

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Islas de calor urbano y su relación con la cobertura
de suelo en la ciudad de Ilo, 2022**

Leslye Maryorie Aguilar Cusirramos
Stefani del Carmen Cabrera Portocarrero

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental

Ilo, 2024

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TESIS

A : FELIPE GUTARRA MEZA
Decano de la Facultad de Ingeniería

DE : José Vladimir Cornejo Tueros
Asesor de tesis

ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de tesis

FECHA : 24 de Febrero de 2024

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para saludarlo y en vista de haber sido designado asesor de la tesis titulada: "ISLAS DE CALOR URBANO Y SU RELACIÓN CON LA COBERTURA DE SUELO EN LA CIUDAD DE ILO,2022", perteneciente al/la/los/las estudiante(s) LESLYE MARYORIE AGUILAR CUSIRRAMOS; STEFANI DEL CARMEN CABRERA PORTOCARERO, de la E.A.P. de Ingeniería Ambiental; se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 19 % de similitud (informe adjunto) sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores (Nº de palabras excluidas: 12) SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que la tesis constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad.

Recae toda responsabilidad del contenido de la tesis sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios de legalidad, presunción de veracidad y simplicidad, expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales – RENATI y en la Directiva 003-2016-R/UC.

Esperando la atención a la presente, me despido sin otro particular y sea propicia la ocasión para renovar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,

La firma del asesor obra en el archivo original
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD

Yo, Leslye Maryorie Aguilar Cusirramos, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 71351515, de la E.A.P. de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. La tesis titulada: "ISLAS DE CALOR URBANO Y SU RELACIÓN CON LA COBERTURA DE SUELO EN LA CIUDAD DE ILO, 2022", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
3. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

19 de Febrero de 2024.

La firma del autor y del asesor obra en el archivo original

(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD

Yo, Stefani del Carmen Cabrera Portocarrero, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 71554821, de la E.A.P. de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

5. La tesis titulada: "ISLAS DE CALOR URBANO Y SU RELACIÓN CON LA COBERTURA DE SUELO EN LA CIUDAD DE ILO, 2022", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.
6. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
7. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
8. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

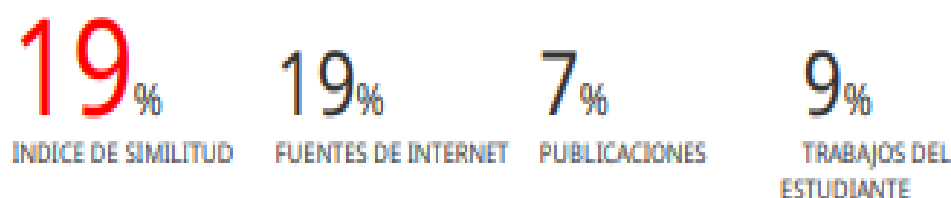
19 de Febrero de 2024.

La firma del autor y del asesor obra en el archivo original

(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

ISLAS DE CALOR URBANO Y SU RELACIÓN CON LA COBERTURA DE SUELO EN LA CIUDAD DE ILO, 2022

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.upt.edu.pe Fuente de Internet	5%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
3	repositorio.usta.edu.co Fuente de Internet	1%
4	cdn.www.gob.pe Fuente de Internet	1%
5	revistas.unjbg.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	1%
7	revistas.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	repositorio.unibague.edu.co Fuente de Internet	<1%

9	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
10	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
11	repositorio.espam.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
12	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
13	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
14	repositorio.unaj.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
15	eos.com Fuente de Internet	<1 %
16	repositorio.upeu.edu.pe:8080 Fuente de Internet	<1 %
17	Submitted to Consorcio CIXUG Trabajo del estudiante	<1 %
18	Submitted to Universidad TecMilenio Trabajo del estudiante	<1 %
19	Carlos Miguel Ramos Cruz, Juan Estrada-Ávalos, Gerardo Delgado-Ramírez, Emilia Raquel Pérez-Evangelista et al. "Aplicación de	<1 %

sistemas de información geográfica y sensoria remota en el seguimiento del avance de riego en un módulo del distrito de riego 017 Región Lagunera", Acta Agrícola y Pecuaria, 2022

Publicación

20	biblioteca.unicesmag.edu.co Fuente de Internet	<1 %
21	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
22	repositorio.unac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
23	repositorio.uap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
24	repositorio.unj.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
25	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1 %
26	1library.co Fuente de Internet	<1 %
27	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	<1 %
28	Santiago Juan García Espallargas. "Formulación de imprimaciones epoxi en polvo de curado a bajas temperaturas	<1 %

basadas en triflatos de lantánido. Desarrollo de una técnica electroquímica para la evaluación acelerada de la protección anticorrosiva de recubrimientos orgánicos:...", Universitat Politecnica de Valencia, 2006

Publicación

29	Submitted to Universidad Del Magdalena Trabajo del estudiante	<1 %
30	repositorio.uaustral.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
31	ri.uaemex.mx Fuente de Internet	<1 %
32	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	<1 %
33	kipdf.com Fuente de Internet	<1 %
34	repositorio.umsa.bo Fuente de Internet	<1 %
35	rtyc.utn.edu.ar Fuente de Internet	<1 %
36	repositorio.upeu.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
37	Submitted to Universitat Politècnica de València Trabajo del estudiante	<1 %

38	americanae.aecid.es Fuente de Internet	<1 %
39	es.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
40	repositorio.ana.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
41	"Inventarios Forestales Nacionales de América Latina y el Caribe", Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2021 Publicación	<1 %
42	Submitted to UNILIBRE Trabajo del estudiante	<1 %
43	dspace.ucuenca.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
44	livrosdeamor.com.br Fuente de Internet	<1 %
45	theibfr.com Fuente de Internet	<1 %
46	Submitted to Universidad Peruana Cayetano Heredia Trabajo del estudiante	<1 %
47	estadisticamente.com Fuente de Internet	<1 %

48	"Análisis geoespacial en los estudios urbanos", Universidad Nacional Autónoma de México, 2018 Publicación	<1 %
49	retos.ups.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
50	repositorio.unjbg.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
51	upcommons.upc.edu Fuente de Internet	<1 %
52	www.maec.es Fuente de Internet	<1 %
53	vsip.info Fuente de Internet	<1 %
54	www.revistas.una.ac.cr Fuente de Internet	<1 %
55	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
56	Submitted to uncedu Trabajo del estudiante	<1 %
57	www.sciencegate.app Fuente de Internet	<1 %
58	Pedro García-Ramírez, Pedro Antonio Domínguez-Calleros, José Javier Corral-Rivas,	<1 %

Marín Pompa-García et al. "Estimación de volumen forestal mediante imágenes de satélite Landsat 8 OLI en bosques templados mixtos", Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, 2020

Publicación

59	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
60	sedici.unlp.edu.ar Fuente de Internet	<1 %
61	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
62	Submitted to Universidad Politecnica Salesiana del Ecuador Trabajo del estudiante	<1 %
63	ciencia.lasalle.edu.co Fuente de Internet	<1 %
64	repositorio.utelesup.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
65	tesis.ipn.mx Fuente de Internet	<1 %
66	www.eea.europa.eu Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas Activo
Excluir bibliografía Activo

Excluir coincidencias < 12 words

ASESOR

Ing. José Vladimir Cornejo Tueros

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, deseamos manifestar nuestro gran agradecimiento a Dios por su inmenso amor y por guiar nuestros pasos, que nos brinda la sabiduría y las oportunidades que nos condujeron a las personas e instituciones que han desempeñado un papel fundamental en nuestro desarrollo académico y personal.

Queremos extender nuestro reconocimiento al Ing. José Vladimir Cornejo Tueros, nuestro asesor de investigación de tesis, por su invaluable dirección y sabios consejos que fueron cruciales en la adquisición de los objetivos para este proyecto. Su guía fue fundamental en nuestra travesía académica.

Asimismo, destacamos la contribución de la Ing. Carmen Rosa Roman Arce, cuya visión crítica, vastos conocimientos y experiencia desempeñaron un papel esencial en la culminación exitosa de esta investigación. Su asesoría fue un faro en nuestro camino.

No podemos pasar por alto el apoyo inquebrantable de nuestros padres, quienes nos brindaron amor, comprensión y apoyo durante los momentos difíciles y los obstáculos que enfrentamos en el transcurso de esta investigación. Ellos han sido nuestra fuente de inspiración y nuestro motor para alcanzar nuestras metas.

También, deseamos expresar nuestra gratitud a nuestros amigos, cuyo apoyo moral nos mantuvo enfocados con empeño, dedicación y cariño a lo largo de esta travesía. Finalmente, agradecemos a todos aquellos que, de una u otra manera, apoyaron con su granito de arena para la exitosa culminación de este proyecto. Sin su contribución, no habríamos logrado nuestra meta propuesta.

DEDICATORIA

A mis padres Juan y Margarita por su apoyo incondicional y motivación permitieron que logre culminar mi carrera profesional.

También, a mis hermanos y sobrinos, por brindarme su apoyo moral en todo este proceso para culminar esta meta. A mi compañera de tesis y mejor amiga Stefani por cumplir juntas unos de nuestros anhelos más deseados.

A toda mi familia en general, que me han apoyado, con palabras de aliento y consejos, a todos ellos les dedico todo mi esfuerzo y trabajo puesto para la realización de esta tesis.

Bach. Leslye Aguilar Cusirramos

Dedico esta tesis con todo mi amor y cariño a mi abuelita Olga que desde el cielo me cuida y guía. A mis padres Pablo y Cecilia, quienes con su amor, paciencia y apoyo incondicional me han impulsado a cumplir hoy un sueño más en mi vida.

A mis hermanos Derliz, Emmily y Silvia por ser mis pilares fundamentales, a mis sobrinas y a toda mi familia en general por sus oraciones, consejos y palabras de aliento. También, a mis amigos, pero, especialmente, a Leslye, mi mejor amiga y compañera de tesis por aceptar ser parte de esta aventura y poder lograr juntas conseguir nuestro título.

Bach. Stefani Cabrera Portocarrero

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	3
DEDICATORIA	4
RESUMEN	11
INTRODUCCIÓN	13
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	15
1.1. Planteamiento del planteamiento y formulación del problema.....	15
1.1.1. Planteamiento del problema	15
1.1.2. Problema general.....	16
1.1.2.1. Problemas específicos	16
1.2. Objetivos	17
1.2.1. Objetivo General	17
1.2.2. Objetivos Específicos.....	17
1.3. Justificación e importancia.....	17
1.3.1. Ambiental	17
1.3.2. Social.....	18
1.3.3. Tecnológico.....	18
1.4. Hipótesis y descripción de variables	18
1.4.1. Hipótesis general	18
1.4.2. Hipótesis específicas	19
1.4.3. Descripción de variables	19
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	21
2.1. Antecedentes del problema	21
2.1.1. Antecedentes internacionales	21
2.1.2. Antecedentes nacionales	22
2.2. Bases teóricas	24
2.2.1. Islas de calor.....	24

2.2.2.	Formación de islas de calor	24
2.2.3.	Características de las islas de calor	24
2.2.4.	Tipos de islas de calor	25
2.2.5.	Efectos e impactos:.....	26
2.2.6.	Causas:	26
2.2.7.	Forma de evaluar:.....	27
2.2.8.	Teledetección ambiental.....	27
2.2.8.1.	Teledetección en el infrarrojo térmico	27
2.2.9.	Satélite Landsat 8	28
2.2.10.	Temperatura Superficial.....	29
2.2.11.	Temperatura de Brillo	31
2.2.12.	Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)	32
2.2.13.	Índice de Vegetación Ajustada al Suelo (SAVI).....	32
2.2.14.	Índice de Diferencia Normalizada Edificada (NDBI)	33
2.2.15.	Índice Build – Up (BU).....	34
2.2.16.	Sistema de Información Geográfico.....	34
2.2.17.	Procesamiento de imagen.....	35
2.2.17.1.	Clasificación de imágenes satelitales	35
2.2.18.	Suelo.....	36
2.2.19.	Ocupación del suelo	37
2.3.	Definición de términos básicos	37
2.3.1.	Islas de Calor	37
2.3.2.	Teledetección	37
2.3.3.	Análisis multitemporal	37
2.3.4.	Imágenes satelitales.....	37
2.3.5.	Bandas espectrales.....	38
2.3.6.	Píxeles	38

2.3.7.	Emisividad.....	38
2.3.8.	Algoritmo Split Window	38
CAPÍTULO III METODOLOGÍA		39
3.1.	Método y alcance de la investigación	39
3.1.1.	Método de la investigación.....	39
3.1.2.	Alcance de la investigación	39
3.1.3.	Nivel de la investigación	39
3.2.	Diseño de la investigación.....	40
3.2.1.1.	Tipos de la investigación:.....	40
3.3.	Población y muestra	40
3.3.1.	Población.....	40
3.3.2.	Muestra.....	40
3.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	42
3.4.1.	Datos meteorológicos	42
3.4.2.	Datos poblacionales.....	43
3.4.3.	Procesamiento de Imágenes Satelitales.....	45
3.4.4.	Metodología de Split Window	49
3.4.5.	Cobertura del Suelo Urbano.....	52
3.4.6.	Análisis estadístico.....	55
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN		57
4.1.	Resultados del tratamiento y análisis de la información.....	57
4.1.1.	Resultados del análisis multitemporal para determinar la relación entre la Temperatura Superficial Terrestre (TST) y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).....	57
4.1.2.	Análisis de Temperatura Superficial Terrestre (TST).....	62
4.1.3.	Análisis Multitemporal de la Cobertura del Suelo Urbano	65
4.2.	Prueba de Hipótesis	80
4.2.1.	Primera Hipótesis Específica.....	80

4.2.2.	Segunda Hipótesis Específica	83
4.2.3.	Tercera Hipótesis Específica.....	86
4.2.4.	Cuarta Hipótesis Específica	89
4.3.	Discusión de resultados.....	92
CONCLUSIONES		95
RECOMENDACIONES		97
REFERENCIAS		98
ANEXOS		104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Descripción de variables.....	20
Tabla 2: Bandas espectrales Landsat 8	29
Tabla 3: Emisividad en dos cubiertas para las bandas térmicas de Landsat 8.....	31
Tabla 4: Constantes de calibración	32
Tabla 5: Coordenadas de la zona urbana de Ilo	41
Tabla 6: INEI Censo 2017	43
Tabla 7: Evolución Poblacional según espacios Urbano – Rural (2007 – 2017)	44
Tabla 8: Imágenes Landsat identificadas para el área de estudio	45
Tabla 9: Constante de calibración de la banda térmico del satélite Landsat	48
Tabla 10: Esquema de trabajo del método Split-Window	50
Tabla 11: Coeficientes Split Window	51
Tabla 12: Descripción de las bandas 4 y 5 para satélite Landsat 8.....	52
Tabla 13: Descripción de las bandas 5 y 6 para satélite Landsat 8.....	54
Tabla 14: Coeficiente de correlación de Pearson.....	56
Tabla 15: Cuadro de Humedad Relativa	57
Tabla 16: Cuadro de Temperatura Máxima	59
Tabla 17: Cuadro de Temperatura Mínima.....	61
Tabla 18: Coordenadas tomadas en la zona de estudio.....	79
Tabla 19: Correlación entre Temperatura superficial terrestre (TST) Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)	82
Tabla 20: Correlación entre Temperatura superficial terrestre (TST) y índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI).....	85
Tabla 21: Correlación entre Temperatura superficial terrestre (TST) y índice de Diferencia Normalizada Edificada (NDBI)	88
Tabla 22: Correlación entre Temperatura superficial terrestre (TST) y Build-Up (BU)	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Capas atmosféricas Urbanas	26
Figura 2: Espectro electromagnético – Infrarrojo térmico	27
Figura 3: Mapa de ubicación de la zona de estudio.....	41
Figura 4: Tendencia de la media anual de humedad relativa.....	58
Figura 5: Tendencia de la media anual de temperatura máxima	60
Figura 6: Tendencia de la media anual de temperatura mínima.....	62
Figura 7: Estimación de Temperatura Superficial terrestre (TST).....	63
Figura 8: Anomalías estandarizadas de TST	64
Figura 9: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).....	66
Figura 10: Anomalías estandarizadas de NDVI	67
Figura 11: Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI)	69
Figura 12: Anomalías estandarizadas de SAVI.....	71
Figura 13: Índice de diferencia Normalizada Edificada (NDBI)	73
Figura 14: Anomalías estandarizadas de NDBI	74
Figura 15: Índice Build-Up (BU)	76
Figura 16: Anomalías estandarizadas de BU.....	77
Figura 17: Validación en Campo de la Clasificación de Cobertura Vegetal.....	107
Figura 18: Validación en Campo de la Clasificación de Zona Urbana	108
Figura 19: Validación en Campo de la Clasificación de Suelo Erosionado.....	109

RESUMEN

La presente investigación titulada “Islas de calor urbano y su relación con la cobertura del suelo en la ciudad de Ilo 2022”, cuyo objetivo principal es determinar la relación entre las Islas de calor urbano y la cobertura del suelo en la ciudad de Ilo, a partir del análisis de imágenes satelitales, de las cuales se obtuvieron 4 índices ambientales NDVI, NDBI, BU y SAVI para el área urbana de Ilo, mediante un análisis multitemporal del año 2014 al 2021. El enfoque de la metodología fue determinar el impacto del aumento de la población en un índice de calidad ambiental urbano con el uso de imágenes satelitales Landsat 8, y herramientas modernas como los sistemas de información geográfico (SIG) para generar los algoritmos usando la metodología de Split Window que nos ayudará a identificar las islas de calor urbano. Al generar mapas temáticos, logramos cumplir con los objetivos específicos propuestos en la investigación, como también se logró determinar la temperatura superficial terrestre y la cobertura de suelo. En los resultados de los análisis de la correlación entre la Temperatura Superficial Terrestre (TST) y (NDVI), nos dio un valor de 0.086 que sugiere una correlación muy débil, en la correlación de TST y SAVI se obtuvo el valor de 0.086, lo que también es una correlación positiva débil pero no nula, en el análisis entre la TST y NDBI se identificó el valor de 0.2 lo menciona que a medida que la temperatura superficial terrestre aumenta. Asimismo, lo hace la densidad edificada, y en la última correlación entre la TST y BU el valor de 0.2 sugiere que, aunque existe una relación lineal positiva, esta no es extremadamente fuerte, y que mientras la temperatura superficial terrestre aumenta, así como lo produce la acumulación de elementos urbanos.

En conclusión, podemos decir que la temperatura superficial terrestre realizando el análisis en los años procesados supera los 30°C. Esto nos indica, de acuerdo al estado del arte revisado que toda la zona urbana de la ciudad de Ilo, se encuentra sobre una gran Isla de Calor Urbano. Se nos llevó a la reflexión final que la temperatura superficial terrestre y, por ende, las Islas de Calor Urbana (ICU) incrementan al tener mayor suelo erosionado y menor cobertura vegetal sana, al no poder evitar el aumento de las zonas de edificación, se debe plantear la necesidad de tener propuestas de solución que generen un aumento de áreas verdes por metro cuadrado.

Palabras claves: *Isla de calor urbano, análisis multitemporal, imágenes satelitales, cobertura del suelo, Split Window (SP)*

ABSTRACT

The present research entitled "Urban heat islands and their relationship with land cover in the city of Ilo 2022", whose main objective is to determine the relationship between urban heat islands and land cover in the city of Ilo, from the analysis of satellite images, from which 4 environmental indices NDVI, NDBI, BU and SAVI were obtained for the urban area of Ilo, through a multitemporal analysis from 2014 to 2021. The focus of the methodology was to determine the impact of population increase on an urban environmental quality index with the use of Landsat 8 satellite images, and modern tools such as geographic information systems (GIS) to generate algorithms using the Split Window methodology that will help us to identify urban heat islands. By generating thematic maps we were able to meet the specific objectives proposed in the research, in the results of the analysis of the correlation between the Land Surface Temperature (TST) and (NDVI) gave us a value of 0.086 which suggests a very weak correlation, in the correlation between TST and SAVI a value of 0.086 was obtained which is also a weak positive correlation but not null, in the analysis between TST and NDBI a value of 0.2 was identified, which mentions that as the land surface temperature increases, so does the built density. 2 which mentions that as the land surface temperature increases, so does the built density, and in the last correlation between TST and BU the value of 0.2 suggests that, although there is a positive linear relationship, it is not extremely strong, and that as the land surface temperature increases, so does the accumulation of urban elements. In conclusion, we can say that the terrestrial surface temperature in the processed years exceeds 30°C, which indicates, according to the revised state of the art, that the entire urban area of the city of Ilo is located on a large Urban Heat Island. Leading us to the final reflection that the terrestrial surface temperature and therefore the Urban Heat Islands (UHI) increase by having more eroded soil and less healthy vegetation cover, not being able to avoid the increase of building areas, the need to have proposed solutions that generate an increase in green areas per square meter should be raised.

Key words: *Urban Heat Island, multitemporal analysis, satellite imagery, land cover, Split Window (SP)*

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, a nivel mundial, la concentración de población y las construcciones existentes en las ciudades han alterado el balance de energía ocasionando el incremento de temperatura al medio ambiente, que provoca así un fenómeno llamado isla de calor urbano (ICU), el cual se define como la diferencia de temperaturas entre las zonas urbanas y rurales. Este fenómeno proviene del cambio de cobertura del suelo causado por la urbanización y la conversión de superficies a materiales impermeables como el asfalto y el hormigón. Asimismo, es causado por las actividades urbanas, en particular el transporte y la industria, que genera una serie de consecuencias fatales tanto en la salud humana, las emisiones de gases de efecto invernadero y el consumo de energía (1)

Como país del tercer mundo, Perú no es ajeno a estos efectos climáticos, ya sea por la falta de mano de obra calificada involucrada con la construcción informal o por los procesos técnicos básicos en el sector de construcción. Esto se refleja en el hecho de que "tres de cada cuatro viviendas construidas en el país son informal, a pesar de que el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS) ha creado una política para promover la vivienda formal" (2). De igual modo, los números muestran el frágil sistema de control constructivo del país, tanto en infraestructura pública como privada, y, entre ellas, en entornos urbanos, la falta de un diseño que cumpla con los estándares de tecnología ambiental, que ocasiona indirectamente efectos nocivos en las casas vecinas y sus residentes.

Sumado a lo anterior, se observó un crecimiento urbano descontrolado en varias ciudades del país como Lima, Arequipa, Juliaca, etc; donde se realizaron investigaciones, que lograron identificar y determinar islas de calor. Esto ha generado gran preocupación ya que esta situación podría seguir en aumento y darse en otras ciudades como es el caso de la ciudad de Ilo.

Ilo es una ciudad en rápido crecimiento, lo que significa más calles asfaltadas, casas, edificios y otra infraestructura. Todos estos factores y la urbanización descontrolada crean diferencias de temperatura urbana, que significa que podría encontrarse islas de calor en nuestra ciudad. Es por ello que es conveniente realizar un estudio actual para la comprensión de este fenómeno ambiental en la ciudad, ya que ello permitirá identificar

si realmente se está dando esta problemática, el cual afecta el consumo de energía, la contaminación del aire y el confort climático, así como ver la relación y/o interacción entre dicho fenómeno con la cobertura del suelo.

El informe que se presentará abordará de manera integral el tema de la isla de calor urbano (ICU) en la ciudad de Ilo, Perú, caracterizado por el aumento de la temperatura en lugares urbanos a diferencia de áreas rurales, originado por variaciones en la cobertura del suelo debido a la urbanización y la impermeabilización con materiales como asfalto. Se analizará detalladamente su génesis y efectos, con énfasis en la salud humana, consumo de energía y emisiones de gases de efecto invernadero.

El estudio se estructurará en varios componentes esenciales: un análisis profundo sobre la literatura sobre la ICU, con enfoque en sus causas, impactos y soluciones; un análisis de la situación particular de Ilo, que considera su rápido crecimiento urbano y sus posibles implicaciones en la conformación de islas de calor; y la aplicación de una metodología de investigación basada en imágenes satelitales y teledetección para identificar y cuantificar las áreas afectadas por la ICU, que realiza análisis de cobertura del suelo y correlaciones con datos de temperatura.

La investigación, también, resaltaré la importancia de estas investigaciones en la gestión de la calidad del aire y en los estudios ambientales, destacando cómo la comprensión de la ICU puede contribuir a mejorar el confort térmico urbano y reducir el impacto en la salud de los residentes, además de promover políticas públicas que fomenten la construcción formal y regulen el crecimiento urbano en Ilo y áreas similares.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento del planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

Desde hace bastante tiempo, se ha observado la presencia de las Islas de Calor Urbano (ICU) en diversos lugares urbanos, caracterizadas por tener una temperatura de superficie y aire más elevadas que sus entornos rurales circundantes. Aunque el fenómeno es identificado en ciudades por todo el mundo, el primero en documentar estas variaciones de temperatura, entre áreas urbanas y rurales, fue el investigador Luke Howard en 1818 (3), quien señaló que existe calor urbano en Londres. La urbanización y la antropización en zonas urbanas han transformado significativamente las condiciones originales del entorno físico, que provoca alteraciones a nivel macroclimático debido a la ocupación del territorio y las características de las estructuras edificadas, así como a la infraestructura vial (4). Estos cambios conducen a la degradación del microclima preexistente, y generan espacio a un microclima nuevo con condiciones climáticas distintas. Las diferencias se manifiestan en términos de temperatura, humedad relativa, patrones de viento, composición atmosférica local, balance de energía e hídrico, y rugosidad de la superficie (5).

El crecimiento urbano, impulsado por el aumento de una población en crecimiento, ha resultado en la pérdida de entornos naturales y la expansión de la urbanización con diversas edificaciones cuyos materiales de construcción absorben calor durante el día. Se estima que las ICU pueden ser responsables de una parte considerable del calentamiento global, aunque algunas investigaciones sugieren que su contribución puede ser relativamente menor (6). Además, la proliferación de dispositivos electrónicos, como computadoras y refrigeradores, contribuye al aumento de la temperatura ambiental debido al consumo de energía y la consiguiente liberación de calor. Para contrarrestar estos efectos, se recurre a sistemas

de enfriamiento, como aires acondicionados, lo que puede generar un ciclo de calor adicional (7)

La influencia del tráfico vehicular y la actividad industrial, también, se suma a la elevación de la temperatura en la superficie. En el caso de la ciudad de Ilo, su crecimiento no ha sido ajeno a estas dinámicas, con un aumento poblacional del 6.3% anual según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (8) pasando de 67,400 personas en 2015 a 74,649 en 2017.

La investigación que se presenta tiene como objetivo principal establecer la relación entre las Islas de Calor Urbano y la cobertura del suelo en la ciudad de Ilo. El propósito de este estudio es proporcionar propuestas de soluciones ambientales ante esta problemática.

1.1.2. Problema general

- ¿Cuál es la relación entre las Islas de calor urbano y la cobertura del suelo en la ciudad de Ilo?

1.1.2.1. Problemas específicos

- ¿Existe una relación entre la Temperatura Superficial Terrestre (TST) y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) en los años analizados?
- ¿Existe una relación entre la Temperatura Superficial Terrestre (TST) y el Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI) en los años analizados?
- ¿Existe una relación entre la Temperatura Superficial Terrestre (TST) y el Índice de Diferencia Normalizada Edificada (NDBI) en los años analizados?
- ¿Existe una relación entre la Temperatura Superficial Terrestre (TST) y Índice Build-Up (BU) en los años analizados?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Determinar la relación entre las Islas de calor urbano y la cobertura del suelo en la ciudad de Ilo.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Realizar un análisis multitemporal para determinar la relación entre la Temperatura Superficial Terrestre (TST) y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).
- Realizar un análisis multitemporal para determinar la relación entre la Temperatura Superficial Terrestre (TST) y el Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI).
- Realizar un análisis multitemporal para determinar la relación entre la Temperatura Superficial Terrestre (TST) y el Índice de Diferencia Normalizada Edificada (NDBI).
- Realizar un análisis multitemporal para determinar la relación entre la Temperatura Superficial Terrestre (TST) y Índice Build-Up (BU).

1.3. Justificación e importancia

El gran problema que aqueja a la población en los últimos años, son las altas temperaturas en las zonas urbanas, más conocidas como las islas de calor. Este fenómeno de origen térmico es ocasionado por elementos que emiten calor, como los asfaltos, edificaciones, entre otros, que genera como consecuencia el cambio climático y daños a la salud.

1.3.1. Ambiental

A lo largo del tiempo, el incremento poblacional ha obligado a las ciudades a modernizarse, que trae consigo la expansión de zonas urbanas y generando gran impacto en el medio ambiente como la contaminación atmosférica, erosión del suelo, escasez de recursos naturales, entre otros. Esto ha provocado que las organizaciones internacionales demuestran un interés en el estudio del clima urbano.

Los índices de calidad ambiental nos muestran una pérdida de la cobertura vegetal, erosión del suelo, aumento de la temperatura superficial y el incremento de áreas construidas. Por esta razón, la presente investigación pretende determinar el Índice de Diferencia Normalizada Edificada (NDBI) para definir la zona urbana, Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI); y el Índice de Vegetación Ajustado del suelo (SAVI) nos permitirán caracterizar mejor las zonas de estudio y estimar el nivel de erosión o pérdida.

También, se podrá identificar las Islas de Calor Urbano (ICA), a través de usos de algoritmos con lo cual se determinará dónde se presenta el aumento de temperatura. Todo esto se realizará mediante un análisis multitemporal.

1.3.2. Social

Las Islas de Calor Urbano representan un aumento de la temperatura, lo cual afecta considerablemente en la salud de la población. Esta investigación pretende dar a conocer a la población sobre esta problemática.

1.3.3. Tecnológico

Para el desarrollo de la investigación, se hará uso de imágenes satelitales Landsat 8, y la generación de algoritmo que permitirá alcanzar los objetivos propuestos. También, se usarán herramientas modernas como el Molder Builder para generar los algoritmos por medio de la metodología de Split Window para poder identificar las islas de calor urbano.

1.4. Hipótesis y descripción de variables

1.4.1. Hipótesis general

H₀: No existe una relación entre las Islas de calor urbano y la cobertura del suelo en la ciudad de Ilo.

H₁: Existe una relación entre las Islas de calor urbano y la cobertura del suelo en la ciudad de Ilo.

1.4.2. Hipótesis específicas

- Existe una relación entre la Temperatura Superficial Terrestre (TST) y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).
- Existe una relación entre la Temperatura Superficial Terrestre (TST) y el Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI).
- Existe una relación entre la Temperatura Superficial Terrestre (TST) y el Índice de Diferencia Normalizada Edificada (NDBI).
- Existe una relación entre la Temperatura Superficial Terrestre (TST) y Índice Build-Up (BU).

1.4.3. Descripción de variables

Variable 1. Islas de Calor Urbana (ICU)

Variable 2. Cobertura del Suelo

Tabla 1
Descripción de variables

Variables	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Metodología
Variable 1. Islas de Calor Urbano	Se emplea para denotar el aumento de temperatura en la atmósfera y en la superficie de una zona urbana en contraste con sus alrededores no urbanizados. (9)	Temperatura superficial	°C	Uso de imágenes satelitales Landsat 8. Metodología de Split Windows
		Terrestre (TST)		
		Emisividad	Adimensional	Uso de imágenes satelitales Landsat 8. Metodología de Split Windows
Variable 2. Cobertura de Suelo	Se refiere a la presencia de vegetación es un elemento predominante en las zonas rurales, donde la vegetación y la tierra constituyen las características principales del paisaje. Esto se debe a que los árboles y la vegetación pueden proporcionar sombra, lo que resulta en una reducción de la temperatura de la superficie. (10)	Proporción de vegetación	Área (Km ²)	Uso de imágenes satelitales Landsat 8. Metodología de Split Windows
		Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)	Píxeles de evaluación	Uso de imágenes satelitales Landsat 8. Sistema de Información Geográfico
		Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI)	Píxeles de evaluación	Uso de imágenes satelitales Landsat 8. Sistema de Información Geográfico
		Índice de Diferencia Normalizada Edificada (NDBI)	Píxeles de evaluación	Uso de imágenes satelitales Landsat 8. Sistema de Información Geográfico
		Índice Build-Up (BU)	Píxeles de evaluación	Uso de imágenes satelitales Landsat 8. Sistema de Información Geográfico

Fuente. Elaboración propia

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Antecedentes internacionales

En el marco de este estudio titulado *Análisis Espacio-Temporal de Variables que Inciden en la Generación de Isla de Calor Urbana en la Localidad de Kennedy*, llevado a cabo en la localidad de Kennedy, Bogotá, se persigue el **objetivo** de diagnosticar la isla de calor urbana presente en esta zona y, al mismo tiempo, identificar las variables que influyen en su formación. El enfoque **metodológico** incluyó usar la herramienta de teledetección y la de sistemas de información geográfica, permitiendo la creación de mapas relacionados con la Temperatura Superficial Terrestre (TST), el Índice de Vegetación Normalizada (NDVI), la energía eléctrica consumida, el albedo superficial y relaciones de contaminación atmosférica y la urbanización con respecto a su temperatura. Los **resultados** que se obtuvieron destacaron la influencia de factores como la ausencia de vegetación, materiales con poca reflectividad, urbanización, contaminación atmosférica, la generación de calor por combustión y la emisión de calor antropogénico. Además, se evaluaron los posibles efectos en la salud, evidenciando una asociación entre la mortalidad y morbilidad en la enfermedad cardiovascular y respiratoria y la isla de calor urbana, especialmente en grupos etarios vulnerables, como personas de más de 60 años y menores de 5 años. En **consecuencia**, estos hallazgos subrayan la importancia de implementar medidas de mitigación para contrarrestar los impactos de la isla de calor urbana en la localidad de Kennedy (11).

El estudio *La isla de calor en la Ciudad de México: un análisis decadal (1950-2010)* presentó como **objetivo** analizar la evolución de la isla de calor en la Ciudad de México durante el período comprendido entre 1950 y 2010. Para ello, se empleó la **metodología** de análisis de datos climatológicos que abarcan la temperatura media por años, que consideran las estaciones de monitoreo disponibles y su período de funcionamiento. El análisis se centró en la tendencia

de la temperatura media en tres estaciones específicas, aquellas que habían estado desde el inicio de su funcionamiento dentro del área urbana, habían sido absorbidas por la expansión urbana en algún momento y se encontraban en áreas rurales. Los **resultados** mostraron un aumento sostenido de la temperatura dentro del área urbana a lo largo de los años, a diferencia de la zona periurbana, que sostuvo temperaturas aproximadamente estables. Además, se observó una expansión constante de las isothermas a medida que la mancha urbana crecía en superficie (12).

En el estudio *Isla de calor urbana y población vulnerable: El caso de Madrid*, el **objetivo** fue abordar el fenómeno de la isla de calor urbana en Madrid, que conlleva un significativo aumento de las temperaturas en áreas urbanas a diferencia de zonas rurales circundantes, con diferencias que pueden alcanzar hasta 8°C en los días más cálidos del verano. Este incremento térmico impacta de manera negativa en las condiciones de confort en las viviendas urbanas, que aumenta la demanda de refrigeración en los hogares madrileños. Esta situación afecta de manera desproporcionada a los hogares en situación de pobreza energética, con consecuencias graves para la salud, e incluye un incremento en la mortalidad en grupos vulnerables. El **resultado** de la investigación busca establecer una conexión espacial entre la isla de calor urbana y la más vulnerable población de Madrid, con el fin de identificar y priorizar las áreas urbanas que requieren intervención para mitigar estos efectos y mejorar en la población afectada sus condiciones de vida (13).

2.1.2. Antecedentes nacionales

En el estudio *Análisis de la relación de la isla de calor urbano con factores demográficos, espaciales y ambientales de Lima metropolitana usando sensores remotos*, el **objetivo** se centra en investigar la relación entre la isla de calor urbano (ICU) y diversos factores espaciales, ambientales y demográficos en Lima metropolitana mediante el uso de sensores remotos. La **metodología** del análisis se basa en imágenes satelitales Landsat 8 para estimar la temperatura de la superficie del suelo, junto con datos geoespaciales del Ministerio del Ambiente (Minam). Se aplicaron diferentes técnicas y métodos para procesar los datos y se llegaron a identificar islas de calor y frío con variadas intensidades

y extensiones en la ciudad. En los resultados, se **encontraron** los factores relacionados con la ICU, se hallaron positivas correlaciones con la elevación, la distancia que hay entre masas de agua, el índice de edificación de diferencia normalizada (NDBI) y el uso de suelo, mientras que el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) mostró correlación negativa. Sin embargo, no se llegó a encontrar evidencia estadística suficiente para confirmar la relación entre una concentración de ciertos contaminantes y la ICU en el área de estudio. En síntesis, el estudio **concluye** que los factores influyentes en la ICU, y su relación con aspectos demográficos, espaciales y ambientales en Lima metropolitana (14).

En el estudio titulado *Detección de núcleos de islas de calor en la Ciudad de Arequipa*, se tuvo como **objetivo** detectar las Islas de Calor Urbanas (ICU) en la ciudad de Arequipa, y analizar su evolución a lo largo de los años debido a los cambios climáticos provocados por el proceso de urbanización. Para lograrlo, se empleó la **metodología** se emplearon imágenes satelitales Landsat 5 y Landsat 8 representativas de los años 2011, 2013 y 2016, con una resolución original de 100 a 120 metros por píxel en la banda térmica, y se calcularon las transmitancias atmosféricas utilizando datos de estaciones del SENAMHI. Los **resultados** revelaron un incremento tanto en la intensidad como en la extensión de las ICU a lo largo de los años, especialmente en el norte y el este en Arequipa. Este estudio proporciona una valiosa herramienta para la planificación urbana, el confort térmico y la gestión de la calidad del aire, lo que contribuirá a mejorar las condiciones de la ciudad (15).

En el estudio titulado *Identificación de islas de calor en la ciudad de Lima Metropolitana utilizando imágenes del Satélite Landsat 5TM*, el **objetivo** fue identificar las Islas de Calor (IC) en Lima Metropolitana, dada la escasez de estaciones meteorológicas en la región, lo que dificulta la obtención de datos de temperatura superficial de manera distribuida. Para ello, la **metodología** empleada se utilizaron imágenes del satélite LANDSAT 5TM y se analizaron seis eventos específicos, corregidos por emisividad. Los resultados revelaron la aparición de islas de calor negativas en las áreas no urbanas durante las mañanas, así como unas 5 islas de calor urbanas, en 7 zonas de industria y

comercio, y 3 microislas de calor urbano. Se obtuvo como **resultado** la relación entre la temperatura en el aire, la temperatura de superficie y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), con coeficientes de correlación que variaron de 0.13 a 0.89, que destaca la importancia de estas mediciones para comprender el fenómeno de la Isla de Calor en la ciudad de Lima (16).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Islas de calor

Se define como la diferencia y/o variación térmica comprendida en las zonas urbanas y rurales. A este fenómeno se le atribuye el calentamiento de las ciudades que son causados por diferentes factores como la urbanización, la estructura y materiales usados en las edificaciones, el crecimiento poblacional, la quema de grandes cantidades de combustible, etc (17).

2.2.2. Formación de islas de calor

Las islas de calor son un fenómeno originado por diferentes aspectos. Uno de ellos responde a causas urbanas, como la concentración de partículas en suspensión y gases contaminantes, la disminución de la fuerza del viento, radiación solar, y otros son atribuibles por la propia ciudad (uso del suelo) que afectan a la atmósfera (15).

La diferencia de temperatura está vinculada a este fenómeno, debiéndose principalmente al aumento de construcciones y reducción de vegetación (16), que es el producto de la sustitución de la cubierta natural del suelo por una cobertura urbana, que está compuesta por asfalto, actividades de transporte e industriales que contribuyen al calentamiento urbano (1).

2.2.3. Características de las islas de calor

En las ciudades donde se generan las islas de calor, por lo general, se tienden a repetir ciertos patrones, entre ellos tenemos (3):

- Se caracterizan por ser espacios más cálidos que su entorno inmediato (zonas suburbanas menos densas), pero con patrones de

comportamientos diferentes según el momento del día considerado. La máxima diferencia de temperatura suele alcanzarse al atardecer.

- La temperatura del aire suele estar determinada por el calor de la superficie urbana. Es decir, zonas de la ciudad donde el valor del albedo de los materiales utilizados es inferior al del elemento natural (aproximadamente un 37%).
- Estas diferencias de temperatura se generan por la obstrucción de los movimientos de aire por medio de las edificaciones.
- A mayor uso de la cobertura del suelo urbano y degradación de la cobertura vegetal, mayor será el tamaño e intensidad de la isla de calor.
- Este fenómeno tiende a provocar una inversión térmica a altitudes de unos 2 km sobre las ciudades, aumentando la concentración de contaminantes e impidiendo su difusión.

2.2.4. Tipos de islas de calor

Existen tres tipos de islas de calor, las cuales han sido esquematizadas de la siguiente manera (18):

- **La Capa de Dosel (CD).** Es la capa urbana más cercana al suelo y se extiende hasta la altura promedio de los edificios.
- **La Capa de Perímetro (CP).** Se encuentra ubicada por encima de la capa Dosel y alcanza más de 1 km de longitud durante el día y se encoge por la noche.
- **La Capa de Superficie (CS).** Incluye los dos anteriores y produce calor relativo en la ciudad. Esto solo se puede medir con sensores a bordo de satélites o aviones, mientras que los dos primeros se pueden medir con termómetros.

Figura 1
Capas atmosféricas Urbanas



Nota. Representación esquemática de los componentes principales de la atmósfera. Elaborado de Desarrollo Sustentable: Una Sociedad Solidaria (18)

2.2.5. Efectos e impactos:

El proceso de desarrollo urbano tiene efectos perjudiciales en los ecosistemas y el entorno ambiental. Estos impactos incluyen la devastación de los ecosistemas y sus funciones esenciales, la escasez de elementos biológicos en los ecosistemas urbanos, la contaminación del agua, aire y suelo, como también la introducción de animales y plantas no autóctonos en áreas naturales. Además, el desarrollo urbano aumenta estar expuestos a enfermedades, plantea riesgos potenciales de erosión e inundaciones del suelo que se deben a cambios en el uso de la tierra y provoca la disminución de las aguas subterráneas, ya que el pavimento de carreteras impide que el agua se filtre naturalmente bajo tierra. Estos efectos dejan ver lo importante de tener en cuenta aquellos impactos ambientales en el proceso de desarrollo urbano (19).

2.2.6. Causas:

Las islas urbanas de calor son el resultado de cambios en la cubierta terrestre y la composición atmosférica que producen condiciones climáticas localmente únicas. El patrón térmico de este fenómeno resulta de la separación de una metrópolis más cálida de sus alrededores más fríos, por lo que identifica un grupo de microclimas provocados por la expansión del desarrollo urbano (20).

Las grandes regiones urbanas pueden experimentar picos de temperatura de entre 2 y 3 °C como consecuencia del calentamiento antropogénico relacionado con las islas de calor urbanas, que se basan en una evaluación realizada en la ciudad de El Cairo (Egipto) (21).

2.2.7. Forma de evaluar:

El análisis de las superficies urbanas más cálidas en relación con los lugares más fríos y la interacción con la atmósfera urbana inferior ha dado lugar a una proliferación de investigaciones por teledetección centradas en las islas de calor superficiales. Para ello, se recomienda el análisis de la reacción de la imagen de satélite al espectro infrarrojo térmico (10.4 μm -12.5 μm) (22).

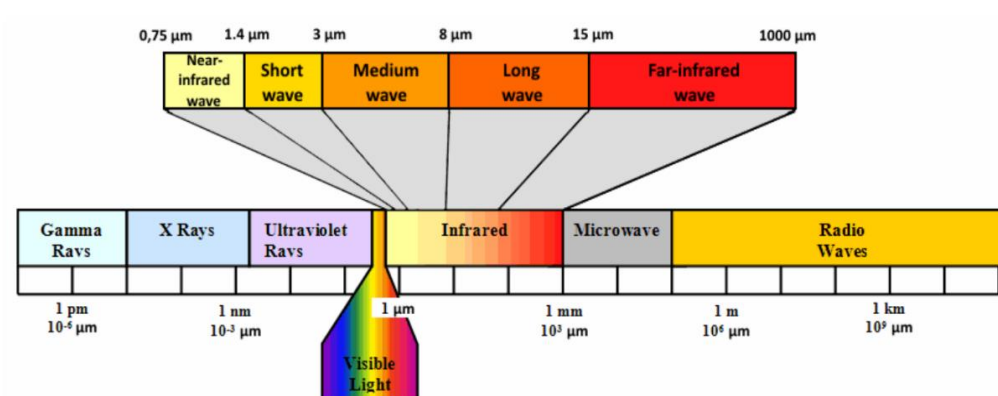
2.2.8. Teledetección ambiental

La teledetección es una técnica para obtener datos sobre la superficie terrestre a partir de sensores montados en plataformas espaciales. La interacción electromagnética entre el suelo y los sensores produce flujos de datos que luego se procesan para extraer información interpretable de la Tierra (23).

2.2.8.1. Teledetección en el infrarrojo térmico

El infrarrojo térmico (TIR, Thermal Infrared) se encuentra localizado entre 8 y 14 μm dentro del espectro electromagnético, esta región nos ayuda a detectar el calor de la superficie terrestre proveniente de la cubierta de la Tierra, ya que la radiación espectral que recibe el sensor no es resultado de la reflexión de la energía solar, sino de la radiancia emitida por la superficie a observar (24).

Figura 2
Espectro electromagnético – Infrarrojo térmico



Fuente. Representación de la escala del espectro electromagnético. Elaborado de Desarrollo Sustentable: Una Sociedad Solidaria (18)

2.2.9. Satélite Landsat 8

El satélite de observación terrestre Landsat 8, se lanzó el 11 de febrero del 2013 en un cohete “Atlas-V” desde la base de la fuerza aérea de Vandenberg, California. Este satélite trabaja con dos instrumentos científicos como el Operational Land Imager (OLI), el cual mide en porciones notables, por medio del infrarrojo cercano y de onda corta (VNIR, NIR y SWIR) del espectro, y Thermal Infrared Sensor (TIRS), que mide la temperatura superficial de la tierra a través de dos bandas térmicas con una tecnología nueva para detectar energía (25).

La misión del L8 es conceder imágenes visibles e infrarrojas oportunas de alta calidad de todas las áreas terrestres y cercanas a la costa de la tierra, mediante la actualización continua de la base de datos Landsat (26).

El Landsat 8 capta varias bandas de frecuencia en todo el espectro electromagnético mediante dos sensores principales que interpretan aspectos como cuerpos de agua, infraestructura, vegetación, entre otros. Estas 11 bandas, están configuradas en base a la longitud de onda de su visión (27). Asimismo, se encuentran distribuidas en los dos sensores del satélite. El primer sensor es OLI que utiliza 9 bandas en el espectro de la luz visible y el infrarrojo cercano, y captura datos con precisión radiométrica mejorada en un rango dinámico de 12 bits para reducir el ruido en general, y el segundo es TIRS, que opera en el rango de infrarrojos de onda larga, y recopila datos en dos bandas espectrales más estrechas en la región térmica que previamente cubierta por una amplia banda espectral del Landsats 4-7 (25).

Tabla 2
Bandas espectrales Landsat 8

Sensor	Modo Espectral	Resolución (metros)	Espectral (micras μm)	
OLI	Multiespectral	30	Banda 1 Aerosol	0,435 – 0,451
			Banda 2 Azul	0,452 – 0,512
			Banda 3 Verde	0,533 – 0,59
			Banda 4 Roja	0,636 – 0,673
			Banda 5 infrarrojo cercano	0,851 – 0,879
			Banda 6 SWIR-1	1,566 – 1,651
			Banda 7 SWIR-2	2,107 – 2,294
			Banda 9 Cirrus	1,363 – 1,384
			TIRS	Termal
Banda 11 TIR-2	11,50 – 12,51			
OLI	Pancromática	15	Banda 8 pancromática	0,503 – 0,676

Nota. Representación esquemática de los componentes de la banda espectral Landsat 8. Elaborado en Análisis espacio-temporal de variables que inciden en la generación de Isla de Calor Urbana en la localidad de Kennedy (11).

2.2.10. Temperatura Superficial

Es un parámetro estimado a partir de la temperatura de la luz atmosférica de los canales espectrales infrarrojos obtenidos de sensores térmicos en satélites geostacionarios. Esta incluye hierba, suelo desnudo, carreteras, aceras, edificios y árboles (28). Del mismo modo, se dice que es la energía que absorbe la tierra y se calcula principalmente por la temperatura de brillo.

Por lo tanto, se expresa en la siguiente fórmula:

$$T_S = LST = \frac{T_B}{1 + \left(\lambda \times \frac{T_B}{\rho}\right) \ln \varepsilon} \quad (1)$$

Donde:

T_B es la temperatura de brillo.

λ es la onda de la radiancia emitida en cada banda.

$$\rho = h * \frac{c}{\sigma} = 14380 \text{ m K.}$$

σ es la constante de Boltzmann ($1,38 * 10^{-23}$ J/K).

h es la constante de Planck ($6,26 * 10^{-34}$ Js).

c es la velocidad de la luz ($2,998 * 10^8$ m/s).

ε es la emisividad de la superficie, se calcula como:

$$\varepsilon = 0,004 * Pv + 0.986 \quad (2)$$

Es P_v la proporción de vegetación en cada píxel analizado y obtenido a partir del cálculo previo del NDVI (29).

Para las bandas 10 y 11 de Landsat, se establecen valores de emisividad medios (Tabla 3), a los cuales deben ser aplicados para la corrección anterior en función de la proporción de vegetación existente en cada píxel.

Tabla 3*Emisividad en dos cubiertas para las bandas térmicas de Landsat 8*

Banda	Suelo	Vegetación
Landsat 8 TIRS banda 10	0,9668	0,9863
Landsat 8 TIRS banda 11	0,9747	0,9896

Nota. Representación esquemática de la cobertura de las bandas espectrales en su relación de cobertura de suelo y vegetación. Elaborado en Cálculo de temperatura de superficie a partir de imágenes (26).

2.2.11. Temperatura de Brillo

Basado en la Ley de Planck, es definida como la energía radiada por un objeto o cuerpo negro, el cual tiene relación con la temperatura física del mismo. De igual manera, esta puede ser determinada por una medición óptica, por ejemplo, utilizando un pirómetro con la intención de determinar la temperatura real de una superficie (30).

A continuación, se presenta la siguiente ecuación:

$$T_B = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L\lambda} + 1\right)} - 273.15 \quad (3)$$

Donde:

T_B = es la temperatura efectiva del satélite convertida de grados kelvin a celcius.

K_2 es la constante de calibración en grados Kelvin.

K_1 es la constante de conversión específica para cada banda. Constante de calibración constante en $W/(m^2 sr \mu m)$

$L\lambda$ corresponde a la reflectancia en el techo de la atmósfera TOA ($Watts/m^2 * srad * \mu m$)

Tabla 4
Constantes de calibración

Satélite	K ₁	K ₂
Landsat 8 TIRS banda 10	774,89	1321,08
Landsat 8 TIRS banda 11	480,89	1201,14

Nota. Representación esquemática de la banda espectral Landsat 8 en las constantes de calibración. Elaborado en Cálculo de temperatura de superficie a partir de imágenes (26).

2.2.12. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

Es un indicador simple de biomasa fotosintética, diseñado para ayudar a distinguir la vegetación de otros tipos de cobertura terrestre (artificial) y determinar su condición general. Del mismo modo, puede identificar y visualizar zonas de vegetación en mapas para detectar cambios inusuales en los procesos de crecimiento (31).

Asimismo, el indicador ayudará a predecir la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación y medirá la intensidad de la radiación emitida o reflejada por la vegetación en determinadas bandas del espectro electromagnético (32).

El NDVI proporciona los valores -1,0 y +1,0, y se calculan de la siguiente manera:

$$NDVI = \frac{NIR - ROJO}{NIR + ROJO} \quad (4)$$

Donde:

NIR = Luz reflejada en el espectro del infrarrojo cercano

ROJO = Espectroscopía de Reflectancia de la Roja Visible

2.2.13. Índice de Vegetación Ajustada al Suelo (SAVI)

Este es un índice de vegetación que corrige los efectos del brillo del suelo a través de bandas espectro electromagnético. Esto se usa comúnmente en áreas secas con poca vegetación y produce valores entre -1,0 y 1,0 (33). Por lo tanto,

este índice es más consistente que el índice NDVI debido a la gran variación en el suelo y la vegetación entre áreas de estudio con estas características.

Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$SAVI = \left(\frac{NIR - ROJO}{NIR + ROJO + L} \right) \times (1 + L) \quad (5)$$

Donde:

NIR = Luz reflejada en el espectro del infrarrojo cercano

ROJO = Espectroscopía de Reflectancia de la Roja Visible

L = Factor de corrección

El valor “L” varía dependiendo de la cantidad de cobertura vegetal. Por lo general, en este tipo de áreas “L=1”

2.2.14. Índice de Diferencia Normalizada Edificada (NDBI)

Es un índice que determina las zonas con superficies construidas o edificadas frente a zonas con vegetación o desnudas. Por lo general, este índice sirve como vía de análisis territorial en estudios urbanísticos, infraestructura y la comparación de la evolución de estos a través del tiempo. Al igual que los índices anteriores, este índice se expresa en el intervalo de valores que van desde -1,0 a 1,0; los cuales indican que los valores que son menor a cero (valores negativos) presentan cobertura vegetal y los mayores a cero (valores positivos) son indicadores de coberturas edificadas y suelos desnudos (33).

Calculando a través de la ecuación siguiente:

$$NDBI = \frac{SWIR - NIR}{SWIR + NIR} \quad (6)$$

Donde:

SWIR – Espectro de infrarrojo de la banda corta

NIR – Luz reflejada en el espectro del infrarrojo cercano

2.2.15. Índice Build - Up (BU)

Es el índice para el análisis del patrón urbano utilizando NDBI y NDVI. El índice edificado es la imagen binaria que muestra solo unos valores positivos más altos indica para áreas edificadas y estériles, que permite mapear el área edificada automáticamente (1 que muestra áreas construidas y 0 que muestra áreas no construidas) (34).

Este índice se calcula de la siguiente forma:

$$BU = NDVI - NDBI \quad (7)$$

Donde:

NDBI: Índice de Diferencia Normalizada Edificada

NDVI: Índice De Vegetación De Diferencia Normalizada

2.2.16. Sistema de Información Geográfico

Un SIG es una herramienta que nos permite recopilar, gestionar y analizar datos geoespaciales, para resolver problemas complejos de planificación y gestión de diferentes maneras (35).

Los SIG deben ser vistos desde una perspectiva interna, es decir, como un esquema circular centrado en los conceptos geográficos clave, seguidos de la tecnología, datos, campos de aplicación, procesos, métodos y visualización externa (36).

A partir de los antes mencionado, se tiene los siguientes componentes:

- **Datos:** es el elemento principal para la creación de productos de información o mapas que facilitan el análisis y la toma de decisiones. Estos datos provienen de una variedad de fuentes como sensores remotos, GPS, fotografías aéreas, archivos formatos shapefile, archivos CAD, archivos Excel, etc.
- **Software:** son herramientas o programas utilizados para analizar e interpretar información geográfica.
- **Hardware:** se refiere a todas las partes físicas que componen a una computadora. Asimismo, las características de este equipo permitirán obtener una mayor o menor eficiencia en la realización de los análisis.
- **Equipo humano:** hace referencia al conjunto de profesionales que ayudarán en el análisis de los datos obtenidos a través del software antes mencionado. Dentro de este equipo, podemos encontrar al Técnico/Analista SIG y Programador SIG.

2.2.17. Procesamiento de imagen

Es un conjunto de técnicas que implica la manipulación e interpretación de las imágenes satelitales, con el propósito de mejorar su calidad y/o facilitar la búsqueda de información en ellas (37).

2.2.17.1. Clasificación de imágenes satelitales

Es el proceso por el cual cada píxel es asignado a una clase según el área de estudio. El número digital (ND) de la imagen seleccionada deja de estar relacionado con la radiación detectada por el sensor y este valor se convierte en el identificador dentro de la categoría de píxeles asignados (24). Así, se realiza un inventario en el área de estudio, a partir del cual se crea un mapa temático.

- **Clasificación basada en el píxel**

Es una técnica de teledetección que busca asignar al ND a una categoría de interés, el ND corresponde a la información recibida por el sensor sobre la cubierta terrestre, por lo tanto, la clasificación basada en el ND puede considerarse una clasificación espectral. Esto significa que pueden existir respuestas espectrales similares entre categorías que utilizan esta clasificación (24).

Dentro de esta clasificación se encuentran dos técnicas puntuales, estas son (38)

- **Clasificación Supervisadas:** en esta técnica es fundamental la participación del analizador, que comienza con la selección de un área de entrenamiento (training área) con propiedades superficiales conocidas, mostrando, así como el software clasifica cada píxel de la imagen.
- **Clasificación no Supervisadas:** esta técnica comprende la selección de algún algoritmo de clasificación. La más utilizada es el algoritmo de clustering que tiene por objetivo dividir el espacio de variables en varias regiones de modo que se minimice la varianza interna de los píxeles involucrados.

A partir de lo anterior, las imágenes supervisadas o no condicionadas se pueden clasificar utilizando una sola banda o utilizando múltiples bandas (clasificación multiespectral) en un proceso llamado corte de densidad.

- **Clasificación orientada a objetos**

El análisis de imágenes de objetos (OBI) es un método basado en la identificación de grupos de píxeles adyacentes con firmas espectrales similares. Estos grupos se denominan objetos y, después de la agrupación, el clasificador trabaja sobre las propiedades espaciales y espectrales de los objetos (39).

Actualmente, las técnicas OBI se utilizan ampliamente para monitorear o clasificar la cobertura del suelo urbano y son ideales para el uso de imágenes satelitales de alta resolución espacial (40).

Mediante el uso de técnicas de clasificación de imágenes orientadas a objeto tienen como objetivo segmentar imágenes en regiones de acuerdo con atributos tales como el píxel o valor de grises (41).

2.2.18. Suelo

Es el cuerpo natural formado por la continua interacción entre el clima, los organismos vivos, el relieve, el tiempo y la roca madre, mediante procesos físicos y químicos (42).

Por ende, el suelo es un recurso primordial que tiene como propósito proporcionar y sostener la estabilidad de los ecosistemas.

2.2.19. Ocupación del suelo

Las dinámicas del uso del suelo y los cambios en la cobertura del mismo han sido identificados como uno de los procesos más importantes responsables de los cambios en los ecosistemas naturales. Así, examina las características de la superficie terrestre desde dos perspectivas diferentes pero interrelacionadas (43).

- **Cobertura del suelo:** Es el revestimiento biofísico sobre la superficie terrestre, como zonas urbanas, cultivo, arbolado forestal, etc.
- **Uso del suelo:** Se define como la caracterización del territorio acorde a su función, gestión, modificación, es decir, que se encuentra relacionado con las actividades realizadas por las personas sobre el territorio. Esta información es proporcionada por las imágenes aéreas o de satélite (44).

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Islas de Calor

Son las altas temperaturas que se dan en las zonas urbanas en comparación con los espacios rurales, debido a la acumulación de calor (45).

2.3.2. Teledetección

Es la técnica que ayuda a recoger información de objetos inaccesibles situados sobre la superficie terrestre usando sensores remotos (46).

2.3.3. Análisis multitemporal

Corresponde a la comparación de una o más variables en función al tiempo (46).

2.3.4. Imágenes satelitales

Es una representación visual de la radiación estimada o reflejada por la superficie de la Tierra (47).

2.3.5. Bandas espectrales

Es la capacidad del satélite de recopilar información en rangos definidos de longitudes del espectro electromagnético (43).

2.3.6. Píxeles

Es una unidad homogénea de color que formar una imagen digital (48).

2.3.7. Emisividad

Se define como el cociente entre la energía emitida por una superficie u objeto y la emitida por un cuerpo negro (49).

2.3.8. Algoritmo Split Window

Algoritmo que permite el cálculo de temperatura superficial a partir de las bandas térmicas 10 y 11 en Landsat 8. La técnica Split-Window se define como la absorción, que considera los efectos de la atmósfera a partir de la corrección de las imágenes satelitales de radiación a temperaturas. Este considera las bandas espectrales de las imágenes satelitales (50).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método y alcance de la investigación

3.1.1. Método de la investigación

El método general de la investigación es científico (51). Este método permitirá comprobar la veracidad de la hipótesis mediante la relación de variables, el cual ayudará a determinar la variable 1 (Islas de calor urbano) y su relación con la variable 2 (cobertura del suelo) en la ciudad de Ilo. Asimismo, el método de investigación será apoyado y complementado con el método histórico-comparativo, el cual consiste en establecer la relación entre estas variables a través del tiempo y cronología, es decir que se hará un análisis comparativo multitemporal (52).

3.1.2. Alcance de la investigación

El tipo investigación es aplicada (51), debido a que se hará un análisis multitemporal de la relación que hay entre la variable 2 (cobertura del suelo urbano) y la variable 1 (Islas de calor) mediante el uso de imágenes satelitales Landsat 8, y herramientas modernas para generar los algoritmos, que usa la metodología de Split Window que nos ayudará a identificar la variable 1 (Islas de calor urbano). Por lo tanto, esta sistematización de algoritmos permitirá seguir evaluando el cambio a futuro de este dilema y, a su vez, esta investigación podrá ser utilizada por la municipalidad y autoridades de nuestra localidad para encontrar y/o buscar alternativas de solución ante esta problemática que afecta a nuestro medio ambiente y salud en general.

3.1.3. Nivel de la investigación

El nivel de la investigación es correlacional (51), debido a que permite conocer el grado de vinculación que hay entre dos o más variables en un contexto en particular y aporta cierta información explicativa. En la presente investigación,

se tiene como objetivo determinar si la variable 2 (Cobertura del suelo) tiene relación con la variable 1 (Islas de calor).

3.2. Diseño de la investigación

3.2.1.1. Tipos de la investigación:

El diseño de la investigación es no experimental, ya que se relaciona al estudio de las condiciones existentes. En esta investigación, surgen la variable 1 (Isla de calor urbano) y la variable 2 (cobertura de suelo) y no podemos manipularlas, no se tiene control ni se puede influir en ellas directamente, porque ya sucedieron, al igual que sus efectos (51).

Se elige el diseño no experimental debido a que se estudiará la relación entre las islas de calor urbano y la cobertura del suelo. De igual manera, estas variables no son dependientes una de otra.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población de estudio se ubica en la ciudad de Ilo, capital del distrito y provincia del departamento de Moquegua. Se encuentra en el suroeste del país, sobre el océano Pacífico, al sur de la desembocadura del río Osmore y al norte de Punta de Coles. También, tiene una población total de 74 mil 649 habitantes.

3.3.2. Muestra

Para la obtención de la muestra, se consideró la zona urbana de la ciudad de Ilo. En cuanto a la delimitación de la zona de estudio, se tiene las siguientes coordenadas:

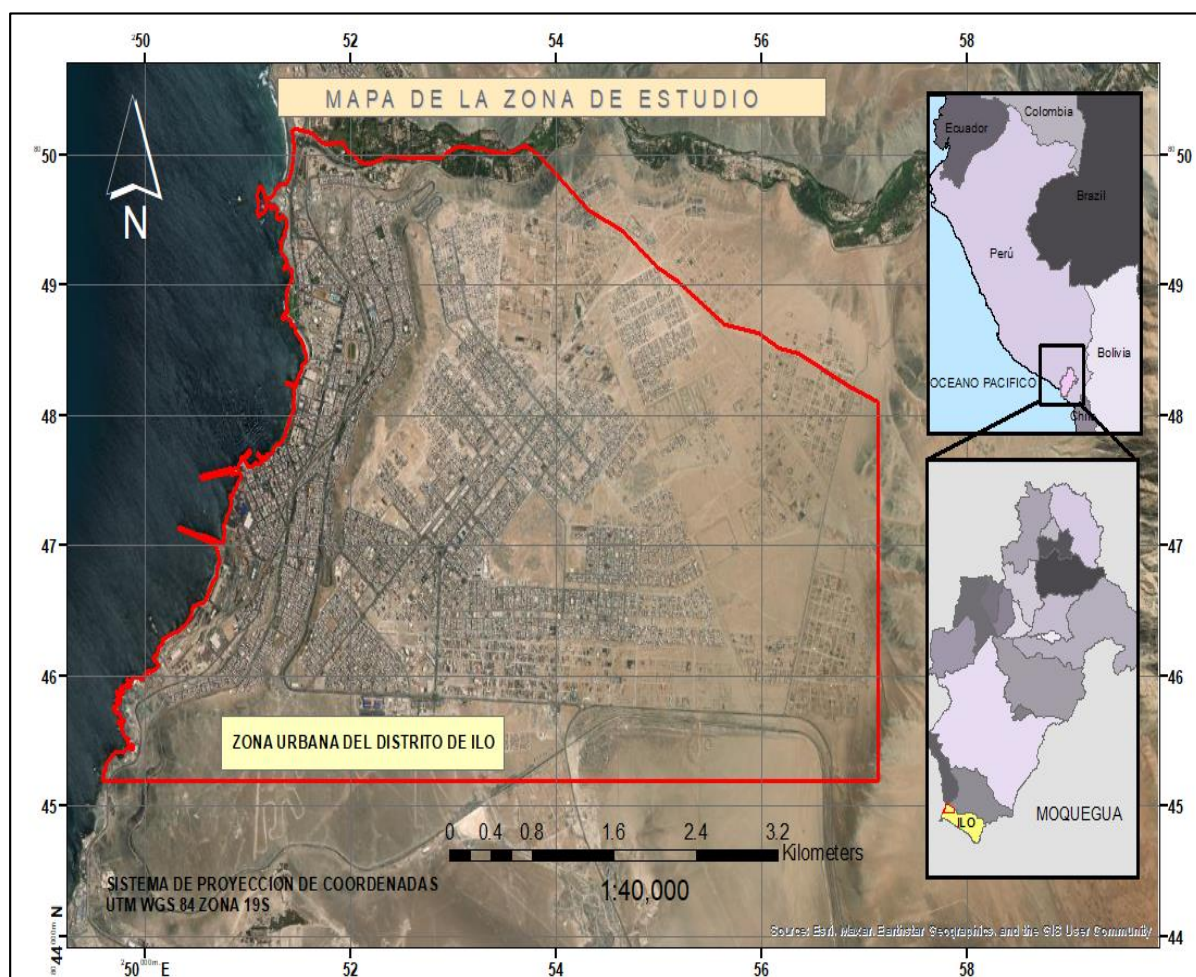
Tabla 5
Coordenadas de la zona urbana de Ilo

Coordenadas	Este	Norte
Superior Izquierda	251413.901	8050201.724
Superior Derecha	257126.65	8045198.895
Inferior Izquierda	249590.684	8045198.004
Inferior Derecha	2571226.65	8045187.875

Nota. La tabla previa muestra las coordenadas geográficas de la zona urbana de Ilo.

Como se observa en la figura 3, esta delimitación presenta un área de 26.807 Km², y un perímetro de 27.626 Km. Durante los últimos años, se ha visto un incremento de la construcción de edificaciones no solo en el límite costero (edificios), así como en el cercado y alrededores de la ciudad.

Figura 3
Mapa de ubicación de la zona de estudio



Nota. Representación del area de estudio, de acuerdo a la sectorización con coordenadas en relación con las cartas nacionales y procesamiento de imágenes satelitales.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La presente investigación trabajó con técnicas experimentales de procesamiento de imágenes Landsat 8, las cuales fueron obtenidas a través del portal web Earth Explorer (earthexplorer.usgs.gov) operado por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS). Asimismo, estas presentan un procesamiento previo llamado corrección radiométrica, la cual trata de ajustar las imperfecciones de los píxeles antes de aplicar la metodología de Split Window, conocido también como el método de ventana dividida. Esta se basa en el concepto de absorción diferencial, considerando que los efectos atmosféricos se caracterizan por diferencias de radiancias o temperaturas medias entre dos bandas espectrales diferentes.

Para determinar la cobertura de suelo, se aplican los algoritmos para cada uno de los indicadores propuestos en los objetivos de la investigación.

Se utilizaron instrumentos como libros de texto del Sistemas de Información Geográfica (SIG), imágenes satelitales Landsat, artículos relacionados con la investigación, direcciones URL para acceder a los antecedentes de investigación, fundamento teórico, etc. También, se hizo uso de herramientas de ArcMap para el manejo del sistema GIS.

A continuación, detallaremos la secuencia metodológica utilizada en la presente investigación.

3.4.1. Datos meteorológicos

En esta investigación realizada, se ha accedido a registros meteorológicos proporcionados por la estación meteorológica de Coles. Estos registros abarcan un periodo de observación que se extiende desde el año 2014 hasta el 2021. La adquisición de estos datos es esencial para poder tener un análisis exhaustivo de las Islas de Calor Urbano (ICU) y sus interacciones con la cobertura del suelo en nuestro entorno de estudio. La obtención de datos meteorológicos de alta calidad y precisión es un paso fundamental para llevar a cabo una investigación de esta naturaleza.

En particular, la variable de Humedad Relativa se ha recopilado detenidamente a lo largo de este periodo. La Humedad Relativa es un componente crítico para calcular el contenido de vapor de agua (W), que es un factor clave en la metodología de Split Window, una técnica ampliamente utilizada para estimar la temperatura de superficie. Por lo tanto, estos registros de Humedad Relativa desempeñarán un papel fundamental en nuestro análisis.

Estos datos son esenciales para comprender la relación que hay entre los factores meteorológicos y las ICU. La variación de la Humedad Relativa y su influencia en la formación de las ICU será uno de los aspectos clave de nuestro estudio. Además, estos registros se utilizarán para examinar cómo las condiciones meteorológicas pueden afectar la intensidad y extensión de las ICU en nuestra área de estudio, lo que proporcionará información valiosa para comprender el fenómeno de las ICU en un contexto local y regional.

3.4.2. Datos poblacionales

La información con respecto al crecimiento poblacional se obtuvo del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), para el procesamiento de la información se consideró los siguientes aspectos.

- **Aspecto demográfico**

Según proyecciones del INEI, en el año 2017, se alcanzó los 74 649 habitantes, con una tasa de crecimiento de promedio anual de 1,6 %.

Tabla 6
INEI Censo 2017

Distrito	2017	
	Hab.	%
Ilo	66 479	89.05
Algarrobal	3 717	4.98
Pacocha	4 453	5.97
Total Ciudad	74 649	100.00

Nota. La tabla previa toma la cantidad de pobladores que conforman el área de estudio, de acuerdo a las comunidades que lo conforman. Elaborado a partir del informe del Censo Anual del 2017 (8)

- **Aspecto económico y social**

La estructura económica de la provincia de Ilo está determinada por las principales actividades económicas como la minería, pesca industrial y artesanal, seguido de las actividades comerciales. Cada actividad económica desempeña un rol específico dentro de la estructura de producción local, provincial y regional.

Asimismo, Ilo es el puerto peruano con labores en los sectores comercial y pesquero más cercano a Chile y el séptimo más importante del país. De acuerdo con los objetivos propuestos, se presenta la siguiente secuencia metodológica.

- **Distribución Espacial de la Población**

Al analizar el comportamiento demográfico de la ciudad de Ilo, podemos ver la distribución de la población tanto urbana como rural. Según el Censo realizado en el año 2017. Se observa que la ciudad está compuesta principalmente por población urbana, la cual representa el 99.5% de la población total.

Al hacer una comparación de acuerdo a la evolución del espacio rural y urbana de los dos últimos censos, que corresponden a los años 2007 y 2017, se puede notar un claro incremento de la población urbana mientras que la población rural tiende a disminuir, y alcanza así, hasta la actualidad, solo el 0.5% del total de la población.

Tabla 7

Evolución Poblacional según espacios Urbano - Rural (2007 - 2017)

Distrito	2007		2017		Incremento intercensal	
	Urbana	Rural	Urbana	Rural	Urbana	Rural
Ilo	58 649	483	66 118	361	7 469	122
Pacocha	4 381	20	4 437	16	56	4
El algarrobal	38	209	3 694	23	3 656	186
Ilo ciudad	63 068	712	74 249	400	11 181	312

Nota. La tabla previa toma la cantidad de pobladores en el área urbana y rural que conforman el área de estudio, de acuerdo a las comunidades que lo conforman. Elaborado a partir del informe del Censo Anual del 2017 (8)

En resumen, la información detallada en la tabla (7) nos indica que la ciudad de Ilo se encuentra en un proceso de urbanización constante, y provoca así que la población urbana alcance la totalidad.

3.4.3. Procesamiento de Imágenes Satelitales

- **Recolección y selección de imágenes Landsat 8**

Como primer paso, se recolectó y seleccionó las imágenes satelitales de la base de datos United States Geological Survey (USGS) de los años 2014 hasta el 2021, las cuales permiten evidenciar los cambios de manera secuencial en el área de estudio en consecuencia de la urbanización. Asimismo, se consideró el porcentaje de nubosidad (-1%) y la ubicación geográfica de la localidad de Ilo (Path: 003 y Row: 072). Las imágenes descargadas se describen a continuación:

Tabla 8
Imágenes Landsat identificadas para el área de estudio

Sensor	Año	Fecha de captura	Hora
Landsat 8	2014	15 de febrero	14:48:56
	2015	07 de abril	14:47:28
	2016	21 de diciembre	14:48:19
	2017	24 de diciembre	14:48:16
	2018	11 de diciembre	14:47:58
	2019	30 de diciembre	14:48:19
	2020	16 de diciembre	14:48:26
	2021	03 de diciembre	14:48:27

Nota. La tabla previa muestra imágenes recopiladas del área de estudio según las muestras encontradas por los años evaluados.

Luego de descargar las imágenes, se procedió al análisis, teniendo en cuenta la resolución, nitidez y el porcentaje de nubosidad presente en el área de estudio.

- **Conversión a radiancia en el techo de la atmósfera (TOA)**

Para estimar la temperatura superficial en la localidad de Ilo, fue necesario realizar una conversión ND (Números digitales) a radiancia espectral. Estos

datos provienen de las bandas del sensor TIRS y OLI. Están derivados en 16 bits en formato no cifrado y pueden ser reescalados a valores de radiación en el techo de la atmósfera (Top – Of – Atmosphere, TOA). Para ello, se usó los coeficientes radiométricos incluidos en el archivo de metadatos.

Se usó la ecuación (8), que fue propuesta por la USGS (11).

Convertir de ND a radiancia

$$L_{\lambda} = M_L \cdot Q_{cal} + A_L \quad (8)$$

Donde:

L_{λ} = Radiancia espectral.

M_L = Factor multiplicativo de reescalamiento específico.

A_L = Factor aditivo de reescalamiento específico.

Q_{cal} = Cuantificación y calibración estándar de los Números Digitales.

Los valores M_L y A_L son datos de las bandas que se encuentran en el metadato de cada imagen satelital.

- **Conversión de radiancia a reflectancia de superficie**

Para esta conversión, se utilizó el complemento SCP (Semi-Automatic Classification Plugin) integrado en el software Qgis. El complemento básicamente toma como entrada los valores de píxel de las bandas de la imagen satelital y genera los valores de reflectancia de la superficie para cada banda.

$$\rho = \frac{\pi * (L_{\lambda} - L_p) * d^2}{T_v * ((ESUN_{\lambda} * \cos \theta_s * T_z) + E_{down})} \quad (9)$$

Donde:

$L\lambda$: radiancia espectral

L_p : efecto bruma

T_v : transmitancia atmosférica en la dirección de visualización

T_z : transmitancia atmosférica en la dirección de la iluminación

d : distancia Tierra-Sol en unidades astronómicas

ESUN: irradiancias exoatmosféricas solares medias

θ_s : ángulo cenital solar en grados, que es igual a $\theta_s = 90^\circ - \theta_e$ donde θ_e es la elevación del Sol.

E_{down}: irradiancia difusa descendente

$$L_p = L_{min} - LDO1\% \quad (10)$$

Donde:

L_p : Efecto bruma

L_{min} : radiancia que corresponde a un valor de conteo digital, para el cual la suma de todos los píxeles con valores de conteo menores o iguales a este valor es igual al 0,01 % de todos los píxeles de la imagen considerada.

LDO1 %: resplandor del objeto oscuro, que se supone que tiene un valor de reflectancia de 0,01

Para las siguientes landsat:

$$L_{min} = M_l * DN_{min} + A_l \quad (11)$$

DN_{min}: Valor del píxel más bajo.

$$LDO1\% = 0.01 * \frac{(ESUN\lambda * \cos \theta_s * T_z + E_{down}) * T_v}{\pi * d^2} \quad (12)$$

- **Estimación de temperatura de brillo**

Una vez obtenido el valor resultante, se procederá a convertir la radiancia a temperatura de brillo mediante la ecuación (3).

Para estos cálculos, se utilizó la herramienta Raster Calculator de ArcMap y los sensores de calibración térmica de cada imagen.

Las constantes del sensor dependen de los tipos de satélites asociados a las distintas imágenes utilizadas en el desarrollo del proyecto, (tabla 9):

Tabla 9

Constante de calibración de la banda térmico del satélite Landsat

Satélites	Bandas	K ₁	K ₂	LMIN	LMAX
		Wm ⁻² sr ⁻¹ µm ⁻¹	Kelvin		
Landsat 8	10	774,89	1321,08	0,10033	22,00180
	11	480,89	1201,14		

Nota. Representación esquemática de los componentes de la banda espectral Landsat 8 en relación con las constantes de calibración. Elaborado en Análisis espacio-temporal de variables que inciden en la generación de Isla de Calor Urbana en la localidad de Kennedy (11).

- **Proporción de vegetación (Pv)**

Se establece a partir del NDVI y se utilizará para calcular la emisividad. Los valores máximos y mínimos del NDVI fueron calculados mediante el histograma (gráfico 9). Y se determina haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$P_v = \text{Square} \left(\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right) \quad (13)$$

Dónde: NDVImax y NDVImín son los valores máximos y mínimos del mapa de NDVI.

- **Cálculo de la emisividad (ϵ)**

Se calcula a partir de los valores de proporción de vegetación para así determinar la temperatura de superficie, mediante la ecuación propuesta por Sobrino et al. (2004). Se han seguido los siguientes pasos para obtener la emisividad de la banda térmica.

$$\epsilon = m * Pv + n \quad (14)$$

Siendo:

$$m = \epsilon_v - \epsilon_v - (1 - \epsilon_s) * F * \epsilon_v \quad (15)$$

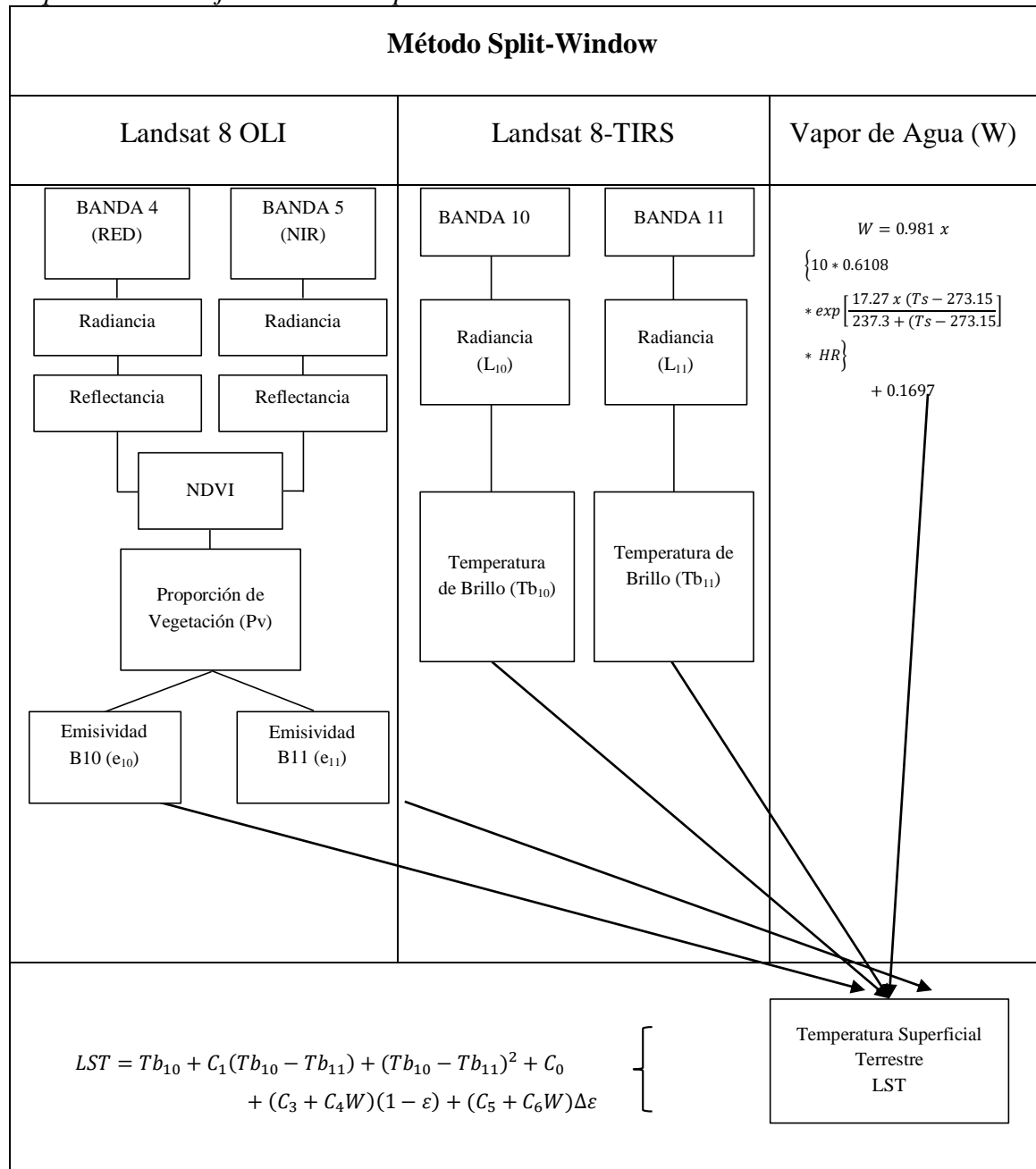
$$n = \epsilon_s + (1 - \epsilon_s) * F * \epsilon_v \quad (16)$$

3.4.4. Metodología de Split Window

Para el procesamiento de las imágenes satelitales, considerando la metodología de Split Window, se tiene la siguiente secuencia.

Tabla 10

Esquema de trabajo del método Split-Window



Nota. Representación esquematizada del trabajo del método de Split-Window. Aplicación de un Algoritmo de Split-Window para la Estimación de la Temperatura de la Superficie Terrestre desde Datos AVHRR-NOAA. (50).

- **Temperatura Superficial Terrestre (TST)**

Se obtiene considerando la siguiente ecuación:

$$LST = Tb_{10} + C_1(Tb_{10} - Tb_{11}) + (Tb_{10} - Tb_{11})^2 \quad (17)$$

$$+ C_0 + (C_3 + C_4W)(1 - \varepsilon) + (C_5$$

$$+ C_6W)\Delta\varepsilon$$

Siendo:

Tb: la temperatura de brillo para cada una de las bandas térmicas.

W: el contenido de vapor de agua en la atmósfera.

ε : la emisividad media de ambas bandas térmicas, es decir; $\varepsilon = (\varepsilon_{10} + \varepsilon_{11}) /$

$\Delta\varepsilon$: el sumatorio de la emisividad de ambas bandas térmicas, es decir; $\Delta\varepsilon = \varepsilon_{10} + \varepsilon_{11}$

C0-C6: los coeficientes para el algoritmo Split-Window

Tabla 11
Coeficientes Split Window

Coeficientes	
C ₀	-0.268
C ₁	1.378
C ₂	0.183
C ₃	54.30
C ₄	-2.238
C ₅	-129.20
C ₆	16.40

Nota. Representación de coeficientes de Split Window. Temperatura superficial terrestre a partir de imágenes satelitales: herramienta para su cálculo (53).

El algoritmo Split-Window tiene la ventaja de desempeñarse bien en condiciones globales, es decir, con cualquier valor de vapor de agua. Sin

embargo, cuenta con la desventaja de tener que usar la banda 11 de Landsat 8, lo cual presenta errores en la calibración (54).

3.4.5. Cobertura del Suelo Urbano

a. Índice De Vegetación De Diferencia Normalizada (NDVI)

El NDVI nos sirve para poder determinar la densidad de la cobertura vegetal captada en una imagen de satélite.

Se debe considerar que la vegetación sana presenta una curva de reflectancia espectral típica que corresponde a la diferencia entre dos bandas, la del rojo visible y la del infrarrojo cercano. Se expresan de forma numéricamente los rangos a considerar están entre -1 y 1, que corresponden valores cercanos a -1, vegetación seca o enferma y cercanos a 1, vegetación sana (27).

En la presente investigación, se realizó un análisis multitemporal los cuales revelan cambios considerables.

Tabla 12

Descripción de las bandas 4 y 5 para satélite Landsat 8

Banda	Nombre	Longitud de onda (µm)
4	Visible roja	0,64-0,67
5	Infrarroja cercana	0,85-0,88

Nota. Representación de las bandas 4 y 5 para satélite Landsat 8. Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 (54).

Para el procesamiento del NDVI, se utilizaron las imágenes de satélite del Landsat 8. Para ello, consideramos las siguientes bandas de acuerdo a lo explicado.

$$NDVI = \frac{Banda\ 5 - Banda\ 4}{Banda\ 5 + Banda\ 4} \quad (18)$$

La metodología para determinar la emisividad a partir del NDVI usando bandas del Landsat 8 (14) consiste en lo siguiente:

- $NDVI < 0.2$: consideramos a estos valores como suelo desnudo y su emisividad es obtenida a partir de los valores de reflectividad de la banda roja. Estos valores, también, corresponden a valores que corresponde a zonas rocosas o arena. Se considera que los valores negativos pueden ser nubes, agua y nieve.
- $NDVI > 0.5$: los valores asumen una vegetación sana y, por lo tanto, se asume un valor constante de emisividad 0,99. Los valores que van entre 0.2 y 0.3 representan una cobertura vegetal como arbustos y praderas, mientras que los valores grandes (de 0,6 a 0,8) indican bosques templados y tropicales.

b. Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI)

SAVI se utiliza para modificar y corregir al NDVI. Para ello, se incluye en la fórmula un parámetro llamado “L”, el cual será el principal responsable de ajustar el índice a una reflectividad promedio.

Se calcula este índice por medio de la diferencia normalizada entre la banda roja (RED) y la banda del infrarrojo cercano (NIR). Además, se agrega un factor de corrección (L).

Asimismo, SAVI muestra valores de vegetación ajustado por el suelo y tiene una mejor determinación de la vegetación baja en área construida y sus valores van de 0 a 1, y, al igual que el NDVI, un bajo valor de SAVI indica menor vegetación.

Para nuestro caso en específico, se trabajó con las bandas 4 y 5 del Landsat 8.

$$SAVI = \left(\frac{Banda\ 5 - Banda\ 4}{Banda\ 5 + Banda\ 4 + L} \right) \times (1 + L) \quad (19)$$

Según Huete, en la metodología, los siguientes valores para el factor L: (55)

- $L = 0$: en caso de zonas con abundante vegetación verde

- L=1: para zonas con vegetación verde baja o cuando existe vegetación en desarrollo con influencia de exposición al suelo
- L=0.5: usada habitualmente para ajustar mejor a todo tipo de cobertura o en suelos medianamente expuestos

c. Índice de Diferencia Normalizada Edificada (NDBI)

El NDBI se utilizó para la estimación de áreas con superficies construidas, tiene un rango entre -1 a 1 donde -1 son zonas no urbanizadas y 1 zonas urbanizadas. Los valores intermedios comienzan a determinar áreas de terreno baldío, cultivos o en construcción. Esto se debe a que asumimos valores de tendencia positivos altos que indican áreas de cobertura terrestre construida o infraestructura humana (56).

Tabla 13

Descripción de las bandas 5 y 6 para satélite Landsat 8

Banda	Nombre	Longitud de onda (µm)
5	Infrarroja cercana	0,85-0,88
6	Banda corta	1,57-1,65

Nota. Representación de las bandas 5 y 6 para satélite Landsat 8. Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 (54).

Para el procesamiento del NDBI, se utilizaron las imágenes de satélite del Landsat 8. Para ello, consideramos las siguientes bandas de acuerdo a lo explicado.

$$NDBI = \frac{Banda\ 6 - Banda\ 5}{Banda\ 6 + Banda\ 5} \quad (20)$$

d. Índice Build-Up (BU)

BU se utiliza para representar el área construida que surge de la diferencia del NDBI y NDVI. Representa la distinta correlación de área edificada y área verde en casa pixel. Sus valores van de -1 a 1, si el pixel tiene un valor alto representa mayor edificación y un valor menor corresponde a área verde.

3.4.6. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de la información, se utilizó el software SPSS

Planteamiento de la hipótesis

a. Formulación de la hipótesis nula

Se plantea negar la hipótesis planteada, indicando que no existe una relación entre las variables.

b. Formulación de la hipótesis

Se plantea afirmar la hipótesis planteada, indicando que si existe una relación entre las variables.

c. Nivel de significancia

En cuanto al nivel de la significancia $\alpha = 0.01$

d. Calcular la prueba de hipótesis

Prueba de Correlación lineal de Pearson

e. Decisión del resultado de la prueba

La siguiente tabla presenta los coeficientes de correlación y sus respectivas interpretaciones. Estos coeficientes son fundamentales en el análisis de relaciones y asociaciones entre variables en diversas investigaciones y estudios. Los valores de los coeficientes y sus interpretaciones proporcionarán una guía para comprender el grado de relación entre las variables analizadas (57). Desde una correlación negativa muy fuerte hasta una correlación positiva muy fuerte, esta tabla servirá como referencia clave para evaluar la fuerza y la dirección de las relaciones en investigaciones y análisis de datos:

Tabla 14*Coeficiente de correlación de Pearson*

Coeficiente de correlación	Interpretación
-0.80 a -1.00	Muy buena correlación negativa
-0.60 a -0.79	Buena correlación negativa
-0.40 a -0.59	Moderada correlación negativa
-0.20 a -0.39	Baja correlación negativa
-0.01 a -0.19	Muy baja correlación negativa
0	No existe relación alguna
+0.01 a +0.19	Muy baja correlación positiva
+0.20 a +0.39	Baja correlación positiva
+0.40 a +0.59	Moderada correlación positiva
+0.60 a +0.79	Buena correlación positiva
+0.80 a +1.00	Muy buena correlación positiva

Nota. Representación de los Coeficientes de correlación de Pearson. Metodología de la Investigación (58).

Interpretación: el coeficiente r de Pearson puede variar de -1,00 a + 1,00

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información

De acuerdo con los objetivos propuestos y la metodología realizada, se presentarán los resultados encontrados, para luego, la discusión de los resultados.

4.1.1. Resultados del análisis multitemporal para determinar la relación entre la Temperatura Superficial Terrestre (TST) y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

- Para esto primero, se debe de conocer la Humedad Relativa.

Tabla 15
Cuadro de Humedad Relativa

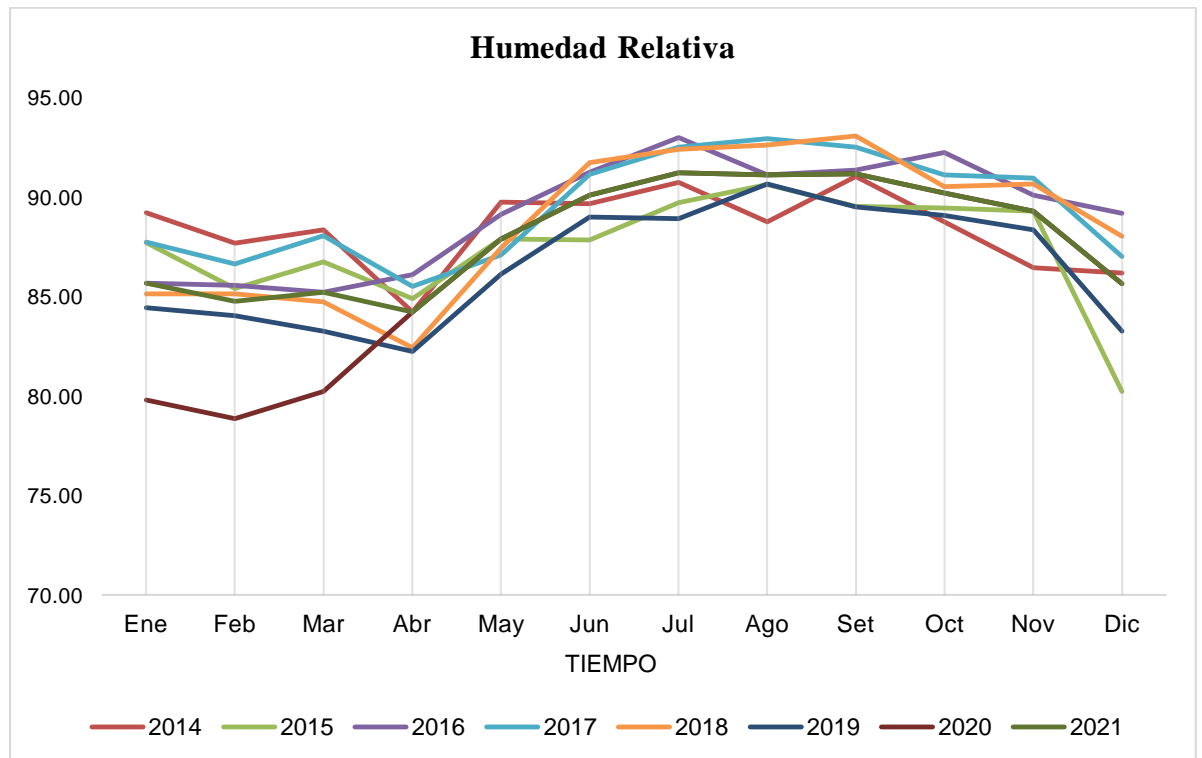
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Prom
2014	89.21	87.68	88.36	84.24	89.76	89.67	90.75	88.77	91.05	88.76	86.45	86.18	88.41
2015	87.71	85.42	86.75	84.90	87.92	87.86	89.72	90.63	89.54	89.46	89.30	80.22	87.45
2016	85.67	85.58	85.23	86.11	89.14	91.27	92.99	91.13	91.37	92.26	90.09	89.19	89.17
2017	87.73	86.63	88.06	85.51	87.09	91.15	92.53	92.96	92.52	91.13	90.96	87.03	89.44
2018	85.14	85.14	84.75	82.44	87.46	91.73	92.42	92.62	93.09	90.54	90.66	88.04	88.67
2019	84.44	84.04	83.25	82.23	86.13	89.01	88.93	90.66	89.50	89.09	88.36	83.25	86.57
2020	79.81	78.87	80.23	84.24	87.92	90.12	91.22	91.13	91.18	90.21	89.30	85.65	86.66
2021	85.67	84.77	85.23	84.24	87.92	90.12	91.22	91.13	91.18	90.21	89.30	85.65	88.05
Prom	85.67	84.77	85.23	84.24	87.92	90.12	91.22	91.13	91.18	90.21	89.30	85.65	88.05
Max	89.21	87.68	88.36	86.11	89.76	91.73	92.99	92.96	93.09	92.26	90.96	89.19	89.44
Min	79.81	78.87	80.23	82.23	86.13	87.86	88.93	88.77	89.50	88.76	86.45	80.22	86.57
Med	85.63	84.73	85.20	84.23	87.91	90.11	91.21	91.12	91.17	90.20	89.29	85.61	88.05
Desv.													
Stand.	2.86	2.63	2.65	1.35	1.13	1.28	1.41	1.29	1.25	1.14	1.43	2.82	1.08

Fuente. Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla 15, la humedad relativa tiene valores máximos que van de 88 a 93% mientras que los datos mínimos van desde 80 a 88%.

Figura 4

Tendencia de la media anual de humedad relativa



Fuente. Elaboración propia

En la figura 4, se puede observar que la humedad relativa aumenta en los meses de abril a octubre, los cuales son considerados como meses secos según lo indicado por SENAMHI y en los meses de noviembre a marzo (meses húmedos) vemos un descenso.

- Temperatura Máxima

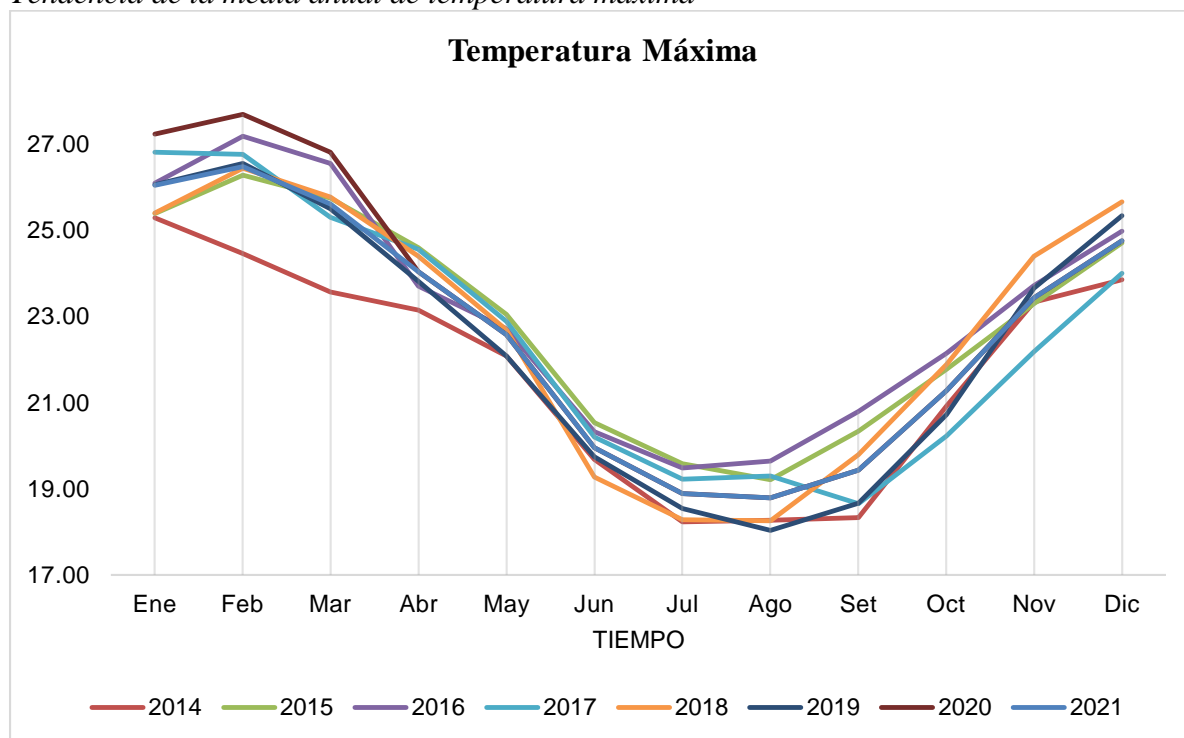
Tabla 16
Cuadro de Temperatura Máxima

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Prom
2014	25.28	24.46	23.56	23.15	22.08	19.68	18.24	18.27	18.33	20.92	23.33	23.85	21.76
2015	25.38	26.27	25.74	24.59	23.05	20.53	19.58	19.21	20.34	21.77	23.30	24.71	22.87
2016	26.09	27.18	26.55	23.70	22.71	20.33	19.48	19.65	20.80	22.14	23.72	24.97	23.11
2017	26.81	26.76	25.30	24.55	22.88	20.20	19.22	19.30	18.66	20.23	22.18	24.00	22.51
2018	25.40	26.43	25.77	24.40	22.69	19.27	18.29	18.26	19.79	21.88	24.39	25.65	22.69
2019	26.05	26.55	25.50	23.81	22.08	19.74	18.54	18.04	18.67	20.72	23.65	25.34	22.39
2020	27.23	27.69	26.81	24.03	22.58	19.96	18.89	18.79	19.43	21.28	23.43	24.75	22.91
2021	26.03	26.48	25.60	24.03	22.58	19.96	18.89	18.79	19.43	21.28	23.43	24.75	22.60
Prom	26.03	26.48	25.60	24.03	22.58	19.96	18.89	18.79	19.43	21.28	23.43	24.75	22.60
Max	27.23	27.69	26.81	24.59	23.05	20.53	19.58	19.65	20.80	22.14	24.39	25.65	23.11
Min	25.28	24.46	23.56	23.15	22.08	19.27	18.24	18.04	18.33	20.23	22.18	23.85	21.76
Med	26.03	26.46	25.59	24.03	22.58	19.95	18.89	18.78	19.41	21.27	23.42	24.75	22.60
Desv.													
Stand.	0.70	0.94	0.98	0.49	0.35	0.40	0.51	0.57	0.86	0.64	0.61	0.61	0.41

Fuente. Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla 16, la temperatura máxima tiene valores máximos que van de 19 a 25% mientras que los datos mínimos van desde 18 a 25%.

Figura 5
Tendencia de la media anual de temperatura máxima



Fuente. Elaboración propia

En la figura 5, podemos observar que la temperatura máxima desciende en los meses de febrero a agosto, que fueron meses donde se encuentra en época de verano-otoño-invierno y en entre setiembre a enero, épocas de primavera-verano, vemos un aumento, meses con elevada temperatura.

- Temperatura Mínima

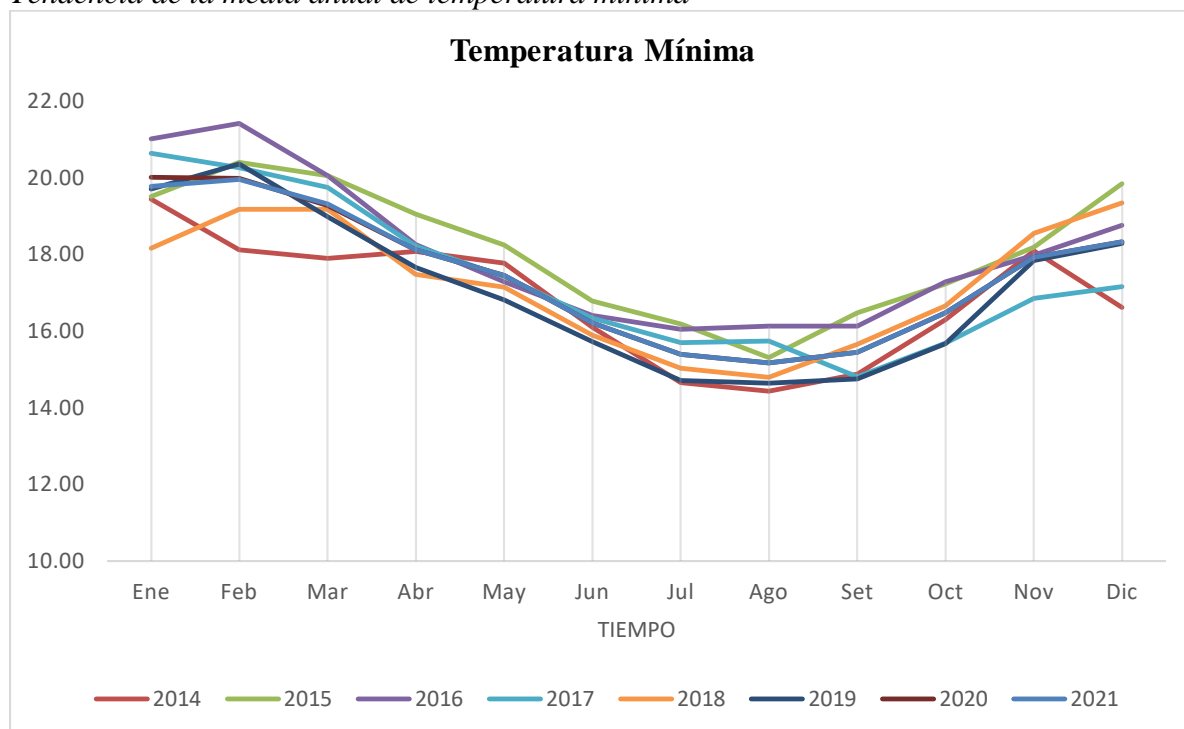
Tabla 17
Cuadro de Temperatura Mínima

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Prom
2014	19.43	18.11	17.89	18.07	17.76	16.09	14.65	14.43	14.87	16.29	18.08	16.61	16.86
2015	19.50	20.39	20.05	19.04	18.24	16.78	16.18	15.31	16.47	17.22	18.18	19.84	18.10
2016	21.00	21.41	20.04	18.25	17.28	16.40	16.04	16.12	16.13	17.28	17.97	18.75	18.06
2017	20.63	20.26	19.74	18.21	17.42	16.33	15.70	15.73	14.80	15.68	16.85	17.15	17.38
2018	18.15	19.17	19.17	17.48	17.14	15.89	15.03	14.79	15.65	16.66	18.55	19.34	17.25
2019	19.70	20.35	18.97	17.66	16.80	15.72	14.70	14.63	14.75	15.67	17.84	18.28	17.09
2020	20.01	19.97	19.27	18.12	17.44	16.20	15.38	15.17	15.45	16.47	17.91	18.33	17.48
2021	19.77	19.95	19.30	18.12	17.44	16.20	15.38	15.17	15.45	16.47	17.91	18.33	17.46
Prom	19.77	19.95	19.30	18.12	17.44	16.20	15.38	15.17	15.45	16.47	17.91	18.33	17.46
Max	21.00	21.41	20.05	19.04	18.24	16.78	16.18	16.12	16.47	17.28	18.55	19.84	18.10
Min	18.15	18.11	17.89	17.48	16.80	15.72	14.65	14.43	14.75	15.67	16.85	16.61	16.86
Med	19.76	19.93	19.29	18.11	17.44	16.20	15.37	15.16	15.43	16.46	17.91	18.30	17.45
Desv.													
Stand.	0.86	0.97	0.70	0.46	0.43	0.32	0.57	0.56	0.63	0.60	0.48	1.06	0.43

Fuente. Elaboración propia

Se observa, en la tabla 17, los valores máximos y mínimos de la Temperatura Mínima de la zona de estudio. Se determina que los valores máximos van de 16% al 22% mientras que los datos mínimos van desde 14 al 18%.

Figura 6
Tendencia de la media anual de temperatura mínima



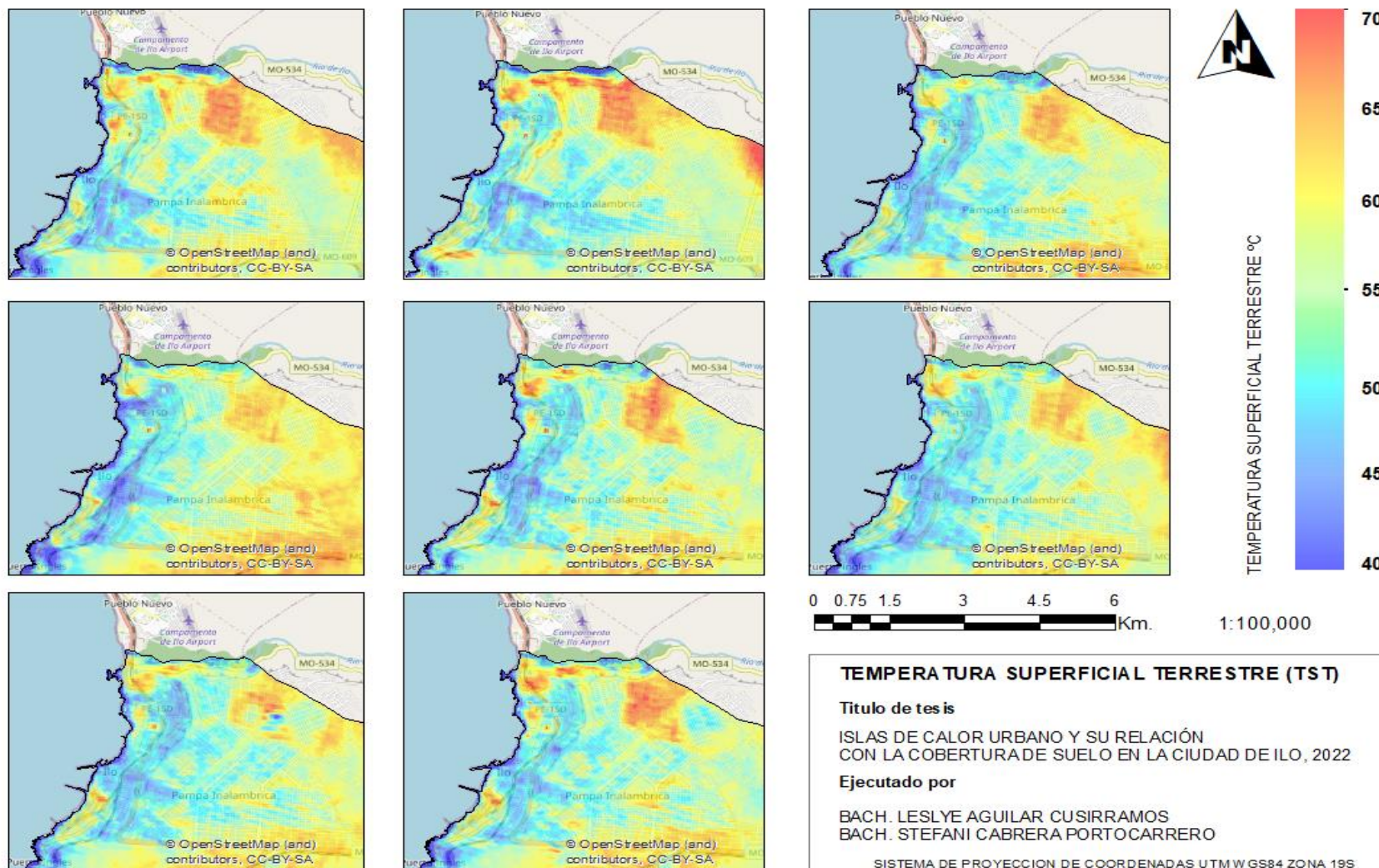
Fuente. Elaboración propia

En la figura 6, se puede observar que la temperatura mínima desciende en los meses de abril a octubre encontrándose en la temporada de otoño-invierno, los cuales son considerados como meses con bajas temperatura según lo indicado por SENAMHI y de noviembre a febrero vemos un aumento considerándolos como meses de elevada temperatura, debido a que, por ese lapso, transcurre la estación de verano.

4.1.2. Análisis de Temperatura Superficial Terrestre (TST)

En cuanto al análisis multitemporal comprendido desde el año 2014 al 2021, se resumen los resultados obtenidos mediante la aplicación de la ecuación propuesta anteriormente para su estimación. En la figura 6, se muestran datos que van de 40 hasta 70 °C, los cuales coinciden con el aumento de la dinámica urbana y de la población que se presenta cada año.

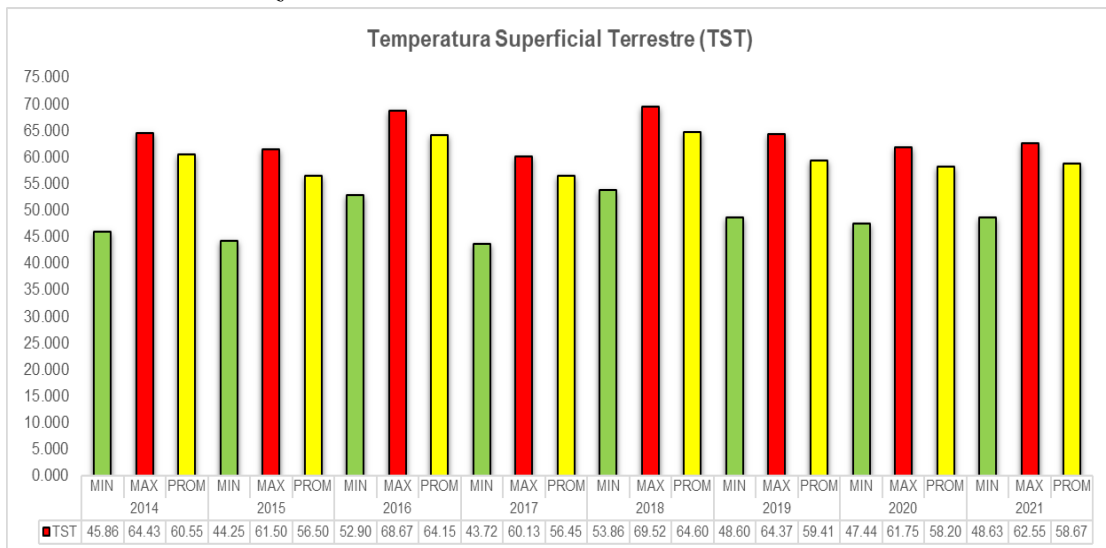
Figura 7
Estimación de Temperatura Superficial terrestre (TST)



Fuente. Elaboración propia

Se muestra, en la figura 7, en las imágenes satelitales procesadas del año 2014 al 2021, en función de la temperatura superficial terrestre, puede verse que sobrepasan los 30 °C, por lo que son consideradas islas de calor. Este fenómeno revela una elevada absorción de radiación solar en áreas urbanas, resultando en temperaturas más altas que las zonas circundantes. La persistencia de este patrón señala la necesidad de estrategias de mitigación, como planificación urbana sostenible y superficies reflectantes, para contrarrestar los efectos adversos en el confort térmico, la salud pública y la eficiencia energética, asegurando un entorno urbano más habitable y resiliente. En su mayor parte, gracias a tecnología infrarroja térmica de Landsat 8, se muestran tendencias similares con relación a la distribución de la intensidad de las temperaturas superficiales, con temperaturas más altas indicando la presencia de un suelo erosionado que prevalece en la zona de la pampa inalámbrica. Asimismo, la temperatura mínima se encuentra en la zona costera, lo que hace referencia a la presencia de NDVI.

Figura 8
Anomalías estandarizadas de TST



Fuente. Elaboración propia

Como se aprecia en la figura 8, en el año 2014, el TST presentó una temperatura mínima de 45,86, máxima de 64,43 y media de 60,55. El siguiente año, 2015, mostró una ligera disminución en la temperatura promedio, y alcanzó 56.50, con una mínima de 44.25 y máxima de 61.50. Este descenso podría indicar un fenómeno temporal de enfriamiento. En contraste, el año 2016 experimentó un

marcado aumento en todas las medidas de temperatura, que es la mínima, máxima y promedio de 52.90, 68.67 y 64.15, respectivamente. Este incremento podría asociarse a eventos climáticos o cambios en patrones atmosféricos. En el año 2017, se registró una ligera disminución en comparación con 2016, la temperatura mínima fue de 43.72, máxima de 60.13 y promedio de 56.45, es interesante observar cómo este año se asemeja al 2015, para sugerir posibles ciclos climáticos de corta duración. Los años 2018 y 2019 presentaron tendencias similares. Ambos exhibieron aumentos en todas las medidas de temperatura. El año 2020 mostró nuevamente una ligera disminución en las temperaturas, la mínima, máxima y promedio fueron de 47,44, 61,75 y 58,20 respectivamente, lo que podría estar relacionado con factores climáticos a corto plazo. Finalmente, el año 2021 presentó valores cercanos a los del año anterior, esta estabilidad sugiere una posible consolidación de las condiciones climáticas observadas en 2020.

En resumen, durante estos años, la TST ha experimentado fluctuaciones, que mostraron períodos de aumento y disminución. Estos cambios podrían ser atribuidos a diversos factores, como fenómenos climáticos, variabilidades naturales o influencias antropogénicas.

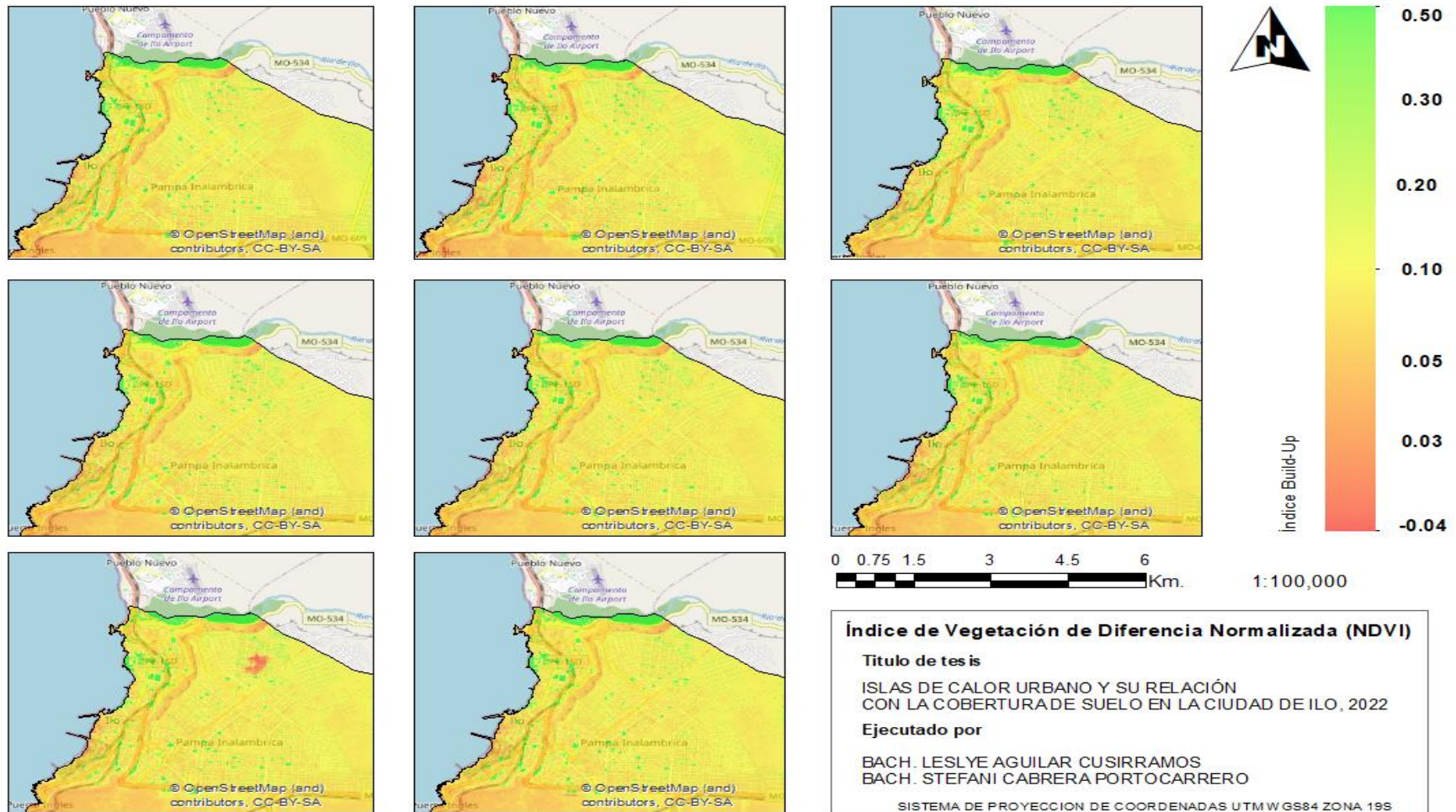
4.1.3. Análisis Multitemporal de la Cobertura del Suelo Urbano

En cuanto al análisis multitemporal, se realizó el procesamiento desde el año 2014 hasta el 2021.

a. Índice De Vegetación De Diferencia Normalizada (NDVI)

Figura 9

Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

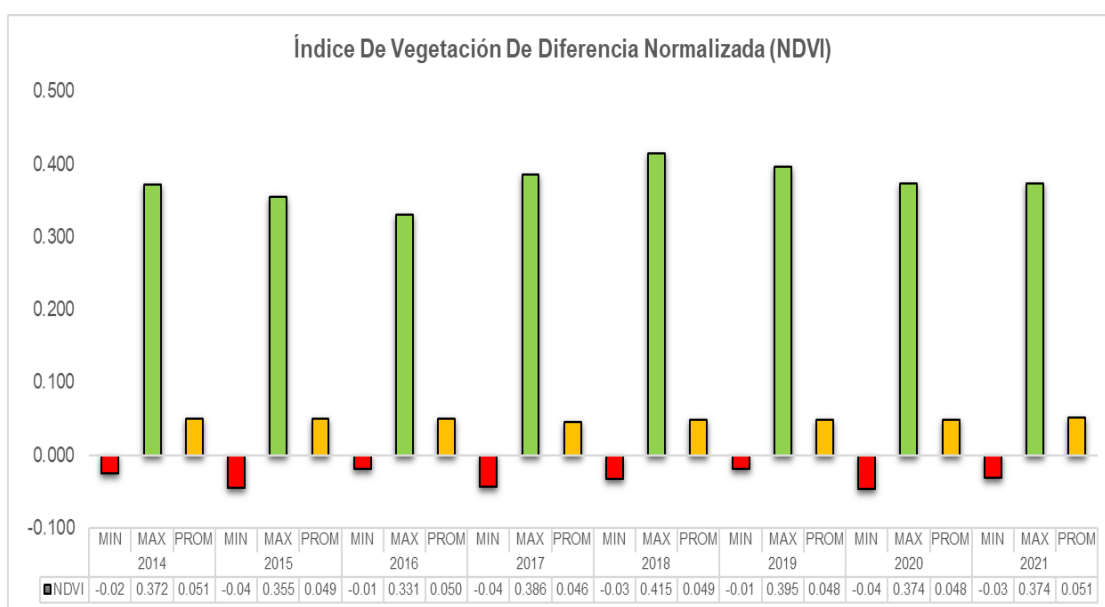


Fuente. Elaboración propia

En la figura 9, se pueden ver los valores de NDVI, los cuales van desde un valor mínimo de -0.04 hasta un valor máximo de 0.50. Este rango indica diversidad en la cobertura vegetal, desde áreas con vegetación escasa o afectada hasta zonas con vegetación densa y saludable. Los valores negativos sugieren presencia de suelos expuestos o superficies no vegetadas, mientras que valores cercanos a 0.50 indican un alto contenido de clorofila y salud vegetal. Asimismo, estos están representados por un color que nos permite identificar rápidamente en qué áreas de la zona de estudio existe escasa vegetación, suelo erosionado y cobertura vegetal o vegetación sana. Este conocimiento proporciona información clave para un uso del suelo planificado, así como una gestión ambiental y evaluación de la salud del ecosistema en Ilo.

Como se sabe, el NDVI nos da información sobre la condición de la vegetación y este índice tiene un valor entre -1 y +1. Por lo tanto, se puede deducir que el color rojo con valor de -0.04 correspondería a suelo desnudo, el color anaranjado y amarillo con valores que van desde 0.03 a 0.20 corresponden a zonas con muy poca vegetación o zonas no productivas las cuales en su mayoría se encuentran ubicadas en la zona urbana céntrica de la zona de estudio, y el color verde que tiene valores desde 0.30 a 0.50 corresponde a zonas con cobertura vegetal.

Figura 10
Anomalías estandarizadas de NDVI



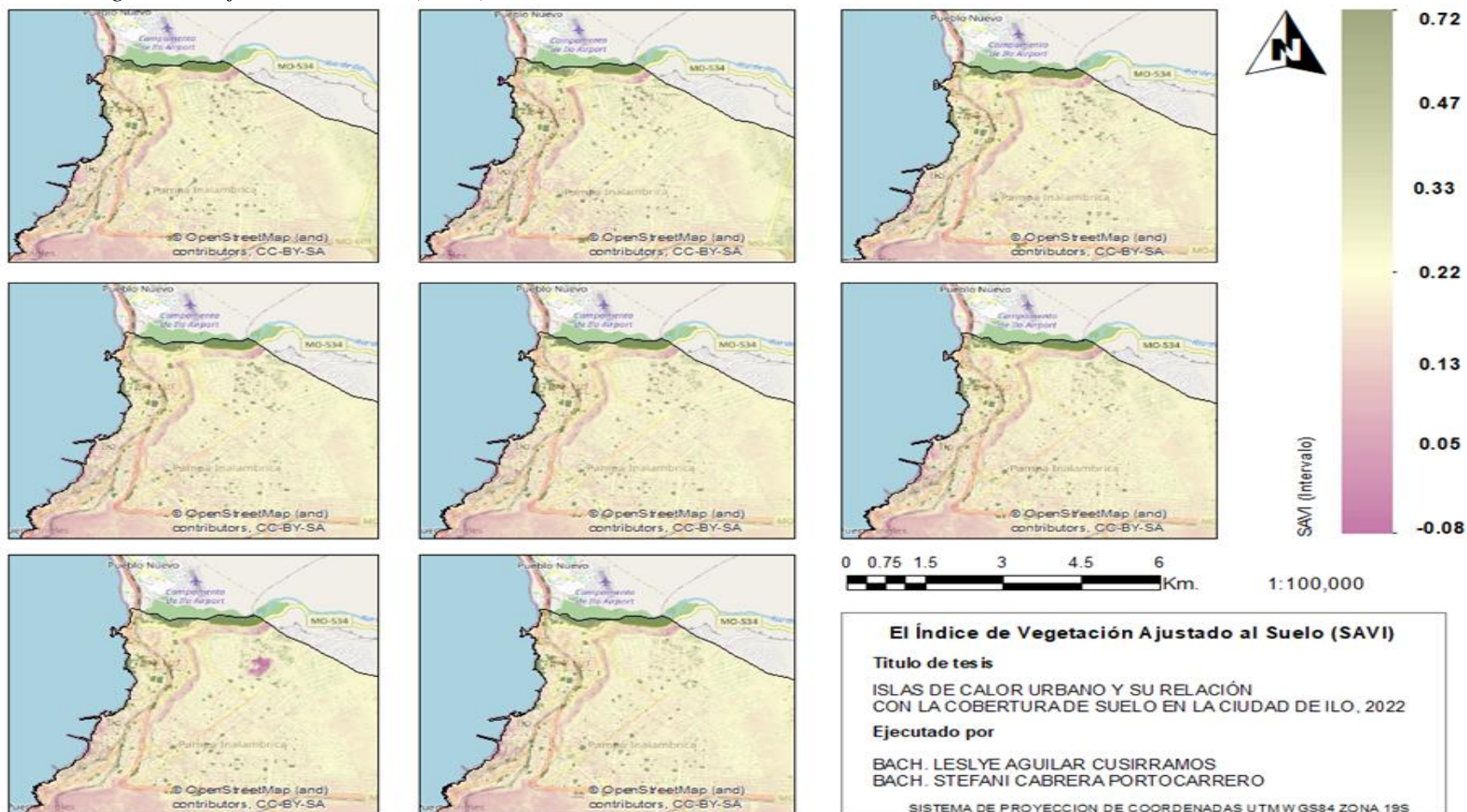
Fuente. Elaboración propia

Al respecto, analizando la figura 10, se puede observar que en el año 2014, el NDVI mostró valores variados, con un mínimo de -0.02, un máximo de 0.372 y un promedio de 0.051. Este rango sugiere una diversidad de condiciones vegetativas, desde áreas con escasa cobertura vegetal hasta zonas con vegetación densa. En el año 2015, se reveló una ligera disminución en el promedio NDVI a 0.050, que indicó posiblemente condiciones climáticas menos favorables para el crecimiento vegetal. Para el 2016, se observa una disminución adicional en el promedio NDVI a 0.049, sugiriendo condiciones potencialmente desafiantes para la vegetación. En el año 2017, se observa un mínimo NDVI de -0.04, un máximo de 0.386 y un promedio de 0.046. Estos valores podrían indicar una fluctuación en las condiciones ambientales, que impactan en la salud de la vegetación. El 2018 muestra un aumento en el promedio NDVI a 0.049, posiblemente indicando en las condiciones para el crecimiento vegetal una mejora. El año 2019 presenta un mínimo NDVI de -0.01, un máximo de 0.395 y un promedio de 0.048, la variabilidad en los valores sugiere cambios estacionales en la vegetación. En el 2020, el promedio NDVI se mantiene en 0.048, con un rango de valores entre -0.04 y 0.374, indicando una relativa estabilidad en las condiciones vegetativas. Finalmente, en el año 2021, se visualiza un incremento en el promedio NDVI a 0.051, que sugiere posiblemente condiciones más favorables para la vegetación. Aunque el rango de valores se mantiene similar al año anterior. En resumen, la comparación revela fluctuaciones anuales en el NDVI, e indica posibles cambios en las condiciones ambientales que afectan la salud y densidad de la vegetación. Estos análisis pueden proporcionar información valiosa para entender patrones de vegetación a lo largo del tiempo y realizar evaluaciones ambientales.

b. Análisis del Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI)

Figura 11

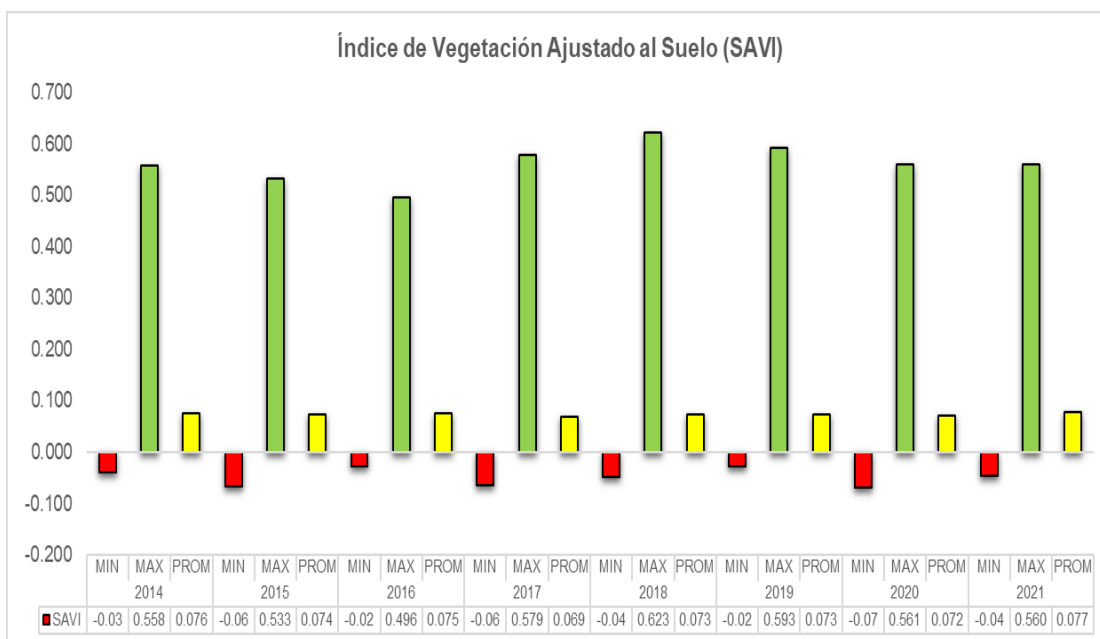
Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI)



Fuente. Elaboración propia

Observamos, en la figura 11, los valores del Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI), el cual determina la vegetación baja en áreas construidas. Sus valores, también, van de -1 a +1, es una métrica crucial en el análisis de imágenes satelitales para evaluar la salud y la densidad de la vegetación en una determinada área. Su fórmula incorpora un ajuste para corregir la influencia del suelo en la reflectancia, permitiendo una mejor discriminación de la vegetación. Al procesar imágenes satelitales de la ciudad de Ilo desde 2014 hasta 2021, se observa una variación significativa en los valores de SAVI, que oscilan entre -0.08 y 0.72. Un valor de SAVI de -0.08 sugiere áreas con mínima cobertura vegetal o presencia de suelo desnudo, mientras que un valor de 0.72 indica una densa vegetación saludable. La interpretación de estos valores en el contexto temporal revela patrones y cambios en la cobertura vegetal al paso de los años. Los valores bajos de SAVI en un año pueden indicar condiciones adversas para la vegetación, como sequías, incendios forestales o degradación del suelo. Por otro lado, valores altos señalan períodos de crecimiento vegetativo vigoroso o esfuerzos exitosos de reforestación. El análisis temporal, también, puede revelar tendencias a largo plazo, como la expansión urbana a expensas de áreas verdes o cambios en las prácticas agrícolas. Los valores que van desde -0.08 hasta 0.13 representados por el color morado corresponde a zonas con suelo desnudo, valores que están entre 0.22 y 0.33 representados por un color rosa claro corresponde a zonas construidas con escasa vegetación y que en su mayoría cubre la zona de estudio. Finalmente, los valores que están entre 0.47 y 0.72 representados por un color verde grisáceo confirmaría que son zonas con cobertura vegetal, pero en menor proporción. En resumen, el análisis del SAVI en imágenes satelitales de Ilo entre 2014 y 2021 ofrece una perspectiva detallada sobre la dinámica de la vegetación, permitiendo la identificación de patrones, eventos y tendencias que respaldan el tomar decisiones informadas en la gestión ambiental y el desarrollo sostenible de la región.

Figura 12
Anomalías estandarizadas de SAVI



Fuente. Elaboración propia

Se aplicó el Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI), debido a que la zona de estudio corresponde a una región árida en donde la cubierta vegetal es relativamente baja. Asimismo, se puede observar en la figura 12, en el año 2014, el SAVI exhibió una variabilidad significativa con un mínimo de -0.03, un máximo de 0.558 y un promedio de 0.076. Estos resultados indican una amplia gama de condiciones vegetativas, desde áreas con escasa cobertura hasta regiones con una vegetación vigorosa y saludable. El año 2015, se presenta una ligera disminución en el promedio del SAVI a 0.074. Esta disminución podría sugerir condiciones ambientales menos favorables para la vegetación en comparación con el año anterior. En el 2016, aunque el promedio del SAVI se mantiene en 0.075, se observa una reducción en el rango de valores, con un mínimo de -0.02 y un máximo de 0.496. Este cambio podría indicar una mayor uniformidad en las condiciones vegetativas. El año 2017 muestra una disminución más notable en el promedio del SAVI a 0.069, sugiriendo condiciones desafiantes para la vegetación. El rango de valores se mantiene amplio, con un mínimo de -0.06 y un máximo de 0.579. En el 2018, se observa un aumento en el promedio del SAVI a 0.073, que indica, posiblemente, una mejora en las condiciones para el crecimiento vegetal. Para el 2019, se presenta una estabilidad en el promedio, lo que sugiere condiciones relativamente constantes para la vegetación. En el 2020, el promedio del SAVI

disminuye ligeramente a 0.072, con un rango de valores entre -0.07 y 0.561. Esta disminución podría indicar cambios en las condiciones ambientales. Finalmente, en el 2021, se observa un aumento en el promedio del SAVI a 0.077, aunque el rango de valores se mantiene similar al año anterior, el incremento en el promedio sugiere condiciones más favorables para la vegetación en comparación con el año anterior.

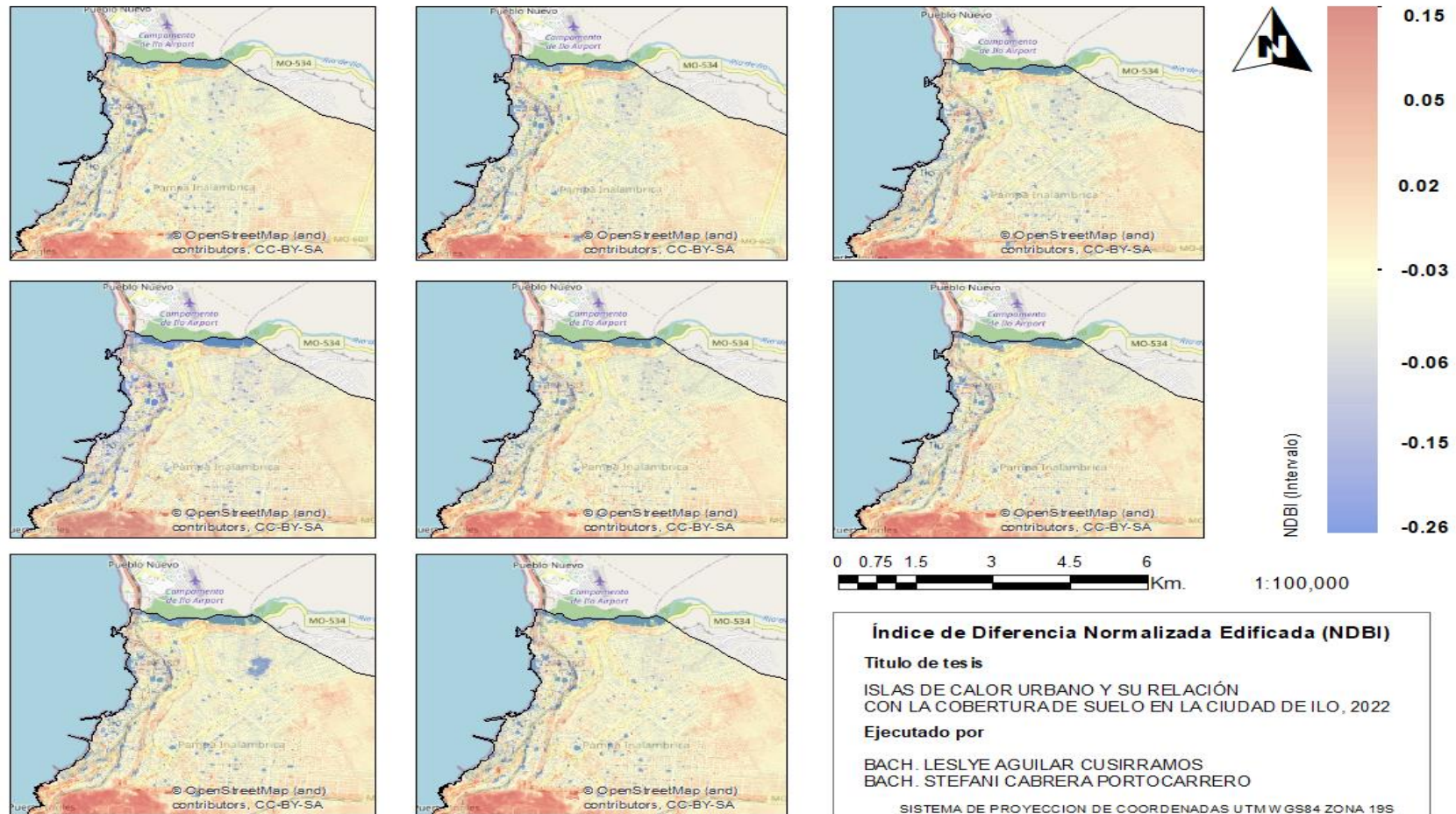
En resumen, la comparación revela fluctuaciones en el SAVI a lo largo de los años, que proporciona información valiosa sobre la dinámica de la vegetación, la influencia del suelo y las posibles respuestas a condiciones ambientales cambiantes.

.

c. Análisis del Índice de Diferencia Normalizada Edificada (NDBI)

Figura 13

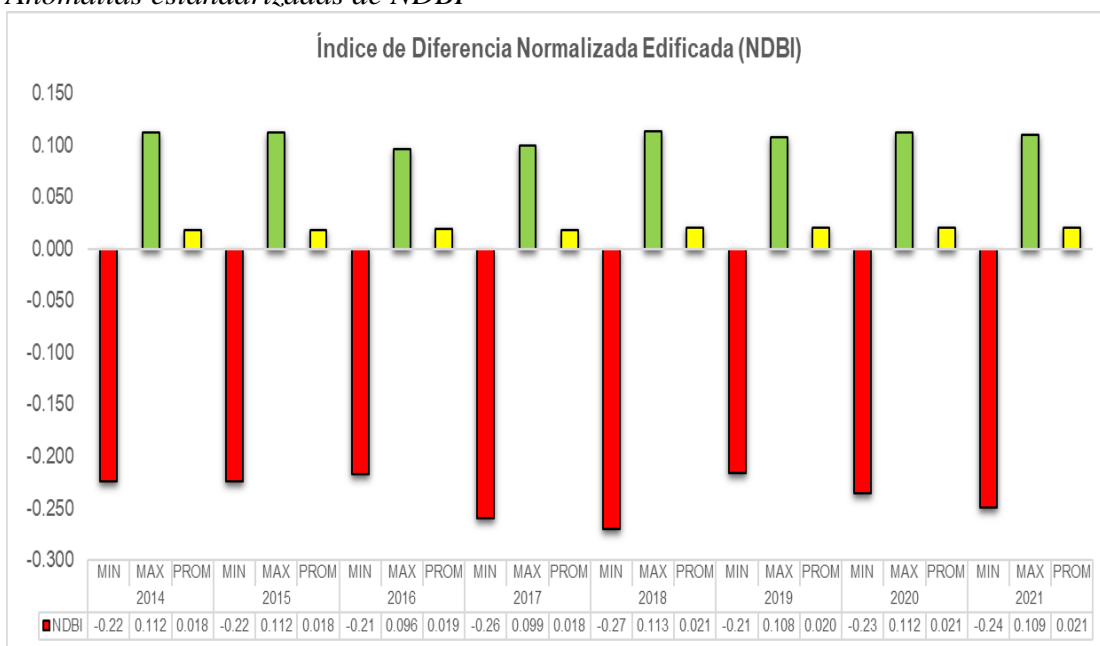
Índice de diferencia Normalizada Edificada (NDBI)



Fuente. Elaboración propia

En la figura 13, se puede observar la evaluación del Índice de Diferencia Normalizada Edificada (NDBI) en Ilo, con valores que varían de -0.26 a 0.15. Un valor de NDBI negativo, como -0.26, indica áreas con baja densidad de construcciones o presencia de características no construidas, como vegetación o cuerpos de agua. Por otro lado, valores cercanos a 0.15 sugieren una alta concentración de estructuras urbanas. Este rango refleja la diversidad en la urbanización y desarrollo de la ciudad a lo largo del tiempo. El análisis temporal de los valores de NDBI revela cambios en la extensión y la densidad urbana de Ilo. Los incrementos en los valores de NDBI pueden asociarse con la expansión urbana, desarrollo económico o cambios en las prácticas de planificación urbana. Descensos en el NDBI podrían indicar áreas de reforestación, remodelación urbana o pérdida de infraestructura construida. Este rango diverso en el NDBI permite la identificación y cuantificación de la expansión urbana y la planificación del desarrollo. La presencia de cobertura vegetal es representada por el color azul, mientras que las tonalidades rojas representan un suelo erosionado y zonas urbanas. En resumen, se ve el aumento de las edificaciones en la zona costera a través del tiempo, al igual que el aumento de áreas verdes, a pesar de ello, el incremento de temperatura es muy alto, por lo que deberían considerarse más áreas de cobertura vegetal.

Figura 14
Anomalías estandarizadas de NDBI



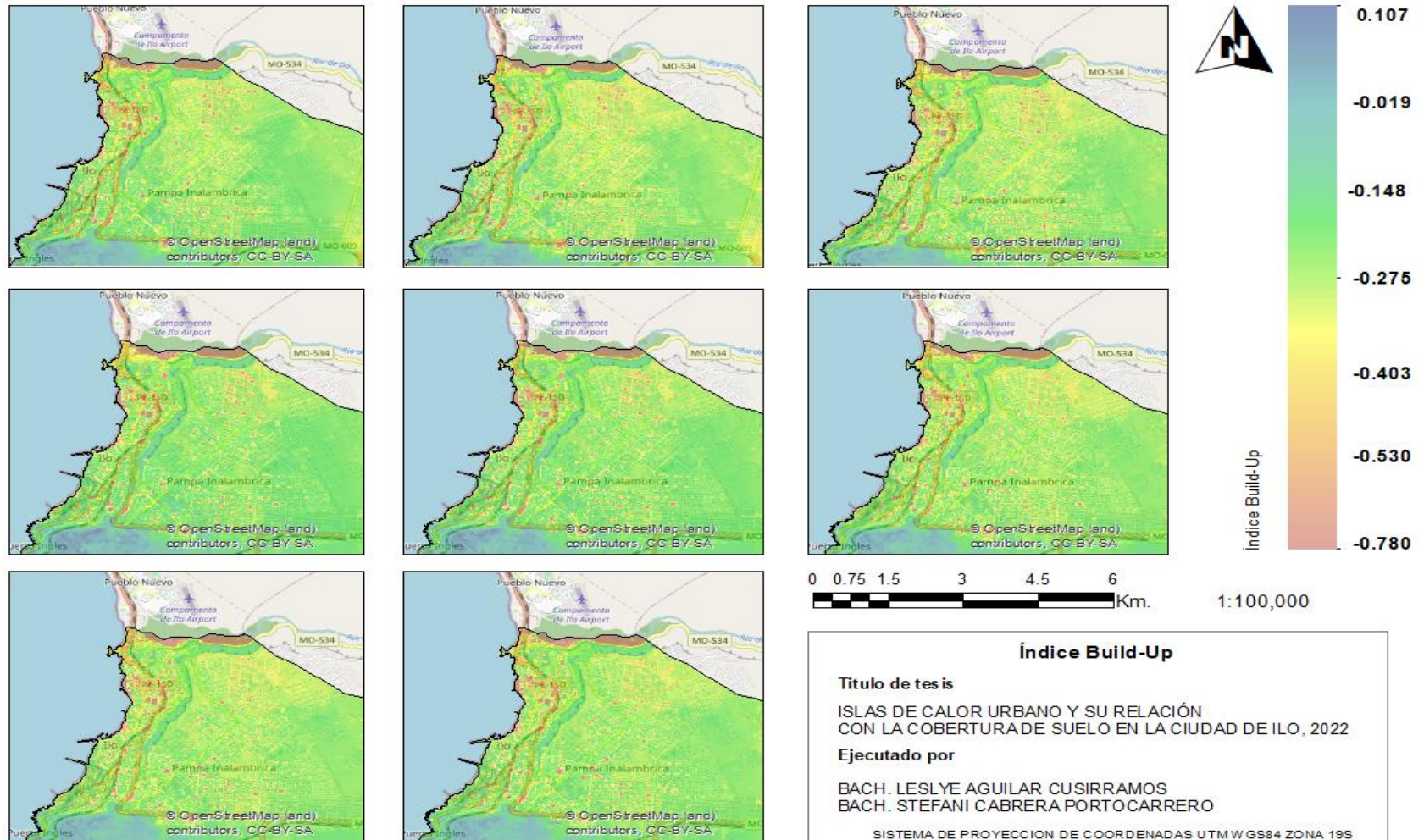
Fuente. Elaboración propia

En la figura 14, se muestra que en el año 2014, el NDBI revela un rango de valores desde -0.22 hasta 0.112, con un promedio de 0.018. Estos resultados sugieren una variabilidad en la densidad de edificaciones, desde áreas con poca presencia de estructuras hasta aquellas con mayor urbanización, el año 2015 presenta valores iguales al 2014, indicando una relativa estabilidad en la densidad de edificaciones en comparación con el año anterior. Para el año 2016, aunque el promedio se mantiene en 0.019, se observa un ligero cambio en el rango de valores, con un mínimo de -0.21 y un máximo de 0.096. Este cambio podría sugerir alteraciones en la expansión urbana o cambios en la infraestructura. En el año 2017, se registra un rango de -0.26 a 0.099, con un promedio de 0.018. A pesar de la variabilidad, el promedio indica una consistencia en la densidad de edificaciones comparable a años anteriores. En el 2018, el NDBI muestra un aumento en el promedio a 0.021, con un rango de -0.27 a 0.113. Este incremento podría sugerir un aumento en la densidad de edificaciones o cambios en la estructura urbana. El año 2019 presenta una cierta estabilidad en la densidad de edificaciones. Para el año 2020, a pesar de un promedio constante de 0.021, se observa un cambio en el rango de valores, esto podría indicar fluctuaciones en la expansión urbana. Finalmente, en 2021, se mantiene el promedio en 0.021, con un rango de -0.24 a 0.109. Aunque el promedio permanece constante, la variabilidad en el rango podría señalar cambios locales en la densidad de edificaciones.

En resumen, la comparación revela cierta estabilidad en la densidad de edificaciones durante los años, con posibles cambios en patrones específicos en algunos años. Estos análisis son fundamentales para comprender la dinámica del desarrollo urbano y respaldar decisiones relacionadas con la planificación urbana y el uso del suelo.

d. Análisis del Índice Build-Up (BU)

Figura 15
Índice Build-Up (BU)

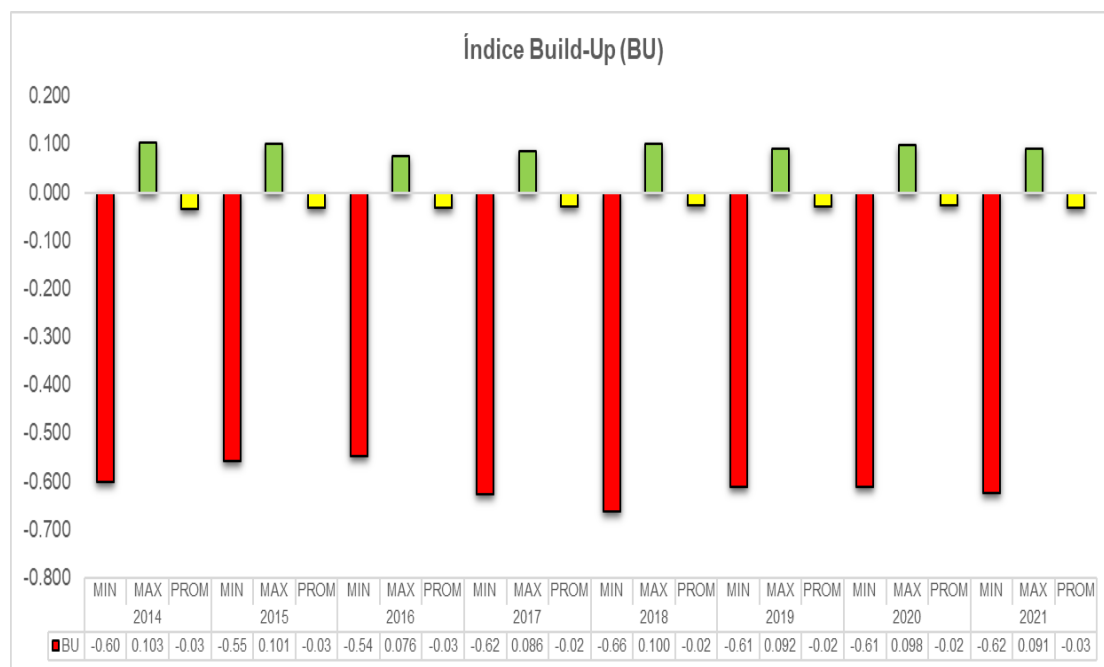


Fuente. Elaboración propia

Según el Índice Build-Up (BU), representado en la figura 15, su evaluación exhibe un rango de valores entre -0.78 y 0.10, lo que brinda una visión a detalle de la densidad de construcción y urbanización en la ciudad. Valores negativos en el BU indican áreas con baja densidad de construcción, posiblemente áreas no urbanizadas o con escasa infraestructura. Por otro lado, valores cercanos a 0.10 señalan zonas con mayor densidad de construcción y urbanización.

Este rango diverso en el BU permite identificar patrones espaciales de desarrollo urbano y evaluar la eficacia en el uso del suelo. Valores bajos pueden indicar áreas con potencial para desarrollo o revitalización, mientras que valores altos sugieren áreas densamente urbanizadas, ya que gran parte está cubierta de una tonalidad verde esto indica la presencia de edificaciones. Por lo tanto, se observa que la cobertura vegetal es escasa y está representada por una tonalidad roja. Asimismo, el color azul indica un suelo erosionado.

Figura 16
Anomalías estandarizadas de BU



Fuente. Elaboración propia

Se puede observar en la figura 16 que, en el año 2014, el índice BU osciló entre un mínimo de -0.60 y un máximo de 0.103, con un promedio de -0.03. Este año marcó un inicio con desafíos, y destacó una dispersión significativa en los valores del índice. Similarmente, en 2015, se mantuvo una tendencia con un rango de -0.55 a 0.101 y un

promedio constante de -0.03, que indicó cierta estabilidad en las condiciones de construcción. En el año 2016, se evidenció una ligera disminución en la variabilidad, con un índice BU fluctuando entre -0.54 y 0.076, mientras que el promedio se mantuvo en -0.03. Sin embargo, en 2017, se registró una mejora en la consistencia, con un rango de -0.62 a 0.086 y un promedio levemente elevado de -0.02, y sugirió una mayor uniformidad en la construcción. Para el año 2018, se observó una tendencia similar, con un rango de -0.66 a 0.100 y un promedio de -0.02. Esta estabilidad persistió en 2019, 2020 y 2021, donde los índices BU se mantuvieron en rangos estrechos (-0.61 a -0.62) con pequeñas variaciones en los máximos y mínimos. El promedio se mantuvo constante en -0.02, excepto en 2021, donde mostró una leve disminución a -0.03.

En general, la comparación revela una evolución gradual hacia la estabilización en las condiciones de construcción a lo largo de estos años. La consistencia en los índices BU indica una posible mejora en la planificación y ejecución de proyectos, aunque la disminución del promedio en 2021 podría requerir un análisis más profundo para comprender su implicación en el panorama de la construcción.

Verificación en Campo

Se realizó una supervisión en campo para verificar los resultados obtenidos en el modelo propuesto para las tres categorías de clasificación de cobertura, para ello se tomaron diferentes puntos en la zona de estudio. A continuación, se muestra información acerca de las coordenadas tomadas en la fase de campo (Tabla 18), así mismo se puede visualizar un panel fotográfico de los resultados encontrados (Anexo 02).

Tabla 18
Coordenadas tomadas en la zona de estudio

Tipo de Cobertura	Coordenadas			
	Puntos	Norte	Este	Hora
Cobertura Vegetal	NDVI - 01	8048908	251448	12:25 p.m.
	SAVI - 03	8049021	251653	11:38 a.m.
	NDBI - 03	8048557	251873	13:42 p.m.
	BU - 03	8040888	251910	13:12 p.m.
Zona Urbana	NDVI - 02	8049151	251464	12:52 p.m.
	SAVI - 02	8037617	251417	15:37 p.m.
	NDBI - 02	8057327	251337	15:14 p.m.
	BU - 02	8047610	251522	15:25 p.m.
Zona Desértica	NDVI - 03	8045852	251494	14:56 p.m.
	SAVI - 01	8046265	250878	16:05 p.m.
	NDBI - 01	8045829	252045	14:28 p.m.
	BU - 01	8049497	252376	14:26 p.m.

Nota. En la tabla, podemos observar los puntos de validación en la fase de campo.

4.2. Prueba de Hipótesis

4.2.1. Primera Hipótesis Específica

a) Existe una relación entre la Temperatura Superficial Terrestre (TST) y Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

Hipótesis de investigación:

Ho: Existe una relación entre la TST y NDVI

H1: No existe una relación entre la TST y NDVI

Hipótesis estadísticas:

Ho: No existe diferencias significativas entre las variables

H1: Existen diferencias significativas entre las variables

Significancia:

$\alpha = 0.01$

Análisis

De la tabla 19, se puede observar que el análisis de la correlación entre la Temperatura Superficial Terrestre (TST) y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) en la ciudad de Ilo, se ha obtenido un coeficiente de correlación de Pearson de 0.086. La correlación de Pearson es una medida estadística que evalúa la relación lineal entre dos variables, variando en un rango de -1 a 1, donde se indica que 1 es correlación positiva perfecta, -1 correlación negativa perfecta y 0 indica ausencia de correlación. En este caso, el valor de 0.086 sugiere una correlación muy débil entre la TST y el NDVI, esta débil correlación podría ser por la vegetación en la ciudad de Ilo al estar influenciada por otros factores ambientales, como la disponibilidad de agua o cambios en las prácticas agrícolas.

Es crucial considerar la significancia estadística para evaluar la confiabilidad de la correlación obtenida. En este contexto, se ha observado que el valor de significancia es de 0.01, lo que indica que la probabilidad de obtener una

correlación de 0.086 por pura casualidad es muy baja. Este resultado refuerza la validez estadística de la correlación encontrada.

En resumen, aunque la correlación entre la TST y el NDVI en Ilo es débil, es estadísticamente significativa con una confianza de 0.01. Este hallazgo puede tener implicaciones para la comprensión de las interacciones entre la temperatura superficial terrestre y la vegetación en la ciudad, que es relevante para la planificación ambiental y la gestión de recursos naturales en el área. Por lo tanto, llega a cumplir con la condición impuesta en la hipótesis. Se puede afirmar que presenta una correlación entre las variables durante todos los años analizados.

Tabla 19

Correlación entre Temperatura superficial terrestre (TST) Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

		Correlaciones															
		2014		2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021	
		TST	NDVI	TST	NDVI	TST	NDVI	TST	NDVI	TST	NDVI	TST	NDVI	TST	NDVI	TST	NDVI
TST	Correlación de Pearson	1	-,086**	1	-,001	1	1,000**	1	-,013*	1	-,035*	1	,083**	1	-,037*	1	-,056*
	Sig. (bilateral)		,000		,966		,000		,596		,158		,001		,134		,023
	∑ cuadrados	5203,66 2	-7,876	1698	1698	202292495, 499	200998368, 364	6646, 472	-1,399	3799, 720	-3,076	5312,54 7	7,861	4069,82 5	-3,259	3453, 077	-4,577
	Covarianza	3,066	-,005			123575,135	122784,587	4,065	-,001	2,324	-,002	3,249	,005	2,489	-,002	2,112	-,003
	N	1698	1698			1638	1638	1636	1636	1636	1636	1636	1636	1636	1636	1636	1636
NDVI	Correlación de Pearson	-,086**	1	-,001	1	1,000**	1	-,013*	1	-,035*	1	,083**	1	-,037*	1	-,056*	1
	Sig. (bilateral)	,000		,966		,000		,596		,158		,001		,134		,023	
	∑ cuadrados	-7,876	1,598	1638	1638	200998368, 364	199717853, 890	-1,399	1,714	-3,076	2,047	7,861	1,686	-3,259	1,897	-	4,577
	Covarianza	-,005	,001			122784,587	122002,354	-,001	,001	-,002	,001	,005	,001	-,002	,001	-,003	,001
	N	1698	1698			1638	1638	1636	1636	1636	1636	1636	1636	1636	1636	1636	1636

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral)

4.2.2. Segunda Hipótesis Específica

- b) **Existe una relación entre la Temperatura Superficial Terrestre (TST) y el Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI)**

Hipótesis de investigación:

Ho: Existe una relación entre la TST y SAVI

H1: No existe una relación entre la TST y SAVI

Hipótesis estadísticas:

Ho: No existe diferencias significativas entre las variables

H1: Existen diferencias significativas entre las variables

Significancia:

$\alpha = 0.01$

Análisis

De la tabla 20, se puede observar que el análisis de la correlación entre la Temperatura Superficial Terrestre (TST) y el Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI) en la ciudad de Ilo revela un coeficiente de correlación de Pearson de 0.086. El coeficiente de correlación es una métrica utilizada para cuantificar la magnitud y la orientación de una asociación lineal entre dos variables. Se calcula en una escala de -1 a 1, en la que 1 significa una correlación positiva ideal, -1 una correlación negativa ideal y 0 representa la ausencia de correlación.

En este contexto, el valor de 0.086 indica que la correlación es positiva débil entre la TST y el SAVI. Aunque la magnitud de la correlación es modesta, es esencial reconocer que el valor no se aproxima ni a 1 ni a -1, indicando una relación lineal débil.

Esta baja relación puede indicar que otros factores, como la disponibilidad de agua o cambios en el uso del suelo, están influyendo en la salud vegetal en la región, más allá de la exposición al calor.

En conclusión, con un nivel de confianza del 99%, la correlación positiva moderada entre la TST y el SAVI en la ciudad de Ilo es estadísticamente significativa. Este descubrimiento podría tener un impacto potencial en la

comprensión de las correlaciones entre la temperatura superficial de la tierra y el bienestar de las plantas, influyendo así en la gobernanza ambiental y la toma de decisiones en la región. Por lo tanto, en la hipótesis, se puede decir que presenta una correlación entre las variables, durante el periodo de años procesados. Se rechaza, de esta forma, la hipótesis nula.

Tabla 20

Correlación entre Temperatura superficial terrestre (TST) y índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI)

		Correlaciones															
		2014		2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021	
		TST	SAVI	TST	SAVI	TST	SAVI	TST	SAVI	TST	SAVI	TST	SAVI	TST	SAVI	TST	SAVI
TST	Correlación de Pearson	1	-,086**	1	-,001	1	1,000**	1	-,013	1	-,035*	1	,083**	1	-,037*	1	-,056*
	Sig. (bilateral)		,000		,966		,000		,596		,158		,001		,134		,023
	∑ cuadrados	5203,66 2	-11,814	4203,195	-,114	202292495,499	200998867,175	6646,472	-2,098	3799,720	-4,615	5312,547	11,792	4069,825	-4,888	3453,077	-6,865
	Covarianza	3,066	-,007	2,477	,000	123575,135	122784,891	4,065	-,001	2,324	-,003	3,249	,007	2,489	-,003	2,112	-,004
	N	1698	1698	1698	1698	1638	1638	1636	1636	1636	1636	1636	1636	1636	1636	1636	1636
SAVI	Correlación de Pearson	-,086**	1	-,001	1	1,000**	1	-,013	1	-,035*	1	,083**	1	-,037*	1	-,056*	1
	Sig. (bilateral)	,000		,966		,000		,596		,158		,001		,134		,023	
	∑ cuadrados	-11,814	3,596	-,114	2,840	200998867,175	199718856,659	-2,098	3,857	-4,615	4,605	11,792	3,794	-4,888	4,267	-6,865	4,309
	Covarianza	-,007	,002	,000	,002	122784,891	122002,967	-,001	,002	-,003	,003	,007	,002	-,003	,003	-,004	,003
	N	1698	1698	1698	1698			1636	1636	1636	1636	1636	1636	1636	1636	1636	1636

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

4.2.3. Tercera Hipótesis Específica

c) **Existe una relación entre la Temperatura Superficial Terrestre (TST) y el Índice de Diferencia Normalizada Edificada (NDBI)**

Hipótesis de investigación:

Ho: Existe una relación entre la TST y NDBI

H1: No existe una relación entre la TST y NDBI

Hipótesis estadísticas:

Ho: No existe diferencias significativas entre las variables

H1: Existen diferencias significativas entre las variables

Significancia:

$\alpha = 0.01$

Análisis

De la tabla 21, se puede observar que el análisis de la correlación entre la Temperatura Superficial Terrestre (TST) y el Índice de Diferencia Normalizada Edificada (NDBI) en la ciudad de Ilo ha revelado un coeficiente de correlación de Pearson de 0.2. Este coeficiente, que varía entre -1 y 1, identifica si la correlación es positiva moderada entre la TST y el NDBI. El valor de 0.2 sugiere que hay una relación lineal positiva, aunque no muy fuerte, entre la temperatura superficial terrestre y la densidad edificada en la zona.

Es crucial resaltar que el coeficiente no alcanza la magnitud de 1 ni se acerca a 0, lo que indica que la correlación observada no es ni perfecta ni nula. La correlación positiva señala que a medida que la temperatura superficial terrestre aumenta, también, lo genera la densidad edificada, aunque la relación no es altamente pronunciada. Este hallazgo puede tener implicaciones significativas para la planificación urbana y la gestión ambiental en la ciudad.

Por lo tanto, cumple la condición impuesta en la hipótesis, por esto podemos decir que presenta una correlación entre las variables en todos

los años procesados. De esta forma, rechazamos la hipótesis nula. Según la tabla 14, se evidencia una baja relación positiva.

Tabla 21*Correlación entre Temperatura superficial terrestre (TST) y índice de Diferencia Normalizada Edificada (NDBI)*

		Correlaciones															
		2014		2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021	
		TST	NDBI	TST	NDBI	TST	NDBI	TST	NDBI	TST	NDBI	TST	NDBI	TST	NDBI	TST	NDBI
TST	Correlación de Pearson	1	,299**	1	,282**	1	1,000**	1	-,013*	1	,202**	1	,114**	1	,229**	1	,190**
	Sig. (bilateral)		,000		,000		,000		,596		,000		,000		,000		,000
	∑ cuadrados	5203,6 62	25,279	4203,1 95	19,975	2022924 95,499	2009977 74,299	6646,4 72	-2,098	3799,7 20	14,775	5312,54 7	9,557	4069,8 25	18,305	3453,0 77	13,924
	Covarianza	3,066	,015	2,477	,012	123575, 135	122784, 224	4,065	-,001	2,324	,009	3,249	,006	2,489	,011	2,112	,009
	N	1698	1698	1698	1698	1638	1638	1636	1636	1636	1636	1636	1636	1636	1636	1636	1636
NDBI	Correlación de Pearson	,299**	1	,282**	1	1,000**	1	-,013*	1	,202**	1	,114**	1	,229**	1	,190**	1
	Sig. (bilateral)	,000		,000		,000		,596		,000		,000		,000		,000	
	∑ cuadrados	25,279	1,376	19,975	1,190	2009977 74,299	1997166 07,425	-2,098	3,857	14,775	1,403	9,557	1,325	18,305	1,565	13,924	1,547
	Covarianza	,015	,001	,012	,001	122784, 224	122001, 593	-,001	,002	,009	,001	,006	,001	,011	,001	,009	,001
	N	1698	1698	1698	1698	1638	1638	1636	1636	1636	1636	1636	1636	1636	1636	1636	1636

**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

4.2.4. Cuarta Hipótesis Específica

d) Existe una relación entre la Temperatura Superficial Terrestre (TST) y Índice Build-Up (BU)

Hipótesis de investigación:

Ho: Existe una relación entre la TST y BU

H1: No existe una relación entre la TST y BU

Hipótesis estadísticas:

Ho: No existe diferencias significativas entre las variables

H1: Existen diferencias significativas entre las variables

Significancia:

$\alpha = 0.01$

Análisis

De la tabla 22, podemos observar que el análisis de la correlación entre la Temperatura Superficial Terrestre (TST) y el índice Build-Up (BU) en la ciudad de Ilo ha arrojado un coeficiente de correlación de Pearson de 0.2. Este valor indica una correlación positiva moderada entre la TST y el grado de acumulación de infraestructuras urbanas, representado por el índice BU. La magnitud de 0.2 sugiere que, aunque existe una relación lineal positiva, esta no es extremadamente fuerte.

La significancia estadística del resultado se confirma mediante un valor de significancia (p) de 0.01, lo que implica que la probabilidad de obtener una correlación de 0.2 por azar es muy baja. La significancia refuerza la validez estadística de la asociación identificada entre la temperatura superficial terrestre y el desarrollo urbano representado por el BU.

Es importante mencionar que la correlación no es ni perfecta ni nula. La presencia de una correlación positiva indica que mientras la temperatura superficial terrestre aumenta. También, lo hace la acumulación de elementos urbanos, pese a que no es altamente pronunciada su relación. Por esto cumple la condición impuesta en la hipótesis, podemos decir

que presenta una correlación entre las variables en todos los años procesados.

Por lo tanto, rechazamos la hipótesis nula. Según la tabla (14) existe una baja relación positiva hasta muy buena correlación positiva como en el año 2016.

Tabla 22
Correlación entre Temperatura superficial terrestre (TST) y Build-Up (BU)

		Correlaciones															
		2014		2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021	
		TST	BU	TST	BU	TST	BU	TST	BU	TST	BU	TST	BU	TST	BU	TST	BU
TST	Correlación de Pearson	1	,199**	1	,150**	1	1,000**	1	,151**	1	,116**	1	,010*	1	,136**	1	,126*
	Sig. (bilateral)		,000		,000		,000		,000		,000		,685		,000		,000
	∑ cuadrados	5203,662	33,155	4203,195	20,051	202292495,499	200996776,629	6646,472	28,231	3799,720	17,851	5312,547	1,696	4069,825	21,564	3453,077	18,501
	Covarianza	3,066	,020	2,477	,012	123575,135	122783,614	4,065	,017	2,324	,011	3,249	,001	2,489	,013	2,112	,011
	N	1698	1698	1698	1698	1638	1638	1636	1636	1636	1636	1636	1636	1636	1636	1636	1636
BU	Correlación de Pearson	,199**	1	,150**	1	1,000**	1	,151**	1	,116**	1	,010*	1	,136**	1	,126**	1
	Sig. (bilateral)	,000		,000		,000		,000		,000		,685		,000		,000	
	∑ cuadrados	33,155	5,337	20,051	4,242	200996776,629	199714609,391	28,231	5,294	17,851	6,195	1,696	5,372	21,564	6,144	18,501	6,286
	Covarianza	,020	,003	,012	,002	122783,614	122000,372	,017	,003	,011	,004	,001	,003	,013	,004	,011	,004
	N	1698	1698	1698	1698	1638	1638	1636	1636	1636	1636	1636	1636	1636	1636	1636	1636

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

4.3. Discusión de resultados

En base a otras investigaciones, se tiene que el objetivo general de la presente investigación es: **Determinar la relación entre las Islas de calor urbano y la cobertura del suelo en la ciudad de Ilo.**

Como resultado del análisis de los años 2014 al 2021 de las imágenes satelitales LANTSAD 8 de la correlación entre la Temperatura Superficial Terrestre (TST) y los diferentes índices en la ciudad de Ilo, revela asociaciones interesantes entre variables ambientales y urbanísticas. El coeficiente de correlación de Pearson para la relación entre la TST y el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) es de 0,086, lo que sugiere una modesta correlación positiva. Esto indica que la temperatura superficial terrestre tiene una relación muy baja con la densidad de vegetación, y destaca que otros factores pueden tener una influencia más significativa en la temperatura.

En el caso del Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI), la correlación con la TST, también, arroja un coeficiente de 0.086, e indica una débil relación positiva. Esto sugiere que la presencia de vegetación ajustada al suelo tiene un impacto limitado en la temperatura superficial terrestre, y otros factores podrían ser determinantes en la variación térmica.

El análisis de la correlación entre la TST y el Índice de Diferencia Normalizada Edificada (NDBI) muestran un coeficiente de 0.2, que refleja una correlación positiva moderada. Esto sugiere que la temperatura superficial terrestre está influenciada en cierta medida por la densidad edificada en la zona. Sin embargo, la fuerza de esta relación no es muy robusta, lo que implica que otros factores, también, contribuyen a la variabilidad térmica.

En el caso del índice Build-Up (BU), la correlación con la TST revela un coeficiente de 0.2, lo que es una correlación positiva moderada. Esto sugiere que el grado de acumulación de infraestructuras urbanas, representado por el índice BU, tiene cierta influencia en la temperatura superficial terrestre, aunque la relación no es excepcionalmente fuerte.

En conjunto, estos resultados resaltan la complejidad de los factores que afectan la temperatura superficial terrestre en la ciudad de Ilo, que muestra que la relación con la vegetación y la urbanización es influenciada por diversos elementos ambientales y urbanísticos.

Asimismo, la metodología que se emplea en la presente investigación es similar a la que se muestra en la investigación realizada por Tanya Meneses Figueroa y Paula Iral Fiquitiva, la cual lleva por título *Análisis espacio-temporal de variables que inciden en la generación de isla de calor urbana en la localidad de Kennedy* (11). En dicha investigación, la metodología utilizada se basó en la Teledetección y Sistemas de Información Geográfica (SIG), así como la estadística. También, se identifican variables que inciden en la materialización de la UCI, como la presencia de materiales con bajos niveles de albedo, la ausencia de vegetación, la urbanización, la contaminación atmosférica y la producción de calor por combustión. Además, se analizan los efectos a la salud relacionados con la UCI, para encontrar posibles relaciones con enfermedades cardiovasculares y respiratorias.

Al igual que la metodología, explicada por (11), se cumplió con el objetivo de determinar las ICU, que tuvo como resultado la alta Temperatura Superficial Terrestre (TST), la cual sobrepasan los 30°C. Esto fue un indicador de la presencia de las ICU en la zona urbana de la ciudad de Ilo, llevando consigo el incremento anual y que a su vez coincide con el aumento de la dinámica urbana y poblacional. Por esto, en ambos resultados, se resalta la importancia de considerar la influencia de la vegetación, la urbanización y otros factores en la variabilidad térmica de las áreas urbanas, así como sus implicaciones en la salud pública.

Complementa lo expuesto anteriormente la investigación por Ernesto Menacho y Sandra Teruya titulada *Análisis de la relación de la isla de calor urbano con factores demográficos, espaciales y ambientales de lima metropolitana usando sensores remotos* (14). La metodología propuesta para identificar las ICUs, fue el uso imágenes satelitales, estas fueron procesadas en el software ENVI 5,1, QGIS 2,0, Minitab 17 y L-LDOPE. También, se empleó el método de Single Channel (SC) para determinar la temperatura de la superficie terrestre. Se tiene como resultados en cuanto a la correlación entre la elevación, la distancia a los cuerpos

de agua, el Índice de edificación de diferencia normalizada (NDBI), el uso de suelo y el Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), con respecto a los ICU fue positiva ($p < 0,001$).

Similar metodología se aplicó para nuestra investigación con la diferencia que el método se basó principalmente en el algoritmo de Split Windows (SP), el cual ayudó a determinar la temperatura superficial terrestre. Este trabajo, como ya se explicó con los sensores OLI y TIRS, al realizar el análisis estadístico, se tiene que la correlación de Pearson presenta un alto grado de significancia de ($p < 0.01$), lo cual indica que presenta una correlación alta entre la cobertura de suelo y las ICU. Esto concluye que ambas investigaciones obtuvieron resultados positivos a pesar de la diferencia en el uso de algoritmos para determinar la temperatura superficial terrestre (TST).

Finalmente, se realizó el análisis de la investigación titulada, *Identificación de islas de calor en la ciudad de lima metropolitana utilizando imágenes del satélite Landsat 5tm* (16), el cual se basa en identificar las Islas de Calor (IC) en Lima Metropolitana, indica que al haber un aumento poblacional en las últimas décadas reemplazando parques y jardines por condominios y edificaciones, que afecta, de esta forma, el clima urbano, y genera las islas de calor urbanas, por lo que estas son causadas principalmente por la morfología de la ciudad, la contaminación del aire y los parámetros meteorológicos. Por ello, al realizar el análisis de la relación entre la temperatura de superficie y el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) en diferentes zonas urbanas e industriales, se encontró una baja asociación entre la temperatura del aire, la temperatura de superficie y el NDVI, pero una evaluación positiva moderada entre el NDVI y una diferencia entre la temperatura de la superficie y la temperatura del aire, por lo que se está de acuerdo con los resultados determinados por (16), ya que las áreas verdes desempeñan un rol muy importante en las ICU, las cuales regulan la temperatura, y al haber pequeñas cantidades de vegetación estas no pueden contrarrestar la temperatura que se generan en las islas de calor urbano.

CONCLUSIONES

1. Con respecto al objetivo principal: determinar la relación entre las Islas de calor urbano y la cobertura del suelo en la ciudad de Ilo

Podemos concluir que, en el análisis de la ciudad de Ilo, se examinaron las correlaciones entre la Temperatura Superficial Terrestre (TST) y diversos índices ambientales. La relación entre la TST y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y el Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI) revela coeficientes de correlación de Pearson de 0.086. Indica correlaciones débiles y positivas. Esto sugiere una relación marginal entre la temperatura superficial terrestre y la densidad vegetal ajustada al suelo.

En contraste, la correlación entre la TST y el Índice de Diferencia Normalizada Edificada (NDBI) y el índice Build-Up (BU) muestra coeficientes de 0.2, e indica correlaciones positivas moderadas. Estos resultados sugieren que la temperatura superficial terrestre está influenciada en cierta medida por la densidad edificada y la acumulación de infraestructuras urbanas en la zona de estudio. Aunque estas correlaciones son moderadas, señalan una relación significativa entre la temperatura y la actividad humana, y proporcionan información clave para la planificación urbana y la gestión ambiental en Ilo.

También, se observó que la temperatura superficial terrestre en todos los años supera los 30°C. Esto nos indica que toda la zona urbana de la ciudad de Ilo está situada sobre una gran Isla de Calor Urbano.

2. Se logró realizar un análisis multitemporal para determinar la relación entre la Temperatura Superficial Terrestre (TST) y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), en los años analizados observamos que existen zonas con cobertura vegetal sana y esta información ha sido calibrada realizando un monitoreo de campo utilizando como referencia las coordenadas halladas en las zonas identificadas como áreas de vegetación que representan valores >0.2 . En el análisis de correlación, se obtuvo un coeficiente de correlación de Pearson de 0.086. En este caso, el valor de 0.086 sugiere una correlación muy débil entre la TST y el NDVI. A pesar de que el coeficiente no es cercano a 1 ni a -1, es importante destacar que no se puede descartar completamente la existencia de una relación lineal débil entre estas dos variables. Esta débil correlación podría ser por la vegetación en la ciudad de Ilo

al estar influenciada por otros factores ambientales, como la disponibilidad de agua o cambios en las prácticas agrícolas.

3. Determinamos la relación entre la Temperatura Superficial Terrestre (TST) y el Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI), al realizar el procesamiento de la información observamos el valor de 0.086 sugiere una correlación positiva débil entre la TST y el SAVI. La significancia estadística de este hallazgo se establece mediante el valor p, el cual se sitúa en 0.01. En los mapas temáticos, se pudo observar el aumento de la cobertura erosionada (suelo). Esto se pudo corroborar con el trabajo de campo, estadísticamente se observa que, al tener una relación significativa, nos dice que a mayor suelo erosionado mayor temperatura superficial terrestre.
4. En la relación significativa entre la Temperatura Superficial Terrestre (TST) y el Índice de Diferencia Normalizada Edificada (NDBI), se obtuvo el valor de 0.2, el cual sugiere que existe una relación lineal positiva, aunque no muy fuerte, entre la temperatura superficial terrestre y la densidad edificada en la zona. La presencia de una correlación positiva sugiere que a medida que la temperatura superficial terrestre aumenta. También, lo hace la densidad edificada, aunque la relación no es altamente pronunciada, este hallazgo puede tener implicaciones significativas para la planificación urbana y la gestión ambiental en la ciudad.
5. Sabemos que, al realizar el procesamiento del índice BU, observamos que las construcciones están cerca de las zonas con menor cobertura de vegetación sana y, por el contrario, se tiene un aumento de las zonas erosionadas, que realiza el análisis multitemporal entre la Temperatura Superficial Terrestre (TST) y Índice Build-Up (BU), se tiene que la significancia estadística del resultado se confirma mediante un valor de significancia (p) de 0.01. La presencia de una correlación positiva implica que a medida que la temperatura superficial terrestre aumenta. También, lo realiza la acumulación de elementos urbanos, aunque la relación no es altamente pronunciada. Nos lleva a la reflexión final que la temperatura superficial terrestre y, por ende, las Islas de Calor Urbana (ICU) incrementan al tener mayor suelo erosionado, y menor cobertura vegetal sana, al no poder evitar el aumento de las zonas de edificación se debe plantear la necesidad de tener propuestas de solución que generen un aumento de áreas verdes por metro cuadrado.

RECOMENDACIONES

1. Creemos que es importante una vez realizado el modelamiento y análisis de la información, se puedan plantear propuestas de solución, estableciendo medidas estructurales y no estructurales, ya que se ha determinado que la zona urbana de la ciudad de Ilo, presenta Islas de Calor Urbano y que está asociado a la vegetación, crecimiento de edificación y erosión de suelo.
2. Se considera importante realizar la investigación considerando otra metodología para realizar una comparación con los resultados.
3. Para obtener resultados más precisos, se recomienda utilizar métodos de clasificación visual y supervisada para caracterizar las áreas urbanas y la vegetación.
4. Se recomiendan estudios de eficiencia energética donde se disponga de rangos de temperatura más amplios, ya que este análisis del desperdicio de energía en diferentes partes de la ciudad puede conducir directamente a medidas para reducir el número islas de calor urbano (ICU).
5. Se recomienda difundir métodos aplicados a instituciones públicas como la Municipalidad y Gobierno Regional para ordenar mejor el territorio de la ciudad de Ilo y tomar decisiones oportunas que contribuyan al desarrollo integral del territorio de manera sostenible.
6. Se recomienda a las autoridades competentes monitorear las áreas abiertas de crecimiento urbano, que pueden ser áreas peligrosas o vulnerables, para evitar el asentamiento informal de residentes en estas áreas y evitar aún más los problemas de inestabilidad regional, y crear así áreas adecuadas para la expansión urbana.

REFERENCIAS

1. OKE, T. *Boundary Layer Climates*. Online. 2°. Vancouver, 2008. ISBN 0-415-04319-0. Available from: <https://bayanbox.ir/view/6693893538424427706/T.-R.-Oke-Boundary-Layer-Climates-Second-Editio-BookFi.org.pdf>
2. FERNANDEZ, H. *Caminos rurales, una puerta al desarrollo y la conectividad territorial*. . 1°. Lima, Perú, 2023. ISBN 9789804223136.
3. FERNÁNDEZ, F. Lisa Gartland. Heat Islands. Understanding and mitigating heat in urban areas. *Revista de geografía Norte Grande*. 2009. Vol. 121, no. 43, p. 119–121. DOI 10.4067/s0718-34022009000200009.
4. CORREA, E., FLORES, S. and LESINO, G. Isla de calor urbana: Efecto de los pavimentos. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. 2003. Vol. 7, no. 2, p. 25–30.
5. BARRY, R. and CHORLEY, R. *Atmosphere, Weather and Climate*. Online. 8°. New York, USA, 2009. ISBN 0203428234. Available from: https://virtual.unju.edu.ar/pluginfile.php/226154/mod_resource/content/1/Barry-Chorley-Atmosphere-Weather-Climature-2003.pdf
6. LIMA, R. *"Determinación de Islas de Calor Urbano en La ciudad de Tacna, mediante el uso de Imágenes Satelitales"*. Online. Universidad Privada de Tacna, 2021. Available from: <https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/1724> La ciudad de Tacna, está apreciando el
7. MARTINS, A. Qué es el efecto de la isla de calor y por qué debe preocupar a las ciudades de América Latina. *BBC News*. Online. New York, USA, 5 June 2019. Available from: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-48531389>
8. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA [INEI]. *Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas*. Online. 1°. Lima, Perú, 2017. Available from: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1539/libro.pdf
9. ZEPEDA, J. Islas de calor urbanas. *El Universal Querétaro*. Online. 2015. Available from: <https://www.eluniversalqueretaro.mx/opinion/jose-alfredo-zepeda-garrido/islas-de-calor-urbanas/>
10. KUNDU, S. and KUMAR, Nishant. Reducing Urban Heat Islands: Compendium

- of Strategies Urban Heat Island Basics. *India International Conference on Power Electronics, IICPE*. Online. 2016. Vol. 2016- Novem. DOI 10.1109/IICPE.2016.8079546.
11. MENESES, T. and IRAL, P. *Análisis Espacio-Temporal de Variables que Inciden en la Generación de Isla de Calor Urbana en la Localidad de Kennedy*. Online. Universidad Santo Tomas, 2017. Available from: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/9215>
 12. ARAIZA, G. La isla de calor en la Ciudad de México: Un análisis decadal (1950-2010). *Revista Geográfica de América Central*. 2022. Vol. 2, no. 69, p. 415–436. DOI 10.15359/rgac.69-2.15.
 13. SÁNCHEZ, C., NUÑEZ, M. and NEILA, F. El Caso De Madrid Sur. *Congreso Internacional de Construcción Sostenible y Soluciones Eco-EficientesEco-Eficientes*. Online. 2017. Vol. 3, no. 1, p. 545–556. Available from: <https://search.proquest.com/docview/304783477/previewPDF/1F6AA36BD23345A8PQ/1?accountid=45277>
 14. MENACHO, E. and TERUYA, S. Análisis de la relación de la isla de calor urbano con factores demográficos, espaciales y ambientales de Lima metropolitana usando sensores remotos. *Anales Científicos*. Online. 2019. Vol. 80, no. 1, p. 60. DOI 10.21704/ac.v80i1.926.
 15. PORRAS, P. *Detección de núcleos de islas de calor en la Ciudad de Arequipa*. Online. Universidad Nacional Agraria de La Molina, 2018. Available from: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3204>
 16. SOBERÓN, V. and OBREGÓN, E. Identificación de islas de calor en la ciudad de Lima Metropolitana utilizando imágenes del Satélite Landsat 5TM. *Anales Científicos*. Online. 2016. Vol. 77, no. 1, p. 34–44. DOI <https://doi.org/10.21704/ac.v77i1.475>.
 17. MILLS, G., HOWARD, L. and The Climate of London. *Weather*. 2008. Vol. 63, no. 6, p. 153–157. DOI 10.1002/wea.195.
 18. RIVAROLA, S. *Desarrollo Sustentable: Una Sociedad Solidaria*. Online. Lima, Perú, 2012. Available from: https://books.google.com.pe/books?id=xV2nBgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
 19. CARRASCO, R. *La Ciudad sostenible, movilidad y desarrollo metropolitano, su aplicación y análisis comparativo entre las áreas metropolitanas del Vallés y*

- Puebla*. Online. 2000. Available from: <https://www.tdx.cat/handle/10803/6147?jsessionid=0A20C23B4125EDDFE5BE7D0A68F4063B#page=1>
20. MARTÍN-VIDE, J. y MORENO-GARCÍA, C. 2020. Probability values for the intensity of Barcelona's urban heat island (Spain). *Atmospheric Research* 240. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.104877>
 21. HALA, E. y KADER, O. 2014. Change detection of urban heat islands and some related parameters using multi-temporal Landsat images; a case study for Cairo city, Egypt. *Urban Climate* 10: 171-188. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2014.10.011>
 22. STREUTKER, D. R. 2002. Un estudio de teledetección de la isla de calor urbano de Houston, Texas. *Revista Internacional de Teledetección* 23 (13): 2595-2608. Available from: <https://doi.org/10.1080/01431160110115023>
 23. INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL [IGN]. Teledetección. In : CENTRO NACIONAL DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (ed.), *3D Analyst y ArcGlobe*. Online. 1°. Valencia, 2018. p. 2. Available from: <https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/OBS-Teledeteccion.pdf>
 24. CHUVIECO, E. *Teledetección ambiental la observación de la Tierra desde el espacio*. Online. 1°. Alcalá, 2022. ISBN 978-84-344-3498-1. Available from: <https://datos.bne.es/edicion/a4879330.html>
 25. ADMINISTRACIÓN NACIONAL DE AERONÁUTICA Y EL ESPACIO [NASA]. LANDSAT 8. *Landsat Science*. Online. 2013. Available from: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-8/>
 26. U.S. GEOLOGICAL SURVEY. *Landsat 8 Data Users Handbook*. Online. 1°. 2019. Available from: <https://landsat.usgs.gov/documents/Landsat8DataUsersHandbook.pdf>
 27. EOS DATA ANALYTICS. Bandas Landsat 8: Combinaciones Y Usos En Imágenes. Online. 2021. Available from: <https://eos.com/es/blog/bandas-landsat-8/>
 28. AYCE, C. y ZUÑIGA, D. *Estimación de islas de calor urbano aplicando el algoritmo de Split Window, para establecer una propuesta de manejo ambiental en la ciudad de Tacna*. Online. Universidad Privada de Tacna, 2022. Available from: <http://www.upt.edu.pe/upt/web/home/contenido/100000000/65519409>
 29. FERNÁNDEZ, A. *Cálculo de temperatura de superficie a partir de imágenes*

- NOAA, LANDSAT y SENTINEL-3. Online. Universidad Politecnica de Valencia, 2018. Available from: [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/103166/Fernández - CALCULO DE TEMPERATURA DE SUPERFICIE A PARTIR DE IMÁGENES NOAA%2C LANDSAT Y SENTINEL-3.pdf?sequence=1](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/103166/Fernández%20-%20CALCULO%20DE%20TEMPERATURA%20DE%20SUPERFICIE%20A%20PARTIR%20DE%20IMÁGENES%20NOAA%20Y%20SENTINEL-3.pdf?sequence=1)
30. MARTÍNEZ, R. Estimación de la temperatura superficial en imágenes históricas Landsat 5 mediante corrección atmosférica monocanal en el térmico para la cuenca del río Tempisque-Bebedero (Costa Rica). *Revista Geográfica de América Central*. 2020. Vol. 2, no. 65, p. 17–32. DOI 10.15359/rgac.65-2.1.
 31. SIMÓN, J., GARCÍA, R., DEL BARRIO, G., RUIZ, A., MÁRQUEZ, S. and SANJUÁN, M. *Diseño de una metodología para la aplicación de indicadores del estado de conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Online. 2013. Available from: https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/publicaciones/indicadores_tcm30-197157.pdf
 32. GONZÁLEZ, A., AMARILLO, G., AMARILLO, M. and SARMIENTO, F. Drones Aplicados a la Agricultura de Precisión. *Publicaciones e Investigación*. 2016. Vol. 10, p. 23. DOI 10.22490/25394088.1585.
 33. GÓMEZ, I. *Análisis de sellado de suelos en varios municipios de la Comunidad de Madrid*. Online. 2014. Available from: [https://eprints.ucm.es/id/eprint/29167/1/Análisis de sellado de suelos en varios municipios de la Comunidad de Madrid_IreneGomezVicario.pdf](https://eprints.ucm.es/id/eprint/29167/1/Análisis%20de%20sellado%20de%20suelos%20en%20varios%20municipios%20de%20la%20Comunidad%20de%20Madrid_IreneGomezVicario.pdf)
 34. MALIK, M., SHUKLA, J. and MISHRA, S. Relationship of LST, NDBI and NDVI using landsat-8 data in Kandaihimmat watershed, Hoshangabad, India. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*. 2019. Vol. 48, no. 1, p. 25–31.
 35. SITJAR, Josep. Los Sistemas de Información Geográfica al servicio de la sociedad. *Cuadernos internacionales de tecnología para el desarrollo humano*. 2009. No. 8, p. 13. Peer Reviewed
 36. OLMOS, P. *Sistemas de Información Geográfica*. Online. 1º. Valencia, España, 2010. Available from: <https://geoinnova.org/wp-content/uploads/2018/08/Sistemas-de-Información-Geográfica-SIG-Técnicas-básicas-para-estudios-de-biodiversidad.pdf>
 37. CATALÁN, A. Técnicas De Procesamiento Digital De Imágenes. *Revista de Marina*. Online. 2019. Vol. 969, p. 68–71. Available from:

<https://revistamarina.cl/revistas/2019/2/acatalanu.pdf>

38. MONTERROSO, M. *Guia Practica: Clasificación De Imagenes Satelitales*. Online. 1°. 2013. Available from: <https://arcgeek.com/descargas/ClasImMF.pdf>
39. GUO, Q., KELLY, M., GONG, P. and LIU, D. An object-based classification approach in mapping tree mortality using high spatial resolution imagery. *GIScience and Remote Sensing*. 2007. Vol. 44, no. 1, p. 24–47. DOI 10.2747/1548-1603.44.1.24.
40. HU, T., LIU, J., ZHENG, G., LI, Y. and XIE, B. Quantitative assessment of urban wetland dynamics using high spatial resolution satellite imagery between 2000 and 2013. *Scientific Reports*. Online. 2018. Vol. 8, no. 1, p. 1–10. DOI 10.1038/s41598-018-25823-9.
41. GONZALEZ, R. and WOODS, R. *Digital image processing*. Online. 4°. 2018. ISBN 9780133356724. Available from: <https://dl.icdst.org/pdfs/files4/01c56e081202b62bd7d3b4f8545775fb.pdf>
42. MONTAÑO, N., NAVARRO, M., PATRICIO, I., CHIMAL, E. and MIGUEL, J. El suelo y su multifuncionalidad: ¿qué ocurre ahí abajo? *Ciencia Ergo Sum*. 2018. Vol. 25, no. 3, p. 1–10. DOI 10.30878/ces.v25n3a9.
43. ROJAS, F. *Análisis de los acambios de cobertura y uso del suelo en el distrito de Ichocán, Cajamarca*. Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo, 2017.
44. ÁLCANTARA G. *Análisis de los cambios de la cobertura y uso de la Tierra. Cajamarca*. Gobierno Regional de Cajamarca, 2014.
45. ZEPEDA, J. *Islas de Calor Urbanas*. El Universal Querétaro. [En línea] 2015. <https://www.eluniversalqueretaro.mx/content/islas-de-calor-urbanas>.
46. MAQUERA, E. *Análisis de los cambios de cobertura y uso del suelo en el departaamento de Tacna, periodo 2007, 2012 y 2017*. Tacna : Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, 2020.
47. SANCHEZ, P. *La teledeteccion enfocada a la obtencion de mapas*. Cuenca : Universidad de Cuenca, 2012.
48. HERNÁNDEZ, R. Pixel. Geekno. 17 de Abril de 2019. <https://www.geekno.com/glosario/pixel>
49. INTA Copernicus Relay. *La emisividad en teledetección*. [En línea] 2018. https://www.inta.es/INTA/es/blogs/copernicus/BlogEntry_1531376814223
50. PARRA, J., SOBRINO, J., MORALES, L., CASTELLARO, G., URIBE, J. y GAETE, N. Aplicación de un Algoritmo de Split-Window para la Estimación de

- la Temperatura de la Superficie Terrestre desde Datos AVHRR-NOAA. *Agricultura técnica*. 2006. Vol. 66, no. 4, p. 385-392. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072006000400007>
51. HERNÁNDEZ-SAMPIERI, Roberto. *Las rutas Cuantitativa Cualitativa y Mixta*. Online. 2018. ISBN 978-1-4562-6096-5. Available from: shorturl.at/mwS39.
 52. BERNAL, C. *Metodología de la Investigación Para administración, economía, humanidades y ciencias sociales*. Segunda . s.l. : Pearson Educación, 2006. pág. 57
 53. ANDRÉS-ANAYA, P. *Temperatura superficial terrestre a partir de imágenes satelitales: herramienta para su cálculo*. Online. Escuela Politécnica Superior de Ávila, 2019. Aviable from: [file:///C:/Users/user/Downloads/TG_Andr%C3%A9sAnayaP_Temperatura%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/user/Downloads/TG_Andr%C3%A9sAnayaP_Temperatura%20(1).pdf)
 54. ARIZA, A. *Descripción y Corrección de Productos Landsat 8*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá. 2013.
 55. HUETE, A. A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). *Arizona : Remote Sensing of Environment*, 1988, Vol. 25, págs. 295-309.
 56. GIS & BEERS. *Cálculo de índice NDBI para análisis urbanísticos*. Online. 5 de Mayo de 2018. <http://www.gisandbeers.com/calculo-indice-ndbi-analisis-urbanisticos/>
 57. ZÚÑIGA, E., CHAMBI, S., CARBAJAL, C., MELÉNDEZ, F., FIGUEROA, I., VIVEROS, W. and COAQUIRA, J. The Pearson or Spearman Correlation in physical and textile traits of alpaca fibre. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Peru*. 2022. Vol. 33, no. 3, p. 1–19. DOI 10.15381/RIVEP.V33I3.22908.
 58. HERNÁNDEZ R., FERNÁNDEZ C. y BAPTISTA P. *Metodología de la Investigación*. Sexta. s.l. : McGraw-Hill, 2014.
 59. HERNÁNDEZ T. *Caracterización de los efectos de la Isla de Calor en la Delegación Venustiano Carranza*. México. Universidad Autónoma Metropolitana, 2019.

ANEXOS

Anexo 01: Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<p>PROBLEMA GENERAL</p> <p>¿Cuál es la relación entre las Islas de calor urbano y la cobertura del suelo en la ciudad de Ilo?</p> <p>PROBLEMA ESPECÍFICO</p> <p>- ¿Existe una relación entre la Temperatura Superficial Terrestre (TST) y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), en los años analizados?</p> <p>- ¿Existe una relación entre la Temperatura Superficial Terrestre (TST) y el Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI), en los años analizados?</p> <p>- ¿Existe una relación entre la Temperatura Superficial Terrestre (TST) y el Índice de Diferencia Normalizada</p>	<p>OBJETIVO GENERAL</p> <p>Determinar la relación entre las Islas de calor urbano y la cobertura del suelo en la ciudad de Ilo.</p> <p>OBJETIVO ESPECÍFICOS</p> <p>- Realizar un análisis multitemporal para determinar la relación entre la Temperatura Superficial Terrestre (TST) y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)</p> <p>- Realizar un análisis multitemporal para determinar la relación entre la Temperatura Superficial Terrestre (TST) y el Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI)</p> <p>- Realizar un análisis multitemporal para determinar la relación entre la Temperatura Superficial Terrestre (TST) y el Índice de Diferencia Normalizada Edificada (NDBI)</p>	<p>HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN</p> <p>HIPÓTESIS NULA</p> <p>H₀: No existe una relación entre las Islas de calor urbano y la cobertura del suelo en la ciudad de Ilo.</p> <p>HIPÓTESIS ALTERNA</p> <p>H₁: Existe una relación entre las Islas de calor urbano y la cobertura del suelo en la ciudad de Ilo.</p> <p>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</p> <p>- Existe una relación entre la Temperatura Superficial Terrestre (TST) y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)</p>	<p>VARIABLE 1</p> <p>Islas de calor urbano</p> <p>VARIABLE 2</p> <p>Cobertura del suelo</p> <p>TIPO DE VARIABLE</p> <p>Descriptiva, cualitativa</p> <p>ESCALA DE MEDICIÓN</p> <p>-°C adimensional</p> <p>-Píxeles de evaluación</p>	<p>MÉTODO DE INVESTIGACIÓN</p> <p>El método específico de investigación del estudio fue no experimental con fundamento científico.</p> <p>TIPO DE INVESTIGACIÓN</p> <p>Aplicada</p> <p>NIVEL DE INVESTIGACIÓN</p> <p>Correlacional-explicativo</p> <p>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN</p> <p>No experimental</p>

<p>Edificada (NDBI), en los años analizados?</p> <p>- ¿Existe una relación entre la Temperatura Superficial Terrestre (TST) y Índice Build-Up (BU), en los años analizados?</p>	<p>- Realizar un análisis multitemporal para determinar la relación entre la Temperatura Superficial Terrestre (TST) y Índice Build-Up (BU)</p>	<p>- Existe una relación entre la Temperatura Superficial Terrestre (TST) y el Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI)</p> <p>- Existe una relación entre la Temperatura Superficial Terrestre (TST) y el Índice de Diferencia Normalizada Edificada (NDBI)</p> <p>- Existe una relación entre la Temperatura Superficial Terrestre (TST) y Índice Build-Up (BU)</p> <p>- Al identificar las islas de calor es posible plantear propuestas de solución.</p>	<p>POBLACIÓN</p> <p>La población de estudio se encuentra ubicada en la ciudad de Ilo, capital del distrito y de la provincia del departamento de Moquegua.</p> <p>MUESTRA</p> <p>Para la obtención de la muestra se consideró la zona urbana de la ciudad de Ilo.</p>
---	---	---	---

Elaboración propia

Anexo 02: Verificación en campo

Cobertura Vegetal:

Figura 17

Validación en Campo de la Clasificación de Cobertura Vegetal



Nota. La imagen superior corresponde a la imagen satelital tomada de Google Earth. En la parte superior derecha el punto NDVI-01 de coordenada este 251448, norte 8048908 y parte central derecha SAVI-03 coordenadas este 251653 y norte 8049021. En la parte posterior a la izquierda el punto NDBI-03 de coordenadas este 251873, norte 8048557, a la derecha el punto BU-03 de coordenadas este 251910, norte 8048888.

Zona Urbana

Figura 18
Validación en Campo de la Clasificación de Zona Urbana



Nota. La imagen superior corresponde a la imagen satelital tomada de Google Earth. En la parte central izquierda el punto SAVI-02 de coordenada este 251417, norte 8047617 y parte central derecha punto NDVI-02 coordenadas este 251464 y norte 8049151. En la parte posterior a la izquierda el punto BU-02 de coordenadas este 251522, norte 8047610, a la derecha el punto NDBI-02 de coordenadas este 251, norte 8047327.

Zona desértica (SAVI)

Figura 19

Validación en Campo de la Clasificación de Suelo Erosionado



Nota. La imagen superior corresponde a la imagen satelital tomada de Google Earth. En la parte central izquierda el punto BU-01 de coordenada este 252376, norte 8049497 y parte central derecha punto SAVI-01 coordenadas este 250878 y norte 8046265. En la parte posterior a la izquierda el punto NDVI-01 de coordenadas este 252045, norte 8045829, a la derecha el punto NDVI-03 de coordenadas este 251494, norte 8045852.