

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**TESIS**

**“ESTIMACIÓN DE ISLAS DE CALOR URBANO APLICANDO EL ALGORITMO DE SPLIT WINDOW, PARA ESTABLECER UNA PROPUESTA DE MANEJO AMBIENTAL EN LA CIUDAD DE TACNA”**

**PARA OPTAR:**

**TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. CAMILA DEL ROSARIO AYCA ALE**

**Bach. DANA ROCÍO ZÚÑIGA DÍAZ**

**TACNA – PERÚ**

**2022**

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TESIS**

**“ESTIMACIÓN DE ISLAS DE CALOR URBANO APLICANDO EL  
ALGORITMO DE SPLIT WINDOW, PARA ESTABLECER UNA  
PROPUESTA DE MANEJO AMBIENTAL EN LA CIUDAD DE  
TACNA”**

Tesis sustentada y aprobada el 25 de octubre del 2022; estando el jurado calificador integrado por:

**PRESIDENTE : Mtra. MILAGROS HERRERA REJAS**

**SECRETARIO : Msc. MARISOL MENDOZA AQUINO**

**VOCAL : Dr. GERMAN MAMANI AGUILAR**

**ASESOR : Ing. CARMEN ROSA ROMÁN ARCE**

## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo, Camila del Rosario Ayca Ale y Dana Rocío Zúñiga Díaz, en calidad de Bachiller(s) de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificadas con DNI 72235825 y 73342458.

Declaramos bajo juramento que:

1. Somos autores de la tesis titulada: “Estimación de Islas de Calor Urbano aplicando el algoritmo de Split Window, para establecer una propuesta de manejo ambiental en la ciudad de Tacna”, la misma que presentamos para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumimos frente a *La Universidad* cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. En consecuencia, nos hacemos responsables frente a *La Universidad* y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumimos las consecuencias y sanciones que de nuestra acción se deriven, sometiéndonos a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

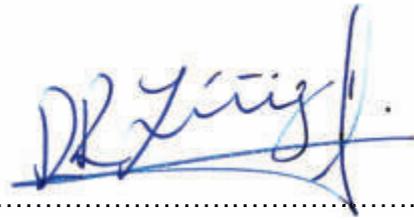
Tacna, 25 de octubre del 2022



A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Camila Ayca Ale', enclosed within a large, stylized oval loop. A vertical line descends from the right side of the signature, ending in a small crossbar.

---

Camila del Rosario Ayca Ale  
DNI: 72235825



A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Dana Rocío Zúñiga Díaz', written in a cursive style. A vertical line descends from the right side of the signature, ending in a small crossbar.

---

Dana Rocío Zúñiga Díaz  
DNI: 73342458

## DEDICATORIA

Dedicado a mi familia por brindarme su apoyo durante toda mi etapa de estudios universitarios, por su confianza y tolerancia logrando así un objetivo más en mi vida profesional.

A mi hijo Santiago por ser mi más grande inspiración, le dedico con la finalidad de enseñarle que el sacrificio día a día tiene su recompensa como es el alcanzar un título profesional; que este logro sirva de herramienta para guiar cada uno de sus pasos.

**Camila del Rosario Ayca Ale**

Dedicado a mi mamá y hermano por darme su apoyo en todo momento y palabras de aliento para no decaer.

A mi papá, por el apoyo y confianza depositada en mí, desde un principio.

A mi segunda familia, mi hermana, cuñado y sobrinos, por brindarme ese apoyo incondicional desde el primer día y todo el cariño como familia.

A mi mejor amiga, porque a pesar de la distancia siempre me dio los consejos exactos para lograr esta meta

**Dana Rocío Zúñiga Díaz**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos especialmente a Dios, quien nos dio las fuerzas cada día para crecer y no darnos por vencidas. Por permitirnos sonreír ante todas las dificultades que se nos atravesaron en estos tiempos.

A nuestra casa de estudios la Universidad Privada de Tacna, a nuestros docentes porque gracias a ellos hemos adquirido conocimientos que son el reflejo de nuestros trabajos.

Un agradecimiento muy especial a nuestra asesora Ing. Carmen Román Arce, quien estuvo guiándonos académicamente con su experiencia y profesionalismo, por la paciencia y confianza puesta en nosotras, gracias a su apoyo y enseñanza estamos cumpliendo uno de nuestros objetivos.

***Camila del Rosario Ayca Ale y Dana Rocío Zúñiga Díaz***

## ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DE JURADOS.....	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD.....	iii
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.1. Descripción del problema.....	2
1.2. Formulación del problema.....	2
1.2.1. Problema General.....	2
1.2.2. Problemas Específicos.....	2
1.3. Justificación e importancia.....	3
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. Objetivo General.....	3
1.4.2. Objetivo Específico.....	3
1.5. Hipótesis.....	4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Antecedentes del estudio.....	5
2.2. Bases Teóricas.....	7
2.2.1. Algoritmo Split Window.....	7
2.2.2. Cobertura de la vegetación.....	7
2.2.3. Intensidad de la isla de calor urbano.....	8
2.2.4. Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI).....	8
2.2.5. Islas de calor urbano.....	8
2.2.6. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).....	12
2.2.7. Imágenes Satelitales Landsat 8.....	13
2.2.8. Plan de manejo ambiental.....	14
2.2.9. Sistema de información geográfico.....	14
2.2.10. Temperatura superficial.....	16

2.2.11. Zona urbana.....	16
2.3. Definición de términos.....	17
2.3.1. Algoritmo Split Window.....	17
2.3.2. Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI).....	17
2.3.3. Islas de calor urbano.....	17
2.3.4. Temperatura superficial.....	18
2.3.5. Temperatura de Brillo.....	18
<b>CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>19</b>
3.1. Diseño de la investigación.....	19
3.2. Acciones y actividades.....	19
3.2.1. Islas de Calor Urbana.....	19
a. Descarga de Imágenes Satelitales.....	19
b. Datos meteorológicos.....	21
c. Población.....	26
d. Procesamiento de la imagen satelital.....	28
e. Temperatura de Brillo (Tb).....	30
f. Método Split-Window.....	34
3.2.2. Índice de Vegetación Diferencial Normalizada (NDVI).....	36
3.2.3. Propuesta de Manejo Ambiental.....	37
3.3. Materiales y/o instrumentos.....	38
3.3.1. Materiales.....	38
3.3.2. Instrumentos.....	38
3.4. Población y/o muestra de estudio.....	38
3.5. Operación de variables.....	40
3.6. Procesamiento y análisis de datos.....	41
<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS.....</b>	<b>42</b>
4.1. Islas de Calor Urbano.....	42
4.1.1. Datos meteorológicos.....	42
4.1.2. Población.....	46
4.1.4. Método Split-Window.....	47
4.2. Índice de Vegetación Diferencial Normalizada (NDVI).....	53
4.3. Correlación entre TST y NDVI.....	62
4.4. Propuesta de Acciones de Manejo Ambiental.....	65
4.4.1. Introducción.....	65
4.4.2. Objetivo.....	65

4.4.3. Justificación.....	65
4.4.4. Metodología de propuesta.....	66
CAPÍTULO V. DISCUSIÓN.....	69
5.1 . Contraste con respecto a otras investigaciones.....	69
5.1.1. Hipótesis General.....	69
5.1.2. Hipótesis Específicas.....	69
5.2 . Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados.....	70
5.2.1. Hipótesis específicas.....	70
CONCLUSIONES.....	72
RECOMENDACIONES.....	73
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	74
ANEXOS.....	79

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de las Banda del Landsat 8 .....	14
Tabla 2. Descarga de Imágenes Satelitales .....	21
Tabla 3. Datos de Humedad Relativa (%) .....	22
Tabla 4. Datos de Temperatura Máxima Mensual (°C) .....	24
Tabla 5. Datos de Temperatura Mínima Mensual (°C).....	25
Tabla 6. Dato Poblacional de los Distritos de la Zona Urbana de la región de Tacna .	27
Tabla 7. Coeficiente de Calibración en los Metadatos .....	29
Tabla 8. Comparativa de los Valores Constantes de Conversión (K1 y K2) .....	31
Tabla 9. Comparativa de valores de emisividad (de suelo y vegetación).....	33
Tabla 10. Coeficientes Split Window .....	35
Tabla 11. Clasificación de Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) ..	37
Tabla 12. Operación de Variables de la Investigación .....	40
Tabla 13. Resultados de Temperatura Mínima, Máxima, Humedad Relativa y Vapor de Agua .....	43
Tabla 14. Correlación entre TST y NDVI para el distrito del Alto de la Alianza .....	62
Tabla 15. Correlación de Pearson entre Temperatura Superficial Terrestre y NDVI ...	71

## ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1. Perfil de Isla de Calor Urbana.....	9
Figura 2. Variables que Generan las Islas de Calor Urbano .....	10
Figura 3. Componentes de las Islas de Calor .....	11
Figura 4. Reflectancia Espectral NDVI .....	12
Figura 5. Plataforma para descarga de Imágenes Satelitales.....	20
Figura 6. Promedio de Humedad Relativa (%) .....	23
Figura 7. Promedio de la Temperatura Máxima Mensual .....	24
Figura 8. Promedio de la Temperatura Mínima Mensual (°C).....	26
Figura 9. Población censada en los Distritos de Tacna .....	28
Figura 10. Esquema de Trabajo del Método Split-Window .....	34
Figura 11. Mapa de Ubicación de la Zona de estudio.....	39
Figura 12. Resultados de Temperatura Mínima (°C) para Periodo Húmedo y Seco ...	44
Figura 13. Resultados de Temperatura Máxima (°C) para Periodo Húmedo y Seco ..	44
Figura 14. Resultados de Humedad Relativa (%) para Periodo Húmedo y Seco.....	45
Figura 15. Resultados Vapor de Agua (W) para Periodo Húmedo y Seco.....	45
Figura 16. Población censada de la ciudad de Tacna .....	46
Figura 17. Análisis Multitemporal de Temperatura Superficial - Periodo Seco.....	48
Figura 18. Análisis Multitemporal de Temperatura Superficial - Periodo Húmedo .....	49
Figura 19. Análisis Multitemporal de la Temperatura Superficial Terrestre del Distrito del Alto de la Alianza – Periodo Seco. ....	51
Figura 20. Análisis Multitemporal de la Temperatura Superficial Terrestre del Distrito del Alto de la Alianza – Periodo Húmedo. ....	52
Figura 21. Suelo erosionado de la zona urbana de la ciudad de Tacna.....	53
Figura 22. Resultado de cobertura mixta de la zona urbana de Tacna .....	54
Figura 23. Mapa representativo de la zona urbana y cobertura mixta NDVI 2013 .....	55
Figura 24. Mapa de Corte Longitudinal NDVI de la zona de estudio.....	56
Figura 25. NDVI del Perfil A-B.....	57
Figura 26. NDVI del Perfil C-D .....	57
Figura 27. Índice de Vegetación Diferencia Normalizada- Periodo seco.....	58
Figura 28. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada- Periodo húmedo .....	59
Figura 29. Índice de vegetación de Diferencia Normalizada, Distrito de Alto de la Alianza - Período Seco .....	60
Figura 30. Índice de vegetación de Diferencia normalizada, Distrito de Alto de la Alianza - Período Húmedo.....	61

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulado “Estimación de Islas de Calor Urbano aplicando el algoritmo de Split Window, para establecer una propuesta de manejo ambiental en la ciudad de Tacna”, en el periodo de 9 años, que comprenden los desde el año 2013 hasta el 2021 tiene como objetivo principal identificar las islas de calor en la zona urbana de la ciudad de Tacna, haciendo uso del algoritmo de Split Window. Utilizando técnicas de teledetección a través de un software especializado en información geográfica, ArcGis, las cuales nos permiten identificar las islas de calor urbano. Para la metodología se emplearon imágenes satelitales Landsat 8. Se realizó una visita de campo para verificar los tipos de coberturas y su comprobación en las imágenes Landsat 8, el cual comprobó tener una adecuada separación espectral para cada una de las coberturas. Al finalizar esta investigación lo más determinante fue desarrollar el procesamiento de las imágenes satelitales con las cuales se obtuvo el índice de vegetación Diferencial Normalizado (NDVI) , radiancia TOA, emisividad , temperatura superficial ,proporción de la vegetación , temperatura de brillo, humedad relativa, para el área urbana de Tacna, con la cual se ha logrado representar en el espacio geográfico multitemporalmente con áreas en km<sup>2</sup> que tiene cada índice ambiental , de esta manera pudimos identificar las islas de calor en la zona urbana de la ciudad de Tacna, haciendo uso del algoritmo de Split Window y así establecer propuestas de manejo ambiental con el fin de mitigar los efectos que las islas de calor urbano ocasionan.

**Palabras clave:** Islas de calor urbana, Temperatura superficial, Proporción de vegetación.

## ABSTRACT

The present research work entitled "Estimation of Urban Heat Islands applying the Split Window algorithm, to establish an environmental management proposal in the city of Tacna", in the period of 9 years, which includes from 2013 to 2021, its main objective is to identify heat islands in the urban area of the city of Tacna, using the Split Window algorithm. Using remote sensing techniques through specialized geographic information software, ArcGis, which allow us to identify urban heat islands. Landsat 8 satellite images were used for the methodology. A field visit was carried out to verify the types of coverage and its verification in the Landsat 8 images, which proved to have an adequate spectral separation for each of the coverages. At the end of this investigation, the most decisive thing was to develop the processing of satellite images with which the Normalized Differential Vegetation Index (NDVI), TOA radiance, emissivity, surface temperature, proportion of vegetation, luminosity temperature, relative humidity, etc. were determined. . for the urban area of Tacna with which it has been possible to represent in the geographical space multitemporally with areas in km<sup>2</sup> that each environmental index has, in this way it was possible to identify the heat islands in the urban area of the city of Tacna, making use of the Split Window Algorithm and thus establishing proposals for environmental management in order to mitigate the effects caused by urban heat islands.

**Keywords:** Urban heat islands, Surface temperature, Proportion of vegetation.

## INTRODUCCIÓN

Los cambios de temperatura son evidentes, tenemos algunas perspectivas de cómo va a cambiar hasta finales del siglo, puede tener un incremento de cuatro a seis grados, estas proyecciones de temperatura van hasta el año 2040, del 2040 hasta el 2070, del 2070 hasta fines de siglo; por lo tanto, van de la mano del Programa de Reducción de Gases de Efecto Invernadero y Emisiones. Estos informes de la ONU para el 2070, hacen mención que los gases de efecto invernadero y todos los contaminantes deberían de reducir, para tratar de evitar también el cambio de temperatura. Las olas de calor producto del incremento de temperatura pueden traer consecuencias a la salud humana como enfermedades respiratorias y cardiovasculares crónicas.

La ICU se genera cuando las temperaturas de una ciudad son muy altas en comparación de la zona rural, esto se debe por el aumento de áreas construidas, la pérdida de vegetación, el aumento del parque automotor, los materiales utilizados para la construcción de edificaciones y pavimentos, contaminantes ambientales.

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo identificar las islas de calor en la zona urbana de la ciudad de Tachna en el año 2021, haciendo uso del algoritmo de Split Window. La metodología que se aplicó con el uso de imágenes satelitales obtenidas por el sensor del Landsat 8 de acuerdo al periodo húmedo y seco, se desarrolló el método del algoritmo Split Window; para ello se utilizó el SoftWare ArcGis para calcular la Proporción de Vegetación, Emisividad, Radiancia, Temperatura de Brillo y así finalmente obtener el resultado de la Temperatura Superficial Terrestre. Identificando las zonas que presentan un índice elevado de temperatura y proponer acciones de manejo ambiental, ayudando a disminuir la cantidad de calor.

## **CAPÍTULO I. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.1. Descripción del problema**

Según Correa, et al. (2003) nos dice en su trabajo de investigación denominado “Isla de calor urbana: efecto de los pavimentos”, que la antropización en las áreas urbanizadas aumenta las condiciones del soporte físico original y cambia el clima natural o macro escalar, dependiendo de la ocupación del territorio, su suelo y volumen de construcción, por las características de la infraestructura vial.

Desde hace varias décadas, distintas áreas urbanas han sido consideradas como Islas de calor urbano (ICU), en donde la temperatura del aire y la temperatura de la superficie son más calientes que el entorno rural. Este fenómeno ha sido encontrado en varias ciudades de todo el mundo. El primer investigador en señalar la diferencia entre la temperatura del aire en una zona urbana y sus alrededores rurales fue Luke Howard en 1818 (Gartland, 2008), en donde señaló la presencia de exceso de calor artificial en Londres.

Según Lima (2021) en su investigación denominada “Determinación de islas de calor urbano en la ciudad de Tacna, mediante el uso de imágenes satelitales”, a medida que crece la zona urbana, crece la población y el medio natural desaparece (ríos, árboles, bosques, etc.) dando paso a la urbanización a través de la construcción de las diversas edificaciones, entre las que se encuentran los materiales de construcción (cemento, asfalto, arena, acero y entre otros) que absorben el calor durante el día. Algunas estimaciones dan a conocer que las ICU puede ser responsables del 30% de todo el calentamiento global, pero otros estudios han afirmado que su contribución es mínima.

### **1.2. Formulación del problema**

#### **1.2.1. Problema General**

¿Cómo identificar las islas de calor en la zona urbana de la ciudad de Tacna?

#### **1.2.2. Problemas Específicos**

a. ¿Cuál es el tipo de cobertura vegetal en la ciudad de Tacna?

- b. ¿Cuál es la relación que existe entre la cobertura vegetal y el incremento de la temperatura superficial, en la zona urbana de la ciudad de Tacna?
- c. ¿Qué solución se pueden establecer para las islas de calor urbano?

### **1.3. Justificación e importancia**

El rápido crecimiento de las ciudades y la urbanización se han convertido en una megatendencia de la sociedad moderna, esta caracterización actual en conjunto con los efectos del cambio climático global ha provocado que las organizaciones internacionales demuestren un interés en el estudio del clima urbano (Moreno, 2016).

Es por ello que en la presente investigación se dará a conocer la problemática de variación del clima de la zona urbana de Tacna haciendo uso del algoritmo de Split Window para poder identificar las islas de calor urbano.

Se identifica la zona urbana, de igual modo se determina el incremento de la Temperatura superficial y la disminución del Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI); lo cual nos permitirá dar medidas de solución, presentando una propuesta de manejo ambiental para las islas de calor urbano utilizando como única fuente de información las imágenes satelitales Landsat 8 con sensor OLI.

### **1.4. Objetivos**

#### **1.4.1. Objetivo General**

Identificar las islas de calor en la zona urbana de la ciudad de Tacna, haciendo uso del algoritmo de Split Window.

#### **1.4.2. Objetivo Específico**

- a. Determinar el tipo de cobertura vegetal (NDVI) en la zona urbana de la ciudad de Tacna
- b. Determinar la relación que existe entre la cobertura vegetal y el incremento de la temperatura superficial, en la zona urbana de la ciudad de Tacna
- c. Establecer una propuesta de manejo ambiental para las islas de calor urbano

## 1.5. Hipótesis

### Hipótesis General

Se podrá identificar las islas de calor en la zona urbana de la ciudad de Tacna, haciendo uso del algoritmo de Split Window.

### Hipótesis Específicas

- a.  $H_1$ : Es posible determinar el tipo de cobertura vegetal en la ciudad de Tacna
- b.  $H_2$ : Existe una relación entre las islas de calor y el incremento de la temperatura superficial, en la zona urbana de la ciudad de Tacna.

$H_0$ : No existe una relación entre las islas de calor y el incremento de la temperatura superficial, en la zona urbana de la ciudad de Tacna.

- c.  $H_3$ : Es factible establecer una propuesta de manejo ambiental para dar solución a las islas de calor urbano

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes del estudio

Según Arellano, et al. (2019) en su artículo denominado “Determinación de Zonas propensas al virus Mancha Blanca en piscinas camaroneras de Puná mediante el cálculo de temperatura superficial con Algoritmo Split- Window”, al calcular la temperatura superficial se identifican áreas donde las piscinas camaroneras del año 2016 y 2017 en la isla Puná son propensas al virus del síndrome de la mancha blanca (WSSV). La temperatura de la superficie se calculó utilizando el algoritmo de ventana dividida propuesto y datos combinados de los sensores Landsat 8 OLI/TIRS y ASTER.

Los datos de emisividad global del sensor ASTER, interpretan una alternativa al método de cálculo de la emisividad basado en la gestión de bandas del mismo sensor, lo cual permite gestionar datos de emisividad más precisos para los cálculos de temperatura superficial.

El método presentado para calcular la temperatura en piscinas camaroneras por teledetección representa un aporte importante en la tecnología y métodos de mantenimiento y cuidados para reducir el riesgo de que las especies de *Litopenaeus vannamei* contraiga el virus de la mancha blanca, de tal manera se puedan identificar posibles áreas infectadas con el virus y así se podría trabajar en el control de las piscinas y mejora de la calidad de producción en el sector camaronero.

El cantón Rumiñahui se ubica al sureste de la Provincia de Pichincha en Ecuador, a unos veinte minutos de Quito, presenta un clima agradable y una temperatura promedio de 17 °C. Este cantón está ubicado en el Valle de los Chillos, ciudad capital de Sangolquí, con una extensión de 134,15 Km<sup>2</sup>. El cantón muestra un notable crecimiento urbano y de vegetación en todo el sector. El propósito de este trabajo es calcular la temperatura superficial para determinar las islas de calor y determinar indicadores como el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) alrededor del área con mayor vigor vegetal, Índice de Diferencia Normalizada Edificada con el cual se identifica la sensibilidad de las áreas urbanizadas en el área de estudio y Diferenciado de Agua Normalizada (NDWI) que se puede usar para identificar las mediciones de la cantidad de agua que posee la vegetación o el nivel de saturación de humedad que posee el suelo (Jami, et al., 2018)

El NDBI está directamente relacionado con la temperatura de la superficie, tiene un alto índice de construcción y la temperatura de la misma forma, muestra cómo ha

disminuido la vegetación, así como también cómo han incrementado las cubiertas urbanas durante años. Un ejemplo del cambio de uso de suelo, se puede observar un mayor grado de vegetación en la imagen del 2001 en comparación con el 2016, como se puede ver en el mapa del cantón rural. La correlación fue directa. En otras palabras, se registraron altas temperaturas en áreas con un índice elevado de construcciones.

Un proyecto de investigación propuesto por Villacorta (2015) titulado “Disminución de las áreas verdes, en la aparición de Islas de calor en la ciudad de Iquitos entre los años 2004-2014” tiene como objetivo evaluar la influencia de la disminución de espacios verdes en la aparición de islas de calor en la ciudad de Iquitos en los últimos diez años. La metodología propuesta para el cálculo del Índice de Vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y método de estimación de temperatura superficial (TST) utiliza el software SURFER y ARCGIS para procesar imágenes satelitales Landsat 7, y mapear áreas urbanas. Es el 15% de la superficie total de Iquitos durante el periodo 2005 al 2014, con una tasa de pérdida anual del 2,22%. Se ha visto que mientras la ubicación de las viviendas se encuentre cercano al centro de la ciudad, menos áreas verdes posee. Y esto sucede en el sector sur de la ciudad de Iquitos, es decir, hay una pendiente de Sur a Norte.

Según Parra et al. (2006) en su artículo denominado “Aplicación de un algoritmo de Split-Window para la estimación de la temperatura de la superficie terrestre desde datos AVHRR-NOAA” cuyo objetivo principal es estimar la temperatura superficial terrestre, en días parciales a completamente despejados; se generó a partir de datos del sensor Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR), a bordo de los satélites de la serie de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) aplicando un algoritmo basado en el método de Split-Window.

La aplicación del algoritmo de ventana dividida ha permitido estimar la temperatura superficial, a partir de los datos proporcionados por los canales 4 y 5 del sensor AVHRR. Además del contenido de vapor de agua atmosférico, su implementación requiere conocer las temperaturas radiométricas, la emisividad media en la ventana atmosférica 10,3-12.5  $\mu\text{m}$  y la variación espectral de la emisividad en esta ventana, además del contenido de vapor de agua atmosférico.

Al aplicar este algoritmo se ha hecho posible obtener la temperatura de la superficie terrestre con una alta confiabilidad y con un RMSE de menos del 1%. Este valor fue inferior al valor calculado con otros algoritmos del tipo Split-Window. Lo anterior, puede deberse a las mejoras observadas en la base de datos utilizada para elaborar el modelo y algoritmo de transmisión radiactiva.

Así mismo Vélez y Vera (2018) en su proyecto denominado, trata sobre los riesgos que presentan las islas de calor urbano (ICU) en la ciudadanía en general, así como también busca saber el grado de conocimiento y percepción que tienen los habitantes de Durán acerca de este fenómeno térmico aplicando la metodología Design Thinking. Luego utilizando los manuales 42 y 58 de la CEPAL utilizó las metodologías del Marco Lógico y Evaluación de Multicriterios para encontrar alternativas de mitigación bajo evaluación de criterios antes de su futura implementación. Donde la solución promedio más preferida por los actores entrevistados es la alternativa “aumentar la educación y actividades de alcance público en la comunidad en lo referente a las ICU”. Y en segunda instancia las alternativas de la implementación de zonas verdes, comunales; modificar el reglamento de construcción en conjunto con adecuados permisos para construir y utilizar materiales que no retengan calor, es por ello fueron evaluadas como alternativas viables en el mediano y largo plazo, no obstante, su implementación resultaría costosa pero respetuosa con el ambiente.

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. Algoritmo Split Window**

El método del Algoritmo Split Window conocido también como el método de ventana dividida. En el caso del Landsat 8, para calcular la temperatura superficial se utilizan dos bandas térmicas del satélite (banda 10 y banda 11). La técnica de ventana dividida se basa en el concepto de absorción diferencial. Esto se basa en que los efectos atmosféricos se caracterizan por diferencias de radiancias o temperaturas medias entre dos bandas espectrales diferentes (Andrés, 2019).

### **2.2.2. Cobertura de la vegetación**

De acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental (2008) se considera a las zonas rurales, las zonas con vegetación y la tierra partes principales del paisaje donde nos favorece sombras y reduce la temperatura de la superficie. También ayuda a disminuir la temperatura del aire a través de un proceso llamado evapotranspiración, que elimina el calor ambiental. Por el contrario, las áreas urbanas se caracterizan por superficies estructuralmente secas e impermeables, como techos tradicionales, aceras, caminos y estacionamientos.

### **2.2.3. Intensidad de la isla de calor urbano**

Galvez (2013) afirma que la Intensidad de la Isla de Calor Urbano (IICU) es una medida de su intensidad y tamaño, y se refiere a la máxima diferencia de temperatura que se puede alcanzar con el calor máximo térmico dentro de la capa dosel urbana (CDU), con respecto a la del entorno natural más inmediato para un momento dado.

### **2.2.4. Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI)**

Según Muñoz (2013), en su proyecto de investigación “Apuntes de Teledetección: Índices de Vegetación”, afirma que el Índice de Vegetación Diferencial Normalizado, es el más conocido de todos, y el más utilizado en aplicaciones de todo tipo. Las razones principales son la simplicidad del cálculo y la variación de rango fijo (entre  $-1$  y  $+1$ ), lo que permite comparar imágenes y establecer umbrales.

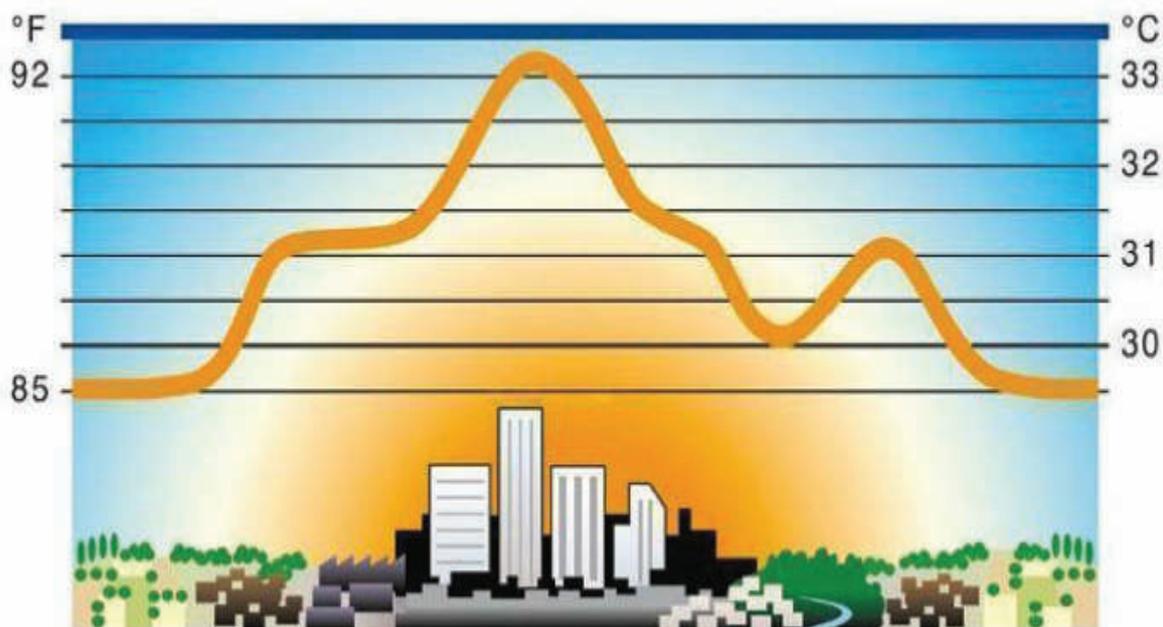
De manera similar Eugene (2020), afirma que el NDVI se utiliza para cuantificar el verdor de la vegetación, evaluar los cambios en la salud de las plantas y entender la densidad de la vegetación.

### **2.2.5. Islas de calor urbano**

Las islas de calor, hacen alusión al gradiente térmico que existe en medio de los espacios densamente habitados y construidos.

Por lo tanto, las islas de calor urbana son las modificaciones climáticas más estudiadas, desde 1817 cuando Luke Howard (Audeguy, 2007) se convierte en el primer investigador en detectar la presencia de este fenómeno cuando afirmó que en la zona céntrica de Londres a comparación de las zonas que se encuentran en las zonas de los campos, se percibía los niveles altos de temperatura.

El patrón espacial de la isla de calor es concéntrico, si percibiéramos una sección transversal de la ciudad, se observaría las temperaturas altas en las áreas que se encuentran en zona del centro o densamente habitadas, y la temperatura va descendiendo hacia la periferia (Figura 1). Dicho patrón trae consigo un avanzado déficit de las zonas vegetales, siendo sustituidos por superficies que no son permeables como el ladrillo, concreto, asfalto, etc., lo que provoca un incremento de la temperatura de las zonas urbanas.

**Figura 1***Perfil de Isla de Calor Urbana*

*Nota.* Perfil térmico de la isla de calor urbana generado por una ciudad (Martín León, 2017)

Por otro lado, Gartland (2008) nos dice que las islas de calor se forman en las superficies urbanas y suburbanas, ya que la mayor parte de los materiales, por las cuales están construidas, en efecto no posibilitan el desarrollo de la irradiación, tienden a atraer y mantener mayor calor reflejado procedente del sol y suelen tener temperaturas superiores a los materiales del área rural.

Según (Oke, 1987) las causas de la ICU son las siguientes:

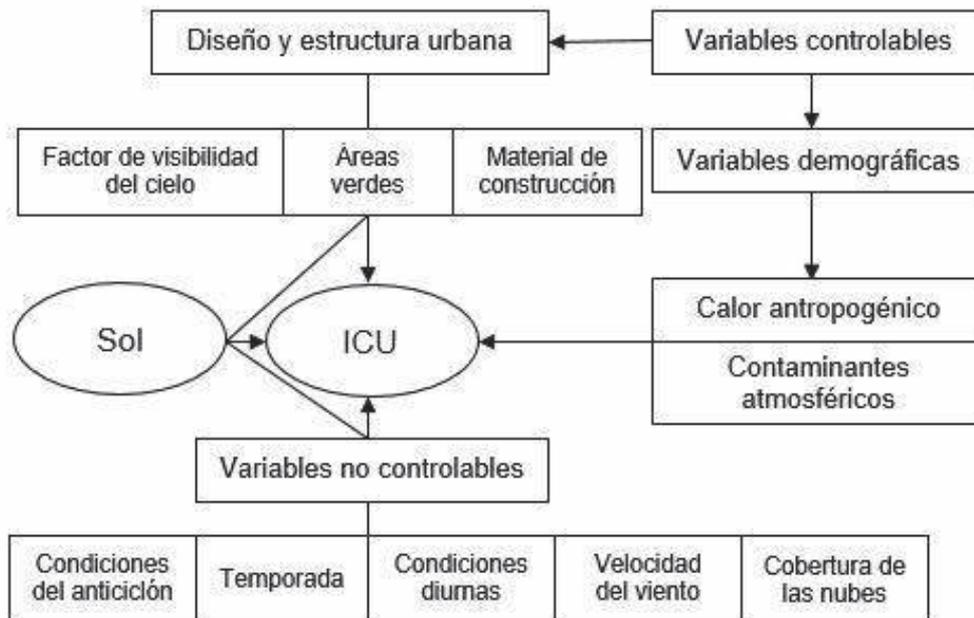
- a. Bajo nivel de evapotranspiración debido al desbroce de la vegetación.
- b. Mayor absorción de la emisión solar debido al débil albedo.
- c. Impedimento del flujo de aire por rugosidad más elevada.
- d. Alta cantidad de liberación de calor antropogénico.

**A. Factores que influyen a la presencia de la ICU.** El efecto ICU es generado por diferentes variables, las cuales pueden ser divididas en dos grupos, controlables y no controlables (Figura 2). Las primeras son aquellas relacionadas al desarrollo y planificación urbana, las que podrían ser modificadas por las personas. El segundo tipo, son los factores que no pueden

ser controlados, como las variables climáticas: velocidad del viento, cobertura de nubes, entre otros factores ligados al medio ambiente (Rizwan et al. 2008).

**Figura 2**

*Variables que Generan las Islas de Calor Urbano*



*Nota.* De acuerdo a lo propuesto por Rizwan et al. (2008), nos indica que se podría considerar como variables factores relacionadas al desarrollo y planificación urbana y factores ligados al medio ambiente.

**B. Componentes de las Islas de Calor Urbano.** Conforme con Voogt se visualiza a continuación en la figura 3 la representación esquemática de los componentes fundamentales de la atmósfera urbana, las cuales son simbolizadas de la siguiente manera:

- a. La capa de dosel (CDU): Nos referimos a la capa de aire en las ciudades que está más próxima a la superficie, la cual se esparce a una altura mediana a las edificaciones.
- b. La capa perimetral (ICCP): Es aquella capa la cual puede ser de un espesor de 1 kilómetro (km) o más en horas del día, y durante las horas de noche se acorta en metros.

- c. La capa superficial (ICS): En esta capa se forma una cúpula de aire la cual tiene una temperatura caliente que se va en dirección del viento en la ciudad.

**C. Características de las islas de calor.** Existe un conjunto de patrones que se acostumbra a reiterar en todas las ciudades en las cuales se producen las islas de calor. (Gartland, 2008).

- Las islas de calor suelen ser áreas con temperaturas más altas que sus entornos más próximos (áreas con densidades más bajas), pero con diferentes tipos de comportamiento dependiendo el momento del día. En su mayoría, al ocaño se alcanzan las mayores diferencias térmicas.

**Figura 3**

*Componentes de las Islas de Calor*



*Nota.* De acuerdo a lo trabajado por Lima (2021) nos indica que las Islas de Calor Urbana se presentan sobre las zonas donde consideramos mayor infraestructura urbana.

- La temperatura del aire suele estar condicionada por el calor de las superficies urbanas, es decir, por aquellas áreas de la ciudad donde los materiales empleados tienen valores de albedo inferiores a elementos naturales (37 % aproximadamente).
- La variedad de temperatura sucede cuando las condiciones del tiempo son de vientos en calma y cielos despejados.
- Mientras más alto sea el grado de desarrollo urbano y una vegetación mínima, más alto será el tamaño e intensidad de la isla de calor.

- Suelen generar la aparición de alteraciones térmicas cerca a los 2 Km. de altitud sobre las ciudades, ocasionando la concentración de contaminantes e impidiendo su dispersión.

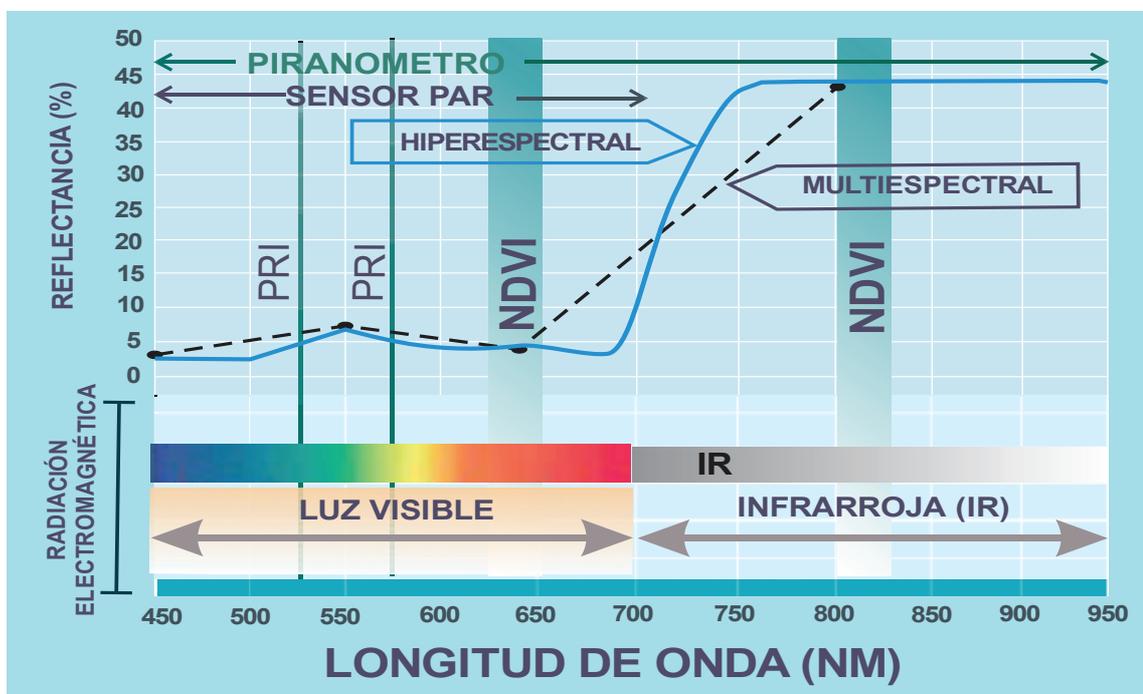
### 2.2.6. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

El Índice de Vegetación Diferencial Normalizado se emplea como indicador de las propiedades estructurales de la cubierta vegetal, también está relacionado con el área foliar, con el índice del área foliar, en percepción de la luz y la acumulación de la biomasa. Los valores del NDVI está en función de la energía absorbida o despejada por las plantas a lo largo del espectro electromagnético; lo que quiere decir, que tiene una vegetación sana, sin problemas de estrés o una falta de agua; muestra un contraste entre el espectro visible y principalmente en la banda roja y en el infrarrojo cercano.

En la figura 4 representa la energía del espectro visible, también aparece representado lo que corresponde con el espectro de reflectancia de una cubierta de vegetación sana, sin problemas de estrés o falta de agua.

**Figura 4**

*Reflectancia Espectral NDVI*



*Nota.* Se observa una de las curvas típicas de reflectancia de las cubiertas mencionadas, se ve que en la zona del espectro visible correspondiente al verde hay una mayor reflectancia mientras

en tanto como en la zona del azul y el rojo disminuye, y a medida que avanzamos en el espectro y llegamos al infrarrojo éste vuelve aumentar (Rodrigo, 2015).

En el visible los pigmentos de la hoja absorben la mayor parte de la energía que reciben; y en el infrarrojo cercano las paredes de las células de las hojas al encontrarse estas células bien hidratadas reflejan una mayor energía. En cambio, cuando la vegetación sufre algún tipo de estrés, ya sea por la presencia de plagas, enfermedades, cuando hay una ausencia de agua o sequías, éstas se producen un cambio en estos patrones de reflectancia ya mencionado; de manera que en la zona del rojo hay una mayor reflectividad y disminuye en la zona del infrarrojo cercano.

Estos cambios son sensibles de ser medidos, y podemos diferenciar la emisión o la reflectividad de una cubierta que está sana, se puede trabajar con relativa facilidad y clasificar las respuestas espectrales.

### **2.2.7. Imágenes Satelitales Landsat 8**

Este satélite fue lanzado el día 11 de febrero del año 2013 y sus imágenes estuvieron disponibles a partir del 30 de mayo del mismo año, cuenta con dos sensores: OLI (por sus siglas en inglés Operational Land Imager) y TIRS (por sus siglas en inglés Thermal Infrared Sensor). Esta misión permite al público acceder a nueve bandas espectrales, con resoluciones espaciales de 15, 30 y 100m. para sus imágenes pancromáticas, multiespectrales y termales, respectivamente (Vea la Tabla 1). Las principales diferencias de las bandas de este satélite con su predecesor, es que él cuenta con una nueva banda ultra-azúl (Banda 1), una nueva banda para la detección de cirrus (Banda 9) y dos bandas termales (Bandas 10 y 11) en lugar de solo una banda termal como en el Landsat 7 (USGS, 2021).

**Tabla 1***Características de las Banda del Landsat 8*

<b>Banda</b>	<b>Longitud de onda (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Resolución (m)</b>
Banda 1 – Aerosol de la costa	0,43 – 0,45	30
Banda 2 – Azul	0,45 – 0,51	30
Banda 3 – Verde	0,53 – 0,59	30
Banda 4 – Rojo	0,64 – 0,67	30
Banda 5 – Infrarrojo cercano (NIR)	0,85 – 0,88	30
Banda 6 – Infrarrojo de onda corta (SWIR 1)	1,57 – 1,65	30
Banda 7 – Infrarrojo de onda corta (SWIR 2)	2,11 – 2,29	30
Banda 8 – Pancromático	0,50 – 0,68	15
Banda 9 – Cirrus	1,36 – 1,38	30
Banda 10 – Infrarrojo térmico (TIRS 1)	10,60 – 11,19	100 * (30)
Banda 11 – Infrarrojo térmico (TIRS 2)	11,50 – 12,51	100 * (30)

*Nota.* Las bandas TIRS son adquiridas con una resolución de 100 m., pero son re muestreados a 30 m. para el producto final (USGS, 2021).

**2.2.8. Plan de manejo ambiental**

Es el conjunto de actividades, que tienen como objetivo prevenir, mitigar, corregir o contrarrestar los impactos y efectos ambientales ocasionados por alguna actividad humana; estos planes se llevan a cabo realizando, monitoreo, contingencia y seguimientos según la naturaleza del proyecto, obra o actividad (Martinez, 2009), cumpliendo la legislación ambiental y garantizar que se alcance estándares que se establezcan.

**2.2.9. Sistema de información geográfico**

Es un sistema que está compuesto por un conjunto de recursos, cuyo objetivo fundamental es la elaboración de nueva información como apoyo a cualquier proceso de toma de decisiones. Entre estos recursos encontramos: el software, los equipos informáticos, los datos, la información geográfica, los procedimientos que se van a utilizar para realizar análisis sobre los datos y los recursos humanos que deben de tener una información adecuada para gestionar de forma correcta el sistema. De acuerdo con (Lantada y Núñez, 2002) las aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica son demasiadas y distintas, las más frecuentes que podemos encontrar son estudios de impacto ambiental, cambios de usos del suelo, mapas de riesgos, reforestaciones,

transporte, producción cartográfica, distribución de aguas, gas y electricidad, catastro, gestión municipal. Sus principales componentes son: contenido, equipo básico, equipo lógico, administrados y usuarios.

Según (Olaya, 2014) una manera de comprender el sistema SIG es que está conformado por una serie de subsistemas, cada uno de ellos encargado de una serie de funciones particulares. Es usual citar tres subsistemas fundamentales:

- a. Subsistema de datos: Encargado de las operaciones de entrada y salida de datos, y la gestión de estos dentro del SIG. Los datos se podrán obtener de distintas fuentes: GPS, sensores remotos, fotografías aéreas, archivos formatos shapefile, archivos Excel, archivos CAD, etc. Permite a los otros subsistemas tener acceso a los datos y realizar sus funciones en base a ellos.
- b. Subsistema de visualización y creación cartográfica. Elabora representaciones a partir de los datos (mapas, leyendas, etc.), concediendo así la interacción con ellos. Así mismo incorpora las funcionalidades de edición.
- c. Subsistema de análisis. Abarca métodos y procesos para el análisis de los datos geográficos.

Algunos Software más comunes y utilizados para el análisis e interpretación de la información geográfica son:

- a. **ArcGIS**. actualmente es la tecnología de referencia en los Sistemas de Información Geográfica (SIG), que tiene por finalidad administrar, procesar y obtener respuestas de imágenes y datos tele detectados. Además de este, existen otros softwares SIG que sirven para analizar la información geográfica obtenida.
- b. **QGIS**. Con este software es posible utilizar formatos de datos ráster y vectoriales mediante uso de bibliotecas y bases de datos, donde radican sus grandes capacidades.

### **2.2.10. Temperatura superficial**

La temperatura superficial terrestre se relaciona a la sensación de calor medida en la superficie de la tierra en una ubicación geográfica en especial. Su estimación se obtiene a partir de las temperaturas de brillo las cuales se encuentran en la superficie de la atmósfera. Los resultados de su estimación dependerán del albedo, de las áreas verdes y de la humedad del suelo de acuerdo a lo que se menciona en el documento Copernicus Global Land Service (2016)

Según Sarricolea y Vide (2014) el cálculo de la temperatura superficial terrestre es de suma importancia en estudios de climatología en la superficie terrestre y oceánica, y se obtiene debido a la relación entre la energía emitida por la superficie y la receptionada en el sensor, no obstante, la radiancia que llega al sensor desde el objeto de estudio puede presentar distorsiones en sus valores por el efecto intrusivo de la atmósfera, lo cual se corrige mediante algoritmos matemáticos (Sarría, 2018)

El aumento de la temperatura se la puede relacionar también con las enfermedades transmitidas por vectores (dengue, malaria, encefalitis, fiebre amarilla). Los estudios documentan un incremento de dos grados en la temperatura debido a una reproducción rápida de los patógenos; de tal manera afecta esas enfermedades comunes a zonas tropicales gracias a la variabilidad climática. Según Skokóvic, et al. (2014) ha calibrado los parámetros de este algoritmo Split Window para que pueda ser aplicado a las bandas térmicas del Landsat 8

### **2.2.11. Zona urbana**

La urbanización es un proceso que concentra a la población y a las actividades en las ciudades, esto, no solo conlleva a un aumento demográfico, sino también a cambios a nivel económico y cultural, que pueden variar las políticas del Estado (Bottino, 2009).

Un siglo atrás, el 14 % de la población mundial vivía en las ciudades, en cambio hoy alcanza el 50 %, si bien en algunos países desarrollados dichas cifras se aproximan a 75 y 80 %. El incremento de la población humana continúa su carrera exponencial a una tasa media de 1% anual, mientras que el crecimiento urbano, a una velocidad mayor (1,8 %) (Naciones Unidas (ONU), 2001).

De acuerdo con el Intergovernmental Panel on Climate Change (2001) el clima de la Tierra está variando y la temperatura mundial de la superficie ha aumentado desde finales del siglo XIX; la mayor parte del aumento se ha dado después de 1976, siendo

la década de los noventa la más cálida. Este fenómeno ha sido más visible en el hemisferio norte.

La temperatura urbana es afectada no sólo por condiciones humanas como la altura y densidad de las construcciones y el tipo de superficies, sino también por condiciones naturales como los vientos, humedad, precipitación y nubosidad (Givoni, 1998).

## **2.3. Definición de términos**

### **2.3.1. Algoritmo Split Window**

Algoritmo que permite el cálculo de temperatura superficial a partir de las bandas térmicas 10 y 11 en Landsat 8.

La técnica Split-Window está basada en el concepto de absorción diferencial, la cual se refiere en que el efecto atmosférico puede caracterizarse a partir de la diferencia entre las radiancias o temperaturas medidas en dos bandas espectrales distintas (Andrés, 2019).

### **2.3.2. Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI)**

Es un indicador simple que nos permite observar áreas con cobertura vegetal en el mapa, ayudándonos a determinar su estado general, es decir, nos permite calcular la salud de la vegetación (Toribio, 2019)

### **2.3.3. Islas de calor urbano**

Las islas de calor urbano es el incremento térmico desarrollados en ciudades donde se dan grandes diferencias de Temperatura entre la parte central urbanizada (presencia de grandes edificios y muchas zonas asfaltadas) y zonas de barrios periféricos donde las temperaturas son inferiores. Trayendo efectos graves para la salud de los habitantes de la ciudad.

#### **2.3.4. Temperatura superficial**

Es un parámetro donde comprende las mediciones de temperatura de acuerdo a sus factores que son provocados de manera antropogénicos y natural; donde los rayos del sol son absorbidos y re-emitidos (Greenurbandata, 2019).

#### **2.3.5. Temperatura de Brillo**

No es la temperatura de la superficie terrestre. Según Sarría (2018) la temperatura de brillo la define como la existente en la superficie de la atmósfera (o en el suelo sin atmósfera y sin influencia de las características emisivas de las superficies).

## **CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO**

### **3.1. Diseño de la investigación**

En cuanto al método científico, se basa en la investigación básica, fundamentada en hechos, datos y fenómenos naturales. El nivel de la investigación es de tipo descriptivo, ya que se pretende determinar la Estimación de Islas de Calor Urbano aplicando el Algoritmo de Split Window, pero también tiene un carácter correlacional ya que se pretende medir la cobertura vegetal (NDVI) y la temperatura superficial (TST) y se pretende determinar si están relacionadas entre si y en base a esto poder establecer una propuesta de manejo ambiental en la ciudad de Tacna.

### **3.2. Acciones y actividades**

En cuanto a las acciones y actividades realizadas en la presente investigación se desarrolló de acuerdo a los objetivos planteados.

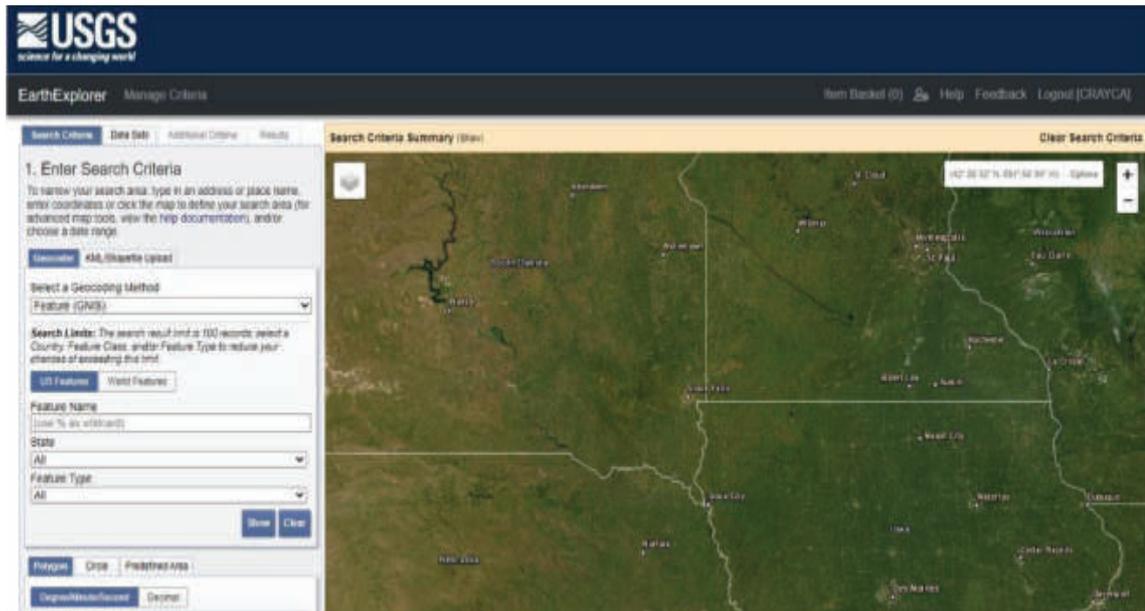
#### **3.2.1. Islas de Calor Urbana**

##### **a. Descarga de Imágenes Satelitales**

Para este trabajo se utilizó Imágenes Landsat 8, ya que las resoluciones espaciales y temporales en comparación con la de otros satélites, presentan un gran cantidad de imágenes tanto antiguas como de la actualidad, lo que determino es que todos sus productos del nivel 1 sean totalmente gratuitos y de acceso libre.

Figura 5

Plataforma para descarga de Imágenes Satelitales



*Nota.* Una de las diferentes maneras de acceder a los productos Landsat de manera gratuitas es mediante la página del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), del servidor Earth Explorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>).

La web de la USGS, como se observa en la figura 5, se considera más completa ya que no solo permite descargar de nivel 1 de Landsat 8, sino también las más recientes de este mismo Landsat las cuales son de nivel 3. Las bandas del infrarrojo térmico del Landsat 8 son las más primordiales para el presente trabajo, ya que se utilizarán para realizar el cálculo de la temperatura superficial terrestre, cabe resaltar que también serán necesarias las bandas del óptico para cálculos intermedios, todas ellas son: las bandas 4 y 5 del sensor OLI y 10 y 11 del sensor TIRS.

Las imágenes satelitales corresponden al periodo de 2013 – 2021, realizando el análisis multitemporal de los Índices de Calidad Ambiental.

Se utilizaron imágenes del periodo seco (meses de julio-diciembre) y períodos húmedos (meses de enero-abril). Las imágenes procesadas se muestran en la siguiente tabla 2.

**Tabla 2****Descarga de Imágenes Satelitales**

Año	Fecha	Sun Elevation	ID
Periodo Seco			
2013	1/09/2013	51,73152681	LC08_L1TP_002072_20130901_20170502_01_T1
2014	22/10/2014	64,51472978	LC08_L1TP_002072_20141022_20170418_01_T1
2015	23/09/2015	57,83507007	LC08_L1TP_002072_20150923_20170403_01_T1
2016	9/09/2016	53,91253572	LC08_L1TP_002072_20160909_20180129_01_T1
2017	28/09/2017	59,43936981	LC08_L1TP_002072_20170928_20171013_01_T1
2018	14/08/2018	46,17617833	LC08_L1TP_002072_20180814_20180828_01_T1
2019	2/09/2019	51,56942507	LC08_L1TP_002072_20190902_20190916_01_T1
2020	20/09/2020	57,24640703	LC08_L1TP_002072_20200920_20201006_01_T1
2021	22/08/2021	48,50610053	LC08_L1TP_002072_20210822_20210827_01_T1
Periodo Húmedo			
2013	5/04/2013	52,29885469	LC08_L1TP_002072_20130405_20200913_02_T1
2014	28/03/2014	53,49460084	LC08_L1TP_002072_20140328_20200911_02_T1
2015	31/03/2015	52,86335843	LC08_L1TP_002072_20150331_20200909_02_T1
2016	2/04/2016	52,4330742	LC08_L1TP_002072_20160402_20200907_02_T1
2017	5/04/2017	54,213348	LC08_L1TP_002072_20170405_20170414_01_T1
2018	7/03/2018	56,14865579	LC08_L1TP_002072_20180307_20180320_01_T1
2019	10/03/2019	55,84381865	LC08_L1TP_002072_20190310_20190325_01_T1
2020	12/03/2020	55,5777842	LC08_L1TP_002072_20200312_20200325_01_T1
2021	16/04/2021	49,80789217	LC08_L1TP_002072_20210416_20210424_01_T1

*Nota.* Datos del Periodo Seco y Periodo Húmedo de las Imágenes Satelitales para los años comprendidos del 2013 al 2021.

**b. Datos meteorológicos**

Para realizar el procesamiento de los datos meteorológicos se solicitó la información al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Los datos corresponden a la estación Jorge Basadre Grohmann.

En la siguiente tabla 3 y figura 6 se muestran los datos de humedad relativa recolectados.

**Tabla 3**

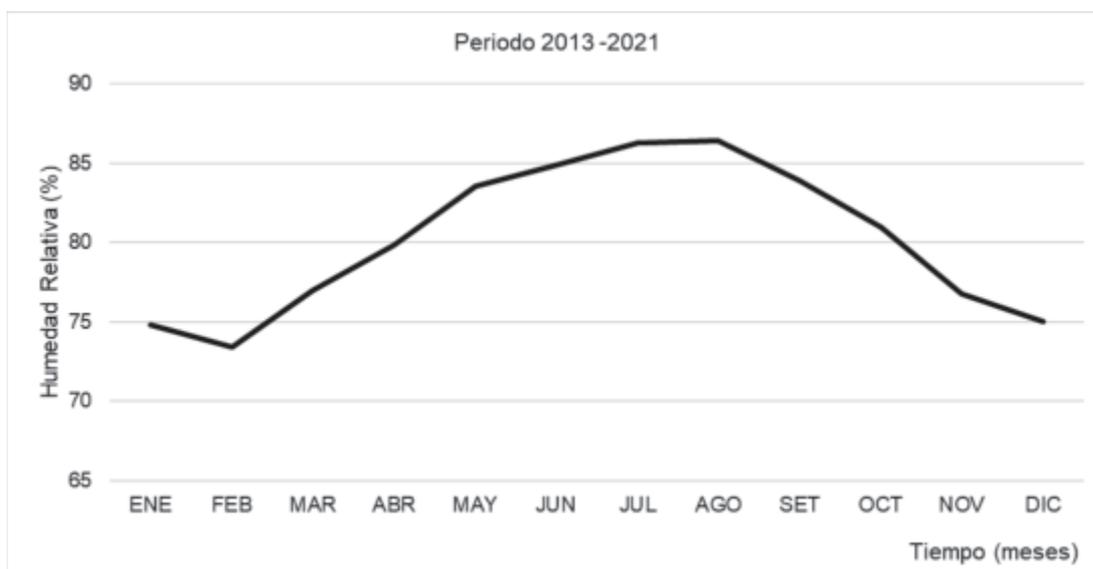
*Datos de Humedad Relativa (%)*

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2013	74	68	74	73	78	80	83	82	80	77	72	71
2014	73	75	74	80	84	84	80	79	84	77	74	73
2015	72	70	71	76	82	83	84	85	82	85	84	82
2016	72	71	75	78	82	81	81	79	78	73	69	67
2017	69	64	73	74	80	90	95	98	85	80	78	81
2018	89	88	88	86	89	85	90	84	79	78	75	70
2019	73	74	76	78	83	87	88	89	88	80	75	71
2020	71	70	74	0	0	0	83	89	86	86	81	80
2021	79	82	88	93	92	91	92	93	93	91	83	80
Promedio	75	73	77	71	74	75	86	86	84	81	77	75
Máximo	89	88	88	93	92	91	95	98	93	91	84	82
Mínimo	69	64	71	0	0	0	80	79	78	73	69	67
Desv Estándar	6	7	6	27	28	29	5	6	5	6	5	6

*Nota.* Registro de datos estadísticos como promedio, máximo, mínimo y Desviación Estándar de la Humedad Relativa (%) para los años comprendidos del 2013 al 2021.

**Figura 6**

*Promedio de Humedad Relativa (%)*



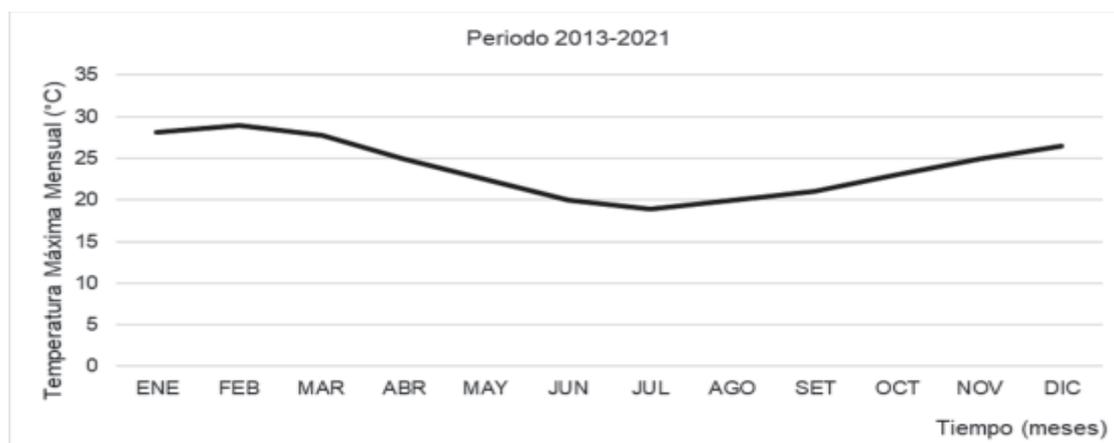
*Nota.* Se muestra el promedio mensual del registro de los años 2013 al 2021 de la Humedad Relativa se mantiene en promedio los seis primeros meses y se incrementa desde julio hasta octubre hasta en un 86 % y dos últimos meses vuelve a descender.

En los datos de temperatura máxima mensual como se observa en la tabla 4 y figura 7 los valores oscilan entre los 18 y 30 °C, para la temperatura máxima mensual, se tiene que los valores más altos (30 °C) se dan en los meses de verano y en los meses de invierno se tiene datos de hasta 18 °C, en los meses de que corresponden a otoño y primavera se tienen temperaturas entre 21 y 26 °C.

**Tabla 4***Datos de Temperatura Máxima Mensual (°C)*

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2013	28	0	27	24	22	20	18	19	21	23	25	27
2014	29	28	27	24	22	19	19	20	20	23	25	26
2015	27	29	29	26	23	21	20	21	23	23	25	27
2016	28	30	29	26	23	21	20	21	23	24	26	27
2017	29	30	28	26	23	20	19	20	20	23	25	26
2018	28	29	27	25	23	19	19	20	22	23	26	27
2019	28	29	27	25	22	20	18	20	21	22	25	27
2020	28	29	28	0	0	0	19	20	21	23	24	26
2021	28	28	27	24	22	19	18	19	19	22	24	26
Promedio	28	26	28	22	20	18	19	20	21	23	25	27
Máximo	29	30	29	26	23	21	20	21	23	24	26	27
Mínimo	27	0	27	0	0	0	18	19	19	22	24	25
Desv.Stándar	1	10	1	8	7	7	1	1	1	1	1	1

*Nota.* Registro de datos de Temperatura Máxima Mensual (°C). Se presentan también datos estadísticos como máximo, mínimo, desviación estándar para los años comprendidos del 2013 al 2021.

**Figura 7***Promedio de la Temperatura Máxima Mensual*

*Nota.* Se muestra el promedio mensual del registro de los años 2013 al 2021 de la Temperatura Máxima (°C) los tres primeros meses se tiene los mayores porcentajes y desde los meses de abril hasta septiembre se tienen los valores promedios y los tres últimos meses vuelven a ascender.

Para los datos de temperatura mínima mensual como se observa en la tabla 5 y figura 8 los valores oscilan entre los 10 y 19 °C, para la temperatura mínima mensual, se tiene que los valores más altos (20 °C) se dan en los meses de verano y en los meses de invierno se tiene datos de hasta 10 °C, en los meses de que corresponden a otoño y primavera se tienen temperaturas entre 10 y 13 °C

**Tabla 5**

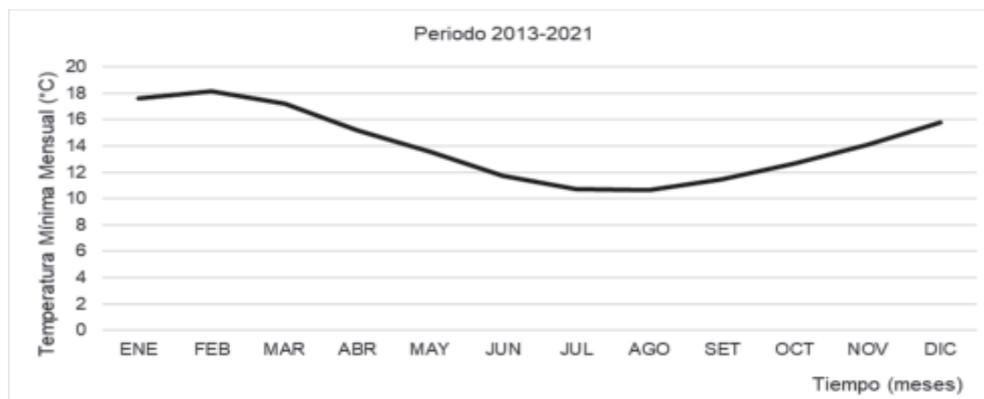
*Datos de Temperatura Mínima Mensual (°C)*

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2013	16	18	16	13	13	11	10	10	12	12	14	16
2014	17	16	16	15	14	11	10	11	12	13	15	16
2015	17	19	18	17	15	13	11	11	13	14	15	16
2016	18	19	18	16	13	12	11	11	12	13	14	16
2017	20	19	18	15	14	13	11	11	11	12	14	15
2018	17	18	17	16	14	12	11	11	12	13	15	16
2019	18	19	17	15	13	12	11	10	11	12	15	16
2020	19	19	19	0	0	0	10	10	11	13	13	16
2021	17	17	17	15	13	11	10	10	10	11	13	16
Promedio	18	18	17	13	12	10	11	11	11	13	14	16
Máximo	20	19	19	17	15	13	11	11	13	14	15	16
Mínimo	16	16	16	0	0	0	10	10	10	11	13	15
Desv.Estándar	1	1	1	5	5	4	1	1	1	1	1	0

*Nota.* Registro de datos Temperatura Mínima Mensual (°C). Se presentan también datos estadísticos como máximo, mínimo, desviación estándar para los años comprendidos del 2013 al 2021.

## Figura 8

*Promedio de la Temperatura Mínima Mensual (°C)*



*Nota.* Se muestra el promedio mensual del registro de los años 2013 al 2021 de la Temperatura Mínima (°C) los tres primeros meses se tiene los valores más altos en temperatura y desde los meses de abril hasta septiembre se tienen los valores promedios en cuanto a los últimos dos meses vuelven a ascender.

### c. Población

Los distritos que fueron seleccionados del Departamento de Tacna son: Distrito de Tacna, Distrito de Coronel Gregorio Albarracín Lanchipa, Distrito Alto de la Alianza, Distrito de Ciudad Nueva, Distrito de Pocollay y el Distrito de Calana. De acuerdo a las cifras reportadas según BCRP-Arequipa (2022) en el Censo de Población y Vivienda 2017, el número de habitantes en el departamento de Tacna es de 329 332, lo que representa el 1,1 % de la población nacional. La tasa de crecimiento promedio anual entre 2007 - 2017 fue de 1,3 %, habiendo incrementado en este periodo en 40 mil 551 habitantes.

En el departamento, observamos una distribución equitativa por género, donde el 50,3 % de la población son de género femenino y se registra un 49,7% de población masculina. Por otro lado, según la distribución por grupos de edad, y con base a la información del Censo realizado en el año 2017, el mayor número de personas en el departamento se concentra en el rango de edades que oscila entre los 15 y 64 años (69,8 %), luego se encuentra el grupo de 0 a 14 años (23,0 %) y los habitantes de 65 a más años (7,2 %). Además, el mayor porcentaje de la población se ubica en las provincias de Tacna y Jorge Basadre, con el 93,0 % y el 3,3 %, respectivamente. En especial la zona urbana del Departamento de Tacna tiene una población de 286 240

habitantes, se considera como parte fundamental la recolección de información, por tanto, se procesó los datos de los censos poblacionales de los últimos años 1993, 2005, 2007 y 2017. El resumen de esta información se muestra en la siguiente Tabla 6 y figura 9.

**Tabla 6**

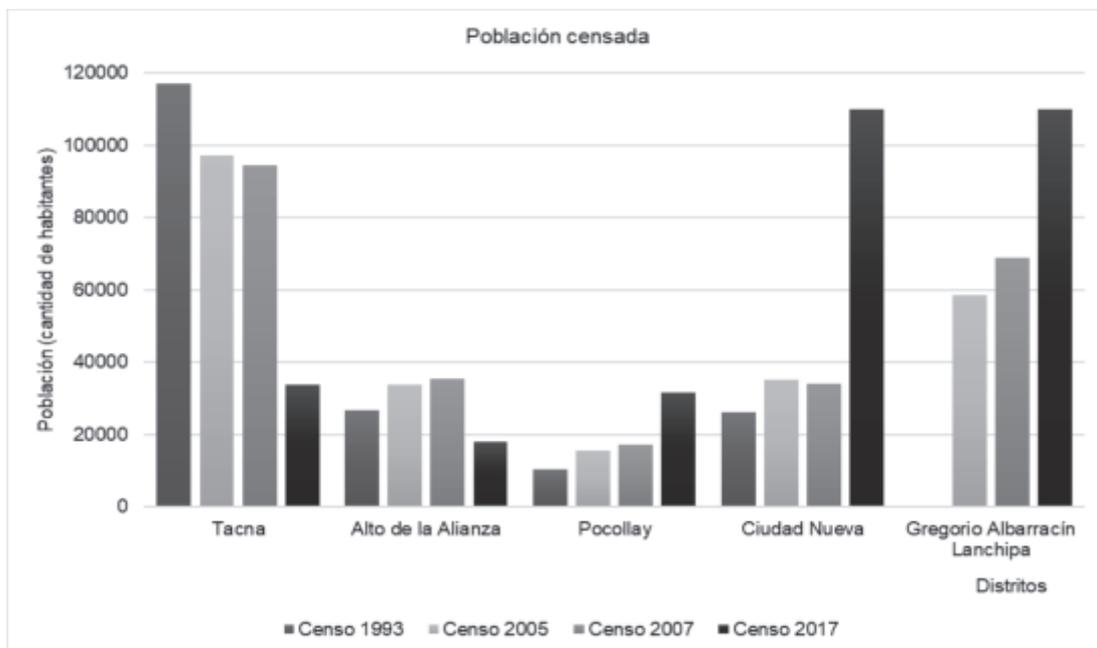
*Dato Poblacional de los Distritos de la Zona Urbana de la región de Tacna*

Distritos	Tacna	Alto de la Alianza	Pocollay	Ciudad Nueva	Gregorio Albarracín Lanchipa	Total	% de Hombres y Mujeres
Censo 1993							
Hombres	58756	13403	5415	13410	0	90984	50,36
Mujeres	58412	13469	5030	12768	0	89679	49,64
Total	117168	26872	10445	26178	0	180663	100,00
%	65	15	6	14	0		
Censo 2005							
Hombres	48231	16871	7871	17824	29038	119835	49,88
Mujeres	49016	17006	7632	17243	29511	120408	50,12
Total	97247	33877	15503	35067	58549	240243	100,00
%	40	14	6	15	24		
Censo 2007							
Hombres	46138	17492	8697	16965	33973	123265	49,27
Mujeres	48290	17947	8416	17266	35016	126935	50,73
Total	94428	35439	17113	34231	68989	250200	100,00
%	39	15	7	14	29		
Censo 2017							
Hombres	44485	16805	9 272	15 661	53 482	139705	48,81
Mujeres	47898	17153	8 735	16 116	56 633	146535	51,19
Total	33958	18007	31777	110115	110115	286240	100,00
%	14	7	13	46	46		

*Nota.* Data de censos del portal web del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2022).

### Figura 9

*Población censada en los Distritos de Tacna*



*Nota.* Data de censos del portal web del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2022).

#### d. Procesamiento de la imagen satelital

Para el procesamiento de la imagen satelital se realizó los siguientes pasos:

**Corrección radiométrica: Radiancia TOA.** En el caso de los datos de Landsat 8, están derivados en 16 bits en un formato que no se encuentra cifrado y pueden ser re-escalados a radiancia en el techo de la atmósfera (Top - Of - Atmosphere, TOA), para ello se utilizan los coeficientes radiométricos que se observan en la siguiente tabla 7, que se encuentran incluidos en el archivo de metadatos.

**Tabla 7***Coefficiente de Calibración en los Metadatos*


---

 Radiance mult\_band
 

---

Banda\_4 = 9,6868e-03

Banda 5 = 5,9278e-03

Banda 10 = 3,3420e-04

Banda 11 = 3,3420e-04

---

 Radiance\_add\_band
 

---

Banda 4 = - 48,43392

Banda 5 = - 29,63914

Banda 10 = - 0,10000

Banda 11 = - 0,10000

---

*Nota.* Coeficientes radiométricos

de una imagen de Landsat 8.

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se redacta la ecuación empleada.

**Ecuación 1**

Cálculo de la Radiancia Espectral

$$L_{\lambda} = M_L \cdot Q_{cal} + A_L \quad (1)$$

Siendo:

$L_{\lambda}$ : la radiancia espectral obtenida por el sensor. Se mide en  $W \cdot m^2 \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$ .

$Q_{cal}$ : producto estándar cuantificado y calibrado por valores de píxel (DN). Este valor se refiere a cada píxel en una de las bandas.

$M_L$ : el factor multiplicativo de reescalamiento específico de cada banda. En los metadatos de Landsat 8 viene representado con el nombre  $RADIANCE\_MULT\_BAND_{\lambda}$ .

AL: el factor aditivo de reescalamiento específico de cada banda. En los metadatos de Landsat 8 viene representado con el nombre RADIANCE\_ADD\_BAND\_λ.

### e. Temperatura de Brillo (Tb)

Son aquellas bandas térmicas que pueden pasar de radiancia espectral a temperatura de brillo, usando la ecuación de Planck. Esta ecuación nos ayuda a calcular la distribución espectral de la radiancia emitida por un cuerpo negro a partir de su temperatura y se expresa de la siguiente manera.

#### Ecuación 2

Temperatura de Brillo usando la Constante de Planck

$$B_i (T_S) = \frac{2hc^2}{\lambda_i^5 \cdot \left( e^{\frac{hc}{\lambda_i k T_S}} - 1 \right)} \quad (2)$$

Siendo:

h: Constante de Planck.  $h = 6,6261 \times 10^{-34} \text{ J s}$

c: la velocidad de propagación de la luz en el vacío.  $c = 2,9979 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

λ: la longitud de onda de la banda "i"

k: constante de Boltzmann  $k = 1,3806 \times 10^{-23} \text{ J/K}$

Esto nos permite obtener la temperatura de un cuerpo desde la medida de su radiancia espectral. Realizando la inversa a la ecuación se saca la ecuación de temperatura de brillo en el satélite.

#### Ecuación 3

Temperatura de Brillo (Kelvin)

$$Tb = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (3)$$

Siendo:

T<sub>b</sub>: temperatura de brillo en el sensor, se mide en Kelvin (K).

K<sub>1</sub>: constante de conversión 1, se mide en W·m<sup>2</sup>·sr<sup>-1</sup>·μm<sup>-1</sup>. En las metadatos de Landsat 8, para la banda 10, esta constante térmica es representada con el nombre K<sub>1</sub>\_CONSTANT\_BAND\_10 y su valor es de 774,8853 W·m<sup>2</sup>·sr<sup>-1</sup>·μm<sup>-1</sup>.

K<sub>2</sub>: constante de conversión 2, se mide en K. En las metadatos de Landsat 8, para la banda 10, esta constante térmica es representada con el nombre K<sub>2</sub>\_CONSTANT\_BAND\_10 y su valor es de 1321,0789 K.

Cabe destacar que los valores de K<sub>1</sub> y K<sub>2</sub> varían en función de la banda térmica del satélite como se observa en la tabla 8.

**Tabla 8**

*Comparativa de los Valores Constantes de Conversión (K1 y K2)*

Sensor	K1		K2	
	Banda 10	Banda 11	Banda 10	Banda 11
L8 TIRS	774,89	480,89	1321,08	1201,14

*Nota.* Valores de conversión de las Constantes K1 y K2 del Landsat 8

La emisividad de la superficie del suelo (ESS) es uno de los parámetros con más dificultad de obtención, y además es necesaria para calcular la temperatura con mayor precisión, aportando información muy valiosa en estudios geológicos para identificar minerales, de igual forma para identificar los cambios producidos en la superficie terrestre. Ésta es una propiedad intrínseca de los materiales que varía principalmente de los componentes, la rugosidad y la humedad de la superficie, también, con las condiciones, como la longitud de onda, la resolución del píxel y el ángulo de observación. La emisividad puede calcularse a partir de medidas in situ, usando el método de la caja de emisividad o mediante otros métodos. Todos los métodos in situ presentan el mismo inconveniente, solo se pueden sacar medidas de una muestra aislada. Para calcular la emisividad de la superficie desde el espacio existen diferentes métodos.

- a. Métodos de separación multicanal de la emisividad y temperatura (Multi-Chanel TESnmethods) o método de recuperación simultánea: el algoritmo TES se propuso por Gillespie et al. en el año 1998, fue realizado para aplicarse en datos ASTER. Este método es factible solo para sensores que disponen de al menos tres bandas en el IRT, de lo contrario se produciría el problema de separación de temperatura y emisividad (Gillespie et al. 1998), lo que llevaría a tener más incógnitas que ecuaciones. Proporciona de manera simultánea la emisividad y la temperatura superficial. Este método resalta por calcular la emisividad de cada banda y la temperatura superficial, sin realizar una estimación previa de la emisividad de la superficie. Este método es empleado en la actualidad por la NASA para calcular los productos MODIS de temperatura y emisividad (MOD21 es el producto de MODIS que aporta temperatura superficial).
- b. Métodos semi-empíricos: Utiliza las relaciones de índices de vegetación o las medidas de reflectancia en el espectro solar. El método de umbrales de NDVI es el más representativo creado por Van De Griend y Owe en 1993. Posteriormente se publicaron otros métodos relacionados, como los de Valor y Caselles en 1996, Sobrino y Raissouni en 2000 o Tang y Li en 2014.
- c. Métodos basados en ecuaciones físicas: estos asumen los daños atmosféricos de las radiancias medidas por el sensor y posteriormente son corregidas para ser convertidas en radiancias de superficie. Entre estos se encuentran los basados en el método TISI, operaciones día/noche y la recuperación paso a paso.

Para la presente investigación se ha escogido uno de los métodos semi-empíricos debido a su sencillez y al no contar con más de dos bandas térmicas. Tal y como indica Sobrino et al. (2004) se ha realizado lo siguiente para calcular la emisividad de la banda térmica.

#### **Ecuación 4**

Emisividad propuesta por Sobrino et al. (2004)

$$\varepsilon = m \cdot Pv + n \quad (4)$$

Siendo:

$$m = \varepsilon_v - \varepsilon_s - (1 - \varepsilon_s) \cdot F \cdot \varepsilon_v$$

$$n = \varepsilon_s + (1 - \varepsilon_s) \cdot F \cdot \varepsilon_v$$

F=0,55

F: factor geométrico de la superficie. Varía entre 0 y 1, pero normalmente se le asigna el valor de 0,55.

La emisividad cambia fundamentalmente en función de su composición y rugosidad, ya que al estudiar áreas globales aparece un gran inconveniente para este trabajo, en otras palabras, abarcan superficies diferentes; desde zonas montañosas y boscosas hasta llanuras desérticas.

Dentro de la emisividad de vegetación presentan muchos valores igual forma con la emisividad de suelos por lo tanto los valores de  $\varepsilon_v$  (emisividad de vegetación) y  $\varepsilon_s$  (emisividad de suelo) deberán ser generalizados. Para este trabajo se utilizará los valores propuesto por Yu, (2014) mostrados en la tabla 9, estos fueron calculados tras comparar y hacer una media de los diferentes valores de emisividad obtenidos de la librería espectral.

**Tabla 9**

*Comparativa de valores de emisividad (de suelo y vegetación)*

Bandas	es (Suelo)	ev (Vegetación)
Banda 10	0,9668	0,9863
Banda 11	0,9747	0,9896

Al despejar estos valores de la ecuación anterior se obtiene:

$$m_{10} = 0,9863 - 0,9668 - (1 - 0,9668) \cdot 0,55 \cdot 0,9863 = 0,0015$$

$$n_{10} = 0,9668 + (1 - 0,9668) \cdot 0,55 \cdot 0,9863 = 0,9848$$

$$\varepsilon_{10} = 0,0015 \cdot P_v + 0,9848$$

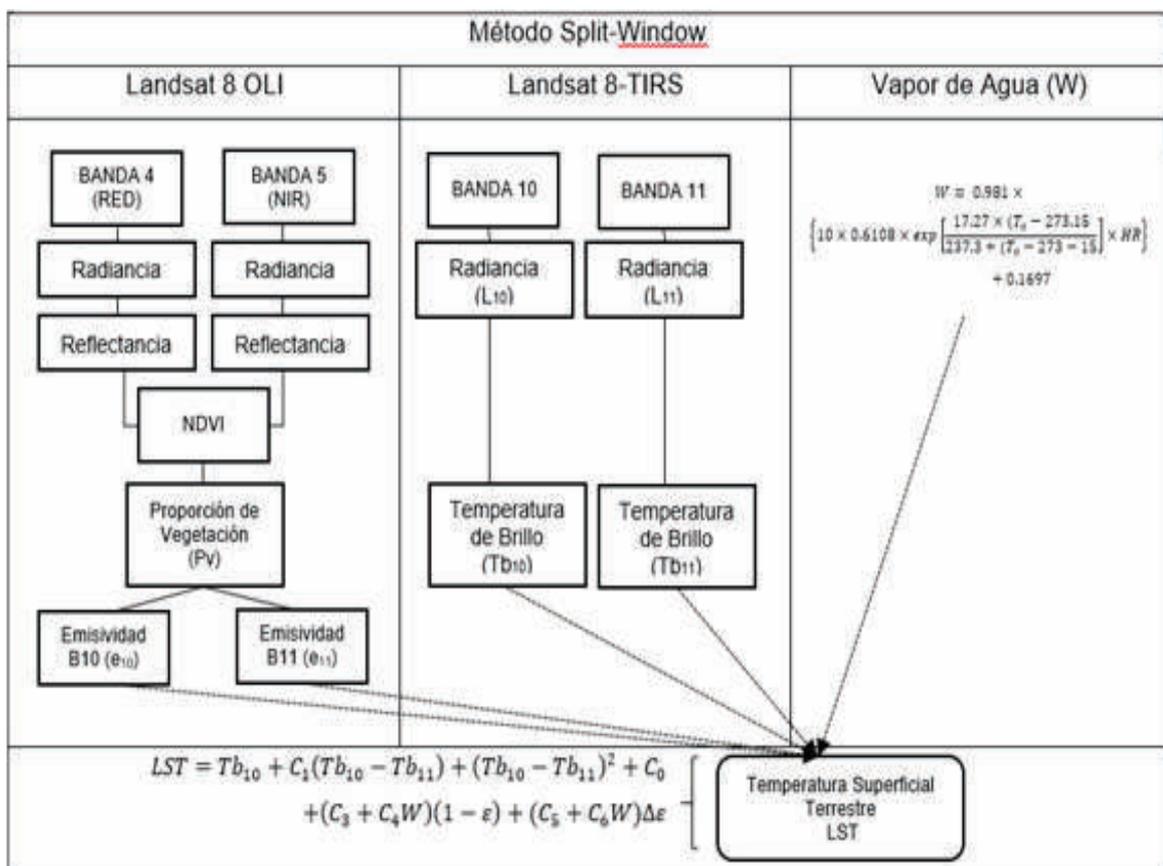
$$\varepsilon_{11} = 0,0011 \cdot Pv + 0,9885$$

### f. Método Split-Window

Este método se basa en el estudio desarrollado por Jiménez et al. (2014), en el que se sigue el siguiente esquema de trabajo (Figura 10).

**Figura 10**

*Esquema de Trabajo del Método Split-Window*



*Nota.* Imagen de cálculo de la Temperatura Superficial Terrestre con Imágenes Landsat 8.

Elaboración basada y modificada de Andrés (2019)

Nos dice Andrés (2019) que para ejecutar este método se necesitan cuatro imágenes diferentes.

- Imagen de la banda 4, del sensor OLI, del satélite Landsat 8.
- Imagen de la banda 5, del sensor OLI, del satélite Landsat 8.

- Imagen de la banda 10, del sensor TIRS, del satélite Landsat8.
- Imagen de la banda 11, del sensor TIRS, del satélite Landsat8.
- Dato del Vapor de Agua (W)

La ecuación que corresponde a este método es el siguiente.

### Ecuación 5

Temperatura Superficial Terrestre (LST)

$$LST = Tb_{10} + C_1(Tb_{10} - Tb_{11}) + (Tb_{10} - Tb_{11})^2 + C_0 + (C_3 + C_4W)(1 - \varepsilon) + (C_5 + C_6W)\Delta\varepsilon \quad (5)$$

Siendo:

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

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

$\varepsilon$ : la emisividad media de ambas bandas térmicas, es decir;

$$\varepsilon = (\varepsilon_{10} + \varepsilon_{11}) / 2$$

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

C<sub>0</sub>-C<sub>6</sub>: los coeficientes para el algoritmo Split-Window (tabla 10).

**Tabla 10**

*Coeficientes Split Window*

Coeficientes	
C <sub>0</sub>	-0,268
C <sub>1</sub>	1,378
C <sub>2</sub>	0,183
C <sub>3</sub>	54,30

C <sub>4</sub>	-2,238
C <sub>5</sub>	-129,20
C <sub>6</sub>	16,40

---

*Nota.* Elaboración tomada de Andrés (2019)

El algoritmo Split-Window tiene la ventaja que le permite desempeñarse bien en condiciones globales, es decir, con cualquier valor de vapor de agua. Pero como se mencionó anteriormente, cuenta con la gran desventaja de que se debe usar la banda 11 de Landsat 8, lo cual presenta errores en la calibración (Ariza, 2013).

### 3.2.2. Índice de Vegetación Diferencial Normalizada (NDVI)

Es el más empleado en diferentes campos de estudio, es un índice bidimensional que identifica y monitorea las propiedades reflectivas en la vegetación, es decir, identifica el índice de vegetación a partir de la reflectancia de las bandas del rojo e infrarrojo cercano. Este índice surgió por Rouse et al. en el año 1974, quien identificó la vegetación con imágenes satelitales en distintas condiciones de iluminación y observación de la Tierra (Andrés, 2019).

#### Ecuación 6

Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).

$$NDVI = \frac{\rho_{IRC} - \rho_R}{\rho_{IRC} + \rho_R} \quad (6)$$

En Landsat 8 las bandas del rojo e infrarrojo cercano son las bandas 4 y 5 respectivamente, de tal forma la ecuación quedaría.

#### Ecuación 7

Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), usando bandas 4 y 5

$$NDVI = \frac{\rho_5 - \rho_4}{\rho_5 + \rho_4} \quad (7)$$

Según Sobrino et al. (2004) el NDVI toma valores en el rango de 0,2 a 0,5, donde toma las siguientes clasificaciones aproximadas dependiendo del valor. Como se muestra en la tabla 11.

**Tabla 11**

*Clasificación de Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)*

Descripción	Clasificación
Zona urbana. Suelo erosionado	<0,2
Cobertura mixta	0,2<NDVI<0,5
Vegetación sana	>0,5

*Nota.* Elaboración tomada y modificada de Sobrino et al. (2004)

Se debe obtener la Proporción de vegetación (Pv), tal y como indican Carlson y Ripley (1997). Para generalizar el caso de estudio, se utilizará el valor real de NDVI mínimo y máximo según Andrés (2019).

### **Ecuación 8**

Proporción de Vegetación

$$Pv = \left( \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^2 \quad (8)$$

### **3.2.3. Propuesta de Manejo Ambiental**

La propuesta de manejo ambiental, se establece en base a los resultados obtenidos en los ítems anteriores.

### **3.3. Materiales y/o instrumentos**

#### **3.3.1. Materiales**

Los materiales utilizados son:

- Imágenes landsat 8: descargadas del servidor del USGS.
- Datos meteorológicos: descargados del portal de SENAMHI.
- Datos de censos de población: descargados del portal de INEI.

#### **3.3.2. Instrumentos**

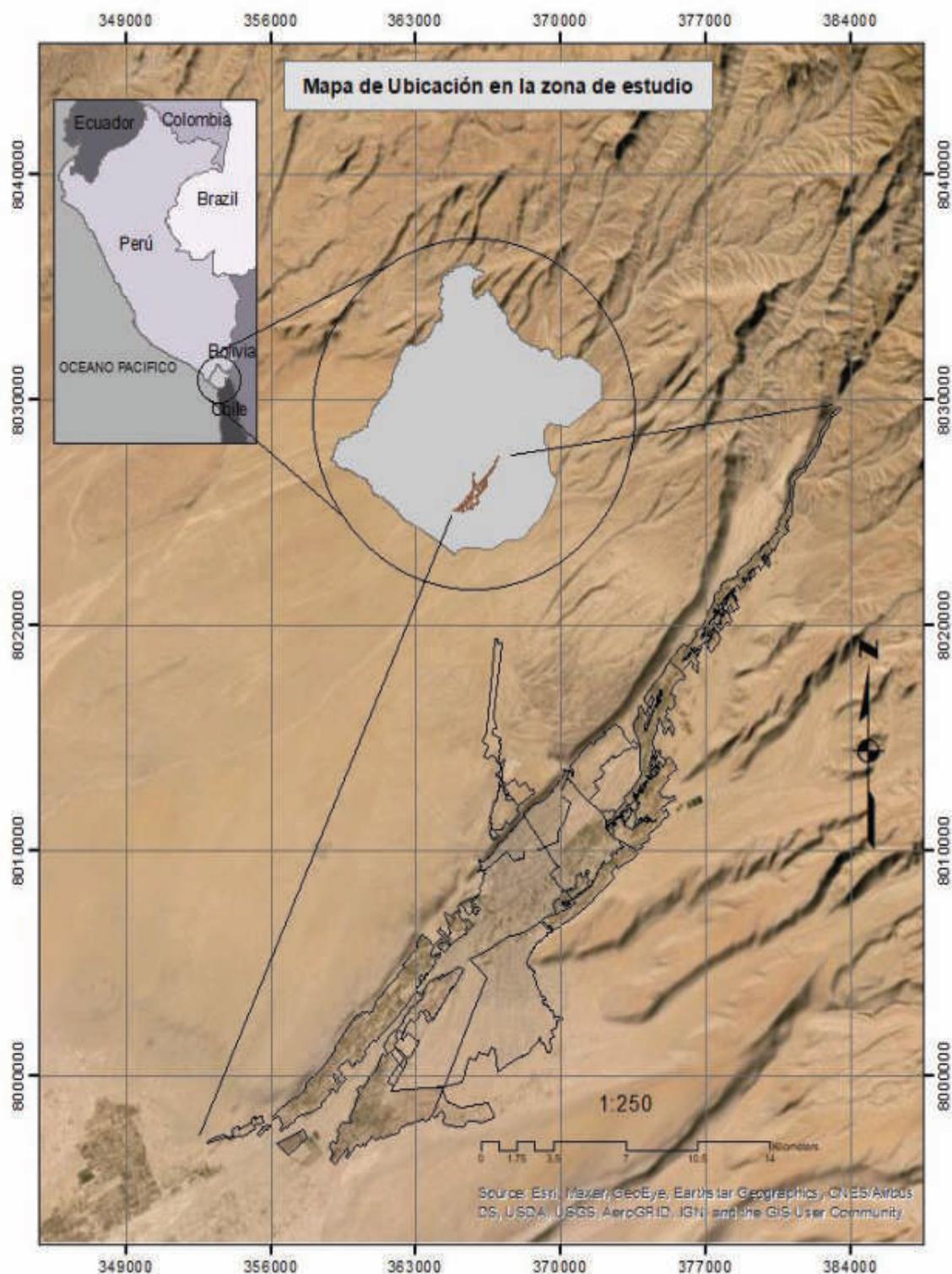
Se utilizaron instrumentos como libros sobre los procesos de Sistemas de Información Geográfica (SIG), imágenes satelitales Landsat; artículos referidos a la investigación; también se hizo uso de herramientas de ArcMap para el manejo del sistema GIS.

### **3.4. Población y/o muestra de estudio**

La población del presente trabajo de investigación se considera a la ciudad de Tacna, aquella representa la zona de estudio (Figura 11); en cuanto a la muestra corresponde a la zona urbana y rural de la ciudad de Tacna.

Figura 11

Mapa de Ubicación de la Zona de estudio



Nota. Se aprecia en borde negro la delimitación de la zona urbana de la ciudad de Tacna, obtenida como referencia de la base de datos de la unidad de Ordenamiento Territorial del Gobierno Regional de Tacna (2016).

### 3.5. Operación de variables

En la Tabla 12 se muestra la operación de variables.

**Tabla 12**

*Operación de Variables de la Investigación*

Variables	Sub variables	Definición conceptual	Clasificación	Indicadores
Islas de Calor Urbano	Temperatura de brillo	La temperatura de brillo no es la temperatura de la superficie terrestre. Según Sarría (2018) la define como la existente en el techo de la atmósfera (o en el suelo sin atmósfera y sin influencia de las características emisivas de las superficies).	Cuantitativa continua	Grados °C
	Temperatura superficial	Es un parámetro donde comprende las mediciones de temperatura de acuerdo a sus factores que son provocados de manera antropogénicos y natural; donde los rayos del sol son absorbidos y re-emitidos (Greenurbandata, 2019).	Cuantitativa continua	Grados °C
Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)		Mide la relación entre la energía absorbida y emitida por los objetos terrestres. Aplicado a las comunidades de plantas, el índice arroja valores de intensidad del verdor de la zona, y da cuenta de la cantidad de vegetación presente en una superficie y su estado de salud o vigor. (Chuvienco, 2010).	Cuantitativa continua	Área (Km <sup>2</sup> )

*Nota.* Relacionamos las variables de la investigación con la definición conceptual y los indicadores que serán expresados en los resultados.

### **3.6. Procesamiento y análisis de datos**

En cuanto al procesamiento y análisis de los datos se hizo uso de la correlación de Pearson.

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS

En este capítulo detallaremos los resultados de los procesos realizados para la presente investigación, a través de la metodología que desarrollamos el cual tiene como objetivo identificar las islas de calor en la zona urbana de la ciudad de Tacna en el año 2021, haciendo uso del algoritmo de Split Window, en un periodo de 9 años, los cuales están entre los años 2013 y 2021, utilizando técnicas de procesamiento de imágenes satelitales, el cual consiste en trabajo de gabinete, campo y a su vez el uso de software especializado acompañado de técnicas información geográfica las cuales nos permiten identificar las zonas urbanas que con islas de calor en la ciudad de Tacna, utilizando los Sistemas de Información Geográfica y Teledetección espacial.

### **4.1. Islas de Calor Urbano**

#### **4.1.1. Datos meteorológicos**

En cuanto a los datos procesados se tiene los resultados de temperatura y humedad relativa como se observa en la tabla 13 lo cual nos servirá para determinar el vapor de agua como se muestra en el diagrama del método de Split-Window.

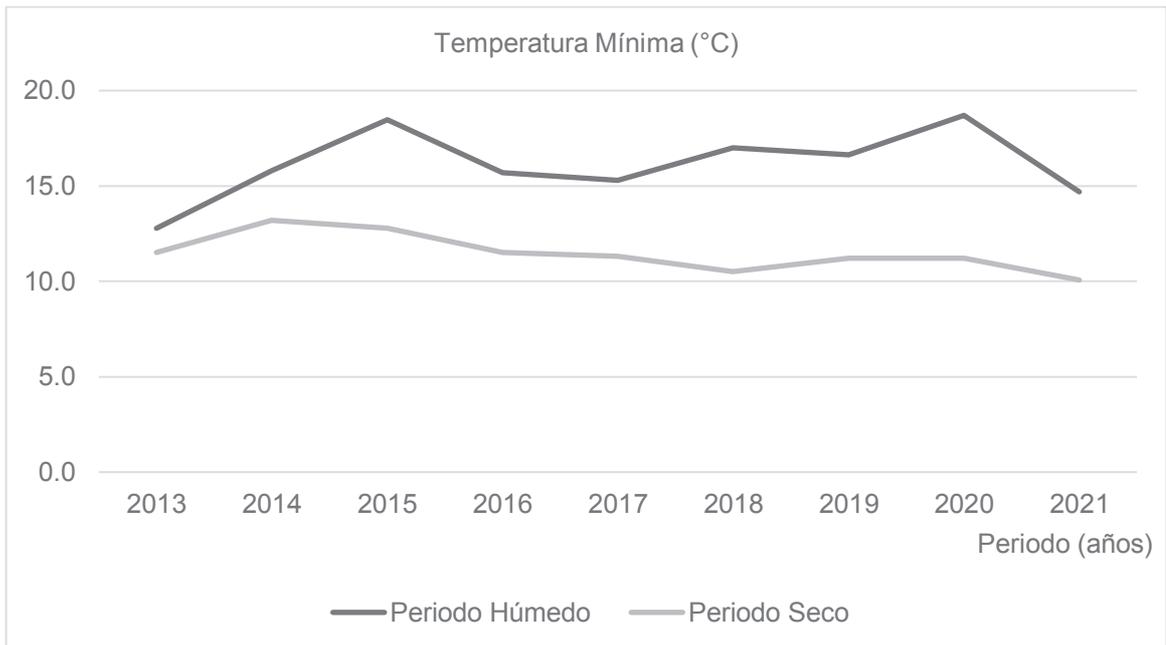
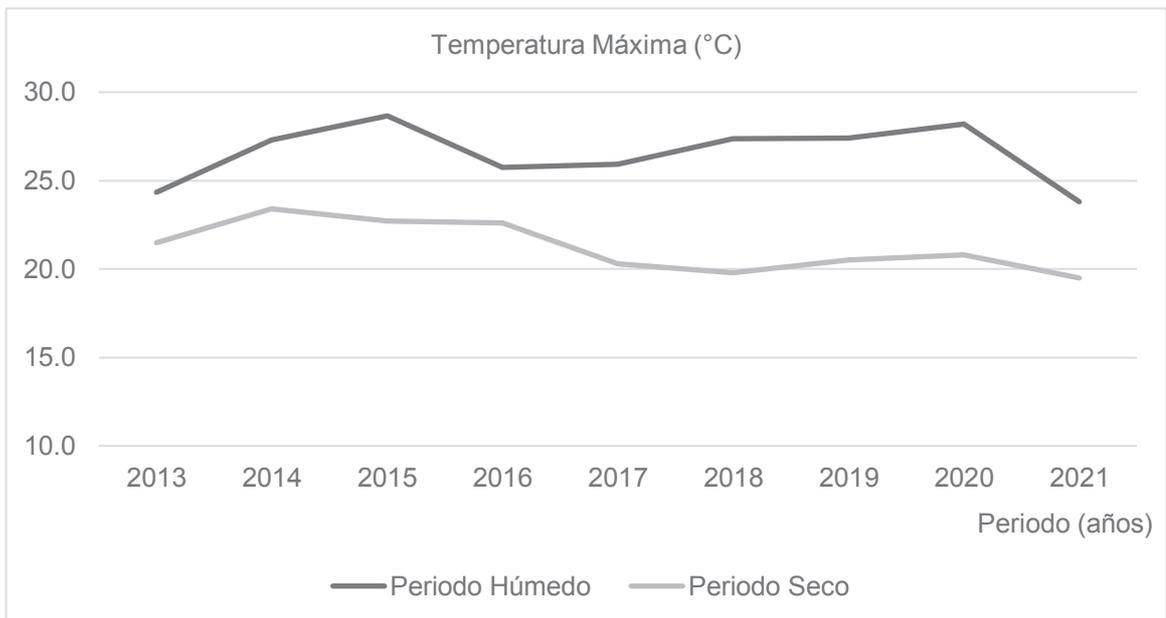
Los resultados presentados representan los periodos húmedo y seco. Logramos visualizar en la figura que en el periodo seco se tienen las menores temperaturas mínimas estas van de 10 - 13 °C, a diferencia del periodo húmedo que la temperatura mínima varía de 13 a 19 °C (Tabla 12).

En el caso de la temperatura máxima se observa una situación similar a lo explicado anteriormente, las temperaturas máximas en el periodo húmedo se observan valores que fluctúan entre 24 y 29 °C, y en el periodo seco se observan valores de 19 a 23 °C (Tabla 13).

**Tabla 13***Resultados de Temperatura Mínima, Máxima, Humedad Relativa y Vapor de Agua*

Fecha	Temperatura Mínima (°C)	Temperatura Máxima (°C)	Humedad Relativa (%)	Vapor de Agua (W)
Periodo Húmedo				
05.04.2013	12,8	24,3	73	2,578
28.03.2014	15,8	27,3	74	3,087
31.03.2015	18,5	28,7	71	3,241
02.04.2016	15,7	25,7	78	2,960
05.04.2017	15,3	25,9	73.5	2,845
07.03.2018	17,0	27,4	88.4	3,686
10.03.2019	16,6	27,4	76.5	3,216
12.03.2020	18,7	28,2	74.0	3,265
16.04.2021	14,7	23,8	88.0	2,968
Periodo Seco				
01.09.2013	11,5	21,5	80	2,366
22.10.2014	13,2	23,4	77	2,557
23.09.2015	12,8	22,7	82	2,601
09.09.2016	11,5	22,6	78	2,468
28.09.2017	11,3	20,3	85	2,328
14.08.2018	10,5	19,8	84	2,234
02.09.2019	11,2	20,5	88	2,434
20.09.2020	11,2	20,8	86	2,426
2020.07.20	10,07	19,49	83	2,169

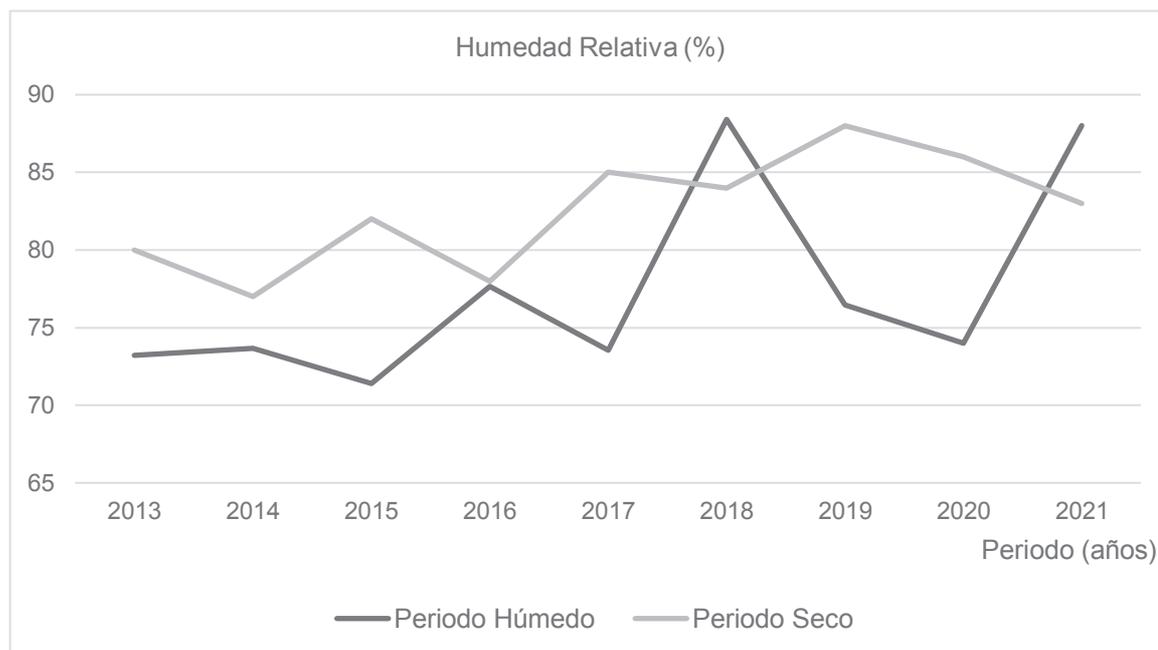
Nota. Data obtenida del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

**Figura 12***Resultados de Temperatura Mínima (°C) para Periodo Húmedo y Seco***Figura 13***Resultados de Temperatura Máxima (°C) para Periodo Húmedo y Seco*

En el caso de la humedad relativa (Figura14), a diferencia de la temperatura se tiene que el periodo seco presenta valores mayores que el periodo húmedo. A excepción del año 2018 y 2021 donde observamos picos de 88% para el periodo húmedo.

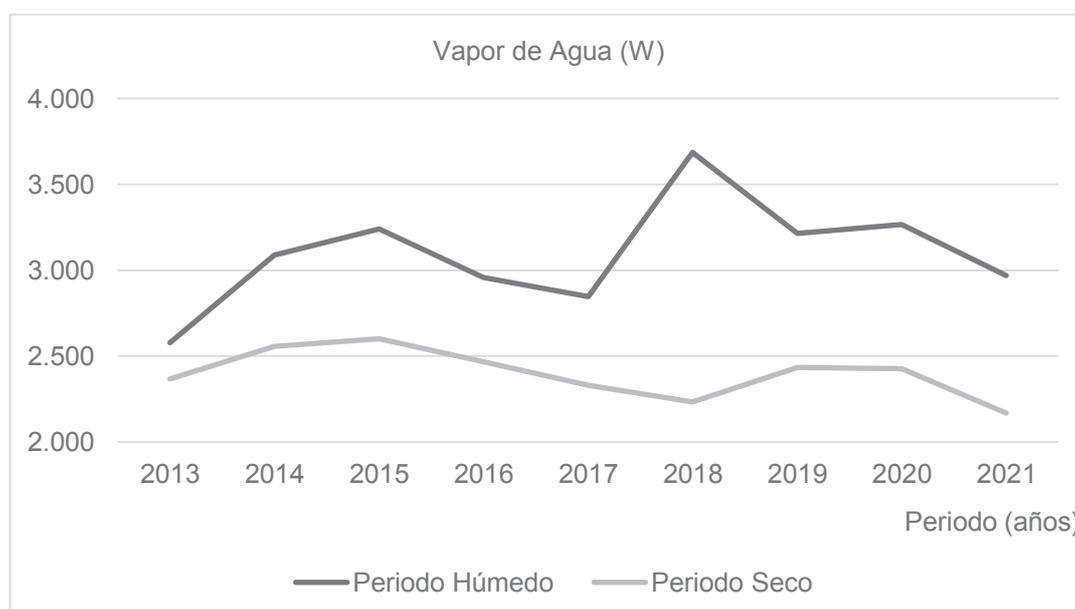
**Figura 14**

*Resultados de Humedad Relativa (%) para Periodo Húmedo y Seco*



**Figura 15**

*Resultados Vapor de Agua (W) para Periodo Húmedo y Seco*



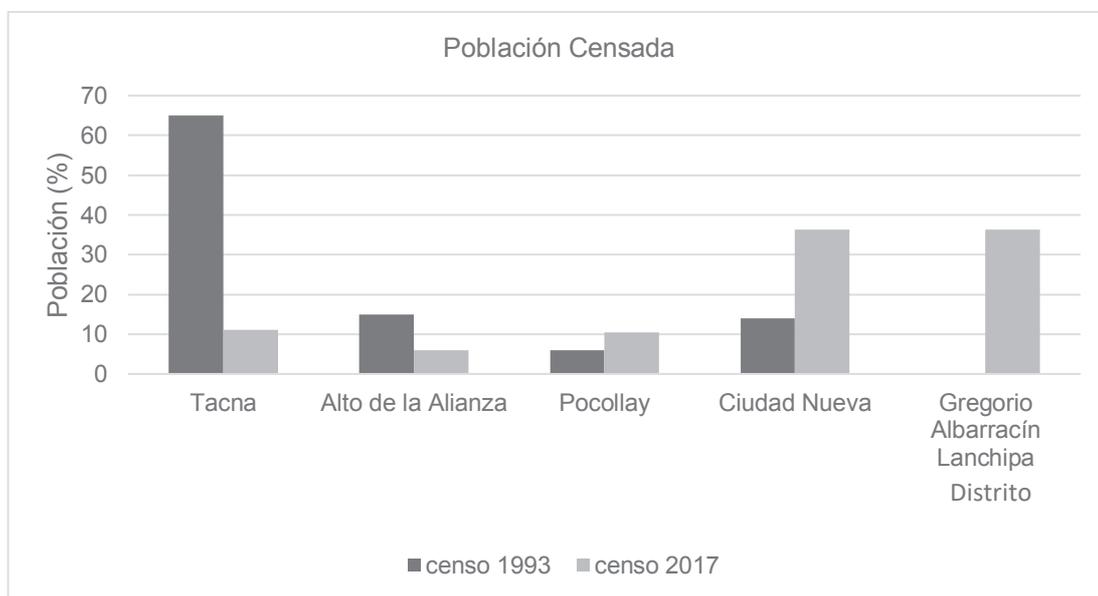
Con los datos anteriores logramos determinar el vapor de agua (Figura 15), importante en la metodología de Split-Window y obtener la temperatura superficial. En los resultados observamos que en el periodo húmedo se tiene valores mayores que el periodo seco estos fluctúan entre 2,6 y 3,7, en el caso del periodo seco se tienen valores de 2,2 y 2,6.

#### 4.1.2. Población

En los datos de la población, realizando la comparación entre los censos 1993 y 2017, observando que en los distritos de Tacna y Alto de la Alianza existe una disminución en el porcentaje de la población para el año 2017. Mientras que para los distritos de Pocollay, Ciudad Nueva y Gregorio Albarracín Lanchita se observa en la figura 16 un aumento en su población teniendo una expansión demográfica significativa para el distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa.

**Figura 16**

*Población censada de la ciudad de Tacna*



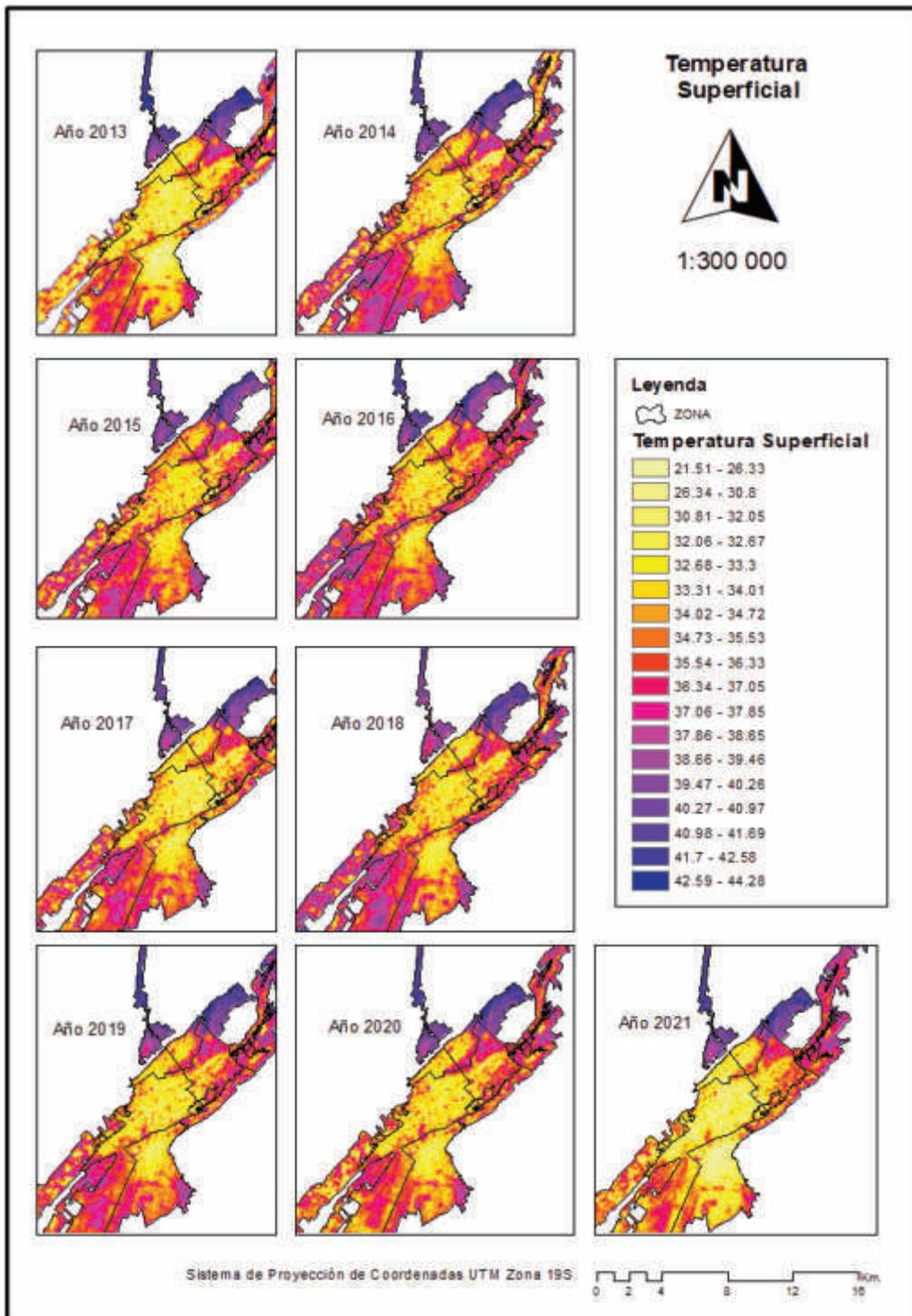
*Nota.* Porcentaje de la población urbana censada de Tacna del año 1993 y del año 2017.

#### **4.1.4. Método Split-Window**

Se realizó el análisis multitemporal de temperatura superficial que corresponde al área urbana de la ciudad de Tacna, para el periodo seco (Figura 17) y periodo húmedo (Figura 18) de los años 2013 al 2021. Y así poder identificar el distrito con mayores datos de temperatura superficial.

Figura 17

Análisis Multitemporal de Temperatura Superficial - Periodo Seco

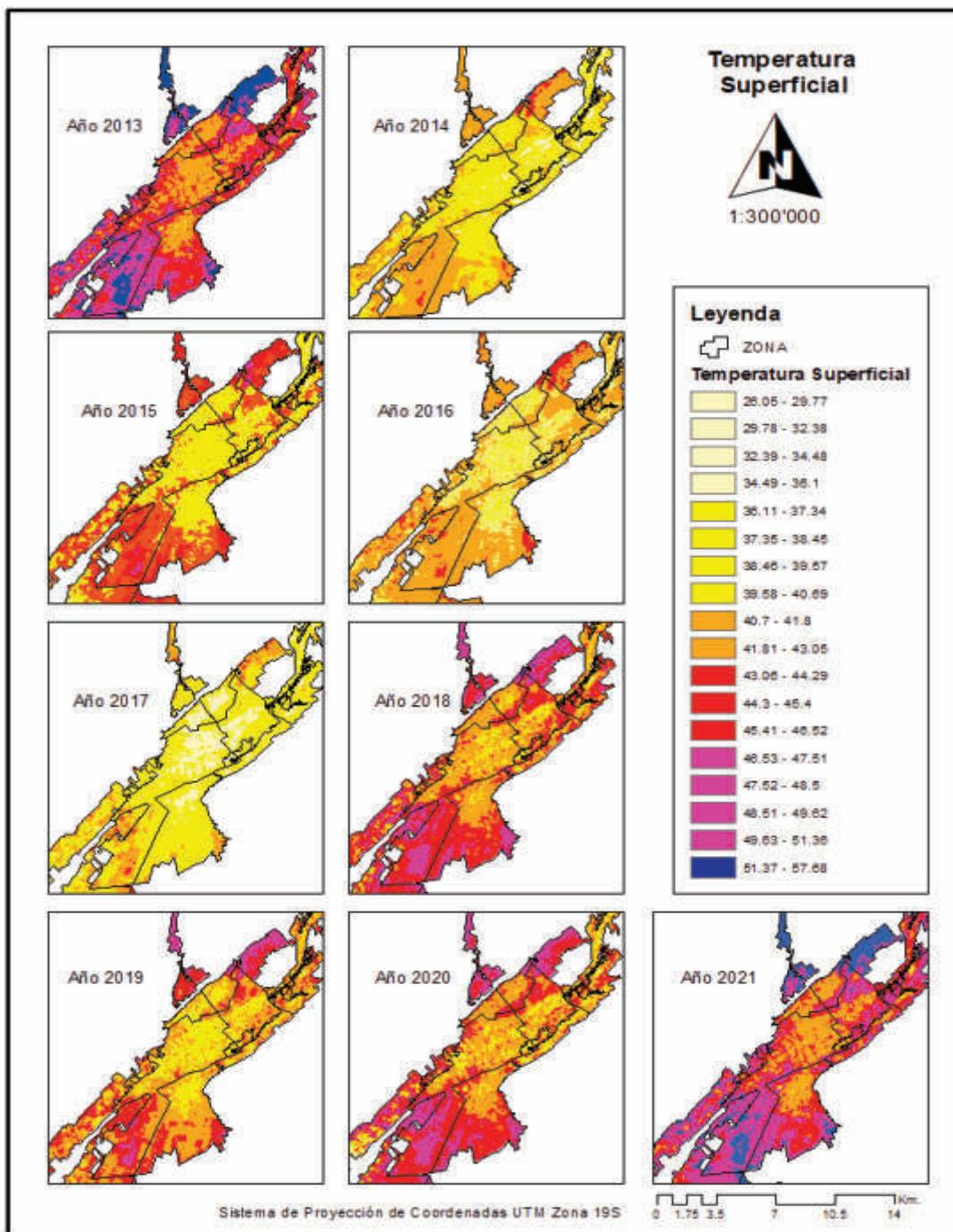


*Nota:* Se logra observar la disminución de temperatura en las áreas con el pasar de los años, para el año 2013 la mayor parte de la ciudad contempla una temperatura superficial que oscilaba entre 32,06 como mínima y 44,2 como temperatura superficial máxima. Para el año 2018 se observa en la imagen que la temperatura que más

predomina estaba entre 36,34 y 38,65 , a comparación del año 2021 donde se obtienen temperaturas 32,06 como temperatura mínima.

**Figura 18**

*Análisis Multitemporal de Temperatura Superficial - Periodo Húmedo*

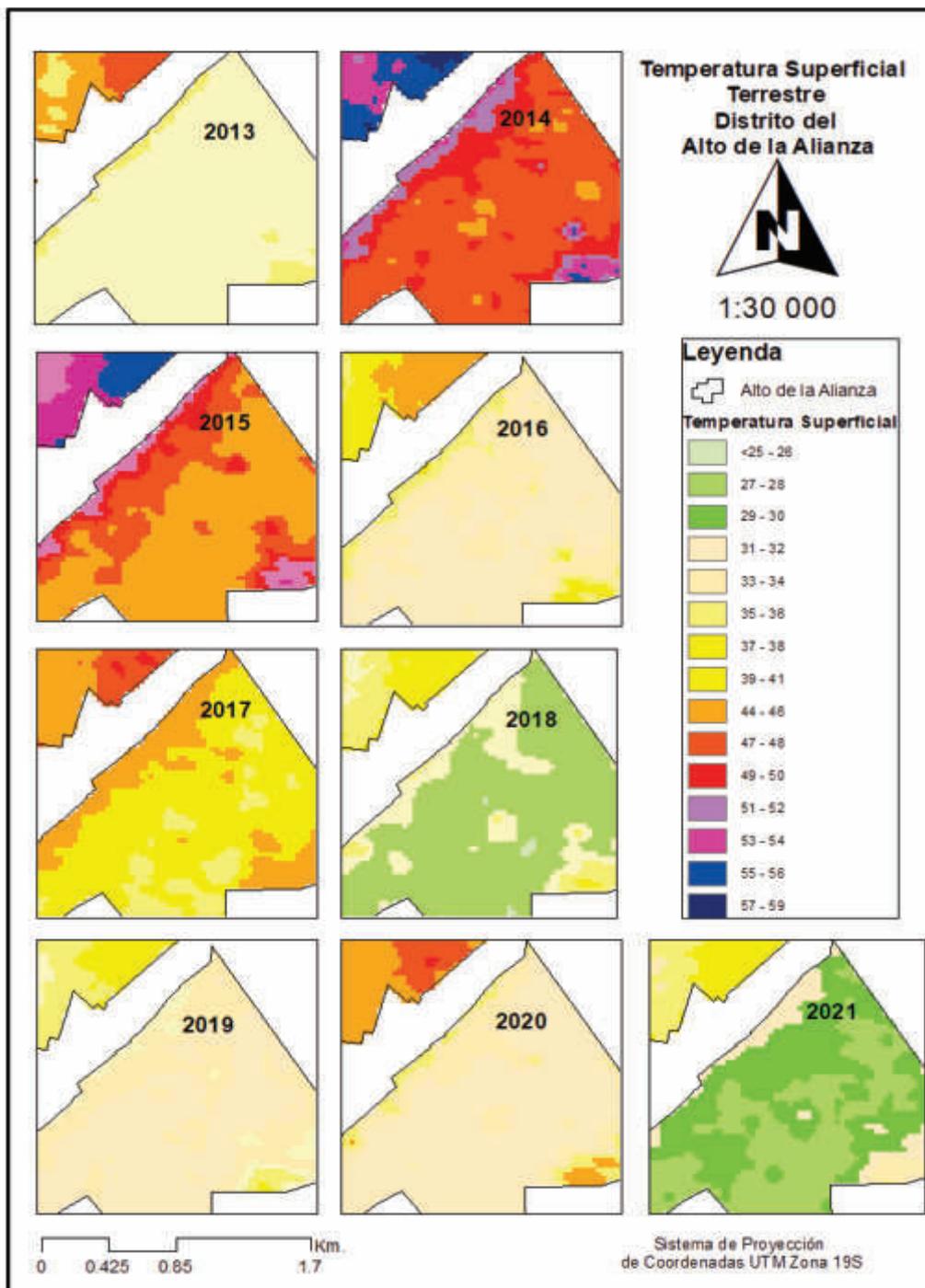


*Nota:* En el período húmedo entre los años 2013 al 2021 se logra observar con mayor notoriedad la disminución de temperaturas en el año 2017 (Debido a la presencia del fenómeno del niño), desde dicho año se eleva la temperatura hasta el año 2021. Para el año 2013 la temperatura mínima oscilaba entre 40,7 y máxima entre 57,08 , como se menciona anteriormente en el año 2017 las temperaturas fueron bajas y oscilaban entre 29,06 y como máxima 43,06.

Habiendo realizado el análisis de la zona de estudio que corresponde al área urbana de la ciudad de Tacna, se tomó como referencia la zona que presentaba mayores datos de temperatura. Observamos que el distrito de Alto de la Alianza es el más afectado, el cual procedemos a realizar nuevamente el análisis en cuanto a temperatura superficial para el periodo seco (Figura 19) y periodo húmedo (Figura 20); y en base a este se desarrollara la propuesta de manejo ambiental.

**Figura 19**

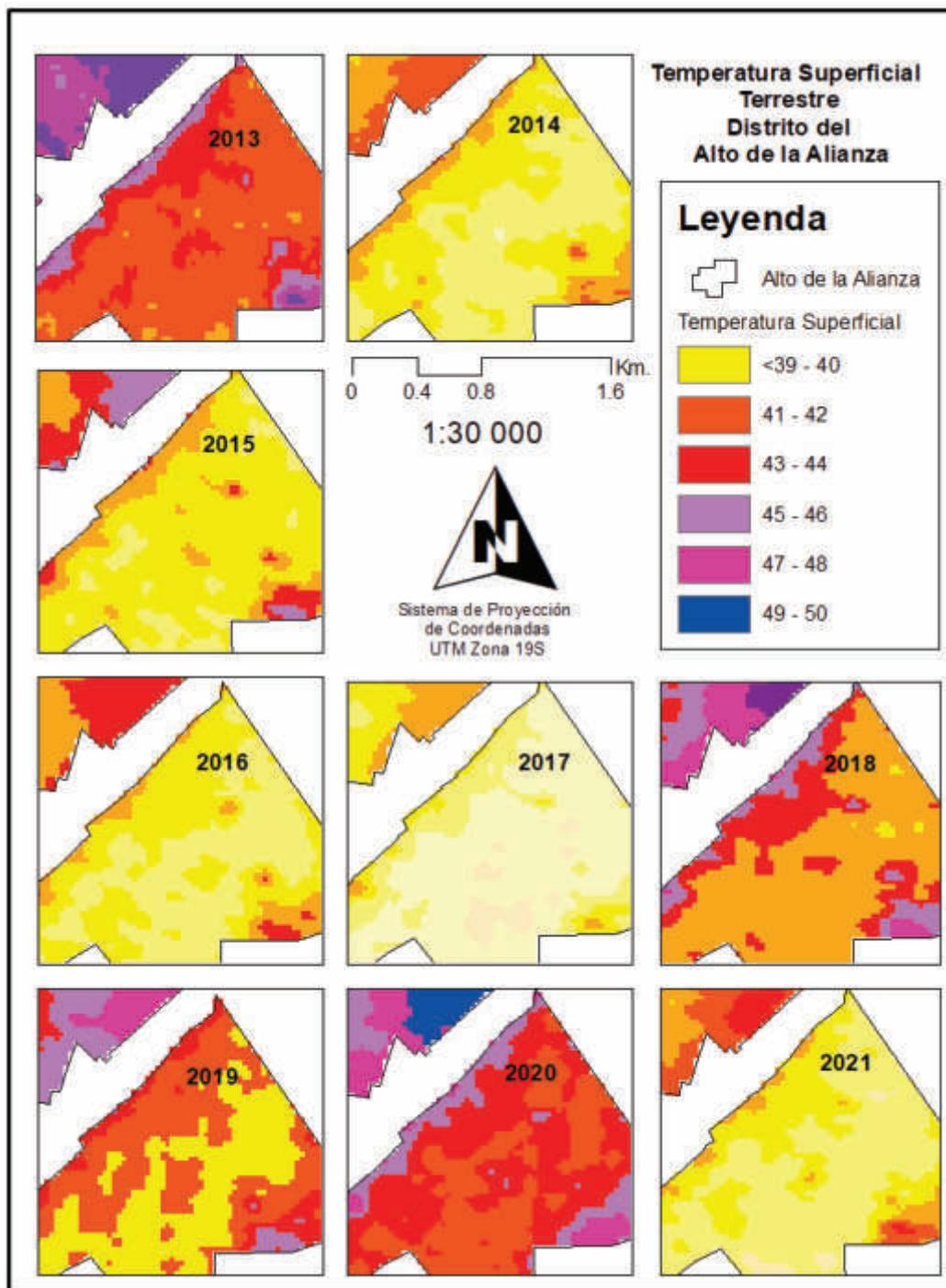
*Análisis Multitemporal de la Temperatura Superficial Terrestre del Distrito del Alto de la Alianza – Periodo Seco.*



*Nota.* En el periodo seco entre los años comprendidos, para el distrito del Alto de la Alianza se observa que en el año 2021 se obtuvo la menor temperatura superficial oscilando entre 27 a 38, y la temperatura máxima es para el año 2014 oscilando entre 44 a 59.

Figura 20

*Análisis Multitemporal de la Temperatura Superficial Terrestre del Distrito del Alto de la Alianza – Periodo Húmedo.*



*Nota.* En el Periodo húmedo entre los años comprendidos, para el distrito del Alto de la Alianza se observa que en el año 2017 se obtuvo la menor temperatura superficial, y para el año 2013 se obtuvo la temperatura superficial máxima.

#### 4.2. Índice de Vegetación Diferencial Normalizada (NDVI)

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada es un indicador de plantas fotosintéticamente activas y ayuda a diferenciar la vegetación de otros tipos de cobertura del suelo como suelo erosionado (Figura 21) y suelo de cobertura mixta (Figura 22). También nos permite visualizar áreas con vegetación en el mapa de forma general (Figura 23).

Los resultados de NDVI se representan con un mapa de colores para cada temporada y época en los años 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021; donde cada color corresponde a un cierto rango de valores. El color naranja representa suelo desnudo o vegetación muerta / escasa. y todos los tonos de verde son signo de cubierta de vegetación normal a densa (Figura 24).

#### Figura 21

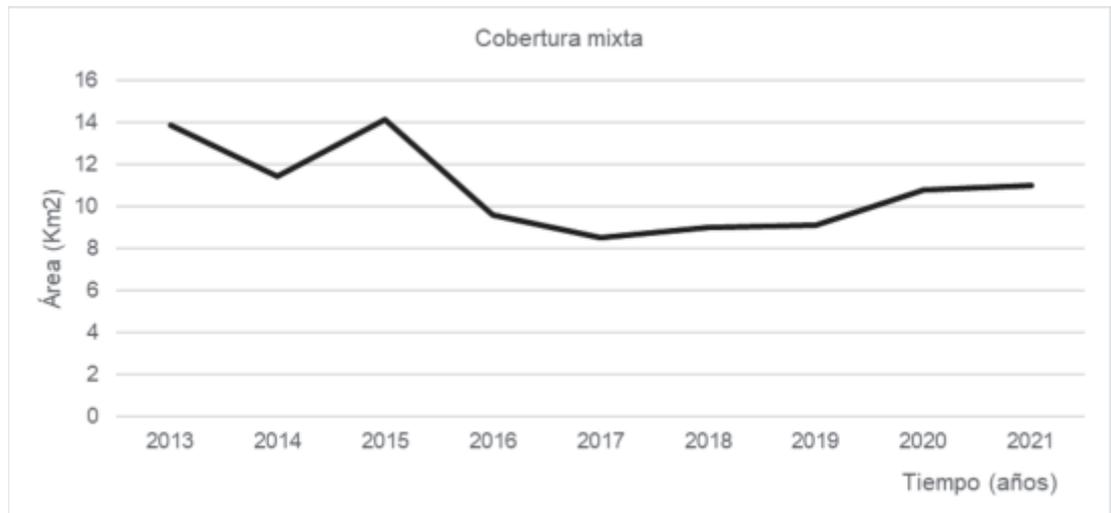
*Suelo erosionado de la zona urbana de la ciudad de Tacna*



*Nota.* Para el año 2015 se observa el mínimo valor de suelo erosionado, teniendo un aumento significativo de 116 km<sup>2</sup> para los años comprendidos entre 2016 y 2019, teniendo un descenso en los dos últimos años.

**Figura 22**

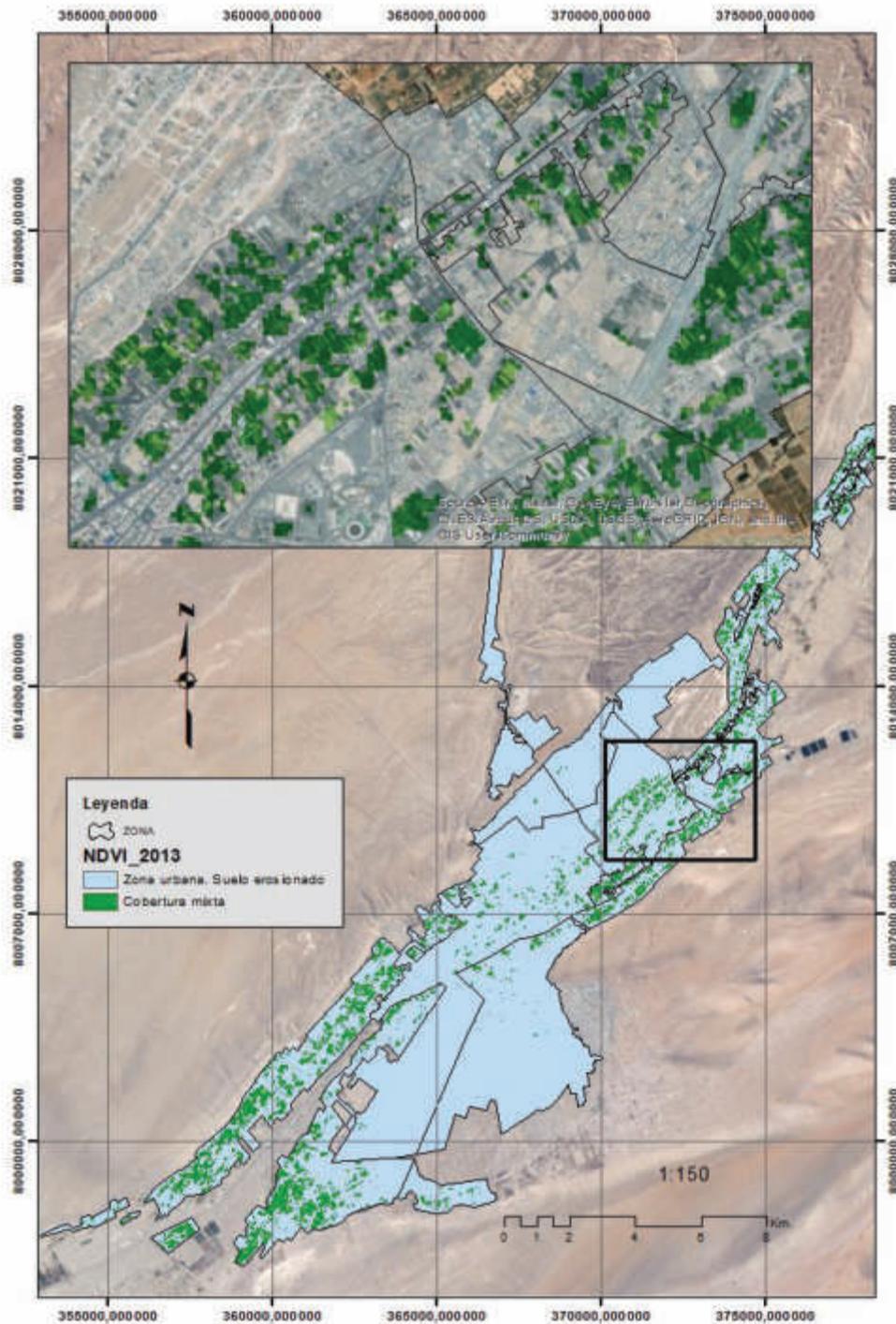
*Resultado de cobertura mixta de la zona urbana de Tacna*



*Nota.* Para los años 2013 y 2015 presentan el pico más alto en área siendo 14km<sup>2</sup> de cobertura mixta, teniendo una disminución a partir del año 2016 y manteniendo una constante durante los próximos 5 años.

Figura 23

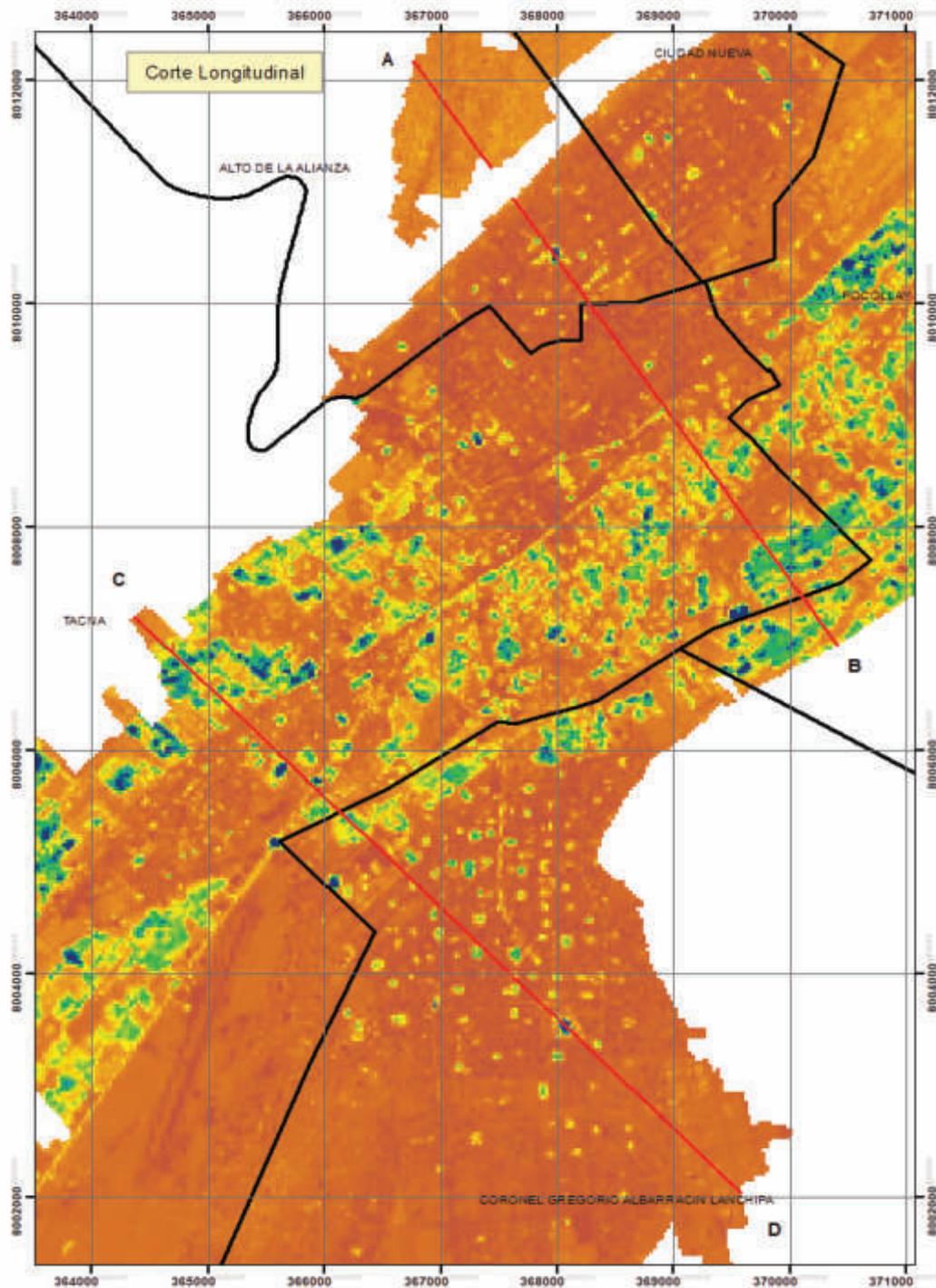
Mapa representativo de la zona urbana y cobertura mixta NDVI 2013



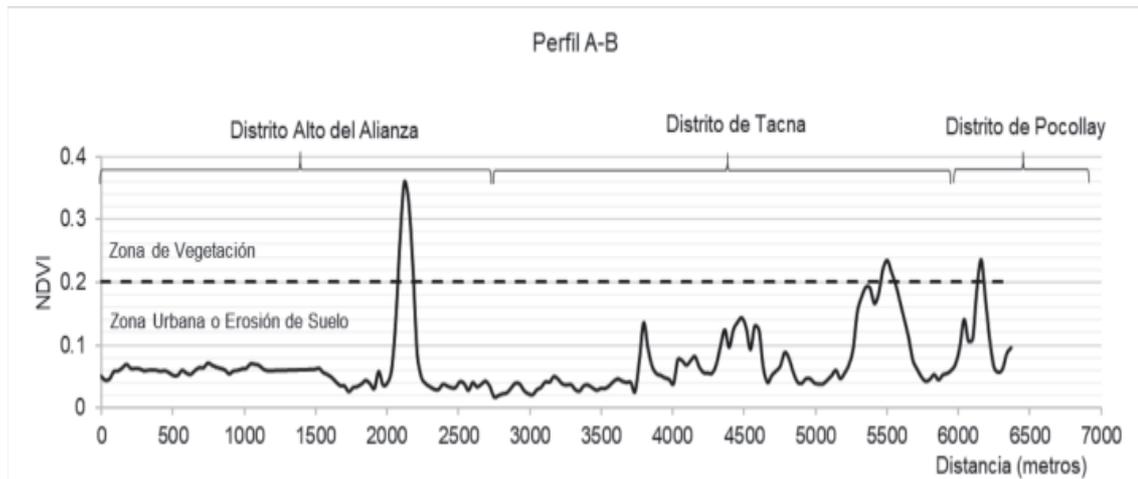
Nota. Se observa un suelo erosionado que ocupa más de un 50% a comparación de la cobertura mixta representada de color verde.

Figura 24

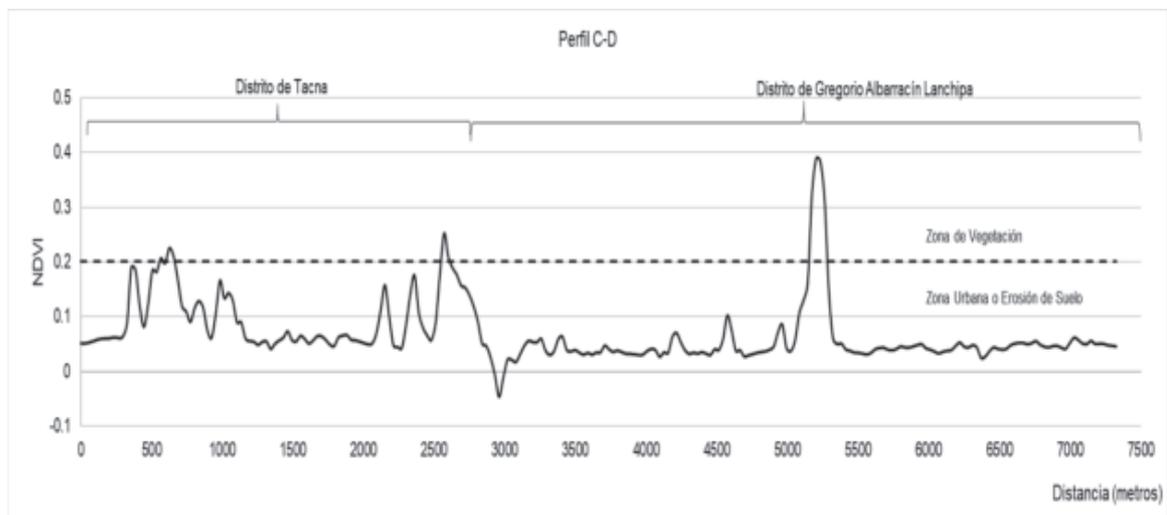
Mapa de Corte Longitudinal NDVI de la zona de estudio



*Nota.* Se observa dos cortes longitudinales Perfil A-B que comprende los distritos de Alto de la Alianza, Tacna y Pocollay; y el Perfil C-D para los distritos de Tacna y Gregorio Albarracín Lanchipa. Teniendo en cuenta que el color naranja representa suelo desnudo y en tonos de verde cubierta vegetal.

**Figura 25***NDVI del Perfil A-B*

*Nota.* El NDVI del perfil A-B para el distrito de Tacna presenta una clasificación menor a 0,2, el cual indica tener un suelo erosionado o zona urbana. Por otro lado, para el distrito de Alto de la Alianza presenta una zona de vegetación a comparación del distrito de Pocollay que sí representa zonas de vegetación teniendo una clasificación mayor a 0,2.

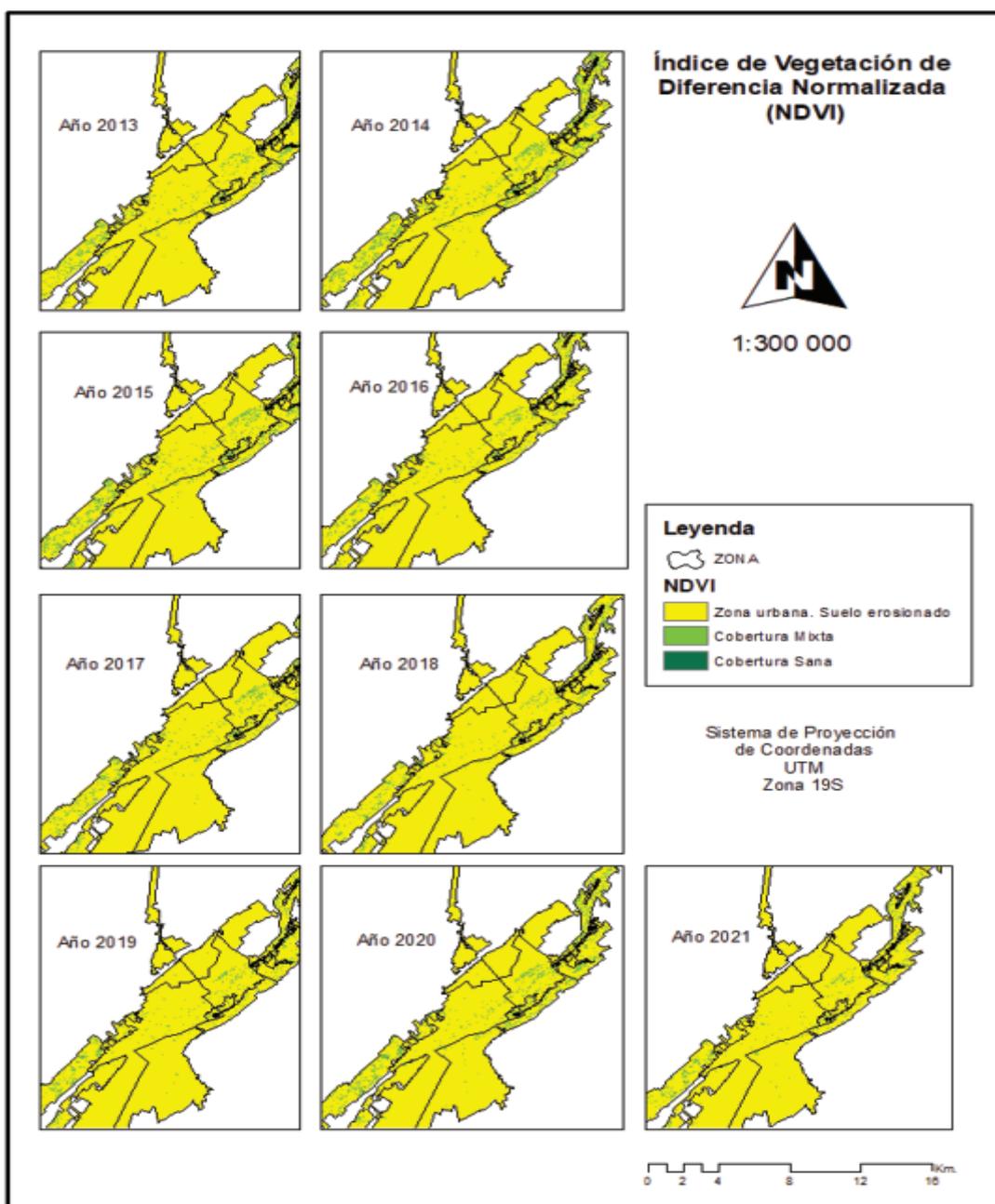
**Figura 26***NDVI del Perfil C-D*

*Nota.* El NDVI del perfil C-D presenta para el distrito de Tacna ciertas zonas con vegetación teniendo una clasificación no mayor a 0,2 el cual determina que es una zona urbana que presenta suelo erosionado. Por otro lado, para el distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa se observa sólo un área con vegetación mayor a 0,2, a comparación de todo el distrito que presenta ser una zona urbana, es decir, con suelo erosionado.

Se realizó el análisis multitemporal de Índice de Vegetación Diferencia Normalizada que corresponde al área urbana de la ciudad de Tacna, para el periodo seco (Figura 27) y periodo húmedo (Figura 28) de los años 2013 al 2021. Y así poder identificar el distrito con menor índice de vegetación, teniendo en cuenta la cobertura mixta, cobertura sana y la zona urbana con suelo erosionado.

**Figura 27**

*Índice de Vegetación Diferencia Normalizada- Periodo seco*

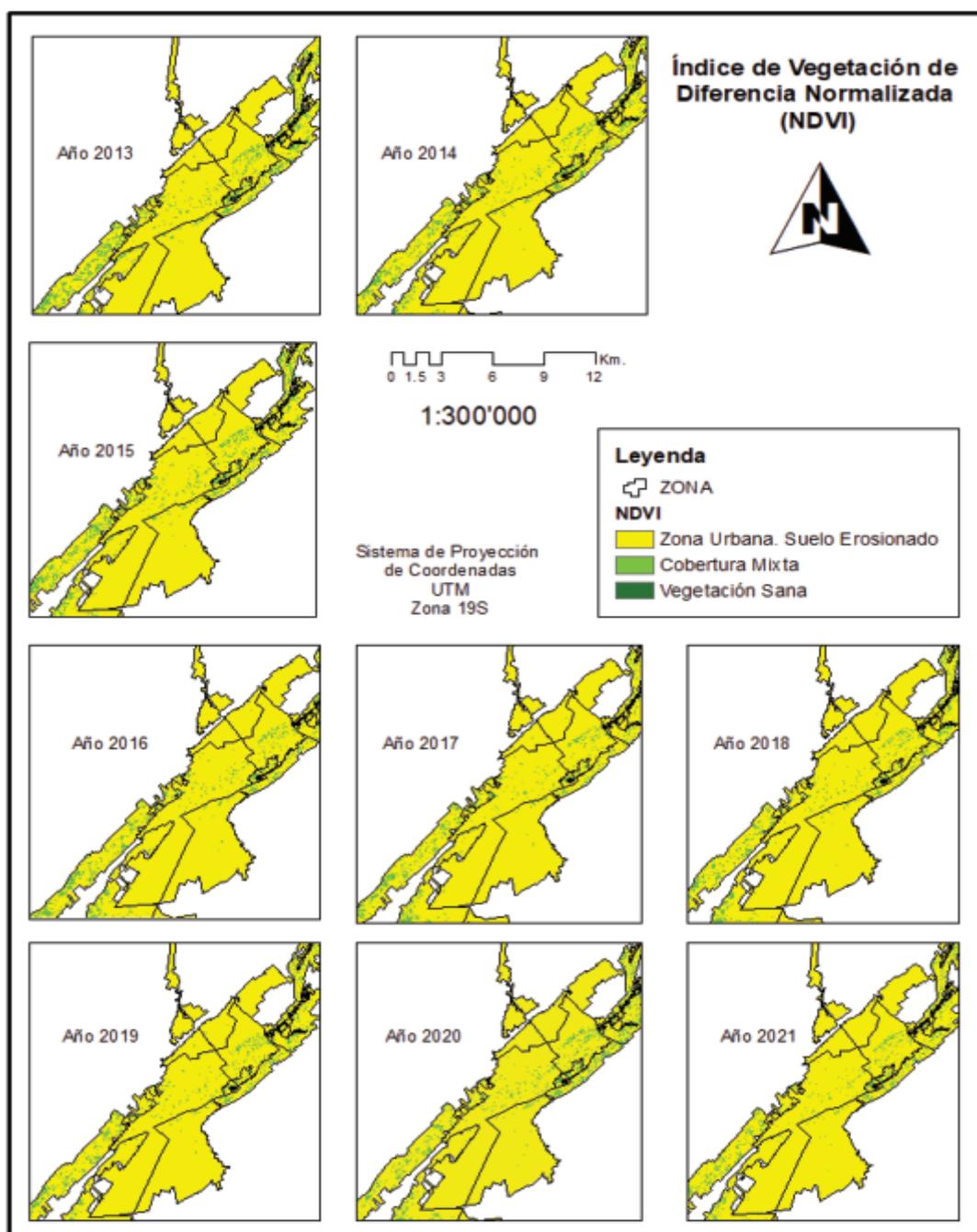


*Nota: Para el periodo seco en cuanto al Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada se observa las diferencias de zonas urbanas, cobertura mixta y cobertura sana.*

Para el año 2013, se observa que se contaba con los 3 tipos de suelo con un poco más de notoriedad a comparación del año 2021 donde se observa una leve disminución de cobertura mixta y sana.

**Figura 28**

*Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada- Periodo húmedo*

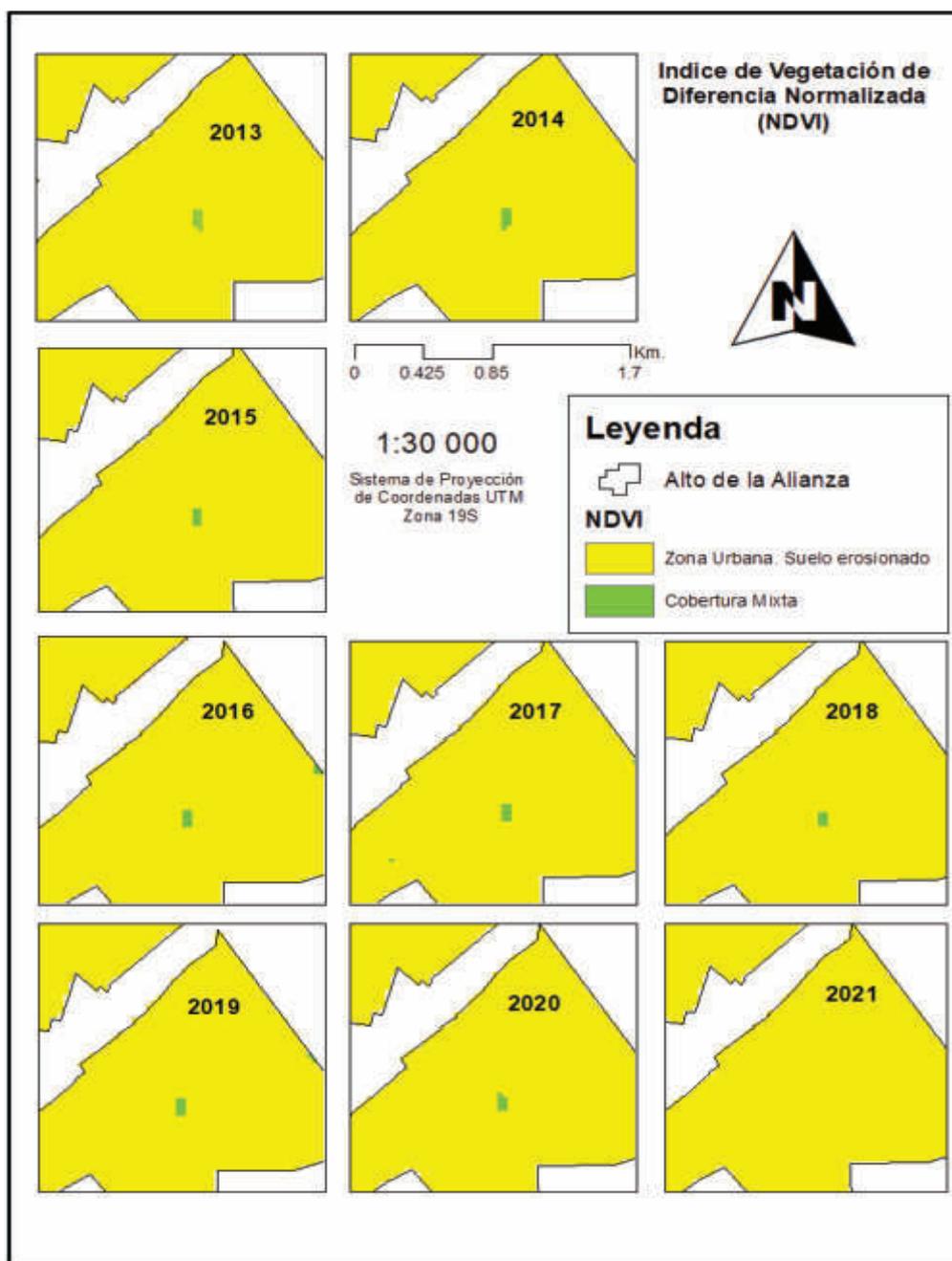


*Nota: Para el periodo húmedo en cuanto al Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada se observa que los años donde se encuentran las zonas de cobertura mixta y cobertura sana son para el año 2013 y 2020.*

Luego de realizar el análisis multitemporal de NDVI de la zona de estudio que corresponde al área urbana de la ciudad de Tacna. Obtuvimos el menor índice de cobertura vegetal en el distrito de Alto de la Alianza, el cual procedemos a realizar nuevamente el análisis en cuanto a Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada para el periodo seco (Figura 29) y húmedo (Figura 30); y en base a este se desarrollará la propuesta de manejo ambiental.

**Figura 29**

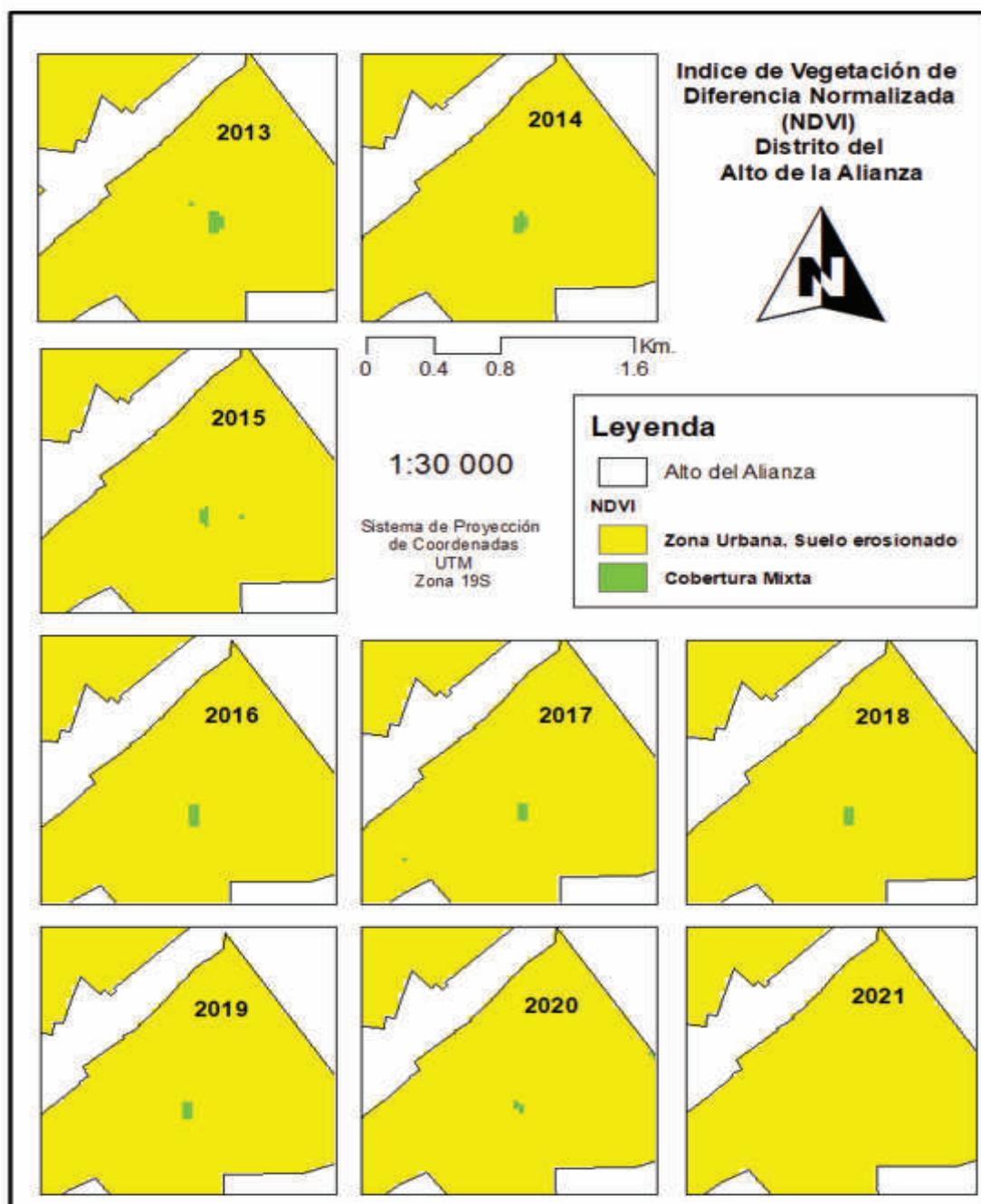
*Índice de vegetación de Diferencia Normalizada, Distrito de Alto de la Alianza - Período Seco*



*Nota.* En los años analizados, para el distrito del Alto de la Alianza se estima que en el año 2021 se obtiene mayor cantidad de zonas urbanas y casi nula las zonas de cobertura mixta. A comparación del año 2013 donde se obtuvo mayores zonas de cobertura mixta.

**Figura 30**

*Índice de vegetación de Diferencia Normalizada, Distrito de Alto de la Alianza - Período Húmedo*



*Nota.* En los años analizados para el Distrito de Alto de la Alianza se estima que para el año 2021 se obtiene casi en su totalidad zonas urbanas. Para el año 2013 es el año donde se obtiene más cobertura mixta.

### 4.3. Correlación entre TST y NDVI

Se realizó el análisis estadístico entre la temperatura superficial terrestre y el NDVI para el distrito del Alto de la Alianza como se observa en la tabla 14, obteniendo los datos de la media, máxima, mínima y desviación estándar; para el periodo seco y periodo húmedo, en base a esto evaluaremos las propuestas ambientales para aplicarlas en el área del estudio.

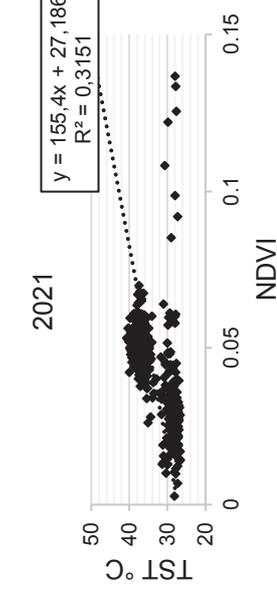
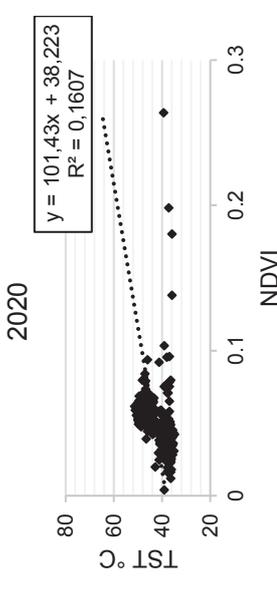
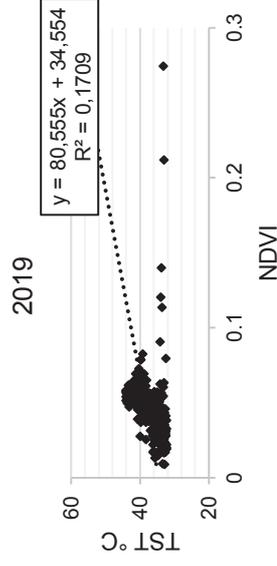
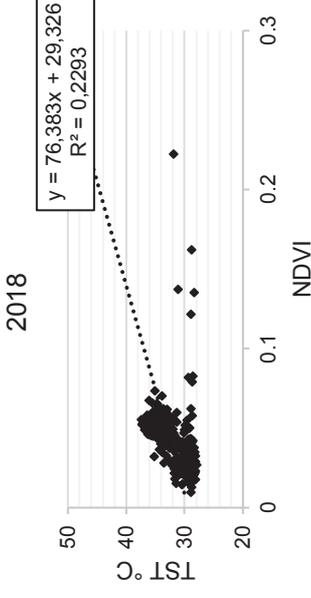
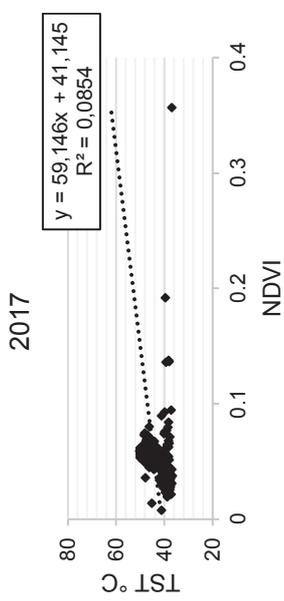
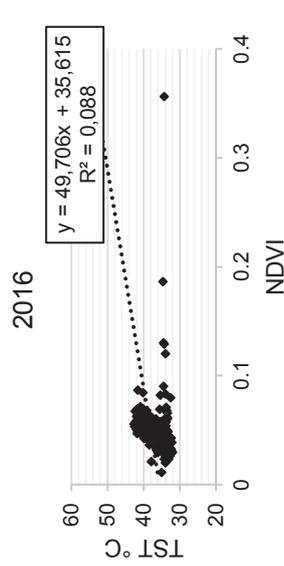
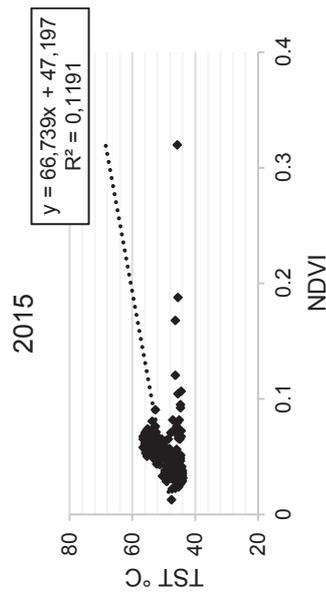
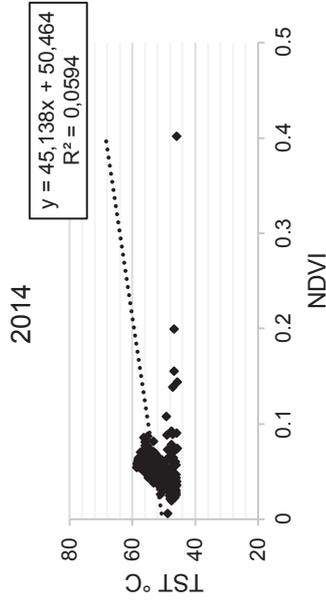
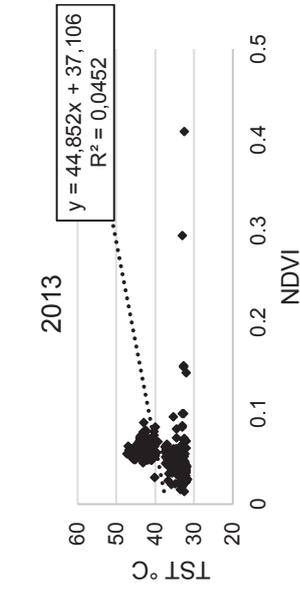
**Tabla 14**

*Correlación entre TST y NDVI para el distrito del Alto de la Alianza*

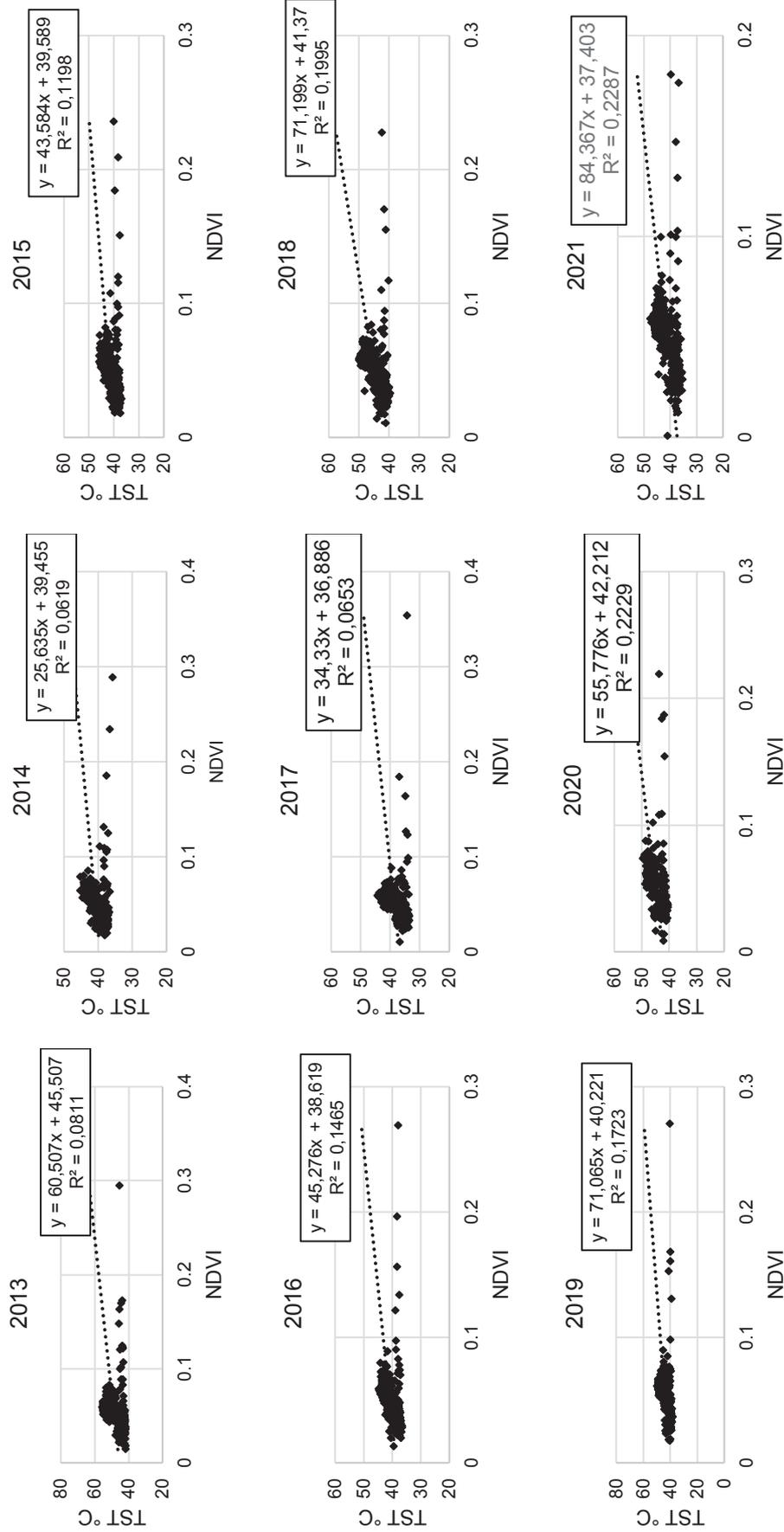
	2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021	
	NDVI	TST	NDVI	TST	NDVI	TST	NDVI	TST	NDVI	TST	NDVI	TST	NDVI	TST	NDVI	TST	NDVI	TST
	Periodo seco																	
Media	0,052	39,220	0,051	52,689	0,051	50,604	0,049	37,956	0,048	43,908	0,041	32,532	0,045	38,130	0,048	43,048	0,040	33,547
Máx.	0,410	47,347	0,402	58,844	0,319	56,793	0,356	42,758	0,356	50,282	0,222	37,354	0,275	44,253	0,263	51,295	0,137	40,567
Mín.	0,014	31,807	0,006	45,820	0,012	44,118	0,011	32,135	0,008	36,786	0,009	27,892	0,009	32,393	0,004	34,924	0,003	26,514
Desv. Est.	0,025	5,331	0,023	4,282	0,020	3,898	0,020	3,385	0,021	4,320	0,018	2,836	0,020	3,846	0,020	5,093	0,017	4,671
	Periodo húmedo																	
Media	0,052	48,536	0,052	40,769	0,049	41,749	0,049	40,866	0,050	38,550	0,050	44,959	0,051	43,862	0,052	45,186	0,046	41,395
Máx.	0,295	55,555	0,289	45,248	0,236	45,867	0,269	44,708	0,354	44,335	0,228	49,919	0,270	49,618	0,219	49,747	0,181	47,607
Mín.	0,014	41,652	0,017	35,785	0,018	36,982	0,013	36,541	0,010	33,492	0,011	39,670	0,017	38,242	0,009	40,607	0,001	35,391
Desv. Est.	0,021	4,450	0,021	2,155	0,020	2,509	0,019	2,277	0,021	2,795	0,018	2,854	0,019	3,260	0,019	2,285	0,018	3,192

*Nota.* Datos obtenidos de la Correlación entre la Temperatura Superficial Terrestre y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada para los años comprendidos entre el 2013 y 2021.

Se calcula el grado de relación que existe entre la TST y NDVI mediante la ecuación de la recta, observando que sí guarda relación entre ellos porque los valores obtenidos van de 0,045 a 0,3 para el periodo seco.



Se calcula el grado de relación que existe entre la TST y NDVI mediante la ecuación de la recta, observando que sí guarda relación entre ellos porque los valores obtenidos van de 0,08 a 0,2 para el periodo húmedo.



#### **4.4. Propuesta de Acciones de Manejo Ambiental**

La presente Propuesta de Acciones de Manejo contempla alternativas para la mitigación de los efectos que causan las islas de calor urbano. Se realizó el recorrido en campo el cual se identificó zonas con poca cobertura vegetal (Ver anexo 2).

##### **4.4.1. Introducción**

Las áreas verdes, suelos desnudos y superficies de filtración y evaporación son cada vez menores en zonas urbanas debido a la urbanización, por lo que es una tarea de todo ser humano habitante de este planeta, el buscar y proponer alternativas de solución que mitiguen los efectos causados por la problemática descrita, de tal forma es importante para mantener el confort térmico de una ciudad (Torres, 2020), generando conciencia ambiental a los problemas relacionados con las Islas de Calor a través de Programas de Educación Ambiental.

##### **4.4.2. Objetivo**

Proponer y concientizar a la población sobre las medidas de mitigación de los efectos de las islas de calor urbano en el distrito de Alto de la Alianza de la provincia de Tacna.

##### **4.4.3. Justificación**

La arborización ubicada adecuadamente en un espacio público, asegura las actividades sociales y configuran el espacio, delimitando, resaltando objetos o sendas, protegiendo, purificando el aire, creando microclimas y previene el calentamiento en zonas construidas por medio del proceso de evapotranspiración (LLosa, 2020).

A partir del estudio realizado se ha determinado que en el distrito de Alto de la Alianza presenta un índice de calor elevado como consecuencia de la ausencia de vegetación que presenta; llegando en época seca y época húmeda a 58° y 55° de temperatura superficial terrestre respectivamente. Según la ONU recomienda que tengan un estándar mínimo de 9m<sup>2</sup> de áreas verdes por habitante.

Debido a esto es necesario implementar cobertura vegetal con especies que cuenten con las características necesarias para subsistir en ese sector, que sea de rápido crecimiento y poco consumo de agua, por ser Tacna una zona desértica. Generando una conciencia ambiental de la problemática de las islas de calor urbano.

#### 4.4.4. Metodología de propuesta

##### A. PROPUESTA ESTRUCTURAL

Según Narváez & Ruiz (2013) estas medidas son aquellas que se vinculan con las modificaciones que se ejecutan en el suelo urbano, así como en la infraestructura de un lugar como tal, con el objetivo de mejorar la planeación urbana de dicho lugar.

##### Especies propuestas para el arbolado urbano

Para la presente propuesta se propone la especie *Ficus Benjamina*

**FICUS BENJAMINA** (Niembro, 1986)

Nombre común: Ficus

Nombre técnico: *Ficus benjamina*

Familia: Moraceae

Origen: Asia y otras zonas tropicales y subtropicales

Talla: Árboles, arbustos hasta de 10 m de altura o más.

Aspecto: Tronco liso y ramificado de color claro, hojas alternas y persistentes con nervaduras más o menos visibles, de forma ovalada, el color varía del verde vivo al oscuro y de anchura variable.

Uso: Como planta de sombra y ornato por la belleza de su follaje.

Multiplicación: Acodo

##### Recomendaciones de los organismos oficiales respecto a la plantación de árboles en las zonas urbanas.

Según Martínez Ortega et al. (1994) dentro de la información obtenida principalmente en tratados de fruticultura y forestera se encuentra información referente a los pasos a seguir para realizar una plantación principalmente cuando se trata de trasplantes o propagación vegetativa. La gran parte de los autores consultados referentes al tema, se dan los siguientes pasos: Una vez que se tiene el árbol y el lugar designado, se continúa a realizar el hoyo que deberá ser de un tamaño proporcionado al tamaño de la especie, que en la mayoría de los casos es de 40 X 40 X 40 cm. a 40 X 40 X 60 cm; el resto del procedimiento consiste en colocar el árbol dentro del hoyo ; si se encuentra en

un recipiente, se deshecha y se procede a rellenar la cepa con la misma tierra extraída y en algunos casos enriquecida con aportaciones de materia orgánica y fertilizantes. De ser necesario se le pone una espaldera o tutor; finalmente se procede al riego inmediato después de la plantación.

**Descripción del diseño propuesto para los Parques y Jardines del Distrito de Alto Alianza. (Martinez Ortega et al. 1994)**

1. Después de seleccionar la especie verificar que los árboles elegidos se encuentren en buen estado.
2. Si se transportarán, deberán ser acomodados con cuidado para evitar que se maltraten en el transcurso del viaje.
3. Verificar que el lugar en donde se realizará la plantación sea el adecuado y que no sucederán problemas para el desarrollo
4. Realizar con varios días de anticipación, la excavación para el hoyo donde se plantará el árbol, para conseguir un suelo bien ventilado
5. La profundidad deberá ser la adecuada para que ingresen las raíces sin doblarse, el ancho deberá ser de 40 x 40 cm. como mínimo.
6. La tierra que se extrae del hoyo puede ser mejorada con abono para que el árbol se desarrolle con más fuerza.
7. Separar la bolsa o lata con bastante cuidado, teniendo precaución de mantener la tierra adherida alrededor de las raíces.
8. Colocar el árbol en su lugar cuidando que quede recto y llenar el hoyo con tierra.
9. No presionar demasiado la tierra y evite amontonar sobre el tallo del arbolito.
10. De ser necesario sujetar el árbol con un palo o alambre para que el viento no lo deje caer.
11. Regar el árbol de inmediato luego de ser plantado, para que la tierra se presione entre las raíces.
12. Hacer un borde alrededor de la especie para que el agua de riego se reparta equitativamente.
13. Colocar una reja de madera, o cualquier otro material para resguardar la especie recién plantada.
14. Regar cada tres o cuatro días según la naturaleza del suelo y el estado del tiempo.

15. Cuidar el cajete de la especie para que aproveche mejor los riegos y no crezcan mala hierbas a su alrededor.
16. Abonar en un periodo de seis meses o por año los árboles pequeños. En el caso de los árboles adultos hacerlo cada cinco años.
17. Si es necesario realizar alguna poda, se recomienda solicitar asesoría técnica, ya que una poda mal hecha puede deteriorar el árbol.

Se propone como iniciativa poder implementar en las instituciones más representativas como en la municipalidad y centros educativos.

## **B. PROPUESTA NO ESTRUCTURAL**

Esta propuesta Narváez & Ruiz (2013) nos dice que se relaciona con las políticas, planes, programas, proyectos y normas que deben ser aplicadas para regular la mala planeación urbana que se viene ejecutando dentro de zonas o áreas específicas.

Narváez & Ruiz, (2013) proponen trabajar además con un enfoque eco-sistémico porque es integral y consideran tantos factores ecológicos, como económicos, culturales y sociales en un marco geográfico determinado.

Proyecto 1. Capacitación y formación en temas de mitigación del efecto de isla de calor, promoviendo el conocimiento y valoración mediante procesos de educación ambiental tanto para escenarios sociales e institucionales.

Proyecto 2. Conformación de un ambiente de coordinación con la comunidad e instituciones para contribuir a la disminución de los efectos de isla de calor urbana en el distrito.

Proyecto 3. Capacitación para la utilización de espacios como terrazas, fachadas solares y patios, entre otros, para su conversión en áreas verdes utilizando distintas formas de cobertura vegetal (arbórea, arbustiva, flores, plantas aromáticas y tipo huerta) para disminuir así la isla de calor urbana.

## CAPÍTULO V. DISCUSIÓN

### 5.1 . Contraste con respecto a otras investigaciones

#### 5.1.1. Hipótesis General

- Hi: Se podrá identificar las islas de calor en la zona urbana de la ciudad de Tacna, haciendo uso del algoritmo de Split Window.

Según Sobrino et al. (2005), en su estudio sugirió este algoritmo por su sencillez matemática que tiene la ventaja de no requerir información ajena a la aportada por el satélite. La aplicación del algoritmo Split Window permitió obtener la temperatura de la superficie terrestre con un alto grado de confianza y con RMSE inferior al 1%.

En nuestra investigación se logró determinar las islas de calor de la zona urbana de Tacna aplicando el algoritmo de Split Window para los años 2013 al 2021, siendo Alto de la Alianza el distrito con mayor temperatura superficial.

#### 5.1.2. Hipótesis Específicas

- H<sub>1</sub>: Es posible determinar el tipo de cobertura vegetal en la ciudad de Tacna.

En el estudio realizado por Toribio 2019 el NDVI ha sido uno de los índices más utilizados en la teledetección desde la década de 1970. Los resultados del cálculo del NDVI varían de -1 a 1. Los valores negativos corresponden a zonas con superficies de agua, nubes, nieve; el suelo desnudo generalmente cae dentro del rango de 0,1 a 0,2; y las plantas siempre tendrán valores positivos entre 0,2 y 1. El rango de vegetación sana y densa debería ser >0,5, y la vegetación dispersa probablemente caerá dentro de 0,2 a 0,5. En la mayoría de los casos, los valores de NDVI entre 0,2 y 0,4 corresponden a áreas con vegetación escasa; la vegetación moderada tiende a variar entre 0,4 y 0,6; cualquier cosa por encima de 0,6 indica la mayor densidad posible de hojas verdes.

En la investigación, luego de realizar el análisis multitemporal de NDVI de la zona de estudio que corresponde al área urbana de la ciudad de Tacna. Obtuvimos el menor índice de cobertura vegetal en el distrito de Alto de la

Alianza, el cual procedemos a realizar nuevamente el análisis en cuanto a Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada para el periodo seco y húmedo; y en base a este se desarrollará la propuesta de manejo ambiental.

- H<sub>3</sub>: Es factible establecer una propuesta de manejo ambiental para dar solución a las islas de calor urbano.

Según Vélez Reina y Vera Sandra (2018) en su investigación busca comprobar las causas y efectos de una ICU, así como también encontrar las preferencias de cada uno de ellos acerca de posibles soluciones de mitigación de este fenómeno térmico. Básicamente la alternativa de solución preferida por los actores fue la implementación de actividades de educación y de alcance público en lo referente a las ICU y la disminución de áreas verdes provocan este problema.

En nuestra investigación se establece una propuesta que si es factible para dar solución a las islas de calor resultan viables tanto en el corto y largo plazo implementando y concientizando a la población sobre las medidas de mitigación de los efectos de las islas de calor urbano en el distrito de Alto de la Alianza de la provincia de Tacna.

## **5.2. Contratación y demostración de la hipótesis con los resultados**

### **5.2.1. Hipótesis específicas**

En la presente investigación se hizo uso de la correlación de Pearson el cual nos ayudó hacer la contratación de nuestras hipótesis.

H<sub>1</sub>: Existe una relación directa entre la temperatura superficial y el índice de NDVI, en la zona de estudio

H<sub>0</sub>: No existe una relación directa entre la temperatura superficial y el índice de NDVI, en la zona de estudio.

**Tabla 15***Correlación de Pearson entre Temperatura Superficial Terrestre y NDVI*

		TST	NDVI
NDVI	Correlación de Pearson	1	0,183
	Sig. (bilateral)	-	0,001
	N	304	304
TST	Correlación de Pearson	0,183	1
	Sig. (bilateral)	0,001	-
	N	304	304

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

Haciendo uso de la correlación de Pearson (Tabla 15), se determinó un grado de significancia de ( $p < 0.01$ ), encontrándose una CORRELACION ALTA, rechazándose la hipótesis nula. Esto quiere decir que existe una relación directa entre la variabilidad, para el año 2013.

## CONCLUSIONES

Con respecto al objetivo general se logró identificar correctamente las Islas de Calor Urbano en la ciudad de Tacna, para los años 2013 al 2021, realizando mapas y tablas donde observamos zonas que presentan mayor temperatura superficial, siendo el distrito de Alto de la Alianza el más afectado.

En referencia al objetivo específico 1, se logró determinar el tipo de cobertura vegetal (NDVI) en la zona urbana de la ciudad de Tacna, se realizó el análisis multitemporal de Índice de Vegetación Diferencia Normalizada que corresponde, para el periodo seco y periodo húmedo de los años 2013 al 2021. Y así se identificó el distrito con menor índice de vegetación, el cual fue Alto de la Alianza, teniendo en cuenta la cobertura mixta, cobertura sana y la zona urbana con suelo erosionado.

Se determinó la relación que existe entre la cobertura vegetal y el incremento de la temperatura superficial, en la zona urbana de la ciudad de Tacna, utilizando la metodología de Pearson obteniendo una Correlación Alta.

Finalmente se estableció una propuesta de manejo ambiental para las islas de calor urbano, planteando la implementación de áreas verdes teniendo como especie *Ficus Benjamina* y concientizando a la población sobre las medidas de mitigación de los efectos de las islas de calor urbano en el distrito de Alto de la Alianza de la provincia de Tacna.

## RECOMENDACIONES

El presente trabajo de investigación puede ser utilizado como un soporte técnico para la construcción de áreas verdes en el distrito de Alto de la Alianza.

Al trabajar con imágenes satelitales se recomienda utilizar imágenes sin presencia de nubes en el área de estudio, debido a que ellas alteran los resultados que se obtendrán.

Se recomienda ejecutar las propuestas recomendadas para el distrito de Alto de la Alianza en el presente trabajo de tesis.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Andrés Anaya, P. (2019). *Temperatura Superficial Terrestre a partir de imagenes satelitales: Herramienta para su cálculo*. Salamanca, España.
- Arellano, K., Padilla, P., & Molina Iñigo. (2019). Determinación de Zonas Propensas al Virus de la Mancha Blanca Camaroneras de la Isla Puná, mediante el Cálculo de Temperatura Superficial con Algoritmo Split Window. *Revista Geoespacial*, 16(1), 33-42.
- Ariza, A. (2013). Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 LDCM. *Knowledge Portal*.
- Audeguy, S. (2007). *Wikipedia*. Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Luke\\_Howard](https://es.wikipedia.org/wiki/Luke_Howard)
- BCRP-Arequipa. (2022). *Caracterización del Departamento de Tacna*. Arequipa : Gerencia central de Administración .
- Belén Sosa, M. (2018). *Estrategias de mitigación de la isla de calor sustentabilidad ambiental y eficiencia energética de perfiles urbanos de baja densidad en zonas áridas*. Mendoza, Argentina.
- Bottino Bernardi, M. d. (2009). *La ciudad y la Urbanización*.
- Carlson, T., & Ripley, D. (1997). On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. *Remote Sensing of Environment*, 62(3), 241-252.
- Castillo Castán, V. (2008). El Calentamiento Urbano: La isla de calor en Monzón (Huesca). *Dialnet*, 47-90.
- Córdova Sáez, K. (2011). Impacto de las Islas Térmicas o Islas de Calor Urbano, en el ambiente y la salud humana. Análisis estacional comparativo: Caracas, Octubre 2019 - Marzo 2010. *Redalyc*, 95-122.
- Correa, E. N., Flores Larsen, S., & Lesino, G. (2003). Isla de calor urbana: efecto de los pavimentos. Informe de avance. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA)*, 7, 25-30. Obtenido de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/81350>
- Gálvez Salinas, J. A. (2013). *Criterios para la Planificación y el Diseño de Corredores Fluviales Urbanos para la mitigación de la Isla de Calor (Urban Heat Island)*. Obtenido de Obtenido de CONAMA 2013: <http://labplam.ugr.es/>

- García Herrera, G. A. (2018). *La Isla de Calor en la zona urbana de la ciudad de Guayaquil, mediante sistemas de información geográfica y teledetección*. Guayaquil.
- Gartland, L. (2008). *Heat Islands Understanding and Mitigating Heat in Urban Areas*. London. doi:<https://doi.org/10.4324/9781849771559>
- Givoni, B. (1998). *Climate Considerations in Building and Urban Design*. Van Nostrand Reinhold, the USA. *Scientific Research an Academic Publisher*.
- Greenurbandata. (20 de Febrero de 2019). *Temperatura superficial terrestre ¿afecta a mi ciudad?* Obtenido de <https://greenurbandata.com/2019/02/20/temperatura-superficial-terrestre/>
- IPPC. (2001). *Tercer informe de evaluación*. Ginebra, Suiza: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático .
- Jami , L., Mora, M. B., Padilla , O., & Kirby, E. (2018). Análisis de la Presencia de Islas de Calor en el Cantón Rumiñahui mediante el tratamiento de imágenes Landsat 7ETM+. *Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE*, 13(1), 5-8. doi:10.24133/cctespe.v13i1.634
- Jiménez Muñoz, J. C., Sobrino, J. A., Skokovic, D., Mattar, C., & Cristóbal, J. (2014). Land Surface Temperature Retrieval Methods From Landsat-8 Thermal Infrared Sensor Data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 11(10), 1840-1843.
- Lantada, N., & Núñez Andrés, M. (2002). *Sistemas de información geográfica : prácticas con ArcView*. Barcelona: Edicions UPC.
- Lima Aróstegui, R. A. (2021). *Determinación de islas de calor urbano en la ciudad de Tacna, mediante el uso de imágenes satelitales*. Tacna.
- Llosa Blanco, J. (2020). *Recuperación del paisaje cultural en las dos primeras cuadras de la avenida Bolognesi - Tacna*. Tacna.
- Magee, N., Curtis , J., & Wendler, G. (1999). The Urban Heat Island Effect at Fairbanks, Alaska. *Theoretical and Applied Climatology*, 64, 39-47. doi:<https://doi.org/10.1007/s007040050109>
- Martín Leon, F. (11 de Junio de 2017). *El efecto "isla de calor" y los costos del cambio climático*. Obtenido de <https://www.tiempo.com/ram/340662/efecto-isla-calor-los-costos-del-cambio-climatico/>

- Martinez Ortega, A., Luna Melgosa, J. J., & Vera Gómez, D. G. (1994). *Diseño de un Sistema de Plantación para Zonas Urbanas, que permitan la Orientación Radicular de plantas de Ficus Benjamina*. Guadalajara.
- Martinez, D. (2009). Guía Técnica para la elaboración de Planes de Manejo Ambiental (PMA). Tunjuelito.
- Moreno García, M. (1990). Bibliografía sobre la Climatología urbana: La Islade Calor I. 24(1). Obtenido de <https://raco.cat/index.php/RevistaGeografia/article/view/46055>
- Muñoz Aguayo, P. (Abril de 2013). *Apuntes de teledetección : índices de vegetación*. Chile: Centro de Informacion de Recursos Naturales. Obtenido de <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/26389>
- Naciones Unidas. (2001). *World Urbanization prospects, The 1999 Revision*. New York: United Nations 2004. *World urbanization prospects: the 2003 Revision*. Obtenido de <http://www.un.org/esa/population/publications/wup2003/2003wup.htm>.
- Narváez Jimenez, I. C., & Ruiz López, M. (2013). *entificacion y Propuesta de estrategias de mitigacion del efecto isla de calor para una localidad del distrito Capital*. Bogotá.
- Niembro, A. (1986). *árboles y Arbustos útiles de México*. Mexico DF: LIMUSA.
- Oke, T. (1987). *Boudary Layer Climates (2nd ed.)*. Obtenido de <http://bayanbox.ir/view/6693893538424427706/T.-R.-Oke-Boundary-Layer-Climates-Second-Editio-BookFi.org.pdf>
- Oke, T. R. (1976). The distinction between canopy and boudary layer urban heat islands. *Atmosphere*.
- Olaya, V. (2014). *Sistema de Información Geográfica*. Obtenido de <https://volaya.github.io/libro-sig/>
- Palacios Arbaiza, V. (2018). *Relación entre la urbanización e islas de calor urbano por análisis espectro-temporal del Distrito de San Juan de Lurigancho*. Lima.
- Parra, J., Sorbino, J., Acevedo, P., & Morales, L. (Junio de 2006). Estimación de la temperatura de suelo desde datos satelitales AVHRR–NOAA aplicando algoritmos de split window. *Revista Mexicana de Física*, 52(3), 238-245. Obtenido de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0035-001X2006000300007](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0035-001X2006000300007)

- Rizwan , A., Dennis, Y., & Liu, C. (2008). A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of Environmental Science*, 120-128.
- Rodrigo Villar, G. (29 de enero de 2015). *Labferrer*. Obtenido de Obtener más información de los Sensores de NDVI: <https://www.youtube.com/watch?v=DTiuJWLqJNU>
- Rouse, J. W. (mayo de 1974). monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. *NASA/GSFG*. Texas.
- Sarría, A. (01 de junio de 2018). Cálculo de Temperatura de superficiea partir de imágenes NOAA, LANDSAT Y SENTINEL-3.
- 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 imagenes Terra-Modis y Analisis de componentes principales. *Revista de geografía Norte Grande*, 123-141. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022014000100009>
- Service, C. G. (2016). *Land Surface Temperature*. Obtenido de <https://land.copernicus.eu/global/products/lst>
- Skokovic, D., Sobrino, J. A., Jimenez-Muñoz, J. C., Sória, G., Julien , Y., Mattar , C., & Cristobal, J. (2014). Calibration and Validation of land surface temperature for Landsat8 - TIRS sensor.
- Soberón - Forsberg, V., & Obregón Párraga, E. (2016). Identificación de Islas de Calor en la ciudad de Lima Metropolitana utilizando imágenes del satélite Landsat 5TM. *Revista Anales Cientificos*, 77, 34-44.
- Sobrino, J. A., Jimenez-Muñoz, J. C., & Paolini , L. (2004). Land surface temperature retrieval from LANDSATR 5TM. *Remote Sens Environ*, 90(4), 434-440. doi:10.1016/j.rse.2004.02.003
- Terulla Revilla, S. N. (2016). *Análisis de la relación de la isla de calor urbano con factores demográficos, espaciales y ambientales de Lima Metropolitana usando sensores remotos*. Lima.
- Toribio, G. (25 de octubre de 2019). *Cursos Teledetección*. Obtenido de NDVI, ¿qué es y para qué sirve?: <https://www.cursosteledeteccion.com/ndvi-que-es-y-para-que-sirve/>
- Torres Quintana, J. L. (2020). *Estrategias de mitigación de islas de calor urbano en Toluca*. México.

- Velez Reina, J. A., & Vera Reyes, S. (2018). *Evaluación y propuesta de estrategias de mitigación ante efectos de las islas de calor urbano presentes en el cantón Durán*. Guayaquil. Obtenido de <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/46153>
- Villacorta Rocha, F. (2015). *Disminución de las Áreas Verdes, en la Aparición de las Islas de Calor en la Ciudad de Iquitos entre los años 2004 - 2014*. Loreto.
- Voogt, J. (2008). *Islas de Calor en zonas urbanas: Ciudades más calientes*. American Institute of Biological Sciences. Obtenido de <https://castorluxerias.blogspot.com/2009/08/ciudades-mas-calientes.html>
- Yu, X., Guo, X., & Wu, Z. (2014). Land surface temperature retrieval from Landsat 8 TIRS-Comparison between radiative transfer equation-based method, split window algorithm and single channel method. *Remote Sensing*. 6(10), 9829-9852.

**ANEXOS**

### Anexo 1. Matriz de consistencia

<b>Problema General</b>	<b>Objetivo General</b>	<b>Hipótesis General</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>Indicador</b>	<b>Metodología</b>
¿Cómo identificar las islas de calor en la zona urbana de la ciudad de Tacna?	Identificar las islas de calor en la zona urbana de la ciudad de Tacna, haciendo uso del algoritmo de Split Window.	Hi: Se podrá identificar las islas de calor en la zona urbana de la ciudad de Tacna, haciendo uso del algoritmo de Split Window.	Islas de Calor Urbano	- Temperatura de brillo - temperatura superficial terrestre.	Procesamiento de imágenes satelitales, aplicando algoritmo de Split Window.
<b>Problemas Específicos</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>Hipótesis Específicas</b>	Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)	<b>Indicador</b>	<b>Metodología</b>
¿Cuál es el tipo de cobertura vegetal en la ciudad de Tacna?	Determinar el tipo de cobertura vegetal (NDVI) en la zona urbana de la ciudad de Tacna	H <sub>1</sub> : Es posible determinar el tipo de cobertura vegetal en la ciudad de Tacna. H <sub>2</sub> : Existe una relación entre las islas de calor y el incremento de la temperatura superficial, en la zona urbana de la ciudad de Tacna.		- Cobertura vegetal - Emisividad	Procesamiento de imágenes satelitales, aplicando algoritmo de Split Window.
¿Cuál es la relación que existe entre la cobertura vegetal y el incremento de la temperatura superficial, en la zona urbana de la ciudad de Tacna?	Determinar la relación que existe entre la cobertura vegetal y el incremento de la temperatura superficial, en la zona urbana de la ciudad de Tacna.	H <sub>0</sub> : No existe una relación entre las islas de calor y el incremento de la temperatura superficial, en la zona urbana de la ciudad de Tacna. H <sub>3</sub> : Es factible establecer una propuesta de manejo ambiental para dar solución a las islas de calor urbano			
¿Qué solución se pueden establecer para las islas de calor urbano?	Establecer una propuesta de manejo ambiental para las islas de calor urbano.				Procesamiento de imágenes satelitales, aplicando algoritmo de Split Window.

## Anexo 2. Panel Fotográfico

- A. Reconocimiento de la zona donde se realizará la propuesta de manejo ambiental.

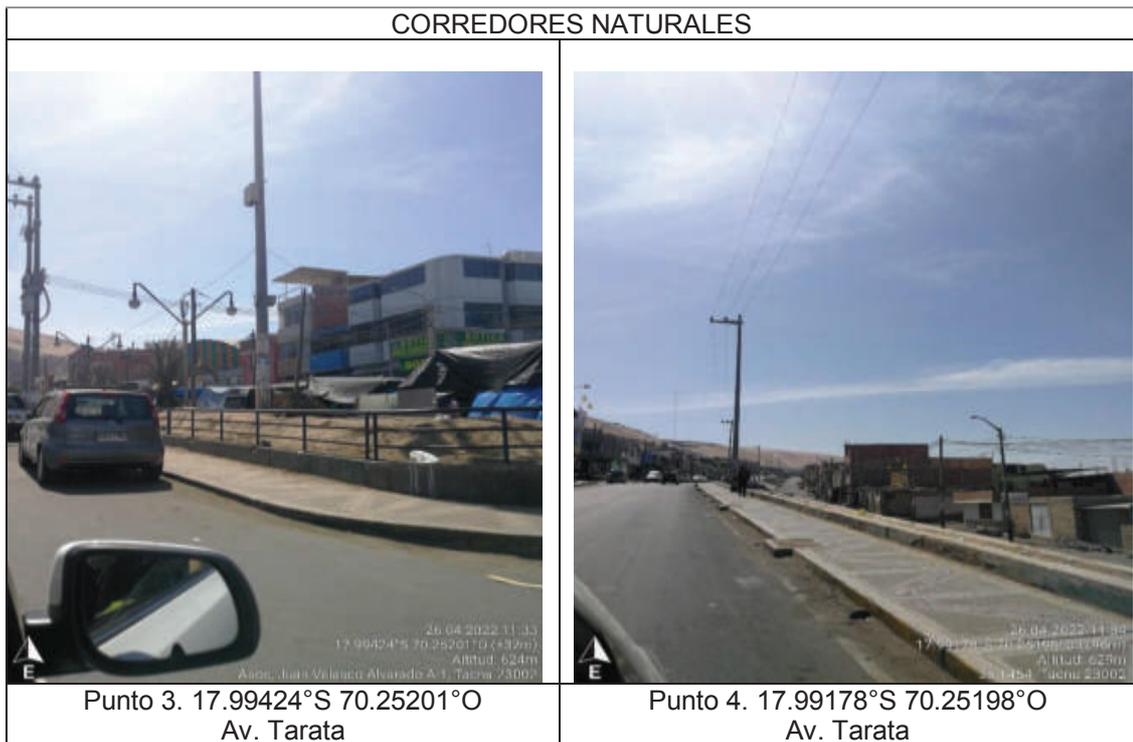


Nota: Las imágenes tomadas de Google Earth representan el distrito de Alto de la Alianza, zona en la que se estima realizar la propuesta de manejo ambiental.

- B. Identificación zonas con NDVI bajo



Nota: En las imágenes se identificó algunas de las zonas con poca vegetación



*Nota:* Observación de corredores naturales, sin presencia de áreas verdes.



*Nota:* En las dos imágenes superiores se observa la escasez de vegetación en las calles Los Jazmines y Calle Nazca cercana a la Institución Educativa Inicial Jorge Basadre.

## C. Identificación de Zonas con vegetación moderada.

PARQUES O PLAZAS BARRIALES	
	
Punto 7. 17.9973°S 70.25949°O Plaza el Mirador	Punto 8. 18.00009°S 70.26304°O Plaza los lirios

*Nota:* Parte izquierda, se observa la Plaza El Mirador se observa presencia de áreas verdes creando una armonización y disminución de calor, en la imagen de la parte derecha pertenece a la Plaza los Lirios también cuenta con vegetación moderada.

ZONAS CON DEMANDA CONCURRENCIA POBLACIONAL	
	
Punto 9. Coliseo Tupac Amaru	Punto 10. Terminal terrestre Collasuyo

*Nota:* En la parte izquierda podemos observar el Coliseo Tupac Amaru del Distrito de Alto de la Alianza; así como el lado derecho se observa el Terminal Terrestre Collasuyo, ambas zonas cuentan con poca vegetación.

## D. Identificación de Zonas con vegetación ausente

ZONA DENUDADA	
	
Punto 11. 17.99924°S 70.2625°O Asoc. San Pedro	

*Nota:* Zonas con suelo denudado en Asoc. San Pedro en el Distrito de Alto de la Alianza, donde se podría colocar cobertura vegetal.