

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**TENDENCIA DE ISLAS DE CALOR URBANO Y SU RELACIÓN CON EL
CAMBIO DEL ÍNDICE DE VEGETACIÓN DE DIFERENCIA NORMALIZADA EN
LA CIUDAD DE JULIACA - PUNO, PERIODO 2015 - 2023.**

PRESENTADA POR:

MARCOS MELO ACARAPI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PUNO - PERÚ

2024



Repositorio Institucional ALCIRA by [Universidad Privada San Carlos](https://www.upsc.edu.pe) is licensed under a [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



5.55%

SIMILARITY OVERALL

SCANNED ON: 9 JUL 2024, 5:16 PM

Similarity report

Your text is highlighted according to the matched content in the results above.

● IDENTICAL
0.46%

● CHANGED TEXT
5.08%

Report #21973651

MARCOS MELO ACARAPI TENDENCIA DE ISLAS DE CALOR URBANO Y SU RELACIÓN CON EL CAMBIO DEL ÍNDICE DE VEGETACIÓN DE DIFERENCIA NORMALIZADA EN LA CIUDAD DE JULIACA - PUNO, PERIODO 2015 - 2023. RESUMEN La pérdida de áreas verdes en la ciudad de Juliaca es uno de los signos del incremento de las islas de calor urbana. La presente investigación tuvo como objetivo analizar la tendencia de islas de calor urbano y su relación con el cambio del índice de vegetación de diferencia normalizada en la ciudad de Juliaca - Puno, periodo 2015 - 2023. se evaluaron mediante los softwares R-Studio (v4.3.3) y QGis (v3.34.4). Los materiales utilizados fueron las fotografías aéreas de Landsat 8 de colección 1, las fotografías fueron obtenidas del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Para calcular la cantidad de cubierta de vegetación se utilizó el índice diferencial normalizado de la cubierta vegetal (NDVI > 0,2), por otro lado para el cálculo de la temperatura superficial o isla de calor urbano se realizó mediante el método (Split-Window). Los resultados obtenidos indican que durante los 9 años de estudio las áreas verdes de la ciudad urbana de Juliaca tuvo una variación de -49.43 Ha, también tuvo una tasa de cambio de -50.04%, También Durante los 9 años de estudios las islas de calor urbana tuvo una variación de temperatura superficial máxima de +11.6 °C y las temperatura superficial mínima de +14.5 °C, el índice de vegetación de diferencia normalizada o área

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS
FACULTAD DE INGENIERÍAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
TESIS

**TENDENCIA DE ISLAS DE CALOR URBANO Y SU RELACIÓN CON EL
CAMBIO DEL ÍNDICE DE VEGETACIÓN DE DIFERENCIA NORMALIZADA EN
LA CIUDAD DE JULIACA - PUNO, PERIODO 2015 - 2023.**

PRESENTADA POR:

MARCOS MELO ACARAPI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

:


Dr. ESTEBAN ISIDRO LEON APAZA

PRIMER MIEMBRO

:


Mg. JULIO WILFREDO CANO OJEDA

SEGUNDO MIEMBRO

:


Dra. MARLENE CUSI MONTESINOS

ASESOR DE TESIS

:


Mg. FREDY APARICIO CASTILLO SUAQUITA

Área: Ingeniería, Tecnología.

Sub Área: Ingeniería Ambiental.

Líneas de Investigación: Sensores remotos.

Puno, 11 de julio del 2024.

DEDICATORIA

A Dios que ha sido mi guía, fuerza y su mano de fidelidad y amor ha estado conmigo para cumplir mis metas y objetivos educativos, que con su bendición llena constantemente mi existencia, y a todo mi círculo familiar por estar siempre presentes.

A mis padres que con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido cumplir un sueño más, por inculcarme el ejemplo de valores éticos, responsabilidad y respeto.

Por último, me gustaría dedicar esta tesis a todos mis amigos, por ayudarme cuando más lo necesitaba, por tenderme la mano en los momentos más difíciles de mi vida profesional y por el incentivo que me dieron. Los llevaré siempre en mi corazón y mente.

Marcos Melo Acarapi.

AGRADECIMIENTOS

- A mi Universidad Privada San Carlos - Puno, por brindarme una formación profesional de alto nivel para el desarrollo de mi región de Puno.
- De igual manera mis agradecimientos a toda la Facultad de Ingeniería Ambiental, a mis profesores quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional, gracias a cada uno de vosotros por vuestra mansedumbre, fuerza de voluntad, ayuda incondicional y amistad.
- A mis padres por su apoyo incondicional.
- A mi Asesor: **Mg. Fredy Aparicio Castillo Suaquita**, quien con su dirección, conocimientos, enseñanza y colaboración, permitió el perfeccionamiento de este trabajo de Investigación.
- Por último, a todos los miembros del jurado por la verificación, revisión para el perfeccionamiento de mi investigación.

Marcos Melo Acarapi.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	2
ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ANEXOS	8
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
INTRODUCCIÓN	11

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.1.1 Problema General	14
1.1.2 Problemas específicos	14
1.2. ANTECEDENTES	14
1.2.1. Antecedentes internacionales	14
1.2.2. Antecedentes nacionales	16
1.2.3. Antecedentes locales	17
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	18
1.3.1. Objetivo general	18
1.3.2. Objetivos específicos	18

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO	19
2.1.1. Índice de vegetación	19
2.1.2. Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)	19
2.1.3. Islas de calor urbano (ICU)	20
2.1.4. Teledetección	24
2.1.5. El espectro electromagnético	24
2.1.6. Imágenes satelitales Landsat 8	24
2.1.7. Sistemas de información Geográfica	25
2.2. MARCO CONCEPTUAL	26
2.3. MARCO TEÓRICO NORMATIVO	27
2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	28
2.4.1. Hipótesis general	28
2.4.2. Hipótesis específicas	28

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO	29
3.2. TAMAÑO DE MUESTRA	30
3.2.1 Población	30
3.2.2 Muestra	30
3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS	31
3.3.1 Métodos	31
3.3.2 Materiales	31
3.4. METODOLOGÍA POR OBJETIVOS ESPECÍFICOS	32
3.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	37

3.6. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO	37
CAPÍTULO IV	
EXPOSICION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS	
4.1. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DEL CAMBIO DEL ÍNDICE DE VEGETACIÓN DE DIFERENCIA NORMALIZADA EN LA CIUDAD DE JULIACA DURANTE EL 2015 Y 2023.	40
4.2. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LA TENDENCIA DE ISLAS DE CALOR URBANA EN LA CIUDAD DE JULIACA, PERIODO 2015 - 2023.	45
4.3. PROCESO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS	52
4.3.1. Prueba de hipótesis para el objetivo específico 1.	52
4.3.2. Prueba de hipótesis para el objetivo específico 2.	53
CONCLUSIONES	56
RECOMENDACIONES	57
BIBLIOGRAFÍA	58
ANEXOS	64

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 01: Causas de la isla de calor urbana (ICU).	21
Tabla 02: Resolución Espectral Landsat-L8.	25
Tabla 03: Límite geopolítico del área de investigación	29
Tabla 04: Requerimiento para las fotografías aéreas de Landsat-L8.	33
Tabla 05: Clases de los valores del NDVI.	34
Tabla 06: Operacionalidad de Variables.	37
Tabla 07: Grado de correlación.	39
Tabla 08: Cambios temporales de las áreas verdes en la ciudad de Juliaca, 2015 - 2023.	41
Tabla 09: Estadística descriptiva del NDVI - áreas verdes, periodo (2015 - 2023).	43
Tabla 10: Pruebas de normalidad para la variable NDVI - áreas verdes.	45
Tabla 11: Cambios temporales de las islas de calor urbana (ICU) en la ciudad de Juliaca, 2015 - 2023.	46
Tabla 12: Estadística descriptiva de las temperaturas superficiales, periodo (2015 - 2023).	50
Tabla 13: Pruebas de normalidad de las temperaturas superficiales.	52
Tabla 14: Matriz de correlación de Pearson de las variables.	54

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 01: Fórmula y uso del índice de vegetación NDVI (Aldás Andrade, 2019).	20
Figura 02: Comparaciones de islas de calor urbana (ICU) en zonas rurales y ciudades (Palacios, 2018).	21
Figura 03: Diagrama que muestra las capas aerológicas verticales y las escalas climáticas en las que están presentes los efectos del cambio del área urbana (Porrás et al., 2022).	22
Figura 04: Contenido las islas de calor urbana "ICU" (Cuadrat et al., 2022).	23
Figura 05: Espectro de radiofrecuencias (Herrera et al., 2018).	24
Figura 06: Mapa de localización del área de estudio, ciudad de Juliaca.	30
Figura 07: Obtención de las fotografías aéreas de Landsat-L8 del USGS.	33
Figura 08: Cambio de las áreas verdes en la ciudad de Juliaca durante el 2015 y 2023.	42
Figura 09: Cambio temporal de las áreas verdes en la ciudad de Juliaca durante el 2015 - 2023.	43
Figura 10: Regresión lineal de áreas verdes, con respecto al tiempo.	44
Figura 11: Gráfico de temperaturas superficiales máximas y mínimas durante el 2015 - 2023.	48
Figura 12: Cambio temporal de las islas de calor urbana de la ciudad de Juliaca durante el 2015 - 2023.	49
Figura 13: Perfil de las islas de calor urbano de la ciudad de Juliaca durante el 2015 - 2023.	51
Figura 14: Correlograma para las variables en símbolos y en numericos.	55
Figura 15: Correlación de la variable independiente con respecto a la variable dependiente.	55

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 01: Matriz de consistencia.	65
Anexo 02: Descarga de imágenes satelitales Landsat 8, del USGS	66
Anexo 03: Análisis de datos en R studios.	67
Anexo 04: Pruebas estadísticas de las variables en R.	68
Anexo 05: Análisis de datos en Qgis y R.	69
Anexo 06: Panel fotográfico.	70

RESUMEN

La pérdida de áreas verdes en la ciudad de Juliaca es uno de los signos del incremento de las islas de calor urbana. La presente investigación tuvo como objetivo analizar la tendencia de islas de calor urbano y su relación con el cambio del índice de vegetación de diferencia normalizada en la ciudad de Juliaca - Puno, periodo 2015 - 2023. se evaluaron mediante los softwares R-Studio (v4.3.3) y QGis (v3.34.4). Los materiales utilizados fueron las fotografías aéreas de Landsat 8 de colección 1, las fotografías fueron obtenidas del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Para calcular la cantidad de cubierta de vegetación se utilizó el índice diferencial normalizado de la cubierta vegetal (NDVI > 0,2), por otro lado para el cálculo de la temperatura superficial o isla de calor urbano se realizó mediante el método (Split-Window). Los resultados obtenidos indican que durante los 9 años de estudio las áreas verdes de la ciudad urbana de Juliaca tuvo una variación de -49.43 Ha, también tuvo una tasa de cambio de -50.04%, También Durante los 9 años de estudios las islas de calor urbana tuvo una variación de temperatura superficial máxima de +11.6 °C y las temperatura superficial mínima de +14.5 °C, el índice de vegetación de diferencia normalizada o áreas verdes con respecto a los años; indicando que de acuerdo a la prueba estadística se han obtenido un valor de significancia de *p-valor* <0.007, Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) o áreas verdes; indicando que de acuerdo a la prueba estadística se han obtenido un valor de significancia de *p-valor* <0.099, para las islas de calor urbano con respecto a las temperaturas superficiales, comparado con el valor alfa 0.05 es mayor. Se concluye que las islas de calor urbano durante los últimos 9 años, ha crecido estadísticamente significativamente, debido a la atenuación decreciente de las áreas verdes en la ciudad de Juliaca, por otro lado al aumento del crecimiento poblacional urbano.

Palabras clave: Calor, índice de vegetación, LandSat-8, Temperatura.

ABSTRACT

The loss of green areas in the city of Juliaca is one of the signs of the increase of urban heat islands. The present research aimed to analyze the trend of urban heat islands and its relationship with the change of the normalized difference vegetation index in the city of Juliaca - Puno, period 2015 - 2023. were evaluated using R-Studio (v4.3.3) and QGis (v3.34.4) software. The materials used were Landsat 8 aerial photographs of collection 1, the photographs were obtained from the United States Geological Survey (USGS). To calculate the amount of vegetation cover, the normalized difference vegetation cover index (NDVI > 0.2) was used; on the other hand, the calculation of surface temperature or urban heat island was performed using the Split-Window method. The results obtained indicate that during the 9 years of study the green areas of the urban city of Juliaca had a variation of -49.43 Ha, also had a rate of change of -50.04%, also during the 9 years of study the urban heat islands had a variation of maximum surface temperature of +11.6 °C and minimum surface temperature of +14.5 °C, the normalized difference vegetation index or green areas with respect to the years; indicating that according to the statistical test have obtained a significance value of p-value <0.007, Normalized difference vegetation index (NDVI) or green areas; indicating that according to the statistical test have obtained a significance value of p-value <0.099, for urban heat islands with respect to surface temperatures, compared to the alpha value 0.05 is higher. It is concluded that the urban heat islands during the last 9 years, has grown statistically significantly, due to the decreasing attenuation of green areas in the city of Juliaca, on the other hand to the increase of urban population growth.

Keywords: Heat, Vegetation index, LandSat-8, Temperature.

INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Juliaca, el incremento exponencial de la población, sin planeación urbana conlleva una serie de problemas; la ciudad de Juliaca se expande sin control, lo que da lugar a prácticas de uso de materiales de construcción deficientes, la eliminación del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) natural o la urbanización sin espacios verdes, numerosos estudios demuestran que los materiales de construcción de las áreas urbanísticas absorben y retienen más radiación solar que los materiales naturales, este fenómeno favorece el desarrollo e incremento de islas de calor urbana (ICU) en áreas densamente pobladas.

Se justifica, porque los avances tecnológicos en el campo de la teledetección con (lenguajes de programación y sistemas de información geográfica), permite la vigilancia de la superficie, elementos presentes, las variaciones del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) e incremento de islas de calor urbana (ICU) en la ciudad de Juliaca, gracias a la disponibilidad de los datos que están almacenados dentro de la plataforma geomática o geoportales, en ellas están presentes las imagen satelital con resoluciones espaciales, espectrales, radiométricas y temporales cada vez más con una alta resolución (Casadei et al., 2018).

En la ciudad de Calceta (Ecuador), con el objetivo de analizar el impacto de la vegetación urbana y las islas de calor urbana (ICU) de la ciudad de Calceta en los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2019, reportó: que en el año 2019 correspondió a un NDVI mínimo de -0,040, la región urbana central de la ciudad presentaba los valores más bajos de -0,040, según los cinco mapas, mientras que los límites de la zona rural tenían los valores más altos de NDVI 0,631. En 2014 se registraron las temperaturas más bajas de la superficie terrestre, 17 °C, y en 2016 las más altas, 32 °C (Vitery, 2022).

Las variables constan de dos tipos, la independiente y la dependiente. La independiente es la que causa y está determinada por el Índice de vegetación de diferencia normalizada

(NDVI), la dependiente es el efecto y está determinada por las Islas de calor urbano (ICU).

La investigación consta de cuatro capítulos:

En el Capítulo I, se aborda el planteamiento del problema de la investigación, los antecedentes que guardan relación con el tema de investigación y objetivos de la investigación.

En el Capítulo II, se muestra el marco teórico que sustenta la investigación donde se define los principales conceptos y se indica las hipótesis planteadas para ser probadas en el estudio.

En el Capítulo III, se llevó a cabo la parte metodológica, donde se aborda sobre el analizar la tendencia de islas de calor urbano y su relación con el cambio del índice de vegetación de diferencia normalizada en la ciudad de Juliaca - Puno, periodo 2015 - 2023, también está conformado el tamaño de la muestra y los métodos estadísticos.

En el Capítulo IV, se exponen los resultados del estudio con el análisis estadístico, persiguiendo los objetivos iniciales, donde se presentan tablas y figuras que muestran los valores estadísticos obtenidos para demostrar lo que se ha planteado y por último se incluye las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Especialmente en los países y en las regiones del mundo, a medida que aumenta la población de una región urbana, se atenúan los índices de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) naturales como ríos, bosques y árboles, y se impone la urbanización. Ésta se caracteriza por el desarrollo de diversos edificios construidos con materiales que absorben el calor durante el día, como el acero, el cemento, el asfalto, la arena y otros, aunque algunas investigaciones sugieren que las islas de calor urbana (ICU) pueden ser responsables de hasta el 30% del calentamiento global, otros estudios concluyen que su impacto es mucho menor (Villanueva et al., 2013).

En el Perú como en la mayoría de los países, el cambio del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) ha provocado el aumento exponencial de las islas de calor urbana (ICU) sobre todo en las grandes ciudades del Perú. El efecto albedo, o reflectividad de la radiación solar, se utiliza para identificar las islas de calor urbana (ICU). La nieve absorbe muy poco calor, ya que refleja entre el 80 y el 90% de esta energía, las carreteras reflejan hasta un 25% de la radiación porque están hechas de asfalto, pero el cemento refleja entre un 20 y un 30%, los materiales de construcción de las ciudades absorben más el calor, lo que provoca una disminución del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y aumento de las islas de calor urbana (ICU) superficiales

elevadas y a la vez perjudiciales para el bienestar de las personas (Sarricolea & Vide, 2014).

En la ciudad de Juliaca, el incremento exponencial de la población, sin planeación urbana conlleva una serie de problemas; la ciudad de Juliaca se expande sin control, lo que da lugar a prácticas de uso de materiales de construcción deficientes, la eliminación del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) natural o la urbanización sin espacios verdes, numerosos estudios demuestran que los materiales de construcción de las áreas urbanísticas absorben y retienen más radiación solar que los materiales naturales, este fenómeno favorece el desarrollo e incremento de islas de calor urbana (ICU) en áreas densamente pobladas.

1.1.1 Problema General

¿Cuál es la tendencia de islas de calor urbano y su relación con el cambio del índice de vegetación de diferencia normalizada en la ciudad de Juliaca - Puno, periodo 2015 - 2023?

1.1.2 Problemas específicos

- ¿Cómo será el cambio del índice de vegetación de diferencia normalizada durante el 2015 y 2023?
- ¿Cuál es la tendencia de islas de calor urbano en la ciudad de Juliaca - Puno, periodo 2015 - 2023?

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1. Antecedentes internacionales

- Núñez et al. (2017), en la ciudad de Madrid (España), tuvieron como objetivo evaluar la isla de calor urbana de Madrid en julio de 2016, reportaron: casi todas las noches se produjo un fenómeno de isla de calor atmosférico impresionantemente grande (entre 2 y 4 °C); por el contrario, durante el día se produjo una isla de frío comparativamente suave (menos de 1 °C). Se Concluye según las fotos tomadas por

satélite, el campo térmico de la superficie experimentó un ciclo diario fuertemente correlacionado con el uso del suelo. Este ciclo dio lugar a la creación de una isla fría diurna y una isla de calor nocturna, ambas del mismo tamaño que la atmosférica.

- Martínez (2021), en la ciudad de Zaragoza (España), tuvo como objetivo evaluar las variaciones estacionales y la gravedad de la isla de calor urbana (ICU) de Zaragoza, durante los periodos 2015-2020, reportaron: los datos muestran que la temperatura del centro de la ciudad es con frecuencia 1 o 2 °C más alta que la de los alrededores, y en ocasiones es incluso superior en más de 8 °C. La isla de calor urbana (ICU) es más grave de noche que de día y tiene una intensidad media de 2,5 °C por hora en verano, frente a 2,2 °C por hora en invierno.
- Casadei et al. (2021), en la ciudad de Buenos Aires (Argentina), con el objetivo de análisis regional de las islas de calor urbanas de Argentina, reportaron: mediante los factores climáticos, temperatura de la superficie terrestre, albedo e índices de vegetación (NDVI) a partir de datos satelitales (MODIS). Entre 2011 y 2015, la temperatura media anual de las ciudades argentinas fue de $0,36 \pm 1,99$ °C durante el día y de $1,68 \pm 0,61$ °C durante la noche, en conclusiones del trabajo arrojan nueva luz sobre las restricciones de las isla de calor urbana (ICU) y permitirán crear planes de desarrollo urbano que atenúen las consecuencias negativas de la urbanización y eleven el nivel de vida de quienes viven en las ciudades.
- Aguilar (2021), en la ciudad de Palma Mallorca (España), con el objetivo de analizar el avance en el estudio del clima urbano en una ciudad costera mediterránea mediante las islas de calor urbana de Palma, Mallorca, reportaron: mediante mediciones que permitieron llegar a la conclusión de identificar una isla de calor típica, cuya intensidad fluctúa entre 1,4° y 5,8° C y parece ser más fuerte en circunstancias climáticas frías.

- Vitery (2022), en la ciudad de Calceta (Ecuador), con el objetivo de analizar el impacto de la vegetación urbana y las islas de calor urbana (ICU) de la ciudad de Calceta en los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2019, reportó: que en el año 2019 correspondió a un NDVI mínimo de -0,040, la región urbana central de la ciudad presentaba los valores más bajos de -0,040, según los cinco mapas, mientras que los límites de la zona rural tenían los valores más altos de NDVI 0,631. En 2014 se registraron las temperaturas más bajas de la superficie terrestre, 17 °C, y en 2016 las más altas, 32 °C.

1.2.2. Antecedentes nacionales

- Renteria (2023), en la ciudad de Jaén (Cajamarca), tuvo como objetivo calcular la isla de calor urbana y el impacto del aumento incontrolado de la superficie urbana de la ciudad de Jaén entre 1995 y 2015, reportaron: de acuerdo a los índice de diferencia normalizada edificada (NDBI) y del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI). Se asociaron el NDVI, el NDBI y la TST, la diferencia media de temperatura (TST) entre zonas urbanas y no urbanizadas con vegetación se situó entre 3 y 6 °C. Hay menos espacios verdes, según el índice de evaluación ecológica. La TST y el NDVI mostraron una conexión negativa, lo que sugiere que la vegetación o los espacios verdes pueden mitigar el impacto de la isla de calor urbana (ICU). La relación entre TST y NDBI fue buena, concluyendo que el estudio demuestra que las zonas urbanas tienen un impacto significativo en la incidencia de isla de calor urbana (ICU).
- Arana (2018), en las ciudades de Huancayo y Arequipa (Perú), tuvo como objetivo de estimar utilizando el sensor MODIS de los satélites AQUA y TERRA y calcular la isla de calor de la superficie urbana de 2001 a 2016, reportaron: En el Área Metropolitana de Huancayo, la intensidad de isla de calor urbano superficial diurno obtenido mediante el método de los cuantiles revela valores máximos en marzo (6,94 °C) y

mínimos en agosto (2,79 °C). La intensidad de isla de calor urbano superficial nocturno obtenido con el método de Streutker presenta valores máximos en agosto (6,06 °C) y mínimos en marzo (3,76 °C). Según el análisis, la intensidad de isla de calor urbano superficial diurno del Área Metropolitana de Arequipa alcanza su máximo en febrero (5,54 °C) y su mínimo en agosto (2,14 °C), mientras que la intensidad de isla de calor urbano superficial (SUHI) nocturno alcanza su máximo en febrero (6,38 °C) y su mínimo en junio (4,62 °C).

- Lima (2022), en la ciudad de Cusco (Perú), con el objetivo de calcular la temperatura superficial del área urbana de Cusco en los años 2019, 2020 y 2021, reportaron: La ciudad de Cusco presenta temperaturas superficiales entre 0° y 39 °C, y su NDVI oscila entre -0,04 y 0,8. El NDVI y la temperatura superficial muestran una relación inversa, lo que significa que cuando desaparecen las zonas cubiertas de vegetación se produce el fenómeno conocido como isla de calor superficial. Del mismo modo, aumentar la superficie dedicada a la vegetación puede ayudar a evitar la formación de islas de calor.

1.2.3. Antecedentes locales

- Aguilar (2021), En la ciudad de Juliaca, ubicada en Puno, se realizó un análisis de los mapas de temperatura de superficie obtenidos a partir de imágenes satelitales del sensor térmico TIRS. El estudio tenía como objetivo evaluar las islas de calor urbano en la zona. Se identificaron ocho islas de calor urbanas en los siguientes lugares: Cuartel Francisco Bolognesi con 26 °C, Cerro Huayna Roque con 28,3 °C, Centro Comercial Plaza Vea con 25,6 °C, Estadio San Isidro con 25,3 °C, Parque Cholo con 24,4 °C, Estadio Politécnico de los Andes con 26,1 °C, y el estadio Manuel A. Odría con 25,9 °C. El estudio concluyó que las islas de calor urbanas se forman principalmente en zonas con suelos desnudos y en el centro de la ciudad.

- Benavente (2023), en la ciudad de Cabanillas (Puno), tuvo como objetivo analizar mediante los SIG los índices de cobertura vegetal de Cabanillas, reportó: que la cubierta vegetal de Cabanillas es de 8,87 hectáreas, es decir, 17,12 m²/habitante, inferior a los 395,31 m²/habitante que se sugieren para una metrópoli típica de tierras altas, se establece que, en comparación con su tamaño y densidad de población, Cabanillas tiene una superficie considerable cubierta de vegetación.

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo general

Analizar la tendencia de islas de calor urbano y su relación con el cambio del índice de vegetación de diferencia normalizada en la ciudad de Juliaca - Puno, periodo 2015 - 2023.

1.3.2. Objetivos específicos

- Evaluar el cambio del índice de vegetación de diferencia normalizada en la ciudad de Juliaca durante el 2015 y 2023.
- Evaluar la tendencia de islas de calor urbano en la ciudad de Juliaca, periodo 2015 - 2023.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. Índice de vegetación

Se trata de fórmulas algebraicas que permiten identificar un elemento distintivo dentro de una zona. Los niveles de reflectancia a distintas longitudes de onda son los que confieren a una región su elemento distintivo, valores de reflectancia a distintas longitudes de onda (Villanueva, 2022).

La reflectancia del terreno permite estimar la extensión o el estado de la cubierta vegetal, aunque la productividad o disponibilidad vegetativa del terreno no se mide directamente con estos índices. Una característica esencial de estos índices vegetativos es la exclusión de factores físicos externos como la óptica del suelo y la irradiancia solar (Camas et al., 2022).

2.1.2. Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

Este índice cuantitativo puede utilizarse para cuantificar las distintas unidades de vegetación de un territorio y evaluar el nivel global de vigor de la cubierta vegetal de esa región (Piscoya, 2019).

El NDVI es útil para identificar la salud general de la vegetación y distinguirla de otros tipos de cobertura del suelo (artificial). Además, permite identificar y visualizar regiones con vegetación en mapas y detectar variaciones inusuales en el proceso de crecimiento (Rasilla et al., 2016).

El más popular y ampliamente utilizado de todos los índices espectrales entre ellos en una gran variedad de aplicaciones, es el Índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI). Las causas principales son la variación de rango fijo (entre -1 y +1), que permite establecer umbrales y comparar el estado de las cubiertas vegetales, el NDVI se utiliza para medir el verdor de la vegetación, evaluar los cambios en la salud de las plantas y comprender la densidad de la vegetación (Aldás, 2019).

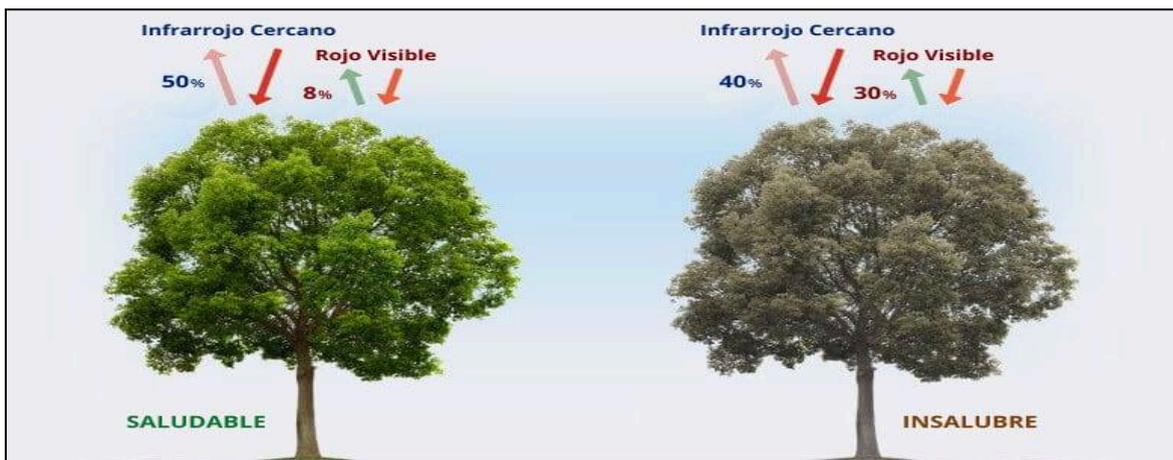


Figura 01: Fórmula y uso del índice de vegetación NDVI (Aldás Andrade, 2019).

2.1.3. Islas de calor urbano (ICU)

En consecuencia, las islas de calor urbanas (ICU) son las modificaciones climáticas más investigadas. Luke Howard fue el primero en identificar la existencia de este fenómeno en 1817, cuando informó de que las altas temperaturas se percibían en la región central de Londres en contraposición a sus zonas rurales (Flores et al., 2018).

El gradiente térmico que se produce en medio de zonas densamente pobladas y edificadas se denomina "isla de calor urbana (ICU)" (Palacios, 2018).

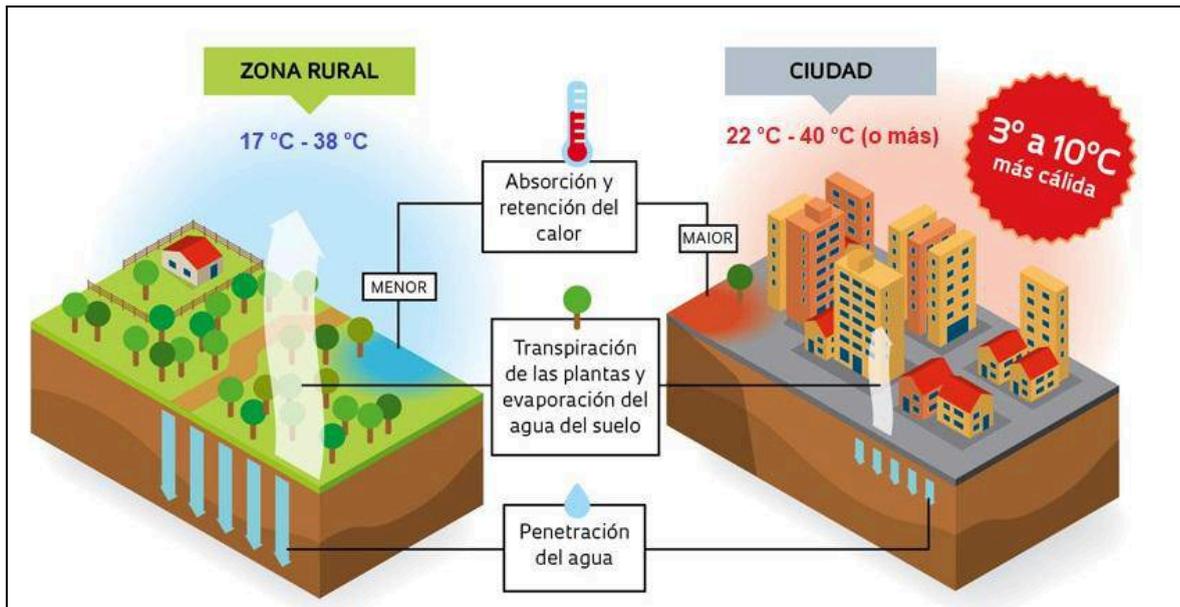


Figura 02: Comparaciones de islas de calor urbana (ICU) en zonas rurales y ciudades (Palacios, 2018).

Sin embargo, según Gartland (2018), las islas de calor se crean en las zonas urbanas y suburbanas porque los materiales utilizados para construir estas zonas suelen tener temperaturas más altas que los utilizados en las zonas rurales, tienden a atraer y retener más calor solar y no permiten el desarrollo de la irradiación.

Tabla 01: Causas de la isla de calor urbana (ICU).

Causas de la isla de calor urbana (ICU).

- a.- Baja evapotranspiración debido a la eliminación de la vegetación.
 - b.- La reducción del albedo provoca una mayor absorción de la radiación solar.
 - c.- Obstrucción del flujo de aire provocada por el aumento de la rugosidad.
 - d.- Elevada producción de calor provocada por los seres humanos.
-

Fuente: (Asar et al., 2021).

a) Factores que impulsan exponencialmente las islas de calor urbano (ICU).

Hay dos categorías de variables que contribuyen al efecto de isla de calor urbana (UCI): las controladas y las incontrolables. Las primeras son las que tienen que ver con la planificación y el desarrollo urbano, que están sujetas al cambio humano. La segunda categoría de componentes está formada por los que escapan al control humano, por las condiciones meteorológicas como el viento y la nubosidad (Porras et al., 2022).

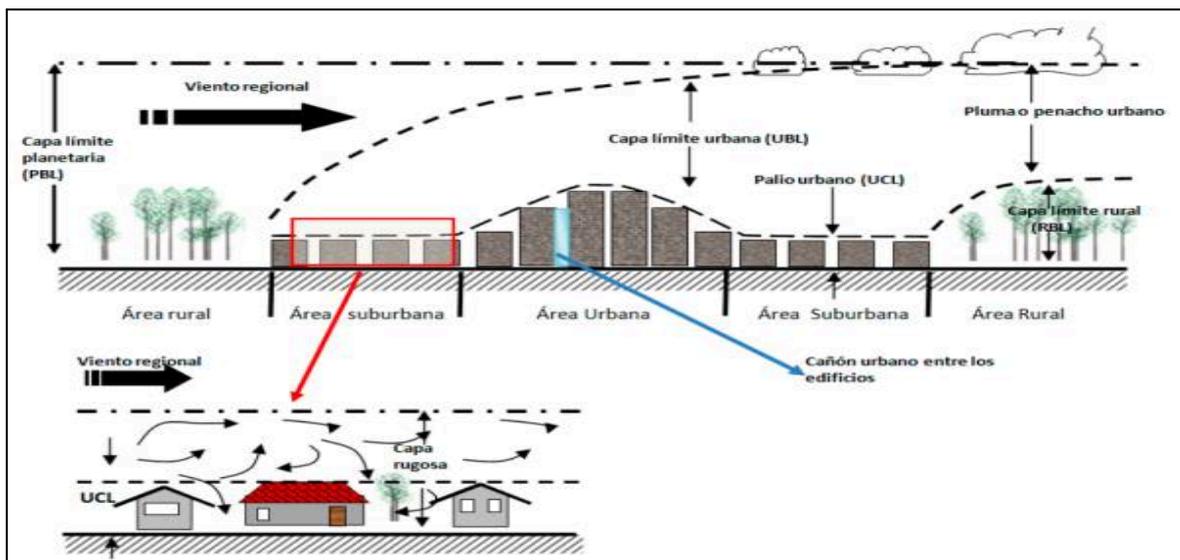


Figura 03: Diagrama que muestra las capas aerológicas verticales y las escalas climáticas en las que están presentes los efectos del cambio del área urbana (Porras et al., 2022).

b) Elementos de las islas de calor urbana (ICU).

Según Soto (2019), en la figura 4 se aprecia la representación gráfica de los elementos esenciales del entorno urbano, representados por los siguientes símbolos:

- **La capa de dosel (CDU):** hablamos de la capa de aire de altura media que cubre las estructuras de las ciudades y está más cerca del suelo.
- **La capa perimetral (ICCP):** Es esa capa de día, puede llegar a tener un kilómetro (km) de espesor o más, pero que de noche se reduce a unos pocos metros.
- **La capa superficial (ICS):** En esta capa se forma una cúpula de aire caliente que se desplaza a sotavento de la ciudad.

c) Contenido las islas de calor urbana (ICU).

Todas las ciudades donde se encuentran islas de calor tienden a repetir un determinado conjunto de patrones (Zavaleta et al., 2020).

Las islas de calor urbana (ICU) son regiones que experimentan temperaturas más altas que las zonas de alrededor (donde hay menos concentraciones); sin embargo, su comportamiento varía según la hora del día. Las mayores variaciones de temperatura suelen observarse al anochecer (Cuadrat et al., 2022).

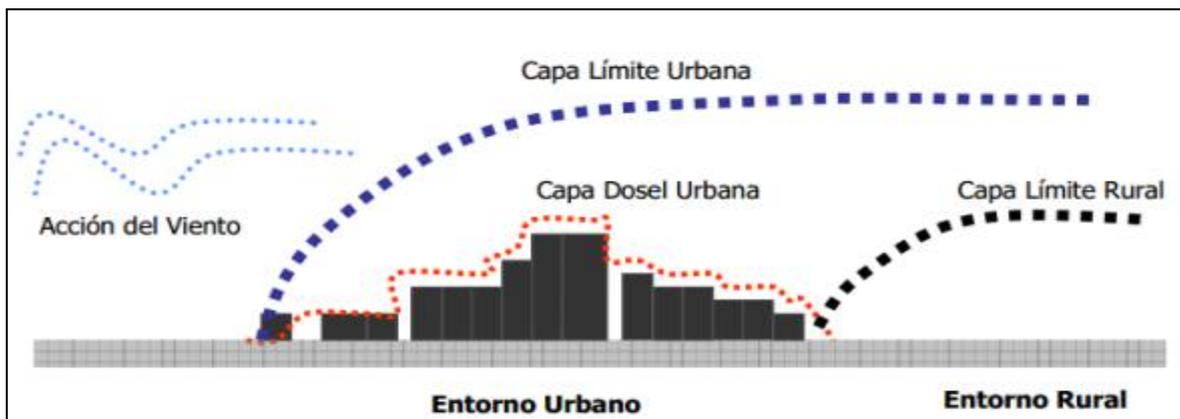


Figura 04: Contenido las islas de calor urbana "ICU" (Cuadrat et al., 2022).

El calor de las superficies urbanas, o de las partes de la ciudad donde los materiales utilizados tienen valores de albedo inferiores a los elementos (alrededor del 37%), suele condicionar la temperatura del aire (García & Díaz, 2022).

Hay una variedad de temperaturas que se presentan cuando el cielo está despejado y no hay viento.

El tamaño y la gravedad de la isla de calor urbana (ICU) aumentan con el nivel de desarrollo urbano y la ausencia de vegetación (García & Díaz, 2022).

La isla de calor urbana (ICU) suele provocar perturbaciones térmicas que surgen sobre las ciudades a unos 2 km de altura, lo que concentra los contaminantes e impide su dispersión (Hidalgo & Arco, 2022).

2.1.4. Teledetección

Es la ciencia que permite identificar o analizar sin contacto las propiedades de los objetos de interés (Nuñez et al., 2023).

La teledetección es una técnica que permite obtener datos de objetos lejanos sin necesidad de tocarlos físicamente. La presencia o creación de campos de fuerza entre el dispositivo sensor y el objeto identificado lo hace posible (Sierra, 2023).

2.1.5. El espectro electromagnético

Varios sensores a bordo de satélites de teledetección pueden detectar la luz visible, como la que captan las fotos de las cámaras, pero también pueden captar radiaciones invisibles para el ojo humano, como la luz infrarroja y las ondas de radar (Luque, 2016).

La medición de la radiación electromagnética o energía emitida por un objeto o material sirve de base para todas las imágenes a distancia (Meza, 2018).

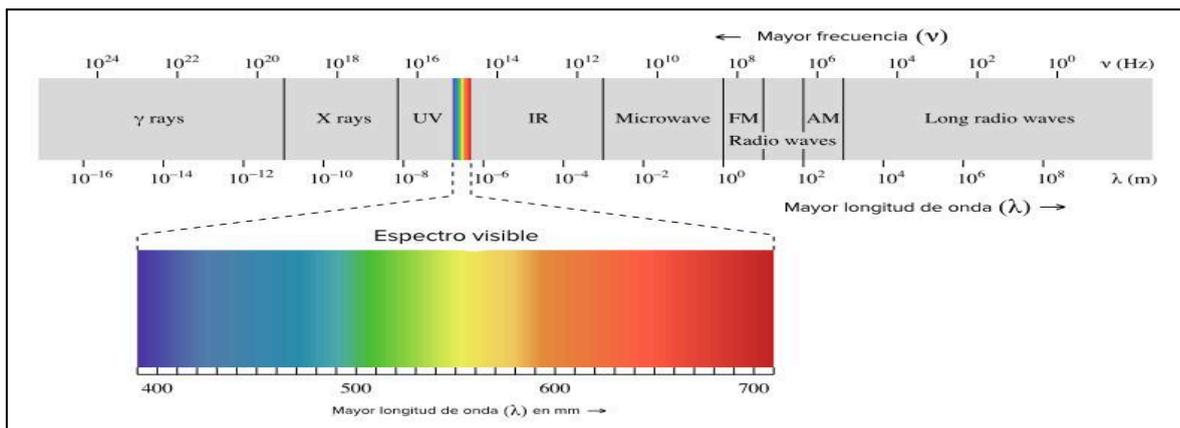


Figura 05: Espectro de radiofrecuencias (Herrera et al., 2018).

2.1.6. Imágenes satelitales Landsat 8

Las imágenes Landsat proporcionan datos que responden a los amplios y numerosos deseos de las empresas, la tecnología, la enseñanza, el gobierno y la protección nacional. El reto del Programa Landsat es ofrecer la adquisición repetible de estadísticas multiespectrales de mediana resolución del suelo terrestre a escala internacional (Orbegoso & Blas, 2023).

Las imágenes satelitales incluyen nueve bandas espectrales, con una resolución espacial de 30 metros para las bandas que van de la 1 a la 7 y de la 8 a la 11. La banda azul ultra 1 es beneficiosa para la investigación científicas costeras y de aerosoles. La banda 9 es beneficiosa para la determinación de cirros, La banda 8 (pancromática) tiene una resolución espacial de 15 metros. Las bandas térmicas 10 y 11 son útiles para presentar temperaturas de suelo más correctas y adquirir hasta cien metros “m” (Rodríguez, 2023).

Tabla 02: Resolución Espectral Landsat-L8.

Banda	Nombre	Longitud de Onda (µm)	Resolución
1	Aerosol Costa	0.43 - 0.45	30
2	Azul	0.45 - 0.51	30
3	Verde	0.53 – 0.59	30
4	Rojo	0.64 – 0.67	30
5	NIR	0.85 – 0.88	30
6	SWIR 1	1.57 – 1.65	30
7	SWIR 2	2.11 – 2.29	30
8	Pancromática	0.50 – 0.68	15
9	Cirrus	1.36 – 1.38	30
10	TIRS 1(infrarrojo térmico de onda larga)	10.60 – 11.19	100
11	TIRS 2 (infrarrojo térmico de onda larga)	11.50 – 12.21	100

Fuente: (USGS, 2017).

2.1.7. Sistemas de información Geográfica

La expresión "SIG" o "Sistema de Información Geográfica" se utiliza para referirse a una serie de ideas relacionadas al manejo de información geográfica incluyendo la

cartografía. Uno de los usos, que se utilizará a lo largo de estas notas, es para referirse al programa informático o aplicación utilizada para manejar mapas (Perez et al., 2019).

SIG son las siglas de Sistema de Información Geográfica, un marco para la recopilación, gestión y análisis de datos. El SIG, que hunde sus raíces en la tecnología espacial, incorpora numerosos tipos de estadísticas. Organiza capas de datos para su visualización mediante mapas y escenarios tridimensionales y analiza el espacio (Radicelli et al., 2019).

2.2. MARCO CONCEPTUAL

Algoritmo Split Window: Algoritmo que permite determinar la temperatura de la superficies de la tierra utilizando las bandas térmicas 10 de Landsat-L8. La idea que subyace a la técnica Split-Window es la absorción diferencial, según la diferencia de temperaturas o radiancias observadas en dos bandas espectrales distintas puede utilizarse para cuantificar la influencia atmosférica (Lima, 2022).

Cobertura: Todo lo que puede verse en la superficie y debajo de la tierra, como los seres vivos (biota), las masas de agua superficiales y subterráneas y los edificios construidos por el hombre. actividades humanas, etc. (Mattey et al., 2017).

Cobertura vegetal: Se denomina vegetación a la cubierta creada por plantas silvestres o domesticadas de origen natural que se extienden por una superficie terrestre o sumergida en el agua en una zona geográfica. También se habla de cubierta vegetal. Su distribución en la Tierra está influida por variables edafológicas y climáticas (Achicanoy et al., 2018).

QGIS: Es un programa de software de suministro abierto para sistemas GNU/Linux, Unix, Mac OS y Microsoft Windows. Permite manejar formatos ráster y vectoriales como shp, además de bases de datos especiales (Liashenko et al., 2020).

Radiación solar: Debido a la emisión de energía solar en forma de radiación electromagnética, se trata de un fenómeno físico (Marrero, 2018).

R-Studio: Este entorno de desarrollo integrado en el lenguaje de programación R se centra en el análisis estadístico y las instantáneas. Proporciona herramientas para gestionar espacios de trabajo, una consola, visuales y un editor de sintaxis para la ejecución amigable o sencilla de lenguajes de códigos (Santos et al., 2022).

Temperatura de Brillo: No tiene nada que ver con la temperatura de la superficie terrestre, temperatura de brillo, según Sarría (2018), es la temperatura que existe en la superficie de la atmósfera “o en el suelo sin atmósfera y sin impacto de las propiedades emisivas de las superficies”.

Temperatura superficial: Es un parámetro que incluye mediciones de temperatura basadas en causas tanto naturales como artificiales, en las que se absorbe y reemite la radiación solar (Huerta et al., 2018).

Tendencia: es una sucesión creciente de máximos y mínimos en una trayectoria determinada para un marco temporal determinado (Pando, 2018).

2.3. MARCO TEÓRICO NORMATIVO

Los recursos naturales y otros componentes ambientales cumplen funciones que permiten preservar las condiciones de los ecosistemas y el medio ambiente, de acuerdo a la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, produciendo beneficios que son aprovechados sin retribución ni compensación. En consecuencia, a fin de asegurar la conservación de los ecosistemas, la diversidad biológica y el medio ambiente, el Estado establece mecanismos para evaluar, compensar y mantener la prestación de dichos servicios ambientales.

La Ley de Conservación y Uso Sostenible de la Diversidad Biológica (Ley N° 26839). De conformidad con los artículos 66 y 68 de la Constitución Política del Perú, esta ley regula la conservación de la variedad biológica y el uso sostenible de las partes que la componen.

La conservación y el uso racional de la diversidad biológica se enmarcan en el desarrollo sostenible e implican:

- a) Para sostener los procesos ecológicos cruciales que son necesarios para la supervivencia de las especies, así como para proteger la diversidad de ecosistemas, especies y genes.
- b) Fomentar la distribución justa y equitativa de las ventajas derivadas de la utilización de la variedad biológica.
- c) Los MRSE son acuerdos voluntarios que establecen reglas para la protección, restauración y uso sostenible de los ecosistemas. La Ley N° 30215, Ley de Mecanismos de Remuneración de los Servicios Ecosistémicos, tiene como objetivo fomentar, regular y supervisar el desarrollo e implementación de los MRSE.

2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.4.1. Hipótesis general

La tendencia de islas de calor urbano es alta y está relacionada con el cambio del índice de vegetación de diferencia normalizada en la ciudad de Juliaca - Puno, periodo 2015 - 2023.

2.4.2. Hipótesis específicas

- El cambio del índice de vegetación de diferencia normalizada durante el 2015 y 2023, es estadísticamente significativo y alta.
- La tendencia de islas de calor urbano en la ciudad de Juliaca - Puno, periodo 2015 - 2023, es estadísticamente significativa.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO

La investigación se llevó a cabo en la ciudad de Juliaca, provincia de San Román, región de Puno, también se le conoce como la ciudad de los vientos. La ciudad de Juliaca cuenta con una superficie territorial de 54.44 km² y a una elevación de 3824 m.s.n.m, con una temperatura máxima de 18 °C y una mínima de - 6 °C (SENAMHI, 2023), la ciudad de Juliaca cuenta con una población de 276.110 de habitantes, según el último censo peruano (INEI, 2017).

Tabla 03: Límite geopolítico del área de investigación

Departamento	Provincia	Distritos
		San Miguel
Puno	San Roman	Juliaca
		Caracoto

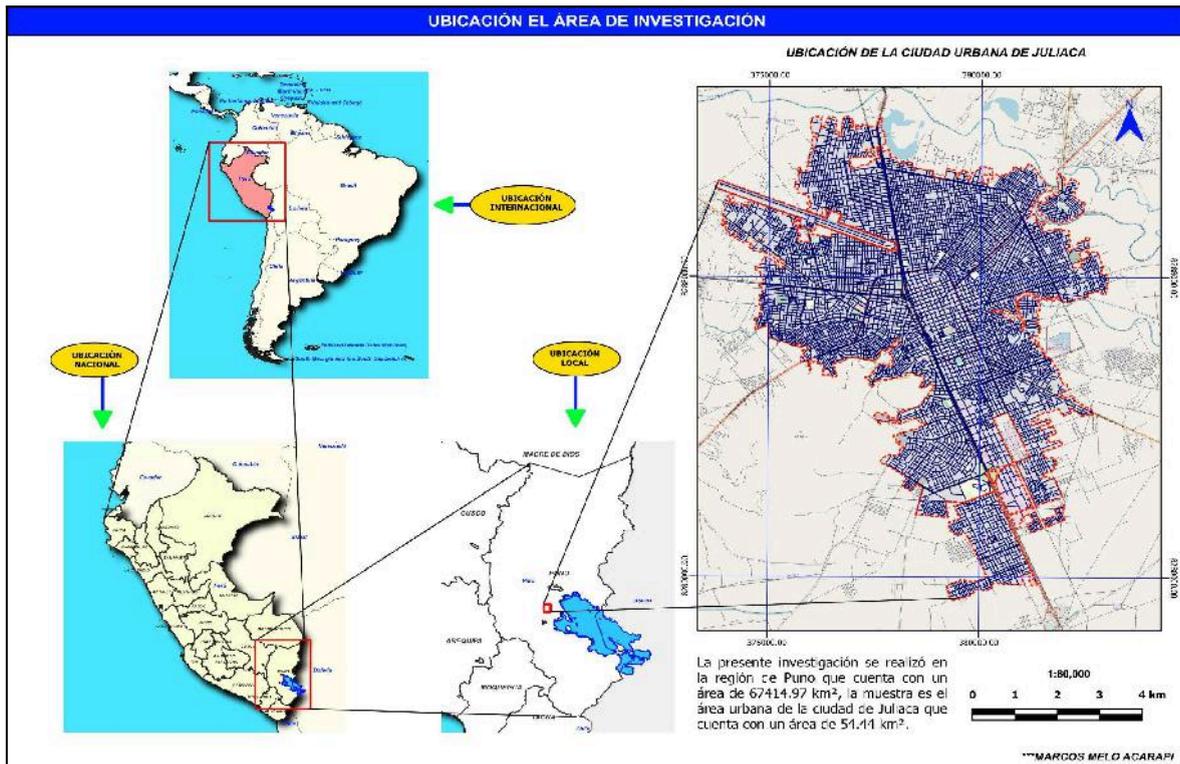


Figura 06: Mapa de localización del área de estudio, ciudad de Juliaca.

3.2. TAMAÑO DE MUESTRA

3.2.1 Población

La población de la presente investigación corresponde al área superficial o territorial del departamento de Puno que cuenta con un área de 67414.97 km².

3.2.2 Muestra

La muestra corresponde al área urbana y rural de la ciudad de Juliaca que tiene un área de 54.44 km².

Muestreo

La presente investigación se realizó mediante el muestreo intencional, que tiene la característica de elegir elementos a propósito, es un tipo de muestreo no probabilístico.

Para la presente investigación se realizó en base al muestreo no probabilístico de tipo intencional, se seleccionaron de forma directa las imágenes más nítidas registradas anualmente de la ciudad de Juliaca - Puno, para el periodo 2015 a 2023.

3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS

3.3.1 Métodos

Tipo de investigación

La investigación es de tipo descriptiva correlacional, ya que se trata de ver la cuantificación de tendencias de isla de calor urbana (ICU) en la ciudad de Juliaca causado por el cambio del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), así como la correlación entre isla de calor urbana (ICU) y el cambio del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI). El enfoque es cuantitativo, porque se obtendrán datos numéricos y estadísticos (Masco, 2019).

Diseño de Investigación.

Cuando el investigador no manipula las variables, el diseño es no experimental, lo que se hizo es observar las unidades empíricas o variables tal y como se dan en su contexto natural para después analizarlos, el diseño de investigación por su alcance temporal será seccional o transversal, toda vez que se recolectarán los datos en un solo momento, en un tiempo único, su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelacionar en un momento determinado (Fernandes, 2016).

3.3.2 Materiales

Equipos

- Navegador GPS
- Cámara fotográfica
- Computadora portátil, impresora, scanner.

Programas

- QGis (v3.26.17).
- R-Studio (v4.3.1).

3.4. METODOLOGÍA POR OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Método inductivo: Se refiere a la capacidad de razonamiento inductivo, que parte de indicios concretos y conduce a inferencias específicas. El enfoque deductivo se describe de dos maneras: primero, como un razonamiento que va de lo general a lo específico; y segundo, como la aplicación diligente de una regla para obtener un resultado (Espesura, 2022).

Método deductivo: Se trata de un proceso mental en el que la información pasa de lo general a lo específico. Comienza con una o varias premisas y extrae una conclusión a partir de ellas. Tanto en la vida cotidiana como en el estudio académico, se emplea con frecuencia (Espesura, 2022).

Técnica de observación: Es el proceso de examinar atentamente una cosa para asimilar plenamente la naturaleza del todo, incluido su conjunto de datos, hechos y fenómenos. Como se visualiza en el anexo 2, la técnica de Split-Window propuesta por: García (2015), se desarrollará mediante la teledetección con los softwares Qgis y R, empleando los instrumentos como imágenes satelitales Landsat-8, con las mismas se evaluará el cambio del índice de vegetación de diferencia normalizada en la ciudad de Juliaca durante el 2015 - 2023 y la tendencia de islas de calor urbano en la ciudad de Juliaca para los años ya mencionados.

Metodología para el objetivo específico O1: Evaluar el cambio del índice de vegetación de diferencia normalizada en la ciudad de Juliaca durante el 2015 y 2023.

Para el objetivo específico O1: se utilizaron las imágenes de la misión Landsat-L8, de los sensores OLI Y TIR, el sensor OLI ofrece imágenes aéreas con una resolución de 30, 15 metros por píxel, luego el sensor TIR ofrece imágenes aéreas con una resolución de 100 metros por píxel. Estas imágenes aéreas se descargaron del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), que dispone de una amplia colección de imágenes de satélite de las distintas misiones desde épocas anteriores hasta la actualidad.

Tabla 04: Requerimiento para las fotografías aéreas de Landsat-L8.

Escena	PATH	ROW	Cobertura de nube
01	002	071	10%

Fuente: (USS, 2014).

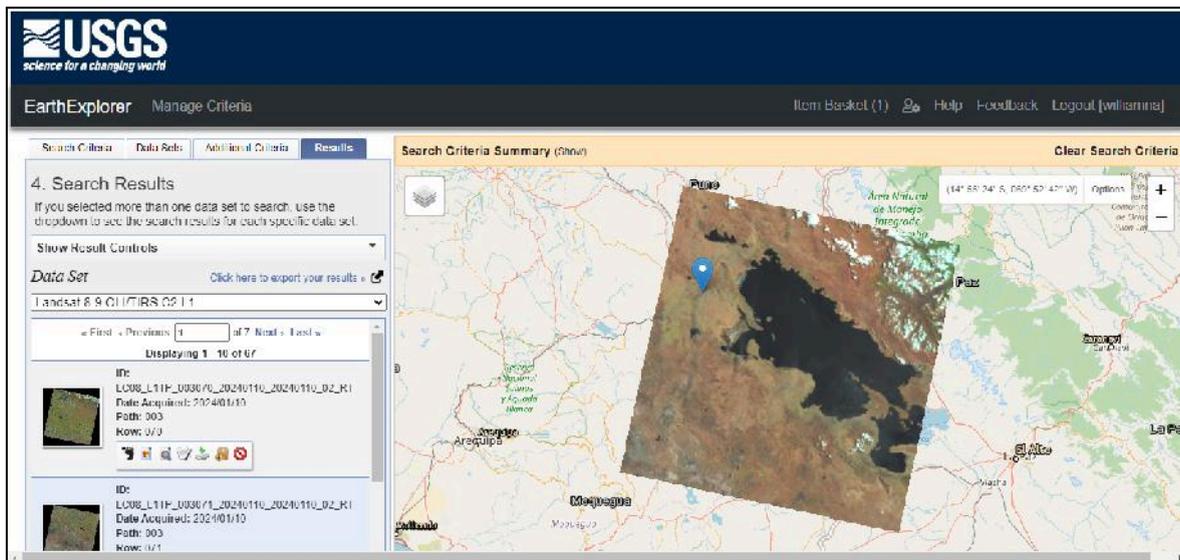


Figura 07: Obtención de las fotografías aéreas de Landsat-L8 del USGS.

Luego en el software R-Studio se realizó, primero la corrección geométrica o radiométrica (TOA), posterior la corrección topográfica debido a que el área de estudio presenta pendientes muy pronunciadas, estas correcciones es necesaria de las fotografías aéreas, antes de utilizar las misión Landsat-L8, para el análisis multitemporal del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI).

La evaluación del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), se desarrolló en el software R-Studio, a través de lenguajes o códigos de programación, con las mismas creando funciones algebraicas para el cálculo del NDVI.

- Índice normalizado de diferencia de vegetación (NDVI)

Según el USGS (2019), el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), es una medición digital de la cubierta vegetal que se calcula mediante las bandas del

espectro rojo e infrarrojo próximo. El NDVI y el contenido de vegetación están estrechamente relacionados.

$$NDVI = \frac{(NIR(B5) - Red(B4))}{(NIR(B5) + Red(B4))}$$

$$NDVI (Landsat 8) = (B5 - B4) / (B5 + B4)$$

Método de clasificación no supervisada del NDVI

Con este método, el nivel digital del NDVI (-1 a 1) se clasifica en rangos más sintéticos. Basándose en esta clasificación, donde los valores de -1 son áreas sin vegetación, mientras tanto los valores de 1 son áreas con cobertura vegetal, sugieren la clasificación posterior.

Tabla 05: Clases de los valores del NDVI.

Descripción	Clasificación
Cubierta mixta	0,2 > NDVI < 0,0

Fuente: (Sobrino et al., 2015).

Tasa de variación del NDVI en porcentajes del 2015 al 2023.

$$Td = \left[\left(\frac{S_2}{S_1} \right)^{1/n} - 1 \right] * 100$$

Donde:

Td = Tasa de variación del NDVI en porcentajes

S_2 = Área de NDVI en el año final

S_1 = Área de NDVI en el año inicial.

n = Número de años del periodo de análisis.

Metodología para el objetivo específico O2: Evaluar la tendencia de islas de calor urbano en la ciudad de Juliaca, periodo 2015 - 2023.

Para el objetivo específico O2: se continuó realizando con los datos del objetivo específico O1, tomando las mismas fotografías aéreas Landsat-L8, para la evaluación de la tendencia de islas de calor urbano (ICU) en la ciudad de Juliaca, durante los años 2015 y 2023 se realizó con los softwares R-Studio y Qgis, en ellas aplicando el método Split-Window.

Según Martínez (2018), la técnica Split-Window permitió la inserción de una incógnita asociada a la interferencia del aire mediante la utilización de dos bandas infrarrojas térmicas para producir dos estimaciones distintas de la temperatura de la superficie, donde:

a) Primero se calculó TOA (Top of Atmospheric) radiación espectral (con la Banda "10").

$$TOA (L?) = ML * Qcal + AL$$

Donde:

ML = Línea $RADIANCE_MULT_BAND_x$, donde x es el número de banda.

$Qcal$ = Corresponde a la B10.

AL = Línea $RADIANCE_ADD_BAND_x$, donde x es el número de banda.

$$TOA = 0.0003342 * "Band 10" + 0.1$$

b) Segundo se realizó la conversión de TOA a (Temperatura de brillo).

Se generó la conversión del cero absoluto (o aproximadamente $-273,15$ °C) donde se sumaron a la temperatura radiante para obtener los resultados en grados celsius (°C).

$$BT = (K2 / (\ln(K1 / L?) + 1)) - 273.15$$

Dónde:

$K2$ y $K1$ = Constantes de conversión térmica de las bandas a partir de los datos MTL.

$L? = TOA.$

$$BT = (1321.0789 / \ln((774.8853 / "TOA") + 1)) - 273.15$$

c) Se realizó el cálculo del NDVI

$$NDVI = \frac{(NIR(B5) - Red(B4))}{(NIR(B5) + Red(B4))}$$

$$NDVI (Landsat 8) = (B5 - B4) / (B5 + B4)$$

La emisividad (ϵ), que está relacionada con el Pv, y el índice de vegetación (Pv), que está muy relacionado con el NDVI, se determinó después de calcular el NDVI, lo que lo hace significativo.

d) Cuarto se calculó la proporción de vegetación (Pv)

$$Pv = \text{Square}((NDVI - NDVI_{\text{mín}}) / (NDVI_{\text{máx}} - NDVI_{\text{mín}}))$$

En la mayoría de los casos, los valores mínimos y máximos de la imagen NDVI pueden verse allí mismo en la imagen (ya sea en QGIS o R); si no, esos valores deben obtenerse abriendo los atributos de ráster.

$$Pv = \text{Square}((\langle NDVI \rangle - 0.216901) / (0.632267 - 0.216901))$$

e) Quinto se calculó la Emisividad (ϵ)

$$\epsilon = 0.004 * Pv + 0.986$$

Basta con utilizar las funciones en R para aplicar el cálculo; el valor de 0,986 es el valor de corrección de la ecuación.

f) Sexto se calculó la temperatura superficial de la tierra

Por último, para obtener las islas de calor urbanas (ICU), se aplicó la ecuación LST.

$$LST = (BT / (1 + (0.00115 * BT / 1.4388) * \ln(\epsilon)))$$

3.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Causa o variable independiente (VI): Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

Efecto o variable dependiente (VD): Islas de calor urbano (ICU).

Tabla 06: Operacionalidad de Variables.

Variables	Indicadores	Escala de Medición	Tipos de variables
(VI)			
Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)	- Cobertura vegetal o áreas verdes	Ha %	Independiente
(VD)			
Islas de calor urbano (ICU).	- Temperatura de brillo - Temperatura superficial terrestre.	°C °C	Dependiente

3.6. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO

Tratamiento de pruebas estadísticas

Una de las fases más importantes en la investigación cuantitativa, consiste en el procesamiento, análisis e interpretación de los datos recolectados mediante las fotografías aéreas, para lo cual en este trabajo de investigación se aplicó la estadística inferencial, aquella que ayuda al investigador a encontrar significatividad a sus resultado

Pruebas de normalidad “Shapiro - Wilks”

Comprender la distribución estadística de los datos de una variable es el primer paso de

este proceso. Sólo se aplicó en los casos en que el volumen de datos es de 50 unidades o menos. La siguiente prueba es aplicable a este método:

- ❖ Ha: La distribución de datos es normal.
- ❖ H0: La distribución de datos no es normal

Decisión:

Sig(p valor) > alfa: Acepto Ha (distribución de datos cumple con el supuesto de normalidad).

Sig(p valor) < alfa: Aceptar H0 (distribución de datos no cumple con el supuesto de normalidad).

Así, con un nivel de confianza del 95%, alfa representa la significación del 5% (0,05). Las estadísticas y las estimaciones pueden ser informativas y fiables cuando siguen una distribución normal.

Coefficiente de correlación (r)

Según Santabarbara (2019), se refiere a la fuerza de la asociación lineal que establece la fuerza de la relación entre dos variables. Cuando se realizaron las pruebas paramétricas, para el coeficiente de correlación, se calcula mediante el método de Pearson según (Artusi et al., 2002).

Para calcular el coeficiente de correlación se empleó la siguiente ecuación:

$$r = \frac{\Sigma(x - m_x)(y - m_y)}{\sqrt{\Sigma(x - m_x)^2 \Sigma(y - m_y)^2}}$$

Para interpretar la fuerza de la relación, los rangos del coeficiente de correlación se fijan entre -1 y +1, se utiliza la tabla 07.

Tabla 07: Grado de correlación.

r	Interpretación
0.90 - 1.00	Correlación muy alta
0.70 - 0.89	Correlación alta
0.50 - 0.69	Correlación moderada
0.30 - 0.49	Correlación baja
0.00 - 0.29	Poca correlación

Fuente: Adaptado de Asuero et al. (2006).

Para contrastar las hipótesis:

Se procedió del siguiente modo; teniendo en cuenta que se quiere analizar la tendencia de islas de calor urbano y su relación con el cambio del índice de vegetación de diferencia normalizada en la ciudad de Juliaca - Puno, periodo 2015 - 2023, se usó el procedimiento estadístico de prueba de hipótesis Regresión Lineal Simple de Pearson, en el software estadísticos R-Studio, aplicando el siguiente criterio, un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ y un nivel de confianza al 95%.

Criterio para decidir:

P-valor = $< \alpha$, se rechaza la HN (Se acepta la HA).

P-valor = $> \alpha$, se acepta la HN (Se rechaza la HA).

CAPÍTULO IV

EXPOSICION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DEL CAMBIO DEL ÍNDICE DE VEGETACIÓN DE DIFERENCIA NORMALIZADA EN LA CIUDAD DE JULIACA DURANTE EL 2015 Y 2023.

Se estimó el cambio del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), también denominadas áreas verdes en la ciudad de Juliaca durante los periodos 2015 y 2023. De acuerdo con las imágenes satelitales LandSat-8, obtenidas de la plataforma geomática “Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS)”. LandSat-8 cuenta con 11 bandas espectrales, de las cuales para el análisis se eligieron 2, la banda (4) denominada rojo y la banda (5) denominada infrarrojo cercano “NIR”, la adquisición de descarga se requirieron con una cobertura de nubosidad menor ($<$) al 10% como se muestra en el (Anexo 02), el cálculo del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), también denominadas áreas verdes se desarrolló en el software R-Studio como se detalla en los (Anexos 05).

Tabla 08: Cambios temporales de las áreas verdes en la ciudad de Juliaca, 2015 - 2023.

Periodos	Vegetación o áreas verdes en la ciudad de Juliaca			
	Área en (Ha)	Variación del área en (Ha)	Tasa de cambio en (%)	Porcentajes (%)
2015	98.77	0	0	14
2016	89.93	-8.84	-8.95	13
2017	92.71	2.78	3.09	13
2018	82.15	-10.56	-11.39	12
2019	79.27	-2.88	-3.51	11
2020	58.22	-21.05	-26.55	8
2021	102.45	44.23	75.97	14
2022	56.45	-46	-44.90	8
2023	49.34	-7.11	-12.60	7
Total	709.29	-49.43	-28.83	100

En la tabla 08, se muestra el cambio temporal de las áreas verdes de la ciudad de Juliaca durante los periodos 2015 y 2023. Durante los 9 años de estudio las áreas verdes de la ciudad urbana de Juliaca tuvo una variación de -49.43 Ha, también tuvo una tasa de cambio de -50.04%. En el año 2022 tuvo una variación muy fuerte de -46.0 Ha y una tasa de cambio de -44.90%, pero en el año 2021 tuvo un aumento de las áreas verdes producto del covid-19, las áreas aumento de +44.23 Ha y una tasa de cambio de

+75.97%, con estos resultados obtenidos durante los 9 años, podemos deducir que la las áreas verdes en la ciudad de Juliaca tiende a reducirse, producto de las diferentes actividades, sobre todo por el crecimiento poblacional. Por otro lado **Benavente (2023)**, contradice indicando que la cubierta vegetal de Cabanillas es de 8,87 hectáreas, es decir, 17,12 m²/habitante, inferior a los 395,31 m²/habitante que se sugieren para una metrópoli típica de tierras altas, se establece que, en comparación con su tamaño y densidad de población, Cabanillas tiene una superficie considerable cubierta de vegetación.

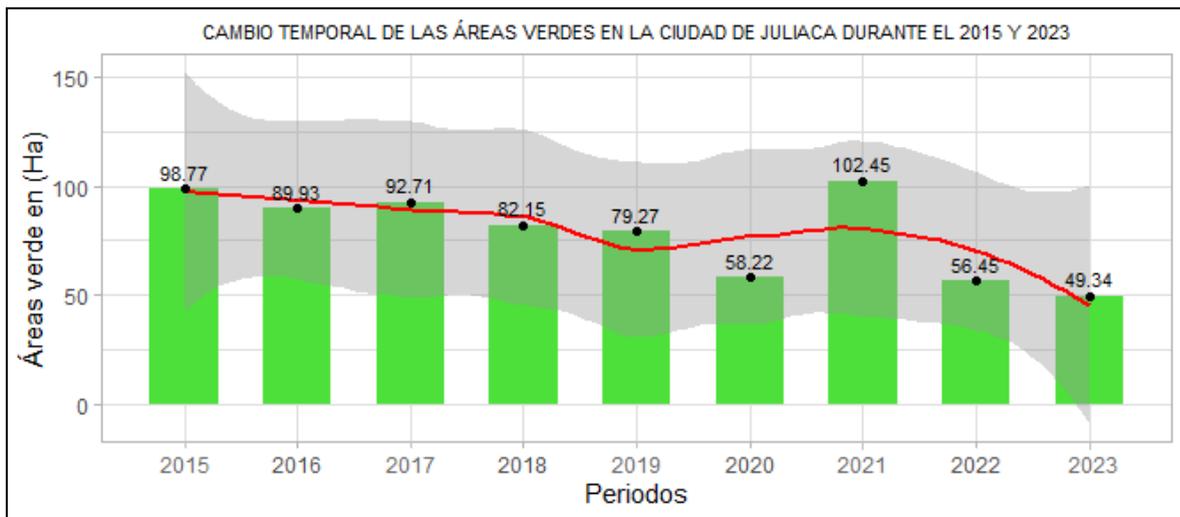


Figura 08: Cambio de las áreas verdes en la ciudad de Juliaca durante el 2015 y 2023.

En la figura 08, se muestran los resultados del comportamiento de las áreas verdes en la ciudad de Juliaca, durante los 9 años ya transcurridos, en el año 2015 las áreas verdes fueron de 98.77 Ha que equivale al 14 %, mientras tanto en el año 2023 las áreas verdes son de 49.34 Ha que equivale al 7 %, con estos resultados obtenidos en la presente investigación, claramente se ve un retroceso de las áreas verdes en la ciudad de Juliaca.

Tabla 09: Estadística descriptiva del NDVI - áreas verdes, periodo (2015 - 2023).

Variable	Media	Mediana	Máximo	Mínimo	Desviación estándar	Curtosis
NDVI - áreas verdes (Ha)	78.81	82.15	102.45	49.34	19.6	-1.48

***Nivel de confianza(95.0%)

En la tabla 09, se muestra la estadística descriptiva de las áreas verdes en la ciudad de Juliaca, durante los periodos 2015 y 2023, la variable NDVI o áreas verdes presenta un promedio de 78.81 Ha, un máximo de 102.45 Ha y un mínimo de 49.34 Ha, la curtosis nos muestra una distribución plana con un valor atípico de -1.48.

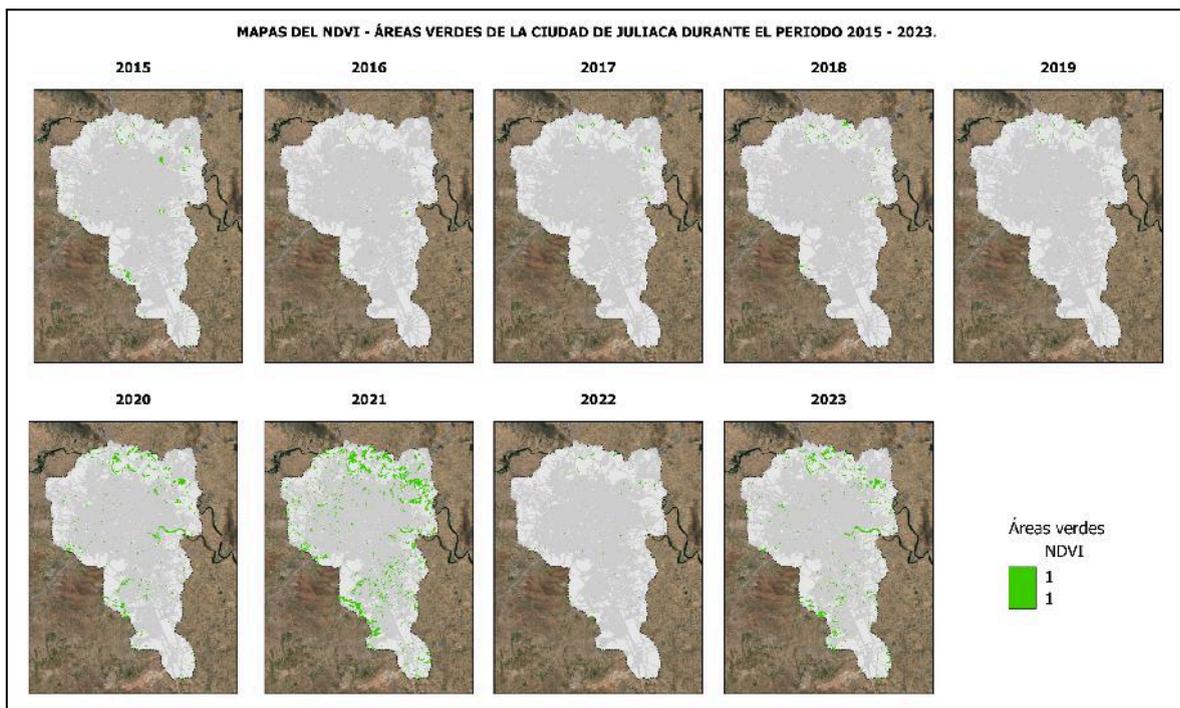


Figura 09: Cambio temporal de las áreas verdes en la ciudad de Juliaca durante el 2015 - 2023.

En la figura 09, se muestra la variación multitemporal de las áreas verdes durante los años 2015 y 2023. Donde los valores mayores (1) representan las áreas verdes, mientras

tanto los valores (0) representan áreas sin vegetación, podemos deducir claramente que desde el 2015 y 2023 las áreas verdes se redujeron significativamente. La presencia de áreas verdes o vegetación se determinó utilizando el Índice Diferencial de Vegetación Normalizado (NDVI), para distinguir las áreas verdes de los demás componentes de la imagen, como las nubes, se utilizó la relación normalizada entre la diferencia espectral y la diferencia de reflectancia en las bandas individuales.

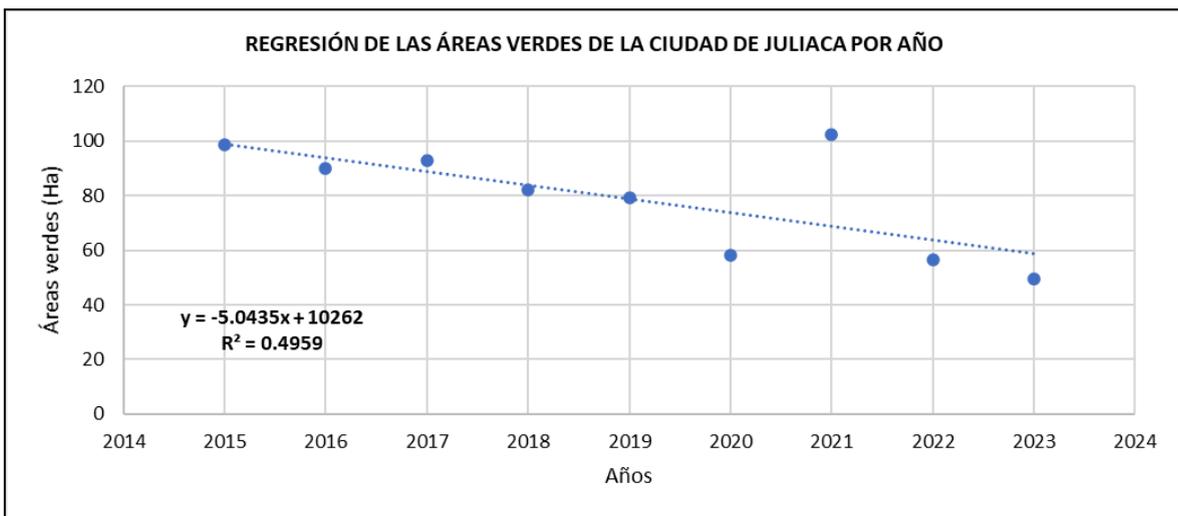


Figura 10: Regresión lineal de áreas verdes, con respecto al tiempo.

En la figura 10, se presenta la correlación entre las áreas verdes con respecto al tiempo, donde la ecuación nos muestra una tendencia negativa (-), con un coeficiente de correlación cuadrática $R^2 = 0.495$, lo que indica de la variable independiente (años), el 49.5 % de la variabilidad con respecto a la variable dependiente áreas verdes Ha, con la presente regresión lineal mostramos una tendencia decreciente de las áreas verdes de la ciudad urbana de Juliaca y es significativa su retroceso.

Tabla 10: Pruebas de normalidad para la variable NDVI - áreas verdes.

Normalidad de las áreas verdes mediante (Shapiro-Wilk)		
Variable	Statistic	p-value
NDVI - áreas verdes	0.907	0.295

En la tabla 10 se muestra, la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, donde los datos de las áreas verdes tienen una distribución normal durante el periodo 2015 - 2023, de acuerdo al p-valor 0.295, que es mayor (>) a 0.05 (con un nivel de significancia al 95%). Por ello concluimos que, los valores del NDVI - áreas verdes se distribuyen de forma normal, por lo que se puede indicar que si cumple con el supuesto de normalidad, también indicamos que los valores de las áreas verdes si son paramétricos.

4.2. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LA TENDENCIA DE ISLAS DE CALOR URBANA EN LA CIUDAD DE JULIACA, PERIODO 2015 - 2023.

Se evaluó la tendencia de las temperaturas superficiales (LST), también conocidas como islas de calor urbana (ICU) en la ciudad de Juliaca durante los periodos 2015 y 2023. De acuerdo con las imágenes satelitales LandSat-8, obtenidas de la plataforma geomática “Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS)”. LandSat-8 cuenta con 11 bandas espectrales, de las cuales para el análisis se eligió 1, la banda (10) denominado infrarrojo térmico “TIRS”¹, la adquisición de descarga se requirieron con una cobertura de nubosidad menor (<) al 10% como se muestra en el (Anexo 02), el cálculo de la temperatura superficial (LST), también conocidas como islas de calor urbana (ICU), se desarrolló en el software R-Studio como se detalla en los (Anexos 05)

Tabla 11: Cambios temporales de las islas de calor urbana (ICU) en la ciudad de Juliaca, 2015 - 2023.

Periodos	Isla de calor urbana (ICU)			
	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Variación de la Tmax (°C)	Variación de la Tmin (°C)
2015	31.76	9.18	0	0
2016	40.91	17.04	9.16	7.87
2017	30.67	13.43	-10.25	-3.61
2018	47.21	19.43	16.54	6.00
2019	38.03	16.59	-9.18	-2.83
2020	45.56	23.31	7.53	6.72
2021	44.00	18.05	-1.57	-5.26
2022	50.75	21.16	6.75	3.11
2023	43.43	23.71	-7.32	2.55
Promedio	41.37	17.99	1.30	1.61

En la tabla 11, se muestra el cambio temporal de las temperaturas superficiales o islas de calor urbano de la ciudad de Juliaca durante los periodos 2015 y 2023. Durante los 9 años de estudios las islas de calor urbana tuvo una variación de temperatura superficial máxima de +11.6 °C y las temperatura superficial mínima de +14.5 °C. En el año 2018 tuvo una variación muy fuerte de temperaturas superficiales máximas de +16.54 °C y una

mínima de +6.0 °C, pero para el año 2023 tuvo una disminución de la temperatura superficial máxima de -7.33 °C y una mínima de 2.55 °C, con estos resultados obtenidos durante los 9 años podemos deducir que las islas de calor urbana o temperaturas superficiales en la ciudad urbana de Juliaca tiende a incrementarse durante el transcurso del los años. Por otro lado coincide con **Aguilar (2021)**, en sus resultados en la ciudad de Juliaca encontro ocho islas de calor urbanas, situadas en los siguientes lugares: Cuartel Francisco Bolognesi (26 °C), Cerro Huayna Roque (28,3 °C), Centro Comercial Plaza Vea (25,6 °C), Estadio San Isidro (25,3 °C), Parque Cholo (24,4 °C), Estadio Politécnico de los Andes (26,1 °C), y el estadio Manuel A. Odría (25,9 °C). Se determina que las zonas con suelos desnudos y el centro de la ciudad son los lugares donde se producen las islas de calor urbanas. También por otro lado **Arana (2018)**, coincide en sus resultados en el Área Metropolitana de Huancayo, la intensidad de isla de calor urbano superficial diurno obtenido mediante el método de los cuantiles revela valores máximos en marzo (6,94 °C) y mínimos en agosto (2,79 °C). La intensidad de isla de calor urbano superficial nocturno obtenido con el método de Streutker presenta valores máximos en agosto (6,06 °C) y mínimos en marzo (3,76 °C). Según el análisis, la intensidad de isla de calor urbano superficial diurno del Área Metropolitana de Arequipa alcanza su máximo en febrero (5,54 °C) y su mínimo en agosto (2,14 °C), mientras que la intensidad de isla de calor urbano superficial (SUHI) nocturno alcanza su máximo en febrero (6,38 °C) y su mínimo en junio (4,62 °C).

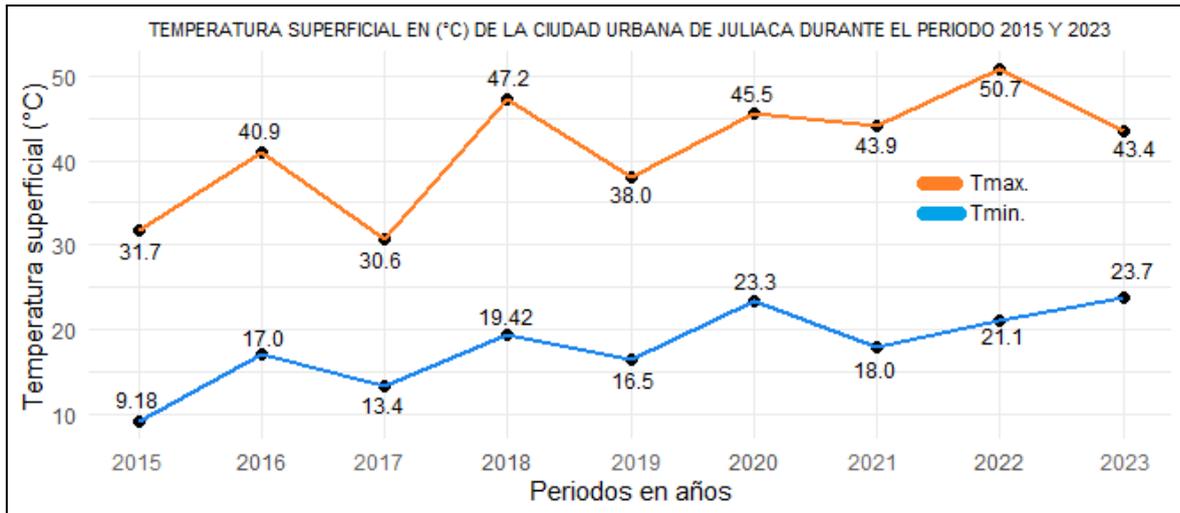


Figura 11: Gráfico de temperaturas superficiales máximas y mínimas durante el 2015 - 2023.

Analizando la figura 11, podemos afirmar que la temperatura superficial máxima y mínimas durante el periodo de estudio, tuvo un incremento con el paso del tiempo, como por ejemplo en el año 2015, las temperatura superficiales máximas y mínimas eran bajas de 31.7 °C y 9.18 °C, en el año 2023 las temperaturas superficiales máximas y mínimas llegaron al pico más alto con 43.4 °C y 23.7 °C, las temperaturas superficiales máximas y mínimas durante los 9 años de estudios tuvieron un incrementarse de +11.6 °C y +14.5, con estos resultados obtenidos podemos demostrar que el cambio superficial del área urbana de Juliaca se está viviendo y se evidencian los impactos de las islas de calor urbana, por el aumento de las temperaturas superficiales. Por otro lado en sus resultados de **Vitery (2022)** en la ciudad de Calceta (Ecuador), en el año 2019 correspondió a un NDVI mínimo de -0,040, la región urbana central de la ciudad presentaba los valores más bajos de -0,040, según los cinco mapas, mientras que los límites de la zona rural tenían los valores más altos de NDVI 0,631. En 2014 se registraron las temperaturas más bajas de la superficie terrestre, 17 °C, y en 2016 las más altas, 32 °C.

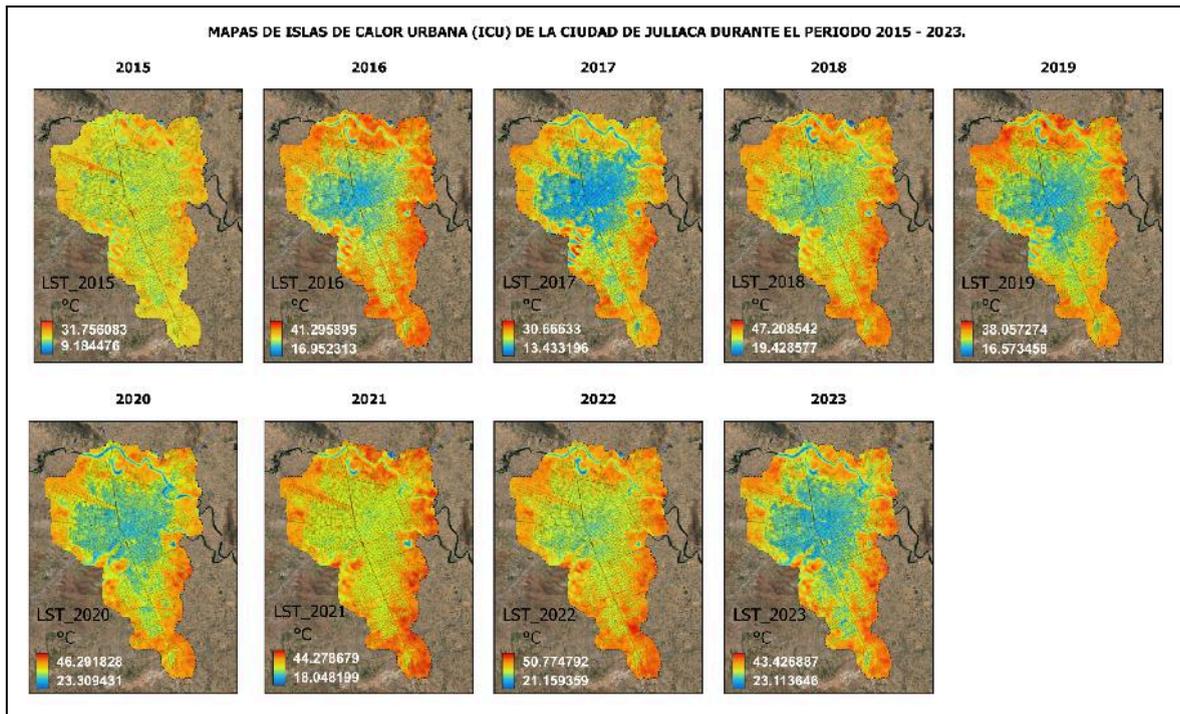


Figura 12: Cambio temporal de las islas de calor urbana de la ciudad de Juliaca durante el 2015 - 2023.

En la figura 12, se muestra la variación multitemporal de las islas de calor urbanas durante los años 2015 y 2023. Donde los valores con tonalidades del color rojo representa (Temperaturas superficiales altas), mientras tanto los valores con tonalidades del color azul representa (Temperaturas superficiales bajas), podemos deducir claramente que desde el 2015 hasta el 2023 las islas de calor urbana se incrementaron sus áreas significativamente. La presencia de islas de calor urbana se determinó utilizando la banda 10 de LandSat-8, para distinguir la temperatura superficial de los demás componentes de la imagen, como las nubes, se utilizó la relación normalizada entre la diferencia espectral y la diferencia de reflectancia en las bandas individuales.

Tabla 12: Estadística descriptiva de las temperaturas superficiales, periodo (2015 - 2023).

Variables	Media	Mediana	Máximo	Mínimo	Desviación estándar	Curtosis
Temperatura						
máxima - LST(°C)	41.3	43.4	50.7	30.6	6.7	-0.6
Temperatura						
mínima - LST(°C)	17.9	18.0	23.7	9.18	4.6	0.18

***Nivel de confianza(95.0%)

En la tabla 12, podemos apreciar la estadística descriptiva de la media y la desviación estándar, se puede interpretar como cuánto se desvía, en promedio, de la media un conjunto de puntuaciones. Se obtuvo una media (promedio) de temperatura superficial máxima de 41.3 °C y una desviación estándar de 6.7 °C, esta interrogante nos afirma que la temperatura superficial máxima de la muestra se desvía en promedio de 6.7 °C respecto a la media, la curtosis nos muestra una distribución plana con un valor atípico de -0.6 °C. En cuanto para la temperatura superficial mínima se obtuvo para su muestra una media (promedio) de 17.9 °C y una desviación estándar de 4.6 °C, esta interrogante nos afirma que la temperatura mínima de la muestra se desvía en promedio de 4.6 °C respecto a la media, la curtosis nos muestra una distribución normal con un valor atípico de 0.18 °C. por otro lado coincide con **Martínez (2021)**, en sus resultados de la ciudad de Zaragoza (España) muestran que la temperatura del centro de la ciudad es con frecuencia 1 o 2 °C más alta que la de los alrededores, y en ocasiones es incluso superior en más de 8 °C. La isla de calor urbana (ICU) es más grave de noche que de día y tiene una intensidad media de 2,5 °C por hora en verano, frente a 2,2 °C por hora en invierno.

También **Núñez et al. (2017)**, en la ciudad de Madrid (España) tuvo como resultados indicando que casi todas las noches se produjo un fenómeno de isla de calor atmosférico impresionantemente grande (entre 2 y 4 °C); por el contrario, durante el día se produjo una isla de frío comparativamente suave (menos de 1 °C). Se Concluye según las fotos tomadas por satélite, el campo térmico de la superficie experimentó un ciclo diario fuertemente correlacionado con el uso del suelo. Este ciclo dio lugar a la creación de una isla fría diurna y una isla de calor nocturna, ambas del mismo tamaño que la atmosférica.

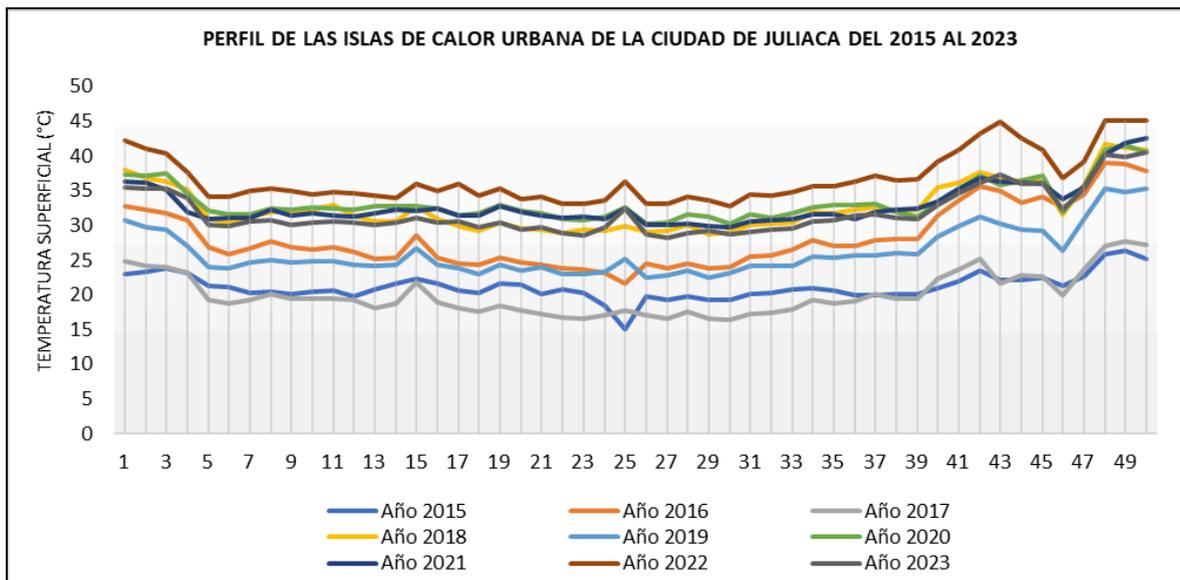


Figura 13: Perfil de las islas de calor urbano de la ciudad de Juliaca durante el 2015 - 2023.

En la figura 13, nos muestra los años con respecto a las isla de calor urbana de la ciudad de Juliaca, donde presentan las temperaturas superficiales altas que se dan sobre todo en las áreas urbanizadas, céntricas y carreteras con asfalto, mientras tanto las temperaturas superficiales bajas se dan en los parque y los alrededores de la ciudad; mientras tanto que las áreas verdes va disminuyendo las temperaturas superficiales máximas y mínimas va aumentando significativamente.

Tabla 13: Pruebas de normalidad de las temperaturas superficiales.

Normalidad de las temperaturas superficial (°C) mediante (Shapiro-Wilk)		
Variable	Statistic	p-value
Temperatura máxima (°C)	0.939	0.573
Temperatura mínima (°C)	0.953	0.718

En la tabla 13, se muestran la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, donde los datos de las temperaturas superficiales, tienen una distribución normal durante el periodo 2015 - 2023, de acuerdo al p-valor = 0.573 y p-valor = 0.718, para las temperaturas superficiales máximas y mínimas es mayor (>) a 0.05 (con un nivel de significancia al 95%). Por ello concluimos que, los valores de las temperaturas superficiales se distribuyen de forma normal, por lo que se puede indicar que cumple con el supuesto de normalidad, indicando que los valores son paramétricos.

4.3. PROCESO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS

Regla de decisiones:

P-valor = $< \alpha$, se rechaza la HN (Se acepta la HA).

P-valor = $> \alpha$, se acepta la HN (Se rechaza la HA).

Indicando que la hipótesis nula está indicada con (HN) y la hipótesis alterna está indicada con (HA), donde también se indica que el nivel de significancia es $\alpha = 0.05$, con un nivel de confianza al 95%.

4.3.1. Prueba de hipótesis para el objetivo específico 1.

Formulación de la hipótesis estadística:

HA = El cambio del índice de vegetación de diferencia normalizada durante el 2015 y 2023, es estadísticamente significativo y alta.

HN = El cambio del índice de vegetación de diferencia normalizada durante el 2015 y 2023, no es estadísticamente significativo y alta.

Resultado de la prueba de hipótesis

En la tabla 14 y en la figuras 15, se aprecia la prueba estadística de correlación y regresión lineal del índice de vegetación de diferencia normalizada o áreas verdes con respecto a los años; indicando que de acuerdo a la prueba estadística se han obtenido un valor de significancia de p-valor 0.007, para las áreas verdes con respecto a los años, comparado con el valor alfa 0.05 es menor. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la:

Hipótesis Alternativa = El cambio del índice de vegetación de diferencia normalizada durante el 2015 y 2023, es estadísticamente significativo y alta.

4.3.2. Prueba de hipótesis para el objetivo específico 2.

Formulación de la hipótesis estadística:

HA = La tendencia de islas de calor urbano en la ciudad de Juliaca - Puno, periodo 2015 - 2023, es estadísticamente significativa.

HN = La tendencia de islas de calor urbano en la ciudad de Juliaca - Puno, periodo 2015 - 2023, no es estadísticamente significativa.

Resultado de la prueba de hipótesis

En la tabla 14 y en las figuras 15, se aprecia la prueba estadística de correlación y regresión lineal de las islas de calor urbano en la ciudad de Juliaca con respecto al Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) o áreas verdes; indicando que de acuerdo a la prueba estadística se han obtenido un valor de significancia de p-valor 0.099, para las islas de calor urbano con respecto a las temperaturas superficiales máximas, también se han obtenido un valor de significancia de p-valor 0.0082, para las islas de calor urbano con respecto a las temperaturas superficiales mínimas, comparado con el valor alfa 0.05 es mayor. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la:

Hipótesis Alterna = La tendencia de islas de calor urbano en la ciudad de Juliaca - Puno, periodo 2015 - 2023, es estadísticamente significativa.

Tabla 14: Matriz de correlación de Pearson de las variables.

		Correlaciones de las variables independientes y dependientes mediante "pearson"		
		NDVI - áreas verdes	LST - Tmax	LST - Tmin
NDVI - áreas verdes	Method	1	-0.58	-0.81
	Pearson			
	p-value	<2.2e-16	0.099	0.0082
LST - Tmax	Method	-0.58	1	0.83
	Pearson			
	p-value	0.099	<2.2e-16	0.0055
LST - Tmin	Method	-0.81	0.83	1
	Pearson			
	p-value	0.0082	0.0055	<2.2e-16

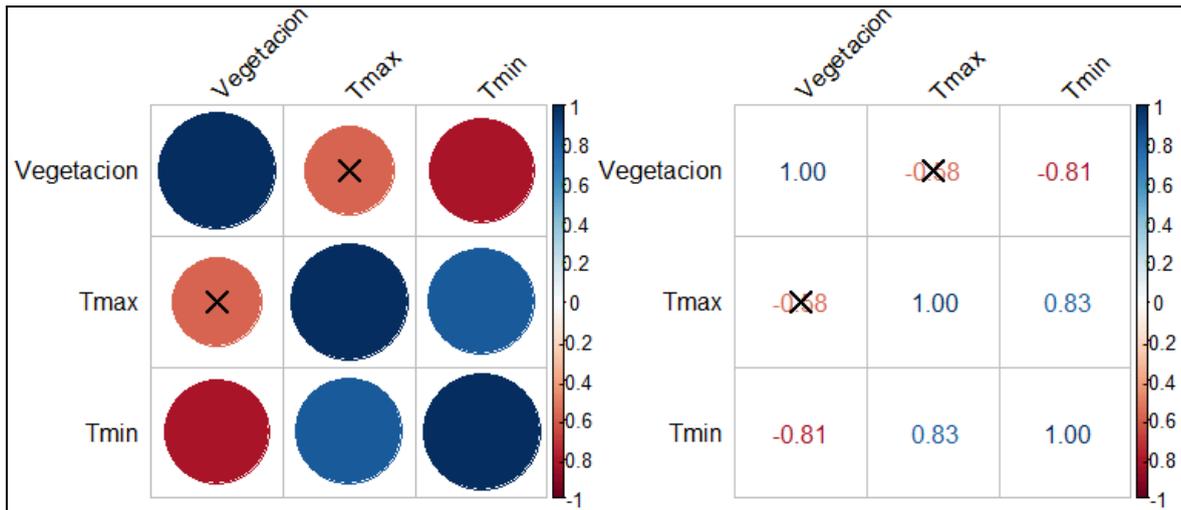


Figura 14: Correlograma para las variables en símbolos y en numericos.

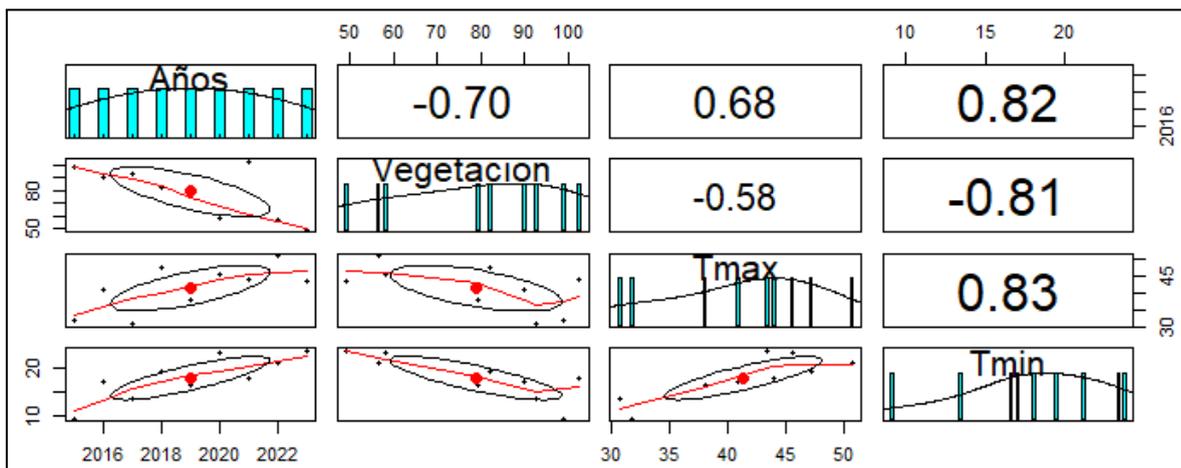
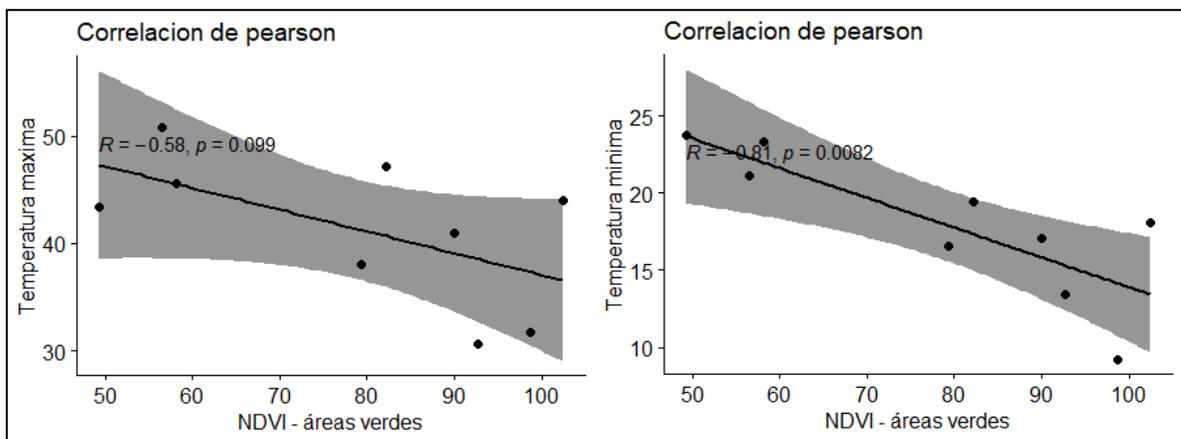


Figura 15: Correlación de la variable independiente con respecto a la variable dependiente.

CONCLUSIONES

PRIMERA: Al analizar la tendencia de islas de calor urbano y su relación con el cambio del índice de vegetación de diferencia normalizada en la ciudad de Juliaca - Puno, periodo 2015 - 2023. Se concluye que las islas de calor urbano durante los últimos 9 años, han tenido un crecimiento estadísticamente significativo de temperatura superficial máxima de $r^2 = +0.68$ °C y las temperatura superficial mínima de $r^2 = +0.82$ °C, debido a la atenuación decreciente de las áreas verdes en la ciudad de Juliaca, por otro lado al aumento del crecimiento poblacional urbano.

SEGUNDA: Al evaluar el cambio del índice de vegetación de diferencia normalizada en la ciudad de Juliaca durante el 2015 y 2023. Se concluye que el índice de vegetación de diferencia normalizada o áreas verdes con respecto a los 9 años de estudio, han tenido un decrecimiento estadísticamente significativo de $r^2 = -0.70$ Ha, interpretando; durante el transcurso de los 9 años de estudios el índice de vegetación de diferencia normalizada o áreas verdes ha disminuido significativamente su área.

TERCERA: Al evaluar la tendencia de islas de calor urbano en la ciudad de Juliaca, periodo 2015 - 2023. Se concluye que las islas de calor urbano con respecto a las áreas verdes, tiene una correlación negativa y es significativo de $r^2 = -0.58$, interpretando; mientras tanto que las áreas verdes va disminuyendo las islas de calor urbano va aumentando significativamente.

RECOMENDACIONES

PRIMERA: Se recomienda a los investigadores realizar mayores investigaciones respecto a los cambios de las islas de calor urbano y su relación con el cambio del índice de vegetación de diferencia normalizada, situadas en las principales ciudades de la sierra sur del Perú, donde se han encontrado pocas investigaciones realizadas en este ámbito

SEGUNDA: A la provincia de San Román, fortalecer las capacidades de gestión pública de los responsables involucrados para establecer y ejecutar programas para la sostenibilidad de los ecosistemas e implementar programas de educación ambiental.

TERCERA: A los moradores de la ciudad de Juliaca, tomar más conciencia ambiental, para evitar la errada costumbre de talar bosques y asentamientos en las áreas verdes pertenecientes a la ciudad, las mismas que generan las islas de calor urbana, haciendo más vulnerable a los ecosistemas urbanos.

BIBLIOGRAFÍA

- Achicanoy, J., Rojas Robles, R., & Sánchez Gómez, J. (2018). Análisis y proyección de las coberturas vegetales mediante el uso de sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica en la localidad de Suba, Bogotá-Colombia. *Gestión y Ambiente*, 21(1), 41-58.
- Aguilar Garcia, E. A. (2021). Análisis de la distribución e intensidad de las islas de calor urbanas superficiales diurnas (ICUs) en el Cantón Manta, Manabí y su relación con la vegetación local y otras variables geográficas. *Màster Oficial - Planificació Territorial i Gestió Ambiental*. <https://diposit.ub.edu/dspace/handle/2445/180526>
- Aldás Andrade, A. P. (2019). *Análisis de la dinámica temporal del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) para los años 1986, 2001 y 2017 en la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas, Imbabura, mediante el uso de Google Earth Engine*. <https://repositorio.puce.edu.ec/handle/123456789/21638>
- Arana Mallma, G. R. (2018). *Isla de calor urbano superficial en las ciudades de Huancayo y Arequipa durante 2001—2016*. <https://repositorio.uap.edu.pe/xmlui/handle/20.500.12990/8445>
- Asar, M. L., Estallo, E. L., Benitez, E. M., Di Benedetto, H. M., & Ludueña Almeida, F. (2021). La isla de calor urbano entre 2018 y 2020 en la ciudad de Cordoba, Argentina. *106° Reunión de la Asociación Física Argentina: Segunda Webinar*. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/190184>
- Benavente Vilca, I. (2023). *Estimación de la pérdida de suelos por erosión hídrica utilizando la ecuación universal de pérdida de suelos mediante sistema de información geográfica en la Cuenca Illpa*. <https://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/466>
- Camas-Guardamino, D. J., Mamani-Sinche, M. S., Camas-Guardamino, D. J., & Mamani-Sinche, M. S. (2022). Evaluación de la vegetación y saturación del suelo

- en el Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla mediante teledetección en Perú, 2006-2021. *Revista de Ciencias Ambientales*, 56(1), 54-74.
<https://doi.org/10.15359/rca.56/1.3>
- Casadei, P., Semmartin, M., & Garbulsky, M. F. (2021). Análisis regional de las islas de calor urbano en la Argentina. *Ecología Austral*, 31(1), Article 1.
<https://doi.org/10.25260/EA.21.31.1.0.970>
- Cuadrat, J. M., Serrano-Notivoli, R., Barrao, S., Saz, M. Á., & Tejedor, E. (2022). Variabilidad temporal de la isla de calor urbana de la ciudad de Zaragoza (España). *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 48(1), Article 1.
<https://doi.org/10.18172/cig.5022>
- Flores-De la O, J. L., Villanueva Solis, J., & Quiroa Herrera, J. A. (2018). Evaluación de los efectos microclimáticos que tiene la vegetación en la mitigación de la isla de calor urbana: Parque en la ciudad de Torreón, México. *Revista de Ciencias Ambientales*, 52(2), 123-140.
- García, D. H., & Díaz, J. A. (2022). Análisis espacio temporal de la Isla de Calor Urbana mediante imágenes satelitales: Capitales de Andalucía. *ACE: Arquitectura, Ciudad y Entorno*. <https://doi.org/10.5821/ace.17.49.10374>
- Herrera, M., Porras, L., & Estrella, C. (2018). Propuesta de declaración del espectro electromagnético para Ecuador. *Revista Geoespacial*, 15(1), Article 1.
<https://doi.org/10.24133/geoespacial.v15i1.1356>
- Hidalgo-García, D., & Arco-Díaz, J. (2022). Análisis de sinergias entre Isla de Calor Urbana y Olas de Calor mediante imágenes Sentinel 3 sobre la ciudad de Granada. *Revista de Teledetección*, 60, 1-15.
<https://doi.org/10.4995/raet.2022.17128>
- Huerta-Olague, J. de J., Oropeza Mota, J. L., Guevara Gutiérrez, R. D., Ríos Berber, J. D., Martínez Menes, M. R., Barreto García, O. A., Olguín López, J. L., Mancilla

- Villa, O. R., Huerta-Olague, J. de J., Oropeza Mota, J. L., Guevara Gutiérrez, R. D., Ríos Berber, J. D., Martínez Menes, M. R., Barreto García, O. A., Olguín López, J. L., & Mancilla Villa, O. R. (2018). Efecto de la cobertura vegetal de cuatro cultivos sobre la erosión del suelo. *Idesia (Arica)*, 36(2), 153-162. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292018005000701>
- Liashenko, D., Belenok, V., Spitsa, R., Pavlyuk, D., & Boiko, O. (2020). *Landslide GIS modelling with QGIS software*. 2020(1), 1-5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202056069>
- Lima Flores, M. I. (2022). Determinación de isla de calor urbano superficial para mitigar riesgos ambientales – ciudad Cusco – 2022. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/92657>
- Luque Ordóñez, J. (2012). Espectro electromagnético y espectro radioeléctrico. *Manual formativo de ACTA*, 62, 17-31.
- Marrero, K. D. (2018). Evaluación del fotodaño cutáneo por radiación solar y su relación con el cáncer de piel en un área de salud. *Investigaciones Medicoquirúrgicas*, 10(2). <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=85526>
- Martínez Escobar, J. (2021). *Análisis de la dinámica de los contaminantes (NO 2 PM 2 5) en el Área Metropolitana de Madrid a partir de la monitorización de la Isla de Calor Urbana (ICU) y su relación con la COVID 19*. <https://hdl.handle.net/20.500.14352/5136>
- Mattey-Trigueros, D., Navarro Picado, J., Obando-Rodríguez, P., Fonseca-Sánchez, A., & Núñez-Solís, C. (2017). Caracterización de la cobertura vegetal dentro de la franja de protección del Río Copey, Jacó, Puntarenas, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central Vol.1 No.58 275 - 294 2017*. <https://doi.org/10.15359/rgac.58-1.11>

- Meza, M. S. (2012). El espectro electromagnético. *Big Bang Faustiniiano*, 1(1), Article 1.
<https://doi.org/10.51431/bbf.v1i1.384>
- Núñez Peiró, M., Sánchez-Guevara Sánchez, C., & Neila González, F. J. (2017). *Actualización de la isla de calor urbana de Madrid y su influencia en la simulación energética de edificios*. Universidad de Sevilla. Escuela Técnica Superior de Arquitectura. <https://idus.us.es/handle/11441/59267>
- Núñez, X. L. C., Amores, L. E. M., & Zurita, J. S. (2023). Uso de la Teledetección para Calcular el Carbono Secuestrado por el Bosque Municipal Protegido -Quito. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(6), 2333-2346.
https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i6.8858
- Orbegoso Solano, R. A., & Blas Pereda, J. A. (2023). Aplicación de la teledetección espectral usando landsat 8 para el monitoreo fisicoquímico del agua de la laguna de Conache – 2023. *Repositorio Institucional - UCV*.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/129175>
- Palacios Arbaiza, V. F. (2018). Relación entre la urbanización e islas de calor urbano por análisis espectro-temporal del Distrito de San Juan de Lurigancho, 2018. *Universidad César Vallejo*.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/20557>
- Pando, V. F. (2018). Tendencias didácticas de la educación virtual: Un enfoque interpretativo. *Propósitos y Representaciones*, 6(1), 463-505.
<https://doi.org/10.20511/pyr2018.v6n1.167>
- Perez-Garcia, C. A., Pérez-Atray, J. J., Hernández -Santana, L., Gustabello-Cogle, R., Becerra-de Armas, E., Perez-Garcia, C. A., Pérez-Atray, J. J., Hernández -Santana, L., Gustabello-Cogle, R., & Becerra-de Armas, E. (2019). Sistema de Información Geográfica para la agricultura cañera en la provincia de Villa Clara. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 13(2), 30-46.

- Piscoya Perez, L. R. (2019). *Índice de vegetación de diferencia normalizada (Ndvi) en el distrito de Puquina, Moquegua*.
<https://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/144>
- Porras, P., Marin Sanchez, D. E., & Laura, W. (2022). Estudio de determinación de la intensidad de Islas de Calor Urbana en la provincia de Lima. *Repositorio Institucional - SENAMHI*.
<http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/2782>
- Radicelli, C., Pomboza, M., Villacrés, P., Boderó, E., Radicelli, C., Pomboza, M., Villacrés, P., & Boderó, E. (2019). Sistemas de información geográfica y su aplicación en las ciencias sociales: Una revisión bibliográfica. *Revista Chakiñan de Ciencias Sociales y Humanidades*, 8, 24-35.
- Rasilla, D., Allende Álvarez, F., & Fernandez, F. (2016, octubre 5). *La isla de calor urbano de Madrid durante la ola de calor de julio 2015*.
<https://doi.org/10.14198/XCongresoAECALicante2016-54>
- Renteria Vilchez, T. A. (2023). Repercusión de la expansión urbana no planificada en la calidad de vida urbana del Asentamiento Humano Veintiunode Febrero, Chulucanas—2023. *Repositorio Institucional - UCV*.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/129289>
- Rodriguez Medina, A. K. (2023). *Análisis de la temperatura superficial de la ciudad de Arequipa desde el año 2013 al 2021 aplicando procesamiento de imágenes satelitales del sensor Tirs Landsat 8*. <https://hdl.handle.net/20.500.12773/16173>
- Santos, A. J. F. dos, Ferreira, J. M., Baptista, F., Alexandrino, B., Silva, M. A. G. da, Gomes, J. E. C., Júnior, J. P. V., Tavares, R. M., & Almeida, K. de S. (2022). Statistical analysis between 2006 and 2019 and forecast of rabies in cattle from 2020 to 2022 in Tocantins State (Brazil), by using the R Studio software. *Epidemiology & Infection*, 150, e82. <https://doi.org/10.1017/S0950268822000553>

- Sarricolea Espinoza, P., & Martín-Vide, J. (2014). El estudio de la Isla de Calor Urbana de Superficie del Área Metropolitana de Santiago de Chile con imágenes Terra-MODIS y Análisis de Componentes Principales. *Revista de geografía Norte Grande*, 57, 123-141. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022014000100009>
- Sierra, L. (2023). Integrando sistemas de teledetección y georreferenciación en la gestión de los residuos. *Innovare: Revista de ciencia y tecnología*, 12(1-1), Article 1-1. <https://doi.org/10.5377/innovare.v12i1-1.16013>
- Soto-Estrada, E. (2019). Estimación de la isla de calor urbana en Medellín, Colombia. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 35(2), 421-434. <https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.02.13>
- Villanueva Baca, K. L. (2022). *Dinámica temporal y espacial del índice de vegetación estandarizado (SVI) para tres zonas cafetaleras en la región Amazonas, Perú*. <https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/3016>
- Villanueva-Solis, J., Ranfla, A., & Quintanilla-Montoya, A. L. (2013). Isla de Calor Urbana: Modelación Dinámica y Evaluación de medidas de Mitigación en Ciudades de Clima árido Extremo. *Información tecnológica*, 24(1), 15-24. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000100003>
- Vitery Rivas, J. P. A. (2022). *Importancia de vegetación urbana en la mitigación de la isla de calor en la zona céntrica de la ciudad de Calceta* [bachelorThesis, Calceta: ESPAM MFL]. <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/1767>
- Zavaleta-Palacios, M., Díaz-Nigenda, E., Vázquez-Morales, W., Morales-Iglesias, H., Narcizo de Lima, G., Zavaleta-Palacios, M., Díaz-Nigenda, E., Vázquez-Morales, W., Morales-Iglesias, H., & Narcizo de Lima, G. (2020). Urbanización y su relación con la isla de calor en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 7(2). <https://doi.org/10.19136/era.a7n2.2485>

ANEXOS

Anexo 01: Matriz de consistencia.

“Tendencia de islas de calor urbano y su relación con el cambio del índice de vegetación de diferencia normalizada en la ciudad de Juliaca - Puno, periodo 2015 - 2023”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	TÉCNICA DE PROCESAMIENTO DE DATOS
<p>GENERAL</p> <p>¿Cuál es la tendencia de islas de calor urbano y su relación con el cambio del índice de vegetación de diferencia normalizada en la ciudad de Juliaca - Puno, periodo 2015 - 2023?.</p> <p>ESPECÍFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> ¿Cómo será el cambio del índice de vegetación de diferencia normalizada durante el 2015 y 2023?. ¿Cuál es la tendencia de islas de calor urbano en la ciudad de Juliaca - Puno, periodo 2015 - 2023?. 	<p>GENERAL</p> <p>Analizar la tendencia de islas de calor urbano y su relación con el cambio del índice de vegetación de diferencia normalizada en la ciudad de Juliaca - Puno, periodo 2015 - 2023.</p> <p>ESPECÍFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> Evaluar el cambio del índice de vegetación de diferencia normalizada durante el 2015 y 2023. Evaluar la tendencia de islas de calor urbano en la ciudad de Juliaca - Puno, periodo 2015 - 2023. 	<p>GENERAL</p> <p>La tendencia de islas de calor urbano es alta y está relacionada con el cambio del índice de vegetación de diferencia normalizada en la ciudad de Juliaca - Puno, periodo 2015 - 2023.</p> <p>ESPECÍFICAS</p> <ul style="list-style-type: none"> El cambio del índice de vegetación de diferencia normalizada durante el 2015 y 2023, es estadísticamente significativo y alta. La tendencia de islas de calor urbano en la ciudad de Juliaca - Puno, periodo 2015 - 2023, es estadísticamente significativa. 	<p>Independiente:</p> <p>Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)</p> <p>Dependiente:</p> <p>Islas de calor urbano (ICU).</p>	<ul style="list-style-type: none"> Cambio de cobertura vegetal “reducción de áreas verdes y expansión urbana”(Ha) 	<p>1) Programas computacionales</p> <ul style="list-style-type: none"> - Qgis (v3.26.17) - R-Studio (v4.3.1). <p>2) Fórmula para calcular el NDVI.</p> $NDVI = \frac{(NIR(B5) - Red(B4))}{(NIR(B5) + Red(B4))}$ <p>3) Fórmula para calcular el LST.</p> $LST = \frac{BT}{(1 + \frac{0.0115 * BT}{1.388}) * Ln(\epsilon)}$ <p>4) Estadísticos:</p> <ol style="list-style-type: none"> Tendencias Normalidad Correlación Regresión lineal 	<p>Imágenes Satelitales (Landsat-L8)</p> <p>Tipo de Investigación</p> <ul style="list-style-type: none"> - Descriptivo, correlacional. <p>Diseño de Investigación</p> <ul style="list-style-type: none"> - No Experimental <p>Método</p> <ul style="list-style-type: none"> - Deductivo - Inductivo. <p>Zona de estudio</p> <p>Área urbana de la ciudad de Juliaca</p>

Anexo 02: Descarga de imágenes satelitales Landsat 8, del USGS

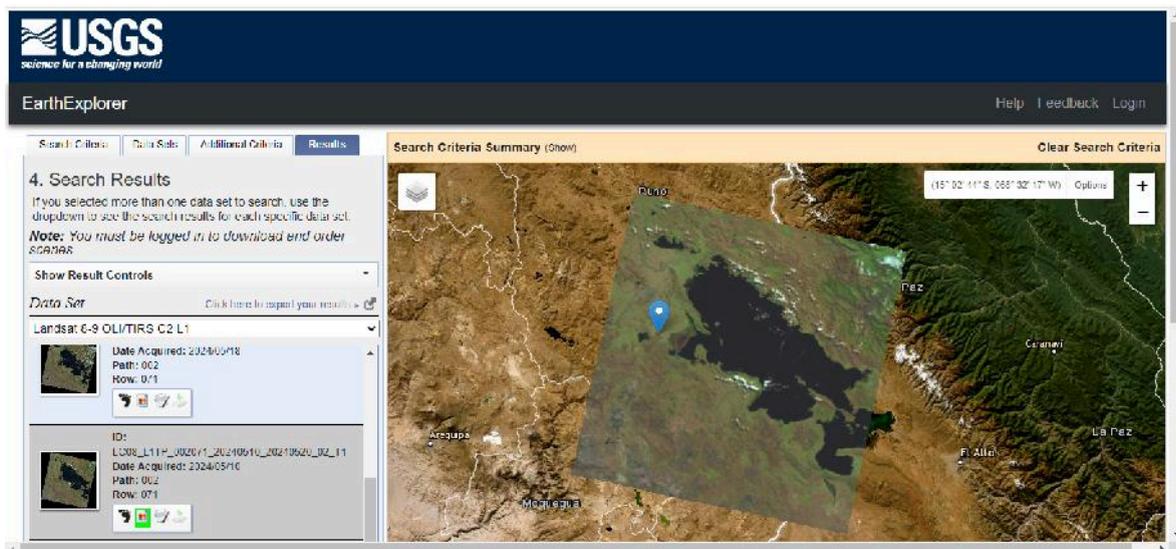


Figura 01: Descarga de la imagen satelital LandSat-8.



Figura 02: Imagen satelital LandSat-8.

Anexo 03: Análisis de datos en R studios.

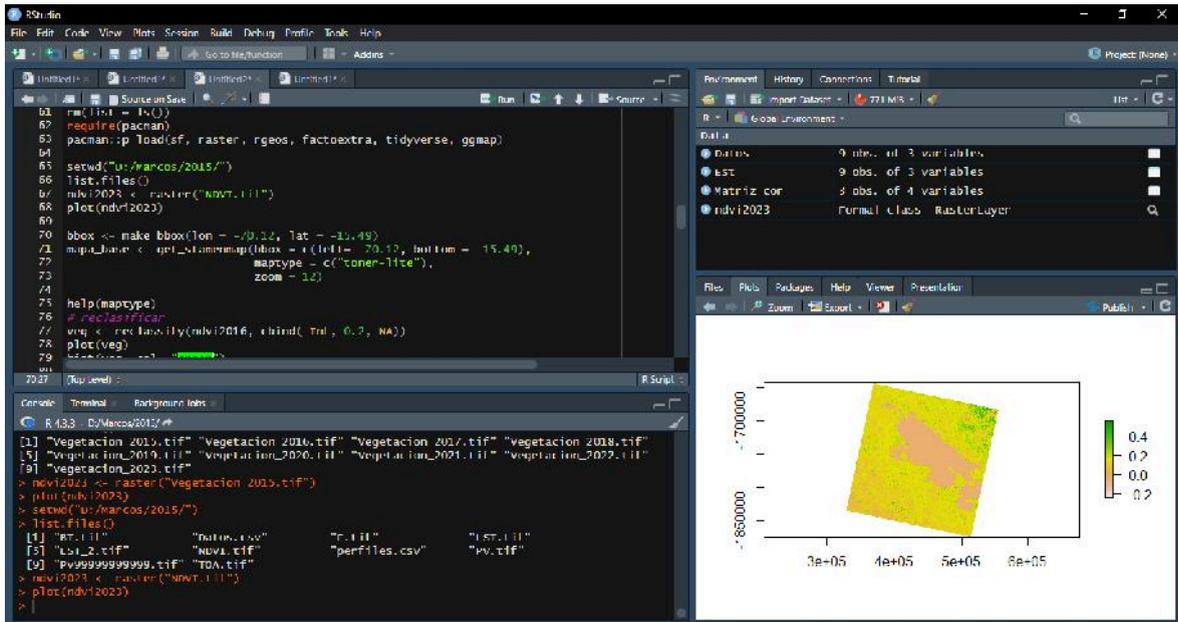


Figura 01: Análisis de las áreas verdes en R.

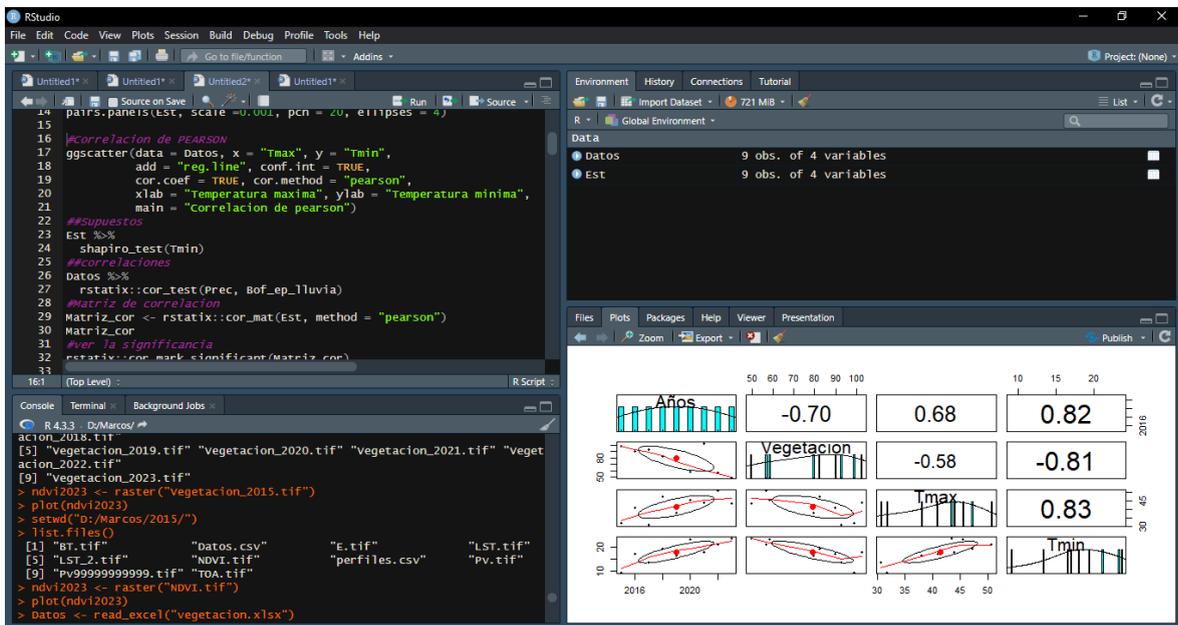


Figura 02: Evaluación de las estadísticas en R.

Anexo 04: Pruebas estadísticas de las variables en R.

```
> ##Supuestos
> Est %>%
+ shapiro_test(Vegetacion)
# A tibble: 1 × 3
  variable statistic    p
  <chr>      <dbl> <dbl>
1 Vegetacion 0.907 0.295
> ##Supuestos
> Est %>%
+ shapiro_test(Tmax)
# A tibble: 1 × 3
  variable statistic    p
  <chr>      <dbl> <dbl>
1 Tmax      0.939 0.573
> ##Supuestos
> Est %>%
+ shapiro_test(Tmin)
# A tibble: 1 × 3
  variable statistic    p
  <chr>      <dbl> <dbl>
1 Tmin      0.953 0.718
> |
```

Figura 01: Evaluación de las pruebas de Normalidades en R.

```
> Matriz_cor
# A tibble: 3 × 4
  rowname Vegetacion Tmax Tmin
* <chr>      <dbl> <dbl> <dbl>
1 Vegetacion 1 -0.58 -0.81
2 Tmax      -0.58 1 0.83
3 Tmin      -0.81 0.83 1
> #ver la significancia
> rstatis::cor_mark_significant(Matriz_cor)
  rowname Vegetacion Tmax Tmin
1 Vegetacion
2 Tmax      -0.58
3 Tmin      -0.81** 0.83**
> |
```

Figura 02: Correlación de las variables en R.

Anexo 05: Análisis de datos en Qgis y R.

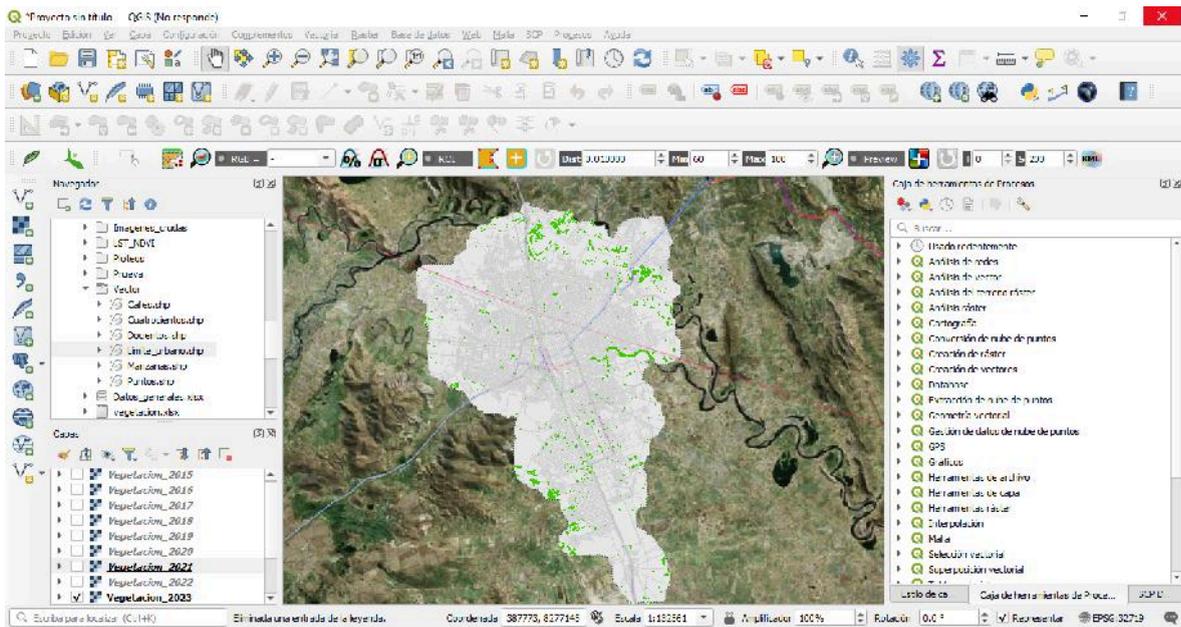


Figura 01: Elaboración de mapas en R.

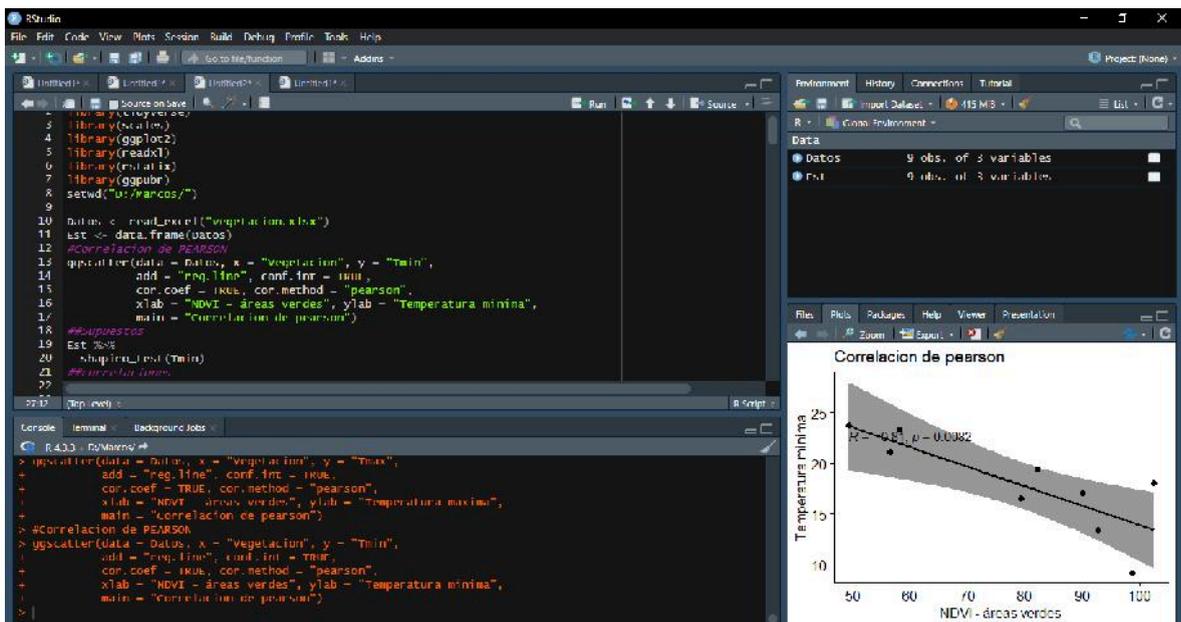


Figura 02: Regresión lineal de las variables en R.

Anexo 06: Panel fotográfico.



Figura 01: Comercio en áreas verdes.



Figura 02: Parques sin mantenimiento.



Figura 03: Parques sin mantenimiento.



Figura 04: Comercio en áreas verdes.



Figura 05: Asentamiento humano en áreas verdes.



Figura 06: Asfalto en áreas verdes.