



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

CARRERA: INGENIERÍA AMBIENTAL

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

**MODALIDAD:
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**TEMA:
EVALUACIÓN DE LA VEGETACIÓN URBANA EN LA MITIGACIÓN DE ISLAS
DE CALOR EN LA ZONA CÉNTRICA DE LA CIUDAD DE ROCAFUERTE**

**AUTOR:
EDDY ENMANUEL MENDOZA BARRE**

**TUTOR:
ING. FABRICIO ENRIQUE ALCÍVAR INTRIAGO MG.**

CALCETA, JULIO 2024

DERECHOS DE AUTORÍA

Mendoza Barre Eddy Enmanuel, con cédula de ciudadanía 1313052514, declaro bajo juramento que el trabajo de integración Curricular titulado: **EVALUACIÓN DE LA VEGETACIÓN URBANA EN LA MITIGACIÓN DE ISLAS DE CALOR EN LA ZONA CÉNTRICA DE LA CIUDAD DE ROCAFUERTE**, es de mi 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, concedo 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 mi 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.



Mendoza Barre Eddy Enmanuel
CC: 1313052514

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Mendoza Barre Eddy Enmanuel, con cédula de ciudadanía 1313052514, autorizo a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Integración Curricular titulado: **EVALUACIÓN DE LA VEGETACIÓN URBANA EN LA MITIGACIÓN DE ISLAS DE CALOR EN LA ZONA CÉNTRICA DE LA CIUDAD DE ROCAFUERTE**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.



Mendoza Barre Eddy Enmanuel
CC: 1313052514

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Ing. FABRICIO ENRIQUE ALCÍVAR INTRIAGO Mg., certifica haber tutelado el Trabajo de Integración Curricular titulado: **“EVALUACIÓN DE LA VEGETACIÓN URBANA EN LA MITIGACIÓN DE ISLAS DE CALOR EN LA ZONA CÉNTRICA DE LA CIUDAD DE ROCAFUERTE”**, que ha sido desarrollado por **Mendoza Barre Eddy Enmanuel**, previa 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 Mg.

CC: 130863226-2

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el Trabajo de Integración Curricular titulado: “**EVALUACIÓN DE LA VEGETACIÓN URBANA EN LA MITIGACIÓN DE ISLAS DE CALOR EN LA ZONA CÉNTRICA DE LA CIUDAD DE ROCAFUERTE**”, que ha sido desarrollado por **Mendoza Barre Eddy Enmanuel**, previa 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. Carlos Fabián Solórzano, Mg.

C.C: 1306071984

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Kevin Alexander Patiño Alonzo, Mg.

C.C: 1313231118

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

ING. José Manuel Calderón Pincay, Mg.

C.C: 2300121833

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López por el aprendizaje de estos últimos años por enseñarme a prepararme como profesional. Siempre se presentaron Obstáculos a lo largo de mi carrera, pero gracias al apoyo de mis padres los he superado. En particular agradecer al Ing. Fabricio Enrique Alcívar Intriago, tutor de mi trabajo de Integración Curricular, su orientación, y dedicación fueron fundamentales en mi aprendizaje como estudiante en el proceso de investigación.

A mi madre que siempre estuvo conmigo apoyándome día a día, gracias a ella me estoy preparando como profesional y poder cumplir todas mis metas.

MENDOZA B. EDDY ENMANUEL

DEDICATORIA

A toda mi familia que siempre me apoyaron en este proceso como estudiante a mi persona por toda la paciencia y dedicación para poder ser un buen profesional. Este trabajo de titulación es el esfuerzo de 5 años de aprendizaje junto a mi familia pude superar todos los obstáculos.

MENDOZA BARRE EDDY ENMANUEL.

CONTENIDO GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA.....	ii
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN	iii
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL	v
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA	vii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES	1
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2. JUSTIFICACIÓN	2
1.3. OBJETIVOS	3
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	3
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.4. IDEA A DEFENDER.....	4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Isla de calor.....	5
2.2. Tipos de islas de calor urbana	5
2.1.1. Isla de calor de la capa de dosel (iccd).....	5
2.1.2. Isla de calor de la capa de perímetro (iccp).....	6
2.1.3. Isla de calor de superficie (ics)	6
2.3. Efectos de islas de calor	6
2.4. Impacto de la isla de calor urbana	7
2.5. Origen de las islas de calor	8
2.6. La teledetección como medida para reconocer islas de calor urbana.....	8

2.7.	Sensores remotos en la teledetección	9
2.8.	Metodología para calcular la isla de calor	10
2.9.	Causas asociadas al fenómeno de islas de calor	11
2.10.	Temperatura superficial	12
2.11.	Datos ráster	13
2.12.	Naturación urbana como mecanismo contra icu	13
2.13.	Vegetación en la ciudad de Rocafuerte	14
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO		16
3.1.	Ubicación	16
3.2.	Duración del trabajo	16
3.3.	Variables en estudio.....	16
3.3.1.	Variable dependiente.....	16
3.3.2.	Variable independiente	17
3.4.	Tipos de investigación.....	17
3.4.1.	Investigación cuantitativa.....	17
3.5.	Técnicas.....	17
3.5.1.	Análisis estadísticos	17
3.5.2.	Ficha de observación.....	17
3.6.	Métodos de investigación.....	18
3.6.1.	Métodos deductivo.....	18
3.6.2.	Método analítico	18
3.6.3.	Método estadístico.....	19
3.7.	Procedimiento	19
3.7.1.	Fase 1. Identificar las áreas de vegetación urbana existente en la ciudad de Rocafuerte	19

3.7.2. Fase 2. Estimar los efectos de la isla de calor urbana respecto a la temperatura de la zona céntrica de Rocafuerte, para la determinación de las ondas de calor.....	22
3.7.3. Fase 3. Evaluar la relación entre la presencia de vegetación urbana y los efectos de la isla de calor urbana en la ciudad de Rocafuerte	25
CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
4.1. Identificación de las áreas de vegetación urbana existente en la ciudad de Rocafuerte	26
4.2. Análisis los efectos de las islas de calor respecto a la temperatura de la zona céntrica de la ciudad de Rocafuerte.....	35
4.2.1. Temperatura de superficie de la tierra	35
4.2.2. Islas de calor.....	39
4.3. Relación entre la presencia de vegetación urbana y los efectos de las islas de calor en la zona urbana de la ciudad de Rocafuerte.....	44
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	46
5.1. CONCLUSIONES.....	46
5.2. RECOMENDACIONES	47
BIBLIOGRAFÍA	48
ANEXOS	58

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 3. 1. Ficha de observación.....	18
Tabla 3. 2. Interpretación del Coeficiente de correlación de Pearson.....	25
Tabla 4. 1. Distribución de árboles en el casco urbano de Rocafuerte	27
Tabla 4. 2. NDVI Max y Min del casco urbano de Rocafuerte 2019 - 2023	34
Tabla 4. 3. Temperatura superficial terrestre (LST) del casco urbano de Rocafuerte 2019 - 2023	39

Tabla 4. 4. Correlación de Pearson entre NDVI y LST en el casco urbano de Rocafuerte 2019 – 2023.....	45
--	----

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 3.1. Mapa de ubicación de la zona en estudio.	16
Figura 4. 1. Distribución predial, barrios del cantón Rocafuerte.	26
Figura 4. 2. Distribución de frecuencia por barrios, de la presencia de árboles en el casco urbano de Rocafuerte	28
Figura 4. 3. Imágenes satelitales Landast 8 del área en estudio.....	29
Figura 4. 4. Mapa de Índice de vegetación normalizada (NDVI) del casco urbano del cantón Rocafuerte 2019	31
Figura 4. 5. Mapa de Índice de vegetación normalizada (NDVI) del casco urbano del cantón Rocafuerte 2020	31
Figura 4. 6. Mapa de Índice de vegetación normalizada (NDVI) del casco urbano del cantón Rocafuerte 2021	32
Figura 4. 7. Mapa de Índice de vegetación normalizada (NDVI) del casco urbano del cantón Rocafuerte 2022	32
Figura 4. 8. Mapa de Índice de vegetación normalizada (NDVI) del casco urbano del cantón Rocafuerte 2023	33
Figura 4. 9. Curvas del NDVI Max y Min en el casco urbano del cantón Rocafuerte	34
Figura 4. 10. Temperatura superficial terrestre (LST) del casco urbano del cantón Rocafuerte 2019.....	35
Figura 4. 11. Temperatura superficial terrestre (LST) del casco urbano del cantón Rocafuerte 2020.....	36
Figura 4. 12. Temperatura superficial terrestre (LST) del casco urbano del cantón Rocafuerte 2021	36
Figura 4. 13. Temperatura superficial terrestre (LST) del casco urbano del cantón Rocafuerte 2022.....	37
Figura 4. 14. Temperatura superficial terrestre (LST) del casco urbano del cantón Rocafuerte 2023.....	37

Figura 4. 15. Curvas de la temperatura superficial terrestre Max y Min en el casco urbano del cantón Rocafuerte	39
Figura 4. 16. Isla de calor de casco urbano: cantón Rocafuerte 2019.....	40
Figura 4. 17. Isla de calor de casco urbano: cantón Rocafuerte 2020.....	41
Figura 4. 18. Isla de calor de casco urbano: cantón Rocafuerte 2021.....	41
Figura 4. 19. Isla de calor de casco urbano: cantón Rocafuerte 2022.....	42
Figura 4. 20. Isla de calor de casco urbano: cantón Rocafuerte 2023.....	42
Figura 4. 21. Distribución de la isla de calor urbana por barrios en el casco urbano de Rocafuerte 2019 – 2023.....	44

RESUMEN

La expansión urbana y la disminución de la vegetación ha intensificado la generación de la isla de calor a nivel mundial por lo que el presente estudio tuvo como objetivo evaluar la importancia de la vegetación urbana en la mitigación de islas de calor en la zona céntrica de la ciudad de Rocafuerte. La investigación se desarrolló en tres etapas: la primera consistió en la caracterización de la vegetación del casco urbano y la recopilación de imágenes satelitales Landast 8 para el cálculo del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI). En la segunda etapa se calculó la temperatura superficial terrestre y la intensidad de la isla de calor mediante el software QGis 3.28.5 y se elaboraron mapas representativos. En la tercera etapa se correlacionó la temperatura superficial terrestre y el NDVI utilizando el programa IBM Statistics SPSS. Se determinó que en el casco urbano de Rocafuerte en el periodo estudiado existe una densidad decreciente de la vegetación con valores de NDVI muy bajos. Mientras que los barrios más afectados por la intensidad de la isla de calor son Eloy Alfaro, Los Pinos y María Isabel, destacando a través de este estudio la importancia de la vegetación urbana en la mitigación de las islas de calor, debido que se identificó áreas donde la salud de la vegetación es baja debido a que la temperatura e intensidad del calor es mayor, por lo que es importante abordar la problemática mediante un modelo de gestión eficiente.

PALABRAS CLAVES: Isla de calor, expansión urbana, vegetación

ABSTRACT

Urban expansion and the decrease in vegetation has intensified the generation of heat islands worldwide, so the present study aimed to evaluate the importance of urban vegetation in mitigating heat islands in the central area in Rocafuerte city. The research was carried out in three stages: the first consisted of the characterization of the vegetation of the urban area and the compilation of Landsat 8 satellite images for the calculation of the normalized difference vegetation index (NDVI). In the second stage, the earth's surface temperature and the intensity of the heat island were calculated using the QGIS 3.28.5 software and representative maps were prepared. In the third stage, the earth's surface temperature and NDVI were correlated using the IBM Statistics SPSS program. It was determined that in the urban area of Rocafuerte in the period studied there is a decreasing density of vegetation with very low NDVI values. While the neighborhoods most affected by the intensity of the heat island are Eloy Alfaro, Los Pinos and María Isabel, highlighting through this study the importance of urban vegetation in the mitigation of heat islands, because areas were identified where the health of the vegetation is low because the temperature and intensity of the heat is higher, so it is important to address the problem through an efficient management model.

KEYWORDS: Heat island, urban expansion, vegetation

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Según Salas y Herrera, (2017) a nivel mundial, la expansión de la mancha urbana, la densificación y construcción de urbes constituyen un proceso por el cual se han modificado las condiciones físicas y climatológicas de los territorios por la utilización de materiales que retienen el calor y que propician el fenómeno de isla de calor urbano (ICU). Las islas de calor hacen referencia a la altura o alrededor del centro de la ciudad, la cual surge como resultado de la pérdida de cubierta vegetal y son reemplazadas por superficies impermeables como caminos, asfalto, construcción de hormigón, ladrillos y otros materiales de construcción que conducen al aumento de la temperatura, establecido por la Municipalidad de Curridaba, (2019).

De acuerdo con Quijano et al. (2017) los gradientes térmicos determinan el espacio urbano con intensas olas de calor en las grandes ciudades que han ido en aumento en las últimas décadas, siendo necesario la existencia de estudios cuantitativos que demuestren el impacto del crecimiento urbano en la temperatura de la ciudad. Por su parte, Maldonado (2021) establece que la morfología e intensidad de las ICU en climas cálidos se estudian mediante el fenómeno a meso escala y escala local que permiten escalar y analizar las diferencias térmicas de la zona urbana o centro de la ciudad.

Espinoza y Vide (2014), mencionan que la temperatura juega un papel importante en los estudios de climatología urbana, debido a que la relación que existe entre la temperatura del aire y la superficie terrestre, además las islas de calor se miden tradicionalmente mediante pares de estaciones meteorológicas que representan áreas urbanas. Remica (2017), indica que los habitantes de las ciudades más grandes no conocen el término técnico de este fenómeno especialmente cuando la temperatura comienza a subir por lo consiguiente una isla con altas temperaturas es una fuente de calor que ocurre en áreas urbanas e incluye la presencia de diferentes temperaturas especialmente en las noches dado que los materiales de construcción liberan muy lentamente el calor que atraparon durante el día.

Un estudio realizado por Picech (2017) establece que a nivel nacional existen estudios realizados sobre islas de calor en ciudades cálidas como Manta, Esmeraldas y Guayaquil, pues se han visto afectadas por el cambio climático ya que la temperatura y las precipitaciones han mostrado un aumento en sus valores, al igual que en otras localidades, el problema de las islas de calor de estas ciudades, se debe al proceso de densificación, ausencia de vegetación y al bloqueo de la brisa por las altas edificaciones en la costa.

Desde el punto de vista micro, Hernández (2017) manifiesta que la gran artificialización de los suelos en el cantón Rocafuerte tiende a exacerbar los impactos previstos del cambio climático, ya que la impermeabilización de los suelos debido a la ocupación urbana tradicional provoca un impacto hidrológico importante ya que aumenta el caudal y la velocidad del escurrimiento superficial, amplificando el impacto negativo de las inundaciones, que serán más frecuentes e intensas en un contexto de cambio climático. Con los antecedentes expuestos se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Qué relación existe entre el fenómeno de las islas de calor urbana y la vegetación en la zona céntrica de la ciudad de Rocafuerte?

1.2. JUSTIFICACIÓN

Desde el ámbito ambiental Lozada (2020) establece que el continuo incremento de las ciudades, población y el consumo son factores que por décadas han venido afectando la calidad ambiental, más aún en los centros urbanos ya que estos cada vez aumentan su número poblacional y áreas con construcciones tanto para el sector privado como para el sector gubernamental, este incremento continuo ocasiona que cada vez se reduzcan los espacios de permeabilidad y áreas verdes, perturbando así el ambiente en estos lugares. Este tipo de expansión permite la transformación de varios espacios naturales para consolidar el área urbana y esto conduce a un aumento paulatino de la temperatura superficial (Aguilar, 2021).

En el ámbito legal el presente proyecto 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 anexo “Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025”, específicamente Objetivo 3, donde indica “Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones”.

Con base a lo social, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos [EPA] (2023) establece que las islas de calor afectan más a algunos individuos que a otros y a medida que las ciudades hacen frente a temperaturas más elevadas, obteniendo un efecto de isla de calor, muchos gobiernos locales se enfocan más en proteger a las personas que se encuentran en situación de mayor vulnerabilidad ante el calor extremo, de manera que, los gobiernos locales apliquen principios de justicia ambiental en sus esfuerzos orientados a mitigar las islas de calor y prepararse para episodios de calor extremo.

Desde el ámbito investigativo, el análisis de las ICU en la zona céntrica es importante porque ayuda a comprender las causas y los mecanismos que las generan (Martínez, 2021). Además, permite identificar los grupos de población que son más vulnerables a los efectos de las ICU y a su vez puede ayudar a desarrollar estrategias para mitigar los efectos de las ICU (Thome y Gray, 2015).

Desde punto de vista económico, debido al crecimiento urbano en la ciudad de Rocafuerte y el aumento de construcciones con propósito residencial y comercial, y promoviendo el objetivo 11 del Plan de Creación de Oportunidades (2021-2025) se debe conservar, restaurar, proteger, y hacer un uso sostenible de los recursos naturales, cumpliendo con estrictas normas de gestión ambiental para garantizar los recursos y acceso a futuras generaciones.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la importancia de la vegetación urbana en la mitigación de islas de calor en la zona céntrica de la ciudad de Rocafuerte.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las áreas de vegetación urbana existentes en la zona céntrica de la ciudad de Rocafuerte.
- Analizar los efectos de las islas de calor respecto a la temperatura de la zona céntrica de la ciudad de Rocafuerte.
- Establecer la relación entre la presencia de vegetación urbana y los efectos de las islas de calor en la zona urbana de la ciudad de Rocafuerte.

1.4. IDEA A DEFENDER

La vegetación urbana establecida en áreas verdes de avenidas y parques incide en la reducción de los efectos de islas de calor de la zona céntrica de Rocafuerte.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. ISLA DE CALOR

Soto (2020) afirma que isla de calor urbana es un término manejado para referir la extensión de temperatura, superficie y atmósfera vinculada al desarrollo urbano, es decir que el efecto isla de calor aumenta el consumo de energía, la contaminación del aire, la contaminación térmica de los cuerpos de agua y, en general, reduce la calidad de vida de las personas.

Desde la perspectiva de Garau (2018), este fenómeno está relacionado con cambios en el balance térmico y el albedo, la radiación incidente o cambios en los flujos de calor sensible y latente y el calor generado en los sistemas de calefacción y refrigeración de las viviendas, el transporte motorizado o la actividad industrial. Por su parte, De Oliveira (2013), señala que la existencia de islas de calor urbanas (ICU) y sus contrapartes islas de frío urbano (IFU) son un problema climático bien conocido, debido principalmente al fenómeno del fuerte crecimiento urbano siendo este el fenómeno de modernización humana más visible y mejor documentado en los centros urbanos densamente poblados.

2.2. TIPOS DE ISLAS DE CALOR URBANA

Según Martínez (2021) la característica más específica de la isla de calor urbana es su intensidad, entendida como la diferencia entre la temperatura máxima urbana y la temperatura mínima rural. El mismo autor establece varios tipos de isla en función de:

2.1.1. ISLA DE CALOR DE LA CAPA DE DOSEL (ICCD)

Esto incluye caracterizar el calor en la atmósfera urbana (la capa de aire más cercana a la superficie) y su relación con las áreas terrestres más cercanas en términos de diferencias de temperatura, presentación y consecuencias de las temperaturas interiores urbanas elevadas (Martínez, 2021).

2.1.2. ISLA DE CALOR DE LA CAPA DE PERÍMETRO (ICCP)

Por encima de la capa de dosel urbana se encuentra la capa de perímetro urbana la cual puede ser de 1 kilómetro (km) o más de espesor durante el día, y encogerse a cientos de metros o menos durante la noche (Navarro y Navarro, 2016). La ICCP es la que forma una cúpula de aire más caliente que se extiende en dirección del viento más allá de la ciudad. El viento a menudo le cambia la forma a la cúpula por una forma de pluma (Martínez, 2021). Las islas de calor de la capa de perímetro muestran mucho menos variabilidad que los otros tipos de islas de calor, y un corte transversal muestra que su forma se parece a una simple cúpula o pluma, donde el aire más caliente es transportado con el viento fuera de la ciudad (García, 2018).

2.1.3. ISLA DE CALOR DE SUPERFICIE (ICS)

Esto se refiere a la diferencia de temperatura del aire entre la atmósfera exterior y la interfaz de sólidos que se presenta en las ciudades y la correspondiente interfaz aire-tierra rural (Martínez, 2021). García (2018) a su vez explica que es un fenómeno que incluye a todos los componentes de la ciudad, estas temperaturas siguen un patrón que es sensible a la dirección del sol y la dirección del viento nocturno en el componente superficial, así como su efecto térmico. y propiedades radiactivas. Haciendo énfasis a lo citado anteriormente, las 2 primeras Islas responden al aumento de temperatura de la atmósfera y la última al valor relativo de las superficies urbanas.

2.3. EFECTOS DE ISLAS DE CALOR

Según la National Aeronautics and Space Administration [NASA] (2015) los científicos descubrieron por primera vez el efecto isla de calor en el siglo XIX, cuando observaron que las ciudades eran más cálidas que el campo circundante, especialmente en verano, de esta manera el mismo autor dice que la superficie impermeable de la ciudad también permite una escorrentía más rápida, lo que reduce el efecto de enfriamiento natural del agua en el paisaje; asimismo la falta de árboles y otra vegetación también significa menos evaporación, y el proceso por el

cual los árboles "respiran" agua también proporciona sombra, un efecto refrescante secundario en los paisajes urbanos.

Por su parte, Thome y Gray (2015) manifiestan que el efecto isla de calor urbano ocurre básicamente durante el día, cuando las superficies impermeables de la ciudad impregnan más luz solar que las áreas con vegetación vecinas; asimismo, los árboles, la hierba y otra vegetación enfrían el aire de forma natural como subproducto de la fotosíntesis. Asimismo, liberan agua de regreso a la atmósfera a través de un proceso llamado evaporación, que enfría la temperatura de la superficie local de la misma manera que el sudor enfría la piel humana a medida que se evapora.

La presencia o ausencia de vegetación es un factor importante en el calentamiento urbano, ya que se usan datos de múltiples satélites, los investigadores modelaron áreas urbanas y sus alrededores y encontraron que las áreas parcialmente cubiertas por superficies impermeables, ya sea en el centro, suburbano o interestatal, tenían temperaturas promedio de verano más altas que las áreas rurales circundantes en 1,9°C. En invierno, la diferencia de temperatura es 1,5°C más alta (Thome y Gray, 2015).

Cabe mencionar que al reducir el efecto de las islas de calor se reducen también los problemas de la salud relacionados con la contaminación, el ozono troposférico, el estrés térmico y mejora significativamente la calidad de los espacios públicos.

2.4. IMPACTO DE LA ISLA DE CALOR URBANA

De acuerdo a Grajeda et al. (2023) son cuatro aspectos negativos que la ICU introduce a las ciudades, los cuales son:

1. Incremento de la demanda eléctrica ocasionado el aumento de las emisiones de gases de tipo invernadero,
2. Afectaciones en la salud,
3. Afectaciones en la calidad del aire y
4. Potencialización del número de olas de calor en climas cálidos.

2.5. ORIGEN DE LAS ISLAS DE CALOR

Las islas de calor son el resultado de procesos de urbanización que provocan cambios fundamentales y, a menudo, irreversibles en la cubierta vegetal y el uso de la tierra, así como también interrumpen la atmósfera y el flujo de energía entre diferentes superficies, cambiando así el clima local (Tejedor et al. 2016, p. 142).

Según Castellanos y Montoya (2020), el fenómeno de la isla de calor urbana se considera un problema que se presenta en todas las grandes ciudades del mundo, donde existe una diferencia de temperatura importante entre las zonas urbanas y rurales, seguida de una serie de muertes, consecuencias para los humanos. El fortalecimiento de estas islas de calor está relacionado con el desempeño térmico de los materiales impermeabilizantes característicos de la urbanización, lo que afecta el consumo de energía y la salud de los residentes urbanos. (Orozco, 2020, p. 13).

2.6. LA TELEDETECCIÓN COMO MEDIDA PARA RECONOCER ISLAS DE CALOR URBANA

Según García (2018), la teledetección es un método mediante el cual se puede obtener información remota de objetos en la superficie terrestre mediante sensores colocados en satélites o estaciones espaciales para su posterior procesamiento y análisis. De igual forma, Godínez y López (2018) señalan que la teledetección es un método fundamental para la obtención de imágenes de la superficie terrestre a partir de sensores montados en plataformas espaciales, siempre que exista una interacción energética entre la Tierra y los sensores, ya sea reflejando energía solar o rayos de energía artificial, o auto irradiantes.

Por su parte, Lozada, (2020) manifiesta que esta técnica permite obtener información acerca del clima, de la superficie terrestre, entre otras, esto a grandes distancias mediante sensores ubicados en satélites o estaciones espaciales, la información que se obtiene mediante los sensores es procesada posterior a su obtención. De acuerdo con De Oliveira (2013) “este es el método más adecuado y

atractivo para la determinación continua de la temperatura de la superficie terrestre, que es muy relevante para la complejidad de las áreas urbanas” (p. 13).

2.7. SENSORES REMOTOS EN LA TELEDETECCIÓN

Castellanos y Montoya, (2020) indican que, para identificar las islas de calor urbano, los científicos utilizan métodos directos e indirectos, modelos numéricos y estimaciones basadas en modelos empíricos. Los investigadores a menudo usan sensores remotos, una técnica de medición indirecta, para estimar las temperaturas de la superficie, esto con el fin de identificar plenamente la presencia de las islas de calor urbano, la propagación que se genera con el transcurrir del tiempo y su afectación en el espacio.

Los mismos autores, afirman que los investigadores utilizan métodos directos e indirectos, modelos numéricos y estimaciones basadas en modelos empíricos para identificar islas de calor urbanas; de esta manera los científicos a menudo utilizan la detección remota, un método de medición indirecta, para estimar las temperaturas de la superficie para determinar completamente la existencia de islas de calor urbanas, su distribución a lo largo del tiempo y su ocurrencia.

De acuerdo con Espinoza y Vide (2014), existe un gran número de sensores remotos útiles para el estudio de la ICUs, tales como Landsat TM y ETM+4 NOAA AVHRR, Terra ASTER y Terra MODIS. Los sensores Terra han avanzado más que los demás, pues han suministrado a los investigadores las librerías de emisividad de las diferentes cubiertas terrestre, además, en el caso de Terra MODIS se poseen subproductos específicos corregidos para el estudio de la temperatura de superficie y su frecuencia de registro es diaria.

De acuerdo con Lozada, (2020) estos sensores cuentan con la habilidad para registrar mediante distintas resoluciones al momento de obtener la información, esta resolución implica 4 manifestaciones las cuales son:

- Resolución espacial: Campo instantáneo visual, teniendo en cuenta al cuerpo más pequeño que se puede diferenciar en la imagen.

- Resolución temporal: Hace referencia a los intervalos de tiempo o el tiempo específico en el cual el sensor proporciona información acerca de un punto.
- Resolución radiométrica: Aquí se representa el número de niveles digitales de la imagen. Cada pixel viene determinado como un número entero y este se llama nivel digital.

2.8. METODOLOGÍA PARA CALCULAR LA ISLA DE CALOR

Determinar el efecto isla de calor urbano es un indicador importante para evaluar la gravedad y el impacto de la urbanización en una región. De esta forma, Herbel et al. (2015) exponen que existen cinco enfoques básicos para la detección de UHI: estaciones fijas, laterales móviles, sensores verticales, balance de energía y sensores remotos.

- **Estaciones fijas.** La mayoría de las ciudades de todo el mundo tienen estaciones meteorológicas con años de información acumulada sobre las temperaturas del aire, la velocidad del viento, la cobertura de las nubes, la humedad y los niveles de precipitación
- **Transversales móviles.** Este método se considera una forma económica de estudiar las islas de calor de un área urbana, suburbana y rural. Se lleva a cabo siguiendo una trayectoria de una región, deteniéndose en lugares representativos para tomar la lectura y medir las máximas intensidades de las islas de calor.
- **Sensores verticales.** Este método consiste en la instalación de equipos de monitoreo en torres de radio, lanzamiento de globos meteorológicos instrumentados, o volando a diferentes altitudes en un helicóptero.
- **Balance de energía sobre superficies urbanas.** Es uno de los mecanismos más afectados es el balance de energía, debido al sistema ciudad-atmósfera, ya que la energía disponible o radiación neta en un sitio dado por el balance de radiación superficie-atmósfera, se disipa principalmente por el calor usado en el calentamiento del aire (flujo de calor sensible) y el usado en la evaporación de agua (flujo de calor latente).

- **Teledetección.** La teledetección representa una herramienta en el análisis y monitoreo de la ocurrencia, intensidad y desarrollo de la isla de calor urbano.

2.9. CAUSAS ASOCIADAS AL FENÓMENO DE ISLAS DE CALOR

Los científicos, al estudiar los paisajes urbanos, descubrieron que la fuerza de una "isla de calor" creada por una ciudad depende del ecosistema que desplaza y del clima regional ya que las áreas urbanas desarrolladas en regiones áridas y semiáridas calientan mucho menos que las ciudades construidas en bosques y climas templados en comparación con el campo circundante (NASA, 2015).

Para Naslund et al. (2016) el llamado fenómeno isla de calor se origina por diversas causas más allá de la absorción de la energía solar, entre las que se encuentran:

- Escasez de parques o áreas verdes en las ciudades, los árboles proporcionan sombra y césped; las plantas acumulan humedad, fenómeno que enfría el aire y el suelo.
- La gran concentración y cercanía de las personas viviendo en las urbes, hace que el calor aumente.
- El tamaño y distribución espacial de las ciudades también incide en la producción de calor, un gran número de edificios compactos que se construyen cercanos uno al otro, hace que el calor aumente.
- Los techos oscuros de casas y edificios absorben grandes cantidades de calor.
- La contaminación atmosférica procedente de la emisión de gases de efecto invernadero, otros contaminantes y material particulado.
- Calor y vapor de agua provenientes de la quema de combustibles, sistemas de refrigeración y calefacción.
- Recubrimiento del suelo con asfalto o concreto a prueba de agua.
- Otras causas incluyen la contaminación del aire por emisiones de gases de efecto invernadero, otros contaminantes y emisiones de partículas; calor y vapor de la combustión; sistemas de refrigeración y calefacción,

revestimientos de tierra natural e impermeabilización asfáltica o de hormigón.

Según Baño y Salazar, (2018) las causas de la formación de las islas de calor son varias y esto debido a modificaciones atmosféricas y superficiales.

- Clima, topografía y envolvente rural (localización geográfica)
- Estación climática.
- Dificultad del flujo de aire, viento, nubosidad
- Configuración de la ciudad (áreas verdes, materiales de construcción, tamaño y áreas de permeabilidad)
- Bajo nivel de evapotranspiración.
- Alta absorción de la radiación solar debido al débil albedo.

2.10. TEMPERATURA SUPERFICIAL

La temperatura de la superficie terrestre se obtiene según Castellanos y Montoya (2020), utilizando principalmente sensores remotos que registran valores aéreos de la temperatura emisiva de la cobertura terrestre para comprender su distribución.

De acuerdo con Applied Remote Sensing Training Program [ARSET] (2022), los mapas de calor de los satélites se pueden usar para monitorear la temperatura de la superficie de la Tierra, mientras que los datos ópticos recopilados de los satélites pueden informar dónde y cuándo el uso de la tierra y la cobertura de la tierra cambian con el tiempo y se pueden usar para estimar la temperatura del aire.

Este fenómeno está asociado con estructura urbana que se han diseñado, a la predominancia a fuentes de calor artificiales, asimismo la temperatura entre áreas urbanas y rurales se denominan intensidad de isla de calor y sus valores se basan en condiciones locales, la falta de vegetación en la ciudad y la mala calidad de carreteras lleno de vehículos hacen que el cielo pueda cambiar la intensidad de una isla de calor como la velocidad, vientos, nubes y luz del sol (Picech, 2017).

2.11. DATOS RÁSTER

Según Gómez (2020), un formato ráster es un modelo de datos para satélite y otros datos de teledetección, los mapas de bits a menudo se ven pixelados porque cada píxel tiene su propio valor o categoría; ejemplo: en las imágenes de satélite, cada valor de píxel corresponde a un valor de color: rojo, verde y azul o en un modelo de elevación digital (MDE), cada valor de píxel representa una elevación específica, que se diferencia gráficamente por la sombra.

De acuerdo con Vitery (2022), los datos almacenados en formato ráster representan fenómenos del mundo real tales como:

- Los datos temáticos (también conocidos como discretos) son unidades como los datos sobre la tierra o el uso de la tierra.
- Datos continuos que representan fenómenos como temperatura, altitud o datos espectrales, incluidas imágenes satelitales y fotografías aéreas.

En resumen, se ha descubierto que no siempre es fácil decidir qué formato de representación de datos geográficos es el mejor para usar en proyectos o en la creación de mapas, lo más importante aquí es saber qué tipo de variable representa, continua o discreta, y luego tomar una decisión.

2.12. NATURACIÓN URBANA COMO MECANISMO CONTRA ICU

De esta forma, Vázquez (2020) confirma que se puede denominar naturación urbana a un concepto que engloba todas las unidades vegetales que se pretenden integrar en el entorno urbano: jardines, aceras, cubiertas, arbolado urbano, plantaciones urbanas, entre otros.

De forma general Ráez (2018), menciona aspectos beneficiosos de la naturación urbana:

- **Bienestar y salud urbana:** La vegetación genera bienestar social, protege de la reacción solar, del viento y reduce la cantidad de ruido y contaminantes.

- **Aumento de la biodiversidad:** Gracias a la presencia de vegetación abundante se favorece este incremento ya que la vegetación se comporta como hábitat y alimento para las distintas especies
- **Mejora de la gestión del agua:** Las superficies permeables y vegetadas tienen un mejor comportamiento hídrico, que las superficies impermeables.
- **Minimización de la huella ecológica:** A través de la recuperación de su superficie natural como reducción de consumo de energía, desarrollo de la autogestión, disminución de residuos y materiales de biodiversidad.
- **Contribución a reducir el cambio climático:** Como consecuencia de todo lo anterior y también su carácter de sumidero de contaminantes el tiempo que regula las condiciones higrotérmicas de un espacio, contribuyendo a la disminución de la temperatura en áreas vegetales.

2.13. VEGETACIÓN EN LA CIUDAD DE ROCAFUERTE

De acuerdo con el GAD Municipal del cantón Rocafuerte (2016) la vegetación en la ciudad de Rocafuerte es diversa, con una variedad de árboles, arbustos y plantas. La vegetación es importante para la ciudad por varias razones, incluyendo:

- Proporciona sombra y reduce la temperatura, lo que puede ayudar a mejorar la calidad del aire y reducir el consumo de energía.
- Proporciona un hábitat para la vida silvestre, lo que puede mejorar la calidad de vida de las personas y hacer que la ciudad sea más atractiva.
- Ayuda a prevenir la erosión y la contaminación del agua.
- Mejora el paisaje y hace que la ciudad sea más agradable.

Según el censo de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales - 2012 INEC, el cantón Rocafuerte presenta 82.655,78 m² de áreas verdes para una población urbana de 10.210 personas, al 2019, tiene un IVU de 8,09 m² por habitante, razón por la cual no cumpliría con el mínimo establecido por la OMS. Asimismo, cuenta con vegetación herbácea seca y la vegetación herbácea húmeda, las cuales se identifican con el uso de "Conservación y Producción"; el mismo que ocupa el tercer lugar en superficie dentro del cantón. Este tipo de vegetación sirve en muchas veces como

alimentación para el ganado y se ubica en las zonas norte, sur, suroeste y dispersos en la zona este del cantón (GAD Municipal de Rocafuerte 2016)

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1. UBICACIÓN

La presente investigación se llevó a cabo en la Cantón de Rocafuerte, provincia de Manabí, cuya zona a evaluar fue la parte céntrica donde la temperatura promedio varía de 21°C a 3°C y rara vez baja a menos de 20°C o sube a más de 32°C. El cantón Rocafuerte se encuentra en las coordenadas 0° 93' 54" de latitud sur y de longitud oeste 80° 45' 18".

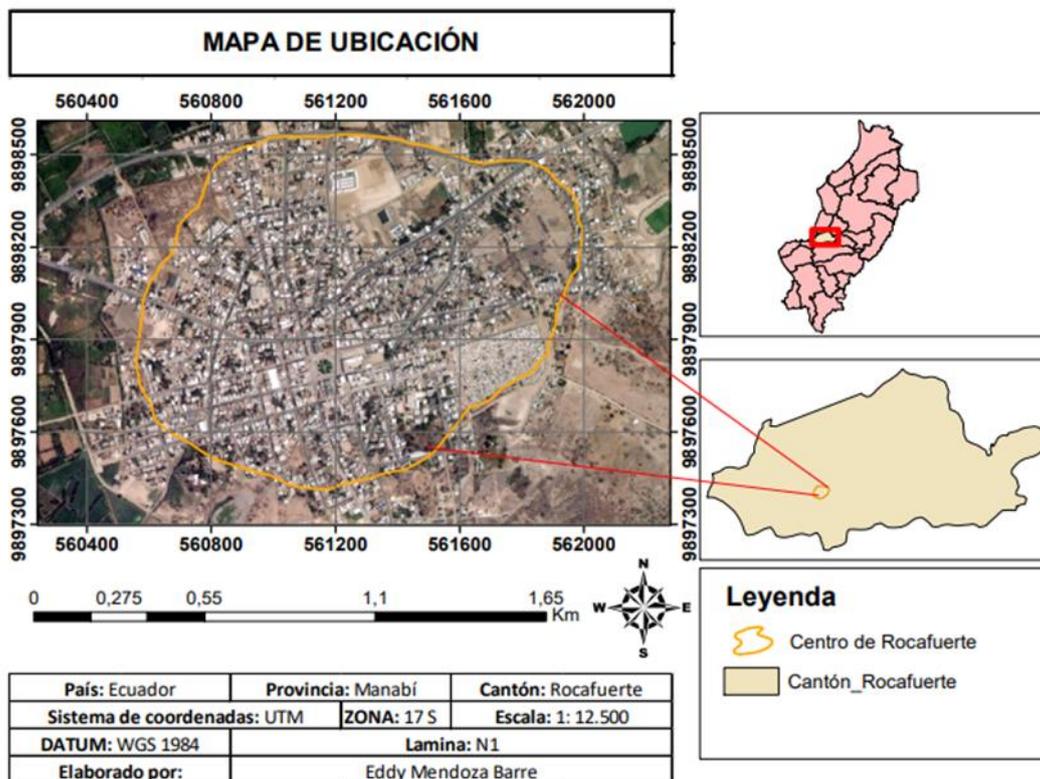


Figura 3.1. Mapa de ubicación de la zona en estudio.

3.2. DURACIÓN DEL TRABAJO

El tiempo de duración de la presente investigación fue de nueve meses a partir de la fecha de aprobación del proyecto del trabajo de integración curricular.

3.3. VARIABLES EN ESTUDIO

3.3.1. VARIABLE DEPENDIENTE

- Vegetación urbana

3.3.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

- Isla de calor

3.4. TIPOS DE INVESTIGACIÓN

3.4.1. INVESTIGACIÓN CUANTITATIVA

Rus (2021), indica que la investigación cuantitativa es el único tipo de investigación que puede sacar conclusiones más grandes en una población. Por lo tanto, su importancia radica principalmente en la calidad de la posición de investigación de variables numéricas de gran calidad. Este tipo de investigación se utilizó para recolectar datos sobre la temperatura y la humedad en el área urbana en estudio. Estos datos se utilizarán para crear los mapas de temperatura superficial terrestre, que ayudarán a identificar las áreas con islas de calor.

3.5. TÉCNICAS

3.5.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Por medio del satélite Landsat 8 se comprobó los datos de temperaturas de la superficie terrestre, los cuales fueron seleccionados de estaciones meteorológicas ubicadas en la ciudad de Rocafuerte para identificar las islas de calor urbana (García, 2018).

3.5.2. FICHA DE OBSERVACIÓN

Según Aponte y Herrera (2019), los estudios tienen como finalidad mostrar la relación entre la rúbrica de observación, el tipo de investigación tiene una relación descriptiva con métodos cuantitativos no experimentales. Se efectuó un muestreo en el cual se utilizaron las rúbricas de observación, lo que permitió constatar en un documento, por escrito, de lo que sucede en el lugar de estudio (tabla 2.1).

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 Rocafuerte.				
Ficha de observación del área de estudio				
Lugar				
Fecha				
Investigadores				

Croquis de la zona de estudio:

Manzanas	Calles	nº edificios	nº árboles	Observaciones

3.6. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

3.6.1. MÉTODOS DEDUCTIVO

Palmett (2020), manifiesta que este método es asociado a la investigación cuantitativa, se debe mencionar que en el método deductivo se requiere un equilibrio de mayor confianza a los resultados estadísticos que se tomaron en cuenta los procedimientos de la investigación. Este el método deductivo se utilizó para llegar a conclusiones sobre los efectos de las islas de calor en la salud humana, la economía y el medio ambiente.

3.6.2. MÉTODO ANALÍTICO

Según López y Ramos (2021) los métodos de análisis se utilizan para abordar y evaluar la variedad de perspectiva presente en varios métodos de investigación y para identificar aspectos coincidentes, problemáticos o salvables en cada caso,

asimismo este método ayudó a comprender el estudio requerido de las islas de calor en la ciudad de Rocafuerte y así poder plantear nuevas teorías acerca de la investigación.

3.6.3. MÉTODO ESTADÍSTICO

De acuerdo con Vásquez y Ruíz (2019), los métodos estadísticos establecen una relación funcional entre los factores de inestabilidad y las distribuciones de deslizamientos pasadas y presentes, es por ello que estas relaciones normalmente corresponden a funciones de densidad de deslizamientos que se pueden establecer para cada factor individual. Se aplicó para monitorear la evolución de las islas de calor urbana en el tiempo. Esto es importante para comprender los efectos del cambio climático en las ciudades y desarrollar medidas para adaptarse a ellos.

3.7. PROCEDIMIENTO

3.7.1. FASE 1. IDENTIFICAR LAS ÁREAS DE VEGETACIÓN URBANA EXISTENTE EN LA CIUDAD DE ROCAFUERTE

Actividad 1. Descripción del área de estudio

Se realizó la descripción del área de estudio mediante la metodología aplicada por Viteri (2022) en la cual se efectuó la representación del área de estudio, relacionando la ICU con el número de edificaciones, calles, barrios que conforman y la cantidad de árboles que se encuentran en la zona céntrica de la ciudad, esta información será adquirida por medio del GAD del cantón Rocafuerte, indicada en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT), Plan de Uso y Gestión del suelo (PUGS) del cantón, además se utilizaron la cartografía del cantón obtenida de los geoportales del Instituto Geográfico Militar (IGM), Sistema Nacional de Información (SNI), de Google Earth, agregando a eso la verificación de información de la ficha de investigación.

Actividad 2. Recopilación de imágenes satelitales

Se utilizaron imágenes satelitales Landsat 8 obtenidas desde el servidor de imágenes Earth Explorer (Servicio Geológico de Estados Unidos [USGS], 2018).

En esta plataforma las imágenes seleccionadas corresponden a la colección 1 nivel 1 y se aplicó 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 y 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 170x183 Km. Además, se consideró el porcentaje de nubosidad <30% como residencial para los años 2014 – 2019.

Las imágenes se descargaron con un porcentaje de nubosidad de 12%, con el objetivo de tener una mejor calidad visual del área en estudio, debido a que la presencia de nubes en este tipo de imágenes provoca ruido e interfieren en la observación de los parámetros a evaluar. Para el tratamiento de las imágenes satelitales se procedió de acuerdo con las metodologías de Ariza (2013) las cuales fueron procesadas en el sistema de información geográfico ArcGIS 10.3 y su herramienta Calculadora Ráster para interactuar con las bandas de la imagen satelital.

Las imágenes se georreferenciaron utilizando el sistema de coordenadas Datum WGS84 y la proyección UTM Zona 17 Sur para garantizar la precisión espacial. Después, se realizó recortaron las imágenes, centrándose en el área urbana de Rocafuerte de las cuatro bandas analizadas (B3, B4, B5, B10). Lo que permitió una presentación detallada y precisa del área en estudio, que permitió obtener datos de buena calidad

Actividad 3. Análisis de la información digital

Para obtener los resultados, cada imagen se analizó en cuanto a calidad, nitidez y tasa de nubosidad en un área determinada, la imagen satelital descargada se mostró y cargó la capa del área de estudio con la capa límite de la ciudad de Rocafuerte sobre la cual se ubica el área de estudio y se continuó la extracción de la misma mediante la herramienta Extraer con máscara, creando un polígono de ciudad que se utilizó como imagen de referencia para el cálculo temperatura superficial del suelo (LST) y vegetación NDVI con índice diferencial normalizado (Gómez, 2020).

Actividad 4. Cálculos de Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada

Para el cálculo del índice NDVI se utilizó la fórmula estándar del NDVI, según Guzmán (2021) el Índice de Vegetación Diferencial Normalizado se calculó mediante la ecuación 3.1.

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad [3.1]$$

Donde:

NIR: Banda del infrarrojo cercano

RED: Banda visible roja.

Dado que la vegetación es uno de los principales factores de los ecosistemas terrestres de diversos procesos biofísicos, es importante contar con herramientas adecuadas para su seguimiento. El índice de la vegetación espectral es uno de los métodos más efectivos para evaluar la vegetación a gran escala (Cruz et al, 2020).

- **Cálculo de NDVI en ArcGIS**

De acuerdo con Vitery (2022) para obtener los valores NDVI en imágenes Landsat 8 usando ArcGIS se aplicó la siguiente ecuación.

$$NDVI = \frac{(band (NIR) 5 - band (R) 4)}{(band (NIR) 5 + band (R) 4)} \quad [3.2]$$

En las imágenes Landsat 8, la banda 4 (0,64 – 0,67 μ m) corresponde al rojo (R) y la banda 5 (0,85 – 0,88 μ m) al infrarrojo (NIR) (Montoya, 2016), por lo tanto, para el cálculo NDVI se requiere contar con ambas bandas, de esta manera se obtuvo el Índice de Vegetación Diferencial Normalizado para las 5 imágenes establecidas.

3.7.2. FASE 2. ESTIMAR LOS EFECTOS DE LA ISLA DE CALOR URBANA RESPECTO A LA TEMPERATURA DE LA ZONA CÉNTRICA DE ROCAFUERTE, PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS ONDAS DE CALOR

Para calcular el LST se utilizaron las fórmulas de USGS (2016), ya que con los datos de Landsat Collections Level-1 se escalan la radiancia de la parte superior de la atmósfera (TOA) utilizando coeficientes de escalado radiométrico compensados en el archivo de metadatos que se entrega con el producto Level-1. El archivo de metadatos también contiene las constantes térmicas necesarias para convertir los datos de la banda térmica a la temperatura de brillo TOA, para realizar este procedimiento se utilizaron las ecuaciones mencionadas en esta actividad.

- **Conversión a TOA (Top of Atmospheric) radiancia spectral L_λ (Domingo y Conde, 2023):**

$$L_\lambda = M_L * Q_{cal} + A_L \quad [3.3]$$

En dónde:

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

M_L = Factor de cambio de escala multiplicativo específico de banda de los metadatos.

A_L =Factor de ajuste de escala aditivo específico de banda de los metadatos.

Q_{cal} = Valores de píxeles de los productos estándar cuantificados y calibrados.

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

Se determinó mediante la porción de la vegetación indicada por Domingo y Conde (2023) a partir del NDVI con sus valores máximos y mínimos respectivamente empleando la ecuación 4.

$$P_V = Square \left(\frac{(NDVI - NDVI_{min})}{(NDVI_{max} + NDVI_{min})} \right) \quad [3.4]$$

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

Los datos de la banda térmica se convirtieron a radiancia espectral a temperatura de brillo superior de la atmósfera utilizando las constantes térmicas en el archivo MTL aplicando la ecuación 5 (Domingo y Conde, 2023).

$$BT = \frac{K_2}{L_n \left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1 \right)} - 273.15 \quad [3.5]$$

En dónde:

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

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

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)**

Se determinó la porción de la vegetación a partir del NDVI con sus valores máximos y mínimos respectivamente empleando la ecuación 3.6 (Domingo y Conde, 2023):

$$P_V = \text{Square} \left(\frac{(NDVI - NDVI_{min})}{(NDVI_{max} + NDVI_{min})} \right) \quad [3.6]$$

- **Cálculo de la Emisividad ϵ**

Después de obtener los valores de NDVI y P_V , se establecieron las distintas emisividades, las cuales se calcularon mediante valores diferentes para las bandas 10 y la banda 11 (ecuación 7) (Domingo y Conde, 2023):

$$\epsilon = 0,004 * P_V + 0,986 \quad [3.7]$$

- **Cálculo la temperatura de superficie de la tierra**

Finalmente, se utilizó la ecuación 3.8 de LST para conseguir el mapa de temperatura de superficie (Sobrinoa y Jiménez, 2004).

$$LST = \left(\frac{BT}{1 + \left(\frac{0,00115 \cdot BT}{1,4388} \right) \cdot \ln(\varepsilon)} \right) \quad [3.8]$$

Dónde:

W= constante de Wavelength ($11,5 \mu\text{m} = 0,00115$)

P= $h \cdot c / s = 1,43888$

h = Constante de Plancks

c = Constante de Boltzmann

s = Velocidad de la luz

Actividad 6. Delimitación y análisis de las Islas de calor

Las islas de calor están estrechamente relacionadas con las pruebas térmicas, por debido a que las ciudades desarrollan más islas calientes (Orozco, 2020). Por ello, la detección de islas de calor se realizará con datos de temperatura (LST) a través de imágenes satelitales importantes en la región mediante los métodos propuestos por Rivas (2022), para lo cual se realizó una delimitación en el área urbana con un polígono generado en ArcMap 10.5 por el valor típica de la herramienta Focal Statistics de la sección Neighborhood de Spatial Analyst tools para el posterior análisis de 5 mapas de Temperatura Superficial Terrestre.

Para analizar las islas de calor, en forma general, se elaboró un mapa representativo, el cual permitió ubicar con mayor representación la precisión de las islas de calor en las superficies que tienen una temperatura mayor al promedio de la temperatura encontrada en el área urbanizada de la zona céntrica de la ciudad de Rocafuerte (García, 2021).

3.7.3. FASE 3. EVALUAR LA RELACIÓN ENTRE LA PRESENCIA DE VEGETACIÓN URBANA Y LOS EFECTOS DE LA ISLA DE CALOR URBANA EN LA CIUDAD DE ROCAFUERTE

Actividad 7. Correlación de Pearson para los datos obtenidos

Para calcular el coeficiente de correlación de Pearson entre las variables temperatura superficial terrestre y los mapas de NDVI, para realizar dicho proceso se utilizó una red de puntos a través de la herramienta de Spatial Analyst tools de ArcMap 10.5 donde se extraerán los datos y posteriormente, se aplicará un análisis estadístico para comprobar su correlación utilizando el programa IBM Statistics SPSS (Fiallos, 2021). Los valores que se obtengan de la correlación de Pearson se les realizó verificación mediante la tabla 2 indicada por Suárez (2011).

Tabla 3.2. Interpretación 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. IDENTIFICACIÓN DE LAS ÁREAS DE VEGETACIÓN URBANA EXISTENTE EN LA CIUDAD DE ROCAFUERTE

De acuerdo a la cartografía del cantón el área urbana de Rocafuerte cuenta con 4,155 predios. La información catastral dispuesta por el GAD de Rocafuerte (2023) divide al casco urbano en 15 barrios. El área de estudio tiene una extensión de 3.48 km² dividida en 81 manzanas y conformada por siguientes barrios como se muestra en la figura 4.1: Colinas Pichincha, Conaro, Cruz Misión, Eloy Alfaro, La Isla, La Pampa, Lomas De Cementerio, Los Pinos, María Isabel, Municipal, Narcisca De Jesús, San José, San Miguel, Sucre.

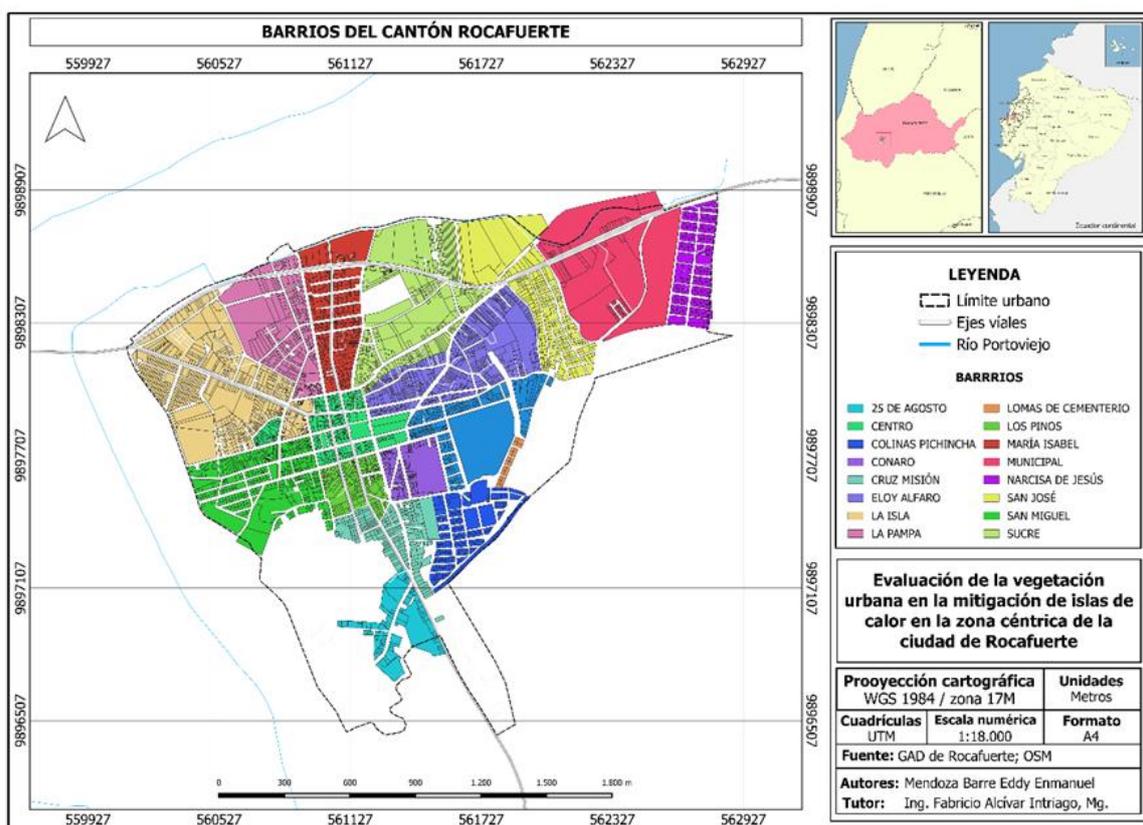


Figura 4.1. Distribución predial, barrios del cantón Rocafuerte.

Como se muestra en la tabla 4.1, el análisis de la distribución de la cobertura vegetal (árboles) en los barrios del casco urbano, muestra patrones de distribución significativos. Particularmente el barrio municipal sobresale contando con la mayor

cantidad de árboles (777), principalmente de la especie Cocos nucifera (cocos). Barrios como Sucre (308 árboles) y San Miguel (362 árboles) también destacan con la presencia de árboles. Seguido de los barrios La Isla y Colinas Pichincha (318 y 213, respectivamente). En contraste a lo presentado, barrios como: Lomas de Cementerio (12 árboles) y Los Pinos (15 árboles) presentan poca cobertura de árboles.

Tabla 4.1. Distribución de árboles en el casco urbano de Rocafuerte

Barrios	Número de árboles
Municipal	777
San Miguel	362
Eloy Alfaro	329
La Isla	318
Sucre	308
San José	282
Colinas Pichincha	213
25 De agosto	210
Cementerio	171
Cruz Misión	159
La Pampa	149
María Isabel	109
Centro	102
Narcisca De Jesús	80
Conaro	72
Los Pinos	15
Lomas De Cementerio	0

La distribución de árboles observada en los diferentes barrios del casco urbano de Rocafuerte es similar a la encontrada en el estudio de McDonald et al. (2021) donde determinaron que algunos barrios tenían una mayor densidad de árboles que otros. Este hallazgo está en línea con lo observado en el área de estudio, donde el barrio municipal cuenta con una mayor cantidad de árboles, seguido de cerca por barrios como Sucre y San Miguel. Santamorius y Osmond (2020) describen que la planificación urbana y las políticas públicas influyen en la distribución de la cobertura vegetal, la existencia de zonas verdes, parques y programas de siembra, influyen en que ciertos lugares del área en estudio cuenten con más árboles que otras.

En el análisis de la distribución de árboles en los barrios del casco urbano del cantón Rocafuerte (Figura 4.2), es notable que el barrio Centro, siendo el epicentro urbano de la ciudad, cuenta con un total de 102 árboles, representando un 3% del

total de árboles. A pesar de que la cantidad de árboles no es la suficiente para esta área, la presencia de cobertura arbórea en la parte céntrica tiene efectos significativos en la calidad del entorno urbano.

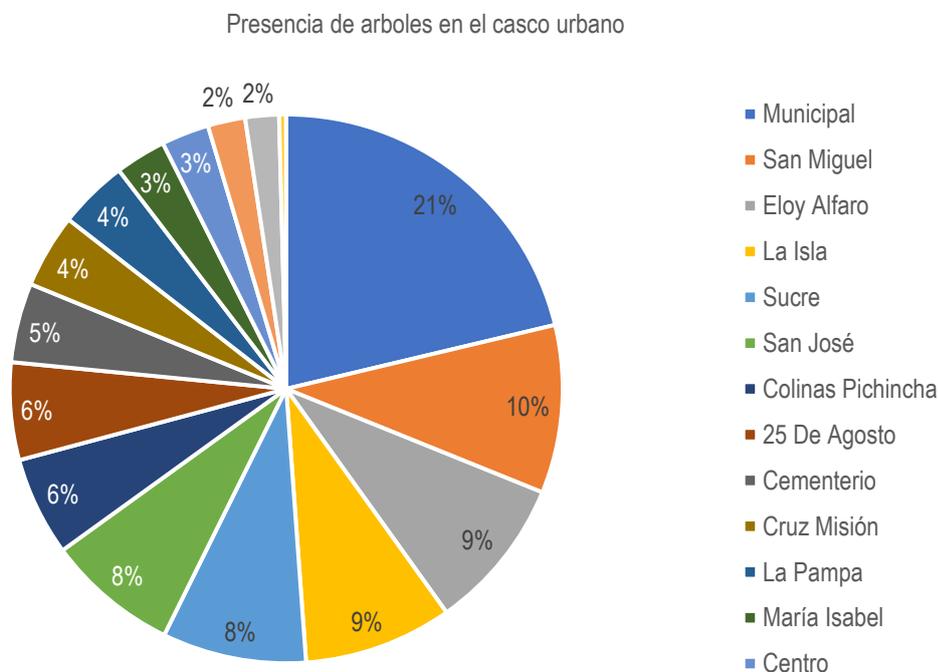


Figura 4.2. Distribución de frecuencia por barrios, de la presencia de árboles en el casco urbano de Rocafuerte

De acuerdo a Mancilla et al. (2024) la cobertura arbórea en el casco urbano genera múltiples beneficios, incluyendo la mejora de la calidad del aire, regulación del clima, reducción del estrés térmico, dicho estudio resalta la importancia de preservar la cobertura boscosa en zonas urbanas con una densidad poblacional alta. Además, en investigaciones sobre el índice verde urbano en una ciudad con superficie similar a Rocafuerte Cuzme y Farfán (2022) determinaron que la presencia de árboles en el casco urbano tiene efectos significativos en la calidad del ambiente y que están asociados con la disminución de la temperatura del ambiente y una mejora general del bienestar de los residentes. No obstante, de acuerdo a Rodríguez (2021) la Organización Mundial de la Salud recomienda para el casco urbano de 9 m² de árboles por cada habitante. En el caso de Ecuador, la mayoría de las urbes solo cuentan con 4.69 m² de espacios verdes por persona, esto representa un déficit de vegetación, resultados que coinciden con los determinados en la presente investigación.

Como se observa en la figura 4.3, las imágenes satelitales Landsat 8 (LANDSAT 8 OLI/TIRS) obtenidas para el análisis de los índices y parámetros para el monitoreo de la temperatura superficial terrestre e isla de calor urbana fueron capturadas en las siguientes fechas:

1. 25 de octubre de 2019
2. 29 de octubre de 2020
3. 28 de septiembre de 2021
4. 20 de octubre de 2022
5. 28 de septiembre de 2023

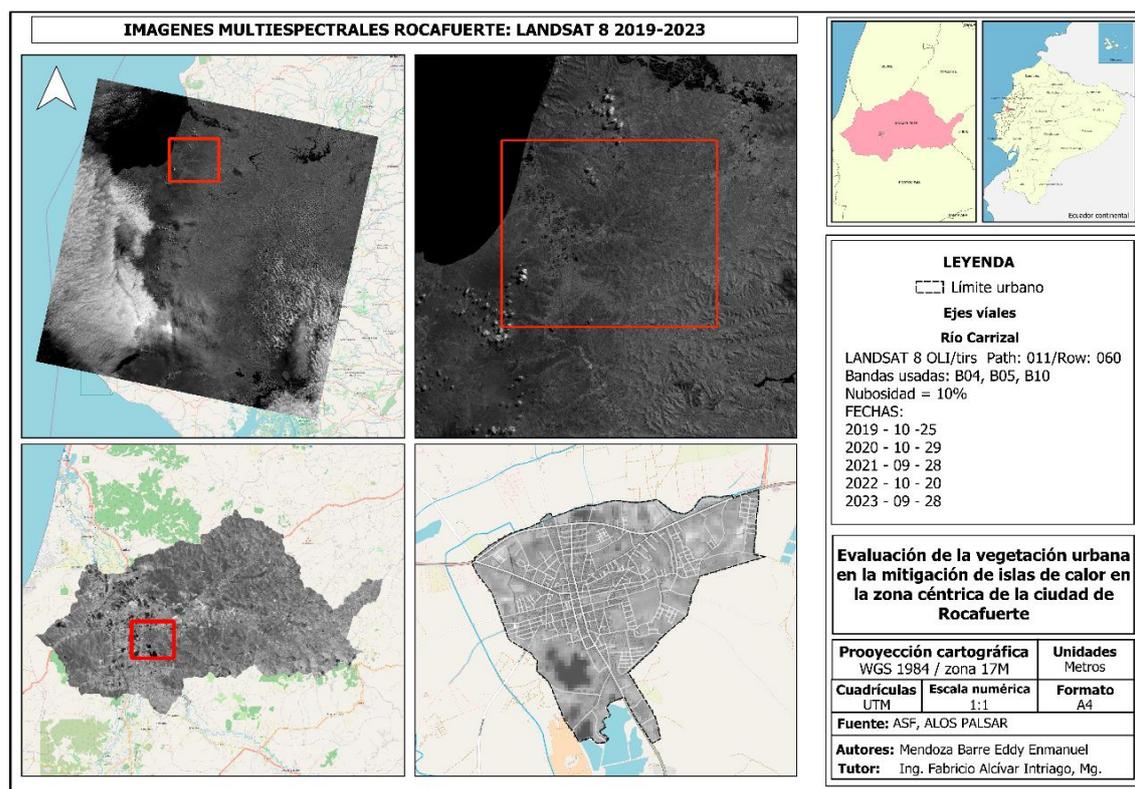


Figura 4.3. Imágenes satelitales Landast 8 del área en estudio

El uso de imágenes satelitales Landsat 8 para analizar la temperatura superficial terrestre e isla de calor urbana es ampliamente utilizada. Ru et al. (2022) en su estudio de evaluación de la temperatura superficial terrestre mediante el uso de las bandas infrarrojas, proporcionan datos sólidos para el análisis de la isla de calor en

la medición de la temperatura de la superficie terrestre. Además, en la investigación realizada por Kaplan et al. (2018) utilizaron imágenes Landsat 8 para estimar la isla de calor en áreas urbanas, sus resultados destacan la eficiencia de las imágenes satelitales para identificar patrones de temperatura en el casco urbano y su relación con la densidad poblacional y la vegetación presente. Por último, Idrees et al. (2022) analizaron los índices de vegetación normalizada para monitorear la salud de la vegetación de un área urbana, la investigación mencionada que las imágenes Landsat fueron eficientes en el análisis de la salud de la vegetación y su distribución en el casco urbano.

El análisis del NDVI en el casco urbano del cantón Rocafuerte en el periodo 2019 – 2023 representado en las figuras 4.4 a 4.8, muestran una distribución significativa de la vegetación en relación con el componente urbano. Al observarse valores bajos en las partes céntricas del casco urbano evidencian una menor densidad de vegetación, esto se debe principalmente a la presencia de infraestructuras, en contraste a esto los valores más altos se observan en áreas que se alejan de la zona céntrica y en los límites de la ciudad, esto indica una distribución de la vegetación con mayor densidad.

En el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) en el casco urbano del cantón Rocafuerte, en el año 2019, se identificaron diferencias significativas con valores más bajos en el centro y valores más altos en las áreas circundantes y los límites del casco urbano. Esta diferencia se debe principalmente por la poca presencia de vegetación y estructuras urbanas en la zona céntrica y áreas verdes en los límites. En el año 2020 se observó un ligero aumento de los valores de NDVI en las zonas céntricas, evidenciando un aumento de la cobertura vegetal. En el año 2021, el índice no mostró diferencias con respecto al 2020. Sin embargo, en 2022, el índice de vegetación volvió a disminuir. No obstante, en el 2023 se observó un ligero aumento en los valores de NDVI en comparación con el año 2022.

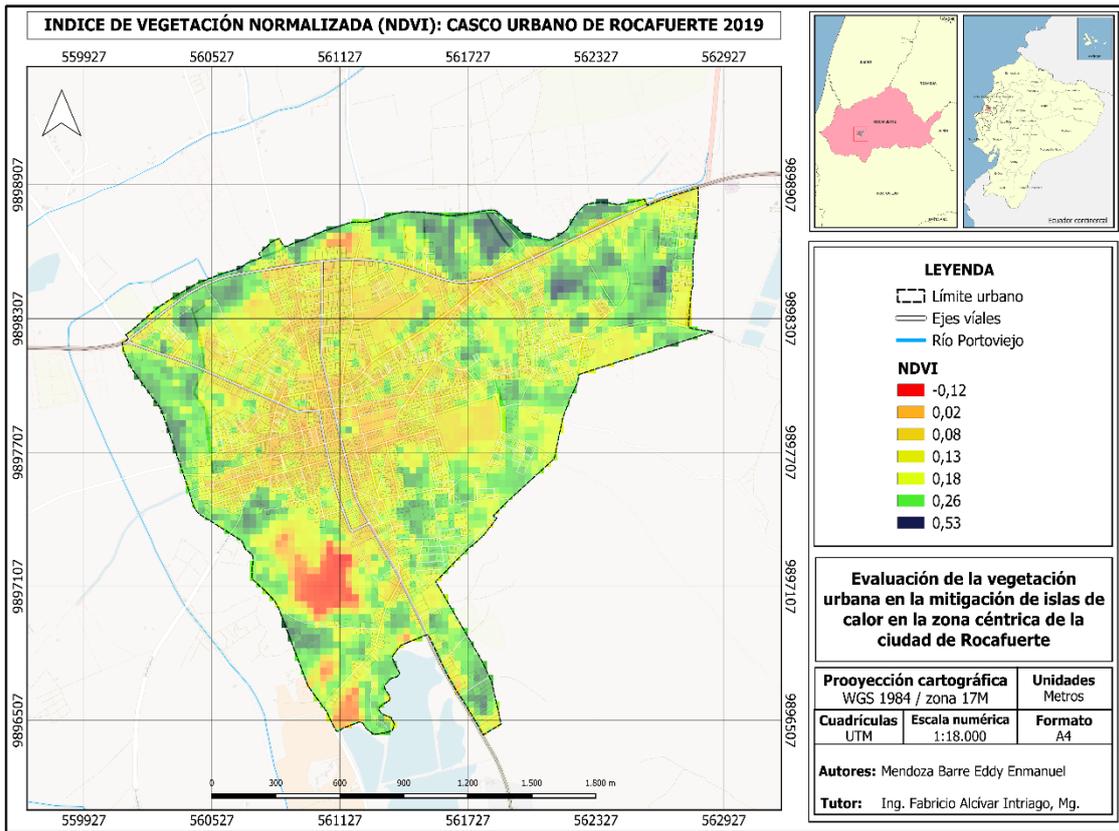


Figura 4.4. Mapa de Índice de vegetación normalizada (NDVI) del casco urbano del cantón Rocafuerte 2019

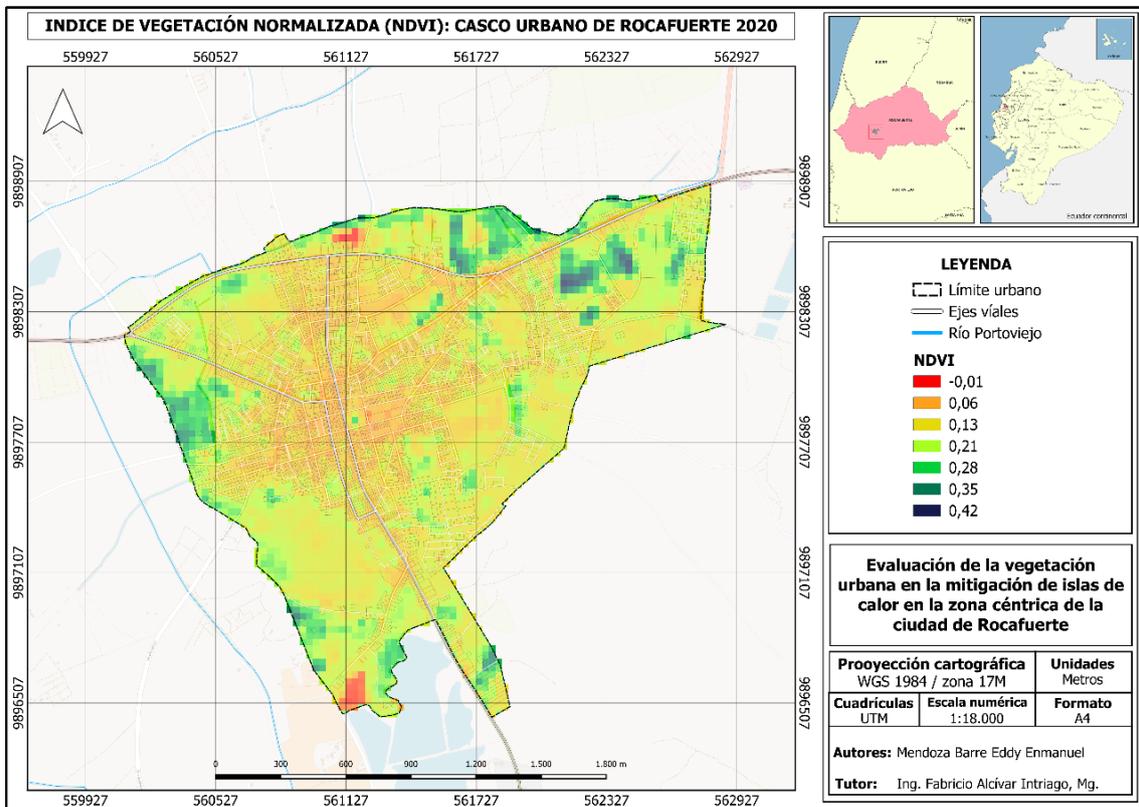


Figura 4.5. Mapa de Índice de vegetación normalizada (NDVI) del casco urbano del cantón Rocafuerte 2020

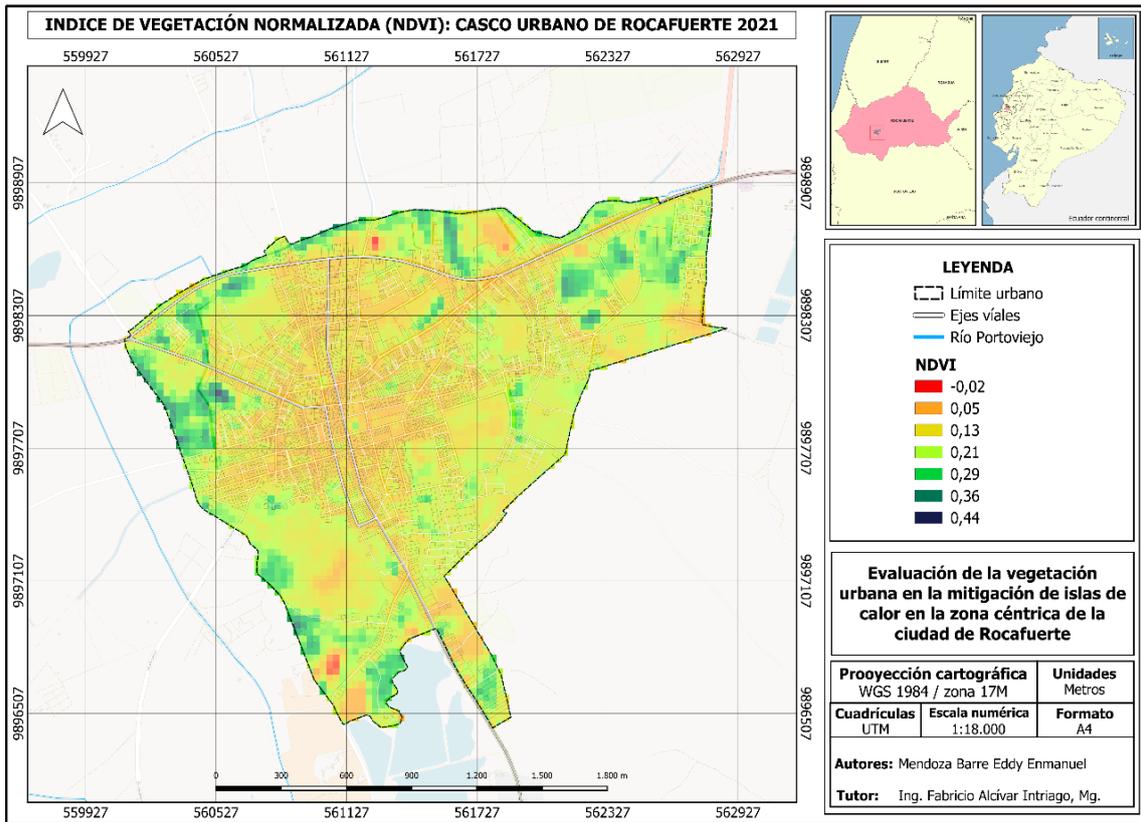


Figura 4.6. Mapa de Índice de vegetación normalizada (NDVI) del casco urbano del cantón Rocafuerte 2021

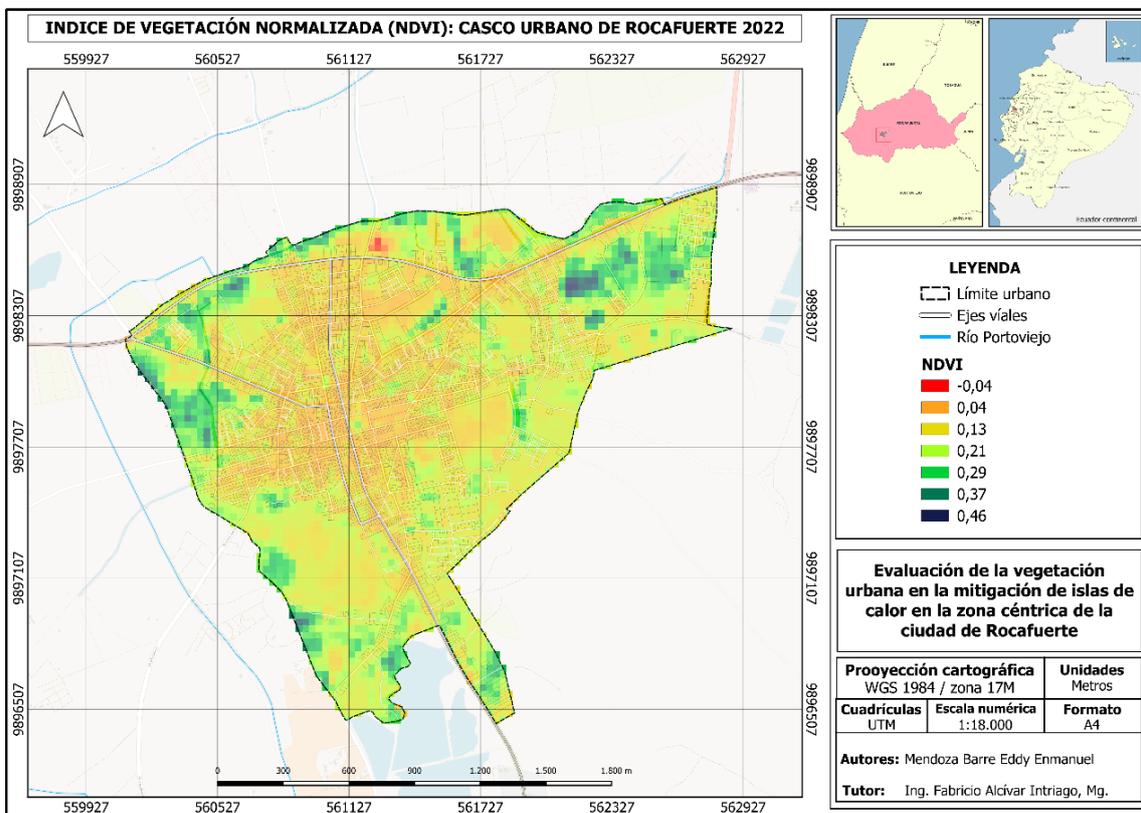


Figura 4.7. Mapa de Índice de vegetación normalizada (NDVI) del casco urbano del cantón Rocafuerte 2022

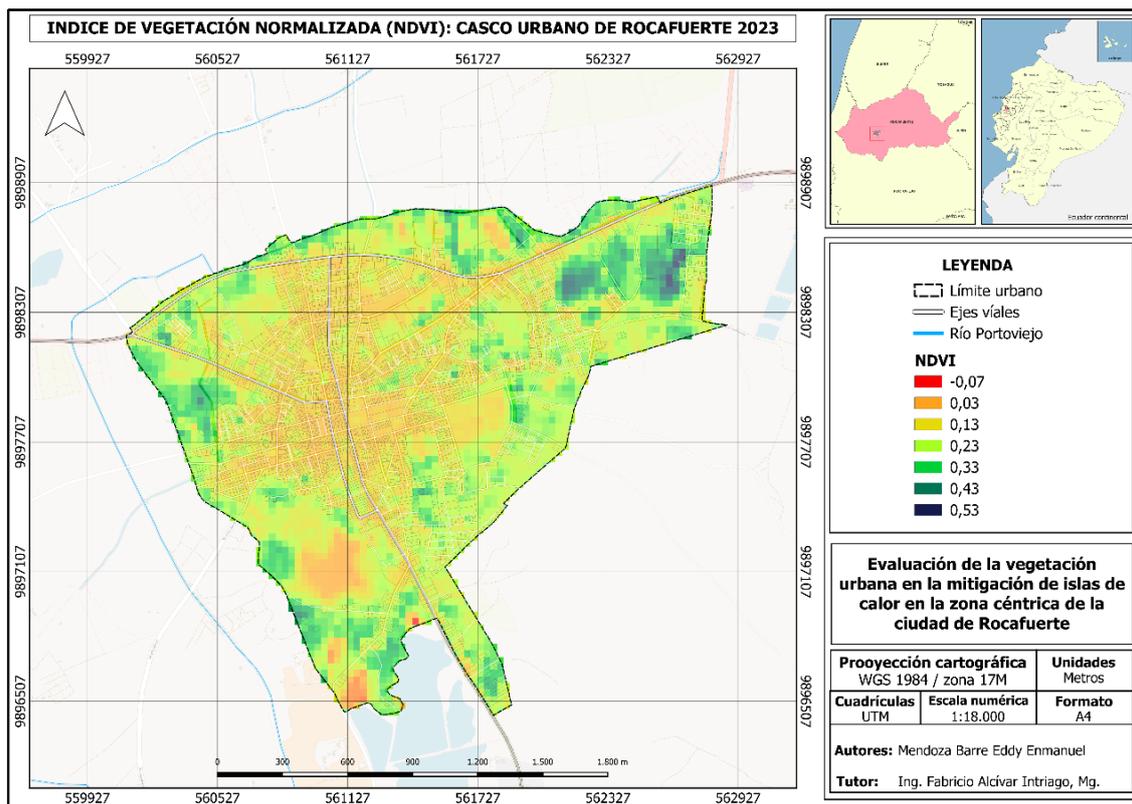


Figura 4.8. Mapa de Índice de vegetación normalizada (NDVI) del casco urbano del cantón Rocafuerte 2023

De acuerdo a los hallazgos de Dutta et al. (2022) el NDVI como herramienta para evaluar la distribución y salud de la vegetación de áreas urbanas es eficiente, en su investigación utilizaron imágenes Landsat 8 para el análisis de este índice en diferentes cascos urbanos y detectaron una marcada correlación entre los valores de NDVI y la vegetación urbana. Además, Yang et al. (2021) en su investigación analizaron los cambios del NDVI con relación a factores de urbanización y crecimiento poblacional, en un determinado periodo de tiempo en áreas urbanas y concluyó que los valores de NDVI variaron durante los años en estudio debido a cambios en el uso del suelo y el desarrollo urbano.

Al comparar los hallazgos de Moreno et al. (2020) con el análisis del NDVI del casco urbano de Rocafuerte durante el período de 2019 a 2023, se tiene una percepción amplia del componente urbano en relación con la vegetación. Los valores de NDVI más bajos en la parte céntrica que representan poca vegetación se atribuyen a la presencia de infraestructura, mientras que los valores más altos en áreas circundantes y límites de la ciudad representa presencia de una vegetación sana o mucha vegetación.

De acuerdo a los datos de NDVI mostrados en la tabla 4.2 y figura 4.9, en el casco urbano del cantón Rocafuerte durante el periodo 2019 a 2023, se evidencian varias tendencias y patrones significativos. Existe una ligera disminución en los valores de NDVI a lo largo de los años, lo que evidencia una tendencia a la reducción de la densidad de vegetación en el área urbana. Esto se atribuye a factores como el crecimiento urbano, cambios en el uso del suelo y las condiciones climáticas. Es importante destacar que los valores bajos se observan en las partes céntricas del casco urbano, sugiriendo una continua falta de vegetación en estas áreas. Mientras que los valores altos en la periferia del casco urbano indican que las áreas verdes se mantienen. Estos cambios pueden indicar variaciones en la densidad y salud de la vegetación a lo largo de los años.

Los resultados resaltan una interacción dinámica entre el área urbana y la vegetación presente, subrayando la importancia de un monitoreo continuo con tecnologías de teledetección para comprender la evolución a lo largo del tiempo. Las diferencias entre el centro y los límites de la ciudad destacan la necesidad de estrategias de planificación urbana que equilibren el desarrollo urbano con la preservación de espacios verdes.

Tabla 4.2. NDVI Max y Min del casco urbano de Rocafuerte 2019 - 2023

	2019	2020	2021	2022	2023
NDVI MIN	-0.12	-0.01	-0.02	-0.04	-0.07
NDVI MAX	0.53	0.42	0.44	0.46	0.53

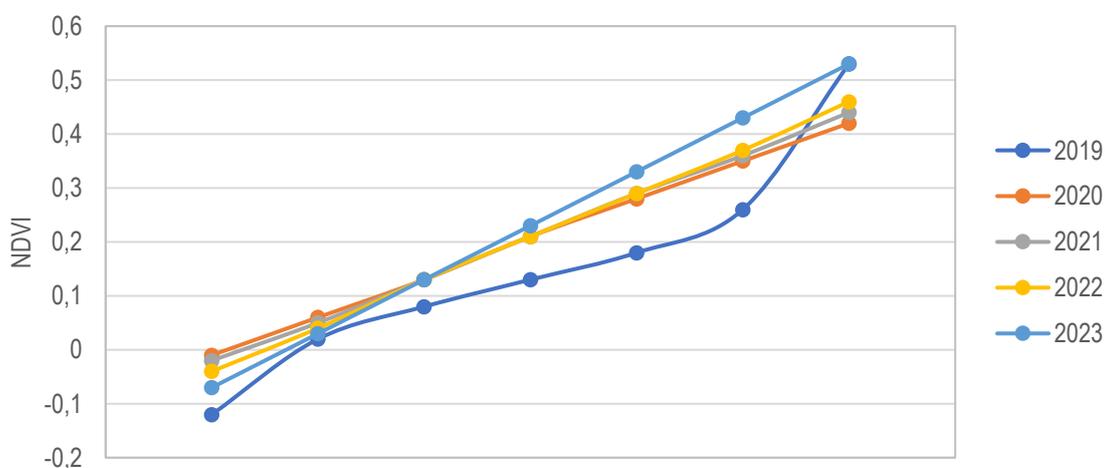


Figura 4.9. Curvas del NDVI Max y Min en el casco urbano del cantón Rocafuerte

4.2. ANÁLISIS LOS EFECTOS DE LAS ISLAS DE CALOR RESPECTO A LA TEMPERATURA DE LA ZONA CÉNTRICA DE LA CIUDAD DE ROCAFUERTE

4.2.1. TEMPERATURA DE SUPERFICIE DE LA TIERRA

Como se observa en las figuras (4.10 a 4.14) en el periodo estudiado el área urbana del cantón Rocafuerte, se ha observado una tendencia al aumento de la temperatura superficial. En 2019, la temperatura promedio fue de 21.16°C, con una máxima de 27.84°C, seguida por un ligero incremento en 2020 con un promedio de 21.95°C y máximas de 29.58°C, no obstante, en el 2021 la temperatura se mantuvo relativamente igual con una media de 22.22°C y máxima de 29.58°C. El año 2022 registró un leve aumento con medias de 22.81°C y máximas de 30.18°C. Sin embargo, el 2023 se destacó con una anomalía térmica significativa, alcanzando un promedio de 24.42°C de temperatura y una máxima de 28.84°C.

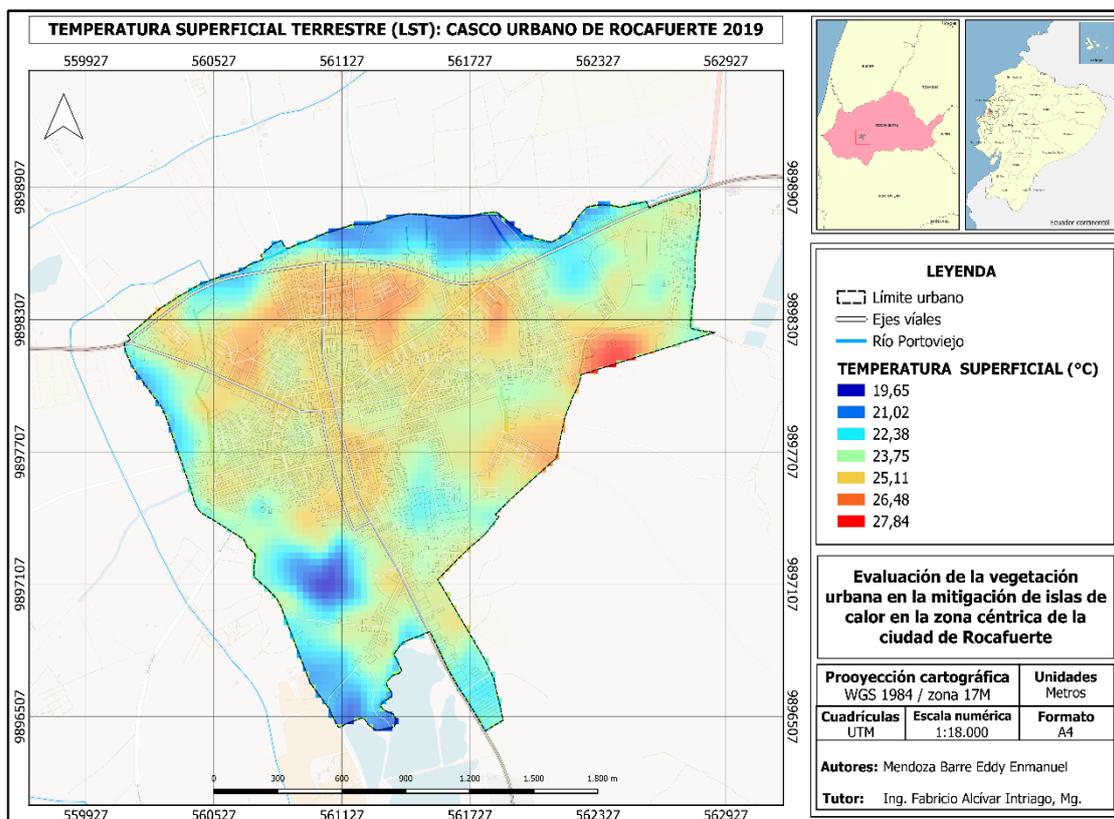


Figura 4.10. Temperatura superficial terrestre (LST) del casco urbano del cantón Rocafuerte 2019

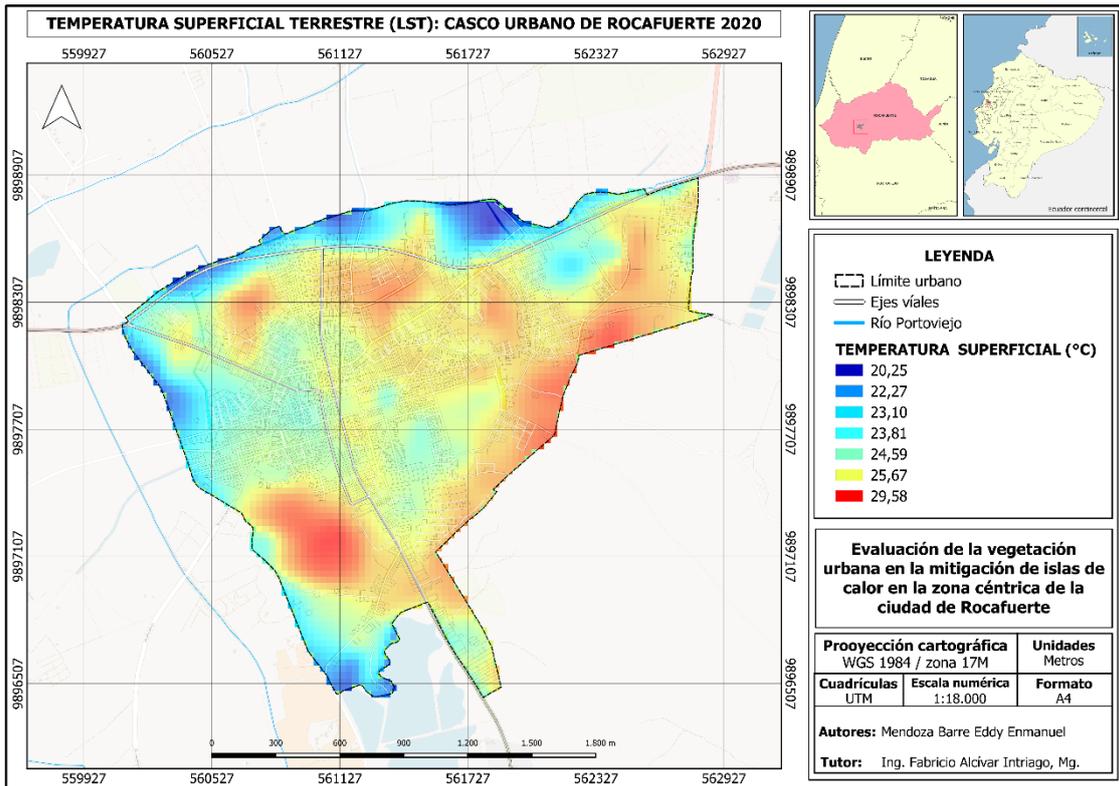


Figura 4.11. Temperatura superficial terrestre (LST) del casco urbano del cantón Rocafuerte 2020

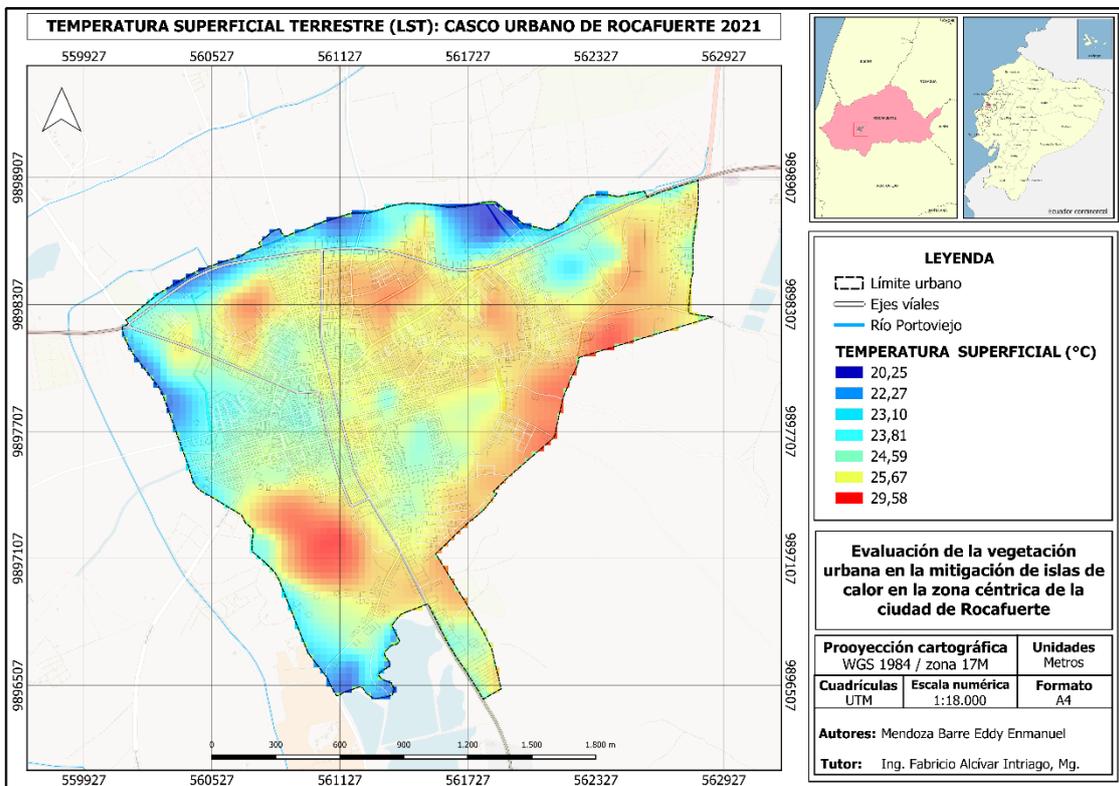


Figura 4.12. Temperatura superficial terrestre (LST) del casco urbano del cantón Rocafuerte 2021

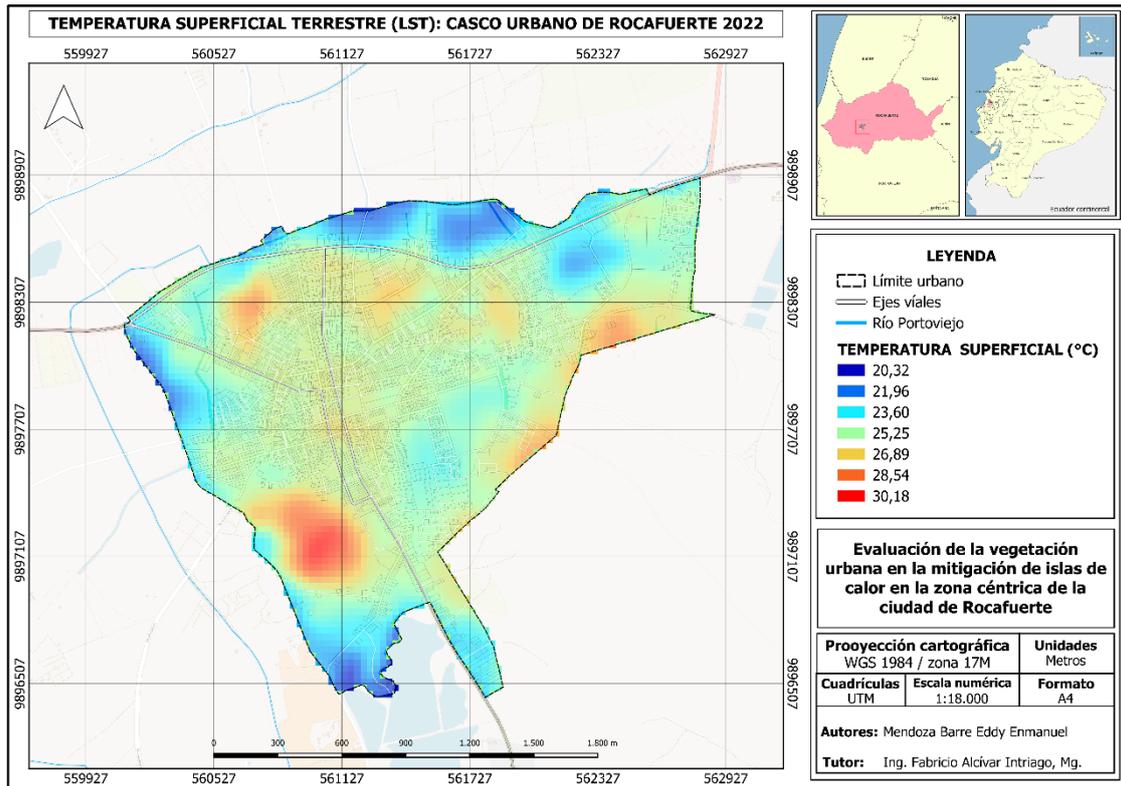


Figura 4.13. Temperatura superficial terrestre (LST) del casco urbano del cantón Rocafuerte 2022

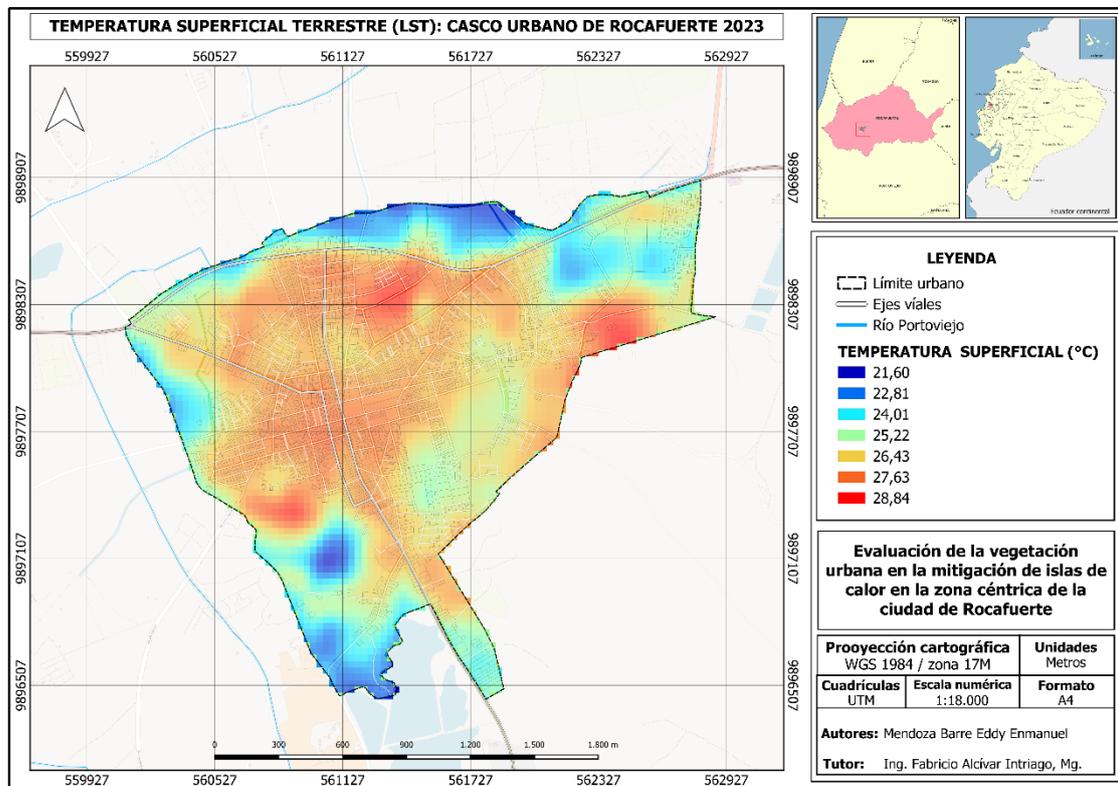


Figura 4.14. Temperatura superficial terrestre (LST) del casco urbano del cantón Rocafuerte 2023

El análisis de las variaciones de la temperatura superficial en áreas urbanas es una temática en aumento debido a su relevancia y relación con el cambio climático. Guo et al. (2022) en su investigación describen que las zonas urbanas tienden a experimentar temperaturas altas, en comparación a las zonas rurales, debido a los efectos de la isla de calor. También, Soydan (2020) describe que diversos estudios han demostrado un aumento en la temperatura de las áreas urbanas a nivel mundial.

En un caso más específico en el área urbana del cantón Rocafuerte, el aumento de la temperatura superficial se ha observado en los últimos años, estudios como los de Salazar y Rodríguez, (2021) y Viteri (2022) y han documentado estos cambios en la costa ecuatoriana, coincidiendo con los resultados obtenidos en la presente investigación. Este incremento significativo de la temperatura también es respaldado por las investigaciones de Twumasi et al. (2021) y Lemus et al. (2020) donde detectaron incrementos significativos en la temperatura superficial terrestre en áreas urbanas en las últimas décadas.

Además, Jin et al. (2015) y Kumari et al (2018) describen que la temperatura superficial y variables urbanas como la densidad de construcción, el uso del suelo y la vegetación tienen una estrecha relación, debido a que esta influencia aumenta la temperatura de estas áreas. Mientras que estudios de Soydan (2020) destacan como la vegetación tiene un papel importante en la mitigación de este efecto y ayuda a reducir la temperatura superficial. Como punto importante la tendencia en el aumento de la temperatura superficial en el casco urbano de Rocafuerte en el periodo estudiado, se respalda con datos como los del informe del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático [IPCC] (2019) mediante la recopilación de datos en varios años han determinado el aumento significativo de la temperatura superficial de las áreas urbanas a nivel global.

Los datos de temperatura superficial en el casco urbano del cantón de Rocafuerte en el período de estudio 2019 y 2023, presentados en la tabla 4.3 y figura 4.15, reflejan un aumento general en las temperaturas a lo largo de los años, observándose un notable aumento en el último año. La distribución de la temperatura revela diferencias de temperatura dentro del área céntrica en comparación con las áreas que se acercan a los límites del casco urbano, los

valores más altos corresponden a la zona céntrica, evidenciándose una mayor concentración de infraestructuras. Este fenómeno está asociado directamente con la urbanización, debido a que las áreas densamente construidas y la poca vegetación provocan que el calor se acumule.

Tabla 4.3. Temperatura superficial terrestre (LST) del casco urbano de Rocafuerte 2019 - 2023

	2019	2020	2021	2022	2023
Temp. Superficial min.	19.65	20.25	20.25	20.32	21.6
Temp. Superficial máx.	27.84	29.58	29.58	30.18	28.84

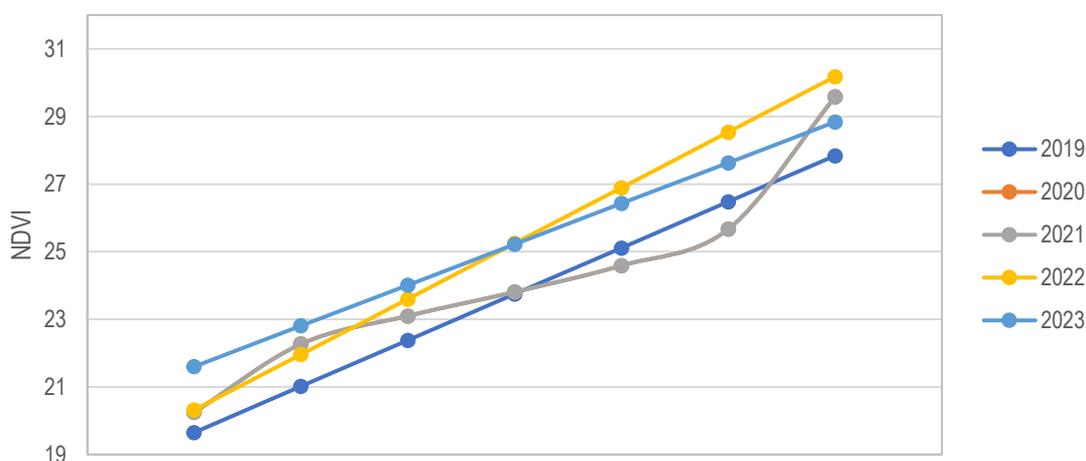


Figura 4.15. Curvas de la temperatura superficial terrestre Max y Min en el casco urbano del cantón Rocafuerte

4.2.2. ISLAS DE CALOR

Como se observa en los mapas del perfil de isla de calor (figura 4.16 a figura 4.20), en el año 2019 el barrio Eloy Alfaro lidera con un promedio de 8.39°C. Este patrón persiste en 2020, donde Eloy Alfaro alcanza un máximo de 9.63°C, convirtiéndolo en el barrio con mayores temperaturas. En paralelo, el barrio Los Pinos y María Isabel también destacan con promedios significativamente elevados en ambos años. En contraste, "San José" presenta uno de los valores promedio más bajos con 6.80°C en 2019.

El año 2021 se caracteriza por un aumento generalizado en las temperaturas. Nuevamente, Eloy Alfaro encabeza la lista con un promedio de 8.36°C. Este incremento afecta a varios barrios, incluido el Centro, que registra un promedio de 8.21°C. La presencia de actividades comerciales y residenciales en el central

resalta la importancia de abordar específicamente la isla de calor en áreas urbanas centrales.

La tendencia ascendente persiste en 2022, con Eloy Alfaro y Los Pinos mostrando valores promedio elevados. El barrio Centro experimenta un aumento de temperatura. Finalmente, en 2023, se observa un aumento generalizado en los valores promedio de isla de calor en todos los barrios, Eloy Alfaro nuevamente lidera con un promedio de 8.36°C. "Los Pinos" y María Isabel también presentan incrementos notables. Sin embargo, es especialmente significativo que el barrio Centro registre un promedio de 8.56°C, consolidándose como un punto focal de intensidad térmica en la ciudad.

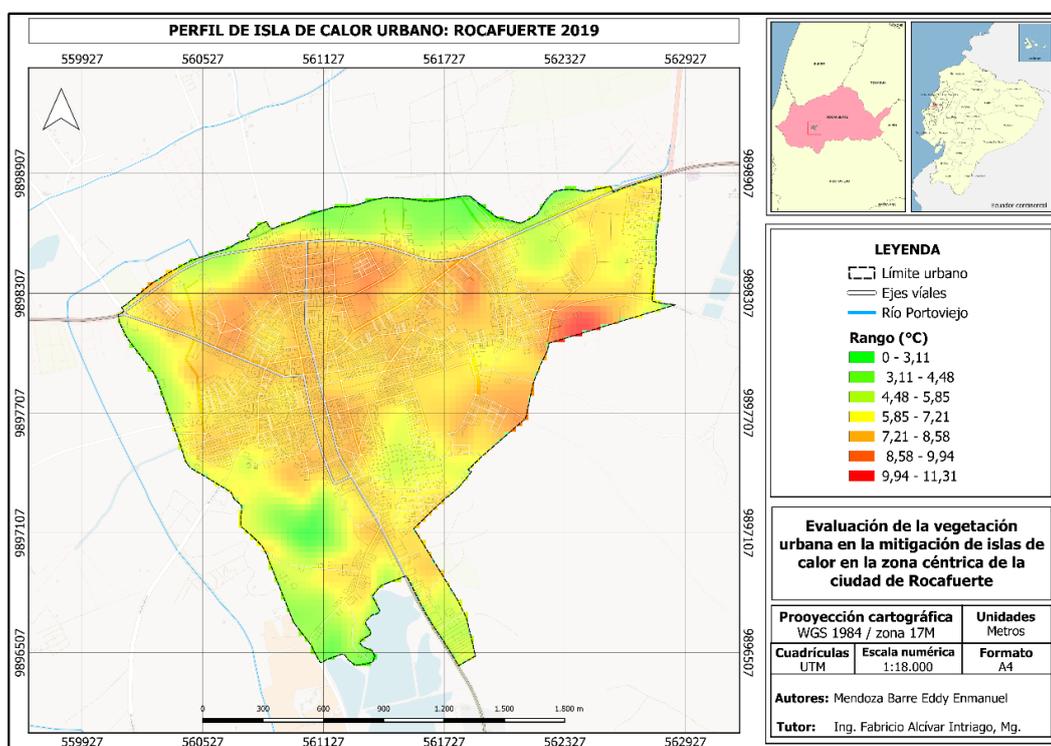


Figura 4.16. Isla de calor de casco urbano: cantón Rocafuerte 2019

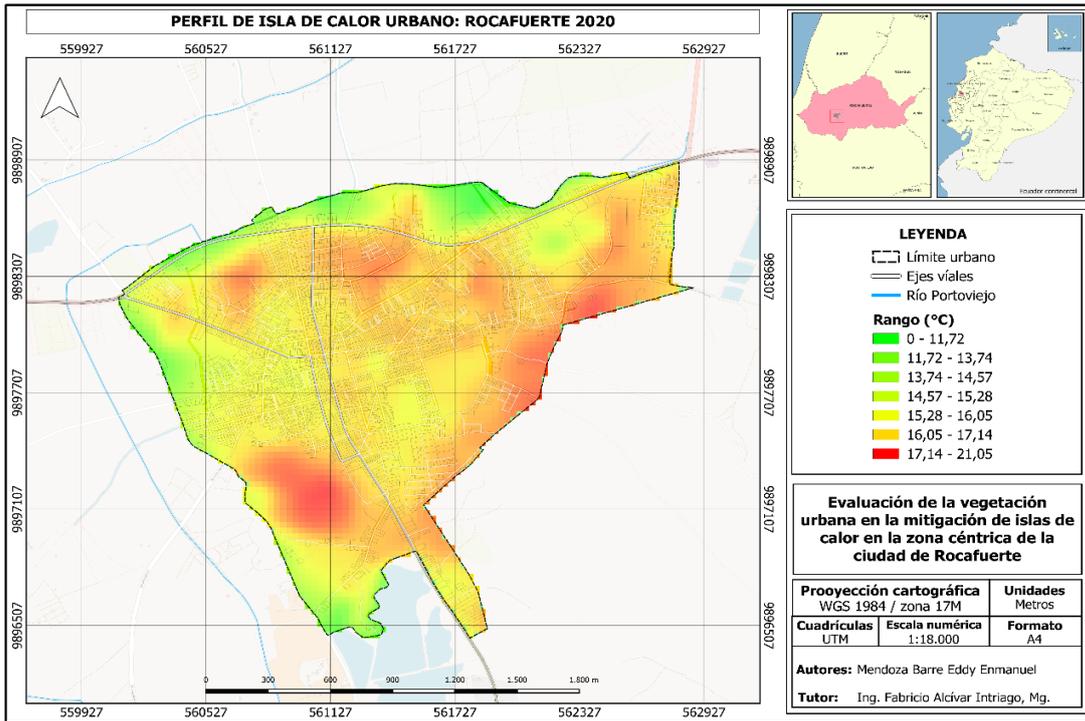


Figura 4.17. Isla de calor de casco urbano: cantón Rocafuerte 2020

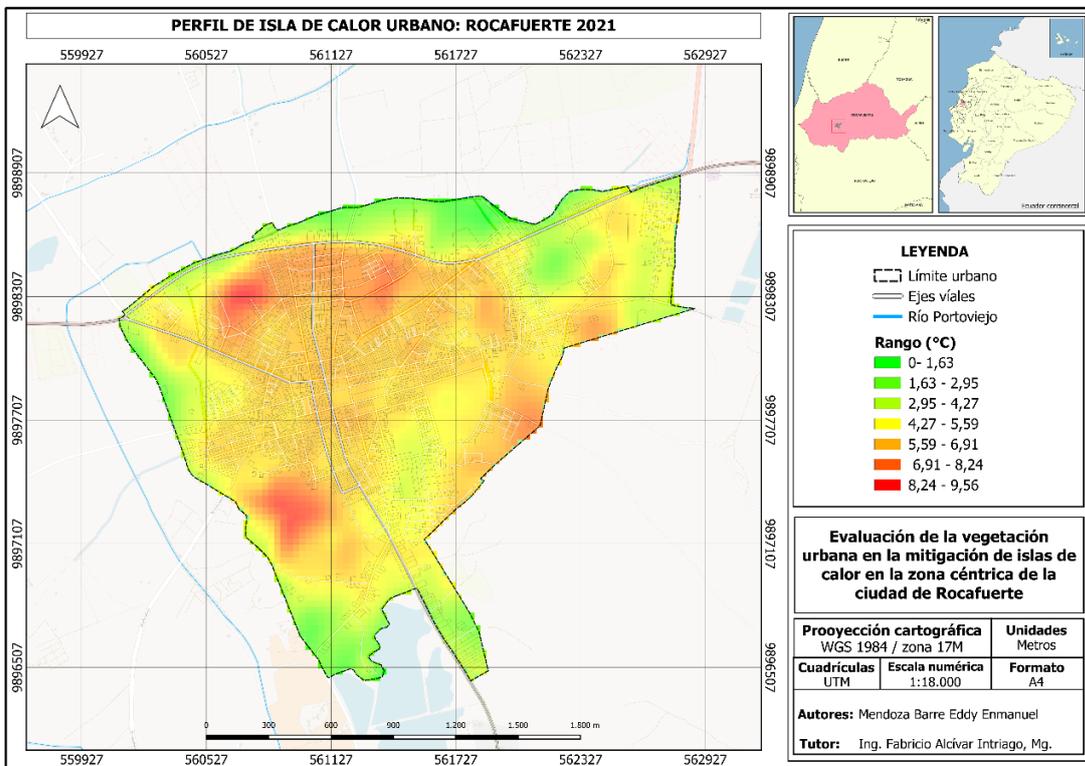


Figura 4.18. Isla de calor de casco urbano: cantón Rocafuerte 2021

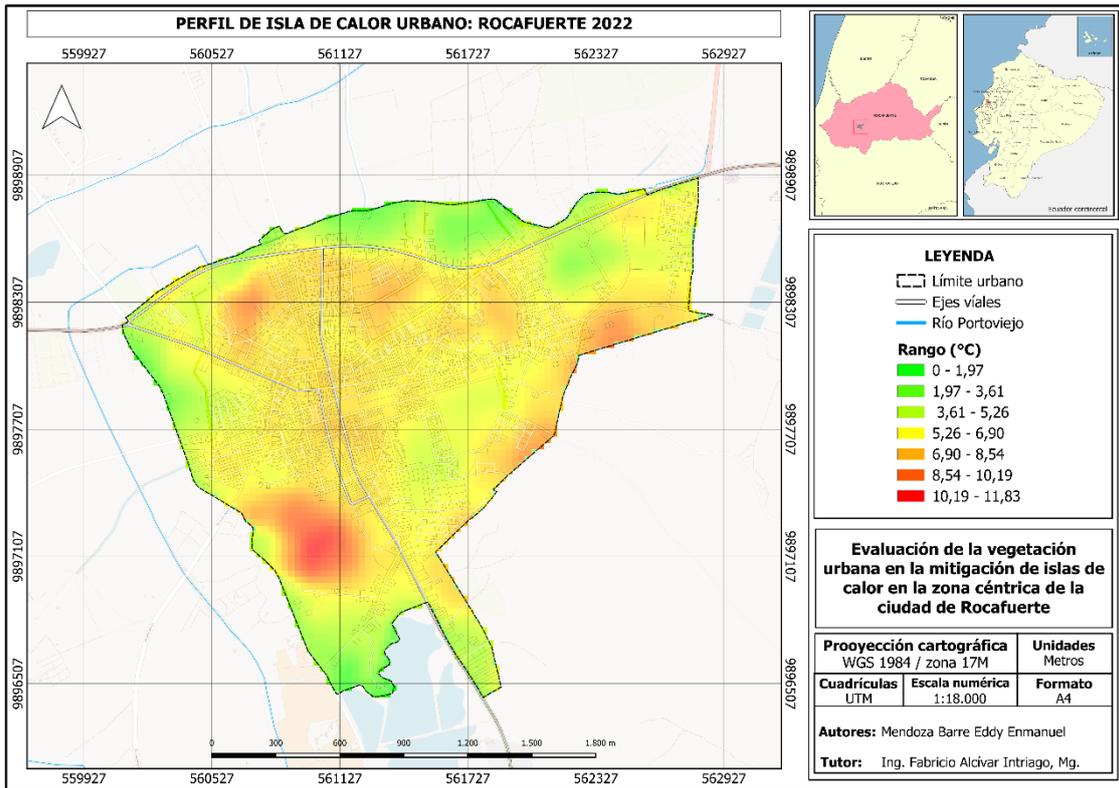


Figura 4.19. Isla de calor de casco urbano: cantón Rocafuerte 2022

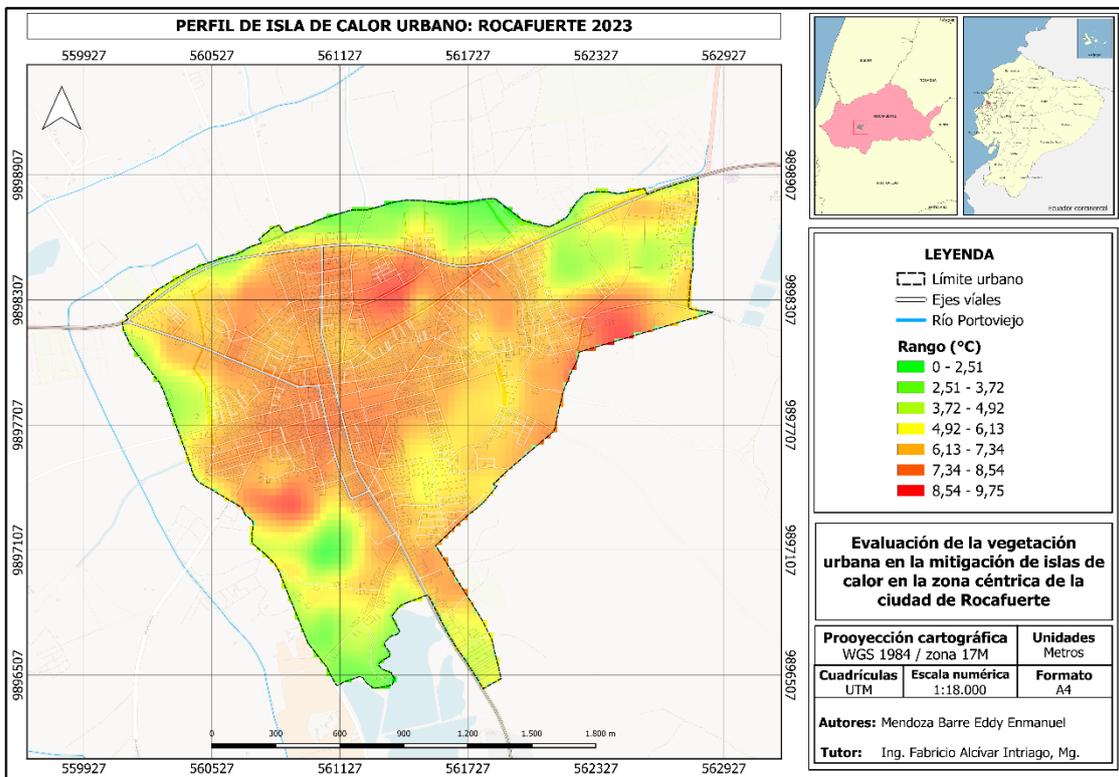


Figura 4.20. Isla de calor de casco urbano: cantón Rocafuerte 2023

La isla de calor es un fenómeno característico donde la temperatura tiene un aumento significativo en áreas urbanas en comparación a zonas circundantes y ha sido ampliamente estudiado por autores como Yang et al. (2021) quienes identificaron aspectos físicos que influyen en la distribución de la isla de calor destacando que la composición y la geometría urbana influyen en la absorción y liberación de calor. Otros factores que influyen en el aumento de la intensidad de la isla de calor son la densidad de población, el uso del suelo y la falta de vegetación. En el estudio de Shahfahad et al. (2022) determinaron que durante los años de estudio evaluado la densidad poblacional ha ido en aumento y al mismo tiempo que la vegetación ha disminuido, factor que ha intensificado los efectos de la isla de calor. Situación similar a la que ocurre en el área urbana de Rocafuerte donde la salud de la vegetación es buena en las periferias de la ciudad y los focos de calor se concentran en lugares con concentración de infraestructura.

En un contexto local, un estudio realizado por Vitery (2022) en la ciudad de Calceta encontró valores similares comparables en cuanto a la intensidad de la isla de calor en el periodo de estudio. Determinó que los barrios con mayor concentración poblacional, similares a Eloy Alfaro y Los Pinos, mostraron temperaturas más altas en comparación con áreas menos urbanizadas, como San José. Además, un análisis realizado por Chen et al. (2020) en zonas céntricas como las de Rocafuerte el aumento de la temperatura en la intensidad de la isla de calor fue significativo a lo largo de los años en estudio coincidiendo con la intensidad de la temperatura en presente investigación.

Como se observa en la figura 4.21, el análisis de la intensidad de la isla de calor en el casco urbano del cantón Rocafuerte entre los años 2019 y 2023 muestra diferentes patrones en cada uno de los barrios estudiados, donde destacan aquellos con temperaturas más altas y más bajas. Haciendo especial atención al barrio Centro, debido a su importancia por la dinámica urbana porque es un punto crítico que permite comprender la variabilidad térmica en la ciudad. Es importante señalar que el año 2023 presenta una anomalía significativa en los datos de intensidad de la isla de calor en Rocafuerte en comparación con los años anteriores. Esta variación se atribuye a eventos climáticos extremos, en particular el fenómeno del Niño costero, que ha influido notablemente en las condiciones meteorológicas.

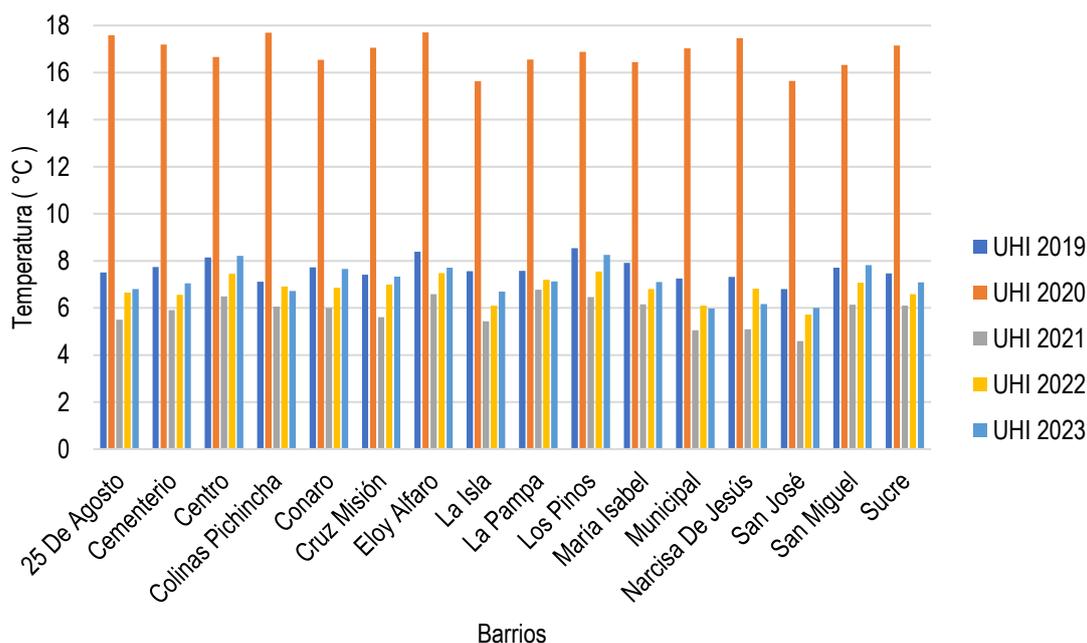


Figura 4.21. Distribución de la isla de calor urbana por barrios en el casco urbano de Rocafuerte 2019 – 2023

En un estudio realizado por Song y Song (2023) se determinaron que los patrones climáticos en ciudades ubicadas en regiones costeras tienden a cambiar junto a las anomalías climáticas, en este estudio se analizó las variables de la temperatura de una región costera mediante LST, NDVI y ONI en un periodo de tiempo y los resultados obtenidos evidenciaron un cambio gradual en la temperatura y qué fenómenos como El Niño y La Niña influyeron en la temperatura, resultados que se alinean con los cambios notados en el 2023 producto del Niño Costero.

4.3. RELACIÓN ENTRE LA PRESENCIA DE VEGETACIÓN URBANA Y LOS EFECTOS DE LAS ISLAS DE CALOR EN LA ZONA URBANA DE LA CIUDAD DE ROCAFUERTE

El cuadro 4.4 muestra los resultados de la correlación de Pearson entre el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y la Temperatura Superficial Terrestre (LST) de los años en estudio (2019, 2020, 2021, 2022 y 2023). La correlación se mantiene constante en 1 en todos los casos, lo que evidencia una relación lineal positiva entre el NDVI y la LST en cada año respectivo. Con estos datos se observa que donde el NDVI es bajo, la temperatura superficial terrestre tiende a elevarse en cada uno de los años analizados. Esta relación constante

señala la conexión entre la vegetación (representada por el NDVI) y las condiciones térmicas (representadas por la LST) a lo largo del tiempo.

Tabla 4.4. Correlación de Pearson entre NDVI y LST en el casco urbano de Rocafuerte 2019 – 2023

Correlación NDVI - LST		Correlación
NDVI 2019	LST 2019	1
NDVI 2020	LST 2020	1
NDVI 2021	LST 2021	1
NDVI 2022	LST 2022	1
NDVI 2023	LST 2023	1

La relación entre el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y la Temperatura Superficial Terrestre (LST) ha sido objeto de estudios por autores como Cici (2020) quien investigó la relación entre NDVI y LST mediante imágenes Landsat 8. Descubrió que donde la vegetación es densa (NDVI alto) la temperatura superficial es baja, este hallazgo respalda los resultados obtenidos en la presente investigación. Además, Kayet et al (2016) estudiaron también la relación entre estas variables y también encontraron una relación positiva entre el NDVI y la temperatura superficial, indicando que con menor NDVI las temperaturas superficiales son altas, concluyendo que la vegetación sirve como amortiguador térmico porque regula la temperatura superficial.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- El estudio presentó una distribución variada de cobertura arbórea, destacando el barrio municipal con 777 árboles. Algunos barrios como, La Isla y Colinas Pichincha, subrayan la importancia de la presencia de áreas verdes, mientras que barrios como, Lomas De Cementerio señala la necesidad de reforestación. El barrio centro a pesar de representar solo el 3% del total de árboles presentes en el casco urbano, tiene repercusiones significativas en la calidad del área urbana y de las personas que lo habitan. Esta influencia se debe principalmente a los beneficios ambientales que la vegetación proporciona, como la reducción del ruido, purificación del aire y su capacidad para mejorar el bienestar de las personas.
- El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) presenta relación con la vegetación y la planificación urbana, la disminución de los valores del NDVI entre 2019 y 2023, resalta la disminución de la densidad arbórea, afectada por el crecimiento urbano, la notable baja salud de la vegetación enfatiza la necesidad de estrategias de planificación conservación y reforestación. Respecto a la temperatura superficial terrestre, se observa un ligero aumento a lo largo de los años en estudio, con una diferencia notable en el 2023. En la variabilidad de la isla de calor en los diferentes barrios destaca Eloy Alfaro, identificado como el más afectado. Y abordar la isla de calor, incluyendo especialmente el barrio centro y los más afectados destaca la importancia de considerar los factores urbanos en el modelo de gestión ambiental y diseño urbano.
- Los resultados del análisis de correlación de Pearson entre el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y la Temperatura Superficial Terrestre (LST) en el periodo 2019 – 2023 indican una relación entre el incremento de la temperatura y la baja salud de la vegetación. Por lo que evidencias la dependencia entre las condiciones térmica del casco urbano de Rocafuerte y la salud de la vegetación.

5.2. RECOMENDACIONES

- Implementar medidas de gestión adecuadas para áreas verdes, promoviendo la diversidad de la vegetación arbórea y reforestando prioritariamente las zonas más vulnerables como el barrio Lomas De Cementerio. Donde se podría incluir programas de reforestación con árboles nativos, implementación de prácticas sostenibles para el manejo de la vegetación urbana. Además, es importante que se desarrollen estrategias específicas para proteger y promover la presencia de árboles que contribuyan con la restauración de la biodiversidad local y al bienestar de las personas.
- Establecer las consideraciones ambientales en la planificación urbana, así como la implementación de políticas para la protección del suelo y así proteger la vegetación existente. También brindar incentivos por la creación de nuevas áreas verdes, tecnologías sostenibles e infraestructura urbana que permita la mitigación de los efectos del desarrollo en el entorno natural. También sería importante desarrollar estudios relacionados entre la planificación urbana y la sostenibilidad ambiental en un enfoque interdisciplinario.
- Desarrollar estudios sobre las tendencias temporales en la correlación entre el NDVI y la LST; mediante la identificación y el análisis de la influencia de varios factores como el uso del suelo, la precipitación, la urbanización y el modelado predictivo que permita realizar proyecciones de la evolución del NDVI, LST e isla de calor en respuestas al cambio climático. Estos estudios ayudarán a informar políticas de adaptación al cambio climático orientadas a la protección áreas verdes para que actúen como amortiguamiento de la intensidad de la isla de calor.

BIBLIOGRAFÍA

- Agencia de Protección Ambiental. [EPA]. (2023). Las islas de calor y la equidad. Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/las-islas-de-calor-y-la-equidad>
- 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. *Dipòsit Digital de la Universitat de Barcelona*. <http://hdl.handle.net/2445/180526>
- Aponte, H. y Herrera, M. (2019). Rúbrica de evaluación de aula desempeño Docente. *Repositorio de la Universidad César Vallejo*. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/34716>
- Applied Remote Sensing Training Program [ARSET]. (2022). Teledetección satelital para medir islas de calor urbanas y construir índices de vulnerabilidad al calor. *NASA Applied Sciences*. <https://appliedsciences.nasa.gov/join-mission/training/english/arset-satellite-remote-sensing-measuring-urban-heat-islands-and>
- Ariza, A. (2013). Productos LDCM – Landsat 8. Bogotá: IGAC. Obtenido de DOI: <https://doi.org/10.13140/>
- Asamblea Nacional Constituyente del Ecuador. (2008). Constitución de la República del Ecuador. Decreto legislativo. Montecristi, Manabí, Ecuador.
- Baño, D. y Salazar, J. (2018). Percepción Remota en el Diseño de Estrategias de planificación Urbana, Caso de Estudio Isla De Calor Urbano del Distrito Metropolitano de Quito. *LATIN AMERICAN JOURNAL OF COMPUTING*, 5(1). <http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/2144>
- Cabrera, J., Guerrero, J. y Castillo, A. (2020). Deforestación y cambios en la cobertura vegetal del archipiélago de Jambelí, mediante el uso de imágenes satelitales Landsat-8. Manglar.

<https://erp.untumbes.edu.pe/revistas/index.php/manglar/article/view/160/294>

- Castellanos, J. y Montoya, E. (2020). Revisión y caracterización del fenómeno de las islas de calor urbanas (ICU) con énfasis en el caso colombiano. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/25695/MontoyaMoralesElvisFabian2020.pdf;jsessionid=2C23D3EC5268AAC1F0ACF0442406525F?sequence=1>
- Chen, M., Zhou, Y., Hu, M. y Zhou, Y. (2020). Influence of urban scale and urban expansion on the urban heat island effect in metropolitan areas: Case study of Beijing–Tianjin–Hebei urban agglomeration. *Remote Sensing*, 12(21), 3491. <https://doi.org/10.3390/rs12213491>
- Cici, A. (2020). Normalised difference spectral indices and urban land cover as indicators of land surface temperature (LST). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation: ITC Journal*, 86(102013), 102013. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.102013>
- Cruz, D., Benítez, A., Ferrer, Y. y Ávila, D. (2020). Variaciones espaciales y temporales en el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada en Cuba. *ecosistema*, 29. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1885>
- Cuzme, M. y Farfán, E. (2022). Evaluación del índice verde urbano de la parroquia Calceta para la elaboración de un plan de manejo de áreas verdes. [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria De Manabí Manuel Félix López]. Recuperado de <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/1795>.
- De Oliveira, M. (2013). El clima urbano de la ciudad de Natal (Brasil), aplicando modelos de campo y teledetección orbital. *Biblos-e Archivo*. <https://repositorio.uam.es/handle/10486/660733>
- Dutta, D., Rahman, A., Paul, S. K. y Kundu, A. (2022). Spatial and temporal trends of urban green spaces: an assessment using hyper-temporal NDVI datasets. *Geocarto International*, 37(25), 7983–8003. <https://doi.org/10.1080/10106049.2021.1989499>

- Espinoza, P. y Vide, J. (2014). El estudio de la Isla de Calor Urbana de Superficie del Área Metropolitana de Santiago de Chile con imágenes Terra-MODIS y Análisis de Componentes Principales. *Revista de geografía Norte Grande*, (57). https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34022014000100009
- GAD Municipal de Rocafuerte. (2016). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, Actualización 2016, Rocafuerte. <https://docplayer.es/198595122-Plan-de-desarrollo-y-ordenamiento-territorial-rocafuerte-te-quiero-grande-1-p-a-g-i-n-a.html>
- Garau, A. (2018). La isla de calor urbana de Palma (Mallorca, Islas Baleares): avance para el estudio del clima urbano en una ciudad litoral mediterránea. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 78, 392–418. <https://bage.age-geografia.es/ojs/index.php/bage/article/view/2404/2475>
- García, G. (2018). La isla de calor en la zona urbana de la ciudad de Guayaquil, mediante sistemas de información geográfica y teledetección. *Repositorio Universidad de Guayaquil*. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/35564/1/TESIS%20FINAL%20GEANELLA%20GARCIA.pdf>
- Godínez, A. y López, M. (2018). “Dinámica de la Isla de Calor Urbana y su efecto en la distribución espacio-temporal de la lluvia en las ciudades de Querétaro y San Juan del Río”. *RI UAEMex*. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/94985/GODINEZ-ANA-LOPEZ-MARLEN-LGAM-2018.pdf;jsessionid=B01719C133C75457AE20EF13F8E27B56?sequence=1>
- Gómez, I. (2020). Vector vs Raster: ¿Cuál es la diferencia entre estos tipos o formatos de datos espaciales GIS? *EcoScript*. <https://ecoscript.org/vectorvsraster/>
- Grajeda, R., Levet, A. y Mondragon, M. (2023). La importancia de la isla de calor urbano como un indicador más a tomar en cuenta en los procesos de

- planeación urbana en las ciudades de México. e-RUA, 03, 42-53. <https://rua.uv.mx/index.php/rua/article/view/192/155>
- Guo, L., Di, L., Zhang, C., Lin, L., Chen, F. y Molla, A. (2022). Evaluating contributions of urbanization and global climate change to urban land surface temperature change: a case study in Lagos, Nigeria. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18193-w>
- Herbel, A., Croitoru, E. y Imbroane, A. (2015). Métodos para detectar islas de calor atmosféricas y superficiales en áreas urbanas. *Revista risquete si catástrofe*. https://riscurisicatastrofe.reviste.ubbcluj.ro/Volume/XIV_Nr_17_2_2015/pdf/1_Herbel_7_17.pdf
- Hernández, M. (2017). Diagnóstico y proyección de vulnerabilidades frente a la variabilidad y cambio climático en la ciudad de Guayaquil. Municipio de Guayaquil. https://www.guayaquil.gob.ec/wp-content/uploads/Documentos/Documentos/Vulnerabilidad_Guayaquil_Producto_2_Medidas_VFR.pdf
- Idrees, M. O., Omar, D. M., Babalola, A., Ahmadu, H. A., Yusuf, A. y Lawal, F. O. (2022). Urban land use land cover mapping in tropical savannah using Landsat-8 derived normalized difference vegetation index (NDVI) threshold. *South African journal of geomatics*, 11(1). <https://doi.org/10.4314/sajg.v11i1.8>
- IPCC. (2018). Calentamiento global de 1,5 °C. Resumen para responsables de políticas. Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- Jin, M., Li, J., Wang, C. y Shang, R. (2015). A practical split-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat-8 data and a case study of an urban area in China. *Remote Sensing*, 7(4), 4371–4390. <https://doi.org/10.3390/rs70404371>
- Kaplan, G., Avdan, U., y Avdan, Z. Y. (2018). Urban heat island analysis using the Landsat 8 satellite data: A case study in Skopje, Macedonia. *Proceedings (MPDI)*, 2(7), 358. <https://doi.org/10.3390/ecrs-2-05171>

- Kayet, N., Pathak, K., Chakrabarty, A. y Sahoo, S. (2016). Urban heat island explored by co-relationship between land surface temperature vs multiple vegetation indices. *Spatial Information Research*, 24(5), 515–529. <https://doi.org/10.1007/s41324-016-0049-3>
- Kumari, B., Tayyab, M., Shahfahad, Salman, Mallick, J., Khan, M. F. y Rahman, A. (2018). Satellite-driven land surface temperature (LST) using Landsat 5, 7 (TM/ETM+ SLC) and Landsat 8 (OLI/TIRS) data and its association with built-up and green cover over urban Delhi, India. *Remote Sensing in Earth Systems Sciences*, 1(3–4), 63–78. <https://doi.org/10.1007/s41976-018-0004-2>
- Lemus, M., Martin, J., Moreno, M. y López, J. A. (2020). Estimating Barcelona's metropolitan daytime hot and cold poles using Landsat-8 Land Surface Temperature. *The Science of the Total Environment*, 699(134307), 134307. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134307>
- López, A. y Ramos, G. (2021). Acerca de los métodos teóricos y empíricos de investigación: significación para la investigación educativa. <https://conrado.ucf.edu.cu/index.php/conrado/article/view/2133/2079>
- Lozada, V. (2020). Análisis de islas de calor urbano y sus variables en el sur de Quito mediante técnicas de termografía desde vehículos aéreos no tripulados. Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18900/1/UPS%20-%20TTS037.pdf>
- Maldonado, L. (2021, noviembre 5). Mitigación y adaptación al efecto de isla de calor urbana de clima cálido seco. El caso de Hermosillo, Sonora. viviendas y comunidades sustentables, 85-110. <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i11.187>
- Mancilla, M., Mohedano, L., Granados Victorino, R., Granados, D. y Corona, A. (2024). Servicios ambientales de la vegetación arbórea de los parques de Texcoco de Mora, Estado de México. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 15(82), 69–88. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v15i82.1452>

- Martínez, N. (2021). Evolución de las islas de calor urbanas en el periodo 2002-2020 y su relación con las zonas climáticas locales de las comunas. Repositorio UCHILE. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/180787/evolucion-de-las-islas-de-calor-urbanas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- McDonald, R. I., Biswas, T., Sachar, C., Housman, I., Boucher, T. M., Balk, D., Nowak, D., Spotswood, E., Stanley, C. K. y Leyk, S. (2021). The tree cover and temperature disparity in US urbanized areas: Quantifying the association with income across 5,723 communities. *PloS One*, 16(4), e0249715. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249715>
- Moreno, R., Ojeda, N., Azócar, J., Venegas, C. y Inostroza, L. (2020). Application of NDVI for identify potentiality of the urban forest for the design of a green corridors system in intermediary cities of Latin America: Case study, Temuco, Chile. *Urban Forestry y Urban Greening*, 55(126821), 126821. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126821>
- Municipalidad de Curridaba. (2019). Islas de calor, impactos y respuestas: El caso del cantón de Curridabat. Global Heat Health Information Network., from https://ghhin.org/wp-content/uploads/Islas-de-Calor_Curridabat.pdf
- Naslund, E., Ramos, M. y Paredes, J. (2016). Ciudades sostenibles y crecimiento urbano inteligente. Copyright. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/viewer/Cuidades-sostenibles-y-crecimiento-urbano-inteligente.pdf>
- National Aeronautics and Space Administration. [NASA]. (2015). Ecosistema, Vegetación Afecta Intensidad del Efecto Isla de Calor Urbano. https://www.nasa.gov/mission_pages/terra/news/heat-islands.html
- Navarro, R. y Navarro, V. (2016). Estudio de la isla de calor en función del crecimiento urbano y el comportamiento de la temperatura y la precipitación en la ciudad de Medellín. https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1538&context=ing_ambiental_sanitaria

- Orozco, L. (2020). Análisis del fenómeno de islas de calor con sensores remotos y estaciones climáticas en Bogotá, Colombia. Universidad del norte. <http://hdl.handle.net/10584/9469>
- Orozco, L. (2020). Análisis del fenómeno de islas de calor con sensores remotos y estaciones climáticas en Bogotá, Colombia. *Universidad de Norte*. <https://manglar.uninorte.edu.co/bitstream/handle/10584/9469/141557.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Palmett, A. (2020). Método inductivo, deductivo y teoría de la pedagogía crítica. psicopedagogía. <https://petroglifosrevistacritica.org.ve/wp-content/uploads/2020/08/D-03-01-05.pdf>
- Picech, M. (2017). Un acercamiento a caracterizar la isla de calor en Cuenca, Ecuador. Repositorio FLACSO. <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/15805/1/REXTN-Ci1-09-Guillen.pdf>
- Quijano, S., Ramírez, I. y González, J. (2017). Gradiente térmico en la ciudad de Medellín y su relación con el crecimiento urbano. *Producción + Limpia*, 12, 159-168. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1909-04552017000200159&lng=es&nrm=is
- Ráez, A. (2018). Naturación urbana como instrumento para la sostenibilidad global. https://oa.upm.es/49998/1/TFG_Raez_Sanchez_Alejandra.pdf
- REMICA. (2017). ¿Qué es el efecto isla de calor y cómo nos afecta? *Remica*. Retrieved May 10, 2023, from <https://www.remica.es/isla-de-calor-urbana/>
- Rivas, V. (2022, marzo). Importancia de vegetación urbana en la mitigación de la isla de calor en la zona céntrica de la ciudad de Calceta. <https://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/1767>
- Rodríguez, L. (2021). Análisis del índice verde de las ciudades del Ecuador - 2020. [Tesis de grado, Universidad Agraria Del Ecuador]. Recuperado de <https://cia.uagraria.edu.ec/>.

- Ru, C., Duan, S., Jiang, X., Li, Z., Jiang, Y., Ren, H., Leng, P. y Gao, M. (2022). Land surface temperature retrieval from Landsat 8 thermal infrared data over urban areas considering geometry effect: Method and application. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing: a publication of the IEEE Geoscience and Remote Sensing Society*, 60, 1–16. <https://doi.org/10.1109/tgrs.2021.3088482>
- Rus, E. (2021). Investigación cuantitativa - Qué es, definición y concepto | 2023. *Economipedia*. Retrieved June 20, 2023, from <https://economipedia.com/definiciones/investigacion-cuantitativa.html>
- Salas, M. y Herrera, L. (2017). La vegetación como sistema de control para las Islas de Calor Urbano en Ciudad Juárez, Chihuahua. *Hábitat sustentable*, 7. <https://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/2737>
- Salazar, J. y Rodríguez, M. (2021). Validación de la información de temperaturas del satélite LANDSAT 8 para el Ecuador continental: caso de estudio en las provincias de Imbabura, Manabí y Sucumbíos en el año 2019 y 2020. [Universidad Internacional SEK Ecuador]. Recuperado de <http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/4458>.
- Santamouris, M. y Osmond, P. (2020). Increasing green infrastructure in cities: Impact on ambient temperature, air quality and heat-related mortality and morbidity. *Buildings*, 10(12), 233. <https://doi.org/10.3390/buildings10120233>
- Servicio Geológico de Estados Unidos [USGS]. (2018). Earth Explorer. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Shahfahad, Naikoo, M. W., Towfiqul Islam, A. R. M., Mallick, J. y Rahman, A. (2022). Land use/land cover change and its impact on surface urban heat island and urban thermal comfort in a metropolitan city. *Urban Climate*, 41(101052), 101052. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.101052>
- Sobrinoa, J. y Jiménez, J. (2004). ELSEVIER. http://www.uv.es/ucg/articulos/2005/Publications_2004_10.pdf

- Song, Y. y Song, J. (2023). Urban resilience of metropolitans in the mid-latitude coastal regions of east Asia for global weather anomalies. En Research Square. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3226217/v1>
- Soto, E. (2020). Estimación de la isla de calor urbana en Medellín, Colombia. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 35(2). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992019000200421#B35
- Soydan, O. (2020). Effects of landscape composition and patterns on land surface temperature: Urban heat island case study for Nigde, Turkey. *Urban Climate*, 34(100688), 100688. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100688>
- Soydan, O. (2020). Effects of landscape composition and patterns on land surface temperature: Urban heat island case study for Nigde, Turkey. *Urban Climate*, 34(100688), 100688. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100688>
- Suárez, M. (2011). Coeficiente de correlación de Karl Pearson. Retrieved from <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/766>
- Tejedor, E., Cuadrat, J. y Saz, M. (2016). Islas de calor y confort térmico en Zaragoza durante la ola de calor de julio de 2015. *RUA*. https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/57981/1/2016_X-Congreso-AEC-Alicante_13.pdf
- Thome, K. y Gray, E. (2015). Vegetation Limits City Warming Effects. *NASA Earth Observatory*. <https://earthobservatory.nasa.gov/images/86440/vegetation-limits-city-warming-effects>
- Twumasi, Y., Merem, E., Namwamba, J., Mwakimi, O., Ayala, T., Frimpong, D., Ning, Z., Asare, B., Annan, J., Oppong, J., Loh, P., Owusu, F., Jeruto, V., Petja, B., Okwemba, R., McClendon, J., Akinrinwoye, C. y Mosby, H. (2021). Estimation of land surface temperature from Landsat-8 OLI thermal infrared satellite data. A comparative analysis of two cities in Ghana. *Advances in remote sensing*, 10(04), 131–149. <https://doi.org/10.4236/ars.2021.104009>

- Vásquez, M. y Ruíz, D. (2019). Métodos estadísticos para la evaluación de la susceptibilidad por movimientos en masa. *TecnoLógicas*.
<https://doi.org/10.22430/22565337.1247>
- Vázquez, A. (2020). Sistemas de naturación urbana como modelo de negocios para México. *Repositorio Chapingo*.
<https://repositorio.chapingo.edu.mx/server/api/core/bitstreams/aeb43191-d9cf-41f6-b2b0-4c0126f850b3/content>
- Vitery, J. (2022). Importancia de vegetación urbana en la mitigación de la isla de calor en la zona céntrica de la ciudad de Calceta. [Tesis de grado]. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López
- Yang, J., Menenti, M., Wu, Z., Wong, M. S., Abbas, S., Xu, Y. y Shi, Q. (2021). Assessing the impact of urban geometry on surface urban heat island using complete and nadir temperatures. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 41(S1).
<https://doi.org/10.1002/joc.6919>
- Yang, K., Sun, W., Luo, Y. y Zhao, L. (2021). Impact of urban expansion on vegetation: The case of China (2000–2018). *Journal of Environmental Management*, 291(112598), 112598.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112598>

ANEXOS

Anexo 1. Caracterización del área en estudio



Foto 1. Vegetación urbana en el área de la iglesia



Foto 2. Vegetación urbana en área residencial



Foto 3. Vegetación urbana vivienda local



Foto 4. Vegetación urbana en zona de vía



Foto 5. Vegetación urbana en el parque central



Foto 6. Vegetación urbana reforestada en acera

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



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

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	UITHC19	NDVIRC19	LSTR19	CATRUH20	CATRNDV20	CATRLST20	UHIR21	NDVIR21	LSTR21	UHIR22	NDVIR22	LSTR22	LST23	UHIR23	NDVIR23
2	5.59673	0.305778	23.139	14.3912	0.274621	22.9232	3.42171	0.210153	22.262	5.74957	0.205934	24.098	28.09803	9.00895	0.07357
3	6.67085	0.208217	22.6583	15.1839	0.1913	23.7159	3.91585	0.12461	22.7561	5.65363	0.181157	24.0021	26.44121	7.35213	0.13225
4	6.38972	0.309671	22.9255	14.4542	0.270815	22.9862	3.62869	0.223156	22.469	4.97883	0.259764	23.3273	28.69042	9.60133	0.16917
5	7.21383	0.151899	23.7496	17.5814	0.21857	26.1134	5.15911	0.244802	23.9994	6.43398	0.196966	24.7824	27.26413	8.17504	0.15972
6	5.38413	0.313087	21.9199	14.498	0.227197	23.0299	3.45581	0.218592	22.2961	5.53802	0.250139	23.8865	26.81714	7.72806	0.09317
7	7.34369	0.192425	23.701	17.6193	0.173268	26.1513	5.51915	0.171702	24.3594	6.06124	0.185997	24.4097	25.38917	6.30008	0.25895
8	7.47564	0.281027	24.0114	18.0478	0.193883	26.5797	5.86566	0.220648	24.706	6.7839	0.270301	25.1323	25.40615	6.31706	0.13265
9	4.1643	0.46287	20.979	12.0821	0.264814	20.614	2.0064	0.062159	20.8467	3.4325	0.084239	21.7809	22.98151	3.89242	0.22912
0	6.53305	0.137536	24.1052	16.3935	0.220853	24.9255	5.38491	0.186219	24.2252	5.55996	0.156552	23.9084	26.08977	7.00068	0.24392
1	7.31732	0.141656	23.8531	16.7364	0.119619	25.2684	5.10425	0.140484	23.9445	6.87715	0.135389	25.2256	27.06298	7.97389	0.17705
2	5.75305	0.213089	22.2888	14.0904	0.185809	22.6224	3.72856	0.18785	22.5688	4.63064	0.20594	22.9791	27.56537	8.47628	0.09203
3	7.67734	0.233229	24.1819	18.7857	0.209964	27.3177	6.01593	0.236607	24.8562	6.65776	0.273613	25.0062	25.52212	6.43303	0.22909
4	7.64385	0.192738	24.3758	17.2012	0.137508	25.7332	5.95428	0.141715	24.7946	7.18343	0.123144	25.5319	25.56469	6.4756	0.26337
5	7.05963	0.187662	24.1821	15.4796	0.221418	24.0116	4.49208	0.180806	23.3324	5.82382	0.244045	24.1723	24.17935	5.09026	0.29707
6	7.49244	0.278276	24.1842	18.2943	0.194203	26.8262	5.65049	0.245171	24.4908	6.44555	0.289449	24.794	27.3366	8.24751	0.15705
7	5.50635	0.30985	22.0421	14.7882	0.247054	23.3201	3.53133	0.223688	22.3716	5.43947	0.235074	23.7879	27.46051	8.37142	0.06113
8	4.41903	0.298214	20.9548	13.7667	0.184366	22.2987	2.63161	0.137727	21.4719	3.43484	0.142586	21.7833	27.31788	8.22879	0.15677
9	7.4278	0.193509	24.158	16.715	0.144465	25.247	4.95989	0.161825	23.8002	6.82716	0.156006	25.1756	26.6428	7.55371	0.29981
0	5.67011	0.233089	22.2059	14.2386	0.199518	22.7705	3.40231	0.173263	22.2426	5.32163	0.197215	23.6701	26.9318	7.84271	0.17915
1	4.62377	0.183822	21.9229	12.9914	0.162405	21.5234	2.82759	0.236441	21.6679	3.98435	0.176407	22.3328	23.99955	4.31046	0.33858
2	6.07207	0.143506	22.6078	16.0499	0.186008	24.5819	4.33988	0.16005	23.1802	4.89204	0.208623	23.2405	26.93195	7.84286	0.12248
3	7.6581	0.245243	24.1939	17.5769	0.181544	26.1088	5.79651	0.187482	24.6368	7.09795	0.161529	25.4464	26.64996	7.56087	0.26843
4	5.38913	0.263202	21.9249	14.4811	0.193963	23.013	3.42171	0.210897	22.262	5.80251	0.168835	24.1509	25.42499	6.33591	0.19002
5	6.52018	0.427962	23.0559	15.9037	0.291715	24.4357	4.66103	0.193899	23.5013	6.04406	0.290157	24.3925	25.38698	6.29789	0.19984
6	7.60015	0.377698	24.0087	17.4964	0.256341	26.0283	5.66721	0.247651	24.5075	6.96226	0.254208	25.3107	24.0087	4.91961	0.36107
7	6.10592	0.240819	22.6417	14.4277	0.2262	22.9597	3.687	0.257246	22.5273	5.21996	0.308411	23.5684	23.72094	4.63186	0.07689
8	4.33257	0.33801	20.9548	13.4299	0.16684	21.9618	2.435	0.14992	21.2753	3.75263	0.172137	22.1011	25.91272	6.82364	0.22176
9	6.97521	0.201985	23.4747	17.6501	0.153268	26.182	5.9351	0.16072	24.7754	6.45331	0.127452	24.8017	25.92006	6.83097	0.14512
0	6.70951	0.233717	23.752	15.8919	0.240804	24.4239	5.0486	0.242958	23.8889	6.1902	0.245817	24.5386	26.63385	7.54477	0.18738
1	7.37696	0.333627	23.9127	17.7958	0.258239	26.3278	5.66712	0.265517	24.5074	6.67918	0.269687	25.0276	27.31546	8.22637	0.18831
2	5.71148	0.272573	21.9417	13.7692	0.169747	22.3011	3.96566	0.219829	22.8069	4.40975	0.256192	22.7582	25.76137	6.67229	0.22986
3	5.97656	0.409953	22.5123	15.4891	0.259516	24.0211	4.32763	0.202127	23.1679	5.67243	0.283665	24.0209	24.34976	5.26067	0.21999
4	5.82855	0.225409	22.3546	15.5302	0.16426	24.0621	3.95595	0.122499	22.7998	5.41326	0.153419	23.7617	26.81921	7.73012	0.20181
5	4.67767	0.301659	21.2134	15.4148	0.197848	23.9468	2.65109	0.197796	21.4914	3.34151	0.240839	21.6899	26.73967	7.65059	0.11039
6	4.4014	0.44524	21.154	14.2188	0.32869	22.7507	2.78366	0.172831	21.624	3.53509	0.17279	21.8835	27.5094	8.42031	0.10823
7	5.48199	0.284449	22.8944	14.4616	0.245487	22.9935	3.43145	0.219608	22.2717	5.86234	0.19975	24.2108	27.03035	7.94126	0.12902
8	7.14622	0.253633	23.7496	17.3546	0.256046	25.8866	5.20479	0.235975	24.0451	6.50516	0.285819	24.8536	27.38346	8.29438	0.0644

Anexo 4. Valores máx. y min. de NDVI y LST

	2019	2020	2021	2022	2023
NDVI	-0.12	-0.01	-0.02	-0.04	-0.07
	0.02	0.06	0.05	0.04	0.03
	0.08	0.13	0.13	0.13	0.13
	0.13	0.21	0.21	0.21	0.23
	0.18	0.28	0.29	0.29	0.33
	0.26	0.35	0.36	0.37	0.43
	0.53	0.42	0.44	0.46	0.53

	2019	2020	2021	2022	2023
NDVI Min	-0.12	-0.01	-0.02	-0.04	-0.07
NDVI Max	0.53	0.42	0.44	0.46	0.53

	2019	2020	2021	2022	2023
LST	19.65	20.25	20.25	20.32	21.6
	21.02	22.27	22.27	21.96	22.81
	22.38	23.1	23.1	23.6	24.01
	23.75	23.81	23.81	25.25	25.22
	25.11	24.59	24.59	26.89	26.43
	26.48	25.67	25.67	28.54	27.63
	27.84	29.58	29.58	30.18	28.84

	2019	2020	2021	2022	2023
Tem superficial min	19.65	20.25	20.25	20.32	21.6
Tem superficial max	27.84	29.58	29.58	30.18	28.84

Anexo 5. Distribución de la isla de calor en los barrios

BARRIOS	Promedio de 2019	Máx. de 2019	Min. de 2019	Promedio de 2020	Máx. de 2020	Min. de 2020	Promedio de 2021	Máx. de 2021	Min. de 2021	Promedio de 2022	Máx. de 2022	Min. de 2022	Promedio de 2023	Máx. de 2023	Min. de 2023
25 DE AGOSTO	7.51	8.45	5.55	17.59	18.25	16.16	5.50	6.15	4.34	6.65	7.67	5.15	6.80	8.00	5.11
CEMENTERIO	7.74	8.43	6.98	17.19	18.15	16.31	5.91	6.44	5.10	6.56	7.32	5.85	7.04	7.98	6.28
CENTRO	8.14	8.78	7.68	16.67	17.22	16.01	6.49	6.91	5.94	7.46	7.92	6.63	8.21	8.56	7.74
COLINAS PICHINCHA	7.11	8.12	6.35	17.69	18.67	16.45	6.06	7.06	4.91	6.90	8.18	5.81	6.71	7.36	6.01
CONARO	7.73	8.70	6.64	16.54	16.97	15.97	6.01	6.76	5.07	6.85	7.76	5.91	7.66	8.44	6.45
Cruz Misión	7.42	8.36	6.24	17.06	18.58	16.43	5.61	6.96	4.88	6.99	8.46	6.30	7.33	8.03	6.25
ELOY ALFARO	8.39	9.63	7.72	17.71	18.98	16.87	6.59	7.30	5.97	7.48	8.29	6.79	7.71	8.36	6.85
LA ISLA	7.55	9.26	4.92	15.63	18.01	13.05	5.43	7.75	2.45	6.10	8.52	2.73	6.70	8.35	4.18
LA PANIPA	7.57	9.22	5.00	16.56	19.53	13.36	6.78	9.30	3.77	7.20	9.80	4.30	7.13	8.35	4.25
LOS PINOS	8.54	8.86	8.22	16.87	17.41	16.41	6.46	7.03	6.17	7.55	8.05	7.39	8.25	8.52	8.01
María Isabel	7.91	9.42	4.53	16.45	18.43	13.15	6.15	7.65	2.68	6.80	8.00	3.24	7.10	8.59	3.62
MUNICIPAL	7.25	8.87	5.19	17.03	18.95	14.77	5.05	6.48	2.90	6.09	7.71	4.17	5.98	8.47	4.18
Narcisca De Jesús	7.32	7.88	6.71	17.46	18.03	16.54	5.09	5.69	4.39	6.81	7.80	6.29	6.17	6.98	4.94
San José	6.80	8.70	3.85	15.64	18.24	11.72	4.60	6.43	1.66	5.72	7.64	3.42	6.00	7.87	2.91
SAN MIGUEL	7.71	8.22	6.49	16.32	18.50	14.50	6.13	6.99	4.62	7.07	8.85	5.19	7.82	8.50	6.00
SUCRE	7.47	9.53	4.61	17.15	19.08	14.09	6.10	8.37	2.92	6.59	8.52	3.24	7.68	9.46	3.62
Total general	7.60982415	9.6320896	3.8501301	16.69356078	19.5333004	11.7152996	5.804045301	9.3015299	1.6627001	6.656364083	9.7979803	2.73156	6.983670812	9.4604797	2.9068301

