



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ
“MANUEL FÉLIX LÓPEZ”**

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**INFORME DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL**

MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

**ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE VEGETACIÓN URBANA PARA LA
DISMINUCIÓN DE LA ISLA DE CALOR URBANO DEL PERÍMETRO
CENTRAL DE LA CIUDAD DE TOSAGUA**

AUTORES:

RICARDO EMANUEL LOOR CEDEÑO

ULISES JAIR MURILLO PALACIOS

TUTOR:

ING. FABRICIO ENRIQUE ALCÍVAR INTRIAGO, M. Sc.

CALCETA, JULIO 2024

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Murillo Palacios Ulices Jair, con cédula de ciudadanía **1316732104** y **Loor Cedeño Ricardo Emanuel**, con cédula de ciudadanía 1313829218 declaramos bajo juramento que el trabajo de integración curricular titulado: **ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE VEGETACIÓN URBANA PARA LA DISMINUCIÓN DE LA ISLA DE CALOR URBANO DEL PERÍMETRO CENTRAL DE LA CIUDAD DE TOSAGUA**, es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, concedemos a favor de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, conservando a nuestro favor todos los derechos patrimoniales de autor sobre la obra, en conformidad con el Artículo 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación.



Murillo Palacios Ulices Jair

CC: 1316732104



Loor Cedeño Ricardo Emanuel

CC: 1313829218

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Murillo Palacios Ulices Jair, con cédula de ciudadanía 11316732104 y Loor Cedeño Ricardo Emanuel, con cédula de ciudadanía 1313829218, autorizamos a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, la publicación en la biblioteca de la institución del informe de investigación, con la modalidad trabajo de investigación, con el tema: **ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE VEGETACIÓN URBANA PARA LA DISMINUCIÓN DE LA ISLA DE CALOR URBANO DEL PERÍMETRO CENTRAL DE LA CIUDAD DE TOSAGUA** cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.



Murillo Palacios Ulices Jair

CC: 1316732104



Loor Cedeño Ricardo Emanuel

CC: 1313829218

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

ING. FABRICIO ENRIQUE ALCÍVAR INTRIAGO, M. Sc., certifica haber tutelado el Trabajo de Integración Curricular titulado: **“ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE VEGETACIÓN URBANA PARA LA DISMINUCIÓN DE LA ISLA DE CALOR URBANO DEL PERÍMETRO CENTRAL DE LA CIUDAD DE TOSAGUA”**, que ha sido desarrollada por Murillo Palacios Ulices Jair y Loor Cedeño Ricardo Emanuel, previo a la obtención del título de Ingeniero Ambiental, de acuerdo al **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR DE CARRERAS DE GRADO** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

Ing. Fabricio Enrique Alcívar Intriago, M. Sc.

CC: 130863226-2

TUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaramos que hemos APROBADO el trabajo de titulación “**ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE VEGETACIÓN URBANA PARA LA DISMINUCIÓN DE LA ISLA DE CALOR URBANO DEL PERÍMETRO CENTRAL DE LA CIUDAD DE TOSAGUA**”, que ha sido desarrollada por “**Murillo Palacios Ulices Jair y Loor Cedeño Ricardo Emanuel**”, previa la obtención del título de Ingeniero Ambiental, de acuerdo al reglamento para la elaboración de trabajo de titulación de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

Ing. Carlos Fabián Solórzano
Solórzano, M. Sc.

CC: 1306071984

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Kevin Alexander Patiño
Alonzo, M. Sc.

CC: 1313231118

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. José Manuel Calderón Pincay, Mg

CC: 2300121833

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

AGRADECIMIENTO

Para nosotros es muy grato expresar nuestro más sincero agradecimiento a todas aquellas personas que contribuyeron de la mejor manera en la realización de esta tesis. Quisiéramos expresar nuestro más profundo agradecimiento a nuestro tutor el Ing. Fabricio Enrique Alcívar Intriago, por su experiencia, comprensión y paciencia contribuyeron a nuestras experiencias en el complejo y gratificante camino de la investigación. Su guía constante y su fe inquebrantable en nuestras habilidades nos han motivado a alcanzar alturas que nunca imaginamos. No tengo palabras para expresar mi gratitud por su inmenso apoyo durante este trayecto.

Le agradecemos de igual manera al GAD Municipal Del Cantón Tosagua, por brindarnos toda la información que requeríamos para así poder llevar a cabo este proyecto de investigación. Gracias por creer en este proyecto, por su paciencia y por su invaluable contribución. Este logro no habría sido posible sin su generosa ayuda y dedicación.

LOS AUTORES

DEDICATORIA

La presente tesis va dedicada en primer lugar a Dios, ya que gracias a sus bendiciones he podido concluir mi carrera, a mis padres, porque ellos siempre estuvieron brindándome su apoyo y sus consejos para hacer de mí una mejor persona, a mis hermanas que aunque no estén cerca me dan su apoyo moral, a mi novia por sus palabras de motivación y confianza, a todas las personas que de una u otra manera han contribuido para el logro de mis objetivos, por sus constantes alientos, por las palabras de ánimo en los momentos difíciles y por celebrar conmigo cada victoria ,por pequeña que sea, esta tesis no solo representa un capítulo académico, también un reflejo de la importancia de la educación y el amor incondicional.

Murillo Palacios Ulices Jair

DEDICATORIA

Todo este tiempo de esfuerzo y dedicación va dedicado a mis queridos padres por ser ese pilar fundamental que me permitió alcanzar esta meta, y darle cumplimiento al objetivo que estuvo en mi mente desde que empecé mis estudios, para poderles devolver todo lo que ellos han hecho y siguen haciendo por mí.

A mis hermanos, que de una u otra forma me brindaron su apoyo y sus palabras de aliento, para que cada día me esforzara más y poder llegar a ser un profesional.

Loor Cedeño Ricardo Emanuel

CONTENIDO GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	ii
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN	iii
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL	v
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA	vii
DEDICATORIA	viii
CONTENIDO GENERAL	ix
CONTENIDO DE TABLAS.....	xii
CONTENIDO DE FIGURAS	xii
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES	1
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.3. OBJETIVOS.....	4
1.4. IDEA A DEFENDER	5
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	6

2.1. VEGETACIÓN URBANA.....	6
2.2. BENEFICIOS AMBIENTALES DE LA VEGETACIÓN EN ÁREAS VERDES 6	
2.3. PROBLEMÁTICA DE LA VEGETACIÓN EN ESPACIOS URBANOS.....	7
2.4. TEMPERATURA SUPERFICIAL.....	8
2.5. ISLA DE CALOR URBANA (ICU).....	9
2.6. ORIGEN DE ISLAS DE CALOR.....	10
2.7. TIPOS DE ISLAS DE CALOR.....	11
2.8. CAUSAS ASOCIADAS AL INCREMENTO DE ISLAS DE CALOR.....	11
2.9. EFECTOS DE LAS ISLAS DE CALOR.....	11
2.10. METODOLOGÍA PARA MEDIR LAS ISLAS DE CALOR.....	12
2.11. NATURACIÓN DE LAS ISLAS DE CALOR.....	13
2.12. TELEDETECCIÓN COMO MEDIDA PARA IDENTIFICAR ISLAS DE CALOR URBANA.....	14
2.12.1. TELEDETECCIÓN ACTIVA.....	14
2.12.2. TELEDETECCIÓN PASIVA.....	15
2.13. MODELO DE OBTENCIÓN DE TEMPERATURA SUPERFICIAL TERRESTRE.....	15
2.14. DATOS RÁSTER.....	16
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO.....	17
3.1. UBICACIÓN.....	17

3.2.	DURACIÓN DEL TRABAJO.....	17
3.3.	VARIABLES EN ESTUDIO	18
3.3.1.	VARIABLE DEPENDIENTE.....	18
3.3.2.	VARIABLE INDEPENDIENTE	18
3.4.	TIPOS DE INVESTIGACIÓN	18
3.4.1.	INVESTIGACIÓN CUANTITATIVA.....	18
3.5.	MÉTODOS Y TÉCNICAS.....	18
3.5.1.	MÉTODOS	18
3.5.2.	TÉCNICAS	20
3.6.	PROCEDIMIENTO.....	20
	CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
4.1.	ESTABLECIMIENTO DEL ÍNDICE DE VEGETACIÓN URBANA DE LA CIUDAD DE TOSAGUA.....	28
4.2.	ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE CALOR URBANO A TRAVÉS DE LOS VALORES DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL TERRESTRE DEL PERÍMETRO CENTRAL DE LA CIUDAD DE TOSAGUA.....	37
4.3.	EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA PRESENCIA DE VEGETACIÓN URBANA Y LOS EFECTOS DE LA ISLA DE CALOR URBANA EN LA CIUDAD DE TOSAGUA.....	47
	CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	48
5.1	CONCLUSIONES.....	48
5.2	RECOMENDACIONES	49

BIBLIOGRAFÍA.....	50
ANEXOS.....	61

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 3.1. Ficha de observación	21
Tabla 3.2. Valores de Emisividades de Landsat 8 TIRS/OLI bandas 10 y 11	26
Tabla 3.3. Interpretación de valores del Coeficiente de correlación de Pearson..	27
Tabla 4.1. Número de árboles en barrios del casco urbano de Tosagua.	29
Tabla 4.2. Correlación de Pearson entre LST y NDVI	47

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 3.1. Mapa de ubicación de la zona de estudio.	17
Figura 4.1. Barrios en el casco urbano del cantón Tosagua	28
Figura 4.2. Distribución porcentual de la presencia de árboles en el casco urbano de Tosagua	30
Figura 4.3. Distribución barrial del casco urbano de Tosagua	32
Figura 4.4. Índice de vegetación normalizada (NDVI) del casco urbano del cantón Tosagua 2019	34

Figura 4.5. Índice de vegetación normalizada (NDVI) del casco urbano del cantón Tosagua 2020	34
Figura 4.6. Índice de vegetación normalizada (NDVI) del casco urbano del cantón Tosagua 2021	35
Figura 4.7. Índice de vegetación normalizada (NDVI) del casco urbano del cantón Tosagua 2022	35
Figura 4.8. Índice de vegetación normalizada (NDVI) del casco urbano del cantón Tosagua 2023	36
Figura 4.9. Valores máx. y min del análisis de NDVI en el periodo 2019 – 2023 .	37
Figura 4.10. Temperatura superficial terrestre LST del casco urbano del cantón Tosagua 2019	39
Figura 4.11. Temperatura superficial terrestre LST del casco urbano del cantón Tosagua 2020	39
Figura 4.12. Temperatura superficial terrestre LST del casco urbano del cantón Tosagua 2021	40
Figura 4.13. Temperatura superficial terrestre LST del casco urbano del cantón Tosagua 2022	40
Figura 4.14. Temperatura superficial terrestre LST del casco urbano del cantón Tosagua 2023	41
Figura 4.15. Máximos y mínimos en la temperatura superficial terrestre del casco urbano de Tosagua.	42
Figura 4.16. Isla de calor del casco urbano del cantón Tosagua 2019	44
Figura 4.17. Isla de calor del casco urbano del cantón Tosagua 2020	44
Figura 4.18. Isla de calor del casco urbano del cantón Tosagua 2021	45

Figura 4.19. Isla de calor del casco urbano del cantón Tosagua 2022	45
Figura 4.20. Isla de calor del casco urbano del cantón Tosagua 2023	46
Figura 4.21. Intensidad de la isla de calor en el casco urbano de Tosagua 2019 - 2023	46

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como finalidad analizar el índice de vegetación urbana para la disminución de la Isla de Calor Urbana del perímetro central de la ciudad de Tosagua realizadas en tres fases: El primer objetivo fue establecer el índice de la vegetación urbana, mediante imágenes Landsat 8, para calcular el Índice de Vegetación Normalizada. El segundo objetivo radicó en analizar el índice de calor a través de la temperatura superficial terrestre del casco urbano de la ciudad de Tosagua, en el software QGIS 3.28.5. En el tercer objetivo se evaluó la relación entre la vegetación urbana y la temperatura superficial terrestre mediante un análisis estadístico de correlación a través del software IBM Statistics SPSS. Se evidenció una distribución variada de árboles en diferentes barrios, con áreas con baja presencia arbórea. Respecto al índice de calor urbano mediante la temperatura superficial terrestre, se observó variaciones anuales significativas en la temperatura influenciadas por los cambios en el uso del suelo. Al analizar la relación entre la presencia de vegetación y la isla de calor, se mostró una correlación directa entre estas variables, resaltando la disminución de la salud de la vegetación correlacionada con el aumento de la temperatura superficial. El análisis en el casco urbano de Tosagua revela disminución en la vegetación urbana y aumento considerable en la intensidad de la isla de calor.

PALABRAS CLAVE: Isla de calor, vegetación urbana, temperatura superficial.

ABSTRACT

The objective of this research was to analyze the urban vegetation index for the reduction of the Urban Heat Island of the central perimeter of the city of Tosagua. The research was developed in three phases that consisted of: establishing the urban vegetation index, using Landsat 8 images, to calculate the Normalized Vegetation Index. The second objective was to analyze the heat index through the land surface temperature of the urban area of the city of Tosagua, in the QGIS 3.28.5 software. In the third objective, the relationship between urban vegetation and land surface temperature was evaluated through a statistical correlation analysis using IBM Statistics SPSS software. A varied distribution of trees was evident in different neighborhoods, with areas with low tree presence. Regarding the urban heat index through land surface temperature, significant annual variations in temperature were observed influenced by changes in land use. When analyzing the relationship between the presence of vegetation and the heat island, a direct correlation was shown between these variables, highlighting the decrease in vegetation health correlated with the increase in surface temperature. The analysis in the urban area of Tosagua reveals a decrease in urban vegetation and a considerable increase in the intensity of the heat island.

KEYWORDS: Heat island, urban vegetation, surface temperature.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

A nivel mundial en los últimos años se ha dado un incremento en la población, lo que ha generado una sobrepoblación, especialmente dentro de las ciudades (Banco Mundial, 2022). Cuando las ciudades crecen y añaden calles, edificios e industria al entorno urbano, se modifica el medio ambiente, las temperaturas en la ciudad aumentan con respecto a sus entornos rurales, creando así una isla de calor (Flores et al., 2018). En la actualidad se estima que el 56% de la población mundial (4400 millones de habitantes) viven en ciudades (González, 2023).

En América Latina las circunstancias no son muy diferentes debido a que es la región más urbanizada del mundo en desarrollo y dos tercios de la población latinoamericana vive en ciudades con 20.000 habitantes y casi un 80% en zonas urbanas (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2017). Este crecimiento urbano ha traído consigo el aumento de nuevas edificaciones, carreteras y el uso de medios de transporte, que modifican drásticamente las condiciones naturales del sitio donde se ubican (Candanedo y Villarreal, 2020), lo que a su vez genera una mancha urbana que da paso a la creación de un microclima artificial que tiene repercusiones en las variables atmosféricas y, por consiguiente, genera la modificación del clima normal de un lugar (Toudert, 2022).

Esa acumulación de estructuras absorbe más el calor y lo liberan más lentamente, generando las islas de calor (Mercado, 2022). A su vez la falta de vegetación que contrarreste y cumpla las funciones de bajar la temperatura del aire y reducir la apertura del cielo, brindar sombra y disminuir el calentamiento de la superficie (Duval et al., 2020) ha creado la necesidad de realizar más estudios que aborden el problema de la isla de calor urbana alrededor del mundo, en ellos se ve reflejado el impacto principal de este fenómeno en el clima los cuales tienen una estrecha relación con aquellos espacios que cuentan con escasa vegetación (Cuerdo, 2023).

En el ámbito nacional desde la Primera Comunicación Nacional del Ecuador de Cambio Climático (2010) se menciona que el Ecuador es altamente vulnerable a

los impactos adversos del clima generados por las actividades antrópicas y sobreexplotación de los recursos (Corrales y González, 2019), además, la topografía moldeada por el contexto climático de los Andes, genera los gradientes climáticos en dirección este oeste más marcados a nivel global (Mercado, 2022), aunado a esto la acelerada expansión urbana ha implicado la segmentación de diferentes ecosistemas, pérdida de suelo agrícola, alteración en los sistemas hídricos territoriales y quebradas, además de la contaminación por residuos sólidos en ríos de la ciudad, el crecimiento del parque automotor del 8% anual y emisiones de CO₂ (Vásquez, 2022).

Villalobos (2020) menciona que el índice verde urbano en el Ecuador es de 13,01 m² por ha, de las 24 provincias del país, el 58% cumplen con las recomendaciones de la OMS, por ello es la importancia actual de la vegetación urbana y de las sugerencias de organismos internacionales para una vida sana, es cada vez más víctima del desarrollo urbano, siendo desplazada con nuevas edificaciones y vías de comunicación.

La provincia de Manabí en las últimas décadas ha experimentado un acelerado proceso de expansión urbana y su morfología ha sido el resultado, en parte, de la acción espontánea de diversos agentes que han ido ocupando el territorio (Aguilar, 2021). Esta forma de expansión ha permitido que múltiples espacios naturales con vegetación nativa sean modificados para consolidar suelo urbano y abrir paso a nuevas implantaciones, principalmente para espacios parcelados que, hasta la presente fecha, continúan proyectándose hacia las periferias de la provincia, generando posibles variaciones en la temperatura superficial (Enríquez, 2017).

Por su parte el cantón Tosagua de acuerdo con el Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos [INEC] (2010) cuenta con una población de 39.030 habitantes, de los cuales 12.598 se establecen en el área urbana y 26.432 en el área rural. Aunque la zona urbana es menos poblada que la ruralidad, actualmente el cantón atraviesa por una alta demanda por la ocupación de suelo urbano, por lo que diversos espacios con superficies naturales están siendo reemplazados para el emplazamiento de vías y equipamiento público, y la distribución de las escasas

zonas verdes en la ciudad no ha estado sujeta a procesos de ordenación del territorio (Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Tosagua, 2019).

Aunque se han realizado algunas investigaciones en la provincia de Manabí, el cantón Tosagua no cuenta con investigaciones sobre la isla de calor que se genera en el área urbana, además se desconoce si se han desarrollado medidas para el incremento de los espacios verdes y el nivel de influencia que estas intervenciones han alcanzado para mitigar impactos ambientales importantes, especialmente sobre de la temperatura superficial.

Con los antecedentes expuestos se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Qué relación existe entre el índice de vegetación urbana y la disminución del índice de calor en el perímetro central de la ciudad de Tosagua de la provincia de Manabí?

1.2. JUSTIFICACIÓN

Esta investigación es importante porque permitirá conocer el impacto de la vegetación en el aumento de temperatura dentro de las ciudades, lo que ocasiona las islas de calor urbanas. Es así que desde el contexto ambiental la investigación se justifica mediante la necesidad de estudiar la climatología urbana, la cual es muy importante ya que la tendencia global hacia la urbanización y el crecimiento desorganizado de las ciudades conduce afectaciones directas en la calidad, debido a esto mantener un control y manejo responsable de los microclimas urbanos es una tarea encomendada a la planificación y gestión ambiental de las ciudades.

En el ámbito social las áreas verdes urbanas representan un eslabón fundamental en la regulación del microclima urbano, por lo que el valor de la vegetación es relevante, pues no solo cumple con la función ornamental agregando un valor estético a la ciudad, sino que actúa como un regulador climático minimizando las agresiones ambientales tanto en el microclima como en el arbolado urbano (Enríquez, 2017). Dentro de las funciones de los árboles que influyen significativamente en el clima local está la evapotranspiración, producen un efecto de enfriamiento en el microclima, también disminuyen la temperatura del aire, al

reducir el nivel de apertura del cielo, proporcionan sombra y reducen el calentamiento de las superficies por radiación solar (Flores et al., 2018).

En el ámbito legal el presente trabajo de investigación toma como base la Constitución de la República del Ecuador (2008), en el Art. 14 donde señala: “Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, “Sumak Kawsay” además del el objetivo 3 del Plan de Creación de Oportunidades (2021-2025) indica que es necesario “Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones” y el objetivo 13 de Acción por el clima, que establece “Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales” (Secretaría Nacional de Planificación , 2021).

Con este estudio, se busca conocer cuál es la situación actual sobre el fenómeno del índice de calor urbano de la ciudad de Tosagua, para así lograr determinar futuras acciones correctivas en los planes de zonificación urbana y ordenamiento territorial.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar el índice de vegetación urbana para la disminución de la Isla de Calor Urbana del perímetro central de la ciudad de Tosagua.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer el índice de la vegetación urbana de la ciudad de Tosagua.
- Analizar el índice de calor urbano a través de los valores de la temperatura superficial terrestre del perímetro central de la ciudad de Tosagua.
- Evaluar la relación entre la presencia de vegetación urbana en la disminución del índice de calor urbano en el perímetro central de la ciudad de Tosagua.

1.4. IDEA A DEFENDER

El índice de vegetación urbana a través de las áreas verdes y parques reducirá los efectos de la isla de calor de la ciudad de Tosagua.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. VEGETACIÓN URBANA

Según Pérez y López (2016), se entiende por áreas verdes urbanas a las zonas con árboles, arbustos y otros tipos de vegetación. La presencia y densidad de áreas verdes se asocia a la gestión urbana, y es en ésta donde se desarrollan las políticas de suelo vinculadas a los procesos de construcción y ordenamiento de la ciudad, y también donde se configuran las tipologías habitacionales y el contexto normativo de las áreas verdes (Enríquez, 2017).

La vegetación urbana es uno de los elementos que componen el paisaje de las ciudades y además de funciones estéticas y recreativas, ofrece beneficios ambientales que están ligados al desarrollo sostenible (Área Metropolitana Valle de Aburrá [AMVA], 2017). Asimismo, la vegetación tiene una influencia notable en la modificación de los parámetros que definen las condiciones higrotérmicas de un ámbito que produce una reducción de la incidencia de la radiación de onda corta en el suelo y una minimización de la emisión de radiación de onda larga (infrarrojos) del suelo a la atmósfera lo cual conlleva a la disminución de la temperatura en las áreas vegetadas (Del Caz, 2017).

La vegetación contribuye a la sostenibilidad de las ciudades, mediante múltiples beneficios ambientales y sociales como la mejora considerable de la calidad de vida, reduce los efectos de isla de calor y reducen los riesgos de inundaciones (Arévalo, 2020). En el funcionamiento del ecosistema urbano se genera sinergia entre la vegetación y la urbe conduciendo a un flujo de energía que desprenden diversos procesos que benefician a la población (Pérez y Cortés, 2016).

2.2. BENEFICIOS AMBIENTALES DE LA VEGETACIÓN EN ÁREAS VERDES

Las áreas verdes urbanas (AVU) son espacios fundamentales para la sostenibilidad de las ciudades, debido a los beneficios ambientales, sociales y estéticos que: mitigan ruidos, purifican el aire, permiten infiltración de agua, minimizan la erosión

del suelo y ayudan a regular el microclima por las que una ciudad que pretenda ser moderna, segura, incluyente y sustentable debe realizar esfuerzos para proveer y asegurar el libre acceso y disponibilidad de estos espacios para sus habitantes (Maldonado, 2019). Entregan beneficios espirituales a los habitantes, animan los sentidos y hacen acogedores los espacios que cubren son intérpretes de la biodiversidad de las ciudades ya que constituyen el principal hábitat de las plantas y animales urbanos proporcionando una identidad propia al lugar donde se ubican (Cabrera, 2020).

2.3. PROBLEMÁTICA DE LA VEGETACIÓN EN ESPACIOS URBANOS

Los problemas comunes que enfrenta la vegetación urbana son principalmente la falta de espacio y las malas prácticas de jardinería (Galindo y Uribe, 2012). Usualmente las aceras son muy finas donde el árbol no tiene espacio para desarrollarse además los servicios de energía eléctrica, teléfono y tv, son aéreos, lo cual hace que sus copas sean mutiladas para que no interfieran con los cables (Pérez y Cortés, 2016). En ocasiones los huecos en las losas de cemento de las aceras destinadas a cada árbol, son muy estrechas y son superadas por el crecimiento del mismo, causando su estrangulamiento (González, 2023). El abuso de pavimentos poco permeables y rígidos, como el concreto y el asfalto, no permite un adecuado desarrollo radicular del árbol, al mismo tiempo que impide la filtración de agua (Arévalo, 2020).

De acuerdo con Zúñiga (2019) los impactos negativos de la vegetación que conllevan un daño ambiental tienen que ver con el manejo y el mantenimiento de las áreas verdes. Esas malas prácticas de jardinería están lideradas por el “desmoche” que consiste en retirar más del 30% del follaje del árbol, la cual se hace generalmente para liberar los cables de servicios o para no interferir con la vista de algún anuncio. Según Galindo y Uribe (2012) esta mala práctica tiene ocho repercusiones negativas para el árbol:

1. Inanición: el descabezado quita tanto de la copa frondosa que reduce peligrosamente la capacidad del árbol de generar su alimento.

2. Shock: al quitar la cubierta protectora de la copa del árbol, el tejido de la corteza queda expuesto a los rayos directos del sol. La quemadura resultante puede ocasionar la muerte del árbol.
3. Insectos y enfermedades: los extremos expuestos de las ramas descabezadas son altamente vulnerables a la invasión por insectos o a la descomposición por esporas de hongos.
4. Ramas débiles: las ramas nuevas que crecen de una rama desmochada (muñón) están débilmente unidas y son más vulnerables a romperse por el peso del hielo o la nieve.
5. Rápido crecimiento nuevo: en vez de controlar la altura y diseminación del árbol, el desmoche tiene el efecto opuesto. Las ramas nuevas son más numerosas y frecuentemente crecen más altas que antes.
6. Muerte del árbol: algunas especies de árbol no pueden tolerar la pérdida de ramas principales, pero aun así sobreviven. En el mejor de los casos, los árboles quedan muy débiles y propensos a enfermedades.
7. Fealdad: un árbol desmochado es un árbol desfigurado. Aun con el nuevo crecimiento, nunca logrará recobrar su gracia y el carácter de su especie.
8. Costo: el costo verdadero del desmochar con frecuencia está oculto: valores de la propiedad inferiores, gastos de remoción y reemplazo si el árbol muere.

2.4. TEMPERATURA SUPERFICIAL

La temperatura superficial, en sus siglas en inglés LST (Land Surface Temperature), es uno de los parámetros clave en la física de los procesos de la superficie terrestre, pues es la combinación resultante de todos los flujos de energía entre la superficie y la atmósfera; condicionando de esta manera, la temperatura del aire en las capas más bajas de la atmósfera urbana (González, 2023). Además, es esencial para determinar los balances energéticos, las condiciones bioclimáticas al interior de los edificios y los intercambios de estos con su entorno; todos ellos, indicadores que afectan al confort térmico de los habitantes de las ciudades (Rojas, 2019).

Su importancia en la climatología urbana radica en que permite monitorear los procesos que modifican las respuestas térmicas del paisaje, a saber: la energía de la superficie y el balance del agua (Enríquez, 2017). Debido a la alta heterogeneidad en la composición de los paisajes de la superficie terrestre, la temperatura superficial cambia rápidamente en el espacio y en el tiempo, por lo que, para dar cuenta de la evolución y distribución de esta variable, se requiere de mediciones frecuentes y detalladas para obtener series de tiempo de temperatura superficial consistentes (Rojas, 2019).

Frick y Napadensky (2015) mencionan que son escasos los estudios de climatología urbana a alta resolución espacial, y casi exclusivamente se encuentran referidos a las temperaturas superficiales, es decir, al estudio de la ICUs. Para dichos estudios se necesita de imágenes satelitales, las cuales se han convertido en una de las técnicas más valiosas por brindar una excelente información ya que abarca una zona mucho más extensa que las imágenes aéreas (Martínez, 2020).

2.5. ISLA DE CALOR URBANA (ICU)

Las islas de calor o también denominadas islas térmicas hacen referencia al patrón térmico que se encuentra en sitios altamente urbanizados en el centro o en las periféricas de las ciudades (Mercado, 2022). Según Mayorga (2023) la isla de calor urbana es un fenómeno que se produce en las áreas urbanas y suburbanas como consecuencia de la utilización de materiales con una alta capacidad de absorción y retención del calor solar (albedo) muy superiores a las de los materiales naturales o de las áreas rurales menos desarrolladas.

Además, Arévalo (2020) establece que la isla de calor es ocasionada por factores que dependen del clima, la topografía, la estructura urbana, las condiciones climáticas en el corto plazo, los procesos de inversión térmica y principalmente por procesos antropogénicos como:

- Cambio de la superficie con cobertura vegetal por edificios y otras áreas pavimentadas como calles, plazas que reducen la superficie de evaporación.

- Presencia de fuentes antrópicas, como las industrias, los edificios y los coches que generan calor.
- Incremento del Efecto invernadero generado por las partículas en suspensión. La isla de calor se produce en dos niveles, en el nivel superficial y en el aire.

La transformación del uso del suelo nativo por superficies no reflectivas e impermeables permiten la absorción de un alto porcentaje de radiación solar incidente que desarrollan con el paso de los años Islas de Calor Urbanas, las cuales hacen referencia al gradiente térmico que se nota entre los espacios urbanos superpoblados y construidos tanto en la periferia rural como en la zona periurbana, al mismo tiempo, pueden incidir indirectamente en el cambio climático y causar daños a la salud de la población (Villalobos, 2020).

Según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos [EPA] (2020) existen dos tipos de Isla de Calor Urbana, las cuales son:

- La ICU superficial se refiere a la capa inmediata del suelo y se caracteriza por ser más intensa durante el día.
- La ICU atmosférica, que contiene dos capas, la Capa Urbana (UCL) refiriéndose a la capa de aire donde se vive desde el suelo hasta el tope de los edificios y la Capa Límite Superficial (UBL) que se presenta a partir de la UCL y su altura varía en el día y la noche.

2.6. ORIGEN DE ISLAS DE CALOR

Según Bedón (2022) existen dos tipos de islas de calor urbano: superficiales y atmosféricas, en la cual la primera es aquella que se produce cuando las superficies de los suelos y estructuras físicas tienen una temperatura superior a la del aire, lo que ocasiona que sea más fuerte durante los días soleados. Por otro lado, Soto (2020) recalca que la tendencia de áreas urbanas a percibir incrementos de temperatura, en comparación con las zonas suburbanas o rurales que la rodean, estas alteraciones se clasifican en islas de calor atmosféricas e islas de calor superficiales.

2.7. TIPOS DE ISLAS DE CALOR

De acuerdo con Aróstegui (2021) las islas de calor se clasifican de la siguiente manera:

- La capa de dosel (CDU): Es la capa de aire en las ciudades que está más cercana a la superficie, la cual se extiende a una altura media de las edificaciones.
- La capa perimetral (ICCP): Es la capa urbana la cual puede ser de 1 kilómetro o más de espesor durante el día, y se encoge en metros durante la noche.
- La capa superficial (ICS): Es la capa donde se forma a una cúpula de aire donde tiene una temperatura caliente que se extiende dirección del viento en la ciudad.

2.8. CAUSAS ASOCIADAS AL INCREMENTO DE ISLAS DE CALOR

Para Rivas (2022) la causa de incremento de isla de calor incrementa no tan solo por las altas radiación solar, entre ellas se encuentran:

- Escasez de áreas verdes o parques.
- La gran presencia de personas viviendo en urbanización
- La contaminación atmosférica por la gran cantidad de emisiones de gases.
- Recubrimiento de los suelos con asfalto impermeable al agua.
- La presencia de edificios absorbe una gran cantidad de calor.

2.9. EFECTOS DE LAS ISLAS DE CALOR

Las islas de calor pueden afectar a las comunidades especialmente durante el verano al aumentar la demanda de energía, los costos del aire acondicionado, la contaminación del aire, y las emisiones de gases de efecto invernadero (EPA, 2020). El efecto isla de calor también puede producir más enfermedades y mortalidad relacionadas al calor, y a la misma vez, afectar adversamente la calidad

del agua (Aguilar, 2021). Araiza (2022) establece que dentro de las enfermedades causadas por las ICU están:

- Quemaduras de piel,
- Calambres,
- Agotamiento,
- Insolación y golpe de calor.

Los habitantes de las áreas urbanas tienen mayor probabilidad de padecer los efectos desfavorables de las ondas de calor extensas que aquellas que viven en ambientes rurales; así, la población más vulnerable la integran los ancianos, los niños, los enfermos crónicos y las personas con obesidad (Araiza, 2022).

2.10. METODOLOGÍA PARA MEDIR LAS ISLAS DE CALOR

De acuerdo con Araiza (2022) el proceso de calor urbana deriva de la sobrepoblación, alteración de las superficies terrestres y la expansión de los terrenos para habitar, por ello se llevó a cabo una identificación de 5 métodos para identificarlos

- Se lleva a cabo una diferenciación climatológicos entre estaciones urbanas, suburbanas y rurales, bajo una mesoescala meteorológica que consiste entre 2 y 20 km de extensión territorial durante horas.
- Realizar recorridos en vehículos con instrumentos de identificación en rutas ya planeadas, en un trayecto de 200 m para identificar desde minutos a horas.
- Análisis de tiempo para relacionar el aumento poblacional con el clima de la forma mesoescala.
- Análisis satelital con bandas térmicas infrarrojas la cual abarca de la forma mesoescala.
- Implementación de modelos físicos o numéricos para simular una proyección de fenómenos que pueden ocurrir en la ciudad, generalmente de la forma microescala (hasta 2km con duración de pocos minutos en algunas horas).

2.11. NATURACIÓN DE LAS ISLAS DE CALOR

De acuerdo a Bertoni (2020) la naturación es un acto de integrar la vegetación al medio urbano con la finalidad de recuperar la flora y fauna; puesto que, en la actualidad existen diversos problemas urbanos, ambientales y que cada día este inconveniente radica de manera progresiva. Es decir que tienen como finalidad lograr la obtención de resultados positivos y sostenibles; además, aporta beneficios en la salud y en las condiciones socioeconómicas; es decir, ayuda a las decisiones que toman los planificadores urbanos (Vásquez, 2022).

Por otro lado, se entiende por isla de calor al aumento progresivo de la temperatura, esto es ocasionado por las estructuras complejas que han sido elaboradas en la zona urbana (Enríquez, 2017), en comparación a lo rural su valor tiene una variación por las condiciones del lugar; por ejemplo, en la ciudad existen escasez de vegetación, áreas verdes, y entre otros factores que han venido ocasionando una problemática que hasta la actualidad no ha podido ser controlada (Bermeo, 2017).

Una vez planteados ambos conceptos, Boente et al. (2021) determinan que, existen diferentes alternativas respecto a la naturación para disminuir las islas de calor en especialmente en las ciudades, una de aquellas es el progresivo aumento de zonas verdes y ecológicas. Es fundamental mencionar que las plantas aportan en la reducción de la temperatura; es decir, mitigan el efecto de la problemática antes mencionada; además, amortiguan el efecto de las lluvias y retienen el polvo (Araiza, 2022). Por último, es preciso indicar que una eco ciudad genera una salud adecuada tanto al medio ambiente como a las personas (Vásquez, 2022).

Los autores indican información concreta sobre el gran problema de las islas de calor, en muchos países este problema crece día a día, de la misma manera en el Ecuador todo esto se debe a la falta de espacios verdes, hay que tener en cuenta que en próximos años la mayoría de la población va habitar en la zona urbana por diversos motivos, es por aquello que se deben de implementar medidas estrictas y responsables.

2.12. TELEDETECCIÓN COMO MEDIDA PARA IDENTIFICAR ISLAS DE CALOR URBANA

Clemente (2021) establece que, la teledetección es una técnica para la obtención de información de objetos sin la necesidad de estar en contacto directo con aquel; es decir, que puede escanearlo, analizarlo y estudiarlo a distancia. En la actualidad estos usos son más frecuentes; puesto que, ayudan de una manera más factible realizar los estudios; además, la teledetección utilizada con frecuencia es la captura de imágenes satelitales o plataformas aéreas, como son helicópteros, aviones, entre otros (García, 2018). El mismo autor nos da a conocer que existen varios elementos como lo son: la fuente de energía, cobertura terrestre, sistema de sensor, sensores activos, sensores pasivos, sistema de recepción, intérprete y usuario final.

2.12.1. TELEDETECCIÓN ACTIVA

Pinilla (2020) indica que es el procedimiento que funciona con su misma fuente de luz o emisión; además, García (2018) establece que existen ciertas variedades en las longitudes de las ondas captadas, estas pueden ser cortas y largas, en la primera son visibles, NIR y MIR, la segunda microondas, es fundamental mencionar que los radares y el Lidar son el claro ejemplo de sensores remotos activos.

García (2018) indica que existen instrumentos de teledetección activa los cuales son:

- El radar: es un sensor que facilita la localización que poseen señales de radio; además, su antena arroja impulsos provocando que el flujo de energía de la teledetección se encuentra con inconvenientes, dando resultados de dispersión hacia el sensor.
- El LIDAR: aquel establece la distancia con la luz; además, también determina la localización del objetivo y cuya distancia se calcula multiplicando el tiempo por la velocidad de la luz.
- Altímetro láser: es el encargado de medir la elevación en conjunto con el LIDAR.

- Sonda: se encarga de analizar las condiciones meteorológicas emitiendo impulsos.

2.12.2. TELEDETECCIÓN PASIVA

A comparación con lo anterior, la teledetección pasiva no transmite su propia energía al objeto que está en estudio; puesto que, está asociada con la energía natural (García, 2018). Es decir a los rayos solares los cuales causan un efecto rebote en el objetivo, es por aquello que solamente pueden ser aplicados con suficiente luz solar caso contrario no habrá nada pueda reflejarse, este tipo de teledetección hace uso de sensores espectrales y hiperespectrales los cuales se encargan de medir la cantidad que reciben con múltiples condiciones de bandas, es preciso indicar que aquellas tienen diferencia con respecto al número de canales; además, se encuentran en espectros dentro y fuera de la visión humana; es decir, visible, IR, NIR, TIR y microondas (Pinilla, 2020).

De la misma manera, García (2018) menciona que existen instrumentos de la teledetección pasiva los cuales identifican de una forma específica lo que miden, estos son:

- Espectrómetro realiza el análisis de las bandas espectrales.
- Radiómetro: se identifica por determinar la potencia de la radiación que es emitida por objetos de ciertos rangos de banda.
- Radiómetro hiperespectrales: es el más utilizado en la teledetección, por su mayor grado de resolución; además, identifica cientos de bandas espectrales que son estrechas dentro de las regiones visibles.
- Sonda: encargada de detectar condiciones atmosféricas en sentido vertical.

2.13. MODELO DE OBTENCIÓN DE TEMPERATURA SUPERFICIAL TERRESTRE

La temperatura superficial terrestre es una fuente fundamental de información, tanto cualitativa como cuantitativa, acerca de los procesos que ocurren en la superficie terrestre, permitiendo por tanto su caracterización, análisis y modelización

(Martínez, 2020). De acuerdo a Anaya (2019) actualmente existen diferentes metodologías que permiten el cálculo de temperatura superficial las cuales facilitan su valor de manera continua como lo son: las imágenes satelitales esto se debe a la ayuda del avance de la tecnología infrarroja térmica e implementación en los que son satélites artificiales, con diversos programas espaciales de observación de la tierra los cuales son gratuitos que pertenecen a la Unión Europea ESA y EEUU, NASA las cuales brindan distinta diversidad de imágenes que tienen diferentes resoluciones de tipo espaciales y temporales.

2.14. DATOS RÁSTER

Los datos ráster son fotografías aéreas digitales, imágenes de satélite, imágenes digitales o incluso mapas escaneados (García, 2018). Los datos almacenados en formato ráster representan fenómenos del mundo real (Aguilar, 2021). Por su parte, ESRI (2021) establece que los ráster están conformados por una matriz de celdas de la misma manera también en píxeles, lo cual se estructuran en filas y columnas; es decir, en cuadrículas cada una de ella abarca un valor que representa información en especial sobre la temperatura.

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1. UBICACIÓN

La presente investigación se llevará a cabo en el cantón de Tosagua, provincia de Manabí, su temperatura es seca, comúnmente nublada y suele ser caliente durante todo el año, cuya temperatura generalmente varía de 22 °C a 31 °C y muy poco disminuye a 20 °C temperatura sube más de 34 °C (Spark, 2022).

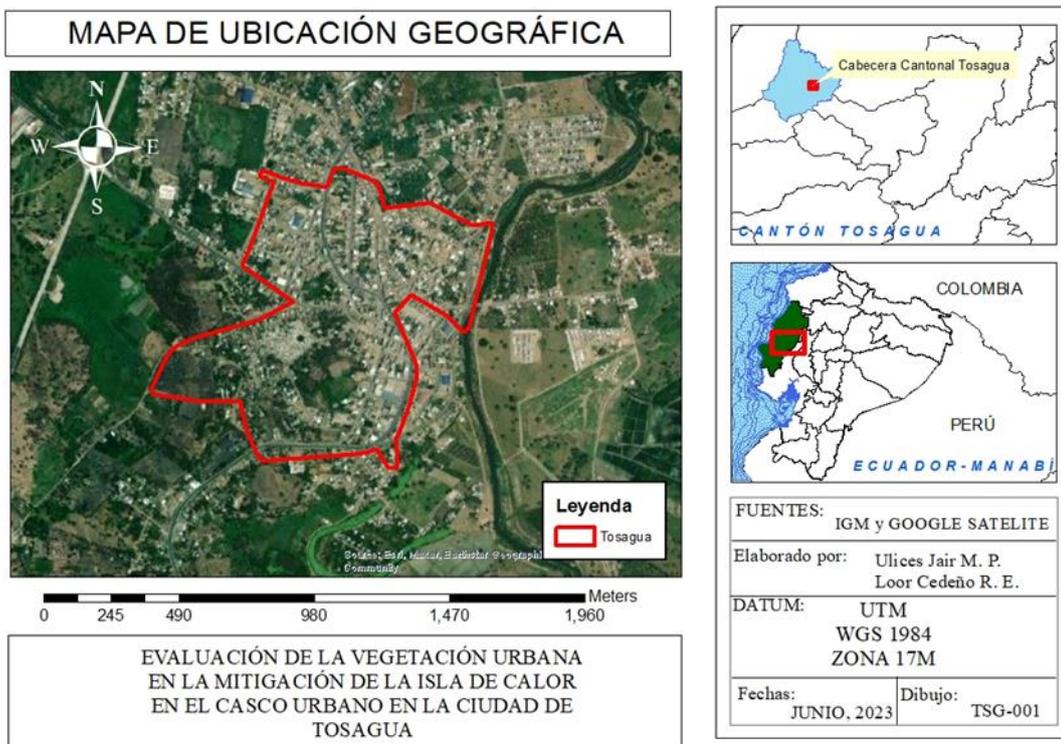


Figura 3.1. Mapa de ubicación de la zona de estudio.

3.2. DURACIÓN DEL TRABAJO

La investigación tendrá una duración de nueve meses a partir de la fecha de aprobación de la planificación del trabajo de integración curricular.

3.3. VARIABLES EN ESTUDIO

3.3.1. VARIABLE DEPENDIENTE

- Vegetación urbana

3.3.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

- Índice de calor urbano

3.4. TIPOS DE INVESTIGACIÓN

3.4.1. INVESTIGACIÓN CUANTITATIVA

De acuerdo con González (2020) la investigación cuantitativa identifica la naturaleza del caso de la manera más profunda como la fuerza de asociación entre las variables de los resultados a través de una muestra para hacer relación de una población de la cual se encuentra en proceso. Por medio de esta investigación se efectuará la interpretación de los resultados, además ayudará a establecer los criterios de evaluación en base a imágenes, programas, software y fórmulas matemáticas. Además, esta investigación se utilizará para recopilar datos sobre las características físicas de la ciudad, como la densidad de la población, la cobertura vegetal y la temperatura del aire. Estos datos se utilizarán para identificar los factores que contribuyen a la generación de las islas de calor urbanas.

3.5. MÉTODOS Y TÉCNICAS

3.5.1. MÉTODOS

- **MÉTODO ANALÍTICO**

El Presente método de investigación consiste en la separación de un todo descomponiéndolo en sus partes o elementos para observar las causas, naturaleza y los efectos y a su vez permite realizar una investigación adecuada (Pacheco, 2023). Este método ayudará a conocer mejor el objeto estudiado y sus características para poder percibir correctamente su comportamiento, explicar y

crear teorías nuevas. También permitirá identificar las áreas con las temperaturas más altas en una ciudad. Esto puede ayudar a los planificadores urbanos a desarrollar estrategias para mejorar la ventilación natural en estas áreas.

Asimismo, el método analítico permitirá determinar los factores que contribuyen al aumento de la temperatura en una ciudad. Esto puede incluir factores como la falta de vegetación, el uso de materiales de construcción que absorben el calor y la mayor densidad de población.

- **MÉTODO DEDUCTIVO**

Según Castellanos (2017) este procedimiento de investigación se utiliza esencialmente en el análisis de los principios generales de un tema específico desde un razonamiento general, lógico y apegándose a lo legal ya que una vez comprobado y verificado que el determinado principio es válido, se procede a aplicarlo a contextos particulares. Es decir que este método proporcionará mayor confianza en estudiar los resultados estadísticos que se tomarán en cuenta en la investigación y deducir su justificación en los procedimientos y resultados dados. Permitirá llegar a conclusiones específicas sobre las causas y consecuencias de las islas de calor urbanas, lo que ayudó a desarrollar estrategias para mitigar sus efectos.

- **MÉTODO ESTADÍSTICO**

Aristizábal (2019) indica que el método estadístico compara una serie de pasos para obtener variables de resultados confiables del tema a investigar y expresar la probabilidad de que cualquier diferencia sea real, realizar este método es importante para evitar obtener conclusiones desacertadas ya que la investigación se basará en causa y efecto por lo que el fenómeno tiende a variar acorde a la realidad del caso en estudio. Este método se aplicará para identificar las características físicas y sociales que contribuyen a la formación de islas de calor, es decir que permitirá mostrar que las islas de calor son más comunes en las ciudades con una gran densidad de población, una gran cantidad de pavimento y una baja cobertura vegetal.

3.5.2. TÉCNICAS

- **FICHA DE OBSERVACIÓN**

Arias (2020) menciona que la ficha de observación se utiliza cuando el investigador pretende medir, analizar o evaluar un objetivo en específico, en el caso de esta investigación en el casco urbano de la ciudad del cantón Tosagua la observación se direcciona a medir una población preestablecida, con indicadores y criterios preestablecidos.

- **ANÁLISIS ESTADÍSTICOS**

El análisis tiene como intención establecer validez por medio de la observación rutinaria de la relación entre las variables de una hipótesis anticipadamente expresada, recurre a la investigación descriptiva para que así el investigador trate de identificar los posibles orígenes del fenómeno (León, 2019). Se manejará la correlación de Pearson para almacenar los datos alcanzados de las variables de estudio y acertar las variaciones de temperatura mediante la revisión bibliográfica comparando con estudios efectuados sobre el fenómeno de isla de calor, de la misma manera se realizará un análisis de imágenes satelitales LANDSAT para identificar la existencia de un aumento de las temperaturas del casco urbano de la ciudad de Tosagua.

3.6. PROCEDIMIENTO

FASE I. ESTABLECER EL ÍNDICE DE VEGETACIÓN URBANA DE LA CIUDAD DE TOSAGUA

Actividad 1. Descripción del área de estudio

Siguiendo lo establecido por Vitery (2022) la descripción del área de estudio se puntualizará bajo el dato total del área de estudio en el casco urbano de la ciudad de Tosagua con perspectiva a la ICU (isla de calor), basándose a las construcciones, viviendas y calles que forman parte de la zona, de igual manera la

cantidad áreas verdes existente e información del Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) del cantón Tosagua, siendo las mismas:

- Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT).
- Plan de Uso y Gestión del Suelo (PUGS) del cantón Tosagua.
- Cartografía existente en el GAD Tosagua.
- Geoportales como:
 - Instituto Geográfico Militar (IGM),
 - Sistema Nacional de Información (SNI), de Google Earth, agregando a eso la verificación de información por medio de la presente ficha de observación.

Tabla 3.1. Ficha de observación

Importancia de la vegetación urbana en la mitigación de la isla de calor en la zona céntrica de la ciudad de Tosagua				
Ficha de observación del área de estudio				
Lugar				
Fecha				
Investigadores				
Croquis de la zona de estudio:				
Manzanas	Calles	N.º edificios	N.º árboles	Observaciones

Actividad 2. Recopilación de imágenes satelitales

Siguiendo lo indicado por Aragón et al. (2020) las imágenes satelitales que se utilizarán son las Landsat 8 obtenidas desde el servidor de imágenes Earth Explorer perteneciente al Servicio Geológico de los Estados Unidos o USGS por sus siglas en inglés (United States Geological Survey). En esta plataforma las imágenes seleccionadas corresponden a la colección 1 nivel 1 y se aplicará el criterio de nubosidad inferior al 26%, estas imágenes son captadas gracias a dos sensores:

- El Operational Land Imager (OLI) que captura las bandas 1– 9
- El sensor infrarrojo térmico (TIRS), que captura las bandas 10 y 11, con una resolución espacial de 30 y 100 metros respectivamente, el tamaño aproximado de la escena, el área total de la imagen es de 170 x 183 Km (USGS, 2018).

Para el tratamiento de las imágenes satelitales se empleó el sistema de información geográfico ArcGIS 10.3 y su herramienta Calculadora Ráster para interactuar con las bandas de la imagen satelital, de acuerdo con las metodologías de Ariza (2013).

Actividad 3. Ajuste de información digital

Para este proceso, se utilizará el programa ArcGis, el cual mediante su plugin Semi Automatic Classification Plugin con corrección atmosférica (Dark Object Subtraction, luego del ingreso de las bandas empleadas para este estudio (Bandas 4, 5, 10 y 11) y el archivo de metadatos MTL, se generará automáticamente un nuevo raster de reflectancia para cada banda, los cuales serán utilizadas en los cálculos descritos en el diseño metodológico de esta investigación (Aragón et al., 2020).

Después se procederá a cargar la capa de área de estudio; con la capa final del casco urbano de la ciudad de Tosagua donde se encuentra el área tratada y se procedió a su extracción con la herramienta Extract by Mask, creando el polígono de la localidad, la cual se manipulará como imagen de base para el cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada NDVI (Vitery, 2022).

Actividad 4. Cálculos de Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada

Con la finalidad de conocer el estado de la vegetación y poder correlacionarlo con los resultados de temperatura superficial terrestre; se aplicó el Índice de Vegetación Diferencial Normalizado, siguiendo lo enunciado por García (2018) dentro de este índice los umbrales 1 y -1 marcan el mayor verdor de la vegetación y también la cobertura con menor vegetación o suelo desnudo, respectivamente

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad [1]$$

En dónde:

NIR: Banda del infrarrojo cercano

RED: Banda visible roja.

Posteriormente se realizó el cálculo de NDVI en ArcGis, se realizó la metodología de Vitery (2022) quien menciona que en los retratos Landsat 8, la banda 4 (0.630 – 0.680 μm) corresponde al rojo (R) y la banda 5 (0.845 – 0.885 μm) al infrarrojo (IRC), por lo tanto, para el cálculo NDVI se requiere contar con ambas bandas y para aquello se aplicará la siguiente ecuación:

$$NDVI = \frac{(band (NRI) 5 - band (R) 4)}{(band (NRI) 5 + band (R) 4)} \quad [2]$$

FASE II. ANALIZAR EL ÍNDICE DE CALOR URBANO A TRAVÉS DE LOS VALORES DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL TERRESTRE DEL PERÍMETRO CENTRAL DE LA CIUDAD DE TOSAGUA

Actividad 5. Cálculo de la Temperatura Superficial Terrestre

Posteriormente se calculó la Temperatura de superficie terrestre y corregirla de acuerdo a lo indicado por Aragón et al. (2020) teniendo en cuenta la proporción de vegetación que se halla en el área de estudio como se expresa en la siguiente ecuación:

$$T_s = \left(\frac{BT}{\left\{ 1 + \left[\frac{\mu * BT}{\rho} \right] \ln \varepsilon_{\mu} \right\}} \right) - 10 \quad [3]$$

Donde:

Ts = es la temperatura superficial (LST).

BT = es la temperatura de brillo.

μ = es la longitud de onda de radiancia emitida.

$\epsilon\mu$ = es la emisividad.

$\rho = h (c/\sigma) = 1.438 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{K}$ donde σ es la constante de Boltzmann, es la constante de Planck y c es la velocidad de la luz.

Sin embargo, para determinar la temperatura superficial terrestre en ArcGis se desarrollará el siguiente proceso, según lo establecido por García (2018).

- **Conversión a TOA (Top of Atmospheric) radiancia espectral L_λ**

$$L_\lambda = MLQ_{cal} + AL \quad [4]$$

Dónde:

L_λ = Radiancia espectral TOA (Watts / (m² * srad * μm))

ML = Factor de cambio de escala multiplicativo específico de banda de los metadatos

AL = Factor de ajuste de escala aditivo específico de banda de los metadatos 21

Q_{cal} = Valores de píxeles del producto estándar cuantificados y calibrados (DN).

- **Conversión a de TOA a Brightness Temperature (Temperatura de brillo) BT**

Los datos de la banda térmica se convirtieron de radiación espectral a la temperatura de brillo de la parte superior de la atmósfera usando las constantes térmicas en el archivo MTL, teniendo en cuenta la siguiente ecuación (Yepes, 2022).

$$BT = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} - 273.15 \quad [5]$$

Dónde:

BT = Temperatura de brillo superior de la atmósfera (K) donde:

$L\lambda$ = Radiancia espectral TOA (Watts / (m² * srad * μ m)).

K_1 = Constante de conversión térmica específica de banda de los metadatos.

K_2 = constante de conversión térmica específica de la banda de los metadatos.

- **Cálculo la proporción de vegetación (P_V)**

Para la fórmula final de obtención de temperatura superficial terrestre, se procederá a adquirir los valores de temperaturas de brillo para las bandas 10 y 11, mediante el uso del programa ArcGis, lo cual se realizará de manera simultánea y dentro de la una misma ventana de ejecución de la herramienta de ArcGis con respecto al proceso antes descrito. Los resultados se obtuvieron en grados Celsius, por lo que se convierte a grados Kelvin, sumándole 273.15 debido a que el método empleado utiliza fórmulas en grados Kelvin.

Se calculó la porción de la vegetación a partir del NDVI con sus valores máximos y mínimos en orden empleando la ecuación (ANALISTYC, 2020).

$$P_V = Square \left(\frac{(NDVI - NDVI_{min})}{(NDVI_{max} + NDVI_{min})} \right) \quad [6]$$

- **Cálculo de la Emisividad ϵ**

De acuerdo a García (2018) después de obtener los valores de NDVI, se determinaron las distintas emisividades, las cuales se calcularon mediante valores diferentes para las bandas 10 y la banda 11. Para la emisividad de la banda 10 se empleó el método de umbrales de NDVI en el mismo se asignan valores de emisividad según la clasificación del rango NDVI.

Luego de haber realizado los cálculos de NDVI y P_V , se acude a determinar las distintas emisividades, las cuales se calcularon mediante valores diferentes para las bandas (Sucapuca, 2022)

$$\epsilon = 0,004 * P_V + 0,986 \quad [7]$$

A continuación, las asignaciones de Emisividades de Landsat 8 TIRS/OLI para las bandas 10 y 11 (García, 2018):

Tabla 3.2. Valores de Emisividades de Landsat 8 TIRS/OLI bandas 10 y 11

Banda 10	Banda 11
Agua = 0.991	Agua = 0.99443
Suelo= 0.966 $\Rightarrow E_s$	Suelo = 0.97283 $\Rightarrow E_s$
Vegetación= 0.973 $\Rightarrow E_v$	Vegetación = 0.98615 $\Rightarrow E_v$

Para la obtención de la temperatura de la superficie terrestre, se empleó el método de Qin's Split-Window Algorithm (García, 2018). El cual viene dado por la siguiente expresión:

$$T_s = A_0 + A_1T_{10} + A_2T_{11} \quad [8]$$

Dónde:

T_s = Temperatura Superficial terrestre en grados Kelvin K,

T_{10} y T_{11} son las temperaturas de brillo de las bandas 10 y 11.

A_0 , A_1 , A_2 , son parámetros de las bandas i ;

Actividad 6. Delimitación y análisis de las Islas de calor

El análisis de las Islas de calor del área de estudio se realizará por medio de y la caracterización de sus espacios, dependiendo de la capacidad que tenga de resistencia con respecto a las elevadas temperaturas como lo indica Arzola (2018), para poder detectar lo antes mencionado se debe de analizar los datos de las temperaturas los cuales se obtienen gracias a las imágenes satelitales.

Para el respectivo análisis de las islas calor se va a elaborar un mapa referencial, donde se localizará de forma concreta la precisión de las islas calor, teniendo en cuenta, que en las zonas urbanas las temperaturas día a día aumentan con mayor

velocidad, ocasionando problemas graves y con esto se obtendrá las temperaturas de acuerdo a las áreas de estudio (García, 2018).

FASE III. EVALUAR LA RELACIÓN ENTRE LA PRESENCIA DE VEGETACIÓN URBANA Y LOS EFECTOS DE LA ISLA DE CALOR URBANA EN LA CIUDAD DE TOSAGUA

Actividad 7. Correlación de Pearson para los datos obtenidos

Se realizó este proceso a través del paquete estadístico InfoStat, se determinó la normalidad de los datos, los cuales demostrarán si el comportamiento es adecuado, por lo que se utilizó el Coeficiente de correlación de Pearson (García, 2018). En él los valores de temperatura del aire empleados corresponden a la hora exacta en que se generará cada imagen satelital y se obtendrán a partir de las estaciones meteorológicas, se resalta que para la estación de INOCAR al contar con temperatura por hora, se realizó un promedio entre las 10 y 11 horas. Además, se calculó el análisis por fecha y por estación meteorológica.

Se utilizó la tabla elaborada por García (2018) para realizar las interpretaciones correctas:

Tabla 3.3. Interpretación de valores del Coeficiente de correlación de Pearson

Valor	Significado
-1	Correlación negativa grande y perfecta
-0,9 a -0,99	Correlación negativa muy alta
-0,7 a -0,89	Correlación negativa alta
-0,4 a -0,69	Correlación negativa moderada
-0,2 a -0,39	Correlación negativa baja
-0,01 a -0,19	Correlación negativa muy baja
0	Correlación nula
0,01 a 0,19	Correlación positiva muy baja
0,2 a 0,39	Correlación positiva baja
0,4 a 0,69	Correlación positiva moderada
0,7 a 0,89	Correlación positiva alta
0,9 a 0,99	Correlación positiva muy alta
1	Correlación positiva grande y perfecta

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ESTABLECIMIENTO DEL ÍNDICE DE VEGETACIÓN URBANA DE LA CIUDAD DE TOSAGUA

Como se muestra en la figura 4.1 el casco urbano del cantón Tosagua tiene una extensión de 4,534 km², según la información sobre la distribución barrial facilitada por el GAD municipal del cantón Tosagua el casco urbano se encuentra dividido por los siguientes barrios: Abdón Bermúdez, Carmen María, San Francisco, El Recreo, Malecón, Sucre, Margarita Alegría, Elba Gonzales, Pensilvania, Mercedita, Clara Cruz, ciudadela San Pedro, Santa Lucia.

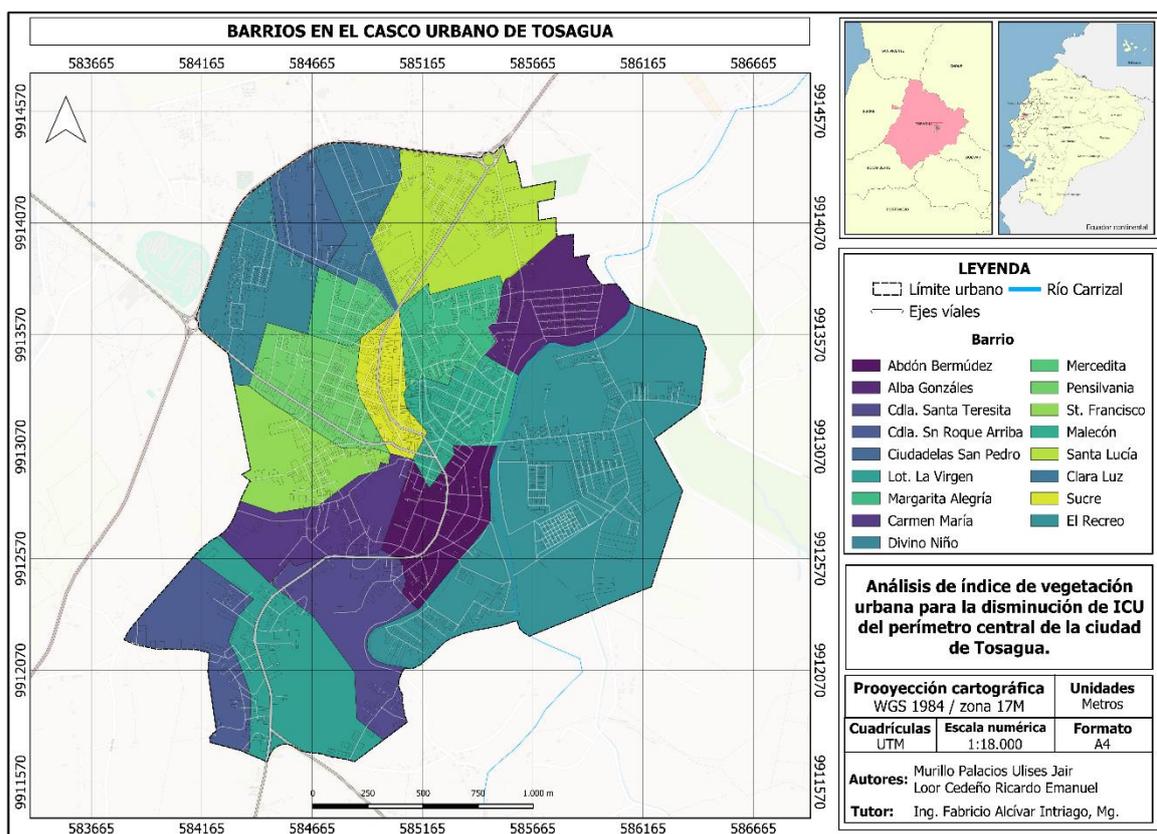


Figura 4.1. Barrios en el casco urbano del cantón Tosagua

La vegetación arbórea en la zona urbana del cantón Tosagua, revela una distribución variada y uniforme, también se identificaron agrupaciones de árboles en determinadas zonas. De acuerdo a lo mostrado en la tabla 4.1, entre los barrios con una mayor cantidad, destacan el barrio Divino Niño con 532 árboles, seguido

por lotización la Virgen con 258, El Recreo con 214, Carmen María con 151, Cdla. Santa Teresita con 149 y el barrio Pensilvania con 141 árboles. Por otro lado, barrios como Malecón cuentan con 32 árboles, Mercedita y Sucre presentan una menor presencia de árboles con 22 y 19 respectivamente.

El enfoque presentado en la distribución de la vegetación Arborea, en el casco urbano de Tosagua se relaciona con los estudios de Benegas et al. (2021) quien estudió los ecosistemas urbanos y se centra en analizar los servicios ecosistémicos que proporcionan los árboles en las zonas urbanas, incluyendo la reducción del calor, captura y almacenamiento de carbono, donde la relación surge de la importancia de comprender la importancia de los árboles. Por otro lado, la investigación de Wang et al. (2021) se centra en el estudio de los árboles y su capacidad para reducir los efectos de la Isla de Calor Urbano (ICU), contrastando con los resultados obtenidos en la presente investigación, debido a que la diversidad arbórea en zonas urbanas es importante en la capacidad para reducir la temperatura urbana.

Tabla 4.1. Número de árboles en barrios del casco urbano de Tosagua.

Barrios del casco urbano	N.º de árboles
Divino Niño	532
Lotización la Virgen	258
El Recreo	214
Carmen María	151
Cdla. Santa Teresita	149
Pensilvania	141
San Francisco	133
Santa Lucía	115
Cdla. San Cristóbal	101
Cdla. Sn Roque Arriba	96
Alba Gonzáles	95
Clara Luz	77
Margarita Alegría	68
Abdón Bermúdez	57
Malecón	32
Mercedita	22
Sucre	19
Ciudadelas San Pedro	11

Como se muestra en la figura 4.2 los barrios Abdón Bermúdez y Malecón, ubicados en la zona céntrica de la ciudad y donde se desarrollan con mayor frecuencia las actividades comerciales, presentan una baja presencia de árboles en comparación a otras zonas del casco urbano. El barrio Abdón Bermúdez cuenta con el 2.1% del total de árboles presentes en el casco urbano de Tosagua. Por otro lado, el barrio Malecón cuenta con el 1.41% del total. Los datos evidencian una distribución desigual de árboles en estas áreas, teniendo implicaciones en la calidad del ambiente urbano y en la percepción estética de estos espacios.

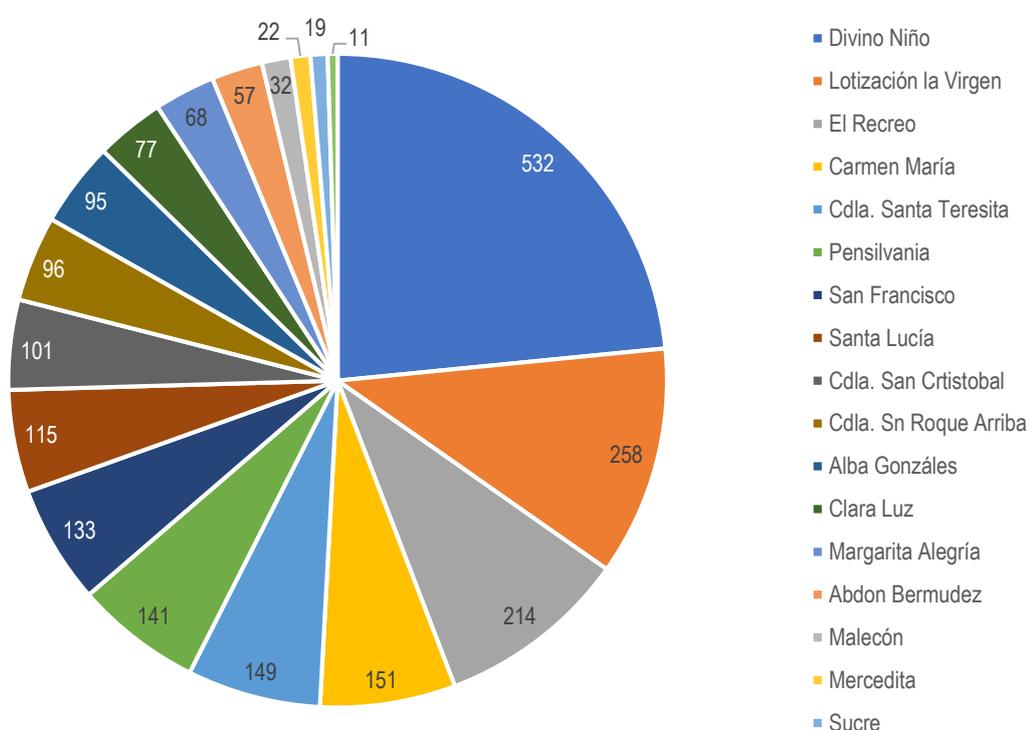


Figura 4.2. Distribución porcentual de la presencia de árboles en el casco urbano de Tosagua

Como se muestra en la figura 4.3 las imágenes satelitales descargadas fueron: imágenes Landsat 8 (LANDSAT 8 OLI/TIRS) en el Path 011 y Row 060, obtenidas en diferentes fechas en el periodo de estudio, fueron recopiladas en las siguientes fechas:

1. 15 de octubre de 2019.
2. 21 de octubre de 2020.

3. 8 de octubre de 2021.
4. 12 de octubre de 2022.
5. 28 de octubre de 2023.

Se descargaron con baja nubosidad, registrada en un 12%, debido a su ventaja en calidad de las imágenes, lo que minimizó la interferencia de las nubes en la observación de la superficie.

Las bandas B4, B5 y B10 presentaron resultados importantes en el estudio de la cobertura vegetal y la temperatura superficial terrestre. La banda 04 presentes en el espectro visible, permitió calcular el NDVI y el estado de la vegetación. Mientras que la B5, que abarca el infrarrojo cercano, permitió determinar la salud de la vegetación. Por su parte, la banda 10, localizada en el infrarrojo térmico, se utilizó para el análisis de la temperatura de la superficie terrestre. Los datos obtenidos permitieron realizar los análisis de manera eficiente y permitieron el cálculo de las condiciones de la vegetación mediante el NDVI y el monitoreo de la distribución de la temperatura superficial terrestre, incluida la detección de islas de calor en áreas urbanas. Relacionado con los resultados obtenidos autores como Huang et al. (2021) y Grover et al 2015, destacan la importancia de las B4, B5 Y B10, para evaluar la salud de la vegetación, además estos estudios han destacado la importancia de las imágenes satelitales para el análisis de las islas de calor, por lo que estas investigaciones respaldan la importancia de utilizar estas imágenes en los estudios de teledetección específicamente en el análisis de los efectos de la isla de calor.

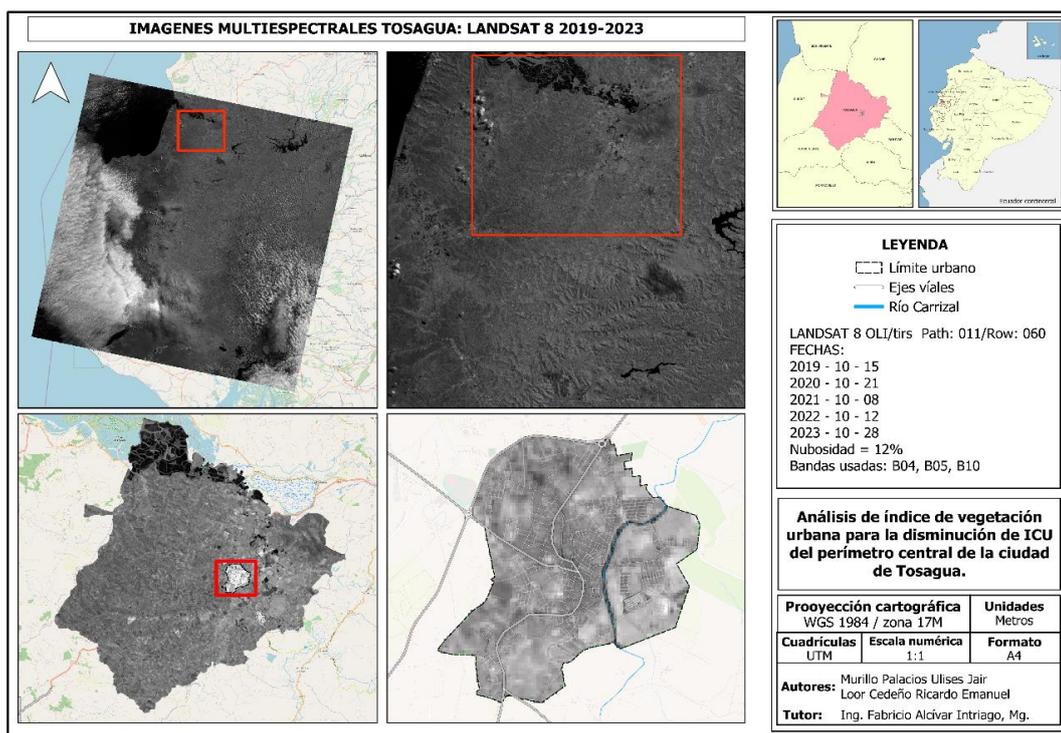


Figura 4.3. Distribución barrial del casco urbano de Tosagua

El índice de vegetación normalizada en el área urbana del cantón Tosagua en el periodo 2019 – 2023, detalla valores significativos en relación con la salud de la vegetación. Como se observa en los mapas, la zona céntrica que está representada con el color naranja evidencia poca presencia de vegetación, no obstante, se observa presencia de vegetación en el límite urbano y sus áreas circundantes.

En el año 2019 (figura 4.4), se observa que los valores mínimos de NDVI que varían entre 0,03 y 0,21 en las áreas centrales del casco urbano, esto indica poca o nula presencia de vegetación. En contraste, en las zonas cercanas a los límites los valores varían desde 0,30 a 0,58, evidenciando la presencia de la vegetación con salud media. Para el año 2020 (figura 4.5), se observa un aumento de los valores mínimo a 0,07 y máximos de 0,58, no obstante, estos valores siguen siendo poco significativos y se expanden a más áreas del casco urbano, evidenciando la reducción de la vegetación. En 2021 (figura 4.6), las áreas sin vegetación siguen expandiéndose desde la zona céntrica hacia los límites del casco urbano. En el 2022 (figura 4.7), el NDVI disminuye ligeramente con respecto al año anterior, no obstante, los datos son superiores a los de 2019, lo que evidencia el crecimiento

de la vegetación en algunas áreas. En 2023 (figura 4.8), el NDVI aumenta señalando un incremento marcado de la vegetación, sin embargo, no se registró un aumento en la zona céntrica, por lo que la salud de la vegetación no ha mejorado considerablemente.

El NDVI en el casco urbano del cantón Tosagua en el periodo 2019 y 2023 muestra una tendencia en la disminución de la salud de la vegetación, como se evidencia en los valores consistentemente bajos en el área de estudio durante el periodo analizado. Esto indica problemas como deforestación, degradación del suelo, poco interés en regeneración vegetativa urbana, desarrollo desordenado, resultando en impactos negativos sobre la calidad ambiental y la salud pública. Por otro lado, el incremento de los valores de NDVI en áreas periféricas evidencian que en estas zonas están relacionadas con procesos de expansión urbana o cambios en el uso del suelo.

El estudio sobre los datos del Índice de Vegetación Normalizada (NDVI) en el casco urbano de Tosagua en el periodo 2019 a 2023 presenta hallazgos que coinciden con los resultados de Cacsire et al. (2023), quienes observaron la reducción de la cobertura vegetal en su área de estudio por un periodo más largo de tiempo (2001-2018), en este estudio se destaca la relación entre el uso de suelo, el comportamiento humano y la degradación de la cobertura vegetal. Por otro lado, Barragán y Mieles (2024) también destacan que la presión de las actividades antropogénicas en el uso del suelo han incrementado de manera significativa la pérdida de vegetación arbórea y por consiguiente resulte en el aumento de la temperatura.

En un contexto local en la investigación realizada por Hami et al. (2018) en el cantón Rumiñahui, determinaron un comportamiento similar al encontrado en la presente investigación, de acuerdo a sus hallazgos identificaron un incremento en la temperatura superficial en algunas zonas del casco urbano del área en estudio. Dichos resultados brindan una perspectiva adicional que permiten entender los datos que se encuentran bajo el Índice de Vegetación Normalizada (NDVI) en el área urbana de Tosagua, ya que las temperaturas influyen negativamente en la salud de la vegetación.

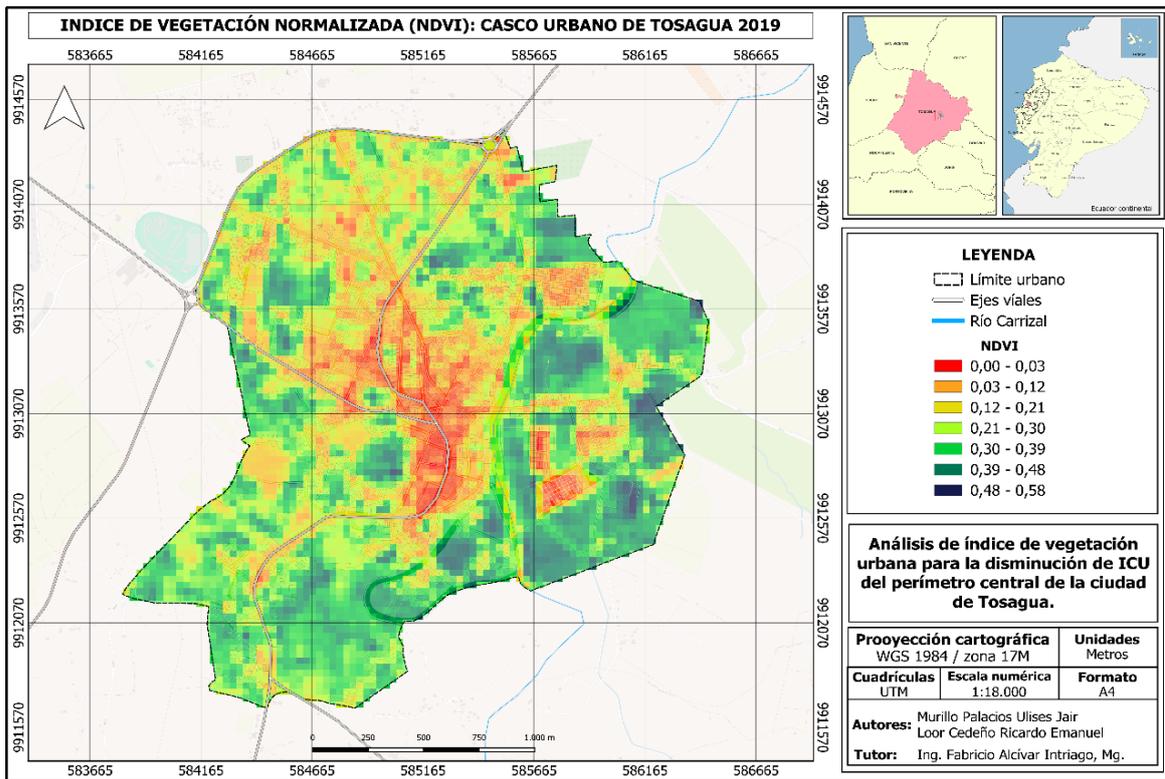


Figura 4.4. Índice de vegetación normalizada (NDVI) del casco urbano del cantón Tosagua 2019

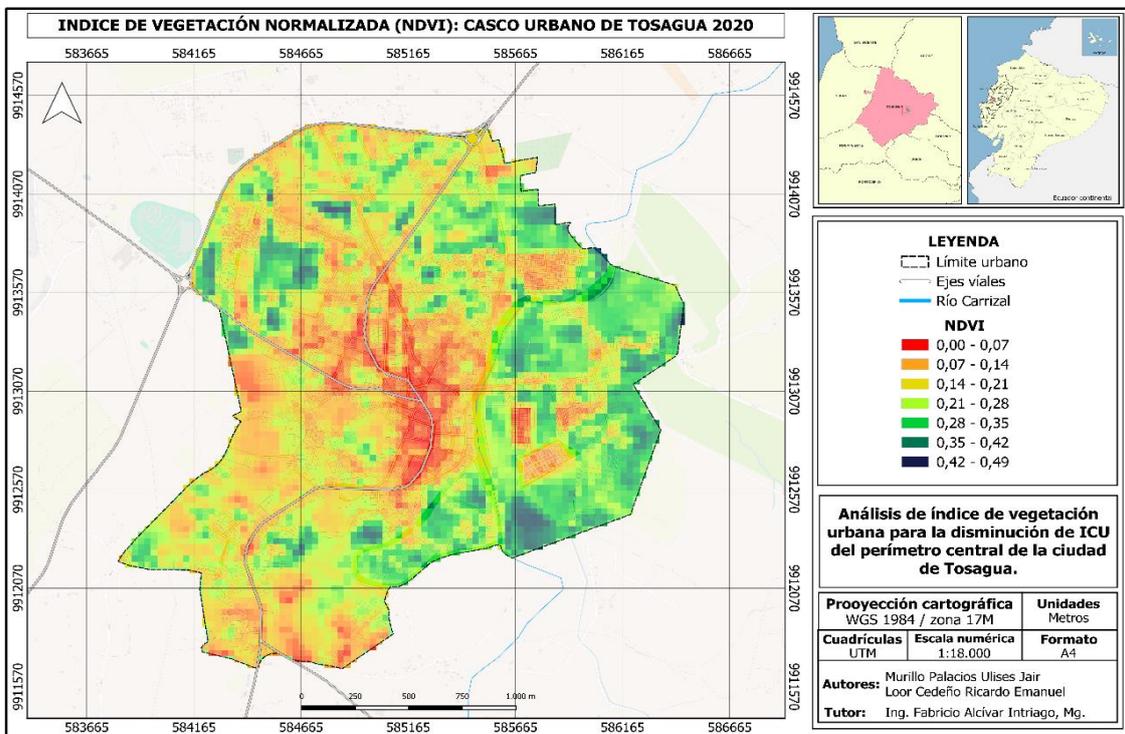


Figura 4.5. Índice de vegetación normalizada (NDVI) del casco urbano del cantón Tosagua 2020

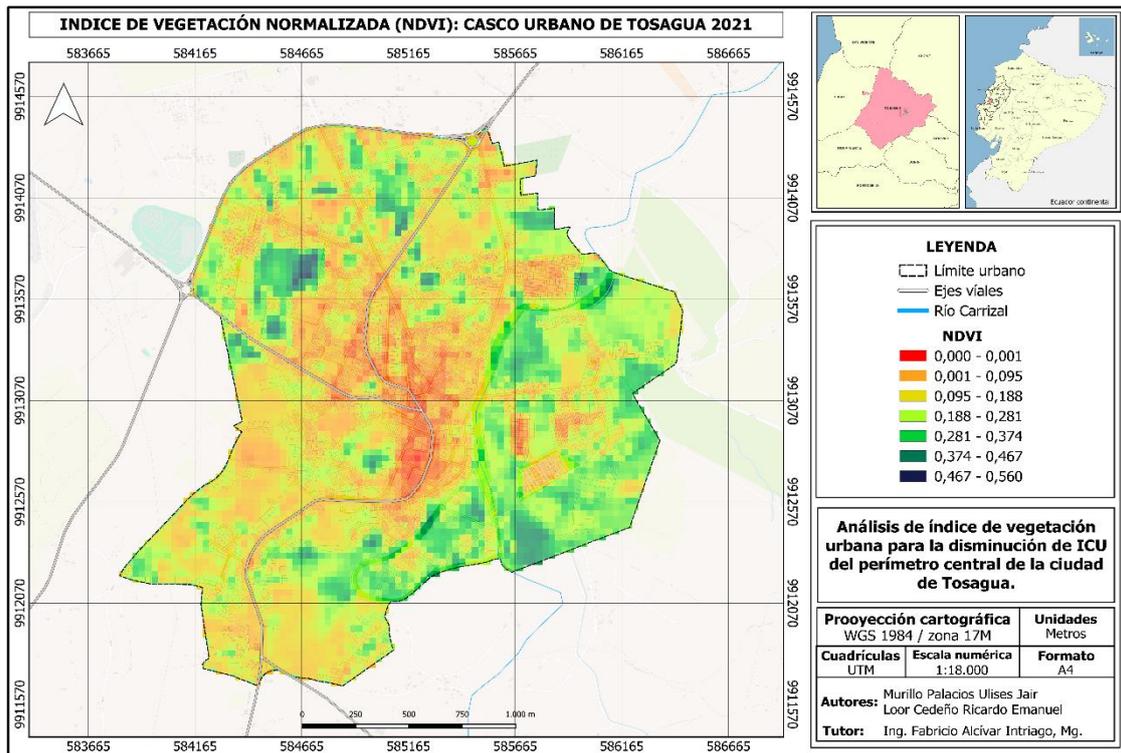


Figura 4.6. Índice de vegetación normalizada (NDVI) del casco urbano del cantón Tosagua 2021

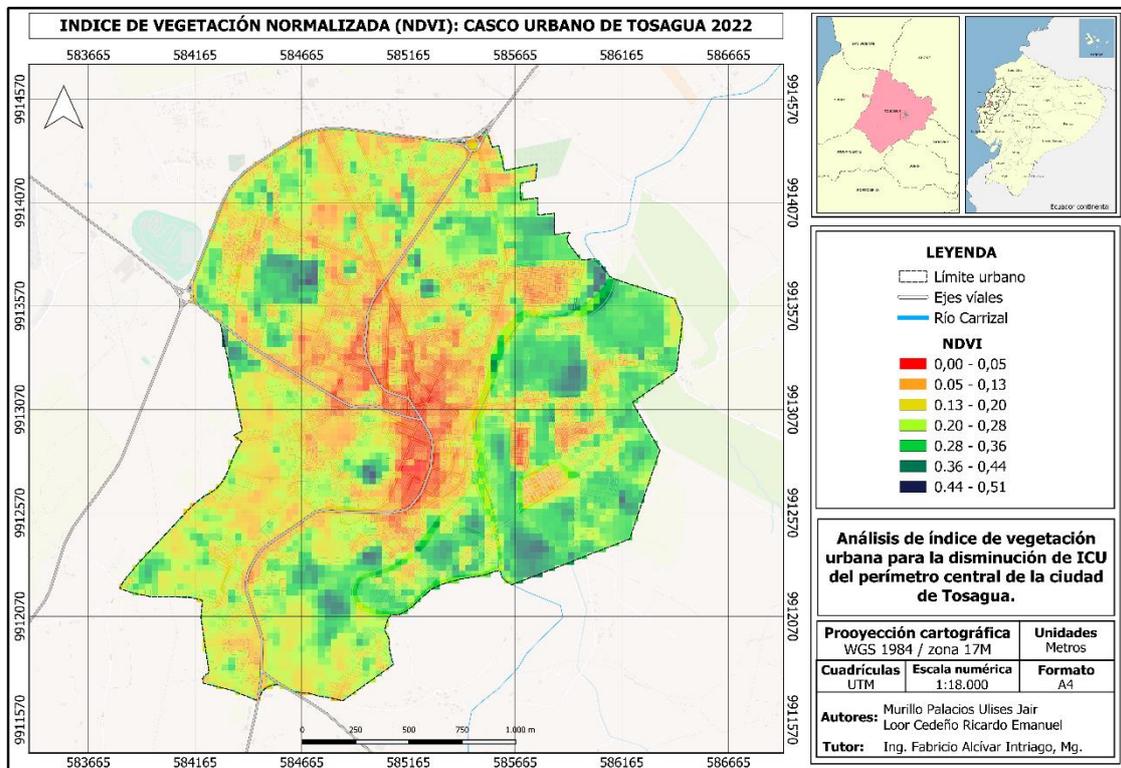


Figura 4.7. Índice de vegetación normalizada (NDVI) del casco urbano del cantón Tosagua 2022

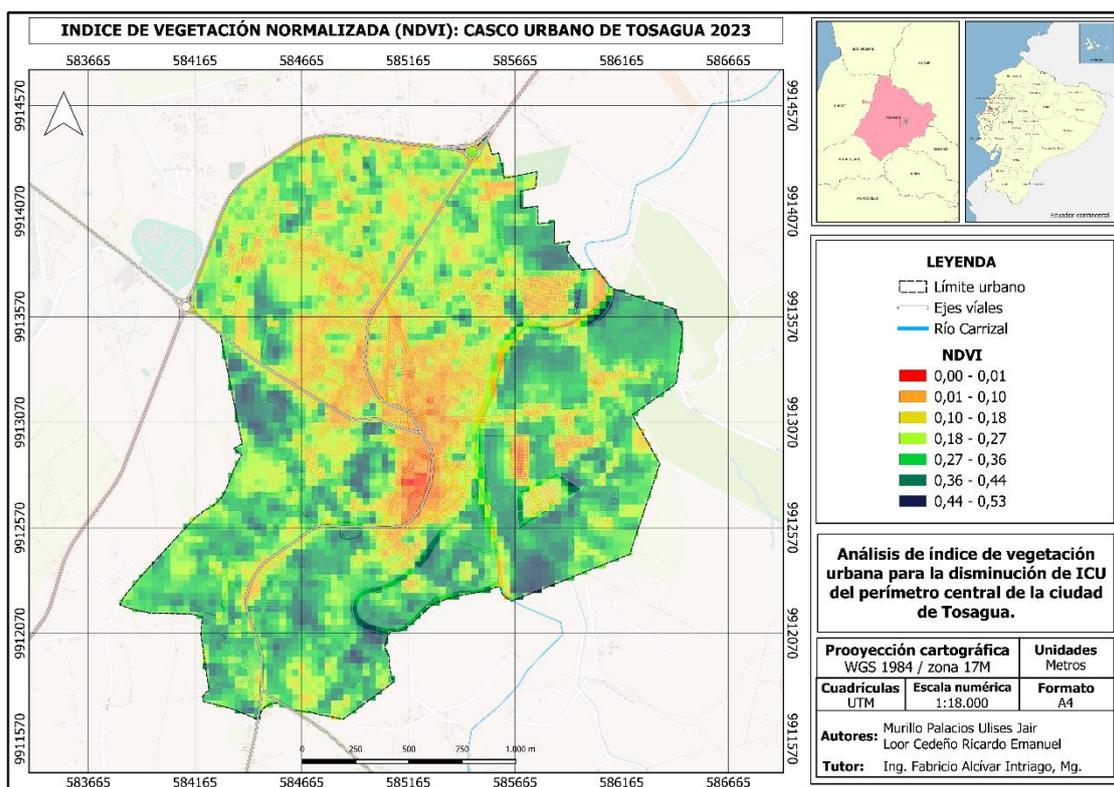


Figura 4.8. Índice de vegetación normalizada (NDVI) del casco urbano del cantón Tosagua 2023

Como se detalla en la figura 4.9 los resultados Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) muestran variaciones en la salud de la vegetación a lo largo de los años. Se destaca la disminución en el NDVI mínimo en 2021, evidenciando el deterioro de la salud de la vegetación y el incremento de zonas sin cobertura vegetal. Sin embargo, los valores del NDVI máximo no presentan una tendencia que detalle un aumento, lo que sugiere que la salud de la vegetación no ha mejorado significativamente en el periodo de estudio.

Esta disminución está relacionada con varios factores como el cambio del clima, la presión humana en los ecosistemas, o eventos extremos. A pesar de que los valores de NDVI máximo no muestran un aumento y da una percepción de estabilidad, esta falta de cambios sugieren que a pesar de que la situación no ha empeorado significativamente, tampoco se han tomado medidas efectivas para mejorar la situación y revertir la tendencia negativa o disminución de la calidad de la vegetación en el casco urbano de Tosagua.

La relación entre la variable NDVI y la salud de los ecosistemas urbanos y los impactos que se producen, son tratados en la investigación de Guha (2021) donde destaca la relación del NDVI con datos socioeconómicos y sociodemográficos y determinaron que estos factores influyen en la desigualdad en entornos ambientales, que consecuentemente influyen en la salud de las personas. Por otro lado, Juergens et al. (2020) destacan el análisis de NDVI como una herramienta que permite evaluar los ecosistemas urbanos y también se puede realizar análisis de desigualdad ambiental.

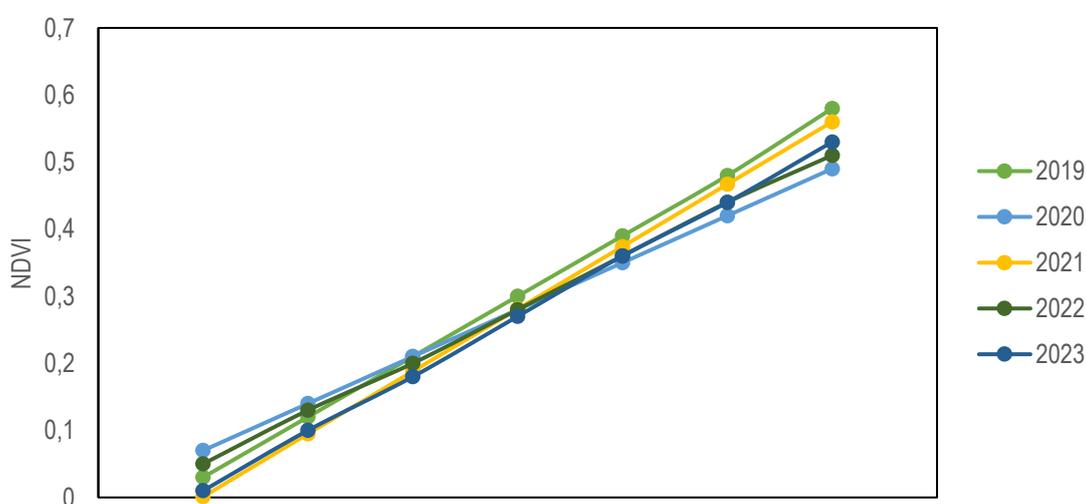


Figura 4.9. Valores máx. y min del análisis de NDVI en el periodo 2019 – 2023

4.2. ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE CALOR URBANO A TRAVÉS DE LOS VALORES DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL TERRESTRE DEL PERÍMETRO CENTRAL DE LA CIUDAD DE TOSAGUA

Como se muestra en los mapas (figura 4.10 – figura 4.14) de la temperatura superficial terrestre durante el periodo en estudio 2019 – 2023, los datos de temperatura evidencian variaciones significativas. En el año 2019 las temperaturas oscilaban entre 20.11 °C y 25.55 °C, donde los valores máximos se registraron en la zona céntrica del casco urbano. En el año 2020 la temperatura aumentó ligeramente, con valores fluctuando entre 21.15 °C y 28.89 °C. El año 2021 la temperatura se mantuvo estable y disminuyó ligeramente en un rango de 20.88 °C a 27.5 °C. Sin embargo, en 2022 las temperaturas disminuyeron entre 19.34 °C y

24.77 °C, no obstante, se extendieron a más puntos del casco urbano a diferencia con los otros años donde las mayores temperaturas se registraron en la parte céntrica del casco urbano. Finalmente, en el 2023 la temperatura máxima disminuye a 19.65 °C, pero se extiende en su totalidad sobre el casco urbano.

La variación de la temperatura superficial terrestre en el casco urbano del canto Tosagua en el periodo 2019 – 2023, describe variaciones significativas influenciadas por varios factores, donde se incluye el fenómeno del Niño Costero, que se manifestó en el 2023. A través del periodo en estudio, se observa un aumento continuo de la temperatura, con variaciones anuales que se relacionan a los cambios en el uso del suelo, la urbanización y fenómenos climáticos. Sin embargo, en el año 2023 la temperatura disminuyó, aunque los focos de calor se extendieron a más áreas del casco urbano. La reducción se atribuye a cambios de temperaturas provocados por fenómenos meteorológicos y enfriamiento asociados como mayores niveles de nubosidad y precipitación.

De acuerdo a los resultados obtenidos de las variaciones de la temperatura superficial terrestre (LST) en el casco urbano del cantón Tosagua durante el período de 2019 a 2023, se identificaron aspectos muy importantes en términos temperatura. Estos resultados son consistentes a los obtenidos por Vitery (2022) en la ciudad de Calceta, el cual determinó temperaturas similares a las obtenidas en la presente investigación. Por lo que estos resultados brindan una comprensión sobre las variaciones de la temperatura en la zona urbana de Tosagua y evidencian la importancia del monitoreo para comprender estas variaciones.

Investigación como la de Medhi et al. (2016) estudiaron la relación entre la temperatura superficial de la tierra (LST), el uso del suelo y la calidad ambiental en zonas urbanas, donde identificaron una correlación negativa entre estos dos parámetros, evidenciando que los cambios en el uso del suelo influyen significativamente en la temperatura superficial terrestre, que desencadena la intensidad de las islas de calor urbana. Por otro lado, el estudio de Hidalgo et al. (2023) evaluó el efecto de la isla de calor urbana y su relación con la temperatura superficial en zonas urbanas, determinando una alta relación entre estas variables.

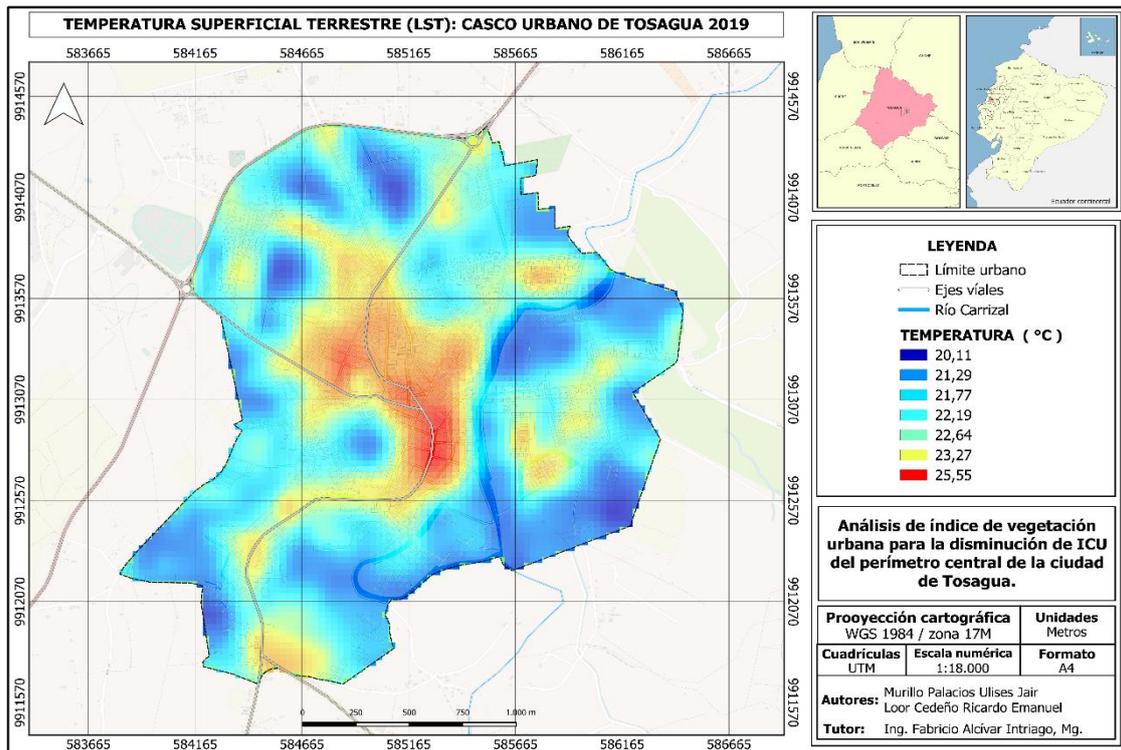


Figura 4.10. Temperatura superficial terrestre LST del casco urbano del cantón Tosagua 2019

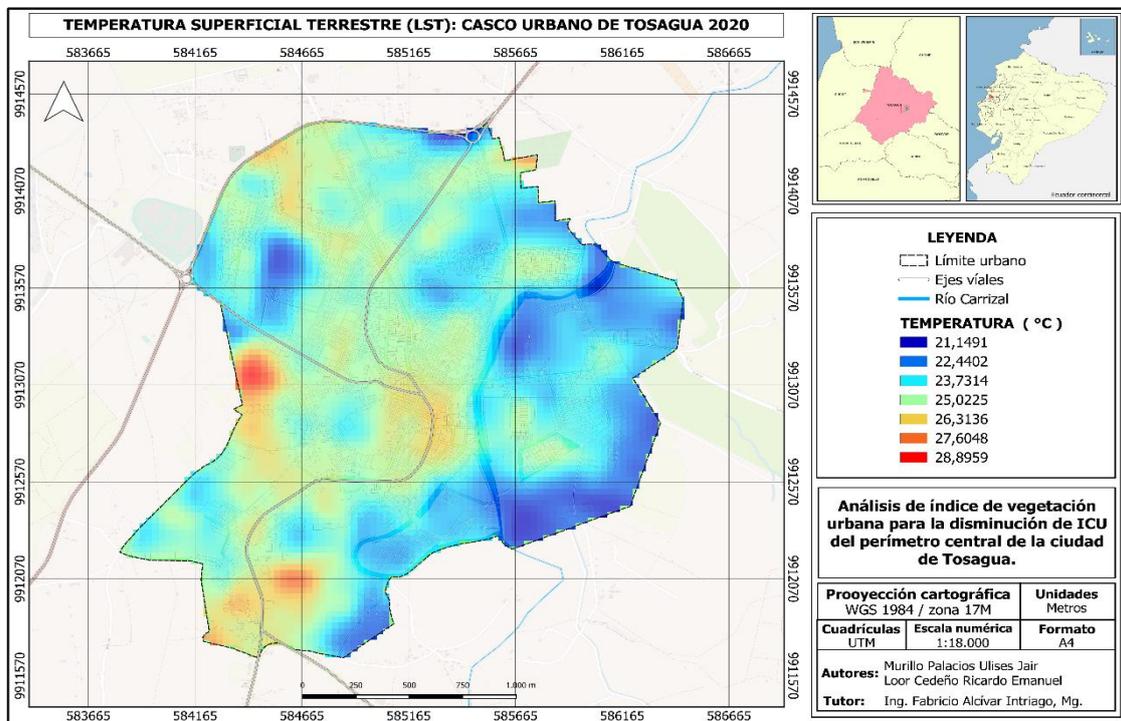


Figura 4.11. Temperatura superficial terrestre LST del casco urbano del cantón Tosagua 2020

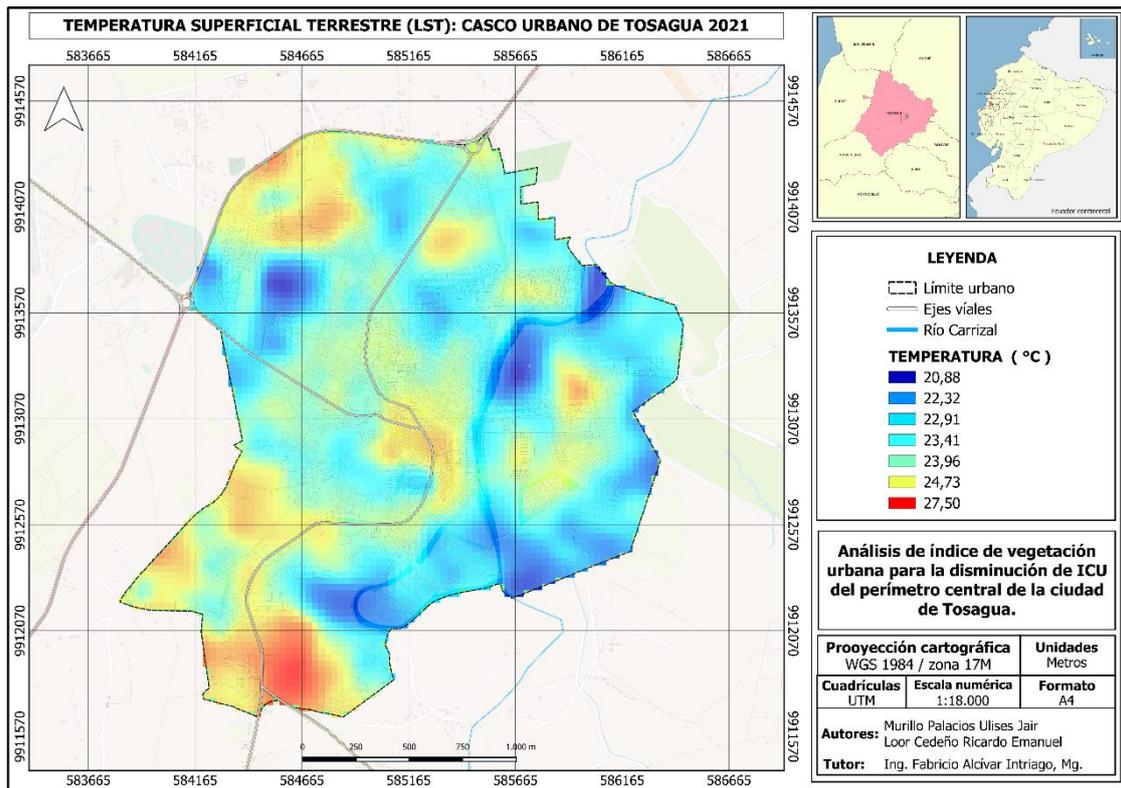


Figura 4.12. Temperatura superficial terrestre LST del casco urbano del cantón Tosagua 2021

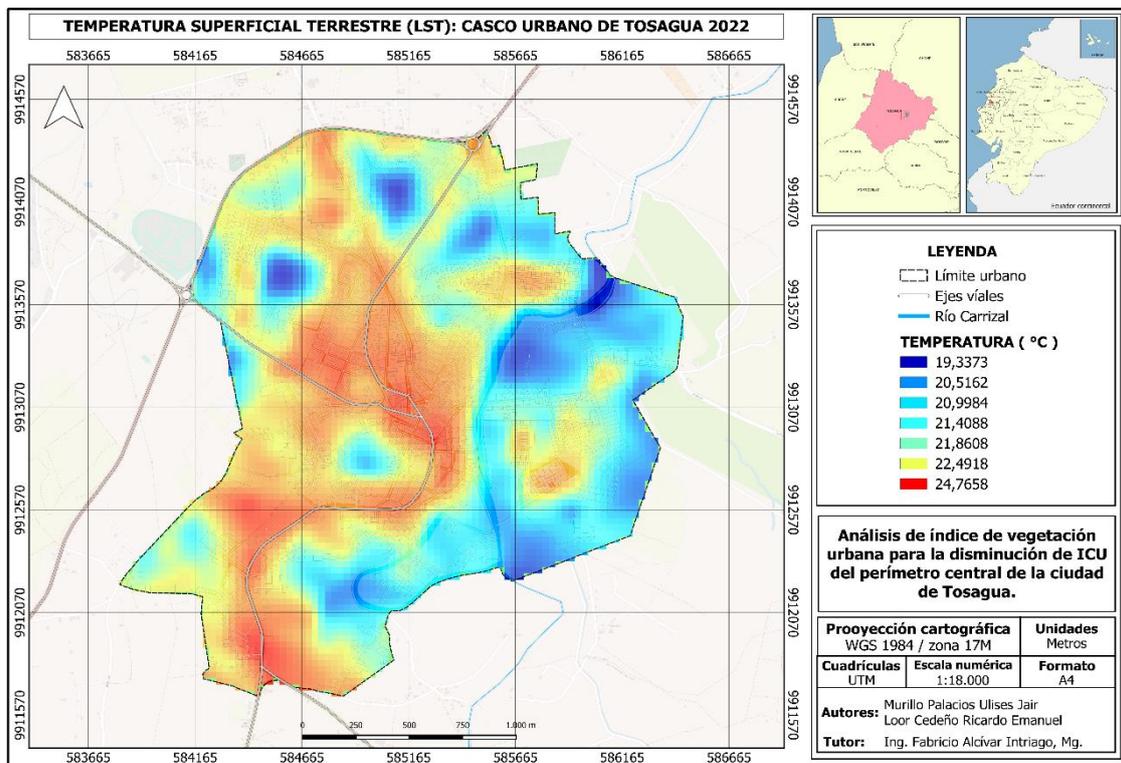


Figura 4.13. Temperatura superficial terrestre LST del casco urbano del cantón Tosagua 2022

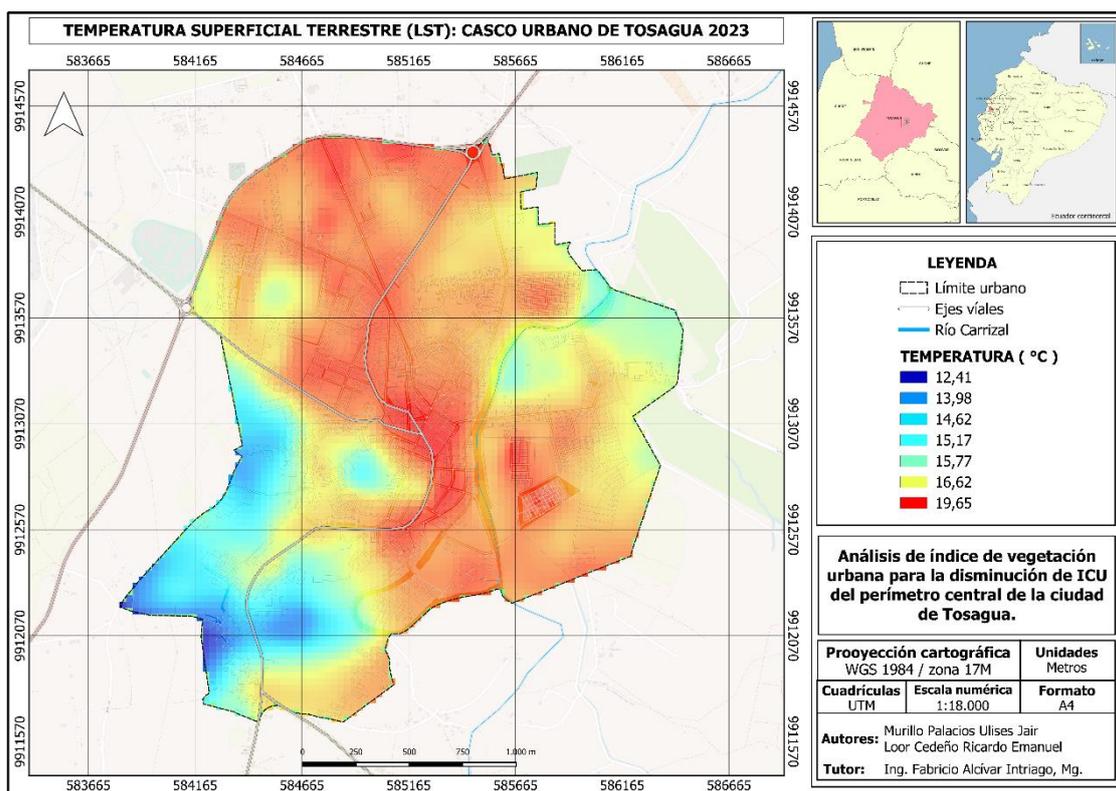


Figura 4.14. Temperatura superficial terrestre LST del casco urbano del cantón Tosagua 2023

De acuerdo a la figura 4.15 sobre la temperatura superficial terrestre, en sus valores máximos y mínimos en el casco urbano de Tosagua de 2019 a 2023 muestra una tendencia a la baja a lo largo de los años. A pesar de que en 2019 se registró un rango de temperatura moderado, en 2020 se produjo un aumento significativo, seguido de un período de aparente estabilidad en el año 2021. Sin embargo, se registró una considerable disminución en 2022 y caídas marcadas en 2023. Estos cambios en la temperatura superficial terrestre evidencian una dinámica climática notable. Esta tendencia a la baja de temperaturas desde el 2019 al 2023 se relaciona a cambios climáticos de la región. No obstante, la estabilidad aparente en el año 2021 y seguido de una disminución en el 2022 hasta una marcada disminución en el 2023, indica fluctuaciones significativas en el clima. Cabe mencionar de que a pesar de que los valores máximos de temperatura fueron disminuyendo en el periodo de estudio, se observó que los focos de calor aumentaron en comparación con los años iniciales.

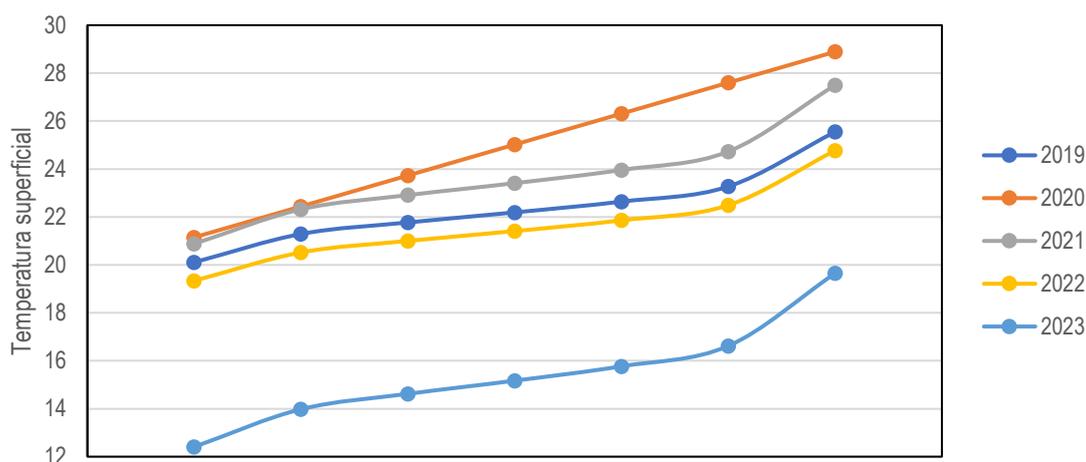


Figura 4.15. Máximos y mínimos en la temperatura superficial terrestre del casco urbano de Tosagua.

El fenómeno de isla de calor en el casco urbano del cantón Tosagua presenta variaciones significativas. Como se observa en la figura 4.16, en el año 2019 se identificó puntos en lugares específicos de mayor intensidad, es el caso de las zonas más céntricas del casco urbano con variaciones de 8 a 9 °C, estos datos evidencian que solo zonas específicas son afectadas. No obstante, el año 2020 destaca como un periodo de intensidad mayor debido al aumento notable en la temperatura de la isla de calor. Las temperaturas promedio varían entre 15.42 °C y 17.93 °C.

El barrio con la menor intensidad de isla de calor es el recreo con 15.42 °C, y las temperaturas mínimas varían de 13.40 °C hasta 16.96 °C, mientras que el barrio San Francisco tiene la temperatura promedio más alta con 17.93 °C. Los datos muestran una variabilidad en las temperaturas entre los diferentes barrios, esto está estrechamente relacionado con factores como la densidad urbana y la cobertura vegetal. En el año 2021 la intensidad de la isla calor disminuyó considerablemente, no obstante los barrios con mayor intensidad fueron ciudadela San Pedro y Lot. La Virgen con temperaturas promedios 2.80 °C y 4.12 °C. Por otro lado, barrios como Mercedita presentaron temperaturas bajas con un promedio de 1.04 °C. Además, barrios como Pensilvania y Sucre presentaron también temperaturas promedio de 1.21 °C y 1.88 °C.

En el año 2022, barrios como Pensilvania y Sucre presentaron temperaturas máximas de 4.39 °C y 4.58 °C respectivamente. Por otro lado, barrios como El Recreo presentaron temperaturas máximas 3.76 °C, en este lugar se registró una menor intensidad de la isla de calor. Para el año 2023, la intensidad de la isla de calor en el casco urbano del Tosagua aumentó significativamente en comparación a los años 2021 y 2022, donde se registraron temperaturas máximas en barrios como Clara Luz, Malecón y Sucre de 6.67 °C; 6.88 °C; 6.85 °C respectivamente. Por otro lado, barrios como San Francisco presentaron las temperaturas máximas más bajas en el área de estudio de 4.68 °C. El análisis de la intensidad de la isla de calor en el casco urbano del cantón Tosagua muestra una dinámica compleja y cambiante de la temperatura en el periodo estudiado. Se observa una oscilación en la temperatura, donde los años más notorios fueron el 2020 y 2023. El aumento de temperatura en el casco urbano en comparación a las áreas circundantes se atribuye a factores como el incremento de la urbanización y la disminución de las áreas verdes.

Como se observa los resultados obtenidos tienen una clara relación con la investigación de Elmes et al., (2020) donde determinó que las zonas con mayor vegetación presentaban bajos índices de intensidad de la isla de calor, además determinó que en áreas con poca vegetación o zonas urbanas presentaban una mayor variabilidad en la temperatura. Por otro lado, Khallef et al. (2020), describe una relación marcada entre la temperatura superficial terrestre (LST) y los factores como la densidad de las estructuras y la cobertura vegetal. Esta relación indica que las zonas urbanas son propensas al incremento de la intensidad de la isla de calor.

En una investigación realizada en Calceta, ciudad límite con Tosagua, se describe una perspectiva importante sobre las islas de calor urbanas y su impacto en la temperatura superficial terrestre, obteniendo similares resultados en la presente investigación. La investigación de Vitery (2022) destaca la importancia de entender los factores que intervienen en el entorno urbano que contribuyen con la intensidad de la isla de calor.

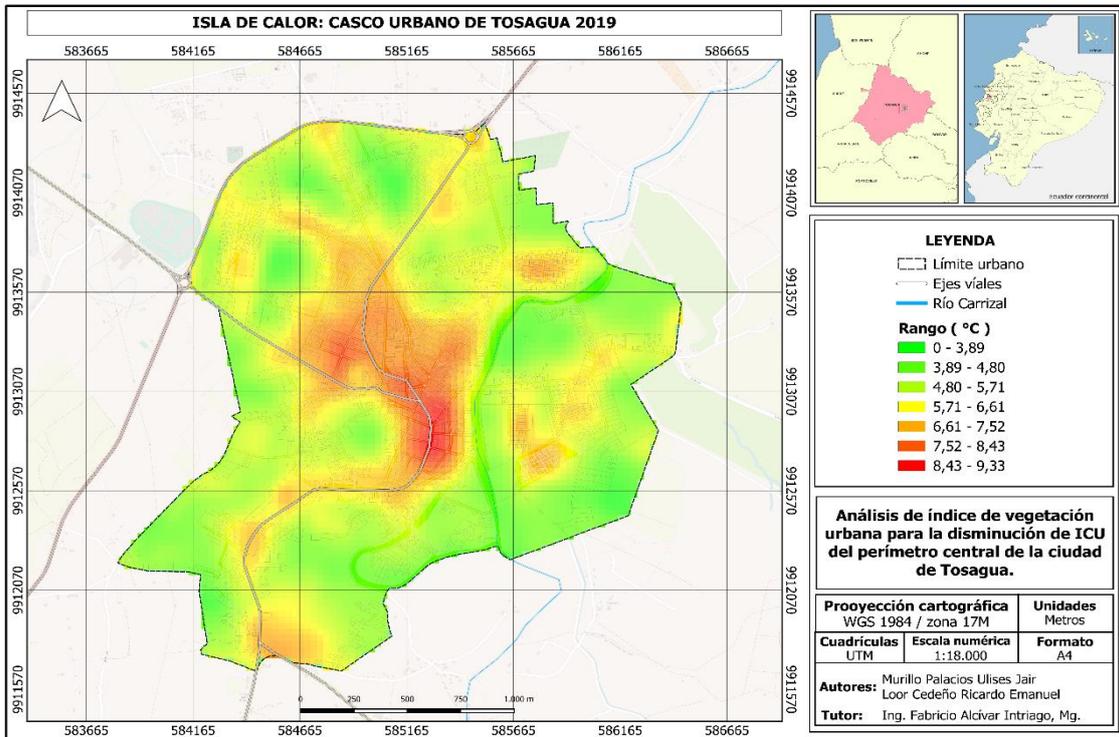


Figura 4.16. Isla de calor del casco urbano del cantón Tosagua 2019

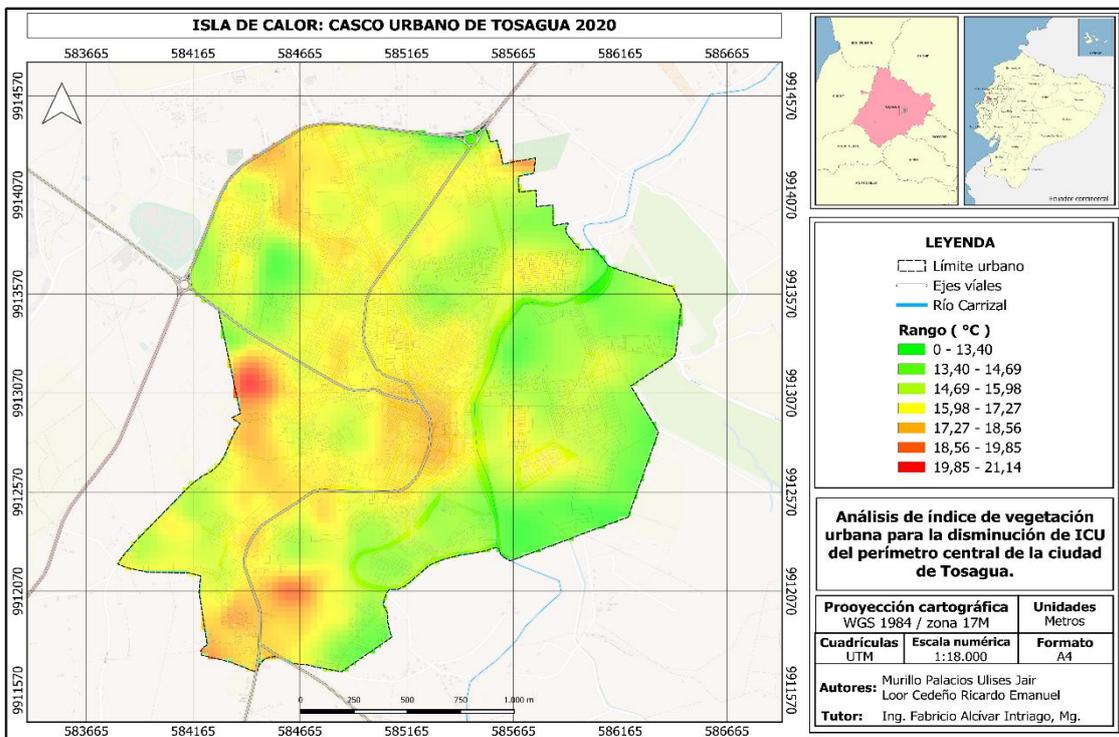


Figura 4.17. Isla de calor del casco urbano del cantón Tosagua 2020

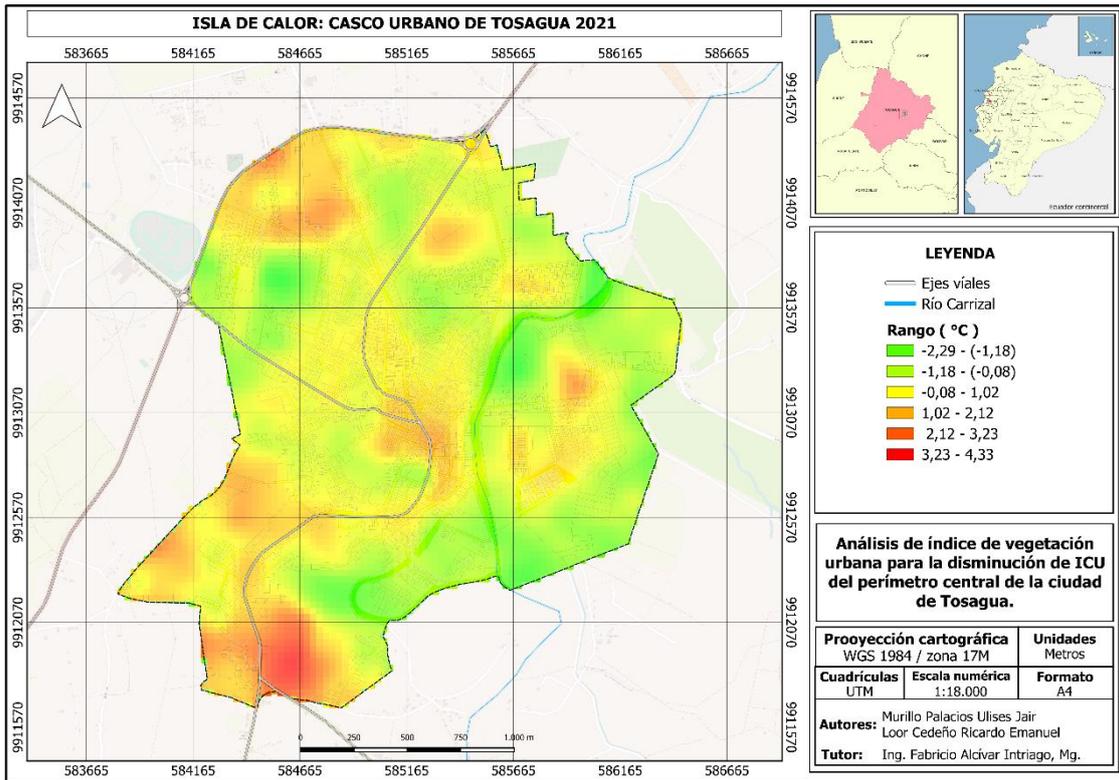


Figura 4.18. Isla de calor del casco urbano del cantón Tosagua 2021

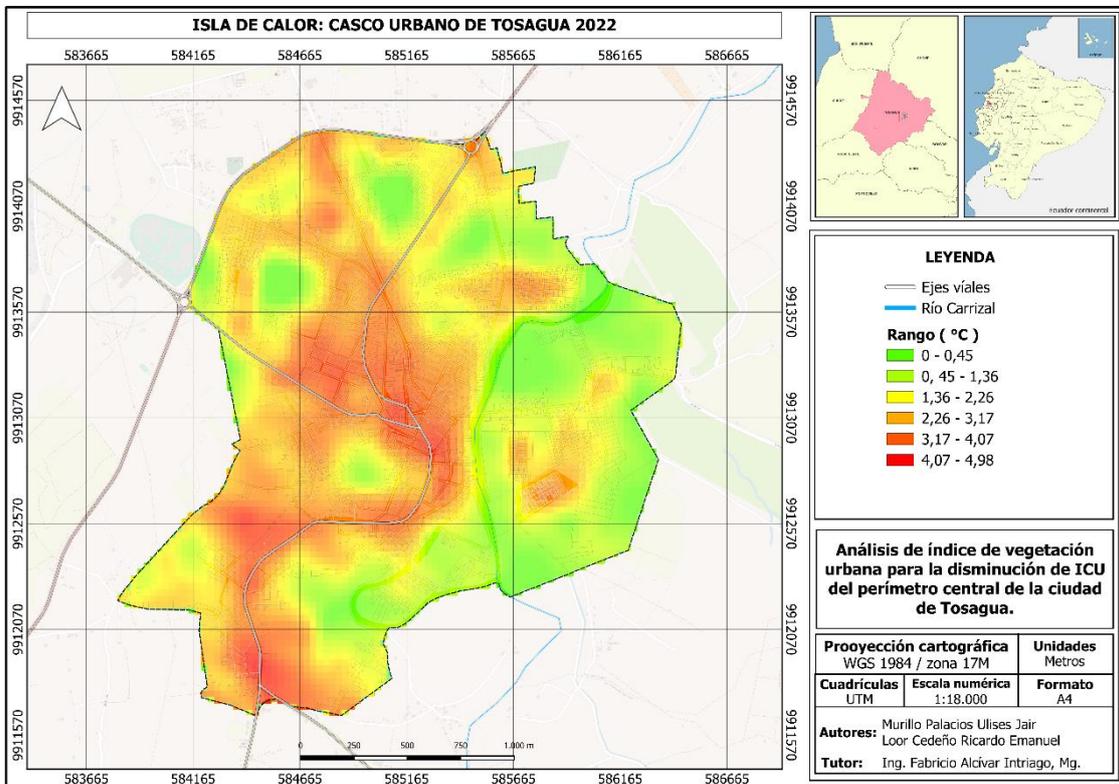


Figura 4.19. Isla de calor del casco urbano del cantón Tosagua 2022

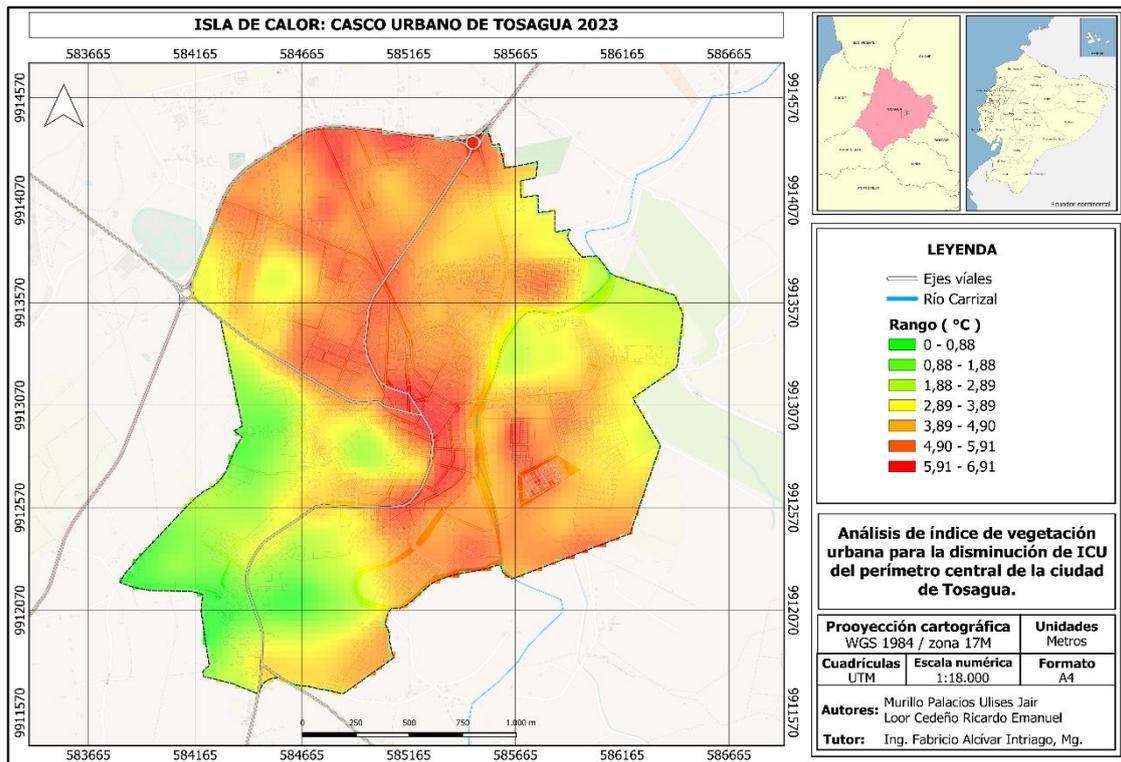


Figura 4.20. Isla de calor del casco urbano del cantón Tosagua 2023

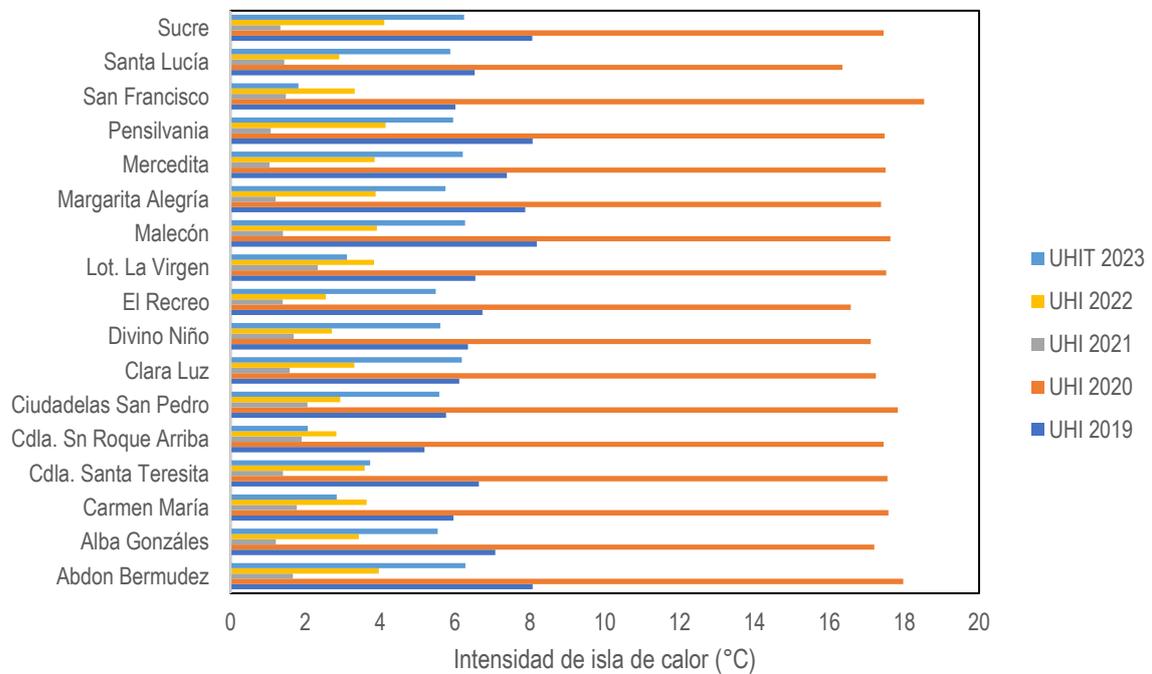


Figura 4.21. Intensidad de la isla de calor en el casco urbano de Tosagua 2019 - 2023

4.3. EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA PRESENCIA DE VEGETACIÓN URBANA Y LOS EFECTOS DE LA ISLA DE CALOR URBANA EN LA CIUDAD DE TOSAGUA

En la tabla 4.2, correlación de Pearson entre el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y la Temperatura Superficial Terrestre (LST) de cada año en estudio, se aprecia que la correlación entre estas variables es 1 para cada año en estudio. Por lo que se evidencia que existe una fuerte relación entre el NDVI y la temperatura superficial terrestre. En particular, la relación de los datos describe que, al disminuir la salud de la vegetación, la temperatura superficial aumenta, respaldando la influencia entre el NDVI y la temperatura superficial terrestre.

Los resultados obtenidos son respaldados por estudios como los de Gobit et al. (2019), que evaluaron la relación entre las variables LST y el NDVI, esta investigación determinó que la LST presentaba correlaciones moderadas a fuertes negativas con el NDVI en diferentes áreas, indicando que cuando el NDVI es mayor la temperatura superficial disminuye. Además, el estudio de Tahooni et al., (2023) describe que esta relación es importante y destaca que la salud de la vegetación influye en la temperatura superficial terrestre en entornos urbanos.

Tabla 4.2. Correlación de Pearson entre LST y NDVI

Correlación entre NDVI - LST		Correlación	Significancia
NDVI 2019	LST 2019	1	0,00
NDVI 2020	LST 2020		
NDVI 2021	LST 2021		
NDVI 2022	LST 2022		
NDVI 2023	LST 2023		

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El análisis del índice de vegetación urbana en el casco urbano del cantón Tosagua mostró desigualdad en la salud de la vegetación, esto debido a que existen barrios en los cuales la cantidad de árboles estaba por encima de los 500 (Divino Niño con 532 ejemplares) y en otros en los cuales estos no pasaban de las 15 unidades (Ciudadela San Pedro con 11 ejemplares); en zonas céntricas se evidenció la poca presencia de los mismos y una tendencia decreciente en la disminución de la salud en la vegetación durante el periodo analizado, lo cual ha generado preocupación sobre la calidad del medio ambiente y el aspecto visual del espacio urbano, ya que, se identificaron que factores como la presión humana y la deforestación contribuyen a su deterioro.
- Con respecto a la temperatura superficial terrestre y la intensidad de la isla de calor en el área urbana de Tosagua, se evidenció un aumento en las temperaturas superficiales terrestres en el periodo de estudio siendo el valor máximo alcanzado en el año 2020 (28.89 °C), influenciados por el cambio del uso del suelo, a pesar de que en el 2023 se observó una disminución de la misma (19,65°C) y una tendencia al aumento de focos de calor en el casco urbano, esto combinado con la intensidad de la isla de calor, destacan la importancia de implementar medidas para mitigar y contrarrestar los efectos del calor en el área urbana que garanticen un entorno seguro y sostenible.
- La correlación de Pearson entre el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y la Temperatura Superficial Terrestre (LST) en el área urbana de Tosagua muestra una relación alta con un valor de 1 en cada año de estudio. Estos resultados sugieren que la vegetación influye significativamente en la mitigación de los efectos de la Isla de Calor Urbana (ICU), debido a la tendencia a medida que la salud de la vegetación disminuye la temperatura superficial aumenta.

5.2 RECOMENDACIONES

- Implementar medidas de gestión urbana que impulsen la conservación y regeneración de las áreas verdes, donde se promuevan políticas para la siembra de árboles y el control de desarrollo urbano desordenado, partiendo del desarrollo de investigaciones sobre monitoreo mediante tecnologías de teledetección que permitan evaluar periódicamente el impacto de las islas de calor y diseñar medidas que se ajusten a las necesidades.
- Que las autoridades locales de Tosagua prioricen medidas específicas para reducir la intensidad de la isla de calor con enfoque en la mitigación de los efectos del aumento de la temperatura superficial terrestre en el área urbana.
- Basándose en la relación entre el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y la Temperatura Superficial Terrestre (LST) en el área urbana de Tosagua, es importante implementar políticas para promover el incremento y mantenimiento de las áreas verdes, donde se implementen planes de reforestación, la creación de parques y jardines, así como la conservación de espacios naturales dentro de la ciudad, ya que, al fomentar la vegetación urbana, se aporta a la mitigación de los efectos de la Isla de Calor Urbana (ICU), mejorando así la calidad del aire, reduciendo la temperatura superficial y contribuyendo al bienestar general de la población.

BIBLIOGRAFÍA

- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos [EPA]. (2020). Las islas de calor. Obtenido de <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/las-islas-de-calor>
- Aguilar, E. (2021). Análisis de la distribución e intensidad de las Islas De Calor Urbanas Superficiales Diurnas (icus) en el cantón Manta, Manabí y su relación con la vegetación local y otras variables geográficas. Obtenido de <https://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/180526/1/AN%c3%81LISI%20DE%20LA%20DISTRIBUCI%c3%93N%20E%20INTENSIDAD%20DE%20LA%20ISLA%20DE%20CALOR%20URBANA%20SUPERFICIAL%20DIURNA%20EN%20EL%20CANTON%20MANTA.pdf>
- ANALISTYC, E. (2020). Eos Data Analistyc. Obtenido de EOS DATA ANALISTYC: <https://eos.com>
- Anaya, A. (2019). Temperatura superficial terrestre a partir de imágenes satelitales: herramienta para su cálculo. Obtenido de <https://gredos.usal.es/handle/10366/139879>
- Antonio, R. (2022). Importancia de vegetación urbana en la mitigación. Calceta: Escuela Superior Politécnica Agropecuaria De Manabí.
- Aragón, J., Rodríguez, E., Varon, G. y Sánchez, G. (2020). Análisis de islas de calor por medio de imágenes satelitales y sistemas de información geográficos en el área urbana de la sabana de Bogotá. *Geographicalia*, (72), 39-64.
- Araiza, G. (2022). La isla de calor en la Ciudad de México: un análisis decadal (1950-2010). *Scielo*, 415-436.
- Área Metropolitana Valle de Aburrá [AMVA]. (2017). Vegetación urbana. Obtenido de <https://www.metropol.gov.co/Paginas/Noticias/area-silvestre/programas-emitidos/vegetacion->

urbana.aspx#:~:text=La%20vegetaci%C3%B3n%20urbana%20es%20u
no,est%C3%A1n%20ligados%20al%20desarrollo%20sostenible.

Arévalo, D. (2021). Cálculo del índice de vegetación de diferencia normalizada NDVI usando la plataforma Google Earth Engine para los años 2019 y 2020 de la vereda La Florida en el municipio de Puerto Asís. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada Especialización En Geomática.

Arévalo, W. (2020). La vegetación como función ambiental de los parques en ciudades del desierto costero peruano - estudio de caso. Lima Norte - 2016 - 2019. Obtenido de https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/16157/Arevalo_gw.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Arias, J. (2020). Técnicas e instrumentos de investigación científica. Perú: Enfoques Consulting EIRL.

Aristizábal, E. (2019). Métodos estadísticos para la evaluación de la susceptibilidad por movimientos en masa. *TecnoLógicas*. 43-64.

Ariza, A. (2013). Productos LDCM – Landsat 8. Bogotá: IGAC. Obtenido de DOI: <https://doi.org/10.13140/>

Aróstegui, R. (2021). “Determinación De Islas De Calor Urbano En La Ciudad De Tacna, mediante el uso de imágenes satelitales”. Tacna: Universidad Privada De Tacna.

Banco Mundial. (2022). Desarrollo urbano. Obtenido de <https://www.bancomundial.org/es/topic/urbandevelopment/overview#:~:text=En%20la%20actualidad%2C%20alrededor%20del,10%20personas%20vivir%C3%A1n%20en%20ciudades.>

Barragán Triana, K. y Mieles Giler, J. (2024). Variabilidad espacial y temporal de la cobertura vegetal del Cantón Montecristi, Provincia de Manabí (Período 2010 – 2021). *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria*

PENTACIENCIAS, 6(1), 402–412.
<https://doi.org/10.59169/pentaciencias.v6i1.1010>

- Bedón, M. (2022). Islas de calor urbano (ICU) y morfología. Ibarra: Pontificia Universidad Católica Del Ecuador.
- Benegas, L. Rojas, A. Iraheta, A. y Cardenas, J. (2021). Analysis of the tree component and its contribution to ecosystem services in the city of Turrialba, Costa Rica. *Ecosistemas: revista científica y tecnica de ecologia y medio ambiente*, 30(2), 1–10.
<https://doi.org/10.7818/ecos.2083>
- Bermeo, E. (2017). Revista Interuniversitaria de. Obtenido de <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec>
- Bertoni, G. (2020). El paisaje de los corredores urbanos: la naturación como herramienta proyectual de ecologización, integración física y recuperación del uso público inclusivo. Obtenido de <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/handle/11185/6101>
- Bokaie, M. Zarkesh, M. Arasteh, P. y Hosseini, A. (2016). Assessment of Urban Heat Island based on the relationship between land surface temperature and Land Use/ Land Cover in Tehran. *Sustainable Cities and Society*, 23, 94–104. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.03.009>
- Briz de Felipe, T. y De Felipe Boente, I. (2017). Un enfoque metodológico para áreas verdes urbanas: un caso de estudio en Madrid. *Redalyc*, 23(2), 7.
- Cabrera, F. (2020). Áreas verdes del centro regional universitario de Colón, Universidad De Panamá, espacios naturales en riesgo. *Saberes APUDEP*, 39-54.
- Cacsire, M. Inga L. y Salvatierra, J. (2023). Cambio de cobertura vegetal de la laguna El Oconal y variación de la temperatura superficial en la ciudad

de Villa Rica, Pasco con datos Landsat en el periodo 2001 – 2018. Universidad Nacional del Callao.

Candanedo, M. y Villarreal, D. (2020). Efecto de las islas de calor urbano en las principales vías de la Ciudad de Panamá. *Revista de I+D Tecnológico*.

Castellanos, B. (2017). El uso de los métodos deductivo e inductivo para aumentar la conciencia. *Scielo*, 18-46.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2017). La urbanización presenta oportunidades y desafíos para avanzar hacia el desarrollo sostenible. Obtenido de <https://www.cepal.org/notas/73/Titulares2#:~:text=En%20Am%C3%A9rica%20Latina%20y%20el%20Caribe%2C%20las%20ciudades%20con%20un,regi%C3%B3n%20vive%20en%20estas%20ciudades>.

Consultoría de Investigación de Mercados a medida [CIMEC]. (2019). ¿Qué es el coeficiente de correlación de Pearson? Obtenido de <https://www.cimec.es/coeficiente-correlacion-pearson/>

Cuerdo, D. (18 de JUNIO de 2023). The Conversation. Obtenido de The conversación: <https://repisalud.isciii.es/>

Del Caz, R. (2017). El papel de la vegetación en la mejora del entorno de los edificios en los procesos de regeneración urbana. *Redalyc* (35), 112.

Duval, V., Benedetti, G. y Baudis, K. (2020). El impacto del arbolado de alineación en el microclima urbano. Bahía Blanca, Argentina. *Investigaciones Geográficas (Esp)*, (73), 171-188.

Earth Explorer Servicio Geológico de los Estados Unidos [USGS]. (2018). USGS EROS Archive – Landsat Archives – Landsat 8 OLI (Operational Land Imager). Obtenido de <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-landsat->

archives-landsat-8-oli-operational-land-imager-and?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects

- Elmes, A. Healy, M. Geron, N. Andrews, M. Rogan, J. Martin, D. Sangermano, F. Williams, C. y Weil, B. (2020). Mapping spatiotemporal variability of the urban heat island across an urban gradient in Worcester, Massachusetts using in-situ Thermochrons and Landsat-8 Thermal Infrared Sensor (TIRS) data. *GIScience & Remote Sensing*, 57(7), 845–864. <https://doi.org/10.1080/15481603.2020.1818950>
- Enríquez, F. (2017). Un acercamiento a caracterizar la isla de calor en Cuenca, Ecuador. *Revista Interuniversitaria de Estudios Urbanos de Ecuador*, 2 - 19.
- ESRI. (2021). ¿Qué son los datos ráster? Obtenido de <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/manage-data/raster-and-images/what-is-raster-data.htm>
- Flores, J. (2018). Evaluación de los efectos microclimáticos que tiene la vegetación en la mitigación de la. *Ciencias Ambientales*, 52(2), 123-140.
- Flores, L., Solís, J. y Herrera, J. (2018). Evaluación de los efectos microclimáticos que tiene la vegetación en la mitigación de la isla de calor urbana: Parque en la ciudad de Torreón, México. *Revista de Ciencias Ambientales*, 52(2), 123-140.
- Frick, J. y Napadensky, A. (2015). Análisis de la relación entre temperaturas superficiales y tejidos urbanos como insumo para la planificación urbana. El caso de Temuco-Padre Las Casas. Obtenido de <https://revistas.ubiobio.cl/index.php/TYE/article/view/3249/3689>
- Galindo, A. y Uribe, R. (2012). La vegetación como parte de la sustentabilidad urbana: beneficios, problemáticas y soluciones, para el Valle de Toluca. *Quivera*, vol. 14, núm. 1, 98 - 108.

- García, D. y Díaz, J. (2023). Space–time analysis of the earth’s surface temperature, surface urban heat island and urban hotspot: relationships with variation of the thermal field in Andalusia (Spain). *Urban Ecosystems*, 26(2), 525–546. <https://doi.org/10.1007/s11252-022-01321-9>
- García, G. (2018). La isla de calor en la zona urbana de la ciudad de Guayaquil, mediante sistemas de información geográfica y teledetección. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/35564/1/TESIS%20FINAL%20GEANELLA%20GARCIA.pdf>
- Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Tosagua. (2019). Plan de Ordenamiento Territorial del cantón Tosagua. Obtenido de https://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1360001790001_PDOT%20TOSAGUA%202014%20-%202019_14-03-2015_01-42-53.pdf
- González, J. (2020). Impacto de la investigación cuantitativa en la actualidad. Coordinadora de Investigación del Instituto Superior Tecnológico Particular Sudamericano, Cuenca., 59-68.
- González, M. (2023). Análisis y evaluación de propuestas de sistemas de capacitación de aguas lluvias para uso no consuntivo en la ciudad de Cuenca-Ecuador. Obtenido de <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/14451>
- Govil, H. Guha, S. Diwan, P. Gill, N. y Dey, A. (2020). Analyzing linear relationships of LST with NDVI and MNDISI using various resolution levels of Landsat 8 OLI and TIRS data. En *Data Management, Analytics and Innovation* (pp. 171–184). Springer Singapore.
- Grover, A. y Singh, R. (2015). Analysis of urban heat island (UHI) in relation to normalized difference vegetation index (NDVI): A comparative study of

Delhi and Mumbai. *Environments*, 2(4), 125–138.
<https://doi.org/10.3390/environments2020125>

Guha, S. (2021). Dynamic seasonal analysis on LST-NDVI relationship and ecological health of Raipur City, India. *Ecosystem Health and Sustainability*, 7(1). <https://doi.org/10.1080/20964129.2021.1927852>

Huang, S. Tang, L. Hupy, J. Wang, Y. y Shao, G. (2021). A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. *Journal of Forestry Research*, 32(1), 1–6.
<https://doi.org/10.1007/s11676-020-01155-1>

Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos [INEC]. (2010). Tosagua corazón de Manabí. Obtenido de <https://tosagua.wordpress.com/tosagua/geografia/>

Jami, L. Mora, M. Padilla, O. y Kirby, E. (2018). Análisis de la presencia de islas de calor en el cantón Rumiñahui mediante el tratamiento de imágenes Landast 7 ETM+. *Revista GEOESPACIAL* 15(2), 95-111.
<https://doi.org/10.24133/geoespacial.v15i2.1241>.

Juergens, C. y Meyer-He, M. (2020). Application of NDVI in environmental justice, health and inequality studies – potential and limitations in urban environments. En Preprints.
<https://doi.org/10.20944/preprints202008.0499.v1>

Khallef, B. Biskri, Y. Mouchara, N. y Brahamia, K. (2020). Analysis of urban heat islands using Landsat 8 OLI / TIR data: Case of the city of Guelma (Algeria). *Asian journal of environment & ecology*, 42–51.
<https://doi.org/10.9734/ajee/2020/v12i430167>

León, A. (2019). Análisis estadístico. *Scientific e-journal of Human Sciences*, 50-60.

Liao, Y. Shen, X. Zhou, J. Ma, J. Zhang, X. Tang, W. Chen, Y. Ding, L. y Wang, Z. (2022). Surface urban heat island detected by all-weather satellite land surface temperature. *The Science of the Total*

Environment, 811(151405), 151405.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151405>

Bernabé, C.(2019). Cambios en la superficie de áreas verdes urbanas en dos alcaldías de la Ciudad de México entre 1990-2015. Scielo.

Martínez, R. (2020). Estimación de la temperatura superficial en imágenes históricas Landsat 5 mediante operación monocanal en el térmico para la cuenca del río Tempisque-Bebedero (Costa Rica). Revista Geográfica de América Central, 17-32.

Mayorga, A. (2023). Propuesta de lineamientos para mitigar las islas de calor urbano en la ciudad de Ambato (P1-PU01) con un enfoque en el espacio público, para mejorar la calidad de vida.

Montoya, E. (2020). Revisión y caracterización del fenómeno de las islas de calor urbanas (ICU) con énfasis en el caso colombiano. Recuperado el 21 de junio de 2023, de <https://repository.udistrital.edu.co/>

Núñez, J. (2022). Análisis espacial de las áreas verdes urbanas de la Ciudad de México. Scielo, 21(67), 10.

Pacheco, J. (08 de julio de 2023). Web y Empresas. Obtenido de Web y Empresas: <https://www.webyempresas.com/metodo-analitico/>

Palaquibay, L. (2023). Indicadores de calidad ambiental urbana, a partir de imágenes de satélite en la ciudad de Riobamba – Ecuador. PKP, 1.

Paulino, M. (2013). Evaluación de la captura de carbono en tres sistemas de producción de papas en Zinacantepec, Estado de México. Universidad Autónoma del Estado de México, 6-15. Obtenido de <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/58604>

Pérez, G. y Cortés, A. (2016). La relación entre las áreas verdes y la calidad de vida. Obtenido de

https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/23348/3/Tesis_La%20Relacion_entre

- Pérez, S. y López, I. (2016). Áreas verdes y arbolado en Mérida, Yucatán. Hacia una sostenibilidad urbana, economía, sociedad y territorio. *Redalyc*, 15(47), 1-33.
- Pinilla, C. (2020). Teledetección: teoría y aplicaciones. Obtenido de <https://www.academia.edu/>
- Quijano, S. Ramírez, I. y González, J. (2017). Gradiente térmico en la ciudad de Medellín y su relación con el crecimiento urbano: estudio de caso. *Producción + Limpia*, 159-168.
- Rojas, C. (2019). Disminución de la temperatura superficial en comunas pericentrales al sur de la ciudad de Santiago mediante la conversión de sitios eriazos en espacios verdes. Obtenido de <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/disminuci%C3%B3n-temperatura-superficial.pdf>
- Secretaría Nacional de Planificación. (2021). Plan de Creación de Oportunidades. Obtenido de https://observatorioplanificacion.cepal.org/sites/default/files/plan/files/Plan-de-Creaci%C3%B3n-de-Oportunidades-2021-2025-Aprobado_compressed.pdf
- Soto, E. (2020). Scielo. Obtenido de Scielo: <https://www.scielo.org.mx>
- Spark, W. (2022). Weather Spark. Obtenido de Weather Spark: <https://es.weatherspark.com/>
- Sucapuca, R. (2022). Islas de calor urbano mediante imágenes satelitales en la ciudad de Juliaca durante el año 2019. *Ciencia & Desarrollo*, 10-28.
- Tahooni, A. Kakroodi, A. y Kiavarz, M. (2023). Monitoring of land surface albedo and its impact on land surface temperature (LST) using time series of

remote sensing data. *Ecological Informatics*, 75(102118), 102118.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2023.102118>

Toudert, D. (2022). Estratificación de la densidad urbana y seguimiento de las islas de calor: Caso de la ciudad de Tijuana. *Revista de geografía Norte Grande*, 265-283.

Urbano, B. (2019). Naturación urbana, un desafío a la urbanización.

Vásquez, E. (2022). Islas De Calor Urbano (ICU) y morfología urbana en el centro histórico de Ibarra. Obtenido de <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/19891/EDWARD%20MARTIN%20V%c3%81SQUEZ%20BED%c3%93N%20-TRABAJO%20DE%20TITULACION%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Villalobos, C. (2020). Anales de antropología. Instituto de Investigaciones Antropológicas, 54(1), 173-187.

Viteri, J. (2022). Importancia de vegetación urbana en la mitigación de la isla de calor en la zona céntrica de la ciudad de Calceta. [Escuela Superior Politécnica Agropecuaria De Manabí Manuel Félix López]. Recuperado de <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/1767>

Vitery, J. (2022). Importancia de vegetación urbana en la mitigación de la isla de calor en la zona céntrica de la ciudad de Calceta. Obtenido de <https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1767/1/TTMA76D.pdf>

Wang, X. Dallimer, M. Scott, C. Shi, W. y Gao, J. (2021). Tree species richness and diversity predicts the magnitude of urban heat island mitigation effects of greenspaces. *The Science of the Total Environment*, 770(145211), 145211. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145211>

Yepes, T. (18 de mayo de 2022). Cálculo Temperatura superficial - Landsat 8. Obtenido de Cálculo Temperatura superficial - Landsat 8: <https://storymaps.arcgis.com/>

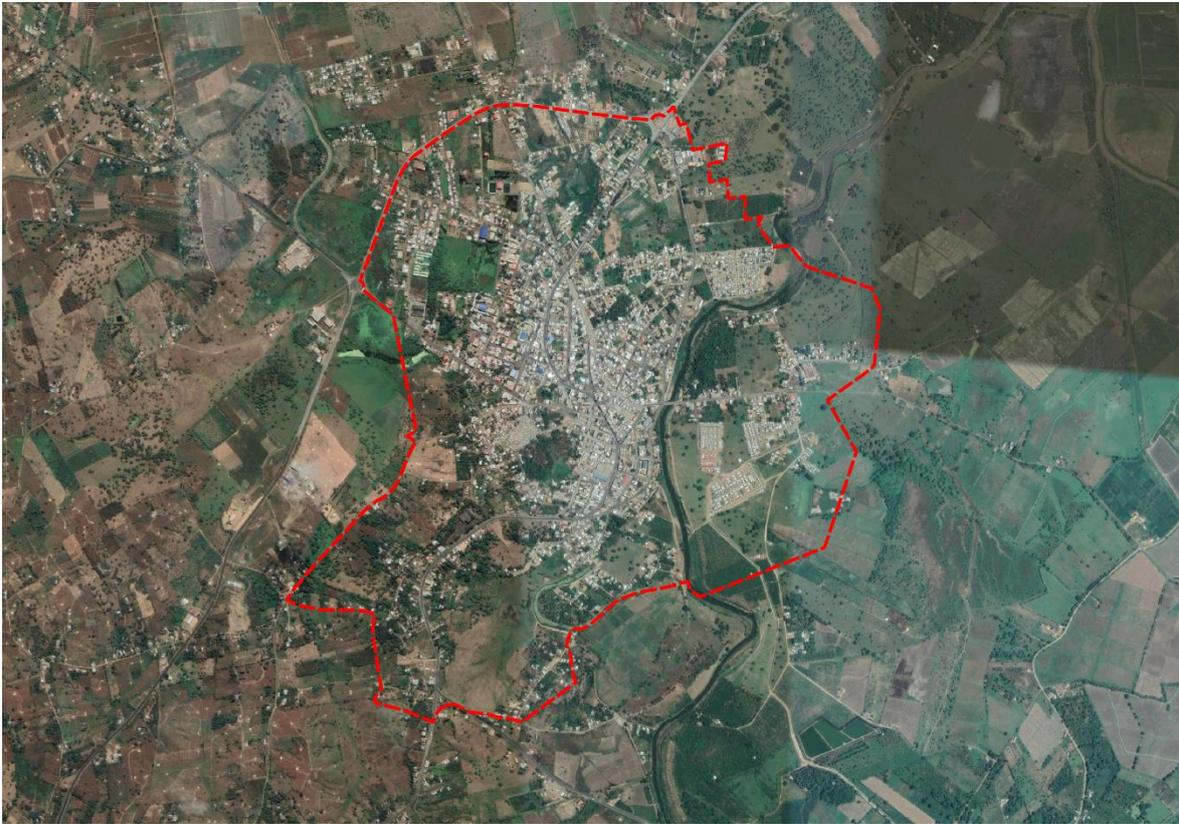
Zúñiga, L. (2019). Expansión. Obtenido de Expansión: <https://expansion.mx/>

ANEXOS

Anexo 1. Caracterización del área en estudio



Anexo 2. Vista satelital (ortofoto) casco urbano de Tosagua



Anexo 3. Datos de NDVI, LST e isla de calor del área urbana de Tosagua

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	UITHCATT19	NDVI2019	NDVI2020	NDVI2021	NDVI2022	NDVI2023	UHIT20	UHIT21	UHIT22	UHIT23
2	5.44874	0.390811	0.31097	0,264619	0.316886	0.405516	15.4266	0,157948	1.15184	4.16758
3	5.8553	0.193781	0.186162	0,148694	0.192085	0.223132	15.7578	-0,270226	2.69082	4.47947
4	5.1097	0.496608	0.351539	0,377975	0.479221	0.400988	16.8306	0,155153	0.956223	2.84775
5	5.63228	0.427508	0.295551	0,344295	0.35269	0.428529	16.0923	0,222906	1.72989	4.93456
6	5.91601	0.352615	0.278832	0,261835	0.264563	0.359446	15.4799	0,729147	2.00473	4.07299
7	5.86683	0.472073	0.388791	0,371878	0.333713	0.279073	16.2001	0,23245	1.78885	4.11668
8	6.03348	0.154291	0.211932	0,191499	0.209666	0.228241	16.7449	0,155712	2.07585	5.78251
9	6.75509	0.334027	0.194323	0,203896	0.220662	0.351982	18.1454	2.07747	3.5805	4.76954
10	6.42739	0.376358	0.302389	0,279745	0.252473	0.299446	15.4024	0,697828	2.42266	6.01148
11	6.2791	0.354132	0.277903	0,31567	0.349648	0.260728	16.8451	1.04348	2.25632	6.3581
12	7.21489	0.19834	0.179418	0,189401	0.168565	0.200789	16.9911	0,688444	3.44287	5.56815
13	6.10414	0.189488	0.167734	0,130548	0.209795	0.245175	18.3344	0,856785	3.16197	1.65329
14	5.85241	0.391159	0.342351	0,335437	0.372146	0.313195	15.5667	-0,673906	2.18782	5.16316
15	7.39834	0.115895	0.101762	0,098583	0.12966	0.143097	17.3369	0,782324	3.80027	6.21526
16	8.356	0.096314	0.100023	0,088376	0.117971	0.114723	17.8119	17063	4.41335	6.6413
17	5.73496	0.445123	0.360173	0,386978	0.361599	0.443358	15.4675	-0,508736	2.65619	4.23137
18	5.44641	0.344259	0.274376	0,265234	0.278934	0.272687	15.9408	0,153122	1.85524	4.2522
19	6.46664	0.218398	0.199728	0,180853	0.191834	0.208154	15.8398	0,235422	3.01403	5.33554
20	6.63644	0.273461	0.240348	0,149273	0.159435	0.163904	16.4071	113021	3.07718	6.24536
21	8.61387	0.105431	0.11849	0,119411	0.126104	0.131387	17.6743	0,883211	4.14447	6.02938
22	5.55903	0.372798	0.420587	0,324865	0.324701	0.311075	15.2494	-115668	0.664873	3.75783
23	5.68904	0.222453	0.24064	0,174369	0.204411	0.213559	15.3106	0,331978	1.58301	4.12954
24	6.24239	0.437463	0.358832	0,343203	0.333016	0.446644	15.8537	-0,026037	2.35652	4.19045
25	5.51189	0.409048	0.340009	0,296855	0.345979	0.401108	14.6352	-0,260853	0.761372	3.52381
26	7.20539	0.104459	0.126222	0,088103	0.122243	0.13268	17.8355	0,592331	3.3317	6.01176
27	5.74969	0.428531	0.325938	0,264248	0.351251	0.445419	15.5256	-0,030644	1.18131	3.65225
28	5.58092	0.418443	0.261279	0,252834	0.327518	0.428963	16.4574	0,319738	1.82077	3.40793
29	6.00867	0.363287	0.326613	0,232658	0.195026	0.356343	16.02	-0,112877	2.75407	4.29038
30	7.50196	0.100173	0.10286	0,068258	0.087354	0.145272	17.6174	0,885677	3.9232	6.21525
31	4.97683	0.531305	0.391299	0,347305	0.410148	0.422564	15.6051	0,921022	1.03059	4.04726
32	6.31833	0.218027	0.235929	0,29117	0.237929	0.303105	17.1817	0,399221	2.27866	5.80758
33	5.08815	0.264363	0.206219	0,283988	0.201056	0.21731	17.0006	2.51135	3.57087	6.07701
34	6.36206	0.240145	0.221801	0,199846	0.184008	0.227805	15.7529	-0,040167	2.69084	5.33807

Anexo 4. Valores máx. y min. de NDVI y LST, casco urbano de Tosagua

	2019	2020	2021	2022	2023
NDVI	0.03	0.07	0.001	0.05	0.01
	0.12	0.14	0.095	0.13	0.1
	0.21	0.21	0.188	0.2	0.18
	0.3	0.28	0.281	0.28	0.27
	0.39	0.35	0.374	0.36	0.36
	0.48	0.42	0.467	0.44	0.44
	0.58	0.49	0.56	0.51	0.53

	2019	2020	2021	2022	2023
NDVI Min	0.03	0.07	0.001	0.05	0.01
NDVI Max	0.58	0.49	0.56	0.51	0.53

	2019	2020	2021	2022	2023
LST	20.11	21.15	20.88	19.34	12.41
	21.29	22.44	22.32	20.52	13.98
	21.77	23.73	22.91	21	14.62
	22.19	25.02	23.41	21.41	15.17
	22.64	26.31	23.96	21.86	15.77
	23.27	27.6	24.73	22.49	16.62
	25.55	28.89	27.5	24.77	19.65

	2019	2020	2021	2022	2023
Tem superficial min	20.11	21.15	20.88	19.34	12.41
Tem superficial max	25.55	28.89	27.5	24.77	19.65

