de la infraestructura verde, entre otros aspectos que se amplía en la (tabla 2.2), son diferentes dependiendo de la escala de aplicación.

Existen otras clasificaciones de infraestructura verde que desagregan aún más las escalas, por ejemplo *Landscape Institute* sugiere tres grupos: regional, urbana y barrial, en la (tabla 2.3) se detallan algunos de los elementos según estas escalas. Otros autores como Ahern (2007) establecen que en ambientes urbanos las escalas apropiadas son las ciudades o regiones metropolitanas, los distritos o barrios y los sitios puntuales o edificios.

**Tabla 2.3. Elementos componentes de la infraestructura verde y sus escalas**

<b>REGIONAL (Ciudad región y nacional)</b>	<b>CIUDAD (Distrital)</b>	<b>LOCAL (Barrial)</b>
Parques nacionales	Parques distritales	Calles arboladas

Parques regionales	Parques urbanos	Techos y paredes verdes
Ríos y sus llanuras aluviales	Canales urbanos	Parques de bolsillo
Costas	Frentes de agua	Jardines privados
Senderos estratégicos de larga distancia	Lagos	Derechos de vía (retiros)
Bosques	Ríos o llanuras aluviales	Reservas naturales locales
Embalses	Bosques comunitarios	Cementerios
Redes de carreteras u ferrocarriles	Tierra agrícola	Patios de centros educativos
Cinturones verdes	Concesiones mineras abandonadas	Senderos peatonales y ciclovías
Tierras comunales	Suelos contaminados o degradados	Lagunas o humedales pequeños
Campos agrícolas	Antiguos rellenos sanitarios	Lotes baldíos

*Fuente:* Elaborado por la autora con base en *Landscape Institute* (2009, 6)

En el presente trabajo nos enfocamos al análisis de la infraestructura verde de escala urbana propuesta por la Agencia de Medio Ambiente Europea considerando su desagregación a escalas de barrio e individuales sugeridas por *Landscape Institute* (2009) y Ahern (2007).

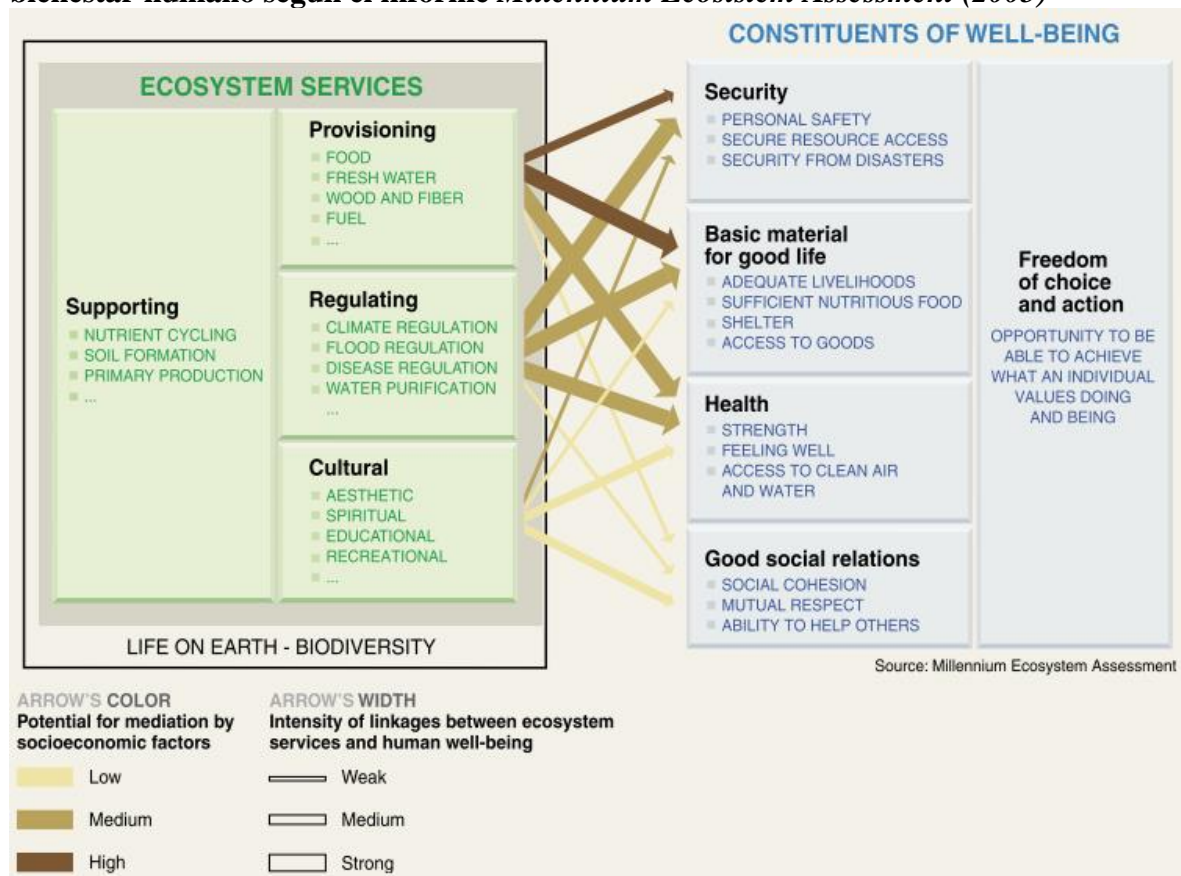
#### **2.2.4 La multifuncionalidad de la Infraestructura verde**

Un rasgo fundamental de este concepto es su multifuncionalidad, la infraestructura verde estructurada bajo los principios de la ecología del paisaje permite cumplir un amplio rango de funciones en contraposición con la mono funcionalidad de la infraestructura gris como redes viales de transporte o drenaje (European Commission 2012) (Benedict y McMahon 2006), pero al igual que existe amplia variedad de conceptos también hay varias categorizaciones de dichas funciones, por ejemplo, para Ahern (1995) (2007) estas son de tres tipos: bióticos, abióticos y culturales; en cambio Natural England (2009), institución que aborda la IV desde la gestión, estas funciones son ambientales, sociales y económicas, de manera similar la Comisión Europea (2013) explica que la IV brinda servicios ecológicos, económicos y sociales; pero el marco más completo para hablar de multifuncionalidad es el concepto de servicios ecosistémicos, varios autores vinculan IV y servicios ecosistémicos para superar los aspectos puramente estéticos y mediáticos del concepto de la infraestructura verde (Kopperoinen, Itkonen, y Niemelä 2014) (Liquete et al. 2015) (Cameron y Blanuša 2016) (du Toit et al. 2018) (Artmann, Bastian, y Grunewald 2017).

Elrich y Elrich (1981) introducen por primera vez el concepto de servicios ambientales con el objetivo de concienciar sobre la importancia de conservación de los ecosistemas, la

popularidad de esta propuesta se consolida a partir entre 2001 a 2005 con el informe *Millennium Ecosystem Assessment (MA)* que se convierte en un concepto clave para formular políticas de gestión ambiental. Los servicios ecosistémicos se definen como los beneficios que se obtienen de los ecosistemas cuya alteración afecta directamente a las personas (Leemans et al. 2003); aunque los términos función, servicios y beneficios están relacionados, existe diferenciación entre conceptos, Gómez-Baggethun y De Groot (2010) explican que pueden ser entendidos en cascada, desde los procesos naturales de los ecosistemas, a los que definimos como funciones, hasta servicios directos que proveen beneficios a la sociedad, en la (Figura 2.4) se muestran las cuatro grandes categorías de servicios ecosistémicos según el MA: soporte, aprovisionamiento, regulación y cultural con relación al bienestar humano.

**Figura 2.4. Vínculos entre categorías de servicios ecosistémicos y componentes del bienestar humano según el informe *Millennium Ecosystem Assessment (2005)***



Fuente: Reid et al. (2005, 50).

El servicio de soporte corresponde a la capacidad de los ecosistemas primarios y secundarios de regular procesos ecológicos y ciclos biogeoquímicos, por ejemplo, los ciclos de nutrientes o la formación del suelo son procesos que dan soporte al resto de servicios ecosistémicos, el servicio de aprovisionamiento corresponde al conjunto de productos que se obtienen de los

ecosistemas como agua o alimentos, el servicio de regulación incluye los beneficios producto de los ciclos naturales como el ciclo hídrico o la regulación del clima y los servicios culturales incluyen los beneficios intangibles que se obtienen de los ecosistemas como los valores estéticos, el sentido de lugar o aspectos espirituales y religiosos.

El concepto de servicios ecosistémicos nace con el objetivo de traducir la complejidad ecológica de un amplio conjunto de procesos naturales a un conjunto limitado de funciones ecosistémicas (Gómez-Baggethun y De Groot 2010), el principal objetivo de la evaluación ecosistémica del milenio es desarrollar una teoría robusta para la conservación e incidir en las políticas ambientales de los países (Reid et al. 2005).

**Tabla 2.4. Servicios Ecosistémicos según la *Millennium Ecosystem Assessment***

<b>Servicios de Aprovechamiento</b>	<b>Servicios de Regulación</b>	<b>Servicios Culturales</b>
Productos obtenidos de los ecosistemas	Beneficios obtenidos de los procesos de regulación de los ecosistemas	Beneficios intangibles de los ecosistemas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alimentos</li> <li>• Fibras</li> <li>• Recursos genéticos</li> <li>• Medicina</li> <li>• Agua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regulación de la calidad del aire</li> <li>• <b>Regulación del clima</b></li> <li>• Regulación del agua</li> <li>• Purificación de agua y transformación de residuos orgánicos</li> <li>• Regulación de enfermedades</li> <li>• Regulación de plagas</li> <li>• Polinización</li> <li>• Regulación de peligros naturales</li> <li>• Habitación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diversidad cultural</li> <li>• Valores espirituales y religiosos</li> <li>• Sistema de conocimiento</li> <li>• Valores educativos</li> <li>• Inspiración</li> <li>• Valores estéticos</li> <li>• Relaciones sociales</li> <li>• Sentido de lugar</li> <li>• Patrimonio cultural</li> <li>• Recreación</li> </ul>
<b>Servicios de Soporte</b>		
Necesarios para la producción de los otros tres servicios ecosistémicos		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formación de suelo <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fotosíntesis</li> </ul> </li> <li>• Producción primaria</li> <li>• Reciclaje de nutrientes <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ciclo hídrico</li> </ul> </li> </ul>		

*Fuente:* Elaborado por la autora con base en Leemans et al. (2003, 57) y Reid et al. (2000, 50).

La infraestructura verde de escala urbana cumple con los servicios ecosistémicos de soporte, aprovisionamiento, regulación y culturales. Como ya se explicó anteriormente y se detalló en



la (Tabla 2.2) las problemáticas ambientales de las áreas urbanas son diferentes a las de espacios rurales, por esos motivos algunos servicios son más relevantes que otros, por ejemplo, los más estudiados son los servicios de regulación (du Toit et al. 2018) (Cameron y Blanuša 2016) y los servicios culturales como salud emocional, reducción del estrés o recreación (Matsuoka y Kaplan 2008).

Adicionalmente la concentración de población en áreas urbanas genera más demanda de los beneficios producidos por los ecosistemas (Artmann, Bastian, y Grunewald 2017).

**Tabla 2.1 Ejemplo de espacios urbanos clasificados en función de la estructura modelo de parche-corredor-matriz**

<b>Servicios de Aprovechamiento</b>	<b>Servicios de Regulación</b>	<b>Servicios Culturales</b>
Productos obtenidos de los ecosistemas	Beneficios obtenidos de los procesos de regulación de los ecosistemas	Beneficios intangibles de los ecosistemas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alimento (agricultura urbana)</li> <li>• Recursos genéticos</li> <li>• Medicina</li> <li>• Agua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regulación de la calidad del aire (almacenamiento y secuestro de carbono)</li> <li>• Reducción de ruido</li> <li>• Rompe vientos</li> <li>• <b>Regulación térmica</b></li> <li>• Regulación del agua de escorrentía</li> <li>• Purificación de agua y transformación de residuos orgánicos</li> <li>• Polinización</li> <li>• Regulación de peligros naturales</li> <li>• Conservación de Habitación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diversidad cultural</li> <li>• Valores espirituales y religiosos</li> <li>• Sistema de conocimiento</li> <li>• Valores educativos</li> <li>• Inspiración</li> <li>• Valores estéticos</li> <li>• Relaciones sociales</li> <li>• Sentido de lugar</li> <li>• Patrimonio cultural</li> <li>• Recreación</li> <li>• Turismo</li> </ul>
<b>Servicios de Soporte</b>		
Necesarios para la producción de los otros tres servicios ecosistémicos		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fotosíntesis</li> <li>• Producción primaria</li> <li>• Reciclaje de nutrientes</li> <li>• Ciclo hídrico</li> </ul>		

*Fuente:* Elaborado por la autora con base en Toit et al. (2018) y Artmann et al. (2017, 50).

### 2.2.5 Isla de calor: Definiciones y caracterización

El efecto de la isla de calor es una modificación atmosférica atribuida a la urbanización, la sustitución de las características naturales del suelo modifican radicalmente el balance hídrico y energético porque las propiedades aerodinámicas, radiativas, térmicas y de humedad en las áreas urbanas cambian; sin embargo, su comportamiento no es estandarizado porque la ICU no es el resultado de uno solo de estos factores, sino de la combinación de varios (Timothy R. Oke y Maxwell 1975).

Por lo tanto, cada ciudad tendrá comportamientos diversos en función de factores como: liberación de calor antropogénico, capacidad calorífica de los materiales de construcción, disminución de superficies de evapotranspiración, captura de radiación de onda larga debajo del nivel del techo, aumento de contra radiación producida por la contaminación del aire y retención de calor entre los edificios (Timothy R. Oke y Maxwell 1975).

Tres horas después del atardecer el área urbana alcanza el máximo de temperatura (invierno y verano) para empezar a descender lentamente, aproximadamente 5 horas después se enfría llegando al mínimo diario, en contraste con las áreas rurales que su enfriamiento es abrupto después del atardecer porque es más sensible al viento y a las nubes (Timothy R. Oke y Maxwell 1975).

La intensidad de la Isla de calor se entiende como la diferencia máxima de temperatura entre el área urbana versus la rural y se resume mediante la fórmula (1) (T. R. Oke y Meteorologique Mondiale 1974):

$$\Delta T_{u-r} = \text{Temperatura máxima urbana} - \text{Temperatura máxima rural} \quad (1)$$

Existen diferentes tipos de variaciones de intensidad de isla de calor dependiendo de la medición temporal; la diurna en donde la  $\Delta T_{u-r}$  suele ser entre 3 a 5 horas después del atardecer; la semanal que ayuda a determinar la  $\Delta T_{u-r}$  con el ciclo de actividades antropogénicas; la estacional que evidencia las variaciones climatológicas la vegetación y los cambios antropogénicos y la anual cuyo resultado refleja el crecimiento urbano (T. R. Oke y Meteorologique Mondiale 1974).

### 2.2.6 Tipologías de islas de calor

La primera categoría de islas de calor urbano contempla la temperatura superficial y la atmosférica (Akbari et al. 2008), el primer caso corresponde a la temperatura de las cubiertas

de los edificios y el suelo de los espacios públicos y privados sin edificar; y en el segundo caso a la temperatura atmosférica. Estos dos tipos de islas de calor son determinadas mediante diferentes procesos, en la (Tabla 2.6) se detalla estas características.

**Tabla 2.6. Características básicas de las islas de calor superficial y atmosférica**

<b>Características</b>	<b>Isla de calor superficial</b>	<b>Islas de calor atmosférica</b>
<b>Desarrollo Temporal</b>	- Presente durante el día y la noche.  - Más intenso durante el día y en el verano	Durante el día la ICU es probablemente baja o inexistente.  ICU más intensa en la noche, antes del amanecer y en el invierno.
<b>Picos de intensidad de la isla de calor urbana</b>	Más variación espacial y temporal: - Día: 10 a 15° C - Noche: 5 a 10° C	Menos variación: - Día: -1 a 3° C - Noche: 7 a 12° C
<b>Métodos de identificación</b>	Medición indirecta a través de sensores remotos	Medición directa a través de estaciones climáticas fijas y móviles
<b>Modos de representación gráfica</b>	Imágenes térmicas	Mapa de isotermas y gráficos de temperatura

*Fuente:* Elaborado por la autora con base en Akbari et al. (2008, 2).

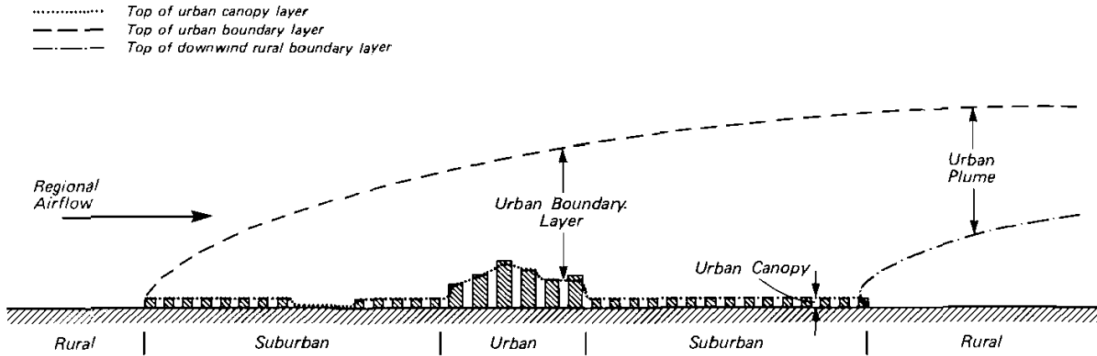
Oke (1976) propone al menos dos tipos de islas de calor atmosféricas producidas por las condiciones de urbanización: una de microescala y otra de mesoescala, la primera está influida por la naturaleza de su entorno inmediato como materialidad, la vegetación y la geometría de los edificios; la de mesoescala incluye todo el conjunto urbano y su influencia en el aire que lo cubre.

**Urban Canopy Layer (UCL)** o capa de dosel urbano (CDU): Corresponde a la microescala y es el espacio contenido entre el nivel del suelo terrestre y la cubierta de los edificios y cumbres de los árboles, es decir, el área en donde la gente vive y se desarrollan las actividades humanas (T. Oke 1976) (T. Oke 1982) (Akbari et al. 2008).

**Urban Boundary Layer (UBL)** o capa del límite urbano (CLU): Corresponde a la mesoescala y es el espacio que está sobre la CDU y va desde la cubierta de los edificios y cumbres de los árboles hasta la zona en donde la urbanización deja de influir en la atmósfera, esta zona generalmente se extiende hasta 1,5 km hacia arriba desde el suelo terrestre (T. Oke 1976) (T. Oke 1982) (Akbari et al. 2008). La CLU es más imprecisa debido a la naturaleza de la

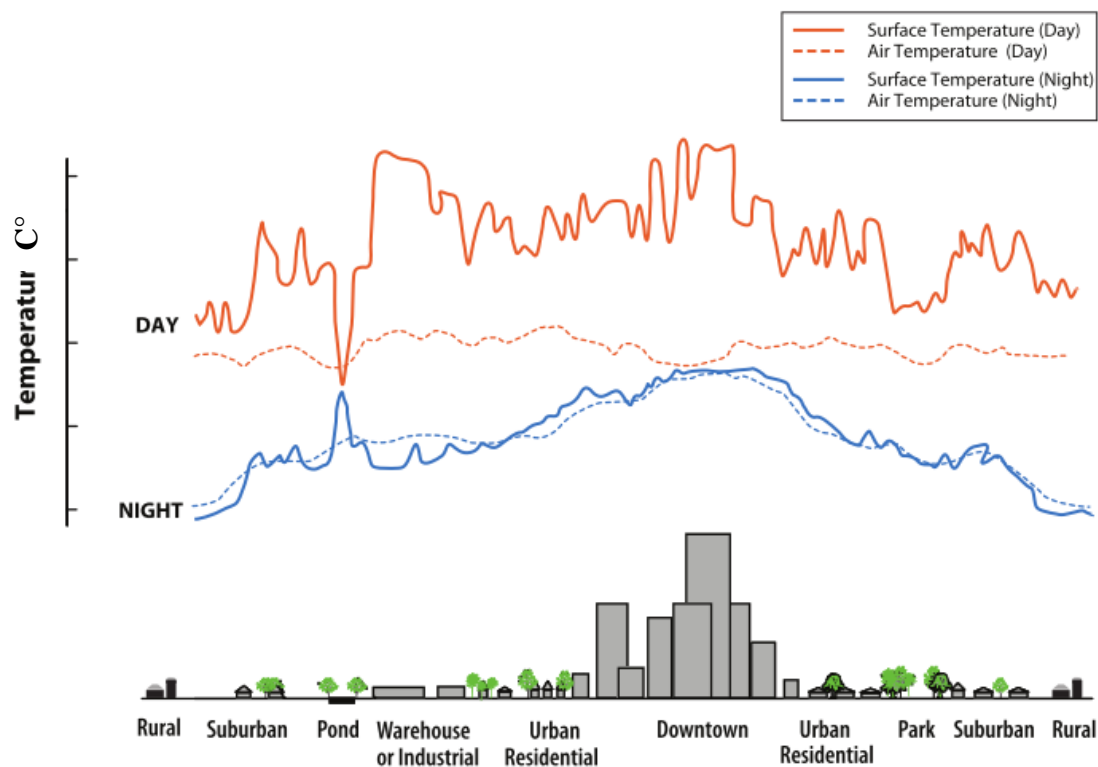
superficie urbana, factores como la vegetación existente en el dosel urbano y de las condiciones del viento.

**Figura 2.5. Esquema propuesto por Oke (1976) de la isla de calor a micro y meso escala**



Fuente: Oke (1976, 275).

**Figura 2.6. Variación de las temperaturas superficial y atmosférica**



Fuente: Akbari et al. (2008, 4).

La isla de calor urbano es más intensa en días con cielos despejados y de poco viento, en cambio los días nublados bloquean la radiación solar reduciendo el tiempo de calentamiento de las ciudades, y los fuertes vientos incrementan la mezcla atmosférica disminuyendo la diferencia térmica urbano rural (Akbari et al. 2008).

Está comprobado que la temperatura superficial varía más y es mayor con relación a la temperatura del aire, llegando a superarla entre 27 a 50° C durante el día (Figura 2.6); sin embargo, la temperatura superficial influye de manera indirecta, pero significativa, sobre la temperatura del aire, especialmente en la capa de dosel urbano, así por ejemplo, los parques y otras áreas con vegetación que tienen patrones de temperaturas superficiales más bajas, contribuyen a la disminución de la temperatura ambiente (Akbari et al. 2008).

### 2.2.7 Balance radiativo

El balance radiativo se resume mediante la fórmula (2):

$$Q^* = K \downarrow - K \uparrow + L \downarrow - L \uparrow \quad (2)$$

En donde  $Q^*$  es el total de la radiación neta producto de la entrada y salida de radiación solar de onda corta y onda larga;  $K \downarrow$  es la radiación de onda corta que ingresa a la superficie terrestre,  $K \uparrow$  son las ondas cortas de radiación reflejadas en la atmósfera,  $L \downarrow$  es la radiación de

onda larga emitida por la atmósfera a la superficie, y,  $L\uparrow$  la radiación de onda larga reflejada por la superficie.

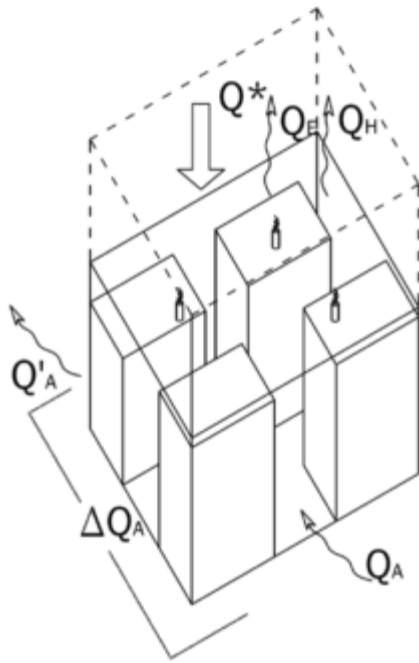
La onda corta o ultravioleta se queda atrapada en la atmósfera por el ozono y el oxígeno y no llega a la superficie terrestre. Existe atenuación del 15 al 20% de la onda corta sobre la atmósfera de las ciudades debido a la contaminación, es decir que la energía queda atrapada dependiendo de los componentes contaminantes encontrados en la atmósfera (T. R. Oke y Meteorologique Mondiale 1974).

La onda larga o infrarrojo atraviesa la atmósfera y llega a la superficie terrestre, es por ello que el comportamiento energético de este tipo de onda depende en gran medida del tipo de superficie y su albedo, las ciudades por ejemplo, tienen generalmente un albedo bajo de 0,1 a 0,3 que absorben calor, y al contrario, los suelos naturales como cultivos, agua y bosques tienen mayores albedos que reflejan la radiación (T. R. Oke y Meteorologique Mondiale 1974).

Esta radiación reflejada se denomina contraradiación y es responsable en gran parte del calentamiento del aire superficial terrestre, de hecho el 51% de la energía solar que ingresa a la tierra se transforma en onda larga o infrarrojo, a ello se suma la irradianza de la onda corta almacenada en la atmósfera; de hecho, la atmósfera no se calienta de manera directa por el sol, sino desde el suelo hacia arriba (Inzunza s.f).

Es por este motivo que el balance radiativo de áreas urbanas difiere de las áreas rurales, en lo urbano las ganancias radiativas durante el día son muy altas, debido a la contraradiación y a superficies impermeabilizadas de bajo albedo, se almacena calor que se pierde lentamente durante la noche. En el caso de las áreas rurales la radiación diurna es aprovechada para los procesos de fotosíntesis, tiene baja contraradiación debido al alto albedo de la vegetación y su pérdida de temperatura es rápida al llegar la noche.

**Figura 2.7. Esquema del volumen de control y del flujo energético en el ambiente urbano**



Fuente: Tumini (2013).

### 2.2.8 Balance hídrico

El balance hídrico en áreas urbanas se resume mediante la fórmula (3) (T. R. Oke y Meteorologique Mondiale 1974):

$$P + I + C = E + \Delta r + \Delta f \quad (3)$$

En donde P es precipitación, I suministro de agua importada, C humedad liberada por actividades antropogénicas en los procesos de combustión, E evapotranspiración y/o condensación,  $\Delta r$  escorrentía neta y  $\Delta f$  almacenamiento neto. Desde un punto de vista climatológico los componentes más importantes son la precipitación y la evapotranspiración, esta última porque determina el nivel de humedad atmosférica y porque libera un alto nivel de energía en el cambio de estado del agua, vinculando el balance hídrico con el energético (T. R. Oke y Meteorologique Mondiale 1974).

Lull y Sopper (1969) estimaron que la evapotranspiración potencial anual se reduce en un 19%, 38% y 59% si la superficie de una cuenca forestal se impermeabiliza el 25%, 50% y 75% respectivamente.

El proceso de urbanización cambia las proporciones de todos los componentes de la ecuación frente a una situación rural sin alteraciones, esto implica que las ciudades son una fuente de humedad relativa o de sumidero dependiendo de sus características físicas; los suelos urbanos intervienen en la intercepción y almacenaje de las precipitaciones, además hay más lluvias fuertes y granizo, de hecho, estudios de celdas de lluvia demuestran que a mayor población y extensión urbana la probabilidad de lluvias aumenta un 30% (T. R. Oke y Meteorologique Mondiale 1974).

**Tabla 2.7. Cambios en la hidrología de la superficie debido a la urbanización**

P	Aumento	Aumento térmico debido a la combustión de actividades antropogénicas
I	Aumento	Suministro de agua entubada
C	Aumento	Sin contraparte en el área rural
E	Disminución	Reducción de superficies con vegetación que permitan la evapotranspiración
$\Delta r$	Aumento	Baja permeabilidad y canalización
$\Delta f$	Disminución	Poca o nula intercepción o infiltración

*Fuente:* Elaborado por la autora con base en Oke y Meteorologique Mondiale (1974, 20).

### 2.2.9 Balance energético

El balance energético se resume mediante la fórmula (4) (T. R. Oke y Meteorologique Mondiale 1974):

$$Q^* + QF = QH + QE + QG \quad (4)$$

En donde  $Q^*$  corresponde al balance radiativo,  $Q_F$  al calor antropogénico por combustión y metabolismo,  $Q_H$  el calor sensible<sup>2</sup>,  $Q_E$  el calor latente<sup>3</sup>, y  $Q_G$  el calor infra superficie o almacenado. Existe una dificultad de cálculo en el caso urbano debido a la complejidad de factores, es por ello que se suma al balance radiativo el calor antropogénico; además el calor sensible se ve reforzado por la rugosidad<sup>4</sup> y variedad de los edificios en las áreas urbanas, de hecho, es mayor en áreas urbanas en comparación con las rurales durante todo el año, en

<sup>2</sup> Calor sensible es aquel que recibe un cuerpo o un objeto y hace que aumente su temperatura sin afectar su estructura molecular y por lo tanto su estado.

<sup>3</sup> El calor latente es la energía requerida por una cantidad de sustancia para cambiar de fase, de sólido a líquido (calor de fusión) o de líquido a gaseoso (calor de vaporización).

<sup>4</sup> Entendida como las características morfológicas de las fachadas y la continuidad o espacios dejados entre ellas.



cambio, el calor infra superficial se ve afectado por la materialidad de los edificios y es menor en áreas urbanas (T. R. Oke y Meteorologique Mondiale 1974).

En definitiva, el conjunto de edificaciones actúa como sumidero de energía en sentido vertical y horizontal en la superficie de dosel urbano, generando un efecto advectivo constante a microescala (T. R. Oke y Meteorologique Mondiale 1974).

### **2.2.10 Efectos negativos de la isla de calor urbano**

El fenómeno de isla de calor urbano incrementa el nivel de consumo energético, intensifica la emisión de contaminantes y gases de efecto invernadero, afecta al confort y a la salud de los ciudadanos; y, deteriora la calidad del agua.

La elevada temperatura en las ciudades demanda mayor energía para climatizar los edificios, en Estados Unidos se ha identificado el aumento del 5 al 10% de demanda eléctrica para el uso de aire acondicionado (Akbari 2005), en Guayaquil actualmente solo el 15% de edificios usa aire acondicionado pero es muy probable que aumente significativamente en viviendas y oficinas, además, se ha identificado a través de simulaciones que en el futuro habrá un aumento térmico del aire de 6 a 10° C (Palme et al. 2016).

## **2.3 Estado del Arte**

### **2.3.1 Influencia de la vegetación en la regulación climática**

Uno de los servicios ecosistémicos de la vegetación en áreas urbanas es la regulación del clima, el rol termorregulador es localizado y se debe a cuatro mecanismos distintos: a la sombra proyectada sobre suelo construido, a la evapotranspiración debido a la conversión del calor sensible en calor latente a través de la combinación de pérdida de agua de las hojas por transpiración y pérdida de agua del suelo por evaporación, a la transformación de una pequeña porción de energía térmica a energía química a través de la fotosíntesis, y finalmente, el efecto albedo que refleja la energía solar entrante de vuelta a la atmósfera reduciendo el potencial de irradiancia de onda corta y transformándola en onda larga o infrarroja (Tan et al. 2018) (Cameron y Blanuša 2016).

Doick et al (2014) plantean adicionalmente dos procesos termorreguladores indirectos, la retención de contaminantes como el material particulado y la reducción de escorrentía; en el primer caso, la eliminación de partículas en el aire reduce la dispersión atmosférica y con ello

la absorción de radiación de onda corta que influye en el equilibrio radiativo, en el segundo caso, la capacidad foliar de interceptar el agua lluvia de árboles y arbustos determinará el potencial de agua que posteriormente será evapotranspirada (Doick, Peace, y Hutchings 2014) Aunque el efecto de enfriamiento es claramente significativo al interior de los parques con relación a sus alrededores urbanizados, existe evidencia científica de su influencia en áreas aledañas, dicha influencia es directamente proporcional a las dimensiones de los parques, es decir que a mayor dimensión mayores serán los efectos de enfriamiento llegando a extenderse decenas de metros a sus alrededores, por ejemplo Jáuregui (1990) analiza el parque Chapultepec con 525 ha en Ciudad de México demostrando una diferencia térmica que varía entre 3 a 4° C al interior del parque con relación a sus alrededores y sus efectos térmicos alcanzan una distancia de hasta 2 km.

Vaz Monteiro et al. (2016) analizan la distancia horizontal de enfriamiento producida por 8 parques urbanos en la ciudad de Londres comprobando que aquellos parques menores a 0,5 ha con un 70% de suelo permeable no tienen ningún efecto en la disminución de temperatura, aquellos comprendidos entre 0,51 ha a 5 ha con el 93% de césped y el 48% de árboles tiene una influencia que varía entre 30 a 120 metros a su alrededor, mientras que los parques con 5 a 15 ha con el 90% de césped y el 50% de árboles influye entre 175 a 320 metros a su alrededor (Vaz Monteiro et al. 2016).

Los resultados de Vaz Monteiro et al. (2016) los lleva a sugerir la necesidad de ubicar parques con una distancia de 100m a 300m entre ellos para cubrir el tejido urbano completo de su efecto termorregulador. En cambio Shashua y Hoffman (2000) en Tel-Aviv mediante modelación aplicada a los meses de verano sugieren diseñar una red de pequeños parques de 1000 m<sup>2</sup> separados 200 m entre sí para lograr los efectos termorreguladores de la vegetación (Shashua-Bar y Hoffman 2000).

Un monitoreo térmico durante 5 meses realizado en los parques de mayor extensión en Londres (110 ha. a 140 ha.) demostró un enfriamiento durante la noche de hasta 4° C a una distancia superior de 440 m a sus alrededores, se registró la temperatura sobre los parques y las calles aledañas para detectar la influencia de enfriamiento horizontal resultando un rango estimado entre 20m hasta 440 m, el promedio de reducción de temperatura en este rango es de 1,1° C en meses de verano con un máximo de 4° C registradas en algunas noches (Doick, Peace, y Hutchings 2014).

Existe el supuesto generalizado de que todas las áreas verdes poseen iguales beneficios, sin embargo Cameron y Blanusa (2016) recopilan varios estudios que demuestran la importancia de la elección de la especie, no todas las plantas responden de manera similar ni proporcionan los mismos servicios ecosistémicos, por ejemplo algunas especies tienen altas tasas de evapotranspiración en comparación con otras o las claras coloraciones y los grandes tamaños de las hojas serán más efectivas en el enfriamiento, entre otros aspectos.

El estado del arte demuestra la efectividad de los efectos termorreguladores y evidencia el alto nivel de complejidad sumado a la amplia gama de estudios que particularizan los efectos de la vegetación sobre la temperatura; no basta con la cuantificación de índice verde, como generalmente se realiza, sino un estudio más profundo que incluya factores como la escala, la dispersión, sus entornos inmediatos, las especies, su mantenimiento, entre otros aspectos. El presente estudio es una primera aproximación a demostrar y analizar en qué medida la vegetación influye en la regulación térmica centrándonos en dos escalas, una urbana que evalúa algunos parques y otra local que mide los efectos termorreguladores del arbolado en acera y parterre.

### **2.3.2 Estudios de isla de calor en Ecuador**

En Ecuador encontramos literatura del fenómeno de isla de calor en artículos científicos y en tesis de tercer y cuarto nivel, todos estos estudios buscan corroborar la existencia del fenómeno de isla de calor en alguna ciudad del país. La mayor cantidad de casos de estudio se centra en Guayaquil debido a su clima local costero y al alta demanda energética para acondicionar el interior de los edificios; según Palme et al. (2016) actualmente solo el 15% del entorno construido de Guayaquil utiliza aire acondicionado y se espera un crecimiento en el futuro.

Palme et al. (2016) determinan una isla de calor en la ciudad de Guayaquil que varía entre 2,2 a 4,7° C, su método es aproximativo a través de una simulación de la intensidad de la isla de calor urbana usando la herramienta *Urban Weather Generator*. Se introducen en la herramienta tres tipos de parámetros: propiedades de albedo y emisividad de los materiales de cubierta comúnmente usados en Guayaquil, la morfología urbana que incluye densidades, altura de edificaciones y áreas verdes; y las condiciones climáticas locales.

Usando una imagen satelital de 2010 clasifican 8 zonas en función de la morfología urbana, en el centro se ubican edificios altos con un promedio de altura de 30 metros, mientras que en la periferia el promedio alcanza los 5 metros de altura, al mismo tiempo, la morfología de la periferia es muy diversa y la clasifican en los nuevos crecimientos (vías de tierra) y en las periferias históricas (vías asfaltadas).

En estas 8 zonas se simula la intensidad de la ICU a nivel de calle con dos escenarios: un día soleado y otro nublado. La simulación expone en el primer caso una ICU que varía entre 4 a 4,7° C durante la noche, durante el día en cambio se proyecta una ICU negativa probablemente por la sombra causada por los edificios y el alto albedo de las superficies. En el segundo caso la ICU nocturna varía entre 2,2 a 3,5° y durante el día también se proyecta una ICU positiva pero con baja intensidad (0,2 a 0,6° C) (Palme et al. 2016).

Una conclusión especialmente interesante es que “el factor más influyente de la ICU resultante parece ser la cobertura vegetal porque en las zonas 2, 7 y 8, de mayor cobertura vegetal, se registra la menor intensidad durante las 24 horas” Traducido de (Palme et al. 2016, 13).

Portés et al. (2017) comprueba la existencia de una isla de calor de 5,32° C en la ciudad de Guayaquil, una magnitud igual a la de las grandes metrópolis. Los autores parten de la hipótesis de que a mayor densidad edificatoria mayor será la ICU debido a la concentración de masa construida y a la intensidad de las actividades humanas en el interior de los edificios que demandan acondicionamiento del aire expulsando más calor en su exterior (Portés, Burneo, Zambrano, y Jairala, 2017). Por esos motivos el análisis se circunscribe a lo largo del Boulevard 9 de octubre en donde se concentran las actividades comerciales y empresariales con los edificios más altos de la ciudad, es decir en donde existe la mayor masa edificada por metro cuadrado.

**Figura 2.8. Resultados de la intensidad de la isla de calor en la ciudad de Guayaquil mediante simulación con la herramienta *Urban Weather Generator***

**A. Día soleado**

	6.00		12.00		18.00		24.00	
	T (°C)	UHI (°C)	T (°C)	UHI (°C)	T (°C)	UHI (°C)	T (°C)	UHI (°C)
Location 1	25.5	1.9	30.0	-0.7	32.5	2.5	30.0	4.5
Location 2	26.2	2.7	29.5	-1.2	32.2	2.2	30.0	4.5
Location 3	26.1	2.6	30.0	-0.7	32.7	2.7	30.2	4.7
Location 4	26.0	2.5	30.0	-0.7	32.7	2.7	30.1	4.6
Location 5	25.6	2.0	30.4	-0.3	33.0	3.0	29.7	4.2
Location 6	25.5	1.9	29.5	-1.2	31.7	1.7	29.5	4.0
Location 7	25.5	1.9	29.7	-1.0	32.3	2.3	29.7	4.2
Location 8	26.1	2.6	30.0	-0.7	32.6	2.6	30.2	4.7

**B. Día nublado**

	6.00		12.00		18.00		24.00	
	T (°C)	UHI (°C)	T (°C)	UHI (°C)	T (°C)	UHI (°C)	T (°C)	UHI (°C)
Location 1	27.0	2.8	29.0	0.2	30.0	2.0	28.7	3.5
Location 2	27.0	2.8	28.2	-0.6	29.7	1.7	28.0	2.8
Location 3	27.0	2.8	29.0	0.2	30.0	2.0	28.2	3.0
Location 4	27.0	2.8	29.0	0.2	30.0	2.0	28.2	3.0
Location 5	26.2	2.0	29.1	0.3	31.0	3.0	27.8	2.6
Location 6	26.2	2.0	28.2	-0.6	29.5	1.5	27.4	2.2
Location 7	26.5	2.3	28.2	-0.6	29.7	1.7	27.4	2.2
Location 8	27.0	2.8	29.0	0.2	30.0	2.0	28.2	3.0

*Fuente:* Palme et al. (2016, 12).

Recorriendo vehicularmente con un termo-higrómetro digital introducido en una caseta meteorológica portátil, se toma la temperatura nocturna a lo largo del Boulevard con una longitud de 1923 m y con 23 intersecciones viales. Durante 15 días consecutivos se registra la temperatura en cada intersección durante un recorrido completo que no superó los 30 minutos en ninguno de los casos (Portés et al. 2017).

Al comparar los resultados obtenidos con una estación meteorológica ubicada fuera del casco urbano se evidencia una ICU de 5,32° C. Utilizando el factor vista cielo (SVF siglas en inglés) a lo largo del Boulevard se comprueba que a mayor altura de edificación mayor es la intensidad de la ICU:

En donde hay más edificios altos congregados no hay suficiente cielo visible para que se produzca un intercambio térmico eficiente entre las capas adyacentes al límite del palio urbano a diferencia de donde están los de menor altura (Portés et al. 2017, 104).

Sánchez (2018) analiza la evolución de la ICU en Guayaquil durante el periodo 1985 a 2010, en todos los años analizados se evidencia el fenómeno térmico, pero en 1985 cuando la superficie urbanizada tenía 7571.97 hectáreas, las áreas con mayor temperatura fueron limitadas a la parte central de la ciudad; mientras que en 2010 con una expansión urbana total

de 15.802,2 hectáreas la extensión e intensidad de la ICU fue incrementando hacia las áreas de expansión.

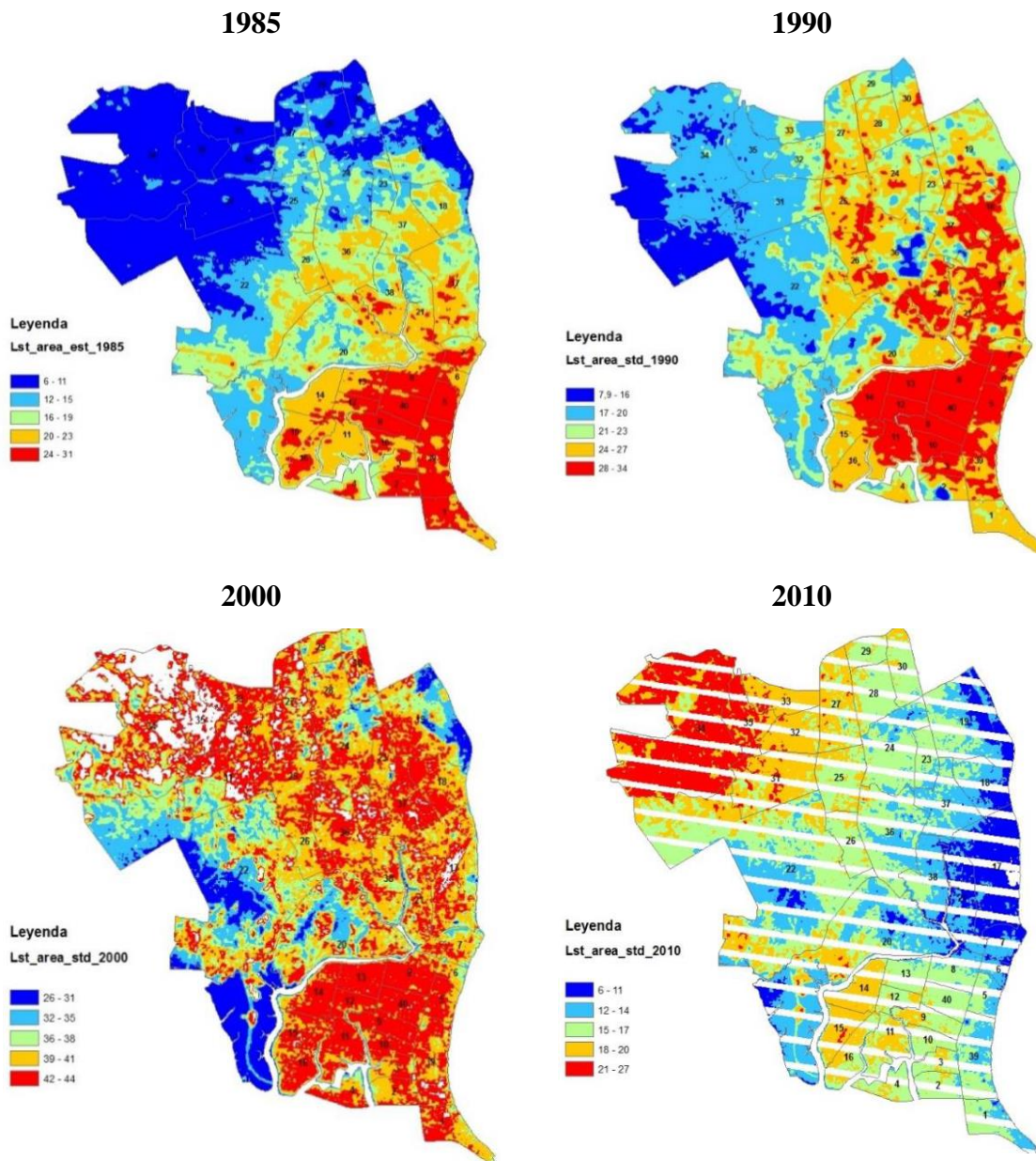
En 1985 los valores mínimos se registran por debajo de los 12° C y los máximos por encima de los 24° C, en 1990 los valores mínimos se registran por debajo de los 17° C y los máximos por encima de los 28° C, en 2010 el patrón es distinto a los anteriores debido a cambios atmosféricos a escalas regional y global por la presencia de masas de aire producto de los fenómenos del niño (Sánchez Masapanta 2018).

Otro estudio en el centro urbano de Guayaquil realizado por Herrera (2018) determina cuatro zonas más cálidas al interior de la ciudad: el sector industrial, el norte de la ciudad, el aeropuerto y el centro; y al igual que en un estudio realizado por Guillen y Orellana (2016) en Cuenca, Herrera demuestra que no existe una correspondencia entre la temperatura superficial y la temperatura ambiente registrada en estaciones meteorológicas normales (Herrera 2018). Otro resultado similar con otros estudios es la existencia de una correlación inversa entre la temperatura superficial y el *INVI* (Índice de Vegetación Normalizado) (Herrera 2018).

Guillén y Orellana (2016) demuestran la existencia de una isla de calor en la ciudad de Cuenca de 2,7° C mediante la combinación de dos métodos, la comparación de nueve estaciones meteorológicas, 3 urbanas y 6 periurbanas; y el análisis de imágenes Landsat 8 promediadas de tres días en tres meses diferentes: marzo, julio y octubre a las 10:27am.

Los resultados evidencian que la diferencia térmica ambiental entre las estaciones urbanas versus rurales, a partir de las 16h00 hasta las 24h00, varía entre 1,6 a 2,7° C, evidenciando mayores temperaturas durante la noche en áreas más urbanizadas; además, la temperatura superficial supera la temperatura ambiente en las áreas periféricas con una diferencia que oscila entre 5 y 15° C y entre 2 a 13,5° C en el área urbana (Guillén y Orellana 2016).

**Figura 2.9. Cambios en la intensidad de la isla de calor en la ciudad de Guayaquil durante el periodo 1985 – 2010**

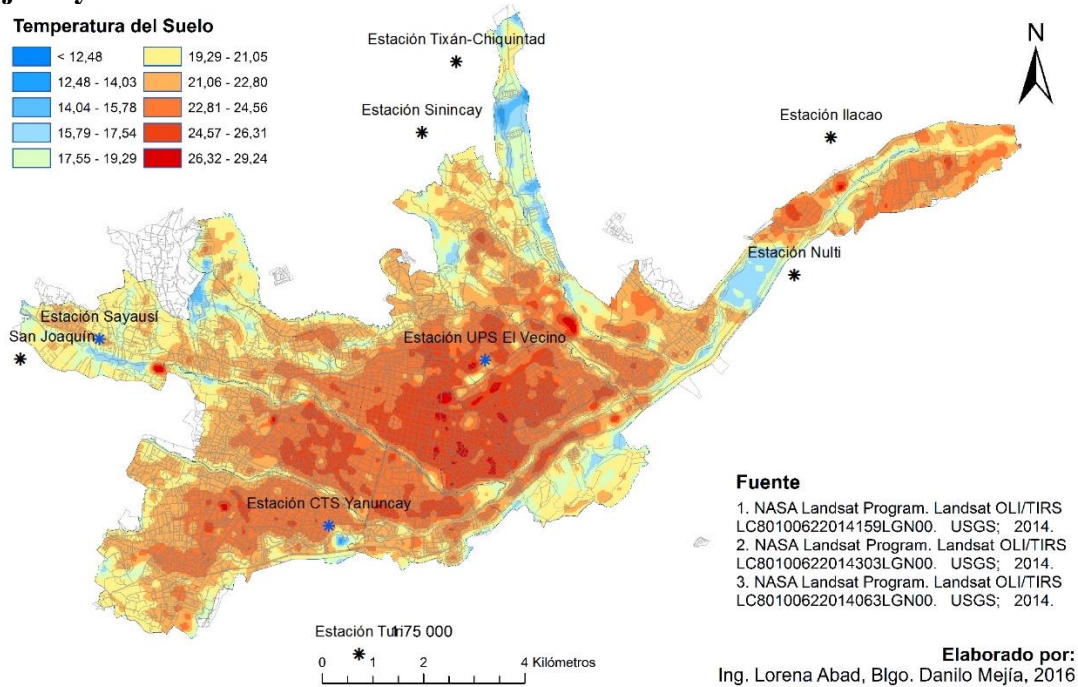


*Fuente:* Elaborado por la autora con base en Sánchez Masapanta (2018).

Las autoras también encuentran que al interior del límite urbano existen 4 zonas climáticas diferentes, cuya diferencia térmica superficial entre zonas es de 5° C; es decir, que al interior del límite urbano hay una diferencia de 25° C entre las áreas de suelo más cálidas versus más frías (Figura 2.10). Finalmente, los puntos de mayor calor superficial corresponden a zonas caracterizadas por poca y nula vegetación, mayor afluencia vehicular y peatonal y a zonas que congregan actividades industriales (Guillén y Orellana 2016).

En la misma ciudad de Cuenca Bustamante y Orellana (2017) analizan la ICU a una escala micro concentrándose exclusivamente en factores morfológicos del cañón urbano como factor de vista cielo, (h/w), factor de altura relativa, albedo de las edificaciones y orientación. Los resultados demuestran que a pesar de la influencia de los factores morfológicos, lo que mayor incidencia tiene en las temperaturas es la orientación de los cañones; por ejemplo las vías con orientación norte – sur mostraron mayores oscilaciones térmicas (hasta 15° C en un día) y mayor temperatura entre las 10h00 hasta las 15h00, en comparación con orientación este-oeste que tiene temperaturas más bajas y estables (A. Bustamante y Orellana 2017).

**Figura 2.10. Temperatura promedio de suelo de los días 4 de marzo, 26 de julio y 30 de octubre de 2014 a las 10h30**



*Fuente:* Guillén y Orellana (2016, 12).

Esto tiene mucho ver con el azimut de la fecha utilizada para la toma de datos, en noviembre el azimut es de 110° influyendo en la generación de sombra en los cañones con orientación este-oeste y reduciendo el nivel de radiación, por ende la temperatura durante el día y la noche.

Un año más tarde Bustamante (2018) realiza un nuevo estudio ampliando la escala al comparar el núcleo urbano con los alrededores rurales, genera isotermas a partir de 10 estaciones meteorológicas ubicadas a un rango de altitud entre 2400 a 2800 m.s.n.m durante



2015 a 2017; los resultados demuestran una ICU de hasta 3,3° C en comparación con las áreas rurales más alejadas (Bustamante 2018).

Dentro de la provincia de Pichincha (Jami, Mora, Padilla, y Kirby 2019) comparan la temperatura superficial del cantón Rimiñahui entre 2001 y 2016 mediante el uso de sensores remotos con banda térmica, analizan imágenes Landsat 7 ETM+ para identificar el cambio térmico debido al fuerte proceso de urbanización de los últimos años; los resultados demuestran un aumento de las temperaturas de un año al otro y evidencian mayor calentamiento en los núcleos urbanos, sobre todo en Sangolquí y San Rafael (Jami et al. 2019).

Los autores también correlacionan la temperatura superficial con tres índices: Índice Diferencial Normalizado de Vegetación (NDVI), Índice Diferencial Normalizado de Agua (NDWI) e Índice Diferencial Normalizado de Construcciones (NDBI), encontrando una correlación con valores que varían entre 0,6 a 0,9 y demostrando que la fragmentación del suelo rural y la impermeabilización inciden en la temperatura superficial y por ende en la isla de calor (Jami et al. 2019).

El primer estudio de isla de calor en Quito fue publicado en 1976 por Hannell, que evalúa la isla de calor con datos de abril y mayo tomados en 1971 y 1972, cuando la ciudad contaba con una población de apenas 532.000 habitantes, y con longitud de 13 km de norte a sur y de 1,5 km a 3,5 km entre este y oeste (Hannell 1976).

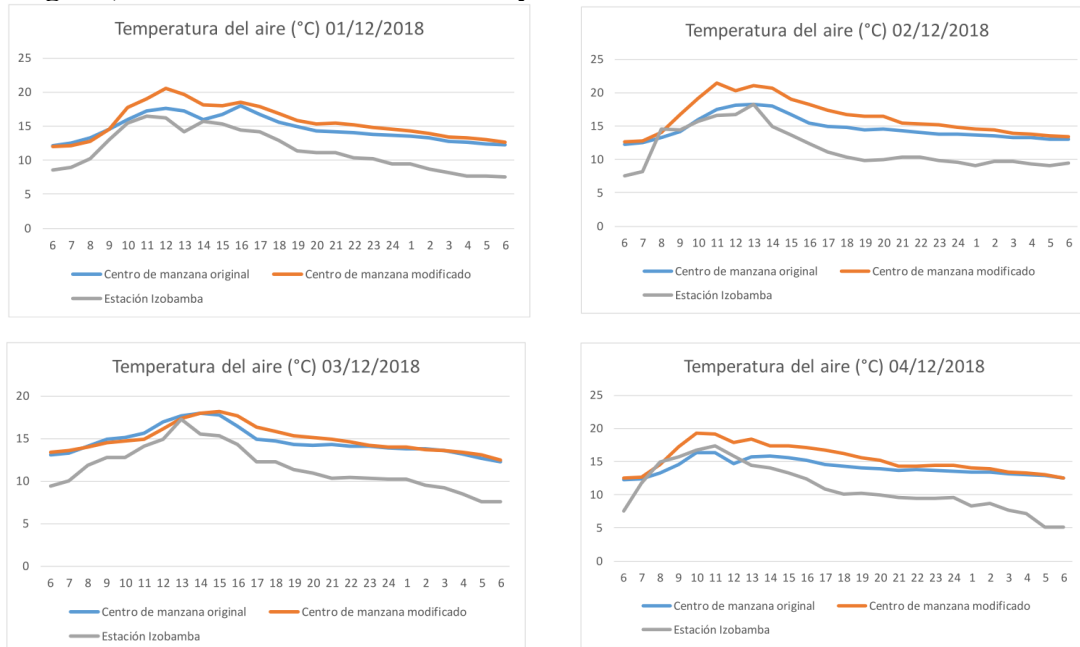
Los resultados demuestran la existencia de una isla de calor diurna (12H00) de 5° C, es decir que el centro urbano tiene 5° C más que sus periferias este y oeste, una diferencia que destaca con sorpresa Hannell de 5 a 10 veces mayor que cualquiera de las islas de calor diurnas informadas desde otras ciudades en latitudes templadas hasta esa fecha; en cambio por la noche (21h00) la isla de calor desaparece por los fuertes vientos, situación inversa a las latitudes medias y altas, en donde las mayores temperaturas aumentan durante la noche (Hannell 1976).

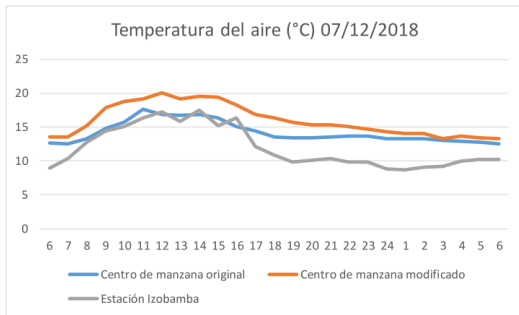
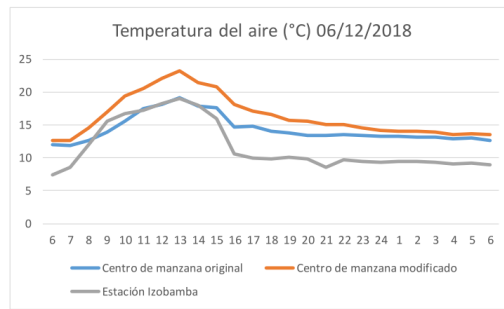
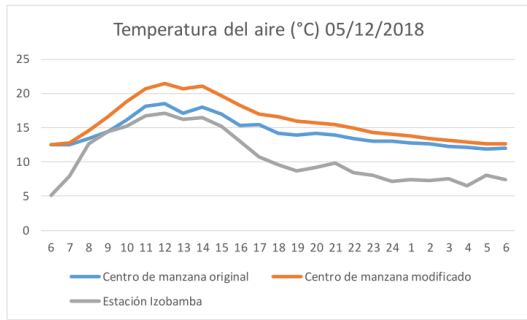
Un hallazgo especialmente importante para este estudio es que durante el día las temperatura del Ejido, El Panecillo y la Academia Militar fueron más frías que La Mariscal y el Centro Histórico, la diferencia varió entre 4° C a 7° C (Hannell 1976).

A menor escala Maldonado (2019) realiza en Quito un estudio interesante en el que se preocupa por el confort térmico en el espacio público del Barrio de Solanda, compara la temperatura ambiente de tres escenarios diferentes: el corazón de una de las manzanas de la propuesta original del proyecto de urbanización con el 52% de superficie vegetal; la misma manzana pero en la actualidad con el 100% del corazón de manzana artificializado y destinado a parqueadero; y los datos de la estación de Izobamba en el área rural.

En el primer caso se realiza una simulación en el programa *ENVI Met* considerando todos los factores climáticos y morfológicos de la manzana analizada, en el segundo se toman datos in situ durante 7 días, y en el tercero se accede a los resultados registrados por el INAHMI. Los resultados compartidos en la (Figura 2.11) demuestran como desciende la temperatura empezando por la manzana actual impermeabilizada, luego la manzana original con vegetación y finalmente la zona rural (Maldonado González 2019).

**Figura 2.11. Comparación térmica entre el corazón de manzana de la propuesta original, la manzana en la actualidad y la estación de Izobamba**





*Fuente:* Elaborado por la autora con base en Maldonado (2019).



### 3.2 Procesamiento de imágenes satelitales Landsat 8 (OLI – TIRS)

El Programa Landsat tiene una serie de misiones de observación de la tierra por satélite gestionadas conjuntamente por la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA por sus siglas en inglés) y por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS por sus siglas en inglés), actualmente el programa se encuentra en su octava versión denominada: *Landsat Data Continuity Mission* o más conocido como *Landsat 8*, estas imágenes son ideales para el análisis de temperatura superficial terrestre porque el satélite trabaja con dos sensores de observación terrestre, el *Operational Land Imager (OLI)* con 30 m de resolución y el sensor térmico infrarrojo *Thermal Infrared Sensor (TIRS)* con 100 m de resolución que permiten un estudio térmico más preciso, en cambio los Landsat anteriores utilizan una sola banda térmica (Ariza 2013).

El satélite Landsat 8 orbita de norte a sur cruzando por el ecuador terrestre a las 10h26 en hora local, con una órbita aproximada de 705 km por encima de la Tierra tiene un retorno por el mismo sitio terrestre de 16 días y recoge alrededor de 400 escenas diarias, las imágenes resultado son cargadas por el servidor del USGS con el fin de que se encuentren disponibles para la libre descarga 24 horas posteriores a su captura (Ariza 2013).

**Figura 0.2. Imágenes Landsat 8 utilizadas para el cálculo de NDVI y LST**

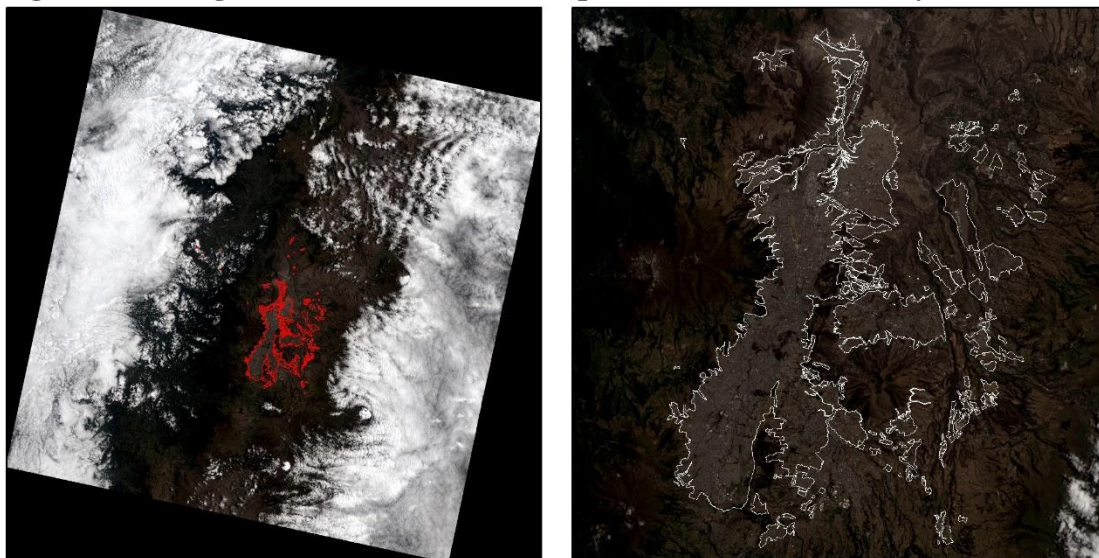


Imagen Landsat 8 del 10 de septiembre de 2019

Hora UTM: 15:26´:32" / Hora local: 10:26

Ángulo de elevación solar: 63,49023705°

Cobertura de nubes: 63,34% que cubre el suelo rural del DMQ



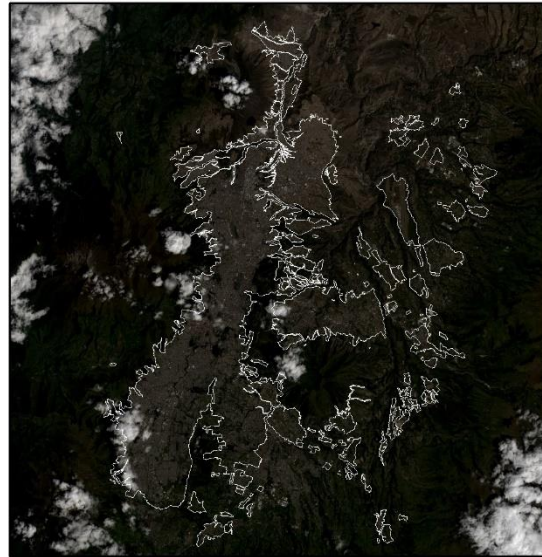
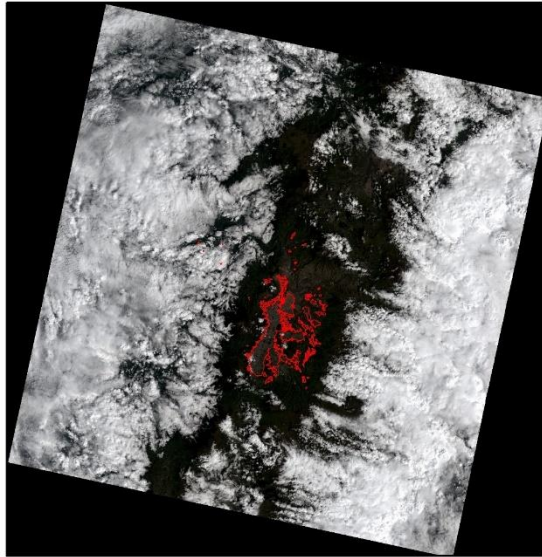


Imagen Landsat 8 del 16 de enero de 2020  
Hora UTM: 15:26':28" / Hora local: 10:26  
Ángulo de elevación solar: 54,56754314°  
Cobertura de nubes: 73,63% que cubre el suelo rural del DMQ

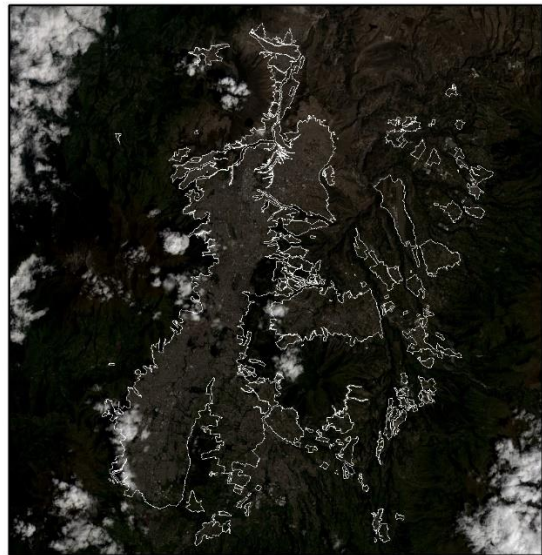
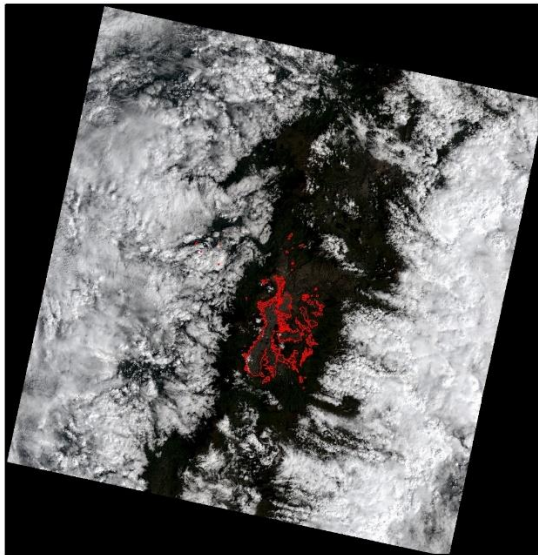


Imagen Landsat 8 del 17 de febrero de 2020  
Hora UTM: 15:26':19" / Hora local: 10:26  
Ángulo de elevación solar: 57,53415755°  
Cobertura de nubes: 72,81 que cubre el suelo rural del DMQ

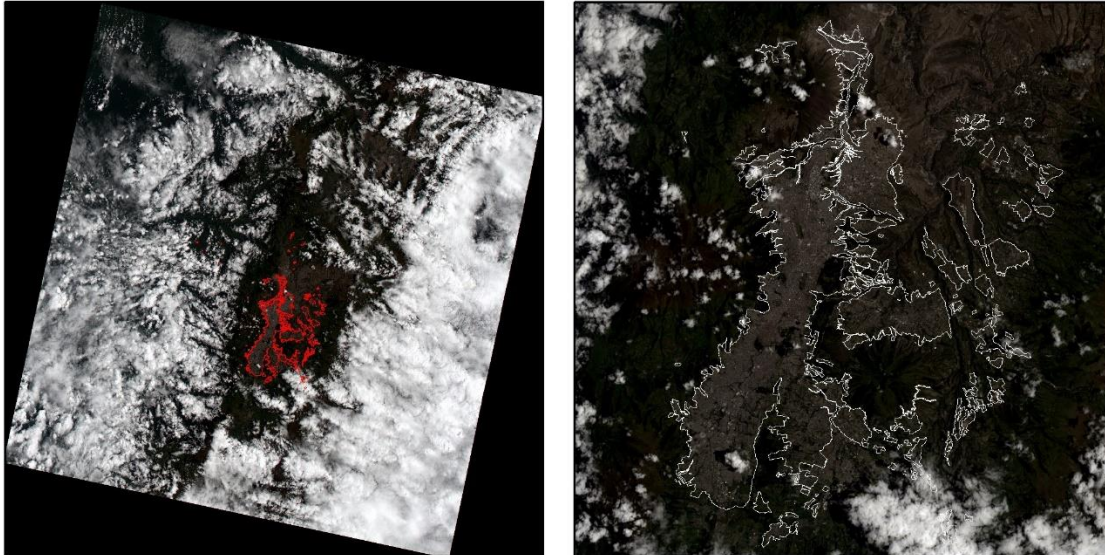


Imagen Landsat 8 del 4 de marzo de 2020  
Hora UTM: 15:26:14" / Hora local: 10:26  
Ángulo de elevación solar: 59,63129365°

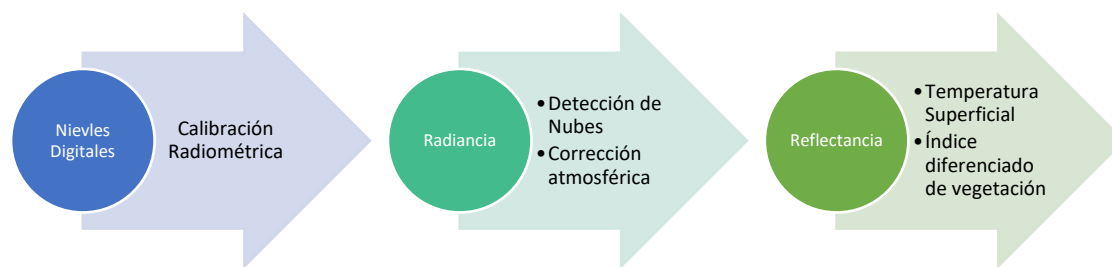
Cobertura de nubes: 67,82% que cubre el suelo rural del DMQ

*Fuente:* Elaborado por la autora con base en imágenes Landsat 8

Para el cálculo del índice diferenciado de vegetación y de la temperatura superficial terrestre se procesan 4 imágenes satelitales escogidas por su bajo porcentaje de nubosidad sobre el suelo urbano de Quito y por su actualidad, 3 imágenes corresponden a 2020 y una a 2019, en la (Figura 3.2) se detallan sus especificaciones.

Previo al uso de las imágenes satelitales es necesario corregir los números digitales a valores de radiancia y posteriormente a reflectancia, debido a que la información en los números digitales se encuentra en modo relativo no adecuado para comparar entre bandas o imágenes de distinta fecha, por el contrario la reflectancia es una variable cuyos valores son comparables para distintos lugares y distintas fechas, esto hace más sólida la interpretación de datos y el análisis integrado entre imágenes de distintos sensores (Chuvieco 1996). En la (Figura 3.3) se describen los dos primeros niveles de corrección de imágenes satelitales previas al cálculo de índices espectrales según González et al. (2013).

**Figura 0.3. Proceso de corrección de imágenes satelitales**



*Fuente:* Elaborado por la autora con base en González et al. (2013, 4-7).

### 3.2.1 Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

El estudio de los cambios de la cobertura vegetal fue uno de los primeros análisis usando imágenes satelitales *Landsat* desde 1972, el Índice Diferenciado de Vegetación Normalizada o *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)* determina el nivel de vigorosidad o salud de la vegetación en base a los valores de reflectancia a distintas longitudes de onda (Muñoz Aguayo 2013). El resultado del procesamiento espacial oscila entre -1 a +1, en donde los valores positivos corresponden a suelo con presencia de vegetación y los negativos a la ausencia de vegetación, mientras mayor sea el número positivo mayor será vigorosidad de la vegetación (Muñoz Aguayo 2013).

En la (Tabla 3.1) se establecen algunos valores referenciales de NDVI según el tipo de superficie, en el caso del área urbana de Quito se registra un NDVI superior a 0,2 que llega hasta 1.

**Tabla 0.1. Valores referenciales de NDVI según tipos de superficies**

Cobertura de suelo	NDVI
Agua, nieve o nubes	Menores a 0
Suelo desnudo	0,001 a 0,1
Vegetación ligera	0,1 a 0,2
Vegetación media (arbustos y pastizales)	0,2 a 0,5
Vegetación densa (Bosques)	Mayor a 0,6

*Fuente:* Anaya (2019, 53)

El NDVI se calcula con la siguiente fórmula:

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)}$$

Donde:



- NIR es la reflectancia espectral del canal infrarrojo cercano (banda 5)
- R es la reflectancia en el canal rojo del visible (banda 4)

### 3.2.2 Cálculo de la temperatura superficial terrestre (LST)

Es un indicador del balance de agua y energía en la superficie terrestre usado para la detección del cambio climático, análisis del proceso de desertización o para supervisar el estado de la salud de la vegetación (González et al. 2013). Varios estudios usan este indicador para detectar el fenómeno de isla de calor urbano, Rao (1972) fue el primero en demostrar que se pueden hacer análisis urbanos usando imágenes satelitales, él definió patrones térmicos de las ciudades a lo largo de la Costa Atlántica de Estados Unidos usando *Improved TIROS Operational Satellite* (ITOS-1) (Gallo et al. 1995).

Para su cálculo se aplica el algoritmo matemático Split – Window que usa la temperatura de brillo

$$LST = \frac{TB}{1 + \left( \lambda * \frac{TB}{c^2} \right) * \ln(e)}$$

Donde:

$TB$  = Temperatura de brillo superior de la atmósfera (Top Atmosphere Brightness Temperatura)

$\lambda$  = Longitud de onda a de radiancia emitida

$C2 = h * c * s = 14388 \mu m K$

$H$  = Constante de Plank =  $6,626 * 10^{-34} J * s$

$C$  = Velocidad de la luz =  $2,998 * 10^8 m/s$

$S$  = Constante de Boltzmann =  $1,38 * 10^{-23} J/K$

$e$  = Emisividad de la superficie

Para la obtención de Temperatura de brillo superior de la atmósfera ( $TB$ ) es necesario realizar la calibración radiométrica mediante la fórmula:

$$L = ML * Q_{cal} + AL$$

Donde:

$ML$  = Factor de reescalamiento multiplicativo específico de banda a partir de metadatos

$ML = 0,0003342$

$AL$  Factor de reescalamiento multiplicativo específico de banda a partir de metadatos

$AL = 0,1$

$Q_{cal}$  = Valor digital de la banda 10

Luego se obtiene la temperatura de brillo superior de la atmósfera (TB) con la fórmula:

$$TB = \frac{K_2}{\ln(K_1L + 1)} - 273.15^\circ$$

Donde:

K1 y K2 = Constantes de conversión térmica específica de banda

$$K1 = 774,8853$$

$$K2 = 1321,0789$$

Para la obtención de emisividad de la superficie (e) se aplica la fórmula:

$$E = 0,004 - PV + 0,98$$

Donde PV es el resultado de normalización de los valores del NDVI que se calcula mediante:

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

### **3.3 Análisis estadístico espacial de los índices espectrales**

Para la interpretación de los resultados del *NDVI* y *LST* se aplicarán dos tipos de análisis de estadística espacial usando *ArcGis 10.5* que permitirán entender la ubicación y las tendencias de concentración de los valores mínimos y máximos de la temperatura superficial y del índice de vegetación para poder compararlos y determinar en qué medida la vegetación influye en la disminución de la temperatura superficial.

#### **3.3.1 Autocorrelación espacial o Índice de Moran**

Permite determinar la existencia de asociación espacial de una entidad, es decir si la ubicación de determinado valor sigue un patrón de concentración o asociación estadísticamente significativa, o si por el contrario, su ubicación es aleatoria en el espacio; cuando el Índice de Moran toma valores cercanos a +1 la autocorrelación es positiva e indica tendencia al agrupamiento de valores espaciales, en cambio cuando los valores son cercanos a -1 la autocorrelación es negativa indicando que los valores vecinos son disímiles entre sí con una tendencia de dispersión, finalmente, si los valores están alrededor de 0 no hay autocorrelación y los valores vecinos se ubican de forma aleatoria (Zulaica y Celemín 2008) (Celemín 2009). La autocorrelación espacial se basa en el principio de Tobler que expresa que en el espacio geográfico todo se encuentra relacionado pero que los espacios más cercanos están más interrelacionados entre sí (Zulaica y Celemín 2008). El Índice de Moran es el cálculo más antiguo propuesto en 1950 que por su alto nivel de complejidad no fue ampliamente utilizado

sino hasta en los 90s debido al desarrollo de los sistemas de información geográfica (Zulaica y Celemín 2008).

La aplicación de la herramienta *Spatial Autocorrelation (Morans I)* en ArcGis 10.5 genera un reporte gráfico con 5 valores: el índice de Moran, el índice esperado, la varianza, la puntuación z y el valor P, cuando estos dos últimos valores indican significancia estadística el índice de Morán será positivo, es decir cuando el valor de P sea muy pequeño y cercana a cero y cuando z, la desviación estándar, tome valores altos (ESRI sf.).

### 3.3.2 Análisis de Clúster

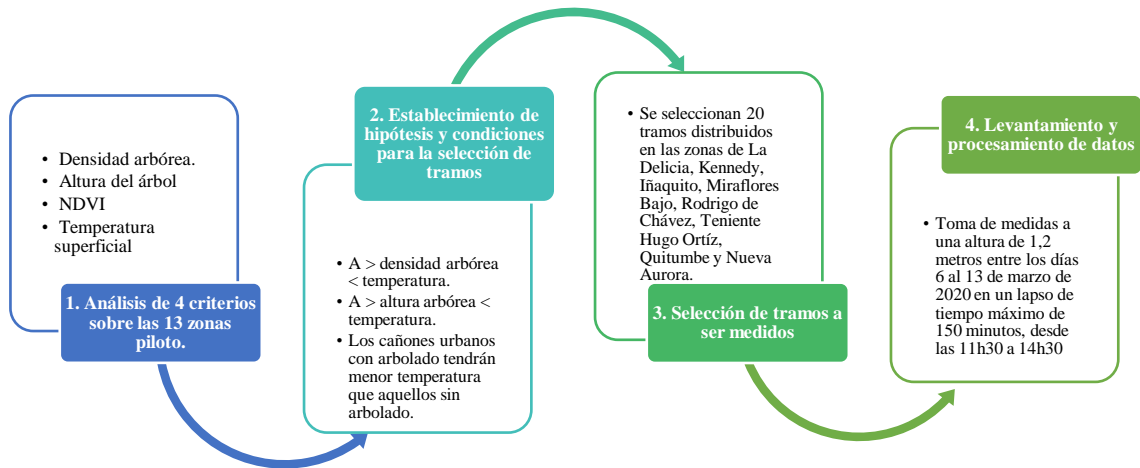
Luego de comprobar que tanto los datos del *NDVI* como de *LST* siguen un patrón de concentración y cumplen con una autocorrelación positiva se realiza un análisis de clúster para identificar espacialmente en dónde se ubican los grupos de valores homogéneos mediante la herramienta *Hot Spot Analysis (Getis-Ord  $G_i^*$ )*. Esta herramienta de *ArcGis 10.5* genera un mapa con el campo *Gi\_Bin* en donde los datos *bin* +/- 3 reflejan un nivel de importancia estadística con un nivel de confianza del 99%, +/- 2 con un nivel de confianza del 95%, +/- 1 con un nivel de confianza del 90% y el clustering para entidades bin iguales a 0 no es estadísticamente significativo (ESRI s.f.).

Los valores positivos +3, +2 y +1 identifican la concentración de valores altos, en nuestro caso identifica las zonas en donde se concentran las mayores temperaturas de superficie terrestre y los mayores índices de vegetación de diferencia normalizada, en cambio los valores positivos -3, -2 y -1 identifican la concentración de valores bajos, es decir las zonas en donde se concentran las menores temperaturas de superficie terrestre y los menores índices de vegetación de diferencia normalizada.

Una puntuación z alta y un valor P pequeño indican un clustering espacial de valores altos, una puntuación z negativa baja y un valor P pequeño indican un clustering espacial de valores bajos, mientras más alta o más baja sea la puntuación z, más intenso será el clustering; finalmente, una puntuación z cercana a cero indica que no hay un clustering espacial (ESRI s.f.).

### 3.4 Toma de datos térmicos in situ

Figura 0.4. Metodología Fase 2



Fuente: Elaborado por la autora.

#### 3.4.1 Análisis de 4 criterios

Para la toma de datos in-situ se seleccionan algunos tramos de cañones urbanos de las 13 zonas piloto, cuyas características de arbolado permiten diferenciar entre temperatura del aire sin sombra versus temperatura del aire bajo sombra generada por la vegetación arbórea; para decidir los tramos idóneos primero se mapean cuatro criterios: la densidad de árboles por hectárea, rangos de altura del arbolado, temperatura superficial terrestre e índice de vegetación de diferencia normalizada (*NDVI* por sus siglas en inglés).

La densidad arbórea se calcula mediante el método de Kernel<sup>5</sup> aplicado a los puntos de ubicación de cada árbol con un radio de búsqueda de 10 metros, se entiende que a mayor densidad mayor será la sombra proyectada sobre el suelo. En el segundo criterio se establecen 4 rangos de altura del arbolado, 50 cm a 3 metros, que corresponde a un árbol que no genera sombra útil sobre la acera o parterre; de 3 a 6 metros de altura, que ya tienen un efecto de sombra; de 6 a 15 metros, y el último rango que supera los 15 metros hasta los 24m.

Estos rangos son tomados del “Manual Técnico de Arbolado Urbano del Distrito Metropolitano de Quito” que establece tres categorías según la altura: árboles pequeños (hasta 6 metros), medianos (hasta 15 metros), y grandes (mayores a 15 metros) (Polo Abad, 2016).

<sup>5</sup> Densidad de Kernel es una herramienta de *ArcGis* que calcula la densidad de las entidades vecinas en un radio o ancho de banda determinado, en este caso el ancho de banda es igual a 10m.

En este estudio se subclasifica en dos categorías a los árboles pequeños en función de su capacidad de generar sombra sobre la acera o parterre.

La temperatura superficial terrestre corresponde a la imagen satelital del 4 de marzo de 2020 y es útil a escala urbana macro ya que las bandas infrarrojas térmicas 10 y 11 de Landsat 8 tienen una resolución de un pixel de 100 m<sup>2</sup> pero puede ser remuestreada a 30 metros con las bandas multispectrales del sensor OLI (Ariza 2013). A pesar de la baja resolución este análisis es útil porque se puede relacionar la temperatura superficial terrestre con el NDVI y comprobar en qué medida la vegetación arbórea registrada en las 13 zonas influencia en la temperatura superficial terrestre.

El NDVI es calculado a partir de la imagen satelital del 4 de marzo de 2020 *Landsat 8* tiene una resolución de 30 m<sup>2</sup>, este análisis nos permite conocer la existencia y el estado de la vegetación, desde césped hasta arbolado denso, evidentemente a esta escala no se puede relacionar con los árboles registrados en las 13 zonas piloto de manera individual, a menos que cubran un área extensa igual o superior a 15 metros; este análisis ayuda principalmente para evaluar áreas con vegetación propia de parques, riberas de ríos y quebradas o lotes baldíos.

Analizar este índice permite conocer cómo la vegetación identificada influencia en la temperatura superficial y del aire a escala macro, contrarrestando resultados finales de temperatura entre zonas con mayor o menor cercanía a zonas continuas de vegetación arbórea. Tanto la temperatura superficial terrestre como el NDVI corresponden al procesamiento de la imagen satelital tomada el 4 de marzo de 2020.

### **3.4.2 Tres hipótesis y tres condiciones**

Se parte del supuesto general de que el arbolado urbano influye en la disminución de la temperatura dentro del cañón urbano, por lo tanto, haciendo uso de los 4 criterios anteriores se establecen tres hipótesis específicas que guiarán la selección de los tramos a medir:

- Hipótesis 1: A mayor densidad de árboles menor será la temperatura y viceversa.
- Hipótesis 2: A mayor altura de los árboles menor será la temperatura y viceversa.
- Hipótesis 3: Los cañones urbanos con arbolado tendrán menor temperatura que aquellos cañones sin arbolado urbano.

Adicionalmente, para la selección de tramos se considera la igualdad de condiciones en función de dos criterios: igual orientación e igual dimensión de la sección de vía. La orientación del tramo es otro factor importante debido a que las horas de radiación que recibe un cañón urbano este – oeste es mayor versus un cañón urbano orientado norte – sur, por esta razón los tramos a comparar deben tener igual condición (A. Bustamante y Orellana 2017).

El ancho de la vía también influye debido a las posibilidades de ventilación del calor radiante retenido en el cañón urbano, además la sección de la vía se vincula directamente con la altura de las edificaciones y por ende en la capacidad de generar sombra y de almacenar calor en el volumen edificado (T. Oke 1988).

### 3.4.3 Selección de los tramos a ser medidos

En base a las hipótesis y condiciones explicadas se seleccionan los tramos que mayores posibilidades de comparación ofrecen, para ello se consideran dos aspectos adicionales, la temporalidad de la toma de medidas y la distribución espacial a lo largo del área urbana de Quito. Con respecto a la temporalidad las temperaturas deben ser tomadas en el menor tiempo posible para evitar que los cambios térmicos por factores como viento y altitud del sol influyan en los resultados, de hecho en todos los tramos a comparar se registraron sus temperaturas en un lapso de tiempo no superior a los 25 minutos. Con respecto a la distribución espacial se procura tener muestras que cubran norte, centro y sur de la ciudad y que coincidan con las 13 zonas piloto.

### 3.4.4 Equipo y levantamiento de datos térmicos

Las temperaturas se registran con tres termohigrómetros digitales HTC-2 que permiten la medición de temperatura interna y externa, la humedad relativa interior, fecha y hora. El rango de temperatura exterior de estos equipos es de  $-50^{\circ}\text{C} \sim +70^{\circ}\text{C}$  con una precisión de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  y una resolución de  $0,1^{\circ}\text{C}$ ; la humedad relativa interior con un rango de 10% a 99% con una precisión  $\pm 5^{\circ}\text{C}$  y una resolución de 1%.

**Figura 0.5. Higrohidrómetro digital HTC-2**



*Fuente:* Elaborado por la autora.

El levantamiento de las temperaturas se realiza con dos personas de apoyo en campo y la investigadora responsable de la Fase II, cubriendo los mismos tramos durante cinco días y

registrando en fichas diseñadas previamente para el levantamiento de cada tramo codificado (Ver anexo 1)

Las medidas se realizan a una altura de 1,2 metros entre los días 6 a 13 de marzo de 2020 en un lapso de tiempo máximo de 150 minutos y de máxima radiación, desde las 11h30 a las 14h30, nótese que los tramos a comparar fueron monitoreados en un periodo de tiempo no superior a los 25 minutos, de tal modo que permita hacer comparaciones válidas. En total se midieron 27 tramos de diferentes longitudes que van desde 125 a 750 metros.

### **3.4.5 Limitaciones del estudio**

En Quito existen casos en los que los árboles de acera han sido mutilados o reconfigurados mediante una poda no adecuada, impidiendo su crecimiento o transformándolos con formas geométricas (Nicholls Andrade 2018), situación que disminuye las posibilidades de prestar servicios ecológicos y ambientales.

En ese contexto es necesario aclarar que las hipótesis planteadas parten de asumir que todos los árboles tienen una copa adecuada. Para eliminar las posibilidades de casos con copas mutiladas o podas incorrectas se identifica el primer rango de altura de árboles menores a tres metros, sin embargo no se descarta del todo la posibilidad de encontrar este tipo de problemas en árboles de mayor altura. El estado de mantenimiento del árbol es una característica física con la que no se cuenta en el estudio.

En la fase de campo debido a las distancias de desplazamiento y las limitaciones de movilidad iniciadas el 16 de marzo debido al COVID – 19, impidieron el levantamiento completo de 3 de las 9 zonas escogidas, Miraflores Bajo y Rodrigo de Chávez en las cuales solo se levantó información durante dos días y cuyos resultados si se exponen en la investigación, y La Floresta en la que se registró datos térmicos de un solo día y cuyos resultados no se exponen en el estudio debido a su insuficiencia. Las 7 zonas restantes cumplen con los 5 días de levantamiento.

## Capítulo 4. Análisis de la infraestructura verde y la isla de calor en el área urbana de Quito a escala urbana.

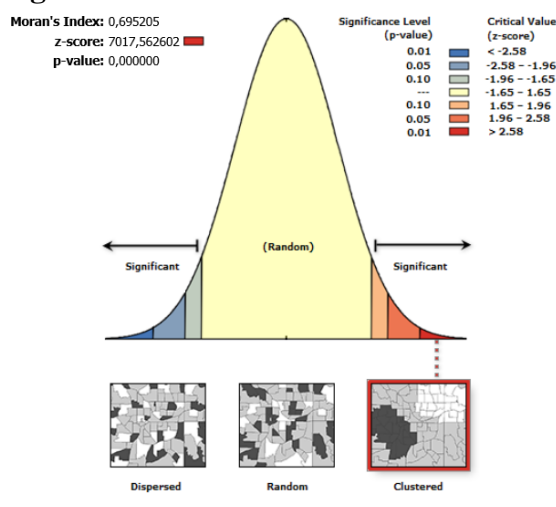
### 4.1 Infraestructura verde a través del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

Los resultados de la figura 4.2 demuestra mayor presencia de vegetación y suelo permeable en la zona sur de la ciudad, en donde aún hay relictos mejor distribuidos que en el norte, y en su mayoría corresponden a los márgenes del río Machángara que aún se mantienen con vegetación. En cambio en el centro norte el verde se concentra en cuatro parques de escala metropolitana: Bicentenario, Guanguiltagua, Carolina y Rumipamba claramente separados por amplias zonas impermeabilizadas.

Si consideramos que el costo del suelo demuestra menor plusvalía en el sur de la ciudad, podría demostrarse que al contrario de lo que suele pensarse, existen más áreas verdes en suelo de menor costo, mientras que en el norte con mayor plusvalía hay menos áreas verdes; la diferencia está en las cualidades de estos espacios, mientras en el norte los parques son públicos, en el sur, las riberas del río no están adecuadas para acceder a ellas, y en definitiva no son de libre acceso.

El análisis del índice de Morán demuestra una tendencia a la concentración de datos altos del NDVI con Z igual a 7017,56 tal como se visualiza en la (Figura 4.1).

**Figura 0.1. Resultado del Índice de Moran aplicado al NDVI del área urbana de Quito**










Given the z-score of 7017.56260167, there is a less than 1% likelihood that this clustered pattern could be the result of random chance.

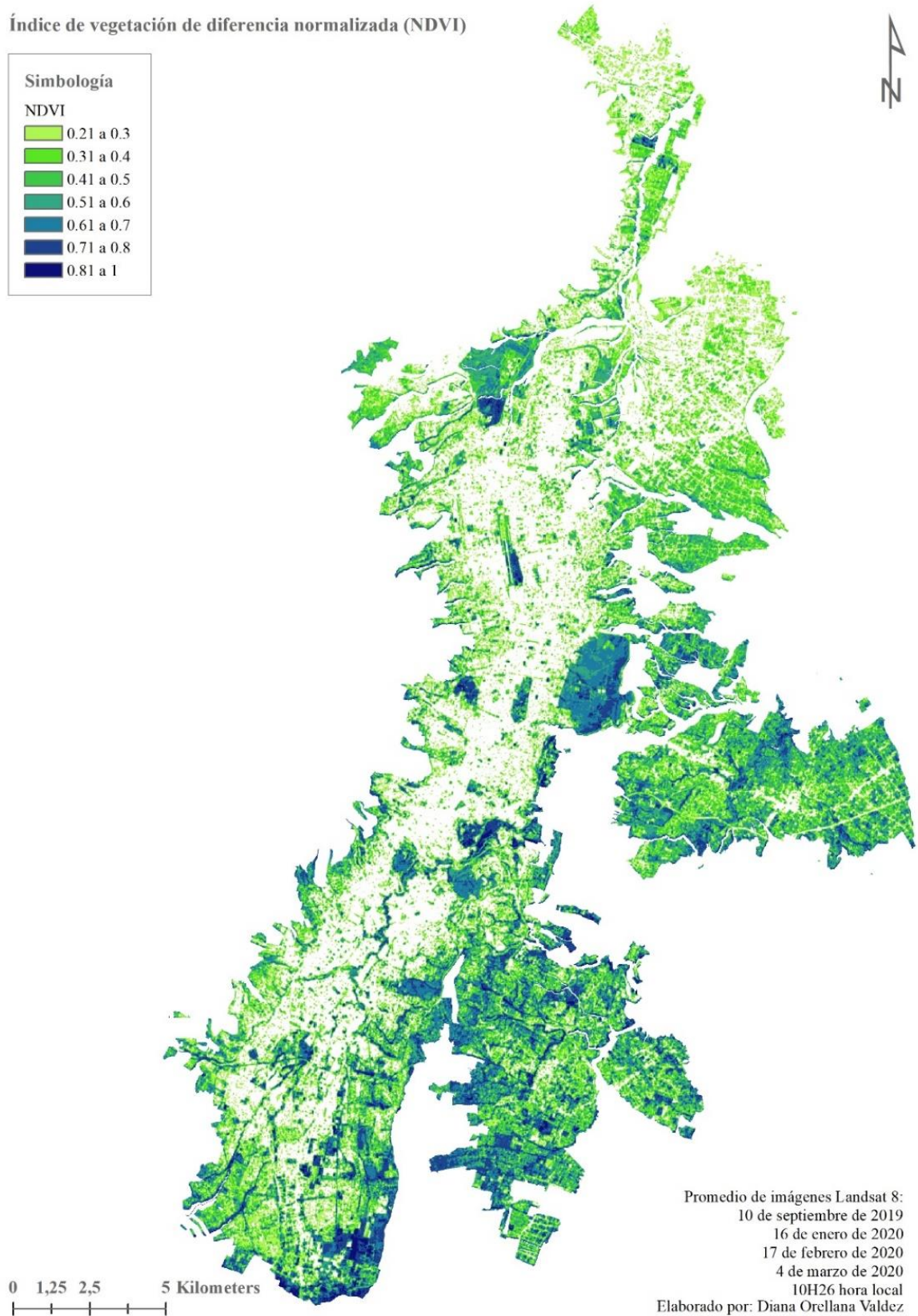
Fuente: Elaborado por la autora con base en el Geoprocamiento a partir de imágenes Landsat 8.



**Figura 0.2. Resultado del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) en el área urbana continua de la ciudad de Quito**

Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

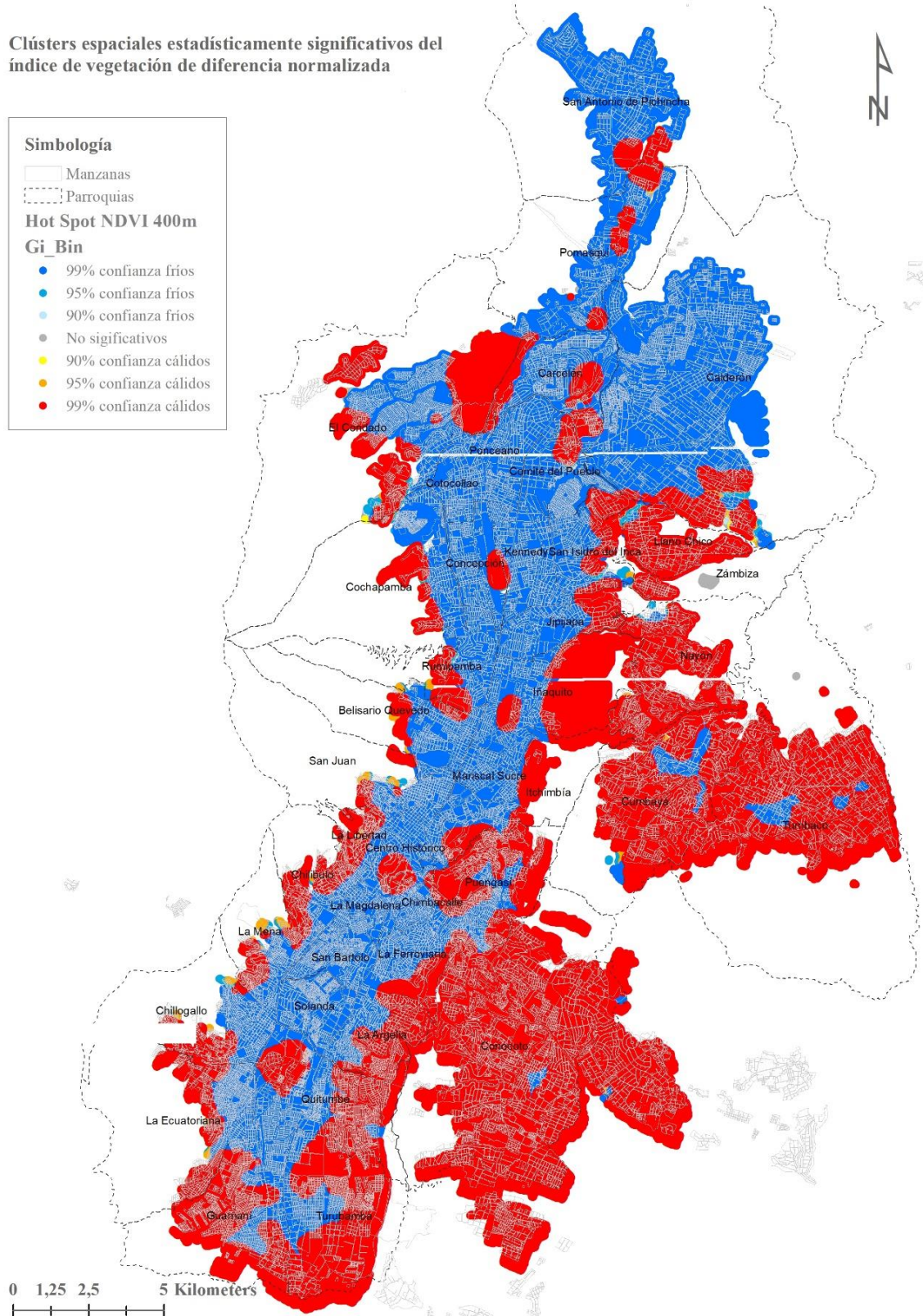
Simbología	
NDVI	
	0.21 a 0.3
	0.31 a 0.4
	0.41 a 0.5
	0.51 a 0.6
	0.61 a 0.7
	0.71 a 0.8
	0.81 a 1



*Fuente:* Elaborado por la autora con base en el Geoprocesamiento a partir de imágenes *Landsat 8*.

**Figura 0.3. Clúster espacial estadísticamente significativos de valores altos y valores bajos de NDVI en el área urbana de Quito.**

Clústers espaciales estadísticamente significativos del índice de vegetación de diferencia normalizada



Fuente: Elaborado por la autora con base en el Geoprocesamiento a partir de imágenes *Landsat 8*.

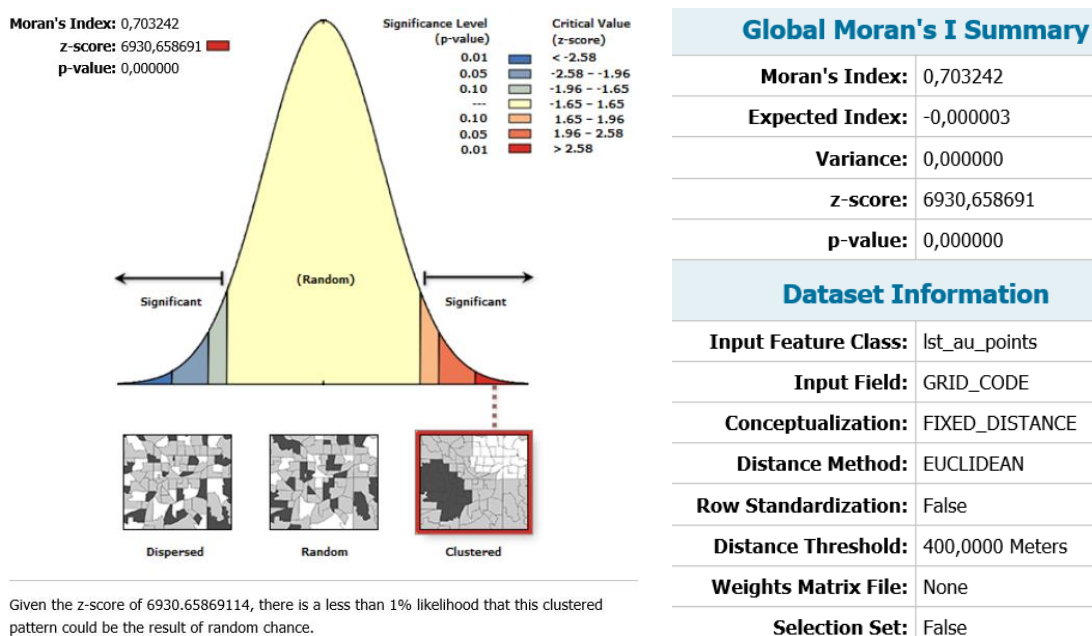
La (Figura 4.3) indica que la concentración de valores corresponde a valores altos de NDVI

## 4.2 Isla de calor urbano a través de la temperatura superficial terrestre

Los resultados de las Figuras 4.4 y 4.5 demuestran la existencia de áreas que concentran la mayor temperatura superficial, existe un rango térmico en el área urbana que varía entre 18° C a un máximo de 42° C, resultando una diferencia térmica de 24° C entre las zonas más frías y las más cálidas. Las zonas más extensas de altas temperaturas están en las parroquias suburbanas de San Antonio de Pichincha, Calderón y Llano Chico mientras que en el eje continuo norte – sur de la ciudad se identifican áreas de mayor temperatura concentradas principalmente en las parroquias de la Concepción y Centro Histórico, siendo la zona más cálida la pista del antiguo aeropuerto Mariscal Sucre.

El análisis del índice de Morán demuestra una tendencia a la concentración de datos altos del LST con Z igual a 6930,65 tal como se visualiza en la Figura 4.4.

**Figura 0.4. Resultado del Índice de Moran aplicado a la LST**













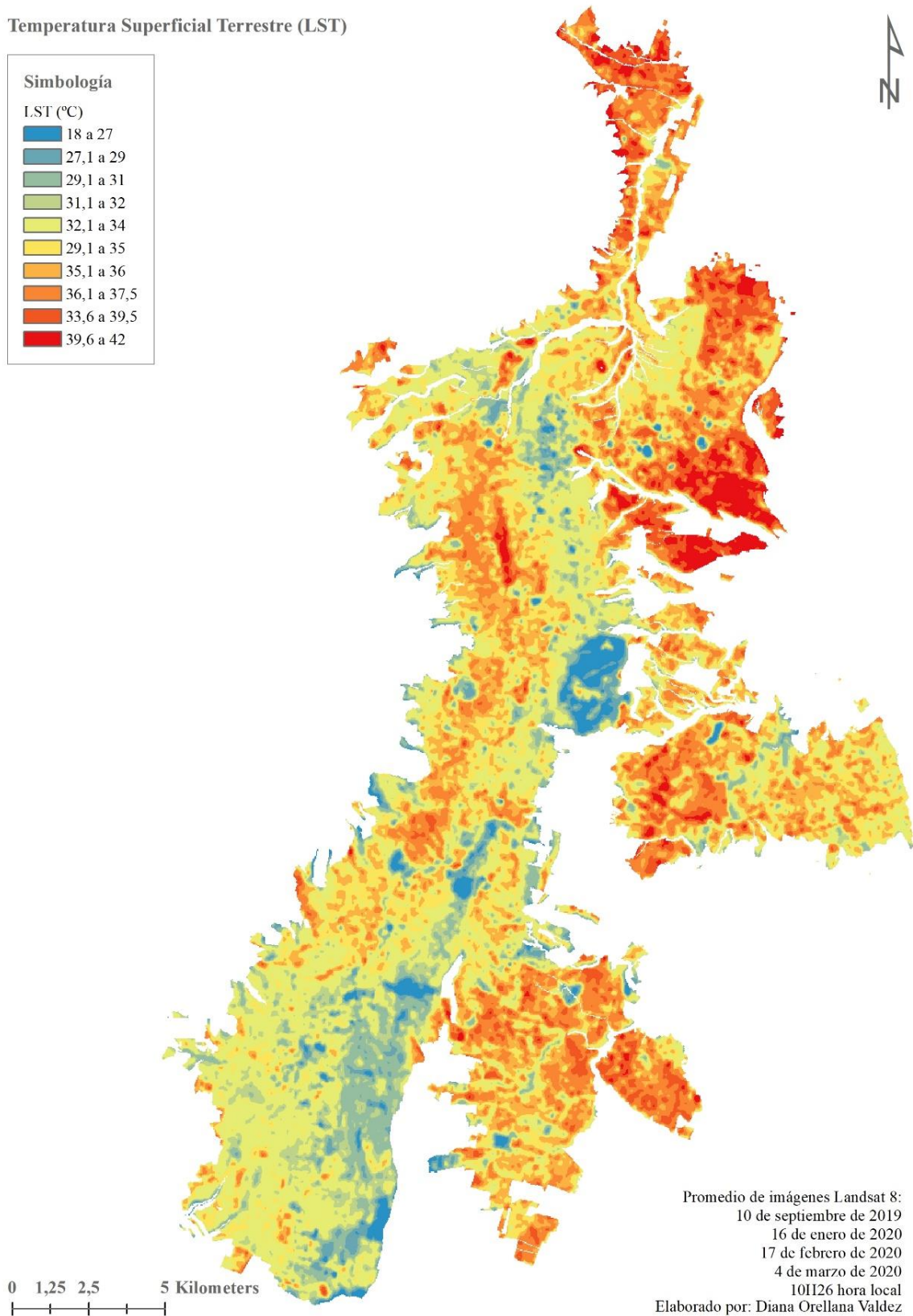
*Fuente:* Elaborado por la autora con base en el Geoprocésamiento a partir de imágenes Landsat 8.



**Figura 0.5. Resultado de la temperatura superficial terrestre (LST) en el área urbana continua de la ciudad de Quito.**

Temperatura Superficial Terrestre (LST)

Simbología	
LST (°C)	
	18 a 27
	27,1 a 29
	29,1 a 31
	31,1 a 32
	32,1 a 34
	29,1 a 35
	35,1 a 36
	36,1 a 37,5
	33,6 a 39,5
	39,6 a 42



Promedio de imágenes Landsat 8:  
10 de septiembre de 2019  
16 de enero de 2020  
17 de febrero de 2020  
4 de marzo de 2020  
10I126 hora local  
Elaborado por: Diana Orellana Valdez

**Clústers espaciales estadísticamente significativos de temperatura superficial terrestre**

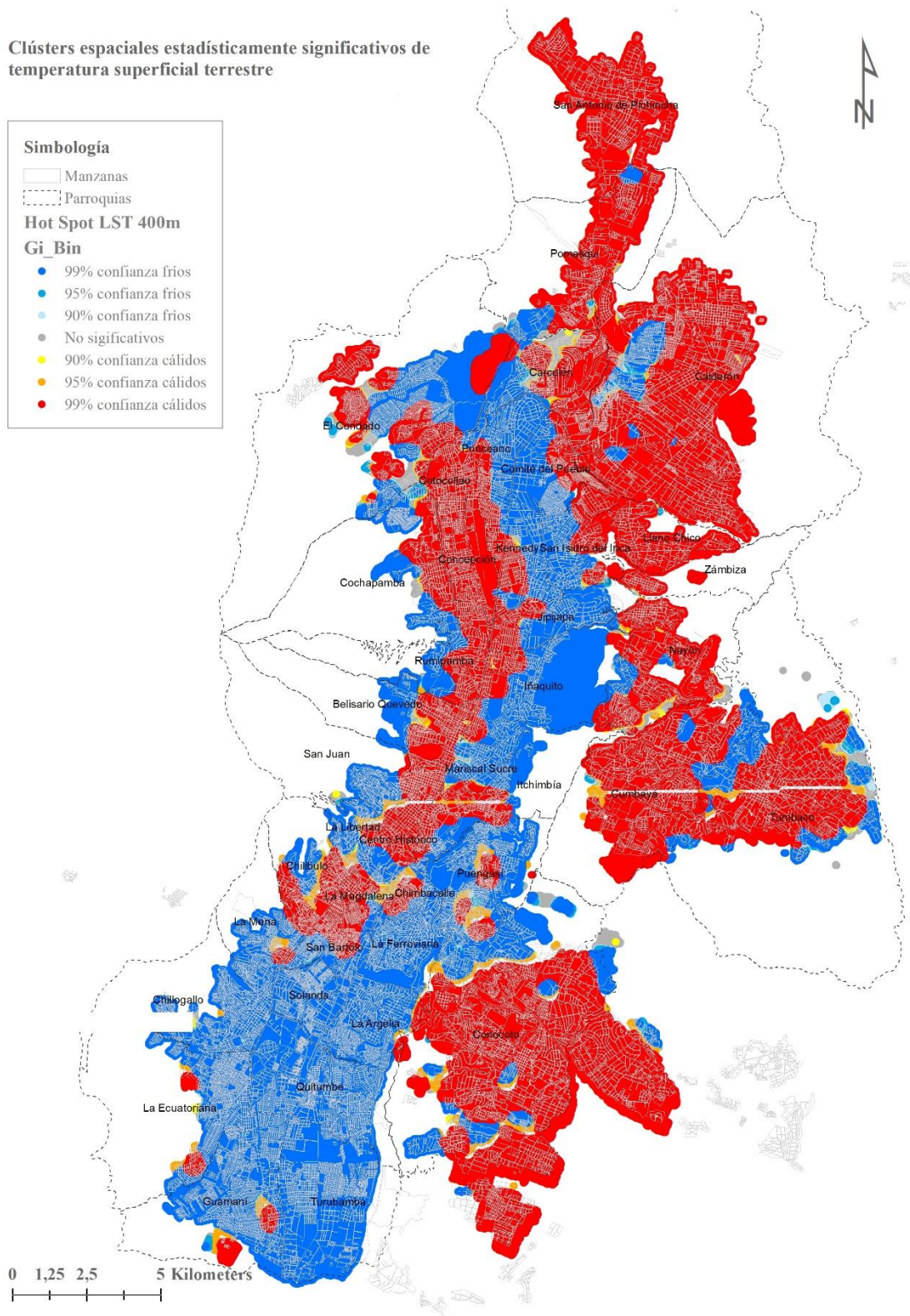
**Simbología**

- Manzanas
- Parroquias

**Hot Spot LST 400m**

**Gi\_Bin**

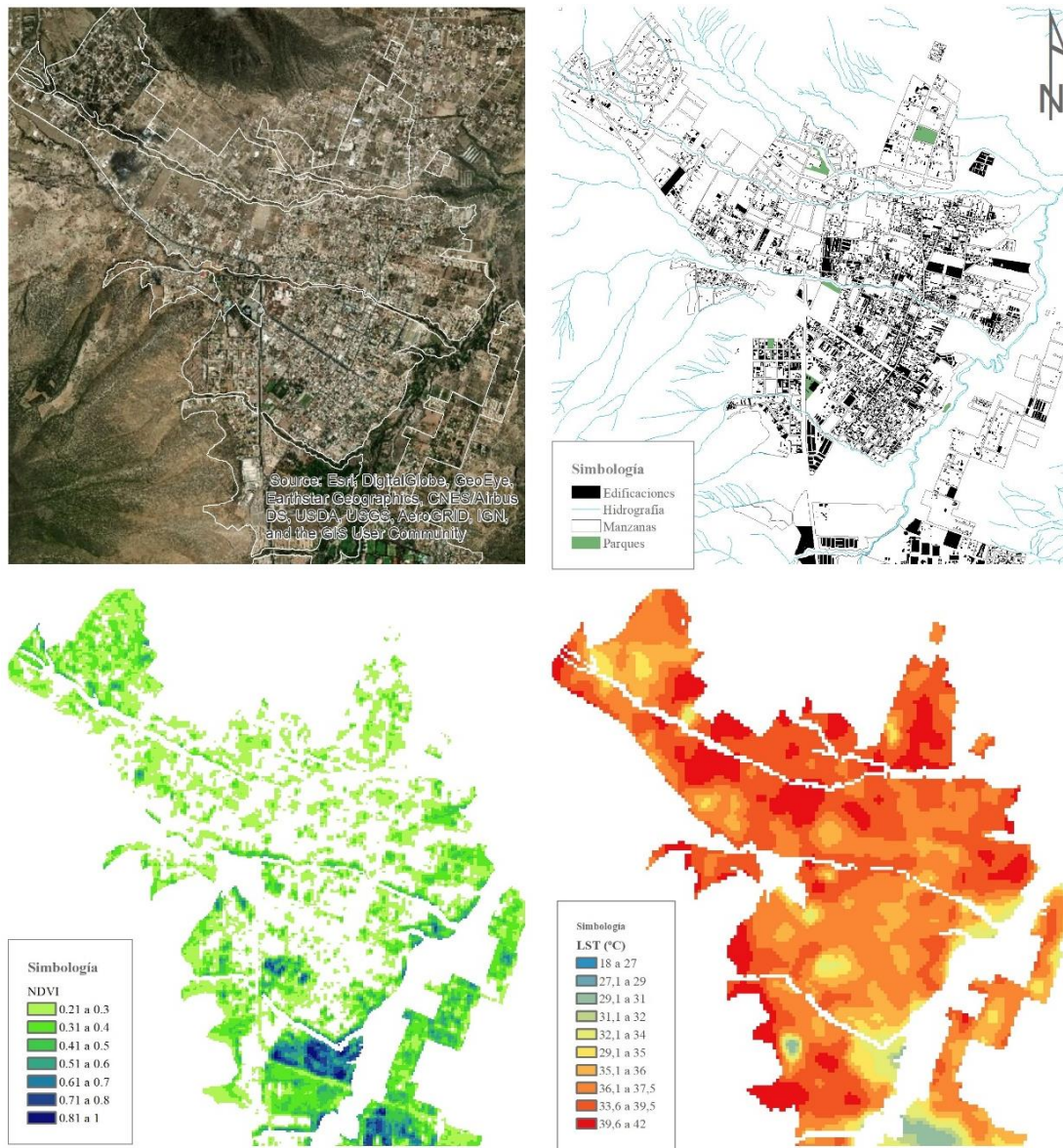
- 99% confianza fríos
- 95% confianza fríos
- 90% confianza fríos
- No significativos
- 90% confianza cálidos
- 95% confianza cálidos
- 99% confianza cálidos



*Fuente:* Elaborado por la autora con base en el Geoprocesamiento a partir de imágenes Landsat 8.

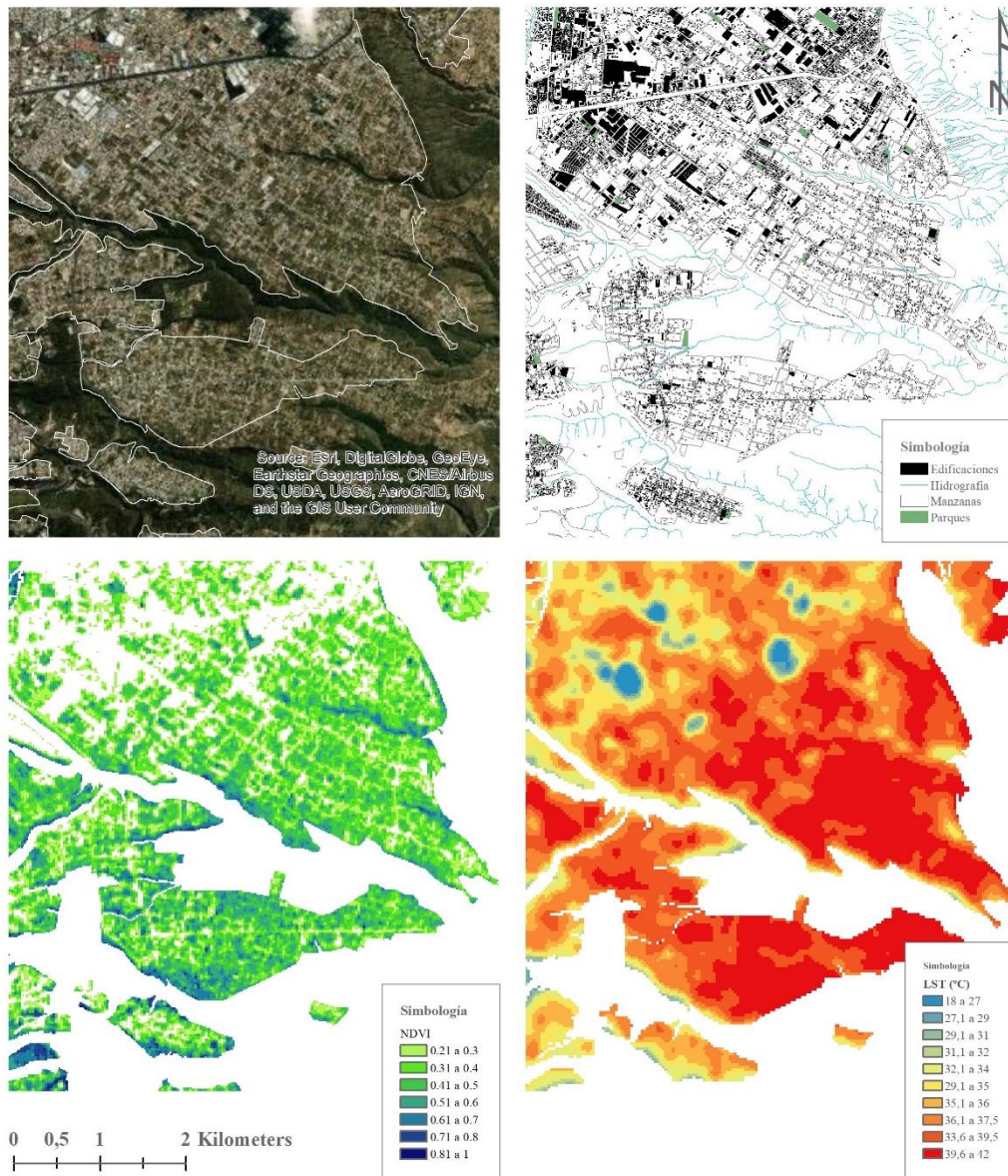


**Figura 0.7. Área más cálida de la parroquia suburbana San Antonio de Pichincha**



Fuente: Elaborado por la autora con base en el Geoprocesamiento a partir de imágenes *Landsat* 8.

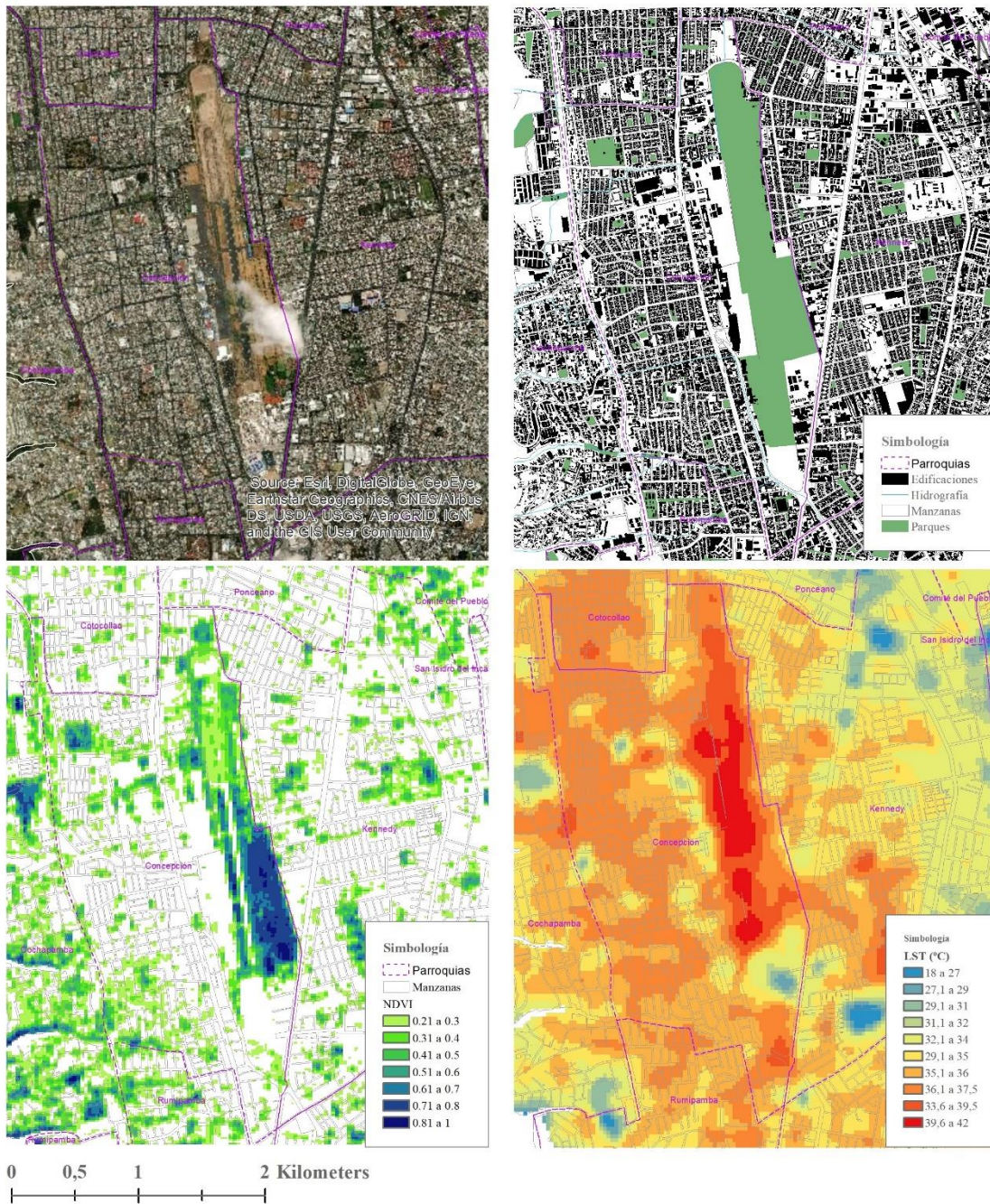
**Figura 0.8. Área más cálida de las parroquias suburbanas de Calderón y Llano Chico**



*Fuente:* Elaborado por la autora con base en el Geoprocesamiento a partir de imágenes Landsat 8.



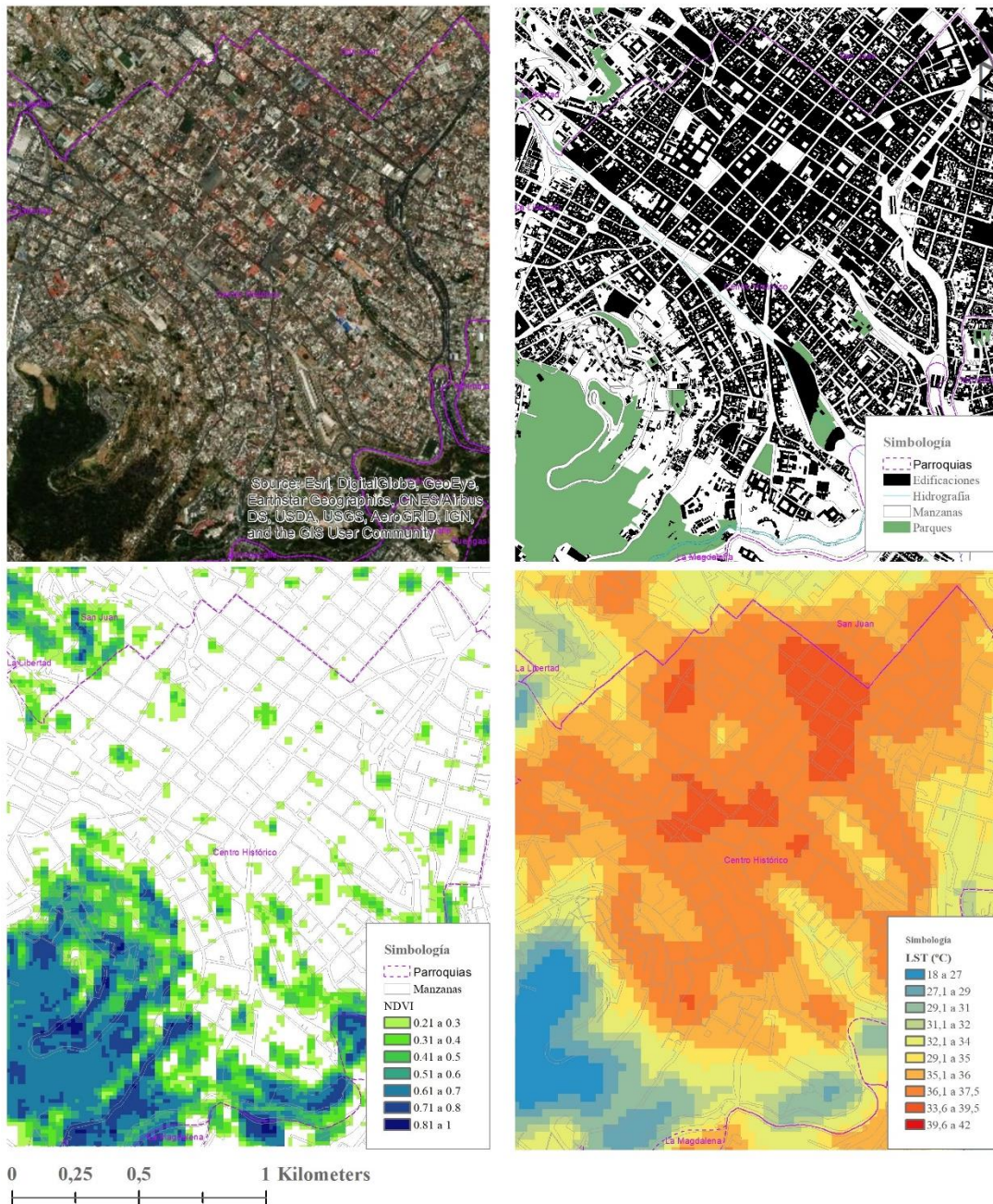
**Figura 0.9. Área más cálida de la parroquia urbana de La Concepción**



*Fuente:* Elaborado por la autora con base en el Geoprocésamiento a partir de imágenes *Landsat 8*.



**Figura 0.10. Área más cálida de la parroquia urbana del Centro Histórico**

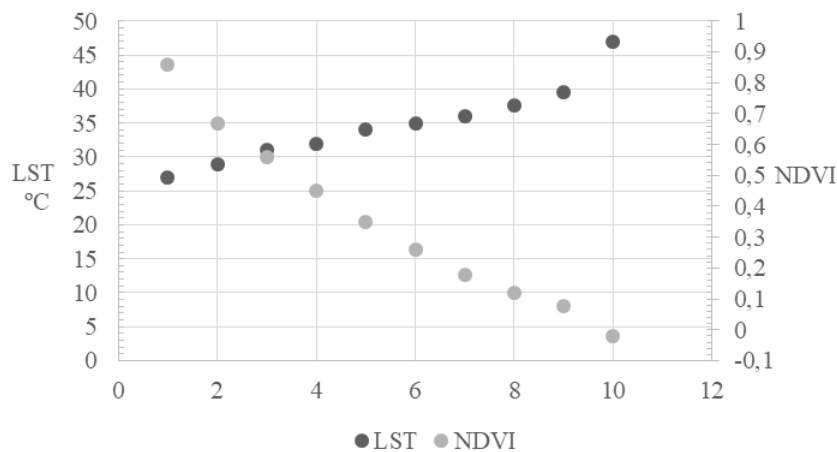


*Fuente:* Elaborado por la autora con base en el Geoprocesamiento a partir de imágenes Landsat 8.

### 4.3 Relación entre infraestructura verde y temperatura superficial terrestre

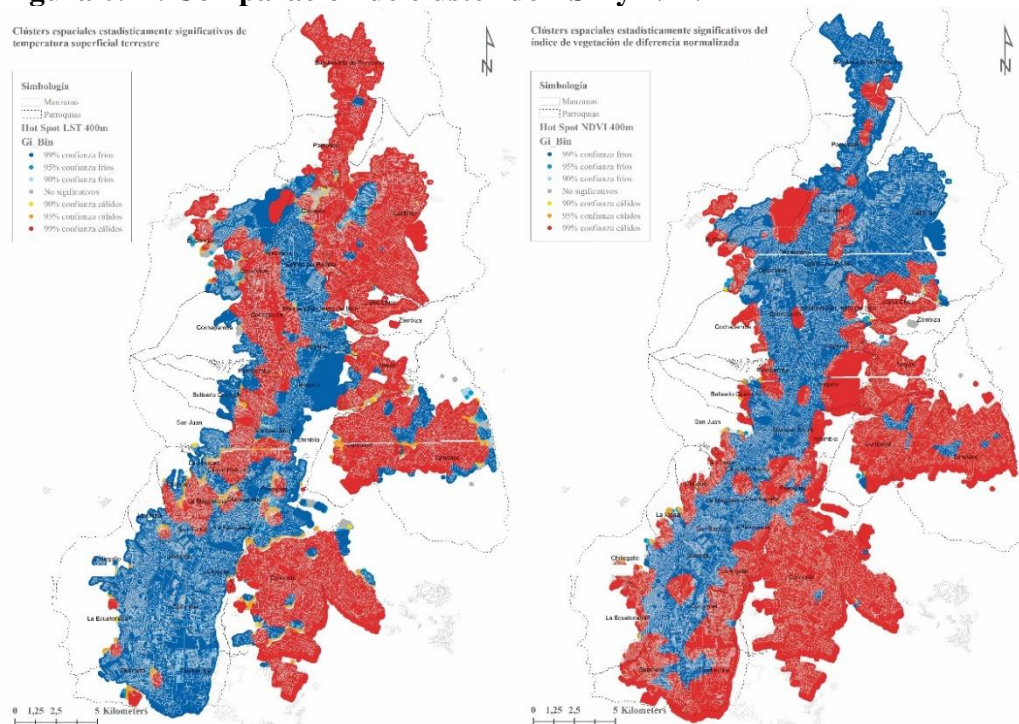
La figura 4.11 demuestra la relación inversamente proporcional entre la temperatura superficial y el índice de vegetación de diferencia normalizada; es decir que a mayor presencia de vegetación menor será la temperatura superficial. La figura 4.12 compara los resultados del análisis de clúster espacial evidenciando esta relación inversamente proporcional en la zona urbana consolidada pero valores altos en ambos casos en los valles.

**Figura 0.11. Relación entre temperatura superficial terrestre (LST) e índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)**



Fuente: Elaborado por la autora.

**Figura 0.12. Comparación de clúster de LST y NDVI**



Fuente: Elaborado por la autora con base en el Geoprocésamiento a partir de imágenes Landsat 8.

## Capítulo 5. Influencia de la infraestructura verde en la isla de calor urbano de 13 zonas piloto

### 5.1 Resultados para la definición de los tramos a monitorear

Considerando exclusivamente el arbolado en vías (acera y parterre) se establecen 5 rangos de densidad cuyo máximo va de 81 árboles/hectárea a 109 árboles/hectárea, estos casos se encuentran en puntos específicos de La Floresta (correspondiente a un total de 768 árboles), Teniente Hugo Ortiz (un total de 460 árboles) y Quitumbe (un total de 251 árboles); el siguiente rango que va de 61 árboles/hectárea a 80 árboles/hectárea se aprecian en las zonas de Ñaquito y Portugal con un total de 248 y 451 árboles respectivamente.

**Tabla 0.1. Resultados de rango de altura y densidad de árboles en las vías de las 13 zonas piloto**

Cod	Zona Nombre	Área (Ha)	Nº total de árboles	Árboles según su altura total (m)										Densidad de Kernel Nº/ha						
				0,5 a 3		3,1 a 6		6,1 a 15		15,1 a 24		Total		0-20	21 a 40	41 a 60	61 a 80	81 a 109		
				Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%							
Z1	La Delicia	40,6	178	43	24	95	53	40	22	0	0	178	100		x					
Z2	Kennedy	36,5	299	170	57	127	42	2	1	0	0	299	100		x					
Z3	Bicentenario	13,1	114	49	43	54	47	9	8	2	2	114	100		x					
Z4	Portugal	18,8	451	82	18	283	63	86	19	0	0	451	100				x			
Z5	CAE-Ñaquito	12,6	248	17	7	206	83	25	10	0	0	248	100				x			
Z6	Miraflores Bajo	20,5	185	19	10	87	47	79	43	0	0	185	100		x					
Z7	La Floresta	29,4	768	247	32	325	42	181	24	15	2	768	100						x	
Z8	San Blas	27,8	190	45	24	79	42	62	33	4	2	190	100			x				
Z9	Rodrigo de Chavez	15,0	224	100	45	67	30	45	20	12	5	224	100			x				
Z10	Tnte. Hugo Ortíz	35,7	460	100	22	125	27	207	45	28	6	460	100						x	
Z11	Mayorista	14,0	6	1	17	5	83	0	0	0	0	6	100	x						
Z12	Quitumbe	17,3	251	130	52	115	46	6	2	0	0	251	100						x	
Z13	Nueva Aurora	52,1	305	66	22	50	16	174	57	15	5	305	100			x				
TOTALES			333,1	3679	1069	29	1618	44	916	25	76	2	3679	100						

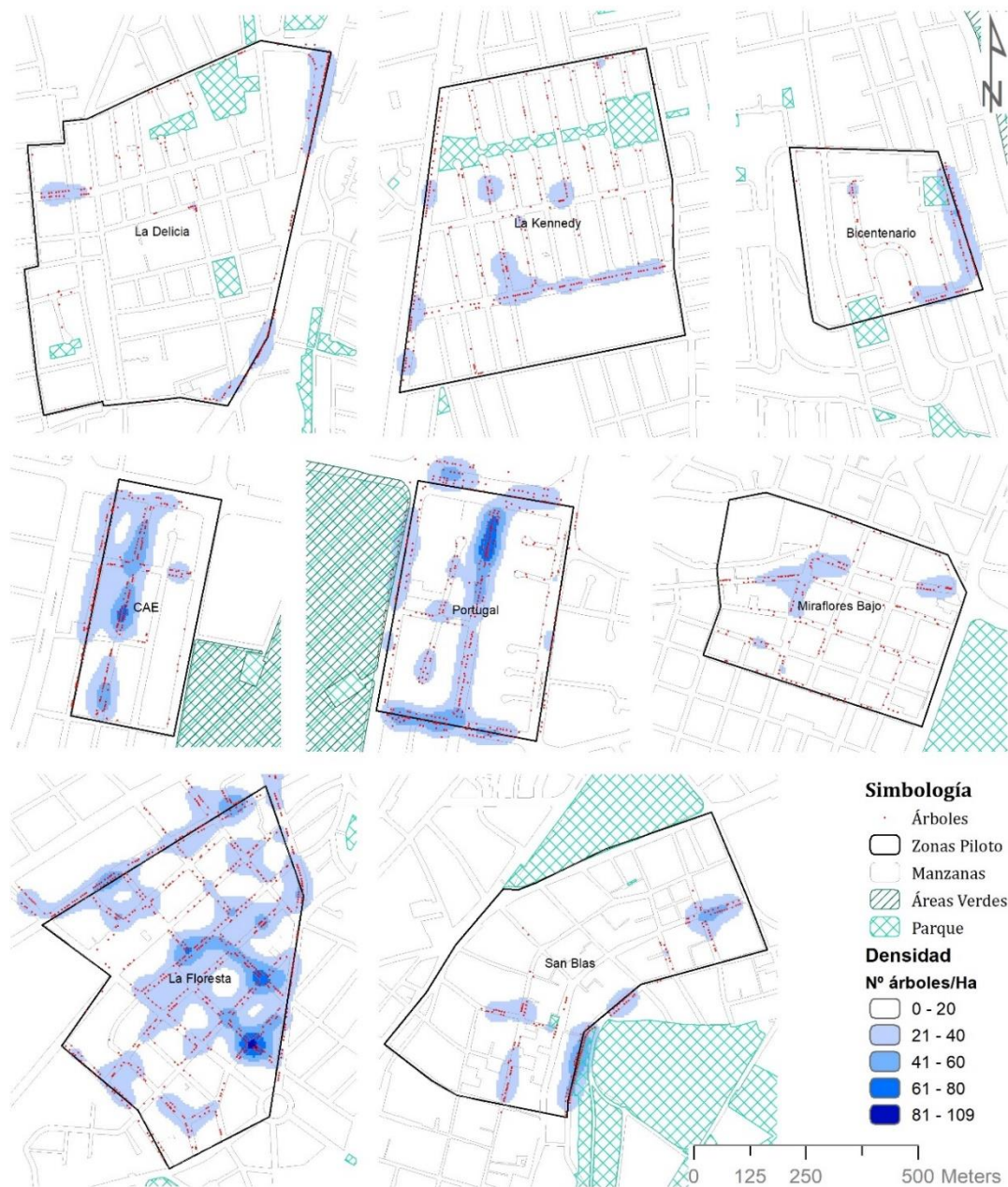
Fuente: Elaborado por la autora

El detalle de la distribución de los tramos viales más densos se visualiza en las Figuras 5.1 y 5.2, evidenciando que a excepción de La Floresta e Ñaquito, la mayor densidad arbórea se encuentra en los parterres de las vías principales.

Además dicha densidad varía a lo largo del tramo, así por ejemplo la mayor densidad arbórea en La Floresta corresponde a tres intersecciones viales entre Guipuzcoa y Mallorca, Vizcaya y Lugo, Valladolid y Glavis; mientras que en Ñaquito es un tramo corto de apenas 35 m, en la zona Teniente Hugo Ortiz de 78 m, en la Portugal de 100 m, y en Quitumbe de 181 metros.



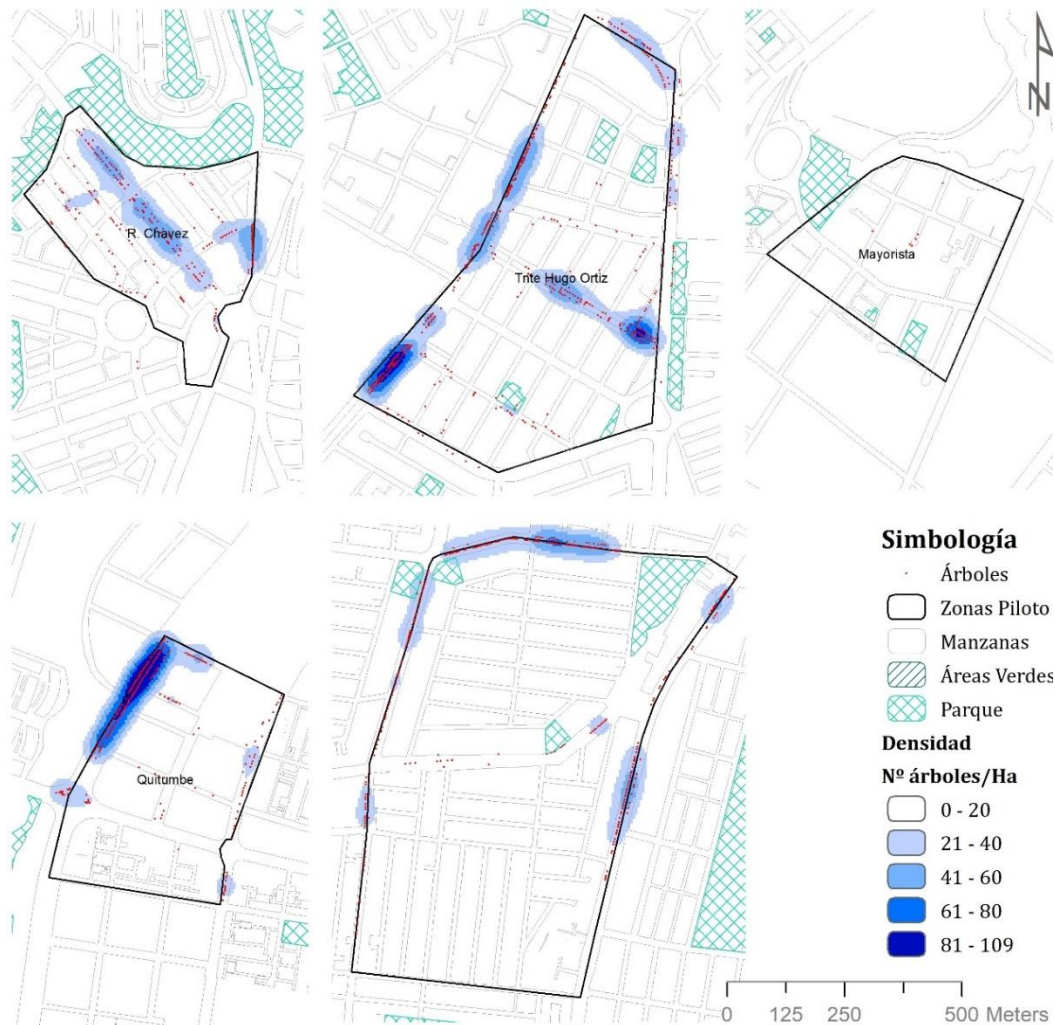
**Figura 0.1. Densidad de Kernel arbórea de La Delicia, Kennedy, Bicentenario, Portugal, CAE, Miraflores, La Floresta y San Blas.**



*Fuente:* Elaborado por la autora.

En las 13 zonas piloto existe un total de 3679 árboles de los cuales el 29% (1069 árboles) están entre 0,5 a 3 metros, el 44% (1618 árboles) tienen una altura de 3,1 a 6 metros; un 25% (916 árboles) varían de 6,1 a 15 metros y solo un 2% (76) entre 15,1 a 24 metros; es decir que el 71% de los árboles están en condición de generar sombra siempre y cuando tengan una copa cuidada y sus ramas no estén mutiladas.

**Figura 0.2. Densidad de Kernel arbórea de Rodrigo de Chávez, Teniente Hugo Ortiz, Mayorista, Quitumbe y Nueva Aurora.**



*Fuente:* Elaborado por la autora.

El detalle de la distribución de los tramos viales según rangos de altura de los árboles se visualiza en las Figuras 5.3 y 5.4, evidenciando un dominio de árboles muy pequeños, entre 0,5 a 3 metros, en las zonas Kennedy y Quitumbe correspondientes al 57% y 52% del total de su arbolado. El Bicentenario y Rodrigo de Chávez tienen 45% y 43% respectivamente de árboles muy pequeños y en el resto de zonas este rango está por debajo del 32% de sus árboles. Con respecto a la distribución espacial, los árboles más pequeños de La Delicia, Kennedy, Bicentenario y Rodrigo de Chávez, coincide con vías locales de acceso a vivienda.



**Figura 0.3. Rangos de altura del arbolado en las zonas de La Delicia, Kennedy, Bicentenario, Portugal, CAE, Miraflores, La Floresta y San Blas.**



*Fuente:* Elaborado por la autora.

El siguiente rango de altura, entre 3,1 a 6 metros, se encuentran en su mayoría en las zonas de Ñaquito, Portugal y La Delicia con el 83%, 63% y 53% de su arbolado respectivamente, las demás zonas están por debajo del 47%. A excepción de Ñaquito y La Floresta, en donde este tipo de árboles se ubican en vías locales, los árboles con este rango de altura se encuentran en su mayoría en avenidas principales.

Únicamente Nueva Aurora tiene más del 50% de sus árboles con dimensiones entre 6,1 a 15 metros, Teniente Hugo Ortiz y Miraflores Bajo alcanzan un 45% y 43% respectivamente de árboles con este rango de altura, las demás zonas están por debajo del 33%, registrando

Quitumbe, Kennedy y Mayorista los mínimos con el 2%, 1% y 0%. Finalmente, el rango de mayor altura, entre 15,1 y 24 metros alcanza solo el 5% en Nueva Aurora, Rodrigo de Chávez y Teniente Hugo Ortiz, las demás zonas no tienen o están por debajo del 2% de árboles con estas dimensiones.

**Figura 0.4. Rangos de altura del arbolado en las zonas Rodrigo de Chávez, Teniente Hugo Ortiz, Mayorista, Quitumbe y Nueva Aurora.**

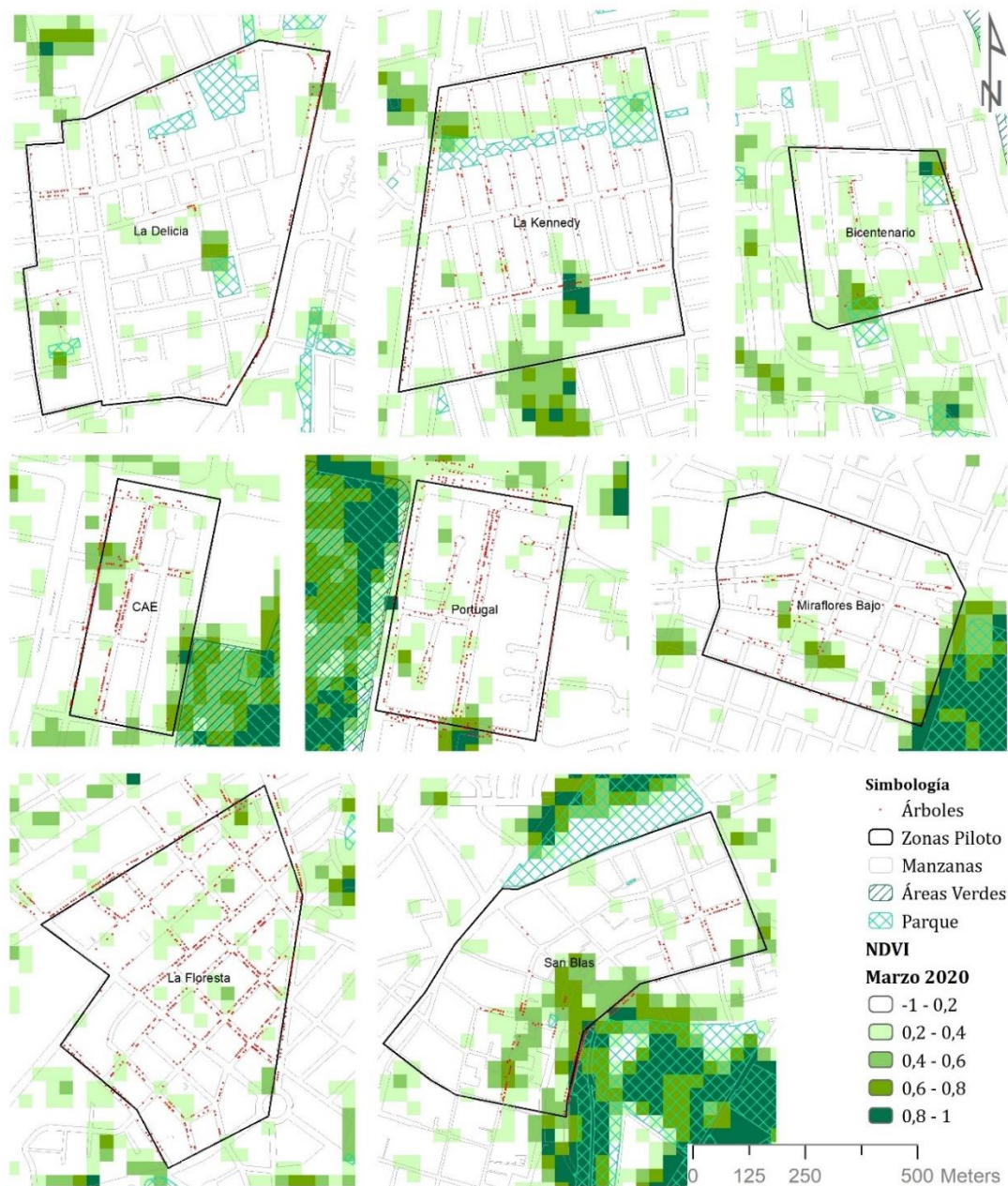


*Fuente:* Elaborado por la autora.

Con respecto al índice de vegetación de diferencia normalizada se establecen 5 niveles, de los cuales es importante aclarar que por debajo de 0,2 significa que no existe vegetación y corresponde a suelo impermeabilizado, en cambio de 0,21 hasta 1 implica la existencia de vegetación, conforme el NDVI se acerca a 1 existirá más biomasa y mayor vigorosidad de la misma. (Figuras 5.5 y 5.6)



**Figura 0.5. Rangos del NDVI en las zonas de La Delicia, Kennedy, Bicentenario, Portugal, CAE, Miraflores, La Floresta y San Blas.**

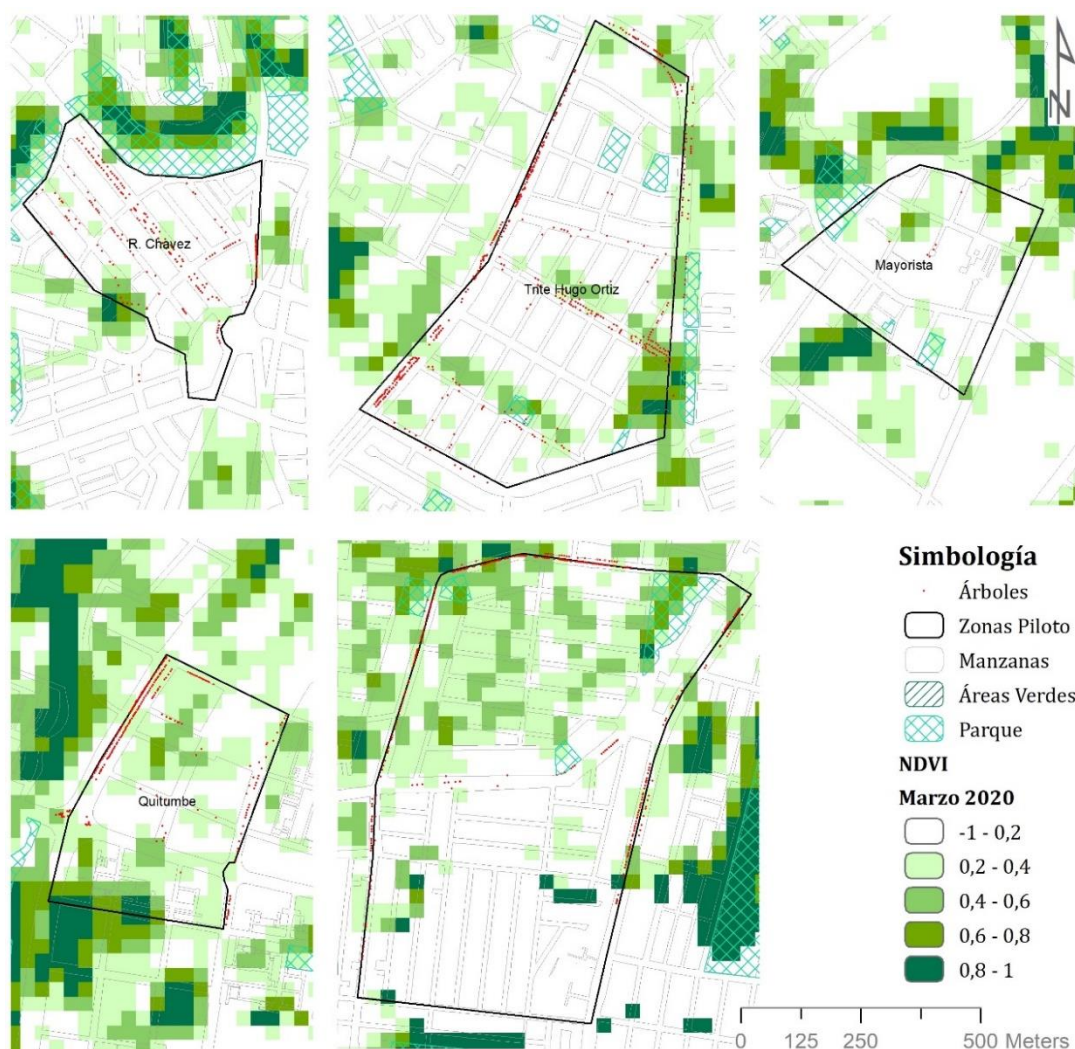


*Fuente:* Elaborado por la autora.

Los resultados demuestran que en general las 13 zonas tienen baja cobertura de vegetación que varía de 0,21 a 0,8 y que se distribuye de manera dispersa, la mayor vigorosidad y biomasa coincide con los parques o áreas verdes aledañas a las zonas piloto como La Carolina con relación a Iñaquito y Portugal; la ribera del Río Machángara con relación a Rodrigo de Chávez, y La Alameda e Itchimbia con relación a San Blas. Sin embargo, Quitumbe y Nueva Aurora destacan por tener cerca del 50% de sus áreas con cobertura verde de NDVI de 0,2 a 0,6, esto se debe a su proceso de consolidación con varios lotes baldíos y permeables.



**Figura 0.6. Rangos del NDVI en las zonas Rodrigo de Chávez, Teniente Hugo Ortiz, Mayorista, Quitumbe y Nueva Aurora.**

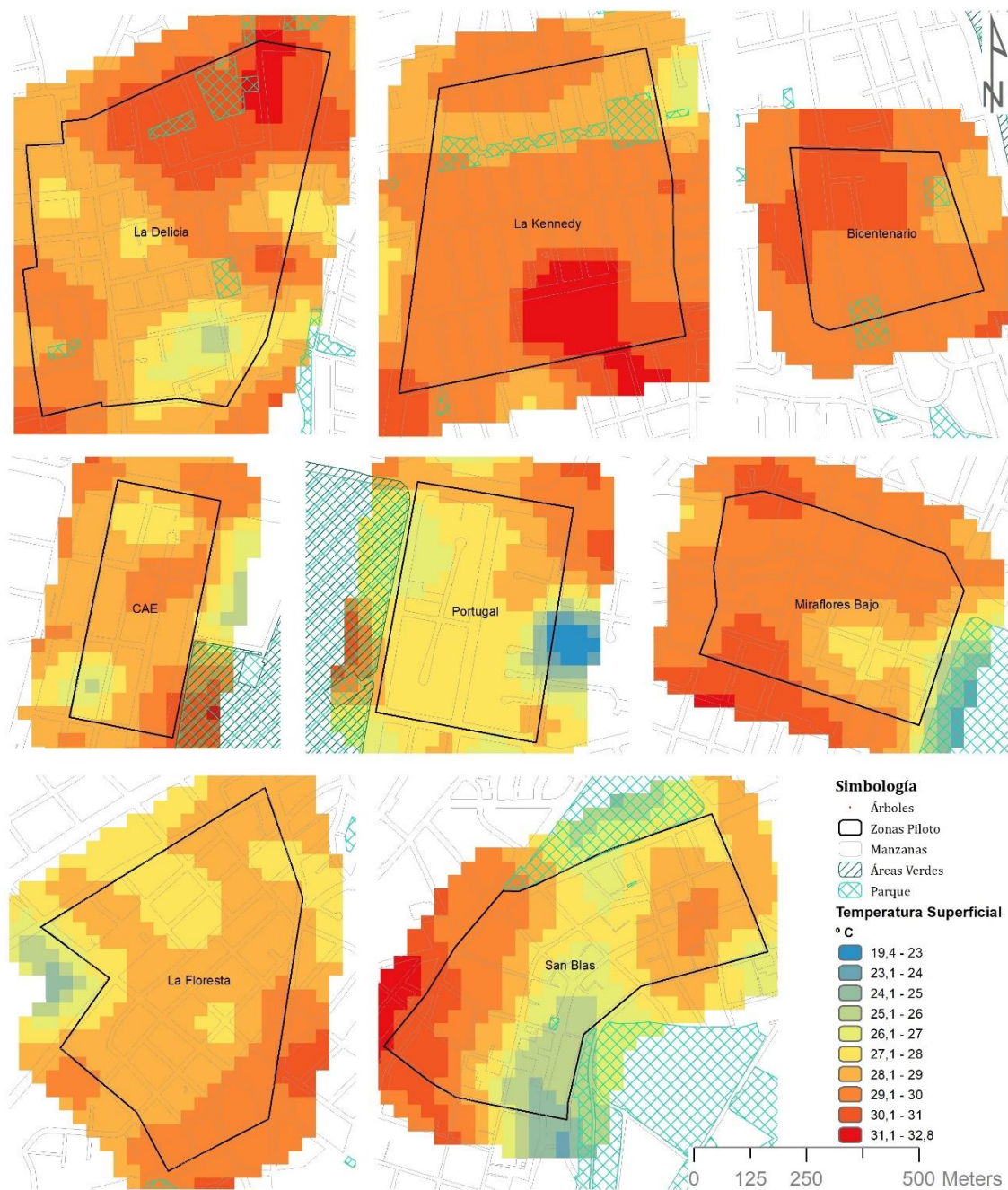


*Fuente:* Elaborado por la autora.

Otro aspecto interesante es que en la zona Teniente Hugo Ortiz el NDVI marca de 0,2 a 0,8 sobre los ejes de la Av. Antonio Jaramillo y la Av. Cosme Osorio; en el primer caso corresponde al Parque El Pintado que hace las veces de mediana al mismo tiempo pero que su sección alcanza 15 metros y en donde también se registró una densidad arbórea alta, el segundo caso corresponde a amplias zonas de césped en las aceras (10 metros en cada acera) pero con baja densidad arbórea.

Con respecto a la temperatura superficial terrestre se exponen los mapas con diferencia térmica de 1° C para evidenciar a mayor detalle sus variaciones, los resultados demuestran que la mayor amplitud está entre las zonas del norte con relación al sur de la ciudad, por ejemplo La Delicia, Kennedy y Bicentenario alcanzan las temperaturas más altas llegando a 32,8° C; en cambio Nueva Aurora llega un máximo de 28° C (Figuras 5.7 y 5.8).

**Figura 0.7. Rangos de temperatura superficial terrestre en las zonas de La Delicia, Kennedy, Bicentenario, Portugal, CAE, Miraflores, La Floresta y San Blas.**



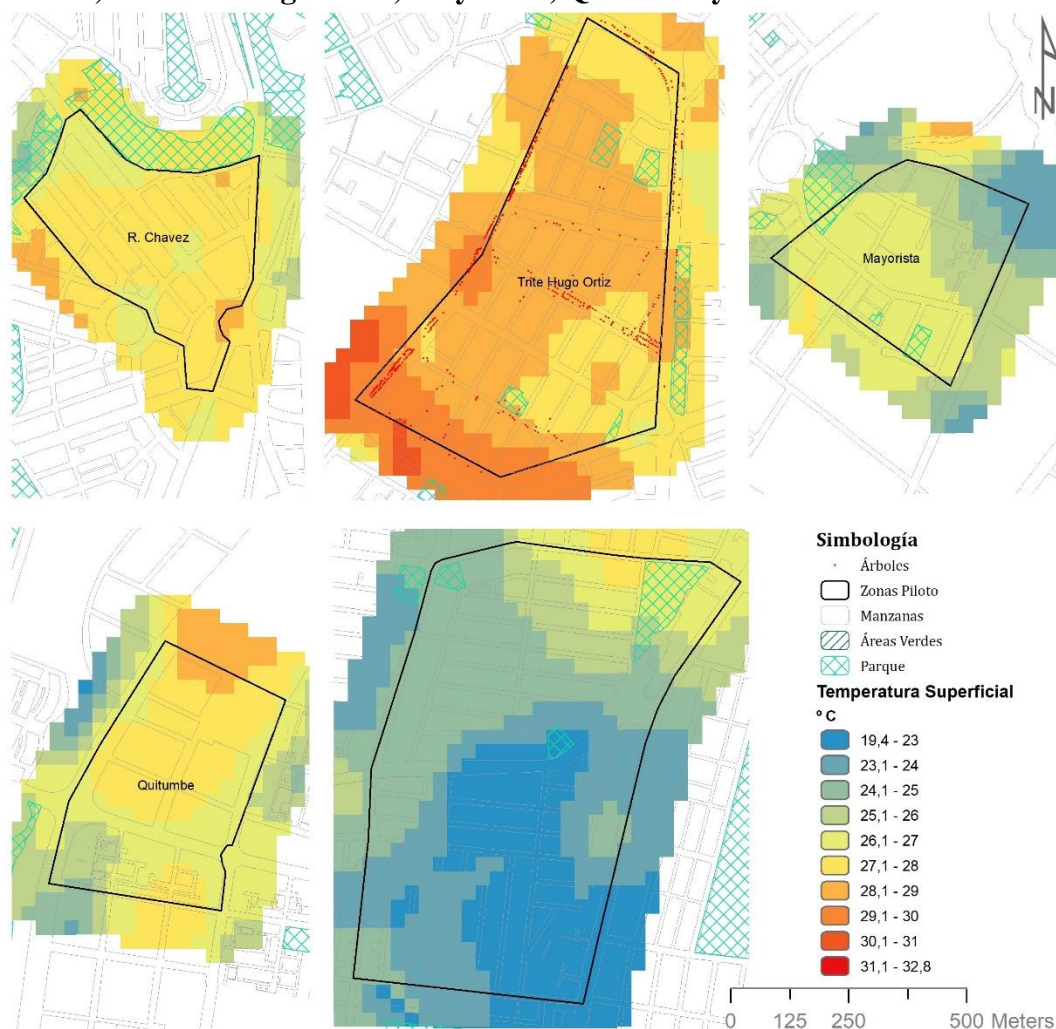
*Fuente:* Elaborado por la autora.

Existen otros dos escenarios con temperaturas medias que son más cálidas conforme se acercan al centro norte y más frías conforme se acercan al sur, por ejemplo Ñaquito, Portugal y La Floresta tienen una temperatura superficial de 26,1° C a 30° C, en cambio Quitumbe y El Mayorista tienen dos rangos intermedios de 24° C a 28° C, Rodrigo de Chávez cubre un solo rango de 26° C a 28 C.



Finalmente las tres zonas restantes que son la excepción: Miraflores Bajo con tres rangos de 26,1° C a 32,8° C, cuya área más fría es colindante con el parque del Ejido; San Blas muestra gran variación térmica con cuatro rangos de temperatura que va de 24,1° C a 32,8° C, en este caso también la distribución espacial de la temperatura evidencia una influencia de los parques de La Alameda e Itchimbía al norte y sur de la zona coincidiendo con el rango más bajo de 26,1° C a 28° C; y la zona Teniente Hugo Ortiz con rango cálido de 26,1° C a 30° C, a pesar de estar hacia el sur de Quito.

**Figura 0.8. Rangos de temperatura superficial en las zonas Rodrigo de Chávez, Teniente Hugo Ortiz, Mayorista, Quitumbe y Nueva Aurora.**



*Fuente:* Elaborado por la autora.

Al cruzar los criterios de densidad arbórea y altura de árboles encontramos que existen zonas que ofrecen mejores condiciones que otras, por ejemplo La Floresta y Teniente Hugo Ortiz tienen el mayor número de árboles, mayores densidades y el mayor porcentaje de arbolado alto con rango de altura de 6,1 a 24 metros.

Luego Iñaquito y Portugal tienen alta densidad arbórea y alto porcentaje de arbolado con rango de altura de 3,1 a 6 metros, Quitumbe destaca por tener alta densidad y un número medio de árboles; en puestos intermedios se encuentran Miraflores Bajo, Rodrigo de Chávez, San Blas, La Delicia, Nueva Aurora y Kennedy. En los últimos niveles aparecen El Mayorista y Bicentenario que con diferencia tienen el menor número de árboles y la menor densidad arbórea (Tabla 5.2).

**Tabla 0.2. Orden jerárquico de las 13 zonas piloto en función de altura y densidad arbórea.**

Orden jerárquico	Jerarquizado de mayor a menor N° de árboles	ALTURA DE ÁRBOLES				DENSIDAD DE ÁRBOLES
		Jerarquizadas de menor a mayor % de árboles en el rango (3,1m a 6m)	Jerarquizadas de mayor a menor % de árboles en el rango (3,1m a 6m)	Jerarquizadas de mayor a menor % de árboles en el rango (6,1m a 15m)	Jerarquizadas de mayor a menor % de árboles en el rango (15,1m a 24m)	Jerarquizadas de mayor a menor densidad.
1	La Floresta	CAE-Iñaquito	Mayorista	Nueva Aurora	Tnte. Hugo Ortíz	La Floresta
2	Tnte. Hugo Ortíz	Miraflores Bajo	CAE-Iñaquito	Tnte. Hugo Ortíz	Rodrigo de Chavez	Quitumbe
3	Portugal	Mayorista	Portugal	Miraflores Bajo	Nueva Aurora	Tnte. Hugo Ortíz
4	Nueva Aurora	Portugal	La Delicia	San Blas	San Blas	Portugal
5	Kennedy	Nueva Aurora	Bicentenario	La Floresta	La Floresta	CAE-Iñaquito
6	Quitumbe	Tnte. Hugo Ortíz	Miraflores Bajo	La Delicia	Bicentenario	San Blas
7	CAE-Iñaquito	San Blas	Quitumbe	Rodrigo de Chavez	Miraflores Bajo	Rodrigo de Chavez
8	Rodrigo de Chavez	La Delicia	Kennedy	Portugal	La Delicia	Nueva Aurora
9	San Blas	La Floresta	La Floresta	CAE-Iñaquito	Portugal	La Delicia
10	Miraflores Bajo	Bicentenario	San Blas	Bicentenario	CAE-Iñaquito	Kennedy
11	La Delicia	Rodrigo de Chavez	Rodrigo de Chavez	Quitumbe	Quitumbe	Bicentenario
12	Bicentenario	Quitumbe	Tnte. Hugo Ortíz	Kennedy	Kennedy	Miraflores Bajo
13	Mayorista	Kennedy	Nueva Aurora	Mayorista	Mayorista	Mayorista

Fuente: Elaborado por la autora.

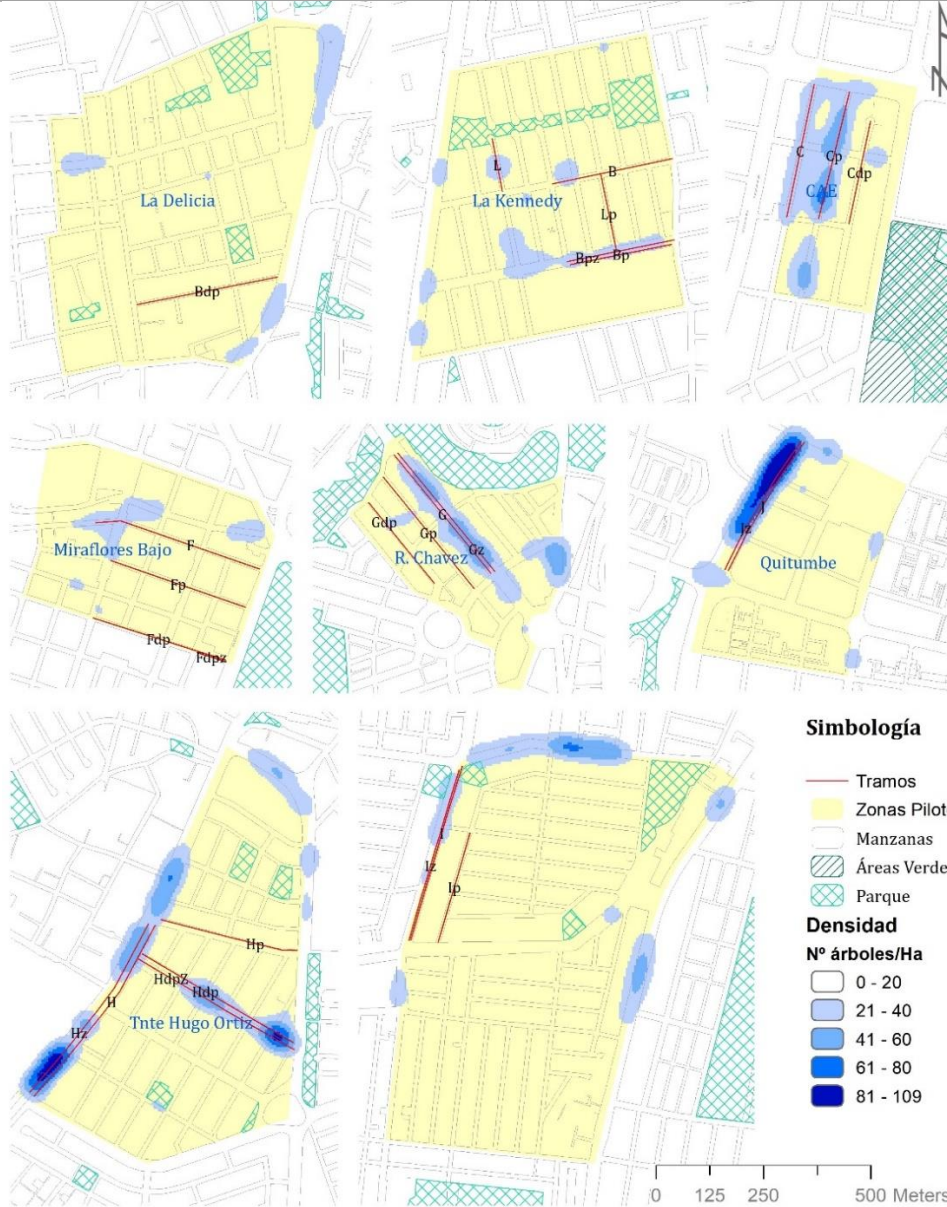
## 5.2 Tramos escogidos y sus hipótesis correspondientes

En base a los resultados obtenidos de los cuatro criterios sumados a las hipótesis y condiciones antes explicadas en la metodología, se seleccionan los tramos que mayores posibilidades de comparación ofrecen. En dicha selección se consideran dos aspectos

adicionales: la temporalidad de la toma de medidas y la distribución espacial a lo largo del área urbana de Quito.

**Figura 0.9. Tramos seleccionados para la medición in situ.**

TRAMOS SELECCIONADOS											
Zona		Tramo seleccionado			Zona		Tramo seleccionado				
Nº	Nombre	Nombre de la calle	Orientación de la acera a medir	Código del tramo	Distancia (metros)	Nº	Nombre	Nombre de la calle	Orientación de la acera a medir	Código del tramo	Distancia (metros)
1	La Delicia	Aurelio Espinoza Polit	N	Bdp	334,8	9	Rodrigo de Chávez	Rodrigo de Chavez	O	G	371,8
2	Kennedy	Cap. Ramon Borja	S	B	286,0			Diego de Sandoval	O	Gdp	244,4
		De los Algarrobos	S	Bp	241,7			Gonzalo Diaz de Pineda	O	Gp	336,3
		De los Algarrobos	C	Bpz	241,7			Rodrigo de Chavez	O	Gz	371,8
		Cesar Davila Andrade	O	L	125,5	Mariscal Sucre	E	H	492,0		
5	CAE	Romero y Cordero	O	Lp	185,2	10	Teniente Hugo Ortíz	Antonio Jaramillo	N	Hdp	421,5
		Iñaquito	E	C	317,4	Antonio Jaramillo		C	Hdpz	421,5	
		Juan Gonzales	E	Cdp	246,2	Luis Iturralde		N	Hp	328,0	
6	Miraflores Bajo	Nuñez de Vela	E	Cp	304,9	12	Quitumbe	Mariscal Sucre	C	H	482,9
		Asunción	N	F	402,8	Quitumbe Ñan		E	J	350,9	
		Bogotá	N	Fdp	324,8	Quitumbe Ñan		E	Jz	350,9	
		Bogotá	C	Fdpz	67,9	Quitumbe Ñan		E	I	423,7	
6	Miraflores Bajo	Santiago	N	Fp	333,4	13	Nueva Aurora	Oe2H	E	Ip	267,1
		Santiago	N	Fp	333,4	Quitumbe Ñan		C	Iz	423,7	



Fuente: Elaborado por la autora.

Con respecto a la temporalidad las temperaturas deben ser tomadas en el menor tiempo posible para evitar que los cambios térmicos por factores como viento y altitud del sol influyan en los resultados, con respecto a la distribución espacial se procura tener muestras que cubran norte, centro y sur de la ciudad.

Se seleccionaron 27 tramos repartidos en 8 zonas y 21 calles, cada uno de ellos lleva una codificación propia cuya primera letra mayúscula corresponde al orden alfabético de norte a sur y a una zona en específico, la segunda y tercera letra siempre serán *p* ó *dp* que significan *prima (p)* o *doble prima (dp)* y corresponde al orden de selección al interior de la zona. En aquellos casos en los que se encuentre una *z* al final de código corresponderá a un parterre. Se toma como ejemplo a la zona de Nueva Aurora para entender mejor la codificación. Los tres tramos de Nueva Aurora se codifican como I – Iz – Ip, que corresponden a la Av. Quitumbe Ñan y a la calle Oe2H; I es la acera de Quitumbe Ñan e Iz es el parterre paralelo a dicha acera, mientras que Ip corresponde a la acera de la calle Oe2H. En la (Figura 5.9) se expone el detalle de los tramos incluyendo la zona, calle, orientación, codificación y longitud a la que corresponde cada uno de ellos y en la (Tabla 5.3) se detalla la relación entre tramos en función de la hipótesis que se esperan resolver.

**Tabla 0.3. Relación entre tramos escogidos según hipótesis**

<b>Hipótesis 1: A mayor densidad de árboles menor será la temperatura y viceversa.</b>	<b>Hipótesis 2: A mayor altura de los árboles menor será la temperatura y viceversa.</b>	<b>Hipótesis 3: Los cañones urbanos con arbolado tendrán menor temperatura que aquellos cañones sin arbolado urbano.</b>	
C - Cp	B - Bpz	Bp - Bpz	L - Lp
Jz	F	C - Cp	Hdp - Hdpz
H <sub>z</sub>	F - Fdp	C - Cdp	H - Hz
Iz		Fdp - Fdpz	Hp - Hdpz
Gz - Gdp		G - Gz	I - Iz
Gz - Gp		J - Jz	Iz- Ip

Fuente: Elaborado por la autora.

### 5.3 Resultados de la temperatura del aire con y sin sombra de arbolado

En campo se toman entre 3 a 5 puntos de temperatura del aire por cada tramo, de tal modo que cubra la longitud del mismo sin sobrepasar el tiempo máximo de medida, este número de puntos dependerá de la extensión de cada tramo. A partir de estos datos se calcula el promedio de temperatura por tramo y para cada día de registro. El detalle completo de la ubicación de los puntos registrados y su dato térmico se exponen en las Figuras 5.10 a la 5.18.

Cada punto registrado tiene una codificación propia e inicia con el código del tramo al que corresponde, luego una numeración que indica el orden en el que fueron tomadas las temperaturas por zonas y finalmente el literal *a* o *b*, *el primero* significa que fue tomado bajo la sombra de un árbol (*a*) y el segundo significa que fue tomado al aire libre sin sombra (*b*); en los cuadros que siguen, las celdas con color verde corresponden a los codificados con literal (*a*), es decir tomados debajo de la sombra del árbol.

### **5.3.1 Zona 1: La Delicia - Tramo Bdp – Calle Aurelio Espinoza Pólit (334 metros)**

El tramo de la calle Aurelio Espinoza Pólit alcanza el promedio de temperatura del aire más alto de las 13 zonas. En 2 de los 5 días el promedio de 4 puntos tomados a lo largo de 334 metros es igual a 34,8 ° C, mientras que los otros tres días alcanzan un promedio de 22° C, 23,1° C y 29,5° C. Evaluando temperatura individual por cada punto se detecta que el día soleado del 6 de marzo a las 12h48, Bdp4b alcanzó 37,4° C, el más caliente de todos los puntos tomados durante los 5 días el registro, en cambio el punto más frío es Bdp15b que alcanzó la temperatura mínima de 20,1 ° C bajo la sombra de un árbol el 8 de marzo a las 13h13.

En este mismo tramo existen únicamente tres árboles de Eugénias en hilera, concentrados en la parte oeste cuya copa es pequeña pero su altura supera los tres metros, la temperatura del aire bajo sombra de estos árboles es más baja con relación al resto de puntos registrados a lo largo del tramo y varía entre 0,6 a 4,3 ° C en un día nublado y de 4,5 a 9,5 ° C en un día soleado.

La temperatura en los cañones urbanos, a la altura de 1,2 m desde la acera, es mayor a la temperatura registrada por las estaciones meteorológicas oficiales. Resulta que en los días soleados del 6, 9 y 10 de marzo la estación Cotocollao, ubicada a 1115 metros de la zona, registró 17,1° C; 20,6° C y 19,8° C respectivamente, mientras que a las mismas horas, el tramo de la Calle Aurelio Espinoza Pólit alcanzó 34,8° C ; 29,5° C y 34,8° C. Esta diferencia varía entre 8,87 a 16,98° C en días soleados y de 3,36 a 4,14° C en días nublados.

Finalmente la humedad relativa fluctúa entre 10 a 46%, el más bajo en días soleados y el más alto en días nublados. En la (Figura 5.10) se muestra la ubicación de los puntos registrados y sus temperaturas diarias.



**Figura 0.10. Temperatura del aire del tramo Bdp de la zona de La Delicia.**



6 de marzo de 2020		8 de marzo de 2020		9 de marzo de 2020		10 de marzo de 2020		11 de marzo de 2020	
Puntos	Bdp	Puntos	Bdp	Puntos	Bdp	Puntos	Bdp	Puntos	Bdp
Bdp2b	31,7	Bdp14a	20,1	Bdp1a	23,7	Bdp1b	36,8	Bdp1a	22,0
Bdp3b	36,6	Bdp15b	20,7	Bdp2b	33,2	Bdp2b	37,4	Bdp2b	23,2
Bdp4b	37,4	Bdp16b	22,8	Bdp3b	32,9	Bdp3b	37,1	Bdp3b	23,1
Bdp5b	33,4	Bdp17b	24,4	Bdp4b	28,2	Bdp4a	28,0	Bdp4b	23,5
Prom	34,8	Prom	22,0	Prom	29,5	Prom	34,8	Prom	23,1







*Fuente:* Elaborado por la autora.

### **5.3.2 Zona 2: Kennedy - Tramos B – Capitán Ramón Borja (286 metros), Bp y Bpz– De Los Algarrobos (241,7 metros), L – César Dávila Andrade (185,2 metros) y Lp - Romero y Cordero (241,7 metros)**

En la calle Capitán Ramón Borja en días soleados el promedio de 4 puntos tomados a lo largo de 286 metros del tramo es superior a 23 ° C; en 1 de los 5 días se registra la mayor temperatura promedio igual a 32,6 ° C. El punto que alcanzó mayor temperatura fue B4b con 34,2° C, el 6 de marzo a las 13h17. Se nota un comportamiento similar en dos días nublados variando el promedio entre 22,7° C y 25,8° C en respectivamente. El punto B12b alcanzó la temperatura mínima sin sombra de 21,4 ° C, el 8 de marzo a las 14h10. En este tramo existe únicamente un árbol, la temperatura del aire bajo sombra de este árbol es más baja con relación al resto de puntos registrados a lo largo del tramo y varía entre 0,8 a 4,7 ° C en un día soleado y de 0,7 a 3,9 ° C en un día nublado.

En la acera (Bp) de la Av. De Los Algarrobos existen únicamente dos árboles con una distancia entre ellos de 128 metros, bajo éstos se tomaron también medidas para diferenciarlos de la temperatura sin sombra, pero (Bp) representa una acera sin arbolado en la mayoría del tramo. Una de las hipótesis es que en la acera (Bp) sin arbolado será más cálida que el parterre (Bpz); la hipótesis se cumple en 4 de los 5 días, demostrándose que el promedio de los puntos tomados en la acera Bp sin sombra de árbol es entre 0,3° C a 5,9° C más cálida que el parterre paralelo, el 5to día los promedios son iguales entre los dos tramos.

Comparando entre puntos registrados en la acera (Bp) de la Av. De Los Algarrobos con y sin sombra de árboles, se evidencia una diferencia significativa, en días soleados y bajo la sombra

de un árbol la temperatura es menor entre  $0,5^{\circ}\text{C}$  a  $12,4^{\circ}\text{C}$ , en un día nublado esta diferencia es hasta de  $8,1^{\circ}\text{C}$ . En el tramo Bpz también hay diferencias de este tipo pero el rango de fluctuación es menor que el de la acera, se registra entre  $1,1$  a  $7,3^{\circ}\text{C}$  más frío debajo de la sombra de la copa de los árboles.

El tramo L se caracteriza por contar con arbolado en la acera pero con alturas menores a 3 metros, en cambio, el tramo Lp registra un solo árbol en acera. Con esas características se esperaba que Lp alcanzara más temperatura que L, sin embargo, los resultados varían durante los 5 días. El 9 de marzo es el único que cumple con la hipótesis, Lp con un promedio de  $37,8^{\circ}\text{C}$  frente a  $28,1^{\circ}\text{C}$  de L, es decir una diferencia térmica significativa de  $9,7^{\circ}\text{C}$ . El 10 de marzo los promedios son iguales en ambos tramos marcando  $22,6^{\circ}\text{C}$ . Los días 6, 8 y 11 de marzo, al contrario de lo que se esperaba, el tramo L es más cálido que Lp entre  $1,6^{\circ}\text{C}$  a  $3,4^{\circ}\text{C}$ . Estos resultados se pueden vincular con la altura del arbolado del tramo L cuyas sombra es limitada debido a su estado de conservación, como se puede apreciar en la (Figura 5.11).

**Figura 0.11. Sección del tramo L y su arbolado.**

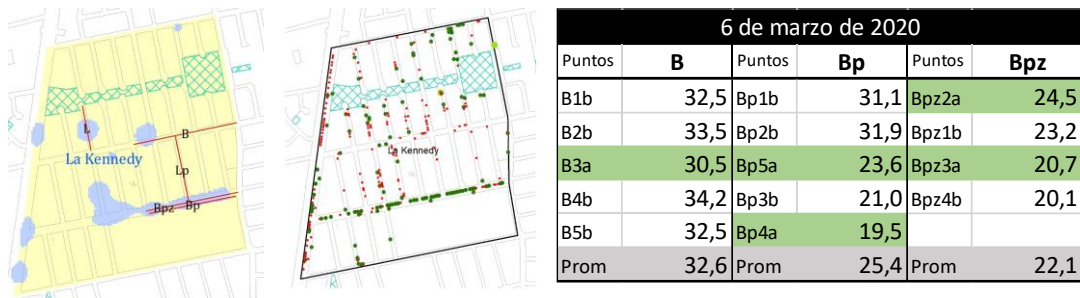


*Fuente:* Google Earth (abril de 2020).

La temperatura en los cañones urbanos de todos estos tramos, a la altura de 1,2 m desde la acera, es mayor a la temperatura registrada por la estación meteorológica Bicentenario, ubicada a 600 metros de La Kennedy. Los días 6, 8, 9, 10 y 11 de marzo la estación Bicentenario promedios de  $16,6^{\circ}\text{C}$ ,  $18,25^{\circ}\text{C}$ ,  $21,5^{\circ}\text{C}$ ,  $18,7^{\circ}\text{C}$  y  $19,4^{\circ}\text{C}$  entre las 12h00 a las 14h00 respectivamente, mientras que los tramos variaron a esas mismas horas entre  $20,4^{\circ}\text{C}$  a  $37,8^{\circ}\text{C}$ ; es decir que los tramos analizados pueden llegar a ser hasta  $16,8^{\circ}\text{C}$  más cálidos que lo marcado por las estaciones oficiales, ese es el caso del 9 de marzo cuando el tramo Lp llega a  $37,8^{\circ}\text{C}$  mientras que la estación Bicentenario marca  $21^{\circ}\text{C}$ .

La humedad relativa fluctúa entre 10% a 45%, el más bajo en días soleados y el más alto en días nublados. En la (Figura 5.12) se muestra la ubicación de los puntos registrados y sus temperaturas diarias.

**Figura 0.12. Temperatura del aire de los tramos L, Lp, B, Bp y Bpz de la zona de La Kennedy.**



8 de marzo de 2020			9 de marzo de 2020		
Puntos	B	Puntos	Bp	Puntos	Bpz
B11b	22,8	Bp4a	20,9	Bpz3b	22,1
B12b	21,4	Bp6b	20,5	Bpz5a	21,0
B13a	23,1	Bp8b	27,8	Bpz7a	23,5
B14b	23,4	Bp10b	22,4	Bpz9b	26,1
Prom	22,7	Prom	22,9	Prom	23,2
B3b	31,7	Bp8b	25,1	Bpz7b	36,4
B4a	27,0	Bp10a	25,8	Bpz9a	26,4
B5b	28,2	Bp12b	31,0	Bpz11b	28,1
B6b	27,8	Bp14b	36,8	Bpz13a	27,6
Prom	28,7	Prom	29,7	Prom	29,6





10 de marzo de 2020					11 de marzo de 2020						
Puntos	<b>B</b>	Puntos	<b>Bp</b>	Puntos	<b>Bpz</b>	Puntos	<b>B</b>	Puntos	<b>Bp</b>	Puntos	<b>Bpz</b>
B3b	25,1	Bp8b	22,6	Bpz7b	23,1	B3b	25,6	Bp8b	30,9	Bpz7b	32,4
B4a	23,1	Bp10b	21,8	Bpz9a	21,9	B4a	23,3	Bp10a	26,4	Bpz9a	25,8
B5b	23,8	Bp12b	21,9	Bpz11a	21,5	B5b	27,2	Bp12b	25,4	Bpz11a	25,4
B6b	22,2	Bp14a	22,2	Bpz13b	22,9	B6b	27,2	Bp14b	34,5	Bpz13b	32,7
Prom	23,6	Prom	22,1	Prom	22,4	Prom	25,8	Prom	29,3	Prom	29,1



6 de marzo de 2020				8 de marzo de 2020				9 de marzo de 2020			
Puntos	Lp	Puntos	L	Puntos	Lp	Puntos	L	Puntos	Lp	Puntos	L
Lp16b	22,5	L1b	24,5	Lp1b	20,1	L1b	22,8	Lp15b	36,8	L1a	27,0
Lp17b	22,7	L2a	24,0	Lp2a	20,7	L2a	23,1	Lp16b	38,7	L2b	29,1
Prom	22,6	Prom	24,3	Prom	20,4	Prom	23,0	Prom	37,8	Prom	28,1





10 de marzo de 2020		11 de marzo de 2020	
Puntos	Lp	Puntos	L
Lp1b	23,6	L1b	23,5
Lp2b	21,6	L2a	21,6
Prom	22,6	Prom	22,6
Puntos	Lp	Puntos	L
Lp15b	24,3	L1b	26,2
Lp16b	24,0	L2a	25,1
Lp17b	24,0		
Prom	24,1	Prom	25,7



Fuente: Elaborado por la autora.

### **5.3.3 Zona 5: Iñaquito - Tramos C – Iñaquito (317,4 metros), Cdp - Juan González (246,2 metros) y Cp – Núñez de Vela (304,9 metros)**

La zona de Iñaquito tiene menor temperatura promedio con relación a las zonas de La Delicia y Kennedy, este varía entre 19,9° C a 28° C. Los tramos C y Cp son similares en sección de vía y en distribución de arbolado, ambos tienen Calistemos Blancos (*Melaleuca Quinquenervia*) continuos en acera a una distancia promedio de 4 metros. En cambio el tramo Cdp no tiene ningún árbol en acera y por lo tanto se espera que registre mayor temperatura del aire con relación a los tramos arbolados.

Los resultados demuestran que este supuesto no se cumple en 3 de los 5 días, en donde el tramo sin arbolado tiene menor temperatura con relación a los dos tramos arbolados, esa diferencia varía entre 0,1° C a 3° C. En cambio el día soleado del 9 de marzo se cumple parcialmente la hipótesis porque el tramo arbolado C marca 24,5° C mientras Cdp llega a 26,9° C; sin embargo Cp alcanza 28° C en el mismo lapso de tiempo. El único día que se cumple la hipótesis es el 12 de marzo cuando Cdp supera a Cp con 1,1° C y supera a C con 2,4° C.

En este caso los resultados podrían estar relacionados con la especie arbórea y su capacidad de generar sombra, de hecho, en la comparación por tramos se evidencia que no hay diferencias térmicas significativas entre estar debajo o al costado del árbol, siendo éste el único caso que registra ese patrón.

Otro aspecto importante que apuntar es que los tramos Cp y Cdp a pesar de tener características de arbolado similares los resultados muestran que Cp es ligeramente más cálido que C durante los 5 días de registro, esa diferencia varía entre 0,8° C a 1,3° C en 4 días nublados y hasta 3,5° C en el día soleado del 9 de marzo. Diferencia que puede estar determinada por las características de la calle Núñez de Vela (Cp) con muros sólidos como cerramiento en las dos aceras, almacenando calor a la altura del peatón, este aumento térmico es mucho mayor en un día soleado.

La temperatura del aire registrada a la altura de 1,2 m desde la acera en estos tres tramos es mayor a la de la estación meteorológica Iñaquito, ubicada dentro del área de estudio, dicha diferencia sin embargo no es tan alta como se ha demostrado en las otras zonas. Por ejemplo, los días 9, 12 y 13 de marzo la estación Iñaquito registra 24,3° C, 20° C y 21° C respectivamente, al mismo tiempo las temperaturas promedio de los cañones urbanos registran apenas 3,7° C, 3,8° C y 3,8° C más que lo registrado por la estación Iñaquito, de hecho, los días 8 y 11 de marzo el rango promedio de los tramos coincide con las medidas registradas por la estación meteorológica oficial.



Finalmente la humedad relativa fluctúa entre el 20% al 51%, con mínimo y máximo superior a los registrados en las zonas de La Delicia y Kennedy. En la (Figura 5.13) se muestra la ubicación de los puntos registrados y sus temperaturas diarias.

**Figura 0.13. Temperatura del aire de los tramos C, Cp y Cdp de la zona de Ñaquito**

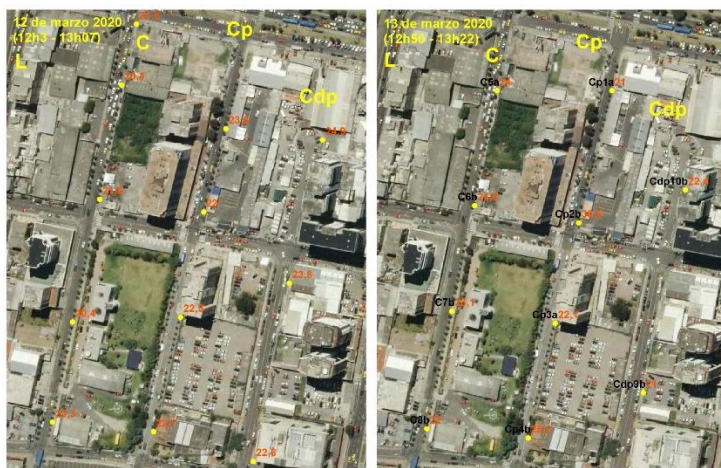


8 de marzo de 2020						9 de marzo de 2020					
Puntos	C	Puntos	Cdp	Puntos	Cp	Puntos	C	Puntos	Cdp	Puntos	Cp
C1a	21,3	Cdp11b	22,1	Cp6a	22,3	C1b	25,1	Cdp11b	25,7	Cp6a	28,2
C2b	21,1	Cdp12b	20,9	Cp7a	24,2	C2a	24,9	Cdp12b	28,1	Cp7a	27,0
C3b	21,0	Cdp13a	22,3	Cp8a	21,8	C3b	25,0			Cp8b	27,9
C4a	22,1			Cp9b	22,1	C4a	21,0			Cp9b	29,3
C5b	22,8			Cp10b	21,9	C5b	26,3			Cp10a	27,4
Prom	21,7	Prom	21,8	Prom	22,5	Prom	24,5	Prom	26,9	Prom	28,0





11 de marzo de 2020						12 de marzo de 2020					
Puntos	C	Puntos	Cdp	Puntos	Cp	Puntos	C	Puntos	Cdp	Puntos	Cp
C10b	19,7	Cdp1b	19,6	Cp5b	21,3	C1b	21,5	Cdp10b	24,9	Cp6b	22,7
C11a	19,4	Cdp2b	20,3	Cp6a	21,5	C2a	20,4	Cdp11b	23,8	Cp7a	22,3
C12b	20,5	Cdp3b	21,1	Cp7b	20,9	C3b	21,6	Cdp12b	22,6	Cp8a	22,0
C13a	19,9			Cp8a	19,6	C4a	20,4			Cp9b	23,6
				Cp9b	20,0	C5b	23,3				
Prom	19,9	Prom	20,3	Prom	20,7	Prom	21,4	Prom	23,8	Prom	22,7



13 de marzo de 2020					
Puntos	C	Puntos	Cdp	Puntos	Cp
C5a	24,0	Cdp9b	21,0	Cp1a	21,0
C6b	24,9	Cdp10b	22,4	Cp2b	30,5
C7b	23,1			Cp3a	22,1
C8b	22,0			Cp4b	25,2
Prom	23,5	Prom	21,7	Prom	24,7

Fuente: Elaborado por la autora.

### 5.3.4 Zona 6: Miraflores Bajo - Tramos F – Asunción (402,8 metros), Fp - Santiago (333,4 metros), Fdp – Bogotá (324,8 metros) y Fdpz – Bogotá (67,9 metros)

La zona de Miraflores Bajo está entre las zonas de temperatura media, por debajo de La Delicia y Kennedy, estos promedios varían entre 21,1° C a 26,9° C. Al evaluar la diferencia térmica de manera puntual bajo sombra y sin sombra en cada uno de los tres tramos F, Fp y Fdp, las medidas bajo sombra el 6 de marzo varían entre 0,1° C a 6,5° C más frías con relación a los puntos sin sombra, y entre 2,2° C a 7° C el 8 de marzo como representación de día nublado.

Comparando entre los tramos F, Fp y Fdp la hipótesis sugiere que a mayor altura menor temperatura y viceversa; sin embargo, los resultados no cumplen este supuesto, la diferencia entre estos tres tramos es muy próxima variando de 0,5° C a 1,1° C y registrando únicamente uno de los 5 días mayor temperatura en los tramos con menor altura de árboles. En cambio en

la calle Bogotá, la hipótesis entre una acera no arbolada (Fdp) y el parterre arbolado (Fdpz) si se cumple, siendo Fdpz más frío que Fdp con una diferencia de 3,6° C el 6 de marzo y 3,9° C el 8 de marzo.

La temperatura del aire registrada a la altura de 1,2 m desde la acera en estos cuatro tramos es mayor a la de la estación meteorológica Belisario, ubicada a 2.500 metros de la zona de Miraflores Bajo. Resulta que el 6 de marzo la estación Belisario registró 18,3° C entre las 12h00 a las 13h00, mientras que los cuatro tramos variaron entre 21,9° C a 30,1° C. El 8 de marzo la estación Belisario registró 19,4° C entre las 12h00 a las 13h00, mientras que los tres tramos variaron entre 22,8° C a 30° C. En general, los tramos analizados son más cálidos entre 3,4° C a 11,8° C.

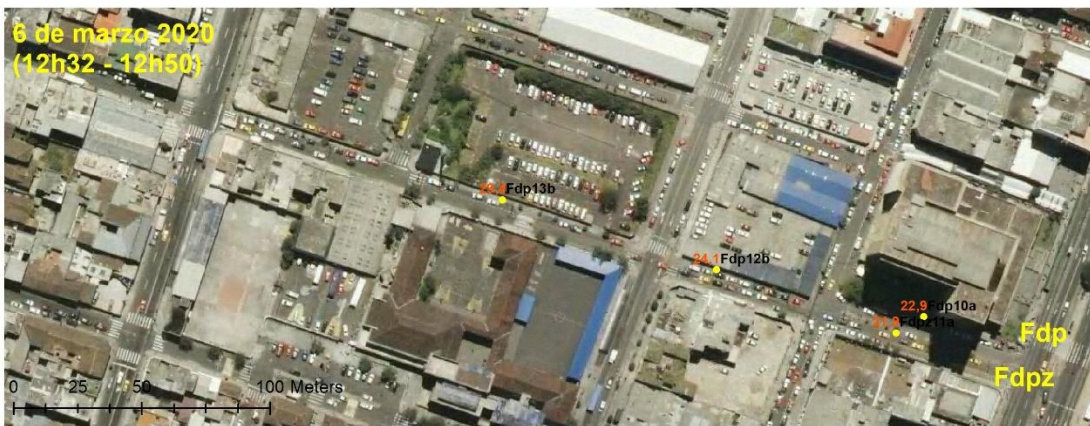
Finalmente la humedad relativa fluctúa entre el 34% al 46%, con mínimo y máximo superior a los registrados en las zonas de La Delicia y Kennedy pero inferior a Iñaquito. En la (Figura 5.14) se muestra la ubicación de los puntos registrados y sus temperaturas diarias.

**Figura 0.14. Temperatura del aire de los tramos F, Fp, Fdp y Fdpz de la zona de Miraflores Bajo**



6 de marzo de 2020				8 de marzo de 2020											
Puntos	F	Puntos	Fp	Puntos	Fpdz	Puntos	Fdp	Puntos	F	Puntos	Fp	Puntos	Fpdz	Puntos	Fdp
F1b	26,5	Fp6b	25,0	Fdpz11	21,9	Fdp10a	22,9	F3a	22,8	Fp8a	22,6	Fdpz17	22,0	Fdp12t	29,6
F2a	23,7	Fp7a	24,9			Fdp12a	24,1	F4b	22,8	Fp9a	22,4			Fdp13a	23,7
F3b	24,1	Fp8b	30,1			Fdp13b	29,4	F5a	22,4	Fp10b	24,8			Fdp15t	30,0
F4b	26,7	Fp9a	24,4					F6b	25,1	Fp11b	25,4			Fdp16a	23,0
F5a	24,2							F7b	28,3					Fdp18a	23,4
Prom	25,0	Prom	26,1	Prom	21,9	Prom	25,5	Prom	24,3	Prom	23,8	Prom	22,0	Prom	25,9









*Fuente:* Elaborado por la autora.

### 5.3.5 Zona 9: Rodrigo de Chávez - Tramos G – Gz - Rodrigo de Chávez (371,8 metros), Gp - Gonzalo Díaz de Pineda (336,3 metros) y Gdp - Diego de Sandoval (244,4 metros)

En la zona de Rodrigo de Chávez se nota el aumento de temperatura con relación a Iñaquito, sus promedios varían entre 23,8° C a 30° C. Al evaluar la diferencia térmica de manera puntual bajo sombra y sin sombra en el tramo de la calle Gonzalo Díaz de Pineda, las medidas bajo sombra del 8 de marzo son 1,5° C más frías que sin sombra y el 9 de marzo esa diferencia se amplía a 5,7° C. En el tramo Diego de Sandoval también hay amplia diferencia el día soleado del 9 de marzo, llegando a 4,7° C, mientras que el 6 no se registra variación bajo sombra.

Se esperaba que en el tramo del parterre de la Av. Rodrigo de Chávez (Gz) se registrara menores temperaturas debido a la alta densidad arbórea, con relación a Gonzalo Díaz de Pineda (Gp) y Diego de Sandoval (Gdp) con menor densidad, la hipótesis se cumple el día soleado del 9 de marzo siendo Gp más cálido con 4,1° C y Gdp más cálido con 2° C. En cambio el día nublado del 6 de marzo Gz es inclusive más cálido con 0,4° C a 0,6° C que Gp y Gdp. Al comparar entre una acera no arbolada (G) y el parterre arbolado (Gz) la hipótesis se cumple a cabalidad, siendo Gz más frío que G con una diferencia de 0,7° C el 6 de marzo y 4,6° C el 8 de marzo.

La temperatura en los cañones urbanos de los tres tramos, a la altura de 1,2 m desde la acera, es mayor a la temperatura registrada por la estación meteorológica El Camal, ubicada a 1.350 metros de la zona de Rodrigo de Chávez. Resulta que el 8 de marzo la estación El Camal registró 19,1° C entre las 12h00 a las 13h00, mientras que los cuatro tramos variaron entre 23,2° C a 24,5° C. El 9 de marzo la estación El Camal registró 21,64° C entre las 12h00 a las

13h00, y los cuatro tramos variaron entre 25,4° C a 30° C. En general, los tramos analizados son más cálidos entre 3,7° C a 8,4° C.

Finalmente la humedad relativa fluctúa entre el 29% al 41%, los menores porcentajes en el día soleado y los mayores en el nublado. En la (Figura 5.15) se muestra la ubicación de los puntos registrados y sus temperaturas diarias.

**Figura 0.15. Temperatura del aire de los tramos G, Gz, Gp y Gdp de la zona Rodrigo de Chávez.**



8 de marzo de 2020						9 de marzo de 2020									
Puntos	G	Puntos	Gz	Puntos	Gp	Puntos	Gdp	Puntos	G	Puntos	Gz	Puntos	Gp	Puntos	Gdp
G1b	24,3	Gz6a	23,2	Gp7b	24,5	Gdp10k	23,2	G9b	29,0	Gz10a	26,0	Gp5b	32,0	Gdp1b	29,1
G4b	25,4	Gz2a	24,0	Gp8a	23,0	Gdp11a	23,4	G12b	32,0	Gz11a	25,9	Gp6b	30,8	Gdp2a	25,0
G5b	23,7	Gz3a	24,3	Gp9b	22,6	Gdp12k	23,0	G13b	29,0	Gz14a	24,3	Gp7a	26,3	Gdp3a	25,9
												Gp8b	28,9	Gdp4b	29,7
Prom	24,5	Prom	23,8	Prom	23,4	Prom	23,2	Prom	30,0	Prom	25,4	Prom	29,5	Prom	27,4



Fuente: Elaborado por la autora.

### **5.3.6 Zona 10: Teniente Hugo Ortiz - Tramos H – Hz – Mariscal Sucre (492 metros), Hp - Luis Iturralde (328 metros), Hdp – Hdpz - Antonio Jaramillo (221,5 metros)**

La zona Teniente Hugo Ortiz tiene una temperatura del aire promedio con la mayor amplitud entre el mínimo y el máximo, estos valores van desde 18,3° C a 29,8° C. La humedad relativa también muestra la mayor amplitud entre el mínimo y el máximo fluctuando entre el 10% al 51%, En la (Figura 5.16) se muestra la ubicación de los puntos registrados y sus temperaturas diarias.

La primera hipótesis corresponde a la comparación entre acera no arbolada (H y Hdp) y el parterre arbolado (Hz y Hdpz), en donde se espera menores temperaturas en los tramos de parterre. Los resultados demuestran la comprobación de esta hipótesis, ya que en la Av. Mariscal Sucre el tramo Hz es más frío que H, con una diferencia que varía entre 0,2° C a 4,3° C. En cambio en la Av. Antonio Jaramillo se cumple en 4 de los 5 días, donde Hdpz es más frío que Hdp con una diferencia que varía entre 0,1° C a 5,4° C pero el quinto día, correspondiente al 12 de marzo, los resultados son inversos registrando Hdpz 0,9° C más que Hdp. En ambos casos las mayores diferencias térmicas se registran el día 11 de marzo que es el más soleado de los 5.

La segunda hipótesis que se aplica a esta zona es la relación entre el tramo Hp con arbolado inferior a 1,5 metros de altura y el parterre Hdpz con arbolado alto entre 6 a 15 metros de altura, se espera que Hdpz sea más frío. La resultados demuestran la comprobación del supuesto en 4 de los 5 días, con una variación térmica que va desde 1,2° C a 3,7° C pero el quinto día, correspondiente al 8 de marzo, los resultados son inversos registrando Hdpz 1,3° C más que Hp.

La tercera hipótesis plantea que la zona sur del tramo Hz debe ser más fría debido a la mayor densidad arbórea con relación al norte del tramo, sin embargo, en ninguno de los días se cumple el supuesto.

Al evaluar la diferencia térmica de manera puntual bajo sombra y sin sombra en los tramos de parterre de las avenidas Mariscal Sucre (Hz) y Antonio Jaramillo (Hdpz) se evidencia menores temperaturas bajo sombra de árboles. En el primer caso la diferencia térmica varía entre 0,1° C a 8,2° C en 4 de los 5 días, en el segundo caso esta diferencia es entre 0,2° C a 4,9° C.

La temperatura en los cañones urbanos de los tres tramos, a la altura de 1,2 m desde la acera, es mayor a la temperatura registrada por la estación meteorológica El Camal, ubicada a 2800 metros de la zona de Teniente Hugo Ortíz. Como ejemplo de un día nublado el 8 de marzo la



estación El Camal registró un promedio horario de 19° C mientras que los cinco tramos variaron entre 21,8° C a 23,8° C. En el día soleado del 11 de marzo El Camal registró un promedio horario de 19° C los cuatro tramos variaron entre 22,1° C a 27,5° C. En general, los tramos analizados son más cálidos en días nublados entre 2,8° C a 4,8° C y en días soleados entre 3,1° C a 8,5° C.

**Figura 0.16. Temperatura del aire de los tramos H, Hz, Hdp y Hdpz de la zona Teniente Hugo Ortíz**



6 de marzo de 2020									
Puntos	H	Puntos	Hp	Puntos	Hdp	Puntos	Hdpz	Puntos	Hz
H1b	19,3	Hp1b	24,4	Hdp1b	18,5	Hdpz1a	18,3	Hz1a	19,3
H2b	18,4	Hp2b	23,8	Hdp2b	18,8	Hdpz2a	18,5	Hz3b	18,1
H3b	18,1	Hp3b	19,5	Hdp3b	18,8	Hdpz3a	18,6	Hz4b	17,7
H4b	18,1	Hp4b	18,3	Hdp4b	18,6	Hdpz4a	18,8	Hz5a	16,6
H5b	17,7							Hz2a	18,8
Prom	18,3	Prom	21,5	Prom	18,7	Prom	18,6	Prom	18,1





8 de marzo de 2020									
Puntos	H	Puntos	Hp	Puntos	Hdp	Puntos	Hdpz	Puntos	Hz
H1b	25,0	Hp1b	22,8	Hdp1a	22,2	Hdpz2a	22,4	Hz2a	22,8
H3b	23,2	Hp2b	21,5	Hdp3b	22,9	Hdpz4k	22,2	Hz4b	21,5
H5b	23,9	Hp3b	21,5	Hdp5b	23,4	Hdpz6k	23,5	Hz6a	22,4
H7b	23,8	Hp4b	21,5	Hdp7b	24,3	Hdpz8a	24,1	Hz8b	22,8
H9b	23,2							Hz10b	23,8
Prom	23,8	Prom	21,8	Prom	23,2	Prom	23,1	Prom	22,7



9 de marzo de 2020									
Puntos	H	Puntos	Hp	Puntos	Hdp	Puntos	Hdpz	Puntos	Hz
H1b	32,7	Hp1b	28,0	Hdp1b	30,1	Hdpz2k	29,4	H2a	31,1
H3b	32,9	Hp2b	27,8	Hdp3b	30,6	Hdpz4a	24,5	H2b	31,2
H5b	28,4	Hp3b	26,0	Hdp5b	24,9	Hdpz6a	24,3	H2c	24,7
H7b	27,8	Hp4b	26,4	Hdp7b	26,0	Hdpz8a	25,3	H2d	32,9
H9b	27,1							H2e	24,9
Prom	29,8	Prom	27,1	Prom	27,9	Prom	25,9	Prom	29,0



11 de marzo de 2020									
Puntos	H	Puntos	Hp	Puntos	Hdp	Puntos	Hdpz	Puntos	Hz
H1b	23,8	Hp1b	27,6	Hdp1a	21,3	Hdpz2a	19,7	H2a	22,4
H3b	25,6	Hp2b	24,8	Hdp3b	32,9	Hdpz4k	24,5	H2b	20,3
H5b	24,2	Hp3b	26,2	Hdp5b	28,0	Hdpz6k	24,0	H2c	22,1
H7b	27,9	Hp4b	24,4	Hdp7b	27,8	Hdpz8a	20,3	H2d	20,4
H9b	31,8							H2e	26,9
Prom	26,7	Prom	25,8	Prom	27,5	Prom	22,1	Prom	22,4





12 de marzo de 2020									
Puntos	H	Puntos	Hp	Puntos	Hdp	Puntos	Hdpz	Puntos	Hz
H1b	25,4	Hp1b	26,2	Hdp1b	23,3	Hdpz2t	25,1	H2a	23,4
H3b	26,2	Hp2b	26,4	Hdp3b	22,2	Hdpz4a	21,7	H4b	25,5
H5b	26,2	Hp3b	27,8	Hdp5b	21,9	Hdpz6a	24,8	H6a	25,1
H7b	25,8	Hp4b	26,0	Hdp7b	23,6	Hdpz8t	23,1	H8b	24,8
H9b	23,4							H10a	21,1
Prom	25,4	Prom	26,6	Prom	22,8	Prom	23,7	Prom	24,0

Fuente: Elaborado por la autora.

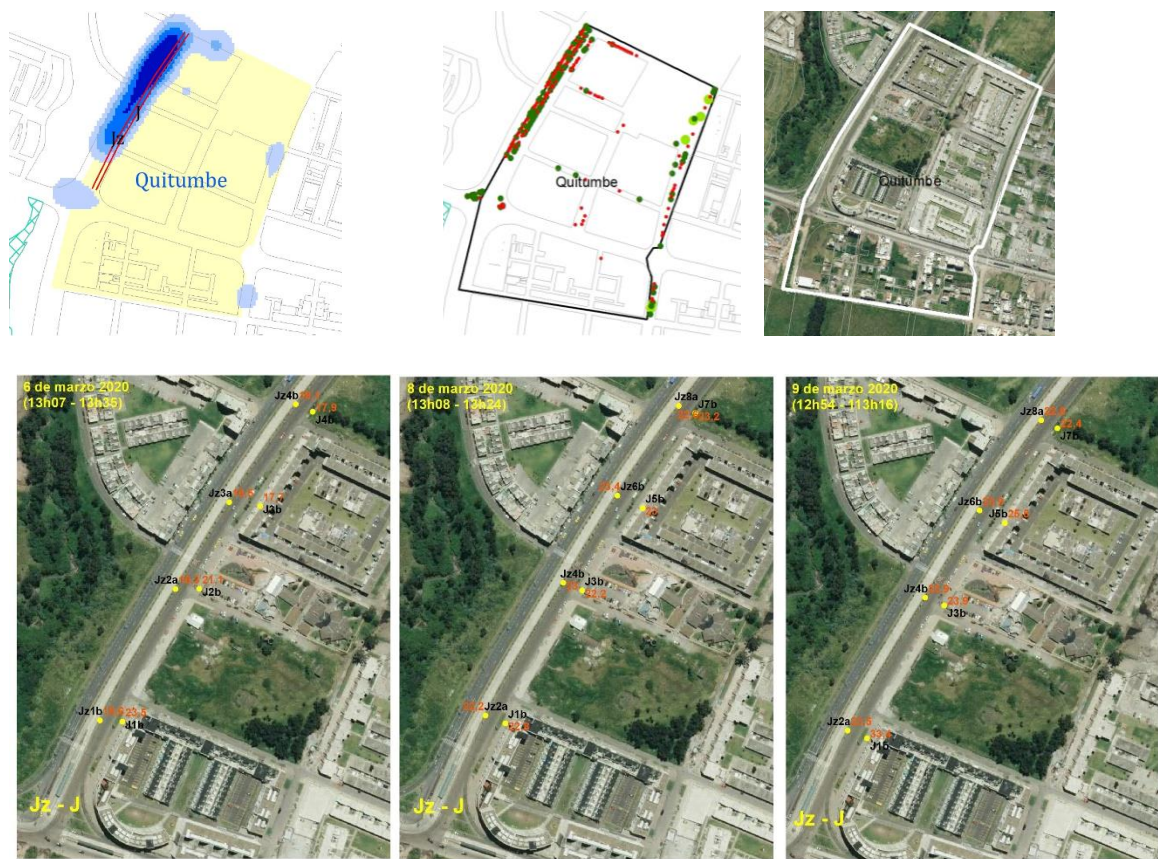
### 5.3.7 Zona 12: Quitumbe - Tramos J – Jz – Quitumbe Ñan (350,9 metros)

La temperatura promedio de la zona de Quitumbe es similar a la de Miraflores Bajo y varía entre 18,9° C a 26,3° C. La diferencia térmica entre datos tomados bajo sombra y sin sombra en el parterre demuestra que bajo sombra hay entre 0,6° C y 5,6° C menos. La principal hipótesis de esta calle es que el parterre arbolado registrará menores temperaturas que la acera sin arbolado, cumpliéndose este supuesto en 3 de los 5 días registrados con una variación de 1,2 a 2,8° C; en los 2 días restantes las temperaturas son iguales entre parterre y arbolado, 22,8° C y el 8 de marzo y 24,2° C el 11 de marzo.

La segunda hipótesis plantea que la zona norte de Jz ha de ser más fría que el sur debido a la densidad arbórea, los resultados demuestran un cumplimiento parcial debido a que solo los días 6, 9 y 12 de marzo se cumple con una variación térmica entre 0,4° C a 1,5° C; en cambio el 11 de marzo ambas temperaturas son iguales a 23,9° C, finalmente el 8 de marzo la zona sur del tramo es más cálida con 0,4° C.

La temperatura en los cañones urbanos de los tres tramos, a la altura de 1,2 m desde la acera, es mayor a la temperatura registrada por la estación meteorológica Politécnica Campus Sur, ubicada a 1.500 metros de la zona de Quitumbe. Las temperaturas registradas desde el 6 al 12 de marzo fueron: 17,8° C, 18,6° C, 20,2° C, 18° C y 18,8° C mientras en el tramo de Quitumbe Ñan en las mismas horas se registra un promedio que varía de 17,7° C a 33,4° C; resultando una diferencia térmica más cálida a la altura peatonal entre 2,3° C a 13,2° C. Finalmente la humedad relativa fluctúa entre el 19% al 45. En la (Figura 5.17) se muestra la ubicación de los puntos registrados y sus temperaturas diarias.

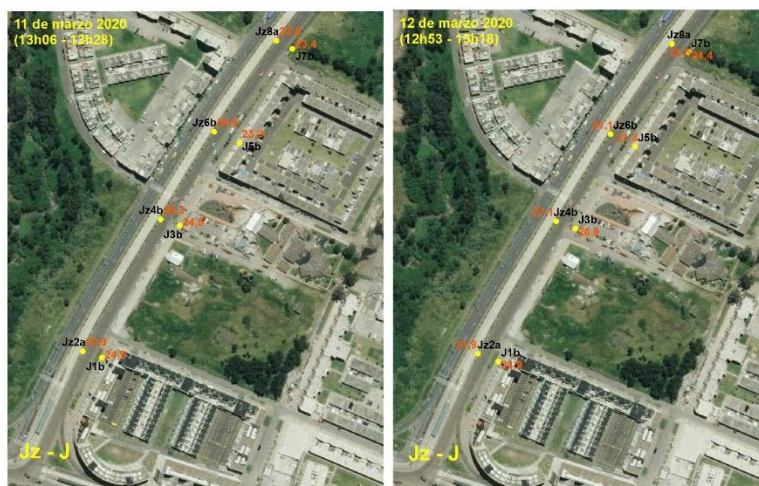
**Figura 0.17. Temperatura del aire de los tramos J y Jz de la zona Quitumbe.**



6 de marzo de 2020		8 de marzo de 2020		9 de marzo de 2020							
Puntos	J	Puntos	Jz	Puntos	J	Puntos	Jz	Puntos	J	Puntos	Jz
J1b	23,5	Jz1b	19,6	J1b	22,8	Jz2a	22,2	J1b	33,4	Jz2a	23,5
J2b	21,1	Jz2a	19,3	J3b	22,2	Jz4b	23,0	J3b	23,9	Jz4b	23,9
J3b	17,7	Jz3a	18,5	J5b	23,0	Jz6b	23,4	J5b	25,5	Jz6b	23,9
J4b	17,9	Jz4b	18,1	J7b	23,2	Jz8a	22,6	J7b	22,4	Jz8a	22,8
Prom	20,1	Prom	18,9	Prom	22,8	Prom	22,8	Prom	26,3	Prom	23,5



11 de marzo de 2020				12 de marzo de 2020			
Puntos	J	Puntos	Jz	Puntos	J	Puntos	Jz
J1b	24,9	Jz2a	23,9	J1b	24,9	Jz2a	21,9
J3b	24,5	Jz4b	24,3	J3b	26,9	Jz4b	27,1
J5b	23,9	Jz6b	24,5	J5b	21,3	Jz6b	21,1
J7b	23,4	Jz8a	23,9	J7b	24,4	Jz8a	21,5
Prom	24,2	Prom	24,2	Prom	24,4	Prom	22,9



Fuente: Elaborado por la autora.

### 5.3.8 Zona 13: Nueva Aurora - Tramos I – Iz – Quitumbe Ñan (423,7 metros) e Ip - Oe2H (267,1 metros)

La temperatura promedio de la zona de Nueva Aurora es similar a la de Quitumbe e Ñaquito y varía entre 18,9° C a 27,7° C. La diferencia térmica entre datos tomados bajo sombra y sin sombra en el parterre de la Av. Quitumbe Ñan demuestra que bajo sombra hay entre 0,2 ° C y 4,4 ° C menos. La principal hipótesis de esta calle es que el parterre arbolado registrará menores temperaturas que la acera sin arbolado, cumpliéndose este supuesto en 4 de los 5 días registrados con una variación de 0,4 ° C a 5,3° C; el día restante la temperatura promedio del parterre es 0,1° C más cálido que la acera.

La segunda hipótesis de esta zona relaciona Iz, como tramo arbolado, con Ip sin arbolado, esperando mayores temperaturas en Ip; se cumple pero parcialmente, los días 8 y 11 de marzo Ip es más cálido con 2,6° C y 2,5° respectivamente, en cambio los días 6, 9 y 12 de marzo Ip es más frío que Iz con 2,5° C, 0,4° C y 0,6° C respectivamente. Estos resultados pueden estar relacionados con la presencia de predios baldíos a lo largo del tramo Ip que influye en la temperatura del aire.

La temperatura en los cañones urbanos de los tres tramos, a la altura de 1,2 m desde la acera, es mayor a la temperatura registrada por la estación meteorológica Guamaní, ubicada a 2.500

metros de la zona de Quitumbe. Las temperaturas registradas desde el 6 al 12 de marzo fueron: 16,8° C, 16,7° C, 17,7° C, 16,2° C y 16,8° C mientras en los tramos de Quitumbe Ñan y Oe2H a las mismas horas se registra un promedio que varía de 18,9° C a 27,7° C; resultando una diferencia térmica más cálida a la altura peatonal entre 1,2° C a 11° C.

Finalmente la humedad relativa fluctúa entre el 21% al 48, muy similar a la zona de Quitumbe. En la (Figura 5.18) se muestra la ubicación de los puntos registrados y sus temperaturas diarias.

**Figura 0.18. Temperatura del aire de los tramos I, Iz e Ip de la zona Nueva Aurora.**



6 de marzo de 2020						8 de marzo de 2020					
Puntos	I	Puntos	Iz	Puntos	Ip	Puntos	I	Puntos	Iz	Puntos	Ip
I1b	25,8	Iz1a	21,1	Ip1b	20,3	I1b	25,8	Iz2a	21,8	Ip1b	23,5
I2b	27,6	Iz2b	21,9	Ip2b	20,1	I3b	21,5	Iz4b	21,1	Ip2b	24,5
I3b	28,1	Iz3a	22,8	Ip3b	19,8	I5b	20,4	Iz6a	20,8	Ip3b	24,2
I4b	29,4	Iz4b	23,9	Ip4b	19,5	I7b	22,8	Iz8b	23,0	Ip4b	25,1
Prom	27,7	Prom	22,4	Prom	19,9	Prom	22,6	Prom	21,7	Prom	24,3



9 de marzo de 2020						11 de marzo de 2020					
Puntos	I	Puntos	Iz	Puntos	Ip	Puntos	I	Puntos	Iz	Puntos	Ip
I1b	20,1	Iz2a	20,1	Ip1b	19,4	I1b	27,9	Iz2a	22,5	Ip1b	25,8
I3b	19,8	Iz4b	20,1	Ip2b	19,0	I3b	25,5	Iz4b	23,5	Ip2b	26,6
I5b	20,3	Iz6a	20,4	Ip3b	18,8	I5b	26,0	Iz6a	21,1	Ip3b	26,2
I7b	20,6	Iz8b	20,6	Ip4b	18,5	I7b	25,8	Iz8b	25,5	Ip4b	24,3
Prom	20,2	Prom	20,3	Prom	18,9	Prom	26,3	Prom	23,2	Prom	25,7





12 de marzo de 2020					
Puntos	I	Puntos	Iz	Puntos	Ip
I1b	25,5	Iz2a	22,4	Ip1b	23,9
I3b	22,4	Iz4b	24,3	Ip2b	23,1
I5b	23,4	Iz6a	23,4	Ip3b	22,1
I7b	23,4	Iz8b	23,0	Ip4b	21,7
Prom	23,7	Prom	23,3	Prom	22,7

*Fuente:* Elaborado por la autora.

## 5.4 Resultados conjuntos por las 13 zonas

### 5.4.1 La Delicia

Con relación a la temperatura superficial en marzo de 2020 La Delicia registra un rango térmico de 24° C a 32,8° C. De estos resultados la mayor temperatura cubre amplias zonas hormigonadas como la plaza del Mercado de La Ofelia y las canchas de la Liga Deportiva de Cotocollao, en cambio, las más frías cubren el área de bodegas de la Administración Zonal de Cotocollao, cuyas cubiertas tienen alto albedo, y albergan además una extensa área verde en su interior. En las temperaturas intermedias, entre 28° C a 30° C, está el resto de la zona con uso mixto incluyendo el Parque Guayaquil.

Con relación al verde urbano de la zona La Delicia existe un NDVI que varía entre 0,4 a 0,8, los índices más altos están sobre el Parque Guayaquil (4130 m<sup>2</sup>) y sobre dos zonas verdes extensas privadas al interior de las manzanas, en general el suelo con vegetación abarca una mínima superficie de verde con relación al resto de zonas. En términos de arbolado urbano se registran 178 árboles de los cuales el 39,88% están en parterre y el 60,11% en acera, los árboles de mayor altura se concentran en el parterre de la Av. Diego Vásquez de Cepeda y el 24% de los árboles son inferiores a 3 metros y se concentran en las vías locales.

La temperatura del aire registrada en La Delicia es de las más altas en comparación con las 13 zonas, en 2 de los 5 días de monitoreo el promedio de 4 puntos tomados a lo largo de 334 metros de la calle Aurelio Espinoza Pólit es igual a 34,8° C, mientras que los otros tres días alcanzan un promedio de 22° C, 23,1° C y 29,5° C. Evaluando la temperatura individual de cada punto tomado se detecta que el día soleado del 6 de marzo a las 12h48, Bdp4b alcanzó 37,4° C, el más caliente de todos los puntos tomados durante los 5 días de registro, en cambio el punto más frío es Bdp15b que alcanzó el 8 de marzo a las 13h13 la temperatura mínima de 20,1° C bajo la sombra de un árbol.

### **5.4.2 Kennedy**

Con relación a la temperatura superficial en marzo de 2020 la Kennedy registra un rango térmico de 28° C a 32,8° C. De estos resultados la mayor temperatura cubre amplias canchas deportivas hormigonadas y de césped sintético del Colegio Técnico Don Bosco, en cambio, las más frías cubren el Parque Jhon F. Kennedy y un área del extenso suelo residencial ubicada entre la Av. Galo Plaza y la calle José Rafael Bustamante. En las temperaturas intermedias, entre 28° C a 30° C, está el resto de la zona con residencia y uso mixto.

Con relación al verde urbano existe un NDVI que varía de 0,2 a 1 sobre el Parque Jhon F. Kennedy y sobre la cancha sintética de Colegio Técnico Don Bosco, este resultado es particularmente interesante porque demuestra los posibles errores del indicador si no se analiza posteriormente de manera detallada los espacios que cubre, de hecho el NDVI más alto se registra sobre el intenso verde de la cancha sintética, mientras que el Parque Jhon F. Kennedy registra un NDVI de 0,2. En términos de arbolado urbano se identifican 299 árboles de los cuales el 36,45% están en parterre y el 63,55% en acera, además, el 57% de los árboles tiene una altura mayor a 3 metros y se concentran en las vías locales y el parterre de la Av. Galo Plaza Lasso.

Al igual que en La Delicia la temperatura del aire registrada en esta zona es de las más altas en comparación con las 13 analizadas, el promedio de temperatura del aire en los tramos varía entre 20,4° C a 37,8° C. Evaluando temperatura individual por cada punto se detecta que el máximo fue B4b con 34,2° C, el 6 de marzo a las 13h17 en la calle Capitán Ramón Borja. En cambio los puntos Lp1b en la calle Romero y Cordero y Bpz4b en la Av. De Los Algarrobos alcanzaron la temperatura mínima sin sombra de 20,1° C.

### **5.4.3 Bicentenario**

Con relación a la temperatura superficial en marzo de 2020 la zona de Bicentenario registra un rango térmico de 28° C a 32,8° C. De estos resultados la mayor temperatura cubre un conjunto de viviendas con cubierta inclinada y sus vías de acceso, en cambio, las más frías están sobre el Parque La Concepción pero cuya temperatura tiene una fuerte influencia de cubiertas con alto albedo ubicadas al frente del parque. Con temperaturas intermedias, entre 29° C a 30° C, cubre una zona residencial con vivienda tipo villa en su mayoría con jardines arbolados.

Con relación al verde urbano de la zona Bicentenario existe un NDVI que varía de 0,2 a 1 destacando el índice más alto (0,8 a 1) sobre el Parque La Concepción y el Parque Sixto María Durán con 0,6 a 0,8, éste último también tiene una cancha sintética que engaña al sensor marcando este resultado, adicionalmente se registra el menor índice de 0,2 a 0,4 en el parterre



arbolado de la calle Gonzalo Salazar. En términos de arbolado urbano se identifica 114 árboles, de los cuales el 41,2% están en parterre y el 59,8% en acera, la densidad arbórea es media baja variando entre 21 a 40 arb/m<sup>2</sup>, finalmente, los árboles de mayor altura se concentran en el parterre de la Av. de La Prensa.

#### **5.4.4 Portugal**

Con relación a la temperatura superficial en marzo de 2020 la Portugal registra un rango térmico de 24° C a 29° C. De estos resultados la mayor temperatura cubren la intersección de la Av. Naciones Unidas y 6 de Diciembre alcanzando un pico sobre la calzada y los estacionamientos del Estadio Olímpico Atahualpa, en cambio, las más frías (24° C) cubren la cubierta del Megamaxi de la 6 de Diciembre. Se evidencia una baja temperatura en la zona este que colinda con el Parque de La Carolina, el efecto termorregulador por evapotranspiración de los árboles del parque influyen en casi toda zona piloto manteniéndose entre 27° C a 28° C, es decir, muy por debajo de La Delicia, Kennedy y Bicentenario.

Con relación al verde urbano de la Portugal existen píxeles dispersos de NDVI igual a 0,2 los índices más altos (0,4 a 0,8) están sobre un jardín interior colindante a la calle Finlandia. En términos de arbolado urbano se registran 451 árboles de los cuales el 43,2% están en parterre y el 56,8% en acera, los árboles superiores a 3 metros se hallan repartidos en parterre y aceras, la densidad arbórea es media alta entre 60 a 80 árboles por hectárea y se concentran en la zona norte del parterre de la Av. Portugal.

#### **5.4.5 Iñaquito**

Con relación a la temperatura superficial en marzo de 2020 Iñaquito registra un rango térmico de 25,7° C a 30° C. De estos resultados la mayor temperatura (29,5° C) cubre un amplio predio de parqueaderos ubicado al costado del Colegio de Arquitectos del Pichincha, y se extiende abarcando los edificios de 12 pisos de altura con frente a la calle Corea, en cambio, la temperatura más fría (25,7° C) está sobre la cubierta con alto albedo de Mi Juguetería. La temperatura intermedia dominante de 28° C cubre el resto de la zona con uso mixto incluido los patios internos (428m<sup>2</sup>) del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. Esta temperatura intermedia dominante es 1° mayor la temperatura dominante de la Portugal.

Con relación al verde urbano existe un NDVI que varía de 0,2 a 0,8 y los píxeles se ubican en los patios del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. En términos de arbolado urbano se identifican 248 árboles, todos ellos ubicados en acera, además, el 83% de los árboles tiene una altura de 3 a 6 metros y alcanzan una densidad arbórea media-alta de 61 a 80 árboles por hectárea.

La zona de Iñaquito tiene menor promedio de temperatura del aire con relación a las zonas de La Delicia y Kennedy, este varía entre 19,9° C a 28° C. Evaluando temperatura individual por cada punto se detecta que el máximo es de 30,5° C registrado el 13 de marzo en la calle Núñez de Vela. En cambio en mínimo se registra el 11 de marzo bajo la sombra de un árbol con 19,4° C en la calle Iñaquito.

#### **5.4.6 Floresta**

Con relación a la temperatura superficial en marzo de 2020 la Floresta registra un rango térmico de 27° C a 30° C. De estos resultados la mayor temperatura (29° C a 30° C) cubre el área residencial con mayor coeficiente de ocupación de suelo y sin vegetación al interior de los predios, una zona comprendida entre las calles Mallorca, Valladolid y Av. Coruña. En cambio, las temperaturas más bajas (27° C a 28,9° C) se distribuyen sobre el resto del área residencial con viviendas tipo villa y jardines arbolados, destaca el predio esquinero entre Lugo y Guipuscoa con arbolado alto y frondoso en acera y al interior del predio con menor temperatura igual a 27,7° C.

Con relación al verde urbano existen píxeles dispersos con un NDVI que varía de 0,2 a 0,4 y corresponden a los jardines interiores. En términos de arbolado urbano se identifican 768 árboles con alta densidad arbórea en varias intersecciones viales, constituyendo la zona más arbolada de todas, además, el 89% de estos están en acera y solo el 11% en parterre. El 66% tienen una altura de 3 a 15 metros y el 32% son menores a 3 metros.

#### **5.4.7 Miraflores Bajo**

Con relación a la temperatura superficial en marzo de 2020 Mira Flores Bajo registra un rango térmico de 26,5° C a 30,9° C. De estos resultados la mayor temperatura (30° C a 30,9° C) cubre el área de estacionamientos del Hospital Carlos Andrade Marín y la manzana comprendida entre las calles Caracas, Bogotá, Uruguay y Av. América con viviendas adosadas, en línea de fábrica y con mezcla de edificaciones antiguas con cubierta de teja y nuevos edificios de mediana altura, el nivel de compacidad de esta manzana es alto. En cambio, la temperatura más fría (26,5° C a 27,5° C) están sobre las edificaciones con frente a la Av. 10 de Agosto colindante con el parque El Ejido, se nota la influencia del parque porque conforme nos alejamos de él las temperaturas van aumentando a pesar de tener una morfología urbana y albedo en cubierta similares. Las temperaturas intermedias de 29° C a 29,9° C se distribuye sobre el área residencial - mixta

Con relación al verde urbano existen píxeles puntuales con un NDVI de 0,2 a 0,8 sobre dos lotes baldíos colindantes en la intersección de las calles Caracas y Versalles, sobre estos dos lotes se registra una temperatura superficial de 28° C. En términos de arbolado urbano se

identifican 185 árboles con una densidad media baja, de los cuales el 90% tienen una altura comprendida entre 3 a 15 metros y el 10% menores a 3.

La zona de Miraflores Bajo está entre las zonas de temperatura media, por debajo de La Delicia y Kennedy, estos promedios varían entre 21,1° C a 26,9° C. Al evaluar la diferencia térmica de manera puntual bajo sombra y sin sombra en cada uno de los tres tramos F, Fp y Fdp, las medidas bajo sombra el 6 de marzo varían entre 0,1° C a 6,5° C más frías con relación a los puntos sin sombra, y entre 2,2° C a 7° C el 8 de marzo como representación de día nublado. Evaluando temperatura individual por cada punto se detecta un máximo de 30,1° C registrado el 6 de marzo en la calle Santiago, en cambio el mínimo en el mismo día con 21,9° C en la calle Bogotá.

#### **5.4.8 San Blas**

Con relación a la temperatura superficial en marzo de 2020 San Blas registra un rango térmico amplio de 24,5° C a 31° C. La distribución espacial de la temperatura superficial de esta zona es particular, tiene dos áreas cálidas opuestas en sentido este – oeste, la primera con la mayor temperatura (31° C) cubre la zona comprendida entre la Av. Pichincha y la calle Esmeraldas, en donde las edificaciones están completamente adosadas con un COS del 95% y con cubiertas de teja. La otra zona con 29° C cubre el Colegio Nuestra Madre de La Merced en la intersección de las calles Valparaíso y Ramón Egas. En cambio, las temperaturas más bajas, 24,5° C al sur y 26,5° C al norte, cubren terrenos baldíos en la calle Valparaíso y la calle M. Espinoza respectivamente. Es evidente la influencia de los parques Alameda al norte e Itchimbía al sur que cambian la tendencia de la temperatura superficial llevándola a los picos más bajos.

Con relación al verde urbano existen píxeles dispersos con un NDVI que varía de 0,2 a 0,8 y corresponden a lotes baldíos y jardines interiores, destaca el índice más alto hacia el sur sobre el patio de una unidad educativa y coincide con la zona de menor temperatura superficial. En términos de arbolado urbano se identifican 191 árboles con densidad media baja, además, el 94% de estos están en acera y solo el 6% en parterre. El 75% tienen una altura de 3 a 15 metros y el 24% son menores a 3 metros.

#### **5.4.9 Rodrigo de Chávez**

Con relación a la temperatura superficial en marzo de 2020 Rodrigo de Chávez registra un rango térmico corto de 26° C a 28,2° C. De estos resultados la mayor temperatura (28,2° C) cubre la calzada del redondel de la parada de la Villaflora. En cambio, la temperatura más fría (26° C) está sobre áreas verdes como la ribera del Machángara, Parque Ecológico de Santa Ana y el Parque de Los Enamorados incluyendo el apéndice norte de la zona piloto. Al igual

que San Blas es evidente que la disminución de temperatura se debe a la presencia e estas áreas verdes. La temperatura intermedia dominante de 27° C cubre el resto de la zona con uso mixto incluyendo el parterre arbolado.

Con relación al verde urbano existen muy pocos píxeles con un NDVI de 0,2 y destaca uno con 0,6 a 0,8 sobre la intersección de las calles Diego de Sandoval y Juan de Arguelo. En términos de arbolado urbano se identifican 224 árboles con una densidad media alta, de los cuales el 56,7% de los árboles están ubicados en parterre y 43,3 en acera. Un importante porcentaje del 45% de los árboles son menores a 3 metros.

En la zona de Rodrigo de Chávez se nota el aumento de temperatura del aire con relación a Ñaquito, sus promedios varían entre 23,8° C a 30° C. Al evaluar la diferencia térmica de manera puntual bajo sombra y sin sombra en el tramo de la calle Gonzalo Díaz de Pineda, las medidas bajo sombra del 8 de marzo son 1,5° C más frías que sin sombra y el 9 de marzo esa diferencia se amplía a 5,7° C. En el tramo Diego de Sandoval también hay amplia diferencia el día soleado del 9 de marzo, llegando a 4,7° C, mientras que el 6 no se registra variación bajo sombra. Evaluando temperatura individual por cada punto se detecta que el máximo es de 32° C registrado el 9 de marzo en la Av. Rodrigo de Chávez y el mínimo de 22,6° C en la calle Gonzalo Díaz de Pineda registrado el 8 de marzo.

#### **5.4.10 Teniente Hugo Ortiz**

Con relación a la temperatura superficial en marzo de 2020 Teniente Hugo Ortiz registra un rango térmico de 26,6° C a 29,6° C. De estos resultados la mayor temperatura (29,6° C) cubre los predios colindantes con la Av. Alonso de Angulo, en cambio, la temperatura más baja (26,6° C) está sobre el redondel Atahulpa, es decir sobre espacio verde arbolado. La temperatura intermedia dominante de 28° C cubre el resto de la zona con uso residencial - mixto que incluye los ejes de la Av. Antonio Jaramillo y la Av. Cosme Osorio que sí tienen vegetación.

Con relación al verde urbano el NDVI marca de 0,2 a 0,6 sobre el Parque El Pintado que hace las veces de mediana con una sección de 15 metros y una superficie de 500m<sup>2</sup>, y sobre la Av. Cosme Osorio con amplias zonas de césped en las aceras (10 metros de sección) que suman alrededor de 6300m<sup>2</sup>, finalmente sobre el redondel Atahulpa hay un NDVI de 0,4 a 1. Es importante destacar que los predios privados están altamente consolidados y carecen de jardines interiores lo que hace que la temperatura se mantenga alta a pesar de los parques existentes. En términos de arbolado urbano se identifican 460 árboles de los cuales el 70% está en parterre y el 30% en acera, el 72% tiene una altura de 3 a 15 metros y alcanzan una densidad arbórea alta de 81 a 109 árboles por hectárea.

La zona Teniente Hugo Ortiz tiene una temperatura del aire promedio con la mayor amplitud entre el mínimo y el máximo, estos valores van desde 18,3° C a 29,8° C. Al evaluar la diferencia térmica de manera puntual bajo sombra y sin sombra en los tramos de parterre de las avenidas Mariscal Sucre y Antonio Jaramillo se evidencia menores temperaturas bajo sombra de los árboles, en el primer caso la diferencia térmica varía entre 0,1° C a 8,2° C en 4 de los 5 días, en el segundo caso esta diferencia es entre 0,2° C a 4,9° C. Evaluando temperatura individual por cada punto se detecta que el máximo es de 32,9° C registrado el 9 de marzo la calle Mariscal Sucre, en cambio el mínimo se registra el 6 de marzo con 16,6° C en la misma calle.

#### **5.4.11 Mayorista**

Con relación a la temperatura superficial en marzo de 2020 la zona del Mayorista registra un rango térmico de 23,5° C a 26,6° C, la más baja después de Nueva Aurora. De estos resultados la temperatura más baja (23,5° C) está sobre un espacio verde privado de 410m<sup>2</sup> colindante con la ribera del Machángara, espacialmente se evidencia la influencia de esta ribera y su cuenca hídrica verde porque conforme nos alejamos en sentido contrario la temperatura aumenta hasta llegar al máximo de 26,6° C sobre el área residencial mixto de baja altura (1 a 2 pisos). Con relación al verde urbano el NDVI marca de 0,2 a 0,6 sobre espacios verdes en lotes privados, y de 0,6 a 1 sobre la ribera del Machángara que colinda al norte con esta zona. Se identifican apenas 6 árboles.

#### **5.4.12 Quitumbe**

Con relación a la temperatura superficial en marzo de 2020 Quitumbe registra un rango térmico de 25° C a 28° C. De estos resultados la mayor temperatura (28° C) cubre el conjunto habitacional El Guayanay Uno, con 4 pisos, adosado en las 4 fachadas y área verde interior sin escaso arbolado. En cambio, la temperatura más baja (25° C) está sobre lotes baldíos ubicados entre la Av. Quitumbe Ñan y Ñusta. La temperatura intermedia dominante de 27° C cubre el resto de la zona residencial de mediana densidad que incluye espacios verdes interiores.

Con relación al verde urbano el NDVI marca de 0,2 a 0,6 y cubre aproximadamente un 40% de la zona, cuyos píxeles se distribuyen sobre un conjunto de espacios verdes privados (aproximadamente con 100m<sup>2</sup> cada uno) al interior de los conjuntos residenciales y sobre una manzana baldía. En términos de arbolado urbano se identifican 251 árboles con una densidad arbórea alta de 81 a 109 árboles por hectárea sobre el parterre de Quitumbe Ñan, de todo el arbolado el 52% tiene una altura inferior a 3 metros y el 68% está en parterre y el 32% restante en acera.



La temperatura promedio de la zona de Quitumbe es similar a la de Miraflores Bajo y varía entre 18,9° C a 26,3° C. La diferencia térmica entre datos tomados bajo sombra y sin sombra en el parterre demuestra que bajo sombra hay entre 0,6 ° C y 5,6 ° C menos. Evaluando temperatura individual por cada punto se detecta que el máximo es de 27,1° C registrado el 12 de marzo en Av. Quitumbe Ñan, en cambio en mínimo se registra el 6 de marzo con 17,7° C en la misma avenida.

#### **5.4.13 Nueva Aurora**

Con relación a la temperatura superficial en marzo de 2020 Nueva Aurora registra un amplio rango térmico de 20,7° C a 27,3° C y es la menor temperatura con relación a las 13 zonas. De estos resultados la mayor temperatura (27,3° C) están sobre las canchas deportivas de hormigón del Colegio Réplica Mejía y sobre las canchas sintéticas del Parque Ciudadela del Ejército II, en cambio, la temperatura más baja (20,7° C) cubre una zona con algunos predios baldíos colindantes a la calle S47D. La temperatura intermedia dominante varía de 22° C a 24° C y cubre el resto de la zona con uso residencial de baja densidad (1 a 2 pisos) y edificaciones adosadas en línea de fábrica.

Con relación al verde urbano el NDVI marca un amplia área de 0,2 a 0,8 que cubre en su mayoría la zona superior a la calle S47D debido a la mayor cantidad de predios baldíos. En términos de arbolado urbano se identifican 305 árboles de los cuales el 75,7% está en parterre y el 24,3% en acera, el 57% tiene una altura de 6 a 15 metros y el 22% son menores a 3 metros, en general se alcanza una densidad arbórea alta de 81 a 109 árboles por hectárea.

La temperatura promedio de la zona de Nueva Aurora es similar a la de Quitumbe e Ñaquito y varía entre 18,9° C a 27,7° C. La diferencia térmica entre datos tomados bajo sombra y sin sombra en el parterre de la Av. Quitumbe Ñan demuestra que bajo sombra hay entre 0,2 ° C y 4,4 ° C menos. Evaluando temperatura individual por cada punto se detecta un máximo de 29,4° C registrado el 6 de marzo en Av. Quitumbe Ñan, en cambio en mínimo se registra el 9 de marzo con 18,5° C en la calle Oe2H.

## Capítulo 6. Discusión y Conclusiones

### 6.1 Análisis de los resultados de temperatura y las interrelaciones entre temperatura superficial y del aire

Los resultados demuestran que el norte es más cálido que el sur, una tendencia comprobada tanto en la temperatura superficial como con la temperatura del aire. En la tabla 5 se resumen todos los resultados térmicos y en ella se comparan los valores máximos de temperatura superficial demostrando que La Delicia y Kennedy llegan hasta 32,8° C, frente a Quitumbe y Nueva Aurora que se quedan en 28° C y 27° C respectivamente, es decir una diferencia marcada de 5,8° C entre norte y sur. Un patrón similar siguen los datos de temperatura superficial mínima con 28° C en la Kennedy frente a 20,7° C en Nueva Aurora.

**Tabla 0.1: Comparación de resultados térmicos de las zonas La Delicia, Kennedy, Iñaquito, Miraflores Bajo, Rodrigo de Chávez, Teniente Hugo Ortiz, Quitumbe y Nueva Aurora.**

Cod	Zona	Nombre	Área	Ha	Temperatura promedio por tramo		Temperatura del dato individual de los puntos		Diferencia entre temperatura promedio del aire por tramos y la temperatura superficial		Temperatura de la superficie (°C)		Diferencia de temperatura a promedio del aire entre tramos y estaciones meteorológicas		Distancia de la estación a la zona piloto (m)
					Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
Z1	La Delicia		40,6		22,0	34,8	20,1	37,4	-2,1	2,0	24,1	32,8	3,4	16,9	1115
Z2	Kennedy		36,5		20,4	37,8	21,4	34,2	-7,6	5,0	28,0	32,8	2,1	16,8	600
Z5	CAE-Iñaquito		12,6		19,9	28,0	19,4	30,5	-6,0	-1,8	25,9	29,8	0,0	3,8	0
Z6	Miraflores Bajo		20,5		21,1	26,9	21,9	30,1	-3,4	-4,1	24,5	31,0	3,4	11,8	2500
Z9	Rodrigo de Chavez		15,0		23,8	30,0	22,6	32,0	-2,2	1,8	26,0	28,2	3,7	8,4	1350
Z10	Tnte. Hugo Ortíz		35,7		18,3	29,8	16,6	32,9	-8,3	0,2	26,6	29,6	2,8	8,5	2800
Z12	Quitumbe		17,3		18,9	26,3	17,7	27,1	-6,1	-1,7	25,0	28,0	2,3	13,2	1500
Z13	Nueva Aurora		52,1		18,9	27,7	18,5	29,4	-1,8	0,7	20,7	27,0	1,2	11,0	2500

Fuente: Elaborado por la autora.

Con respecto a la temperatura del aire tomada en los 27 tramos comparamos dos tipos de datos, los promedios por tramo y los datos individuales por punto, en el primer caso los máximos en La Delicia y Kennedy llegan hasta 34,8° C y 37,8° C respectivamente, mientras que Quitumbe y Nueva Aurora se quedan en 26,3° C y 27,7° C. Las temperaturas del aire mínimas de los promedios por tramo también siguen la misma tendencia, más cálidas al norte con 22° C y 20,4° y más frías al sur con 18,9° C. En relación a los datos individuales por punto nuevamente el norte registra temperaturas más altas que el sur con unos máximos de 37,4° C y 34,2° C en La Delicia y Kennedy y con 27,1° C y 29,4° C en Quitumbe y Nueva Aurora. Otro aspecto a resaltar es la estrecha relación entre la temperatura de la superficie y la temperatura del aire, ya que al comparar sus datos máximos se encuentra que 6 de las 8 zonas apenas se diferencian con 0,2° C a 2° C, en el caso de La Kennedy inclusive se registra una temperatura del aire 5° C mayor a la temperatura superficial.

Generalmente la temperatura superficial es mayor debido al calor almacenado y retenido en los materiales durante el día mientras que la temperatura del aire sube en la noche, cuando este calor almacenado es liberado debido al equilibrio térmico (Oke, 1988). Por lo tanto la similitud de temperaturas en los 27 tramos tiene que ver con la diferencia horaria ya que la temperatura superficial es captada por el sensor OLI a las 10h26 cuando el nivel de radiación es menor a la receptada al mediodía, hora en la que se toma la temperatura del aire. Sin duda la temperatura superficial al medio día será aún mayor que la de las 10h26 pero es difícil conocer esos datos con exactitud por la disponibilidad de información, se requeriría otro tipo de equipos más precisos como cámaras termográficas que sobrevuelen los tramos y al mismo tiempo registrar la temperatura del aire.

Al comparar los datos mínimos de temperatura superficial y del aire no se encuentran esas similitudes que sí registran los datos máximos, ya que los promedios más fríos por tramo están influenciados por la temperatura tomada bajo los árboles, y por ende, siempre la temperatura superficial es mayor.

Otro hallazgo es que la temperatura del aire tomada al interior de los cañones urbanos, a la altura de un peatón, es siempre más alta que la registrada por las estaciones meteorológicas oficiales, en la (Tabla 6.1) se evidencia un rango de diferencia muy amplio con una variación de 1,2° C a 16,9° C, es decir que mientras una estación meteorológica registra 19° C, a en un radio de 2000 metros se podría registrar hasta 35,9° C.

Según el equipo técnico del INAMHI el radio de alcance de las estaciones meteorológicas es de 300 a 500 metros, los datos tomados en la zona piloto de Iñaquito están a una distancia

comprendida entre 50 a 270 metros de la estación de Iñaquito y aun así existe mayor temperatura, hasta 3,8° C más en la acera que la registrada por la estación en la misma hora.

## **6.2 Influencia de las áreas verdes en la temperatura superficial (mesoescala)**

Los resultados demuestran que la vegetación influye en la disminución de la temperatura en dos escalas, una meso en la que los grandes parques ayudan a disminuir la temperatura superficial y una escala micro en la que el arbolado disminuye la temperatura del aire a la altura de un peatón. Adicionalmente se encuentra que hay ciertas características que deben cumplir los parques para que efectivamente cumplan la función termorreguladora del microclima urbano.

La relación más lógica sería pensar que la temperatura superficial baja inmediatamente sobre los espacios verdes, sin embargo, existen condiciones vinculadas a sus dimensiones y nivel de arbolado, en el análisis comparativo de las 13 zonas se detecta que en áreas altamente consolidadas los parques barriales de pequeñas dimensiones (3.087m<sup>2</sup> a 6.300m<sup>2</sup>) y poco arbolado quedan absorbidos por sus alrededores con alta temperatura superficial, este es el caso de los Parques Guayaquil (4.130 m<sup>2</sup>) en La Delicia, Parque La Concepción (3.087m<sup>2</sup>) en Bicentenario, Parque el Pintado (500 m<sup>2</sup>) en Teniente Hugo Ortiz y las aceras verdes (6.300 m<sup>2</sup>) en la Av. Cosme Osorio. Aun considerando que las bandas infrarrojas térmicas 10 y 11 de Landsat 8 tienen una resolución de un pixel de 100 m<sup>2</sup>, en estos parques barriales se debería detectar una disminución térmica ya que comprenden entre 30 a 63 píxeles y sin embargo registran la misma temperatura que sus alrededores urbanizados.

En cambio cuando hay extensas áreas verdes de escala urbana y metropolitana como La Carolina o Guanguiltagua la disminución de temperatura superficial es evidente. Al interior de las 13 zonas piloto solo encontramos un parque amplio con 9.127 m<sup>2</sup> que evidencia esa disminución térmica, el Parque John F. Kennedy en la zona piloto del mismo nombre, de hecho este espacio público verde registra la menor temperatura con 28° C. En el resto de las zonas, en donde no hay parques con grandes dimensiones y denso arbolado, se detecta un fenómeno interesante, una influencia de las grandes áreas verdes colindantes con las zonas piloto; los casos de la Portugal, San Blas, Rodrigo de Chávez, Mayorista y Miraflores Bajo son los mejores ejemplos de esta influencia.

La zona de la Portugal tiene una baja temperatura en el área que colinda con el Parque de La Carolina, el efecto termorregulador por evapotranspiración de los árboles del parque influyen en casi toda zona piloto manteniéndose entre 27° C a 28° C. De igual manera, la distribución espacial de la temperatura en la zona de San Blas evidencia una influencia de los

parques de La Alameda al norte e Itchimbía al sur, coincidiendo con el rango de temperatura superficial más bajo (26,1° C a 28° C).

La zona Rodrigo de Chávez registra la temperatura más fría (26° C) en la parte colindante con la ribera del Machángara y el Parque Ecológico de Santa Ana, es evidente que la disminución de temperatura se debe a la presencia de estas amplias áreas verdes, ya que conforme nos alejamos de ellas la temperatura sube. El mismo fenómeno lo encontramos en la zona del Mayorista en donde la temperatura más baja (23,5° C) está sobre un espacio verde privado de apenas 410m<sup>2</sup> pero colindante con la ribera del Machángara, conforme nos alejamos de la ribera la temperatura aumenta hasta llegar a 26,6° C sobre el área residencial impermeable. En Miraflores Bajo la temperatura más fría (26,5° C a 27,5° C) está sobre las edificaciones con frente a la Av. 10 de Agosto colindante con el parque El Ejido, se nota la influencia del parque porque conforme nos alejamos de él las temperaturas van aumentando a pesar de tener una morfología urbana y albedo en cubierta similares.

Adicionalmente, se identificaron patrones de espacios verdes particulares en las zonas de La Floresta, Quitumbe y Nueva Aurora, en estos casos la impermeabilización no es continua como Teniente Hugo Ortiz o La Delicia, sino más bien hay pequeños o medianos espacios verdes privados como parches dispersos, estos corresponden a patios interiores arbolados en el caso de La Floresta, espacios verdes comunales (120m<sup>2</sup>) en conjuntos residenciales en el caso de Quitumbe y predios baldíos (100m<sup>2</sup>) en Nueva Aurora. Estas zonas tienen temperaturas bajas en comparación con áreas de impermeabilización continua, por ejemplo La Floresta registra sobre la zona residencial 28° C, Quitumbe 27° C y Nueva Aurora 24,5° C.

### **6.3 Influencia del arbolado en la temperatura del aire (microescala)**

De los 443 datos tomados durante 5 días, 134 fueron registrados bajo la sombra de un árbol y los 309 restantes registrados sin sombra. Los resultados demuestran que la temperatura del aire tomada bajo sombra de un árbol siempre es más baja que la de temperatura tomada sin sombra. En la (Tabla 6.2) se aprecian los rangos de esta diferencia considerando los mínimos y máximos, se comprueba que los mínimos entre un día nublado y otro soleado son similares pero los máximos son más altos en un día soleado, es decir que la diferencia térmica es mayor cuando hace sol.



**Tabla 0.2. Comparación de resultados térmicos bajo sombra y sin sombra de árboles de las zonas La Delicia, Kennedy, Iñaquito, Miraflores Bajo, Rodrigo de Chávez, Teniente Hugo Ortiz, Quitumbe y Nueva Aurora.**

Zona		Área (Ha)	N° total de árboles	Diferencia térmica entre datos bajo sombra y sin sombra en un mismo tramo				Humedad Relativa (%)	
Cod	Nombre			Día nublado		Día soleado		Min	Max
				Min	Max	Min	Max		
Z1	La Delicia	40,6	178	0,6	4,3	4,5	9,5	10	46
Z2	Kennedy	36,5	299	0,3	8,1	0,5	12,4	10	45
Z5	CAE-Iñaquito	12,6	248	-2,1	1,1	0,5	6,3	20	51
Z6	Miraflores Bajo	20,5	185	2,2	7,0	0,1	6,5	34	46
Z9	Rodrigo de Chavez	15,0	224	0,2	1,5	2,6	5,7	29	41
Z10	Tnte. Hugo Ortíz	35,7	460	0,1	8,2	0,2	4,8	10	51
Z12	Quitumbe	17,3	251	0,6	5,6	0,4	5,2	19	45
Z13	Nueva Aurora	52,1	305	0,2	4,4	0,4	1,9	21	48

*Fuente:* Elaborado por la autora.

Kennedy y La Delicia registran las mayores amplitudes en un día soleado demostrando que los beneficios de la vegetación en la zona norte es urgente, por ejemplo, en la acera de la Av. de Los Algarrobos, en el barrio La Victoria, si estas bajo la sombra de un árbol al medio día, la temperatura del aire es de 19,5° C, a diferencia de 32° C si estas caminado sin sombra de un árbol, es decir que hay una diferencia de 12,4° C. En la zona centro – norte con Iñaquito y Miraflores esa diferencia máxima es de 6,3° C y 6,5° C respectivamente, en la zona centro – sur con Rodrigo de Chávez y Teniente Hugo Ortiz esa diferencia máxima baja a 5,7° C y 4,8° C respectivamente y finalmente en el sur con Quitumbe y Nueva Aurora esa diferencia máxima vuelve a bajar a 5,2° C y 1,9° C. En días nublados también hay diferencia significativa con un máximo de 8,1° C registrados en La Kennedy y 8,2° C en Teniente Hugo Ortiz.

### 6.3.1 Comprobación de hipótesis

En la primera hipótesis se espera que a mayor densidad arbórea menor será la temperatura del aire, los resultados de los seis casos analizados demuestran que la mitad no cumple este supuesto y la otra mitad cumple parcialmente, aquellos que cumplen de manera parcial corresponden a los tramos en los que solo 3 de los 5 días se cumple el supuesto y en el 4to y 5to día los datos son iguales entre sí o contrarios a lo esperado (Tabla 6.3).

**Tabla 0.3. Comprobación de hipótesis y nombres de los tramos**

Hipótesis 1: A mayor densidad de árboles menor será la temperatura y viceversa.	Hipótesis 2: A mayor altura de los árboles menor será la temperatura y viceversa.	Hipótesis 3: Los cañones urbanos con arbolado tendrán menor temperatura que aquellos cañones sin arbolado urbano.	
C - Cp	B - Bpz	Bp - Bpz	L - Lp
Jz	F	C - Cp	Hdp - Hdpz
H <sub>z</sub>	F - Fdp	C - Cdp	H - H <sub>z</sub>
I <sub>z</sub>		Fdp - Fdpz	Hp - Hdpz
G <sub>z</sub> - Gdp		G - G <sub>z</sub>	I - I <sub>z</sub>
G <sub>z</sub> - Gp		J - J <sub>z</sub>	Iz - Ip

Se cumple
  Se cumple parcialmente
  No se cumple

TRAMOS SELECCIONADOS											
Zona		Tramo seleccionado				Zona		Tramo seleccionado			
Nº	Nombre	Nombre de la calle	Orientación de la acera a medir	Código del tramo	Distancia (metros)	Nº	Nombre	Nombre de la calle	Orientación de la acera a medir	Código del tramo	Distancia (metros)
1	La Delicia	Aurelio Espinoza Polit	N	Bdp	334,8	9	Rodrigo de Chávez	Rodrigo de Chavez	O	G	371,8
2	Kennedy	Cap. Ramon Borja	S	B	286,0			Diego de Sandoval	O	Gdp	244,4
		De los Algarrobos	S	Bp	241,7			Gonzalo Diaz de Pineda	O	Gp	336,3
		De los Algarrobos	C	Bpz	241,7			Rodrigo de Chavez	O	Gz	371,8
5	CAE	Cesar Davila Andrade	O	L	125,5	10	Teniente Hugo Ortíz	Mariscal Sucre	E	H	492,0
		Romero y Cordero	O	Lp	185,2			Antonio Jaramillo	N	Hdp	421,5
		Iñaquito	E	C	317,4			Antonio Jaramillo	C	Hdpz	421,5
6	Miraflores Bajo	Juan Gonzales	E	Cdp	246,2	12	Quitumbe	Luis Iturralde	N	Hp	328,0
		Nuñez de Vela	E	Cp	304,9			Mariscal Sucre	C	H <sub>z</sub>	482,9
		Asunción	N	F	402,8	13	Nueva Aurora	Quitumbe Ñan	E	J	350,9
		Bogotá	N	Fdp	324,8			Quitumbe Ñan	E	J <sub>z</sub>	350,9
		Bogotá	C	Fdpz	67,9			Quitumbe Ñan	E	I	423,7
		Santiago	N	Fp	333,4			Oe2H	E	Ip	267,1
								Quitumbe Ñan	C	I <sub>z</sub>	423,7

*Fuente:* Elaborado por la autora.

Estos resultados se deben, en parte, a la falta de conocimiento sobre las características biofísicas del arbolado como la especie, el estado de mantenimiento o el tipo de poda, haciéndonos perder de vista factores clave en el efecto termorregulador como el ancho de la copa y el tipo de follaje, por lo cual la densidad arbórea analizada en este estudio es un criterio parcial que debe ir acompañado necesariamente de esas características biofísicas.

**Figura 0.1: Ubicación de los tramos**



Fuente: Elaborado por la autora.

Por ejemplo, en el caso de Rodrigo de Chávez en donde se cumple parcialmente en la comparación de tramos de las calles Diego de Sandoval, Rodrigo de Chávez y Gonzalo Díaz de Pineda, se cree que los resultados están relacionados con la especie, ya que en el parterre de la Av. Rodrigo de Chávez existen varias palmeras cuyo efecto termorregulador es reducido. Otro ejemplo es el de Teniente Hugo Ortiz en el que se esperaba que la zona sur del tramo de la Av. Mariscal Sucre sea más frío por su mayor densidad arbórea, sin embargo, la altura, el tipo de ramificación y el mantenimiento no son los adecuados para tener un efecto de sombra útil. Adicionalmente, en la mayoría de los tramos de las 13 zonas piloto no existe continuidad del arbolado en acera ni en parterre y las zonas más densas suelen ser puntuales y de pocos metros de longitud. En futuros estudios se puede considerar el índice de “densidad de árboles por tramo de calle” (Rueda, 2010):239 propuesto en el Plan de Indicadores de Sostenibilidad de Vitoria Gasteiz, un análisis de densidad parecido al que se ha calculado en el presente estudio pero por metro lineal, en donde se considera la altura y el ancho de copa, por ejemplo, para un árbol mediano de 6 a 15m de altura y 6m de diámetro el índice mínimo aceptable es de 0,26 árboles por metro lineal, es decir un árbol plantado cada 8 metros en el 50% del tramo.

En la segunda hipótesis se espera que a mayor altura de los árboles menor será la temperatura y viceversa, los resultados de un total del 3 casos demuestra que no se cumple el supuesto, una vez más, las características biofísicas están vinculadas con estos resultados, debido a que la altura de un árbol no siempre implica que éste haya crecido de forma natural correcta y que mantenga las proporciones de copa adecuadas.

En la tercera hipótesis en donde se espera que los cañones urbanos arbolados tengan menor temperatura que los no arbolados, se cumple el supuesto en la mayoría de los casos ya que de los 12 tramos 7 se cumplen a cabalidad, 2 parcialmente y 3 no los cumplen. Los casos que siempre cumplen el supuesto corresponden a la comparación de la acera sin arbolado y el parterre paralelo a la misma con arbolado, en todos ellos el parterre tiene suelo permeable que en ocasiones es tierra desnuda y en otras kikuyo.

Se cree que la especie del árbol también puede influir en estos resultados porque en aquellos casos en los que se cumple parcialmente, como en Quitumbe en los tramos de la Av Quitumbe Ñan y en el que no se cumple como en Iñaquito en los tramos de calles Juan González, Iñaquito y Núñez de Vela, coincide que están arbolados con *Callistemon Blanco* o comúnmente llamados Cepillos Blancos.

En cambio en Nueva Aurora en donde se cumple parcialmente se cree que los resultados pueden estar relacionados con la presencia de predios baldíos a lo largo del tramo de la calle

Oe2H que influye en los vientos y temperatura del aire. Finalmente el caso de La Kennedy con los tramos de las calles César Dávila Andrade y Romero y Cordero, en donde la hipótesis no se cumple, se cree que los resultados pueden estar vinculados con la altura del arbolado de la calle César Dávila Andrade cuyas sombras son limitadas debido a su mal estado de conservación por malas podas.

En definitiva los resultados de las 3 hipótesis comprueba el nivel de complejidad que implica este tipo de estudios y la necesidad de seguir investigando en la temática con equipos multidisciplinarios que integren profesionales expertos en especies arbóreas, lo que sí queda claro es que la vegetación influye en la temperatura a través de la sombra que proyecta sobre el suelo, brindando mejores condiciones térmicas para los peatones, esas variaciones pueden llegar a ser muy amplias como el caso de la zona norte de Quito en donde se registró la diferencia térmica máxima de 12,5° C.



## Conclusiones

El norte es más cálido que el sur, una tendencia comprobada tanto en la temperatura superficial como en la temperatura del aire a la altura de un peatón, esta diferencia térmica está vinculada, en parte, con la geografía de la ciudad ya que existe una diferencia de altitud de 200 metros aproximadamente entre norte y sur, por ejemplo Nueva Aurora tiene una altitud de 2.965msnm y La Delicia 2.768 msnm; por otro lado, el sur aún se encuentran en proceso de consolidación con la presencia de más predios baldíos con vegetación, en cambio en el norte la urbanización está consolidada y ampliamente impermeabilizada.

Considerando que la temperatura superficial es captada por el sensor OLI a las 10h26 de la mañana, cuando el nivel de radiación es menor a la receptada al mediodía, sin duda la temperatura superficial máxima diaria será aún mayor que la analizada en el presente estudio. Para captar dichos máximos es necesario disponer de otro tipo de equipos más precisos como cámaras termográficas que sobrevuelen los tramos y al mismo tiempo registrar la temperatura del aire.

La temperatura del aire tomada al interior de los cañones urbanos, a la altura de un peatón, es siempre más alta que la registrada por las estaciones meteorológicas oficiales, el estudio evidencia un rango de diferencia muy amplio con una variación de 1,2° C a 16,9° C, es decir que mientras una estación meteorológica registra 19° C, a en un radio de 2000 metros se podría registra hasta 35,9° C.

La vegetación influye en la disminución de la temperatura en dos escalas, una meso en la que los grandes parques ayudan a disminuir la temperatura superficial y una escala micro en la que el arbolado disminuye la temperatura del aire a la altura de un peatón, pero adicionalmente hay algunas características que deben cumplir los parques y el arbolado para que efectivamente cumplan la función termorreguladora en el microclima urbano.

En el caso de los parques es necesario que tengan grandes extensiones para influenciar en la temperatura superficial, el estudio de las 13 zonas piloto muestra que el parque con dimensiones superiores a los 9.000 m<sup>2</sup> si influencia en la disminución térmica a las 10h26 de la mañana, es decir que al medio día, con el sol en el cenit, esta capacidad termorreguladora

se multiplicará positivamente. Además, dependerá de la existencia de arbolado para que la disminución térmica sea efectiva.

En el caso del arbolado se evidencia la necesidad de que el árbol alcance su crecimiento natural tanto en altura como en la estructura de su copa, caso contrario el efecto termorregulador es nulo, esto ha sido corroborado al interpretar la negación y afirmación parcial de las hipótesis uno y dos, relativas a la densidad y altura del árbol. La falta de conocimiento sobre las características biofísicas del arbolado como la especie, el estado de mantenimiento o el tipo de poda, hizo perder de vista factores clave en el efecto termorregulador como el ancho de la copa y el tipo de follaje, por lo cual la densidad arbórea analizada en este estudio es un criterio parcial que debe ir acompañado necesariamente de esas características biofísicas.

Existe una influencia de las grandes áreas verdes colindantes con las zonas piloto de la Portugal (La Carolina), San Blas (Alameda e Itchimbía), Rodrigo de Chávez (Río Machángara y Parque Ecológico), Mayorista (Río Machángara) y Miraflores Bajo (El Ejido), en todos estos casos la temperatura de las zonas piloto disminuye en la zona colindante con estos amplios espacios verdes y aumenta conforme nos alejamos de ellos.

Se identificaron patrones de espacios verdes particulares en las zonas de La Floresta, Quitumbe y Nueva Aurora, en estos casos la impermeabilización no es continua como Teniente Hugo Ortiz o La Delicia, sino más bien hay pequeños o medianos espacios verdes privados como parches dispersos, estos corresponden a patios interiores arbolados en el caso de La Floresta, espacios verdes comunales (120m<sup>2</sup>) en conjuntos residenciales en el caso de Quitumbe y predios baldíos (100m<sup>2</sup>) en Nueva Aurora. Estas zonas tienen temperaturas bajas en comparación con áreas de impermeabilización continua, por ejemplo La Floresta registra sobre la zona residencial 28° C, Quitumbe 27° C y Nueva Aurora 24,5° C.

En definitiva los resultados de las 3 hipótesis comprueba el nivel de complejidad que implica este tipo de estudios y la necesidad de seguir investigando en la temática con equipos multidisciplinarios que integren profesionales expertos en especies arbóreas, lo que sí queda claro es que la vegetación influye en la temperatura a través de la sombra que proyecta sobre el suelo, los resultados demuestran que la temperatura del aire tomada bajo sombra de un árbol siempre es más baja que la de temperatura tomada sin sombra, el arbolado bien cuidado

definitivamente brinda mejores condiciones térmicas para los peatones, por ejemplo, en la acera de la Av. de Los Algarrobos, en el barrio La Victoria, si estas bajo la sombra de un árbol al medio día, la temperatura del aire es de 19,5° C, a diferencia de 32° C si estas caminado sin sombra de un árbol, es decir que hay una diferencia de 12,4° C.

La consideración de estos resultados podrá aportar a la toma de decisiones en la planificación, diseño y gestión de la vegetación en el espacio público. Es necesario recalcar que el NDVI demuestra mayores extensiones y mejor distribución en el sur de la ciudad, datos que se interpreta como alto potencial para crear las condiciones necesarias de acceso público, cambiando la idea de que los espacios verdes están exclusivamente en áreas de alto poder adquisitivo.

## Listado de referencias

- Ahern, J. 2007. Green infrastructure for cities: the spatial dimension. In I. Publishing (Ed.), *Cities of the Future Towards Integrated Sustainable Water and Landscape Management*. London, Uk: Citeseer.
- Akbari, H. 2005. *Energy saving potentials and air quality benefits of urban heat island mitigation*. Retrieved from
- Akbari, H., Bell, R., Brazel, T., Cole, D., Estes, M., Heisler, G., y y Oke, T. 2008. Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies. Urban Heat Island Basics. *US Environmental Protection Agency*, 1-22.
- Alberti, M. 2008. *Advances in urban ecology: integrating humans and ecological processes in urban ecosystems*: Springer.
- Ariza, A. (2013). Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 LDCM. *Knowledge Portal, UNSPIDER*. Último acceso, 1.
- Artmann, M., Bastian, O., y Grunewald, K. (2017). Using the concepts of green infrastructure and ecosystem services to specify Leitbilder for compact and green cities—the example of the landscape plan of Dresden (Germany). *Sustainability*, 9(2), 198.
- Ávila, A., Larco, M. A., y Scholz, B. (2014). *Ciudades Del Buen Vivir, Quito Hacia Un Modelo Sustentable: Red Verde Urbana Y Ecobarrios*. Quito.
- Benedict, M. A., y McMahon, E. T. (2002). Green infrastructure: smart conservation for the 21st century. *Renewable resources journal*, 20(3), 12-17.
- Benedict, M. A., y McMahon, E. T. (2006). *Green infrastructure: linking landscapes and communities*: Island press.
- Boyden, S., Millar, S., Newcombe, K., y O'Neill, B. (1981). *The ecology of a city and its people: the case of Hong Kong*: Australian National University Press.
- Bustamante, A. (2018). Análisis de la isla de calor urbana en el entorno andino de Cuenca-Ecuador. *Investigaciones geográficas*(70), 167-179.
- Bustamante, A., y Orellana, D. (2017). *Caracterización de la isla de calor urbana en Cuenca (Ecuador)*. *Efectos de la morfología urbana*.
- Cáceres, L., Mejía, R., y Ontaneda, G. (1998). Evidencias del cambio climático en Ecuador. *Bulletin de l'Institut français d'études andines*, 27(3).
- Cameron, R. W. F., y Blanuša, T. (2016). Green infrastructure and ecosystem services—is the devil in the detail? *Annals of botany*, 118(3), 377-391. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4998986/pdf/mcw129.pdf>

- Carrión, F., y Erazo, J. (2012). La forma urbana de Quito: una historia de centros y periferias. *Bulletin de l'Institut français d'études andines*(41 (3)), 503-522.
- du Toit, M. J., Cilliers, S. S., Dallimer, M., Goddard, M., Guenat, S., y Cornelius, S. F. (2018). Urban green infrastructure and ecosystem services in sub-Saharan Africa. *Landscape and Urban Planning*, 180, 249-261.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.06.001>
- European Commission, C. (2012). The multifunctionality of green infrastructure (pp. 1-36).
- European Environment Agency, E. (2011). *Green infrastructure and territorial cohesion. The concept of green infrastructure and its integration into policies using monitoring systems*. Retrieved from
- Forman, R., y Godron, M. (1986). *Landscape Ecology*. Canada: John Wiley y Sons.
- Forman, R. (1995). *Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions*. Melbourne: Cambridge University Press.
- Forman, R., Dramstad, W., y Olson, J. (1996). *Landscape ecology principles in landscape architecture and land-use planning*: Island press.
- Forman, R. (2014). *Urban ecology: science of cities*: Cambridge University Press.
- Gardner, G. (2016). Las ciudades del mundo en un vistazo. In L. Mastny (Ed.), *Ciudades sostenibles del sueño a la acción: la situación del mundo 2016* (pp. 383). Madrid: Worldwatch Institute: FUHEM Ecosocial
- Geddes, P. (1949). *Cities in evolution*: William and Norgate Limited, London.
- Gómez-Baggethun, E., y De Groot, R. (2010). Natural capital and ecosystem services: the ecological foundation of human society *Ecosystem services* (Vol. 30, pp. 105-121): RSC Publishing London, UK.
- Gómez, L. (2018). *Relación del verde urbano de Quito y las condiciones socioeconómicas de la población desde una perspectiva de justicia espacial*. FLACSO, Quito.
- Guillén, V., y Orellana, D. (2016). *Un acercamiento a caracterizar la isla de calor en Cuenca, Ecuador*. Madrid.
- Hannell, F. G. (1976). Some Features of the Heat Island in an Equatorial City. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 58(1-2), 95-109.  
doi:10.1080/04353676.1976.11879927
- Herrera, A. (2018). *La isla de calor en la zona urbana de la ciudad de Guayaquil, mediante Sistemas de Información Geográfica y Teledetección*. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil.
- Hough, M. (1984). *City form and natural process*: Croom Helm London.



- Hough, M. (1998). *Naturaleza y ciudad: planificación urbana y procesos ecológicos/Cities and natural process*: Gustavo Gili.
- Inzunza, J. (s.f). Capítulo 3: Radiación solar y terrestre *Metereología Descriptiva*. Chile: Universidad de Chile.
- Jami, L., Mora, M. B., Padilla, O., y Kirby, E. (2019). Análisis de la presencia de islas de calor en el cantón Rumiñahui mediante el tratamiento de imágenes landsat 7 ETM+. *Revista Geoespacial*, 15(2), 95-111.
- Johansen, K. S., Alfthan, B., Baker, E., Hesping, M., Schoolmeester, T., y Verbist, K. (2019). *El Atlas de Glaciares y Aguas Andinos: el impacto del retroceso de los glaciares sobre los recursos hídricos*: UNESCO Publishing.
- Kopperoinen, L., Itkonen, P., y Niemelä, J. (2014). Using expert knowledge in combining green infrastructure and ecosystem services in land use planning: an insight into a new place-based methodology. *Landscape Ecology*, 29(8), 1361-1375.  
doi:10.1007/s10980-014-0014-2
- Land Use Consultants, L. (2009). *Green Infraestructure Guidance*. London.
- Leemans, R., De Groot, R. S., Alcamo, J., Ash, N. J., Butler, C. D., Callicott, J. B., . . . Chambers, R. (2003). *Millennium Ecosystem Assessment: Ecosystems and human well-being: a framework for assessment*: Island press.
- Liquete, C., Kleeschulte, S., Dige, G., Maes, J., Grizzetti, B., Olah, B., y Zulian, G. (2015). Mapping green infrastructure based on ecosystem services and ecological networks: A Pan-European case study. *Environmental Science y Policy*, 54, 268-280.
- Local Spacial Planning, L. (2007). *Planning and Climate Change Supplement to Planning Policy Statement 1*. London: The Stationery Office.
- Local Spacial Planning, L. (2008). *Planning Policy Statement 12: Creating strong safe and prosperous communities through Local Spatial Planning*. London: The Stationery Office.
- Maldonado González, F. M. (2019). *Efecto de la morfología urbana sobre el fenómeno isla de calor en el espacio público, caso de estudio centro de manzana del barrio Solanda en el Sur de la ciudad de Quito*. PUCE-Quito.
- Martins, T. A. L., Adolphe, L., Bonhomme, M., Bonneaud, F., Faraut, S., Ginestet, S., . . . Guyard, W. (2016). Impact of Urban Cool Island measures on outdoor climate and pedestrian comfort: simulations for a new district of Toulouse, France. *Sustainable Cities and Society*, 26, 9-26.

- Matsuoka, R. H., y Kaplan, R. (2008). People needs in the urban landscape: analysis of landscape and urban planning contributions. *Landscape and Urban Planning*, 84(1), 7-19.
- McDonnell, M. J., y Niemelä, J. (2011). The history of urban ecology. *Urban ecology*, 9, 5-17.
- McHarg, I. (1969). *Design with nature*: New York: University of Pennsylvania.
- Montgomery, M. (2008). The Urban Transformation of the Developing World. *American Association for the Advancement of Science*, 319(5864 ), 761-764. doi: <https://doi.org/10.1126/science.1153012>
- Municipio del DMQ, D. M. d. Q. (2012). *Plan Metropolitano de Ordenamiento Territorial 2012 - 2022*. Quito.
- Narváez, N., y Jiménez, S. (2016). *Atlas Ambiental del Distrito Metropolitano de Quito*. Quito.
- Nicholls Andrade, J. J. (2018). *La ciudad y sus árboles: Estudio de caso de dos barrios quiteños a través de sus imaginarios*. (Maestría en Estudios Urbanos), Flacso Ecuador, Quito, Ecuador.
- Oke. (1988). The urban energy balance. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 12(4), 471-508. doi:10.1177/030913338801200401
- Oke, T. (1976). The distinction between canopy and boundary-layer urban heat Islands. *Atmosphere*, 14, 268-277. doi:10.1080/00046973.1976.9648422
- Oke, T. (1982). The energetic basis of urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108, 1-24. doi:10.1002/qj.49710845502
- Oke, T. (1988). Street design and urban canopy layer climate. *Energy and Buildings*, 11, 103-113. doi:10.1016/0378-7788(88)90026-6
- Oke, T. R. (1973). City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment (1967)*, 7(8), 769-779. doi:[https://doi.org/10.1016/0004-6981\(73\)90140-6](https://doi.org/10.1016/0004-6981(73)90140-6)
- Oke, T. R., y Maxwell, G. B. (1975). Urban heat island dynamics in Montreal and Vancouver. *Atmospheric Environment (1967)*, 9(2), 191-200.
- Oke, T. R., y Meteorologique Mondiale, O. (1974). Review of Urban Climatology, 1968-1973.
- OMS, O. M. d. I. S., OMM, O. M. M., PNUMA, P. d. I. N. U. p. e. M. A., y CIPRNI, C. I. d. P. c. I. R. n. I. (2003). *Índice UV solar mundial: Guía práctica*. Retrieved from ONU. (2019). *World Population Prospect 2019*. Retrieved from New York:

- Orellana, D. (2014). *Redes simples, redes complejas y matrices de tejidos continuos: evolución de los espacios abiertos en cuatro casos de estudio: Maryland, Londres, Bolonia y Barcelona*. (Master en Urbanismo), Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona.
- Palme, M., Villacreses, G., Lobato, A., Cordovez, M., Macias, J., y Soriano, G. (2016, 2016). *Estimating the Urban Heat Island Effect in the City of Guayaquil*.
- Peltre, P. (1989). Quebradas y riesgos naturales en Quito, período 1900-1988. *Riesgos Naturales en Quito, Lahares, aluviones y derrumbes del Pichincha y del Cotopaxi, en Estudios de Geografía, 2*, 45-91.
- Polo Abad, J. (2016). *Manual Técnico de Arbolado Urbano*. Quito.
- Portés, C. P., Burneo, V. F. G., Zambrano, S. R. D., y Jairala, M. G. C. (2017). La Forma Espacial de la Isla de Calor en la Ciudad de Guayaquil. *INVESTIGATIO RESEARCH REVIEW(9)*, 92-106.
- Priego, C. (2002). Beneficios del arbolado urbano. *Concejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid (online)*.
- Reid, W. V., Mooney, H. A., Cropper, A., Capistrano, D., Carpenter, S. R., Chopra, K., . . . Hassan, R. (2005). *Ecosystems and human well-being-Synthesis: A report of the Millennium Ecosystem Assessment*: Island Press.
- Rizwan, A. M., Dennis, L. Y. C., y Chunho, L. I. U. (2008). A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of Environmental Sciences, 20(1)*, 120-128.
- Rueda, S. (1995). *Ecología Urbana: Barcelona i la seva regió metropolitana com a referents*: Beta Barcelona.
- Rueda, S. (1997). Metabolismo y complejidad del sistema urbano a la luz de la ecología. *Boletín C+ F. <http://habitat.aq.upm.es/cs/p2/a008.html> (11 de junio de 2015)*.
- Rueda, S. (2010). Plan de Indicadores de Sostenibilidad Urbana de Vitoria-Gasteiz. *Agencia de Ecología Urbana de Barcelona, Ayuntamiento Vitoria Gasteiz*.
- Rueda, S., de Cáceres, R., Cuchí, A., y Brau, L. (2012). El urbanismo ecológico. *Agencia de Ecología Urbana de Barcelona, Barcelona*, 18-20.
- Sánchez Masapanta, L. M. (2018). *Cambios en urbanización e isla de calor de la ciudad de Guayaquil, mediante imágenes Landsat*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Maestría en Sistemas de Gestión . . .
- Sanz Cerezo, B. (2018). Metabolismo NY: brechas y conexiones entre ciencia ambiental y utopía urbana en los 60-70.

- Serrano Vincenti, S., Ruiz, J. C., y Bersosa, F. (2016). Heavy Rainfall and Temperature Projections in a Climate Change Scenario over Quito, Ecuador. *La Granja*, 25(1), 16. doi:10.17163/lgr.n25.2017.02
- Sukopp, H. (1998). Urban ecology—scientific and practical aspects *Urban ecology* (pp. 3-16): Springer.
- Tan, P. Y., Wong, N. H., Tan, C. L., Jusuf, S. K., Chang, M. F., y Chiam, Z. Q. (2018). A method to partition the relative effects of evaporative cooling and shading on air temperature within vegetation canopy. *Journal of Urban Ecology*, 4, 11+. Retrieved from [https://link.gale.com/apps/doc/A586115840/AONE?u=geb\\_trialysid=AONEyxid=9baa7539](https://link.gale.com/apps/doc/A586115840/AONE?u=geb_trialysid=AONEyxid=9baa7539)
- Terradas, J. (2001). *Ecología urbana: Generalitat de Catalunya*. Departament de Medi Ambient.
- Tjallingii, S. P. (2000). Ecology on the edge:: Landscape and ecology between town and country. *Landscape and Urban Planning*, 48(3-4), 103-119.
- Tumini, I. (2013). *El microclima urbano en los espacios abiertos: estudio de casos en Madrid*. Arquitectura.
- Unión Europea, U. (2013). *Comunicación de la comisión al parlamento europeo, al consejo, al comité económico y social europeo y al comité de las regiones: Infraestructura verde: mejora del capital natural de Europa*. Retrieved from Bruselas:
- Vitousek, P. M., Mooney, H. A., Lubchenco, J., y Melillo, J. M. (1997). Human domination of Earth's ecosystems. *Science*, 277(5325), 494-499.
- Wang, R., Eckelman, M. J., y Zimmerman, J. B. (2013). Consequential Environmental and Economic Life Cycle Assessment of Green and Gray Stormwater Infrastructures for Combined Sewer Systems. *Environmental Science y Technology*, 47(19), 11189-11198. doi:10.1021/es4026547
- Wang, Y., Bakker, F., De Groot, R., y Wörtche, H. (2014). Effect of ecosystem services provided by urban green infrastructure on indoor environment: A literature review. *Building and environment*, 77, 88-100.
- Weber, T., y Maryland Department of Natural Resources, M. (2003). *Maryland's Green Infrastructure Assessment*. Maryland.
- Wu, S., Liang, Z., y Li, S. (2019). Relationships between urban development level and urban vegetation states: A global perspective. *Urban Forestry y Urban Greening*, 38, 215-222. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.12.010>





**Anexos**

**Anexo 1: Ficha modelo para el levantamiento de datos térmicos**

Carolina Manzano Responsable

**ZONA 3**  
C: CAE

Día: Viernes

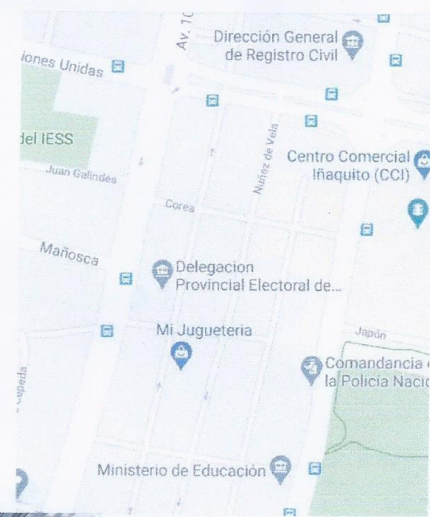
Fecha: 13mar2020


Hora de inicio: 12:50

Hora de finalización: 13:22


Tramo C: IÑAQUITO  
Tramo C': NÚÑEZ DE VELA  
Tramo C'': JUAN GONZÁLES

Condiciones meteorológicas al momento de tomar la temperatura	
Nublado	
Parcialmente nublado	+
Despejado	

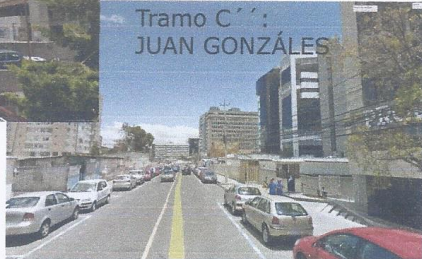




Tramo C: IÑAQUITO



Tramo C': NÚÑEZ DE VELA




Tramo C'': JUAN GONZÁLES

Observaciones:

ACERA ESTE _Tramo C: IÑAQUITO							
Nº de punto	Tem °C IN	Tem °C OUT	HR (%)	HORA	Bajo sombra	Al costado del árbol	Nota
P 5	29,2	24,0	34%	13:03	X		Nublado
P 6	29,0	24,9	35%	13:06		X	"
P 7	28,5	23,1	34%	13:10			"
P 8	27,2	22,0	36%	13:13		X	"
P							

ACERA ESTE _Tramo C': NÚÑEZ DE VELA							
Nº de punto	Tem °C IN	Tem °C OUT	HR (%)	HORA	Bajo sombra	Al costado del árbol	Nota
P 1	27,1	21,0	39%	12:50	X		Sale el sol + viento
P 2	35,1	30,5	32%	12:53		X	" "
P 3	30,9	22,1	30%	12:56	X		Se nubló + viento
P 4	30,5	25,2	34%	12:59			Nublado
P							

ACERA ESTE _Tramo C'': JUAN GONZÁLES							
Nº de punto	Tem °C IN	Tem °C OUT	HR (%)	HORA	Bajo sombra	Al costado del árbol	Nota
P 9	25,5	21,0	38%	13:19			Nublado
P 10	25,7	22,4	39%	13:22			"
P							



Fuente: La autora