



Universidad César Vallejo

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Determinación De Isla De Calor Urbano Superficial Para Mitigar
Riesgos Ambientales – Ciudad Cusco – 2022**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Ambiental

AUTOR:

Lima Flores, Mijael Isau (ORCID: 0000-0003-3270-7759)

ASESOR:

Mgtr. Reyna Mandujano, Samuel Carlos (ORCID: 0000-0002-0750-2877)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Gestión De Riesgos Y Adaptación Al Cambio Climático

LIMA – PERÚ

2022

Dedicatoria

A Dios por darme sabiduría, a mis padres por darme la motivación constante en mis estudios, por aconsejarme, orientarme y sobre todo por haber confiado en mí y a mis hermanos que siempre estuvieron cuando mas lo necesitaba y a todos mis amigos.

Agradecimiento

A Dios, a mis padres por todo el apoyo que me brindaron desde el momento que nací, y a todas las personas, amigos y familiares que han hecho posible que llegue a esta etapa de mi vida, así mismo, quiero agradecer a mis hermanos JHON y RODMEL por apoyarme en todo lo que necesitaba, por dirigirme siempre hacia adelante y por la paciencia que tuvieron conmigo en momentos difíciles.

Índice De Contenidos

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice De Contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	8
III. METODOLOGÍA	16
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	16
3.2. Variables y operacionalización	16
3.3. Población (criterios de selección), muestra, muestreo, unidad de análisis.....	18
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	18
3.5. Procedimiento	19
3.6. Método De Análisis De Datos.....	20
3.7. Aspectos éticos	22
IV. RESULTADOS	23
V. DISCUSIÓN	33
VI. CONCLUSIONES	37
VII. RECOMENDACIONES	39
REFERENCIAS	40
ANEXOS	45

Índice de tablas

Tabla 1: Coeficiente De Correlación De TS Y NDVI Del 2019	28
Tabla 2: Coeficiente De Correlación De TS Y NDVI Del 2020	28
Figura 3: Coeficiente De Correlación De TS Y NDVI Del 2021	29
Tabla 4: Temperatura Del Aire Del 2019	30
Tabla 5: Temperatura Del Aire Del 2020	31
Tabla 6: Temperatura Del Aire Del 2021	32

Índice de figuras

Figura 1: Mapa De Ubicación Del Área De Estudio.....	4
Figura 2: Isla De Calor Urbano.....	12
Figura 3: Factores Que Contribuyen A La Formación De Isla De Calor Superficial	13
Figura 4: Diferencia Entre Área Urbana Y Rural	14
Figura 5: Mapa De Ubicación De La Estación Meteorológica Kayra	15
Figura 6: Mapa De Temperatura Superficial 2019.....	24
Figura 7: Mapa De Temperatura Superficial 2020.....	25
Figura 8: Mapa De Temperatura Superficial 2021.....	26
Figura 9: Mapa De Índice De Vegetación Normalizada (NDVI).....	27

Resumen

La isla de calor urbano superficial es el problema actual por la creciente de áreas urbanas, cambio de la cobertura del suelo, intensidad de infraestructuras, migración de la población rural hacia las áreas urbanas, con ello, se transforma y se da el sellado del suelo antropogénico. Este trabajo describe y analiza la temperatura superficial del casco urbano de la ciudad de Cusco a partir de la imagen satelital Landsat 8, se utilizó la banda 10 (infrarrojo térmico) y las bandas 4 (rojo), 5 (infrarrojo cercano), el objetivo es determinar la temperatura superficial del casco urbano de la ciudad de Cusco en el año 2019, 2020 y 2021, la imagen satelital se obtuvo de la plataforma USGS (servicio geológico de los estados unidos), luego, el procesamiento de datos se realizó en los programas de ArcGis 10.4.1 y ENVI 5.0 llegando a obtener como respuesta que la temperatura superficial de la ciudad de Cusco se encuentra dentro de los valores de 0° a 39 °C y el NDVI alcanza valores de -0.04 a 0.8. La temperatura superficial presenta una correlación inversa con el NDVI, lo cual, nos indica que a medida se pierde áreas con vegetación surge el fenómeno de isla de calor superficial, así mismo, una manera de disminuir la formación de isla de calor es destinar más áreas para la vegetación.

Palabras clave: isla de calor urbana, temperatura superficial, cobertura de suelo.

Abstract

The surface urban heat island is the current problem due to the growth of urban areas, change in land cover, intensity of infrastructures, migration of the rural population to urban areas, with this, it is transformed and the soil is sealed. anthropogenic. This work describes and analyzes the surface temperature of the urban area of the city of Cusco from the Landsat 8 satellite image, band 10 (thermal infrared) and bands 4 (red), 5 (near infrared) were used, the objective is to determine the surface temperature of the urban area of the city of Cusco in the years 2019, 2020 and 2021, the satellite image was obtained from the USGS platform (United States Geological Service), then, the data processing was carried out in the ArcGis 10.4.1 and ENVI 5.0 programs, obtaining as a response that the surface temperature of the city of Cusco is within the values of 0° to 39 °C and the NDVI reaches values of -0.04 to 0.8. The surface temperature presents an inverse correlation with the NDVI, which indicates that as areas with vegetation are lost, the surface heat island phenomenon arises, likewise, one way to reduce the formation of a heat island is to allocate more areas for vegetation.

Keywords: urban heat island, surface temperature, land cover.

I. INTRODUCCIÓN

La población mundial está en aumento hay más personas conforme pasan los años, esta situación de crecimiento poblacional ha influenciado de manera significativa la impermeabilización de suelos urbanos y su reemplazo con materiales que absorben la radiación solar, la población rural es menor a las poblaciones urbanas que se pueden encontrar en las diferentes ciudades, así mismo, se estima que la población urbana ocupa menos espacio pero son los que presentan mayor población, el cambio de la cobertura del suelo genera espacios con poca infiltración, suelos con cobertura asfáltica (Casadei, Semmartin Y Garbulsky, 2021).

La ONU menciona en un informe que realizo en el año 2018 que, el 55% de la población mundial vive en zonas urbanas, también pronóstico que para el 2050 esta cifra llegará a 68%, dato que da a conocer que la población urbana aumentara significativamente, este acontecimiento genera mayor expansión de las ciudades invadiendo zonas con vegetación que actúan como termorreguladores de las ciudades, ya que las áreas con vegetación tienen la capacidad de disminuir el CO2 existente en la atmosfera, también ejerce la evapotranspiración este fenómeno ayuda a mantener el clima, la inexistencia de espacios con vegetación conlleva a un calentamiento de la superficie del suelo ya que estos suelos han sido reemplazados con materiales que concentran y retienen mayor energía solar, el grado de impermeabilidad, su albedo, rugosidad y la extensión de zonas con vegetación generan la formación de isla de calor urbano (Arellano Y Roca, 2018).

Los suelos no intervenidos por el hombre actúan como absorbentes de la lluvia acumulan agua en su interior para posteriormente evaporar cuando incida la energía solar, así también las zonas verdes tienen la capacidad de reflejar la energía solar, pero las zonas transformadas presentan menor albedo por consiguiente son zonas que absorben mayor energía, sin embargo, esta situación no es tomada en consideración por organizaciones gubernamentales (Sucapuca, 2019) en su investigación logró identificar que las zonas verdes actúan como amortiguadores y controladores de la formación de isla de calor urbana superficial.

Esta transformación de las ciudades tiene un impacto que es el incremento de la temperatura superficial lo cual es denominado como isla de calor urbano superficial,

término que da conocer la capacidad que tiene una ciudad considerando sus características morfológicas para absorber y retener la energía solar para posteriormente irradiar al ambiente (Aragoneses, 2020).

De igual forma este evento se manifiesta en nuestra ciudad de Cusco que está situado en la parte céntrica del departamento, su población según el censo de 2017 alcanza los 428450 habitantes, se encuentra a una altitud de 3300 msnm, sus coordenadas son 13°31'00"S 71°58'44"O y la clima de Cusco es variado durante el año presenta dos épocas que son de lluvia (noviembre a marzo) y seco, la temperatura mínima es de 0 °C y la máxima es de 19 °C. La explosión demográfica cambió la cobertura de suelo, la migración de la población rural por busca de mejores oportunidades hacia la ciudad de Cusco crea una demanda de infraestructura esto hace que lugares con vegetación sean invadidas para posteriormente sean reemplazados por construcciones y asfalto lo cual contribuye a la formación de isla de calor urbano (Aragón, Rodríguez, Varón Y Sánchez, 2020), en su investigación determinan que la creciente de ciudades y el cambio de cobertura del suelo aumenta la temperatura superficial.

La aglomeración de vehículos motorizados también contribuye al aumento de temperatura originado por la pérdida de calor de los motores, está también los sitios con mayor afluencia de personas como puede ser la plaza de armas de Cusco, los diferentes centros comerciales existentes y las avenidas estrechas que en las cuales la circulación de aire es mínima este incremento de temperatura superficial repercute negativamente en los peatones se puede decir que el reflejo de calor en las avenidas son fuerte por lo cual las personas se sienten incomodos y optan caminar por lugares donde hay sombra y también hay fuerte demanda de uso de bloqueador solar, durante el día a esas horas de las 10 de la mañana a 1 de la tarde en presencia de cielo despejado el incremento de la temperatura en las superficies de asfalto es fuerte ocasionando un efecto de radiación de calor de la superficie, la ubicación geográfica de la región de cusco hace que la circulación de masas de aire sean de menos intensidad en determinados meses del año lo cual favorece a la formación de isla de calor en nuestra región de Cusco (Campoverde, 2018).

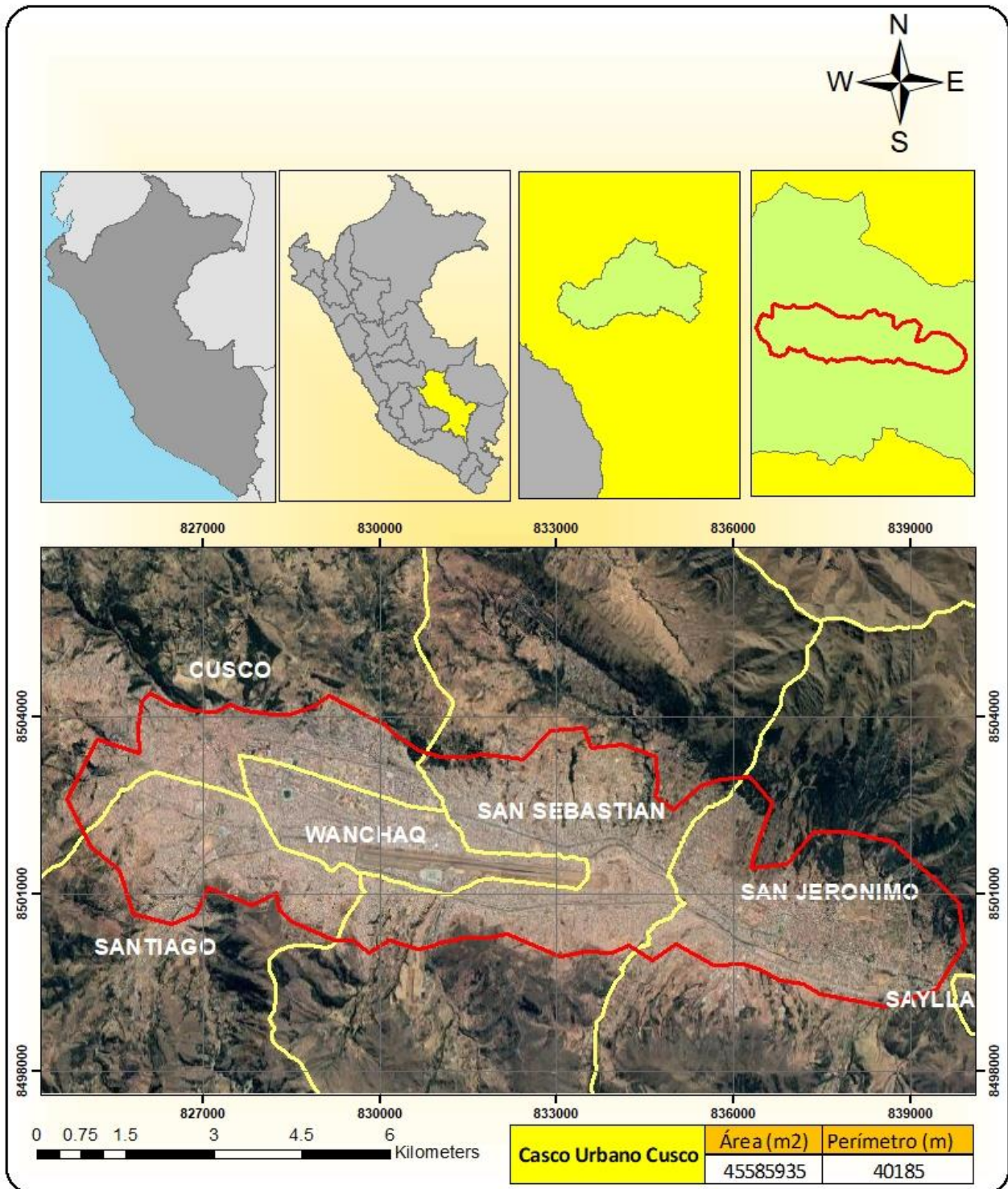
Las áreas con vegetación en la ciudad de Cusco son mínimos, ya que en el diseño de las diferentes infraestructuras no se toma en cuenta designar áreas para la

vegetación, otro de los factores es la falta de ordenamiento territorial, áreas asfaltadas como son plaza de Armas de Cusco, plaza Tupac Amaru, exteriores de Mercado Vinocanchon y el Aeropuerto Velasco Astete son algunos puntos de la ciudad de Cusco que presentan mayor área asfaltada, las avenidas principales del área de estudio como es la avenida cultura presenta doble vía por donde la circulación de automóviles es bastante fluido, además, presenta un considerable tramo asfaltado y aquí se puede considerar todas las avenidas y los techos de las infraestructuras de la ciudad de Cusco ya que son de material concreto, en algunos caso calamina y teja que tienen la capacidad de retener y posteriormente reflejar el calor acumulado, (Costa, Azevedo Y Bandeira 2020), su estudio lo realizó en el bosque amazónico en donde llevo a comprobar que la las áreas no intervenidas por el hombre no varía el valor de índice de vegetación, esto se mantiene cerca a uno, mientras que los lugares en donde la actividad se hace presente el valor de índice de vegetación disminuye, más aun en áreas urbanas.

Para llegar a los resultados esperados se va hacer un estudio a partir de imágenes satelitales, el satélite que se va utilizar es Landsat 8, el tiempo que se va analizar va ser de tres años 2019, 2020 y 2021 se va tomar en cuenta los meses de septiembre, noviembre y octubre, para obtener la temperatura de la superficie se va utilizar la banda 10 y para el índice de vegetación se va hacer uso de las bandas 4 y 5, finalmente, se va construir con los datos de temperatura superficial mapa de TS para cada año y para el índice de vegetación se va considerar solo los datos de 2021.

Mapa De Ubicación De Área De Estudio

figura 1: Mapa De Ubicación Del Área De Estudio.



Fuente: elaboración propia

Las enfermedades relacionadas a la isla de calor urbana se manifiesta en la personas de diversas edades, por lo general, los que son afectados directamente son las personas de la tercera edad, seguidamente por los niños ya que la retención de la energía solar es en la superficie, los riesgos a la salud de la ICU y al medio ambiente son significativos ya que pueden causar enfermedades y alteraciones dentro del medio ambiente, por ello, las grandes extensiones de pavimento son sitios que presentan mayor riesgo en determinados horas del día en la ciudad de cusco, así podemos mencionar la avenida cultura que aglomera gran cantidad de vehículos, así mismo, alrededor del mercado Vinocanchón se puede observar mayor área de asfalto, plaza Tupac Amaru, entre otros lugares que presentan mayor área asfaltada.

Para lo cual en el siguiente trabajo se va llevar a cabo un análisis a partir de imágenes de satélite Landsat 8 de la banda 10 que tiene una resolución de 100 metros, se localizará los puntos de mayor absorción y retención de la energía solar posteriormente con el programa de ArcMap se generará mapa de riesgo en el cual se ubicará los puntos con mayor temperatura de acuerdo a la zonas y características morfológicas (Moncada, Willems, 2020).

Problema General, ¿Cómo se presenta el incremento de la temperatura superficial en la ciudad de Cusco?, **Problemas Específicos**, ¿cómo afecta la cobertura asfáltica en la formación de isla de calor urbano?, ¿Cuáles son los valores registrados en la estación meteorológica kayra de la temperatura ambiente de la ciudad de Cusco?, ¿Cuáles son los puntos que muestran mayor temperatura superficial?

La presente investigación se justifica teóricamente ya que se enfocará en analizar la variación de temperatura en la superficie del suelo y los componentes que afectan que son el cambio de uso de suelo, poca cobertura vegetal y explosión demográfica. Así, el presente trabajo mostrará la variación de temperatura a partir de imágenes satelitales de Landsat 8, de esta manera se podrá identificar puntos con mayor temperatura y menor temperatura, con lo cual, se obtendrá un mapa de isla de calor urbano (Estrada, 2018).

Justificación práctica; los resultados de la presente investigación servirán para mitigar y controlar la formación de isla de calor urbana en la ciudad de cusco, teniendo en cuenta los datos de temperatura se puede hacer un ordenamiento territorial o generar más espacios con vegetación para así de esa forma poder minimizar la formación de la ICU, por otra parte, nuestras autoridades teniendo en cuenta la existencia de los puntos críticos de temperatura pueden sacar proyectos para mitigar este fenómeno (Gago, Torres Y Berrizbeitia, 2018).

Justificación social; la investigación quiere hacer conocer a la población de la ciudad de cusco la existencia de mayor temperatura superficial en determinados épocas del año lo que provoca la isla de calor y sus impactos, ya que el cambio y transformación de la cobertura de suelo puede generar impactos negativos a la salud de las personas adultas, niños y generar un excesivo gasto de la energía, e identificar puntos críticos de temperatura en donde la población tomara medidas preventivas (Arellano Y Roca, 2018).

OG. Determinar la isla de calor urbano Superficial en la ciudad de Cusco para mitigar riesgos ambientales.

OE 1. Analizar el NDVI y zonas con mayor área impermeabilizada con asfaltado.

OE 2. Analizar la temperatura del aire a partir de la estación meteorológica de kayra-Cusco.

OE 3. Ubicar puntos en donde se presenta mayor aglomeración de construcciones e infraestructuras.

HG, La hipótesis general de la investigación, la isla de calor urbano superficial se presenta en los lugares densamente pobladas como es la parte céntrica de cusco, el aeropuerto Alejandro Velasco Astete y se relaciona con temperatura superficial, áreas con presencia de asfaltado y con el NDVI.

HE 1, El NDVI del casco urbano de la ciudad de cusco se encuentra en valores mínimos y máximos lo que condiciona la formación de isla de calor urbano.

HE 2, La temperatura del aire se relaciona con el incremento de la temperatura superficial.

HE 3, La densidad de infraestructura y áreas recubiertas con material asfaltado presentan mayor temperatura superficial.

II. MARCO TEÓRICO

(Moncada W, 2020), utilizó las imágenes de Landsat 8 para determinar la temperatura superficial de la microcuenca Apacheta, para lo cual analizó 5 a 6 imágenes por año, llegó a determinar una variación de temperatura que va desde los -6 a 38 °C, de esta manera se pudo identificar zonas con menor temperatura y mayor temperatura, el objetivo principal de la investigación fue determinar la evolución de la temperatura en el área de estudio.

(Leticia, Villanueva Y Quiroa, 2018), demostraron la existencia de isla de calor urbano utilizando el método de la observación y transectos, la observación se clasificó en zonas mientras tanto los transectos en recorridos por distintas zonas del área de estudio, de esta manera respondieron a su objetivo que evaluar los efectos microclimáticos que tiene la vegetación, en los recorridos 1,2 y 3 se ha logrado identificar que la temperatura aumenta conforme pasan las horas el monitoreo se realizó de 9 a 10 am se identificó una variación de 2 a 3 °C, en los recorridos 4 y 5 se registró la temperatura a las 12 a 1 pm en el cual la temperatura sigue en aumento con una diferencia de 2°C, así mismo, de la 1 a 2pm seguía el aumento de temperatura aquí se registró una variación de 4°C.

(Gaxiola, 2021), desarrolló el análisis de 5 cuadrantes en donde se logró identificar que en cada una de ellas hay una variación de albedo y temperatura esto se debe al uso de suelo y la cubierta de suelo, los valores de NDVI también varían a cada cuadrante esto principalmente a que un cuadrante del otro presenta diferente morfología de suelo, ósea el revestimiento de suelo con diferentes materiales que retienen la radiación solar.

(Fuentes, 2021), analiza los diferentes materiales que se usa para el revestimiento de las avenidas y otros lugares, se ha determinado que los materiales de concreto como son el asfaltado, hormigón, son materiales que retienen mayor energía solar debido a su coloración y su propiedades físicas y químicas, el costo de material, de esta manera identificó el material que reflejaba más la radiación solar que es el pavimento pintado de color blanco, luego como una alternativa de mitigación opta por los pavimentos porosos los cuales tendrían veneficios ya que dentro de sus poros retienen agua y de esta manera seria menos la retención de la energía solar.

(Nuñez, Sanchez Y Gonzales, 2017), en su investigación presentan como objetivo actualizar los datos de la temperatura registradas y estudiadas anteriormente por diferentes autores, la actualización de la temperatura enfoca la de la superficie y la temperatura dentro y fuera de los edificios el cual es denominado confort térmico de los edificios. El procedimiento de la recolección de datos parte de seleccionar rutas estratégicas en donde se ejecuta la recolección y toma de muestras de temperatura en constante movimiento y otras muestras son tomadas estacionariamente, luego estos datos son procesados y arrojan que la zona estudiada presente aumento de temperatura en el mes de verano principalmente, así mismo, los datos analizados pueden ser utilizados para mejorar en el diseño de los edificios y urbanizaciones.

(Moyano, 2020), en el estudio que realizó muestra como objetivo identificar lugares sensibles a acumular energía solar durante ciertas horas del día y en condiciones atmosféricas favorables para que resulte dicho fenómeno, para ello, se basa en estudios y registros realizados anteriormente, estos estudios se han considerado desde 1959-2020. El análisis de temperatura se realizó durante el 2019 y 2020 para ser comparados con los estudios y registros ya estudiados, para determinar dicha variación de temperatura se ha tomado en cuenta los registros de temperatura de 2019 y 2020 de Curicó que estaban almacenadas en las estaciones meteorológicas y también se analizó las imágenes de Landsat 8, con todo ello logró demostrar la variación de temperatura urbana y rural, esta variación de temperatura es ocasionada por el crecimiento urbano y la falta de ordenamiento territorial.

(Mercado, 2021), su investigación tiene como objetivo relacionar los diferentes factores que originan la formación de la isla de calor y la distribución de la temperatura superficial en los diferentes lugares de la ciudad, además, relaciona la pérdida de los lugares públicos destinados a áreas verdes que es una consecuencia del crecimiento urbano, para resolver los objetivos planteados se analiza los registros de temperatura en las estaciones meteorológicas de la ciudad de Hermosillo Sonora, diseña el método de transectos o recorridos por la diferentes calles de la ciudad para el muestreo la temperatura y finalmente se analiza las imágenes de Landsat 8 específicamente la banda 10 el cual contiene datos de temperatura superficial, para extraer estos datos se hace uso del programa de

ArcGIS 10.4, el crecimiento de la ciudad de Hermosillo es el principal factor para el incremento de la temperatura superficial

(Candanedo Y Villareal, 2020), tiene como objetivo demostrar la existencia del fenómeno de isla de calor en los diferentes zonas de la ciudad de Panamá y los factores que los ocasiona, para ello analiza el diseño de la ciudad y la morfología de la ciudad estudiada, así mismo, para la obtención de datos de temperatura hace un recorrido por zonas que favorecen a la retención de temperatura ya sea por que presentan mayor área asfaltada, mayor número de edificios, zonas concurridas por personas y automóviles. El muestreo de temperatura lo realiza cada 500 metros, el equipo que se utilizó para el registro fue el termo-higrómetro el cual consta de una precisión de 1 centígrado, el muestreo de temperatura se ejecutó en tres épocas del año que son la seca, transición de seca a lluviosa y lluviosa. Los datos de muestreo son procesados en el programa de ArcGIS para obtener un mapa de temperatura, se llega a demostrar la existencia de isla de calor en la ciudad de Panamá, la temperatura varía de acuerdo a la época del año, diseño, área y característica de la zona.

(Quispe Y Revolo, 2020), en su investigación presenta como objetivo relacionar la influencia de la temperatura superficial en el desarrollo de los bosques de Queñua, el análisis se lleva a cabo mediante imagen satelital de Landsat 8, que fueron seleccionados durante los años de 2018 y 2019, dentro de este periodo de tiempo se han considerado analizar 9 imágenes de Landsat dentro del programa de ArcGIS, llegando a determinar la temperatura mínima que es de 4.79 °C y la temperatura máxima fue de 30.64°C, estas dos temperaturas es el promedio de las 9 imágenes que fueron analizadas, como respuesta al objetivo la temperatura superficial identifica en la zona donde se desarrolla el bosque de Queñua no afecta negativamente en el progreso de la planta es más se mantiene en niveles aptas para el bosque de Queñua.

(Aguilar, 2021), estudia la relación de la temperatura superficial entre el sector urbano y rural de la ciudad Cantón Manta, para demostrar dicha variación de temperatura se analiza imágenes satelitales proporcionada por el programa de Google earth, el procesamiento de datos se llevó a cabo en el programa de ArcGIS 10.4, en donde se procede a calcular el NDVI y la temperatura a nivel de la

superficie del suelo, obtenido una variación de temperatura que va desde 5 a 2 °C, por consiguiente se determinó que la presencia de esta variación es consecuencia del mal uso de la superficie de suelo ya que diferentes actividades hacen que pierda el suelo su permeabilidad, la falta de ordenamiento territorial, el mal diseño de las zonas urbanas y la emigración son factores determinantes de la formación de isla de calor en la ciudad de Cantón Manta.

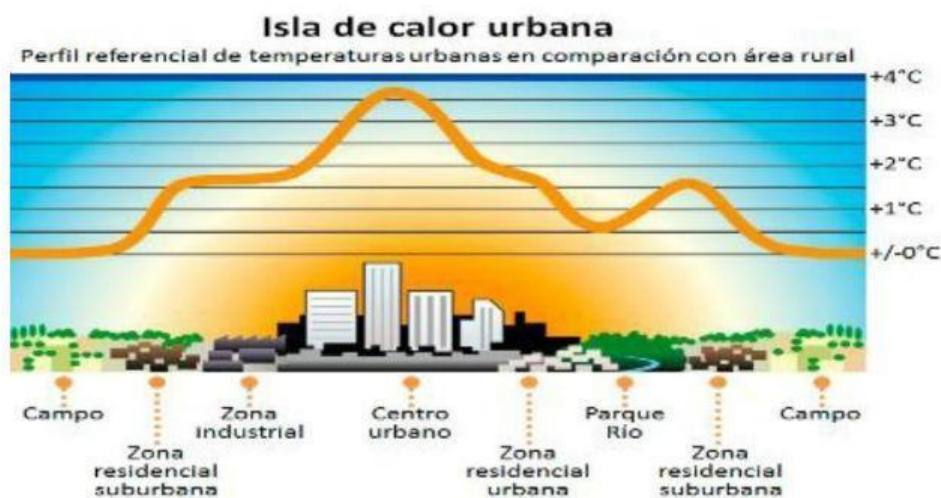
(Chan Y Belitskaya, 2018), la presente investigación tiene como objetivo analizar la temperatura necesaria para provocar la sudoración de una persona, este método se apoya en la primera ley de la termodinámica, el autor menciona que dicha temperatura debe ser lo suficiente para que la persona o dentro de conjunto de personas se dé la sensación de tener calor, esta sensación de calor sería un indicador de la presencia de isla de calor, además la investigación se basa en el análisis de 8 estaciones meteorológicas de la ciudad Guadalajara en un intervalo de tiempo de 20 años, los resultados de la investigación muestran que la temperatura efectiva es de 23.7°C y la temperatura proporcionada por las estaciones van del mínimo valor al máximo, es así que la temperatura mínima es de 21.3°C y las temperaturas máximas se presentan en los meses calurosos que cubren los meses de abril a agosto en el cual se ha registrado 30 a 35°C, este resultado concuerda con la formación de isla de calor urbana en la ciudad de Guadalajara, el aumento de temperatura es producto de la excesiva urbanización y el reemplazo del suelo natural con materiales oscuros e impermeables lo cual dificulta la evaporación, adsorción y retención del agua en el suelo, otro de los factores son las grandes construcciones civiles que dificultan la circulación del aire.

(Esparza Y Sosa, 2017), evaluar el valor de las áreas verdes para mitigar y controlar la formación de la isla de calor en las diferentes épocas del año, para la recolección de datos se ha adoptado ciertos criterios a considerar durante el muestreo de la temperatura, la zona de muestreo debe estar densamente poblada, alto tráfico vehicular y peatonal, la ubicación de estas zonas en donde se realizara el muestreo debe estar con mayor área asfaltada los cuales son los que retienen mayor cantidad de radiación solar, además se ha considerado el tipo y altura de vegetación existente dentro de las zonas de estudio, durante la toma de muestra se ha empleado el sensor HOBO que estaba instalada a una altura de 2 metros esta altura

es considerada para recolectar y tomar muestra de la temperatura ambiente, los resultados obtenidos en los días soleados fueron registradas como temperatura mínima 21.12°C y temperatura máxima 37.7°C estas temperaturas fueron registradas en zonas donde hay poca vegetación y mínima altura, pero en los lugares con vegetación la temperatura es menor esto indica que la vegetación y altura de vegetación son importantes para controlar la formación de ICU.

(Sarría, 2018), en su investigación muestra como objetivo calcular la temperatura superficial con imágenes proporcionadas por diferentes satélites como es NOAA, Landsat y Sentinel-3, para ello describe como es el proceso de captación de temperatura por los sensores, de esta manera, determina que la temperatura superficial es el resultado de energía emitida por la superficie y recibida por el sensor, este valor puede variar de acuerdo a la superficie y tamaño de la superficie, además se relaciona directamente con el tipo de material que esta revestido la superficie del suelo ya sea natural o artificial, así mismo, detalla el proceso de obtención de temperatura superficial de cada sensor, adjunta los valores, formulas y las características de cada imagen satelital, presenta este trabajo de investigación como una guía para estimar la temperatura superficial teniendo la imágenes de diferentes satélites.

figura 2: Isla De Calor Urbano



Fuente: EPA (agencia de protección ambiental de Estados Unidos)

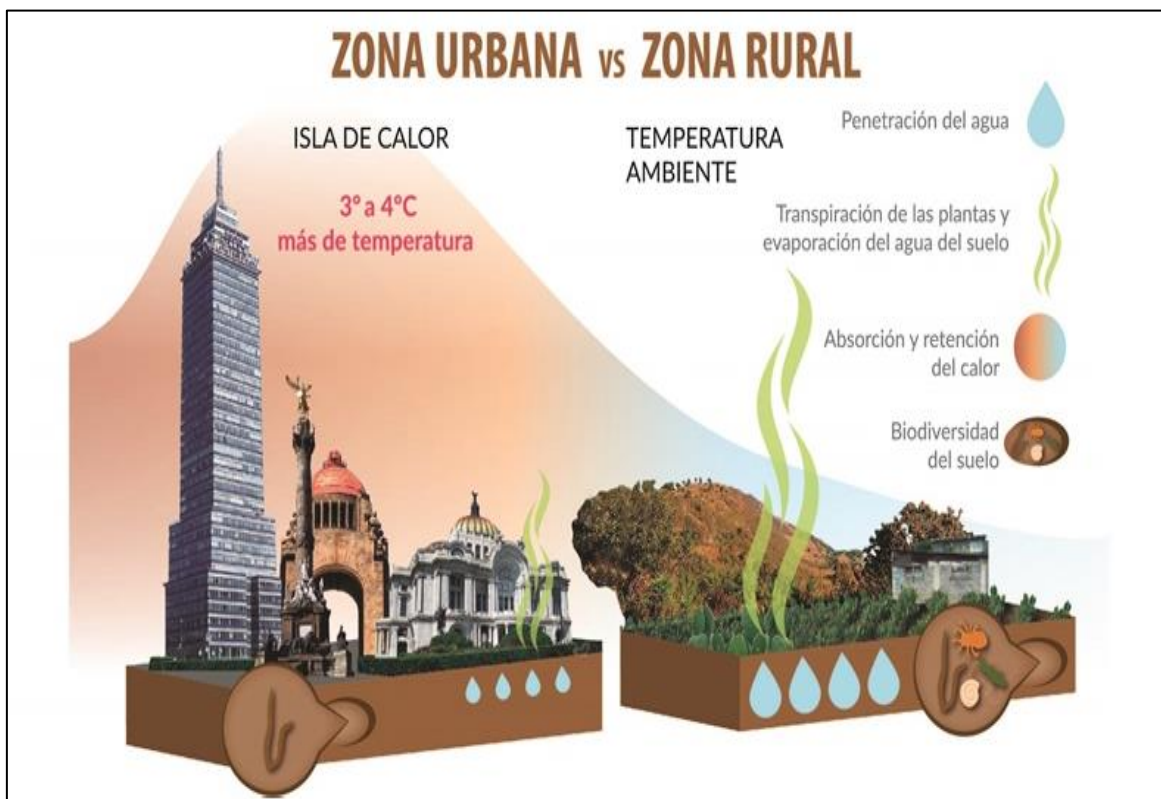
La Isla de Calor Urbano es el incremento de la temperatura provocado por las construcciones, las áreas asfaltadas, el diseño de la población, la altura de las edificaciones y la escasa vegetación presente, además, la Isla de Calor puede afectar a las ciudades en el periodo del verano ocasionando grandes gastos energéticos, provocando la contaminación atmosférica, enfermedades relacionados al calor y deteriora la calidad del agua EPA (agencia de protección ambiental de Estados Unidos).

Figura 3: Factores Que Contribuyen A La Formación De Isla De Calor Superficial

Factores	Efecto
Reducción de masas de vegetación	Disminuye la evapotranspiración
cambio de cobertura de suelo	Disminuye el ciclo de la materia, energía y mayor absorción de energía
Sellado de suelo con material asfaltado	Aumento de la temperatura de la superficie
Cobertura de Infraestructura	Disminuye la velocidad del viento
Densidad poblacional	Crecimiento de área urbana

Los factores que forman la isla de calor urbano superficial se pueden dar por mal manejo de las áreas verdes y su reemplazo por edificios y pavimentos, el aumento de la temperatura superficial puede ser por la remoción de áreas verdes con presencia de árboles y arbustos, así mismo, por la cobertura asfáltica, techos de concreto y otras coberturas del suelo no permeables tienen la capacidad de absorber energía solar luego reflejan con ello aumenta la temperatura del aire.

Figura 4: Diferencia Entre Área Urbana Y Rural

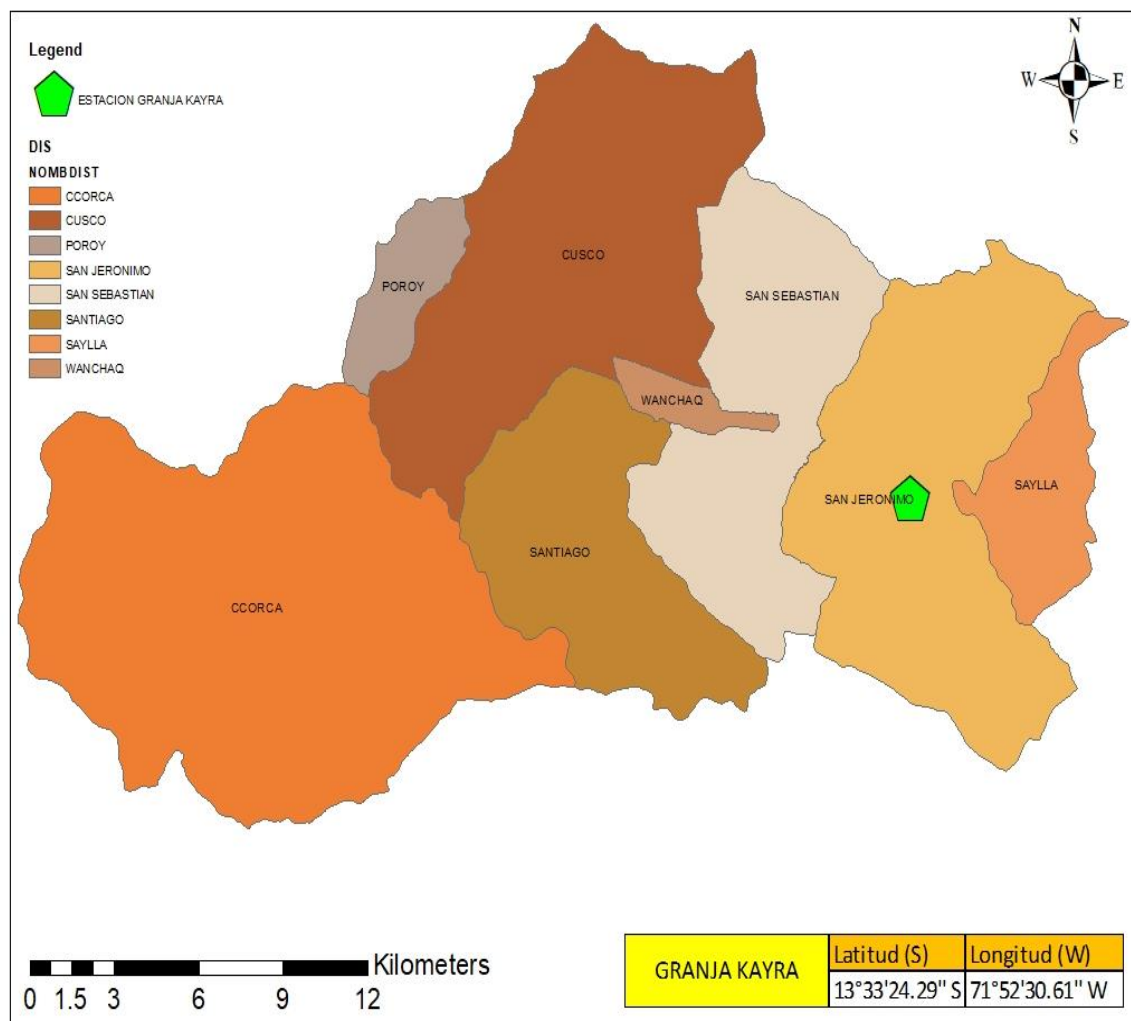


La diferencia entre la área urbana y rural es principalmente la densidad de infraestructuras, cobertura de suelo y densidad de vegetación, estos factores determinan el aumento de la temperaturas superficial (Marando, Salvatory, Fusaro Y Manes, 2018), en su investigación menciona que la población urbana ha crecido de manera significativa llegando a los 751 millones en 1950 y para el 2018 se tiene un crecimiento poblacional de 4200 millones, este acontecimiento conlleva a la configuración del suelo que denomina el sellado antropogénico lo cual afecta el ciclo de la materia y energía, además, contribuye al aumento de temperatura en el medio urbano, así mismo, sugiere que la mejor manera de disminuir el efecto de isla de calor urbana es con las áreas verdes.

Estación Meteorológica De Kayra

La estación meteorológica de la granja de kayra está ubicado en el distrito de san jerónimo, provincia de cusco a una altitud de 3214 msnm, las coordenadas geográficas de la estación es Latitud 13°33'24.29" S y Longitud 71°52'30.61" W. Esta estación registra datos meteorológicos como es la presión, humedad relativa, temperatura del aire precipitaciones, entre otros parámetros.

Figura 5: Mapa De Ubicación De La Estación Meteorológica Kayra



Fuente: elaboración propia

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Teniendo como objetivo determinar la isla de calor en la ciudad de Cusco y su relación con los factores que lo ocasionan se ha planteado el enfoque cuantitativo para el análisis del presente trabajo ya que consiste en procesar datos numéricos, que están en la imagen satelital Landsat 8, específicamente en la banda 10, las bandas 4 y 5 serán seleccionadas para obtener el índice de vegetación presente en la ciudad de Cusco, lo cual muestra datos exactos de temperatura, estos datos numéricos serán procesados en el programa de ArcMap 10.4.1, además se generara datos estadísticos para comparar la temperatura en diferentes épocas (Baños Y Humpire, 2021).

Mientras que el tipo de investigación es correlacional. Por qué se basa en el análisis de temperatura a partir de imágenes satelitales de Landsat 8, posteriormente materializar y comparar con el indice de vegetación normalizada, estas dos variables de estudio presentan correlación entre sí (Mujabar, 2019).

El nivel de investigación del presente trabajo es explicativo porque explica y muestra la ocurrencia y las causas de la variación de la temperatura superficial y la disminución de la cobertura vegetal, esto puede surgir del empleo de los diferentes materiales con capacidad de retención de la energía solar para el recubrimiento de la superficie del suelo y el cambio de uso de suelo (Marando, Salvatoriy, Sebastiani Y Manes, 2018).

3.2. Variables y operacionalización

Variable dependiente

Índice de vegetación De Diferencia normalizada (NDVI)

Variable independiente

Isla de calor urbano superficial

Isla de calor urbano

La isla de calor urbano superficial está directamente relacionada con la temperatura superficial de suelo, se llega denominar así, porque es el registro de la temperatura en el nivel de la superficie del suelo, este registro puede variar dependiendo a la cobertura del suelo. La temperatura superficial del suelo se obtiene a partir de imágenes satelitales, en este caso se utilizara la imagen del satélite Landsat 8 y su bandas 10 (infrarrojo térmico, resolución de 100 m) que muestra netamente registros de temperatura, luego se analizara también las bandas 4 (rojo) y 5 (infrarrojo cercano, resolución 30 m) para el cálculo del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), posteriormente teniendo los datos de temperatura de la banda 10 se calcula la temperatura de brillo al sensor, luego se calcula la emisividad de la superficie del suelo, para lo cual se necesita el índice de vegetación normalizada, teniendo todo estos datos finalmente se calcula la temperatura al nivel de la superficie del suelo (Mujabar, 2019).

Indicador

- **Temperatura superficial del suelo en grados Celsius (°C).**
- **Índice de vegetación normalizada (NDVI).**

El NDVI muestra lugares en donde se presenta un área con vegetación y por el contrario la ausencia de vegetación, se relaciona directamente con la urbanización acelerada y el reemplazo de la cobertura de suelo natural por artificial. El NDVI de la superficie del suelo se obtiene a partir de la imagen satelital de Landsat 8, banda 4 y 5 para lo cual el valor del índice de vegetación normalizada oscila entre +1 y -1, el +1 indica mayor vegetación o presencia de vegetación y el -1 indica la ausencia o poca área con vegetación (Deviyani, Nazli, Rinaldi, Syamsul Y Mohamed, 2021).

Los indicadores del índice de vegetación normalizada.

Áreas con vegetación

Parques ecológicos

3.3. Población (criterios de selección), muestra, muestreo, unidad de análisis

Población

La población analizada será toda la ciudad de Cusco específicamente el casco urbano de Cusco.

Muestra

El muestreo de la temperatura superficial y el índice de vegetación no será insitu, sino que estos datos serán extraídos de la imagen satelital Landsat 8.

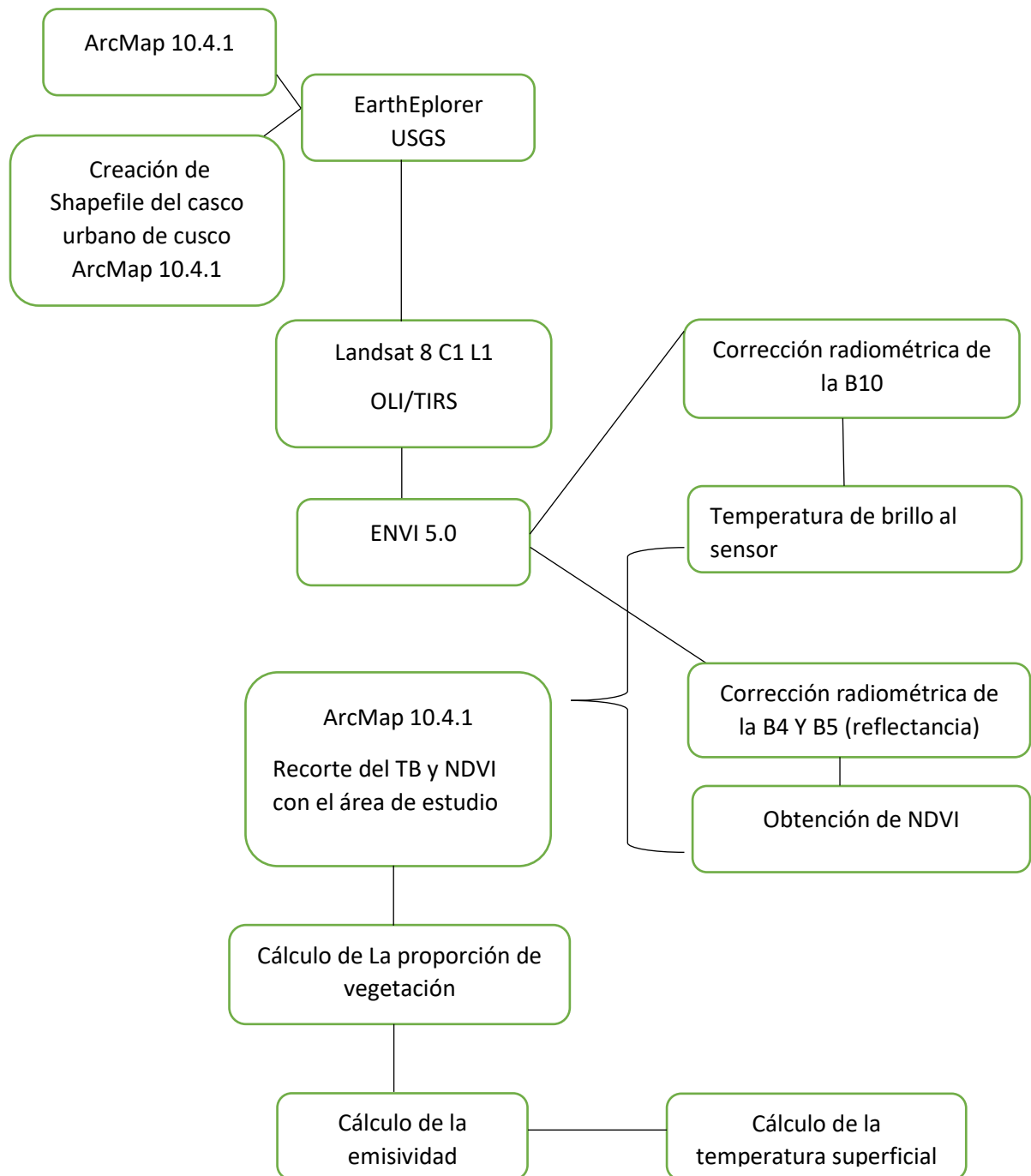
Unidad de análisis

La unidad de análisis del presente trabajo de investigación se centra en la determinación de la temperatura superficial en grados Celsius en la ciudad de Cusco.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la obtención de las imágenes satelitales se ha hecho uso del geoservidor EarthExplorer USG, se ha establecido tres periodos de análisis 2019, 2020 y 2021 en los cuales se ha tomado los meses de septiembre a noviembre por mejores condiciones de imagen satelital ya que en estas épocas presentaban menos nubosidad, así mismo, los datos obtenidos de temperatura del aire de la estación meteorológica de kayra serán comparados con la temperatura superficial del casco urbano de la ciudad de Cusco obtenida de las imágenes satelitales.

3.5. Procedimiento



3.6. Método De Análisis De Datos

El presente trabajo de investigación de enfoque cuantitativo analiza la concentración de temperatura a nivel de la superficie de suelo y el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), estos datos fueron extraídos de imagen satelital Landsat 8. Para el cálculo de la temperatura superficial se emplea el método utilizado por (Mujabar, 2019) el cual emplea el método canal único (sc), que consiste en analizar la banda TIRS que es la 10 para el calcula de la temperatura superficial, así mismo, se utilizó el programa de ENVI 5.0 para encontrar la temperatura al brillo al sensor y el NDVI que es el índice de vegetación encontrado al nivel de la superficie que oscila dentro de los valores de +1 y -1, estos valores os ayuda a determinar si el suelo es natural, presenta vegetación densa o es un suelo pobre en vegetación.

Formulas Utilizadas Durante El Proceso De Investigación

En la investigación se ha empleado las fórmulas utilizadas por (Muhammad, Khaled Y Otros, 2021), en el cual nos describe el proceso de obtención de temperatura superficial de la imagen satelital Landsat 8 de las bandas 10 y las bandas 4 y 5. Emplea el análisis de la temperatura superficial a partir de una sola banda que es la banda 10, no obstante el satélite Landsat 8 presenta dos bandas térmica que es la banda 10 y la banda 11 ambas con resolución de 100 metros, pero en esta investigación se ha optado por el análisis solamente de la banda 10 ya que el autor mencionado corrobora que los resultados son más precisos. Además, las fórmulas utilizadas son también mencionadas en un estudio realizado por (Ariza, 2013), que estudio la descripción y corrección de productos Landsat 8 en donde menciona todas las características y las fórmulas que se pueden utilizar para obtener la TS y el NDVI.

Fórmulas

Corrección radiométrica (radiancia B10):

$$M_P * Q_{Cal} + A_L$$

Temperatura al brillo del sensor (TB)

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

Corrección radiométrica: reflectancia B4 Y B5:

$$B4 = \frac{M_P * Q_{Cal} + A_L}{\sin(\theta_{se})} \quad \text{Y} \quad B5 = \frac{M_P * Q_{Cal} + A_L}{\sin(\theta_{se})}$$

Formula De NDVI (índice de vegetación de diferencia normalizada)

$$NDVI = \left(\frac{B5 - B4}{B5 + B4} \right)$$

Proporción de vegetación (pv):

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

Emisividad

$$E = 0.973 - 0.047(Pv)$$

Temperatura superficial (LST):

$$LST = \frac{TB}{\left[1 + \left(\lambda * \frac{TB}{\rho} * \ln(E) \right) \right]}$$

3.7. Aspectos éticos

esta investigación se ha realizado empleando información verídica de fuentes confiables y siempre respetando los derechos de autor, así mismo, podemos mencionar que los programas utilizados durante el procesamiento de datos son de uso a nivel mundial y de libre acceso, finalmente la información mostrada cumple con el manual ISO.UCV.2017 y el código de ética de la misma institución mencionada.

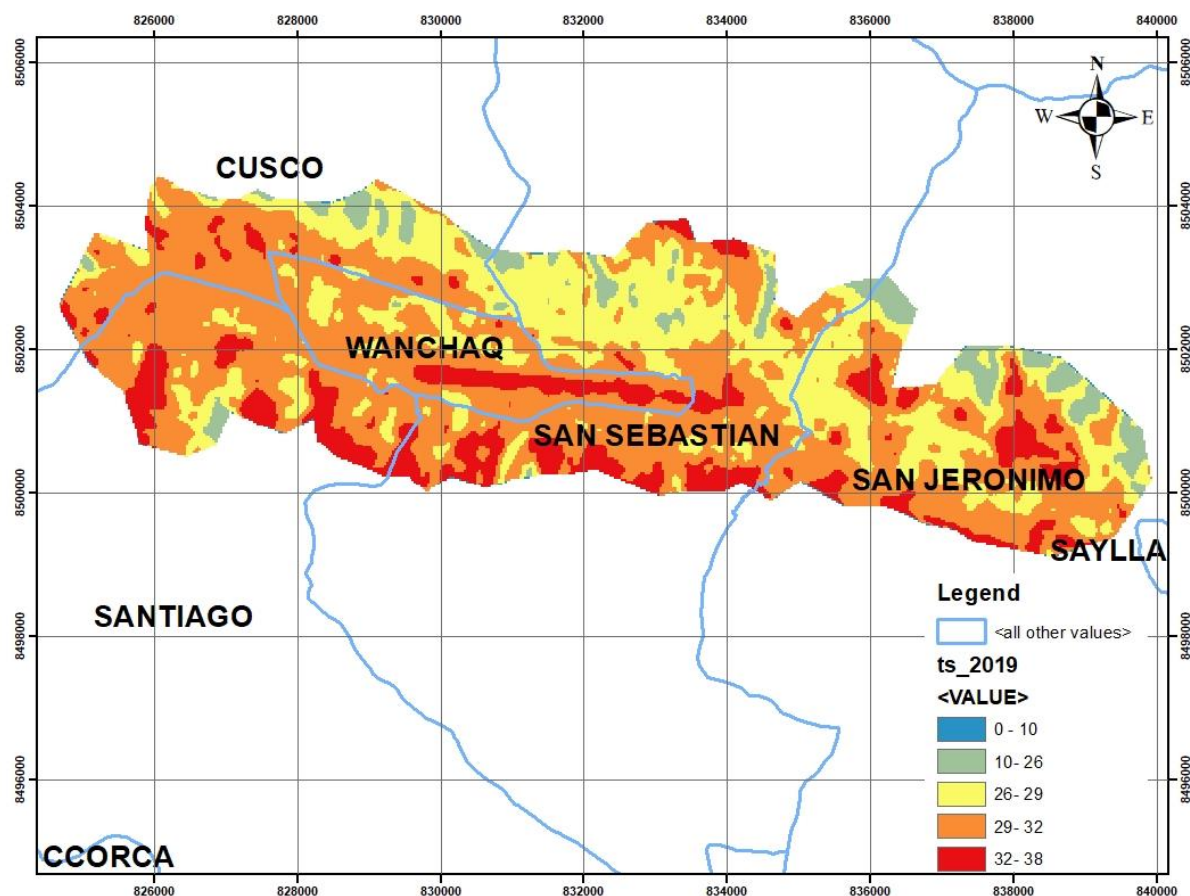
IV. RESULTADOS

En el presente capítulo presentamos los resultados que se han obtenido a través del análisis de imágenes satelitales, las cuales fueron seleccionadas teniendo en consideración las características del imagen como es la época en el cual se va realizar el análisis, además, consideramos que es relevante seleccionar imágenes que están libres de nubosidad y la época del año que se trabajo fue en primavera, ya que en estas fechas las horas de radiación solar son más largas, además, en esta fecha se ha podido observar que poca intensidad de viento, las fechas en que se realizó la investigación fue de los años 2019, 2020 y 2021 en los meses de septiembre, octubre y noviembre.

De esta manera se obtiene que la temperatura superficial de la ciudad de Cusco se hace evidente durante las fechas evaluadas, generalmente, todo el casco urbano de la ciudad Cusco presenta puntos de calor que se encuentran en valores que van desde 26 a 39 °C, esta temperatura provoca la formación de isla de calor urbano superficial (Erdem, 2021), en su investigación menciona que la geometría de las grandes ciudades, altura de edificios, cobertura de suelo, índice de vegetación y la variedad de tejido urbano son factores que aumenta la aparición de isla de calor superficial, para obtener la temperatura superficial utilizo imágenes de Landsat 8 específicamente la banda 10.

El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), se identificó a partir de la imagen satelital Landsat 8 de las bandas 4 (rojo, resolución de 30 m) y 5 (infrarrojo cercano, resolución de 30 m), los cuales muestran que el casco urbano de la ciudad de cusco presenta valores de NDVI que van de -0,04 a 0.8 valores que nos indica que hay mínima vegetación en el área de estudio. También se relacionó la temperatura superficial de la ciudad de Cusco con la temperatura del aire registrada por la estación meteorológica de la granja de kayra, en donde, se pudo observar que la temperatura del aire se relaciona con la temperatura de la superficie, este evento se puede ver ya que la temperatura del aire varia en el año 2019, 2020 y 2022, así mismo, la temperatura superficial varía de acuerdo a los años.

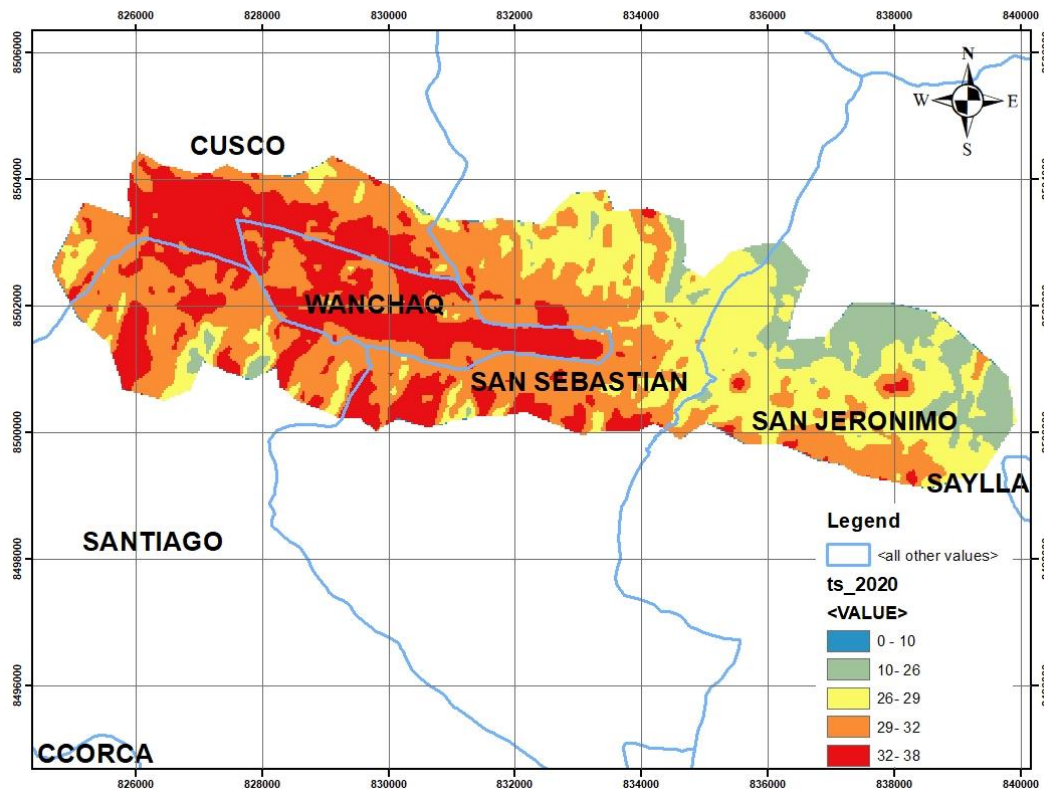
Figura 6: Mapa De Temperatura Superficial 2019



Fuente: elaboración propia

En la presente mapa se puede apreciar la variación de la temperatura superficial del año 2019, se tiene un rango de temperatura que va desde los 0 °C hasta los 38 °C, los puntos con mayor temperatura están en un rango de 32 a 38 °C, que son el aeropuerto Velasco Astete, el mercado vinocanchón, algunos puntos del centro histórico y además se puede identificar que todo el casco urbano de la ciudad de Cusco concentra una temperatura que va desde de los 29 °C hasta el pico más alto que es 38 °C, esta concentración de temperatura se debe a la densidad poblacional, la presencia del concreto y el asfaltado, condiciones atmosféricas, topografía y la época del año.

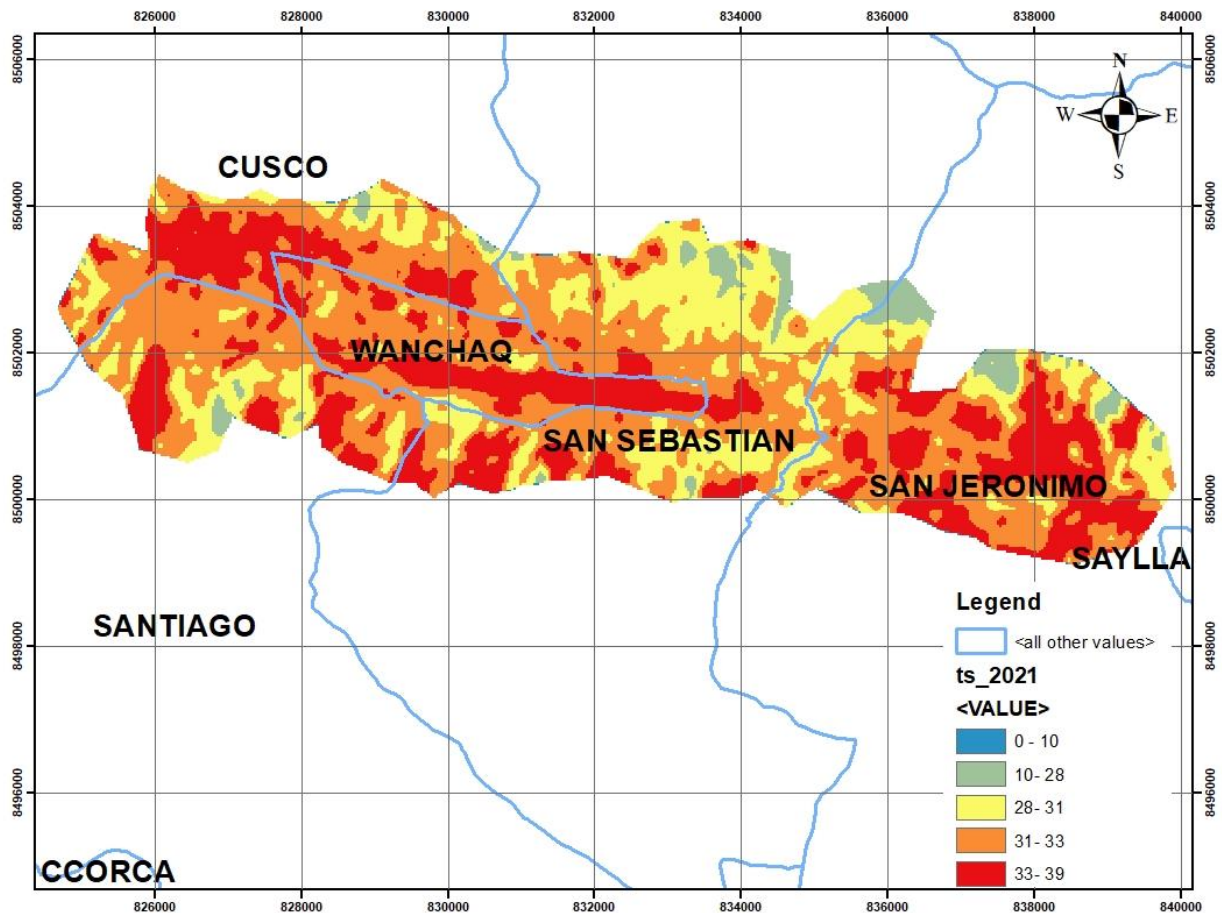
Figura 7: Mapa De Temperatura Superficial 2020



Fuente: elaboración propia

Esta mapa nos muestra la temperatura superficial del año 2020, en el cual se puede identificar que los puntos con mayor temperatura se registra en el centro histórico de Cusco como es la plaza de armas y el aeropuerto Velasco Astete que están de color rojo que muestra temperaturas que van desde los 32 a 38 °C, a diferencia del año 2019 aquí se aprecia que los puntos con mayor concentración de temperatura se registra en la parte céntrica de la ciudad de Cusco, el color anaranjado nos indica que abarca la mayor parte del casco urbano de la ciudad de Cusco en donde la temperatura va desde los 29 a 32 °C, mientras que el color amarillo nos muestra temperaturas que van desde los 26 a 29 °C, estos lugares están alejados de la parte céntrica de la ciudad de Cusco y además son lugares elevados por lo cual la temperatura superficial va disminuyendo, con esto podemos mencionar que la temperatura de la superficie del suelo urbano es mayor a la del rural porque esto que se encuentran al borde del área de estudio ya están conectados con el entorno rural.

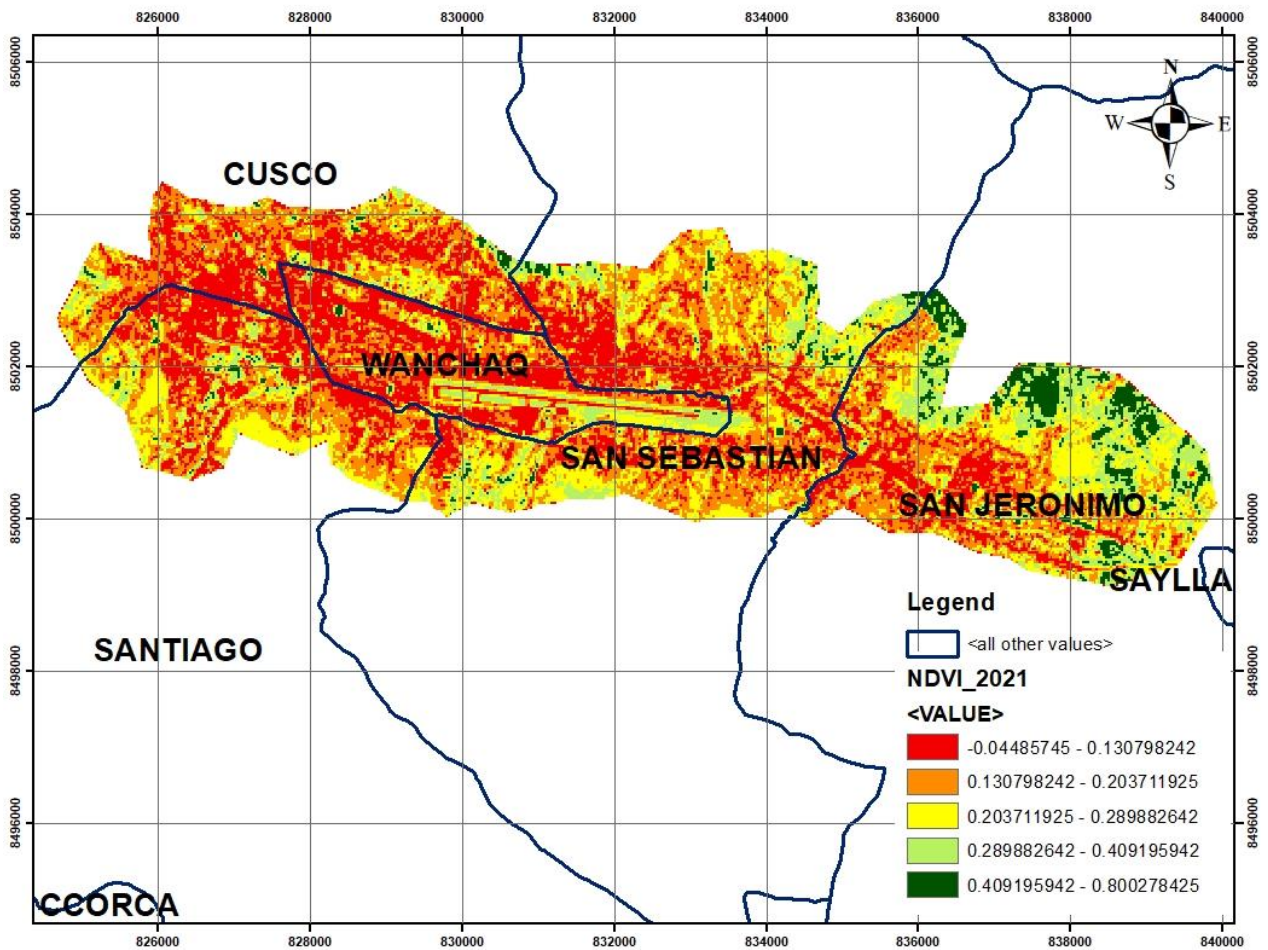
Figura 8: Mapa De Temperatura Superficial 2021



Fuente: elaboración propia

En el año 2021 se ha identificado mayor cantidad de puntos de calor, como se puede apreciar en la mapa en el año 2021 ha aumentado los lugares señalados con color rojo esto nos manifiesta de que en el año 2021 específicamente en el mes de octubre hubo mayor incidencia de la energía solar, estos puntos registran temperaturas que van desde 33 a 39 °C, los puntos de color naranja muestran temperaturas que van desde los 31 a 33 °C y en este año estos puntos han aumentado a comparación del año 2020 y 2019 esto indica que la temperatura superficial de la ciudad de Cusco va en aumento en ciertas épocas del año y con ello se puede inferir que los lugares densamente poblados y sin presencia de vegetación son lugares que atrapan mayor cantidad de temperatura como se puede apreciar en la mapa de temperatura, la infraestructura, los pavimentos en general propician un riesgo a retener mayor temperatura en el casco urbano.

Figura 9: Mapa De Índice De Vegetación Normalizada (NDVI)



Fuente: elaboración propia

El NDVI (índice de vegetación de diferencia normalizada) en el área de estudio que es el casco urbano de la ciudad de Cusco, nos muestra la escases de vegetación en toda la ciudad, el NDVI se clasifica de -1 a + 1 en donde los valores que tienden a -1 o a 0 esto nos indica de que en el área de estudios hay poca vegetación, mientras tanto cuando los valores se aproximan al 1 esto nos da entender que las áreas con vegetación es mayor, así mismo, en la presente mapa se puede observar que índice de vegetación normalizada es menor en toda la ciudad de Cusco a excepción de algunos puntos en donde se identifica una pequeña porción de vegetación, mientras que en algunos bordes del área de estudio donde se ha tomado una pequeña porción de bosque en esa parte si se aprecia de forma bien diferenciada el índice de vegetación.

Correlación de PEARSON de TS y NDVI

Tabla 1: coeficiente de correlación de TS y NDVI del 2019

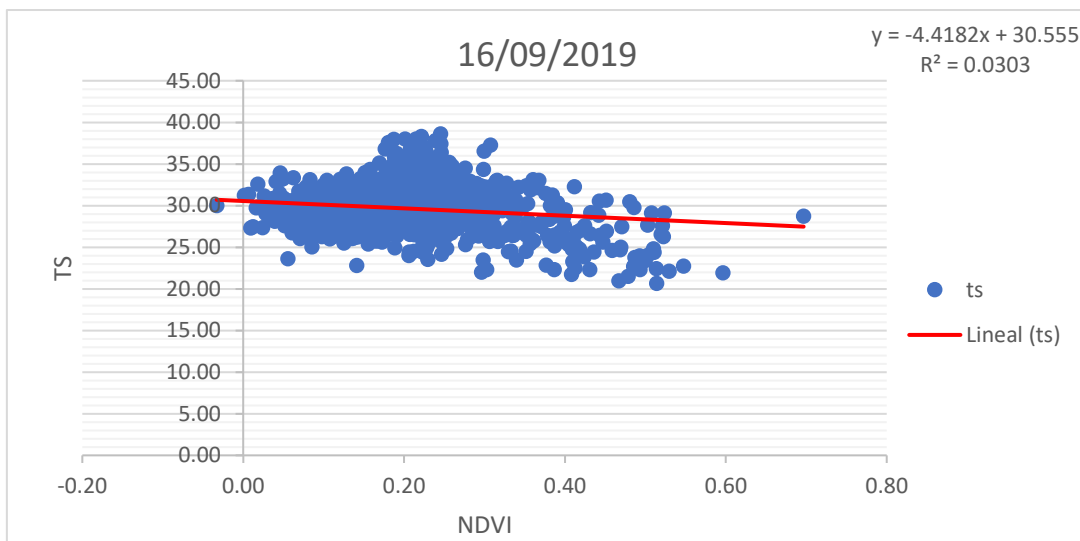


tabla 2: coeficiente de correlación de TS y NDVI del 2020

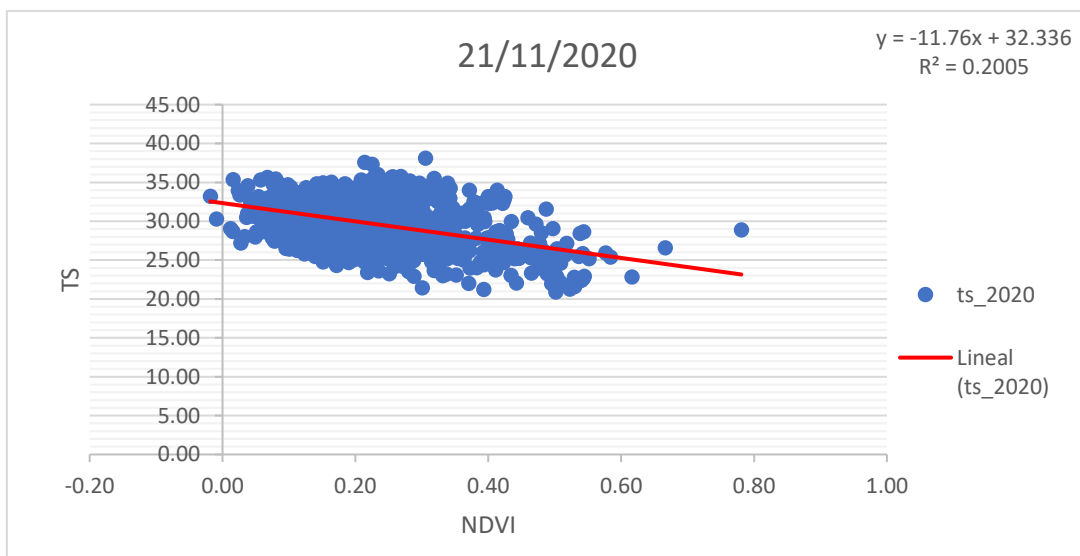
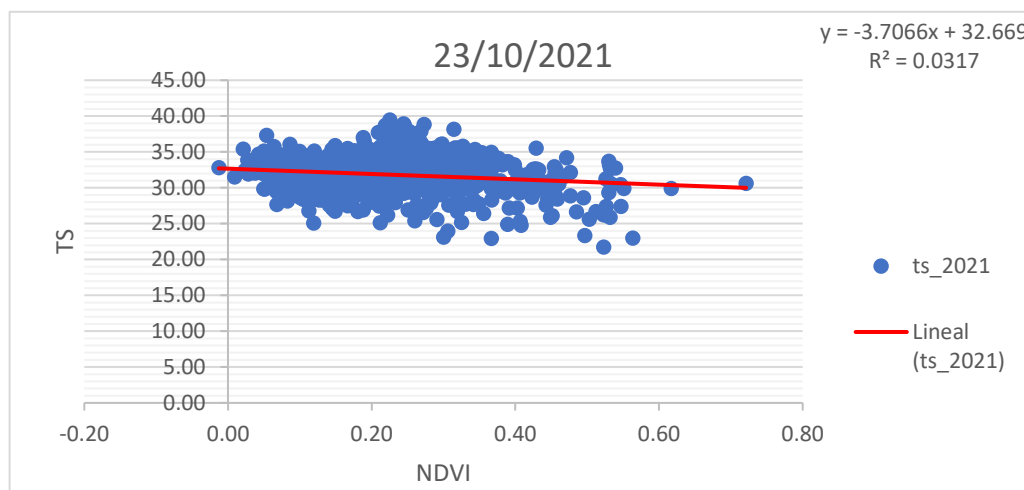


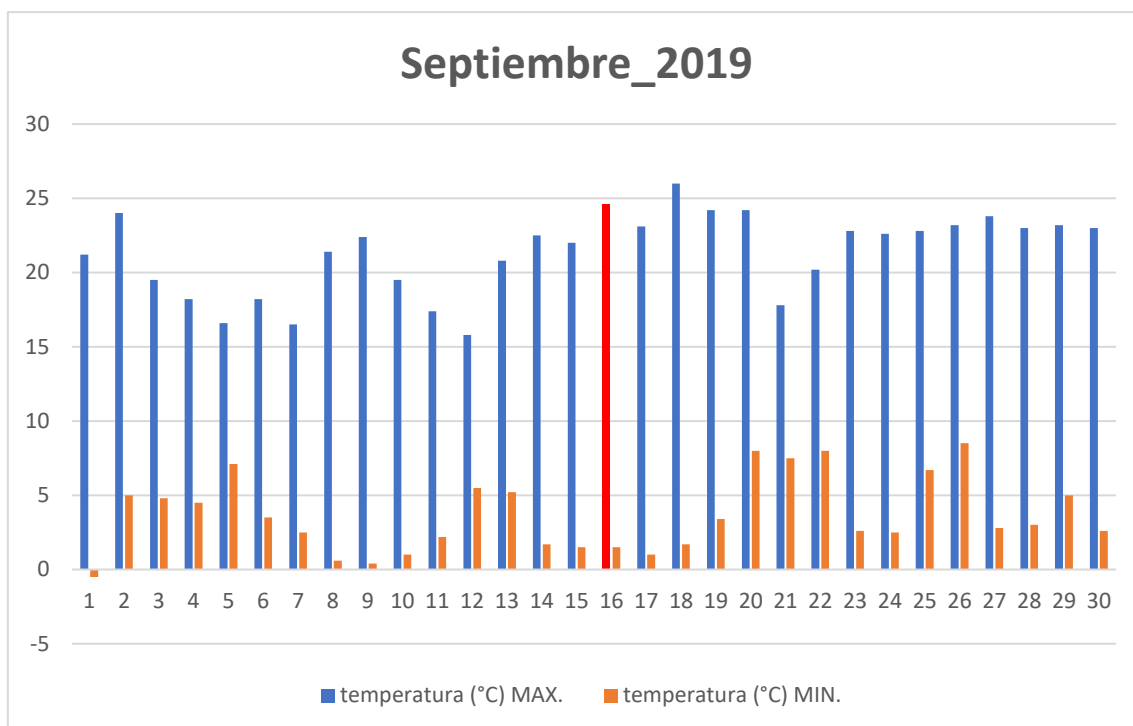
Figura 3: coeficiente de correlación de TS y NDVI del 2021



La correlación entre la temperatura superficial y el índice de vegetación en los tres años estudiados es inversa, el valor para el 2019 es -0.174094174, para el año 2020 el valor es -0.447786427 y el año 2021 presenta valor de -0.177982679. El signo negativo nos indica que las variables como la TS y NDVI se comportan inversamente esto quiere decir que mientras se encuentre mayores valores de NDVI habrá valores mínimos de TS y cuando este aumente el NDVI disminuye, este evento se ve en la ciudad de Cusco ya que en la mayor parte de área de estudio se encontrado mayores valores de TS y menor valor de NDVI.

Temperatura de la estación meteorológica de la granja Kayra

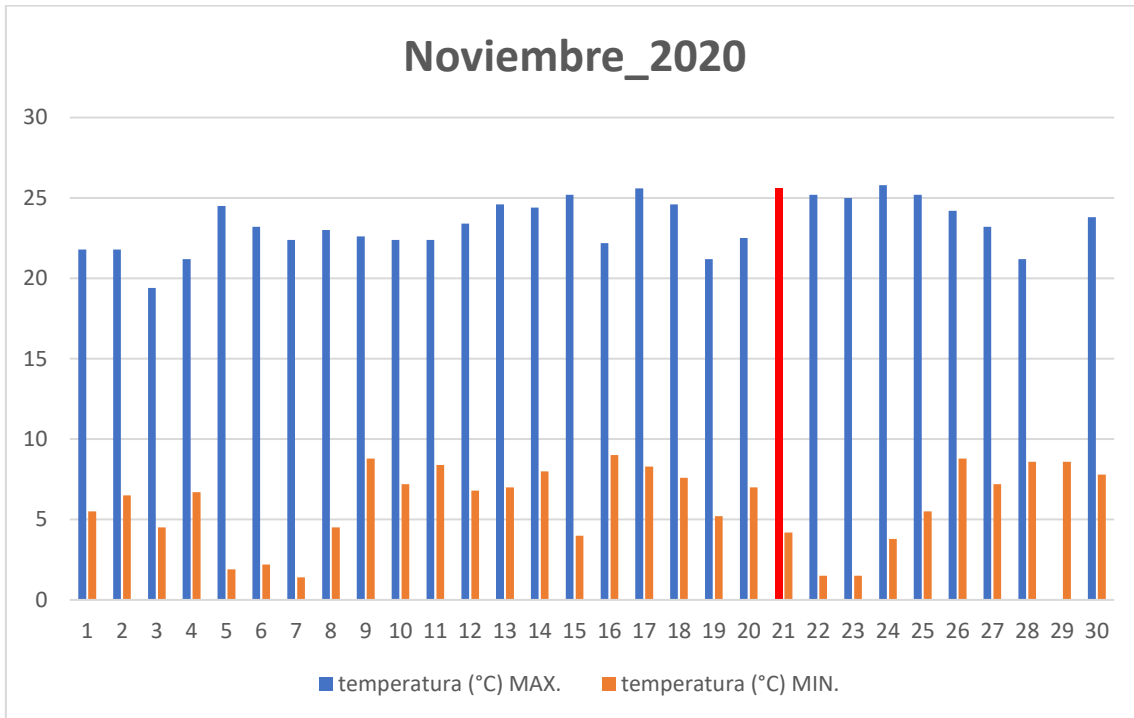
Tabla 4: temperatura del aire del 2019



Fuente: elaboración propia

La presente tabla nos muestra la temperatura del aire del mes de septiembre del año 2019, en allí se puede observar registros de temperatura desde el primer día del mes de septiembre hasta el día 30, en donde nos muestra que la temperatura máxima del aire de dicho mes oscila en un rango de 15 a 25 °C, esa temperatura en relación con la temperatura obtenida de la imagen satelital son diferentes pero como se puede apreciar en los datos de la imagen satelital la temperatura máxima está en un valor de 26 a 38 °C, la barra de color rojo nos indica que la imagen satelital fue obtenida ese día y además ese mismo día es el segundo día con mayor temperatura del mes de septiembre

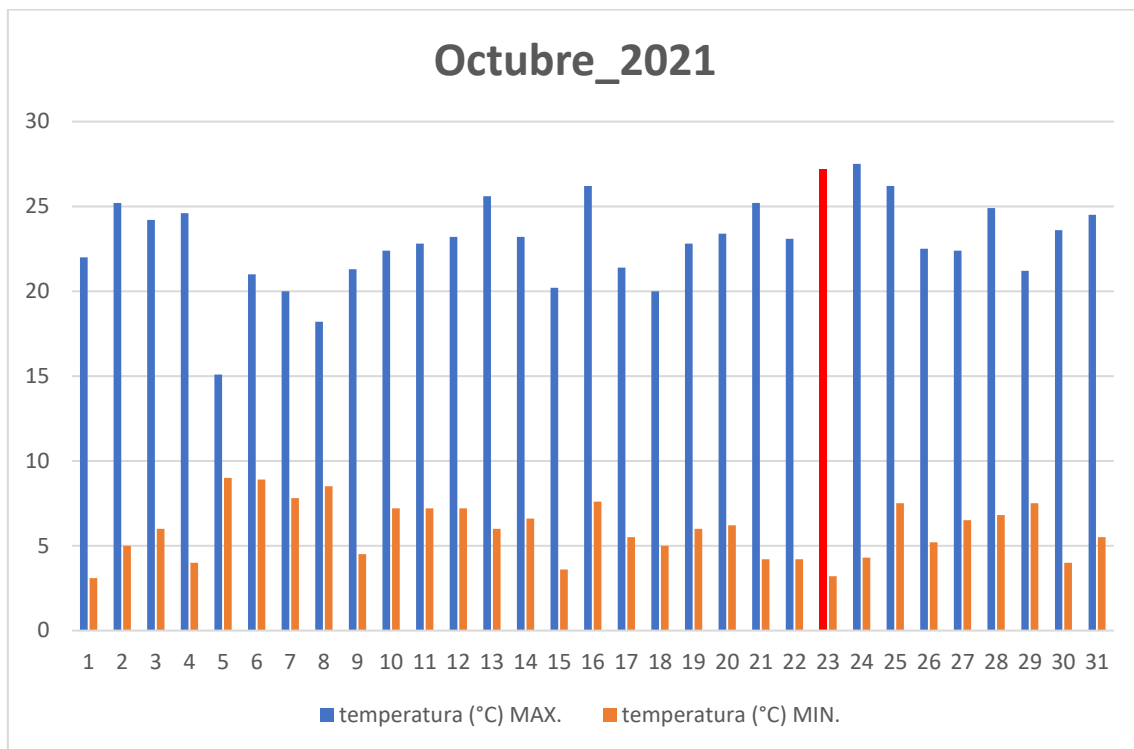
Tabla 5: temperatura del aire del 2020



Fuente: elaboración propia

La presente tabla nos muestra temperatura del mes de Noviembre del año 2020, en esta tabla se puede identificar que la temperatura máxima del aire va desde los 20 a 25 °C, los picos más altos de temperatura del aire se registra casi en todo el mes de noviembre, de esta manera, podemos mencionar que la temperatura del mes de noviembre tiene relación con la temperatura superficial del casco urbano de la ciudad de Cusco, es así que la temperatura superficial obtenida del imagen satelital en el mes de noviembre del año 2020 se manifiesta en picos altos de temperatura que van desde los 10 a 38 °C, el día 21 de Noviembre en la tabla nos indica que sobrepasa los 25 °C, de este mismo día se analizó la temperatura superficial con la imagen satelital, el cual tiene relación con los datos obtenidos a mayor temperatura del aire mayor será la temperatura superficial.

Tabla 6: temperatura del aire del 2021



Fuente: elaboración propia

En la presente tabla se puede observar registro de temperatura del mes de Octubre del año 2021, en donde se tiene un rango de temperatura máxima que va desde 15 a 30 °C, se puede mencionar que dicho mes registró los mayores picos de temperatura de aire, teniendo como máximo el día 24 y 23 de Octubre y el mínimo se puede ver en el día 5 que llega a registrar 15 °C, con relación a los datos obtenido de la imagen satelital que fue el día 23 de Octubre la que se analizó, estos registros obedecen y guardan relación con los datos de temperatura del aire obtenido por la estación meteorológica de Kayra, es así que a mayor temperatura del aire mayor temperatura de la superficie del casco urbano de la ciudad de Cusco.

V. DISCUSIÓN

la determinación de isla de calor urbana en la ciudad de Cusco es para mitigar riesgos ambientales a consecuencia del aumento de temperatura superficial. En la investigación se pudo encontrar que la temperatura superficial de 2019, 2020 y 2021 varía de 0 °C a 38 °C, los puntos con mayor concentración de temperatura se puede observar de color rojo, así mismo, todo el casco urbano de la ciudad de Cusco presenta una temperatura que va a partir de 26 °C que se identifica en la mapa de color amarillo y además hay lugares que presenta una coloración celeste, el cuál es la temperatura que va de 10 a 26 °C.

La mayor concentración de temperatura superficial en el casco urbano de la ciudad de Cusco es por la presencia de construcciones, falta de ordenamiento territorial, inexistencia de lugares con vegetación, el material predominante es el ladrillo y cemento, así mismo, los puntos con mayor temperatura se encuentran en todo el casco urbano que muestran temperaturas que van de 26 °C hasta los 38 °C, este fenómeno aumenta progresivamente ya que en el año 2019 se pudo observar pocos puntos con mayor temperatura a diferencia de 2020 y 2021 en donde se aprecia un aumento significativo, de esta manera la temperatura superficial presenta una correlación negativa con el NDVI en los tres años estudiados, es así que condiciona la formación de isla de calor urbano. Aceptamos la hipótesis que sostiene que la temperatura de la superficie se encuentra en los lugares densamente pobladas, como es el aeropuerto de Cusco presenta mayor temperatura superficial. en el estudio realizado por (García Y Rivera, 2020), que analizó la temperatura superficial de la ciudad de Jaén desde 1995 a 2015 determinó que la temperatura superficial varía y cambia cuando el suelo es artificial, en 1995 determinó que la temperatura va de 28 a 31 °C, en el año 2011 y 2015 se determinó temperatura superficial que va de 31 a 34 °C, las temperaturas altas se encuentran en medio urbano densamente poblado y áreas asfaltadas. SOTO, (Garzón Y Jiménez, 2020), demuestra en su estudio que las áreas con vegetación logran amortiguar el calor y los lugares densamente urbanizados presentan temperatura superficial de 33 a 34 °C. al comparar los resultados obtenidos con otros trabajos de investigación confirmamos que la temperatura superficial se da en ambientes densamente pobladas y con cobertura de suelo artificial.

El análisis del NDVI y zonas con mayor área impermeabilizada con asfaltado en la investigación se identificó que los valores de NDVI nos muestra que en el casco urbano de la ciudad de Cusco se presenta de manera mínima, así mismo, en el mapa de NDVI de 2021 se puede apreciar que la falta de vegetación se presenta en la parte céntrica del casco urbano con presencia mínima de vegetación y en las partes altas se nota las áreas verdes del casco urbano de Cusco.

El NDVI se relaciona directamente con la presencia de vegetación, los rangos de valoración del NDVI son de -1 a +1 el valor negativo nos indica que hay poca vegetación y el positivo nos muestra un suelo con vegetación, en la investigación hemos obtenido valores del NDVI que va desde -0.04 a 0.8 y los valores predominantes van de -0.04 a 0.1 esto nos indica que en los lugares donde hay mayor densidad de infraestructura no existe áreas con vegetación.

El NDVI de la ciudad de cusco está en rangos de mínimos y máximos valores, pero la mayor parte de la ciudad de cusco presente valores mínimos de NDVI. (Theran Y Rodriguez, 2019), determinan la importancia de la vegetación en zonas urbanas, muestran los múltiples veneficios que ayudan a controlar el cambio climático, sobre todo, en la disminución de temperatura superficial ya que los árboles y arbustos generan evapotranspiración, humedad y proporcionan sombra esto ayuda a disminuir la temperatura superficial y del aire, (Castro, 2019) determina que el NDVI tiene una correlación inversa con la temperatura superficial, esto indica que los suelos con poca o sin vegetación presentan temperaturas superficiales altas mientras que los suelos con vegetación presentan temperatura superficial baja. (Brito Y Rojas, 2018) determinan que el reemplazo de la vegetación nativa por cobertura urbana aumenta la temperatura superficial, además el valor máximo de NDVI se encontró en áreas con vegetación. El NDVI obtenido es mínimo en todo el casco urbano de la ciudad de cusco, por lo cual, confirmamos que el NDVI configura el suelo para la formación de isla de calor urbano.

Teniendo como objetivo fue analizar la temperatura del aire a partir de la estación meteorológica de kayra-Cusco. la temperatura del aire en la ciudad de cusco se ha determinado de la estación meteorológica de la granja de Kayra, en donde se ha tomado temperaturas registras en el año 2019, 2020 y 2021, específicamente en los meses de septiembre, noviembre y octubre de los años mencionados, en este

registro de temperatura se ha identificado que la temperatura varía en los tres meses analizados, esto provoca que la temperatura de la superficie del suelo se incremente. La temperatura del aire se relaciona directamente con la formación de isla de calor urbano superficial, los datos de temperatura analizadas nos indican que el aumento de la temperatura del aire incrementa la temperatura de la superficie, esto se pudo observar en los mapas de isla de calor urbano de la ciudad de Cusco, el aumento de puntos con mayor temperatura de la superficie del suelo de 2019 a 2021 es significativo esto se relaciona con la temperatura del aire ya que fue aumentando de 2019 a 2021. La temperatura del aire y la temperatura de la superficie del suelo de la ciudad de Cusco se relacionan directamente proporcionalmente. (Corrales Y Brenes, 2019) determina la relación que hay entre la temperatura superficial con la temperatura del aire, a esto añade los suelos sin cobertura vegetal y suelos con cobertura artificial que son lugares que al aumentar la temperatura del aire aumenta la temperatura superficial. de esta manera al comparar los resultados podemos mencionar que la temperatura del aire se relaciona con la temperatura superficial.

Al analizar los puntos en donde se presenta mayor aglomeración de construcciones e infraestructuras. En la investigación se ha identificado que los lugares con mayor presencia de infraestructura y los lugares que presentan mayor área cubierta con asfalto son zonas que capturan mayor cantidad de energía solar, el cual se puede evidenciar en los mapas de los diferentes años, aquí la temperatura de la superficie oscila entre los 10 a 39 °C. Las construcciones y los pavimentos se muestran en el mapa como lugares que retienen mayor cantidad de temperatura, así mismo, se diferencia estos lugares densamente poblados con los bordes de la ciudad de Cusco en donde la temperatura disminuye y además empieza a diferenciar la vegetación. los lugares densamente poblados y con áreas asfaltadas presentan mayor temperatura, esto sucede casi en todo el casco urbano de la ciudad de Cusco. (Rosas, 2019) determina que el área urbana de México específicamente en la ciudad de Tampico presenta una temperatura superficial de 30 a 31 °C, Maderero presenta temperatura superficial de 28 a 31 °C y Altamira 31 °C, (Montoya Y Castellanos, 2020) muestran la variación de temperatura de las zonas urbanas con las zonas rurales, existiendo una diferencia de temperatura de 3° C a más, esto se debe al cambio de la cobertura de suelo en las áreas urbanas, así mismo, (Schiller,

2019) analiza la cobertura de las ciudades, en donde determina que el tejido urbano irregular influye en la absorción y atrapamiento de calor en los materiales de construcción y aumento de temperatura superficial. Al analizar los resultados y compara con otros trabajos podemos inferir que las temperaturas altas de la superficie del suelo se concentran en ambientes poblados y en áreas que presentan cobertura desnuda o asfáltica.

VI. CONCLUSIONES

- Teniendo el objetivo general de la investigación que es determinar la isla de calor urbano, podemos concluir que la temperatura superficial del casco urbano de la ciudad de Cusco aumenta progresivamente, los puntos máximos de calor de cada año se puede ver en las mapas de calor superficial de 2019, 2020 y 2021 en donde la temperatura de la superficie se desarrolla dentro de los valores de 0 a 39 °C, claramente se puede apreciar que el aeropuerto Alejandro Velasco Astete en los tres años de estudio presenta temperatura superficial alta, así mismo, el centro histórico y las demás áreas, en el año 2020 se identificó el pico más alto de TS en el centro de Cusco como la plaza de Armas, todo el distrito de Wánchaq y en ese año se puede apreciar que la TS disminuye en el municipio de San Jerónimo, además las TS y NDVI presenta correlación inversa es indica que a medida disminuye la vegetación aumenta la temperatura superficial.
- El NDVI (índice de vegetación de diferencia normalizada) en la ciudad Cusco disminuye conforme la densidad poblacional y la cobertura asfaltado aumenta, esto puede observar claramente en la pista de aterrizaje del aeropuerto Alejandro Velasco Astete, además, el NDVI disminuye conforme nos alejamos de la parte céntrica de la ciudad de Cusco.
- La temperatura del aire registrada en la estación de la granja Kayra en el año 2019, 2020 y 2021 en los meses de septiembre, noviembre y octubre, en estos meses la temperatura del aire varia. En el mes de septiembre del 2019 el día más caluroso fue el 18, en el mes de noviembre del 2020 los días más calurosos fueron 17, 21 y 24 y en el mes de octubre del 2021 los días calurosos fueron 16, 23 y 24, por consiguiente podemos concluir que La temperatura del aire aumenta y con ello la temperatura superficial obtenida de la imagen satelital de esos meses también aumenta, tal es el caso que en el año 2020 se registró mayor temperatura del aire y también en ese año se determinó mayores pico de TS, de esta manera podemos concluir que la temperatura del aire se relaciona directamente proporcional con la temperatura superficial en áreas urbanas como es el caso de la ciudad de Cusco.

- Teniendo como último objetivo que fue ubicar puntos con mayor presencia de densidad poblacional, se puede concluir que el casco urbano de la ciudad de Cusco presenta en la mayor parte del área urbana temperatura superficial con valores de 26 a 39 °C, esto nos muestra que en la cobertura del suelo se aprecia construcciones, avenidas asfaltadas, plazas, pistas, entre otros construcciones, de esta manera podemos mencionar que los lugares con mayor temperatura superficial nos ayuda a identificar áreas densamente pobladas y con mayor infraestructura.

VII. RECOMENDACIONES

En la presente investigación se analizó principalmente la formación de isla de calor superficial del casco urbano de la ciudad de Cusco teniendo en cuenta la TS, en donde las variables de análisis fueron la temperatura superficial (TS) y el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), los cuales se relacionan inversamente, por tal motivo, es recomendable hacer un ordenamiento territorial, promover que se instalen áreas con vegetación como parques, jardines, en la avenidas de doble vía se debe de instalar árboles y hacer practica de las construcciones con techos verdes (Marando, 2019). Las áreas verdes disminuyen la contaminación ambiental al mismo tiempo combate la formación de isla de calor urbano superficial, disminuye la temperatura superficial y acondiciona la temperatura del aire (Esparza, 2017).

REFERENCIAS

ALOMAR Garau Gabriel, 2018, *La Isla De Calor Urbana De Palma (Mallorca, Islas Baleares): Avance Para El Estudio De Clima Urbano En Una Ciudad Litoral Mediterránea*, Universidad De Les Illes Balears (España), 2018.

ALLENDE Álvarez fernando, FERNANDEZ García felipe, RASILLA Álvarez domingo, ALCAIDE Muñoz jorge, 2017, *Isla De Calor Nocturna Estival Y Confort Térmico En Madrid: Avance Para Un Planeamiento Térmico En Áreas Urbanas*, 2017.

ARELLANO Blanca, ROCA Josep, Barcelona, 2018, *Áreas Verdes E Isla De Calor Urbana*, Barcelona 2018.

ARSHAD Muhammad, KHEDHER Khadel, EID Ebrahim y AINA Yusuf, (2021), *Evaluación De La Isla De Calor Urbano Sobre El Complejo Turístico Abha-Khamis Mushait Debido A La Rápida Urbanización En Asir, Arabia Saudita*. Universidad King Khalid, Abha, Arabia Saudita 2021.

AGUILAR Garcia Andres Eduardo, 2021, *Análisis De La Distribución E Intensidad De Las Islas De Calor Urbanas Superficiales Diurnas En El Cantón Manta, Manabí Y Su Relación Con La Vegetación Local Y Otras Variables Geográficas*, Universidad De Barcelona, 2021.

ARAGONES De La Rubia Elena, 2020, *Caracterización De La Isla De Calor Urbana En El Campus De La Uam Por Medio De Teledetección*, Universidad Autónoma De Madrid, 2020.

ARAGON A. Juan, RODRIGUEZ D. Esteban, VARON A. Gustavo, SANCHEZ A. Gabriel, 2020, *Análisis De Isla De Calor Por Medio De Imágenes Satelitales De Sistema De Información Geográficos En El Área Urbana De La Sabana De Bogotá*, Geographicalia 2020.

BUSTAMANTE Campoverde Andrés Santiago, julio - diciembre de 2018, *Análisis De La Isla De Calor Urbana En El Entorno Andino De Cuenca- Ecuador*, 2018.

BRITO Rodrigues Daniel, ROJAS Silva Fernanda Antonella, (2018), *Balance Estimado De Radiación, Albedo, Temperatura De Superficie Y Ndzi En Distintos Usos De Suelo En El Municipio De Campo Verde / Mt.*

BAÑOS Chavez Kelnma Briceyda, HUMPIRE Huaman Yesika, 2020, *Isla De Calor Y Su Relación Con La Contaminación Acústica En La Ciudad De Cusco*, Universidad Cesar Vallejo, 2020.

CASADEI Paula, SEMMARTIN Maria, GARBULESKY F. Martin, 2021, *Análisis Regional De Las Islas De Calor Urbano En La Argentina, 2021.*

CANDANEDO Martín, VILLAREAL DANNA, vol. 16, 2020, *Efecto De La Isla De Calor Urbano En Las Principales Vías De La Ciudad De Panamá*, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá, 2020.

CHAN Alamilla Daniel, BELITSKAYA Davydova Valentina, 2018, *Isla De Calor Y Confort Térmico En La Zona Metropolitana De Guadalajara, 2018.*

COSTA Cavalcante Jullane, AZEVEDO Almelda Crislayne y BANDEIRA Castelo Thiago, (2020), *Análisis De Ndzi Y Temperatura Superficial Terrestre Utilizando La Plataforma Google Earth Motor En Zona De Bosque Y Sabana Amazonica.*

CORRALES Lenin, BRENES Chistian, 2019, *Isla De Calor, Impactos Y Respuestas: El Caso Del Cantón De Curridabat, 2019.*

ERRERA Garcia Geanella Alejandra, 2018, *La Isla De Calor En La Zona Urbana De La Ciudad De Guayaquil, Mediante Sistemas De Información Geográfica Y Teledetección*, Universidad De Guayaquil, Facultad De Ciencias Naturales, 2018.

ESPARZA Salas Goretti Maria, SOSA Herrera Carlos Luis, 2017. *La Vegetación Como Sistema De Control Para Las Islas De Calor Urbano En Ciudad De Juárez, Chihuahua.*

FUENTES Martinez Dayanna, 2021. *Comparación Térmica Y Económica De Diferentes Tipos De Pavimentos Para Ser Usados En La Mitigación De La Isla De Calor Urbano En La Ciudad De Bucaramanga*, Universidad Santo Tomás, Bucaramanga División de Ingenierías y Arquitectura, 2021.

FERNANDEZ Sarria Alfonso, 2018, *Calculo De Temperatura De Superficie A Partir De Imágenes Noaa, Landsat Y Sentinel-3*, Universidad Politécnica De Valencia.

GARCIA Vasquez wilder, RIVERA Montalvan xiomí estefani, 2020, *Isla De Calor Urbano; Efecto Del Crecimiento No Planificado Del Área Urbana De La Ciudad De Jaén, Cajamarca (1995-2015)*.

GAXIOLA Morales Mayra Guadalupe, 2021, *Umbral De Sequía En El Desierto Sonorense: Relación Entre Radiación Y Evapotranspiración*.

JADRAQUE Gago Eulalia, PACHECO Torres Rosalía, ETXEBARRIA Berrizbeitia Saioa, 2017, *Estudio De La Isla De Calor Urbana De La Ciudad De Sevilla Mediante La Utilización De Datos Satelitales*, 2018.

LETECIA Flores Jesthle, VILLANUEVA Solis Jorge, QUIROA Herrera Jaime, 2018, *Evaluación De Los Efectos Microclimáticos Que Tiene La Vegetación En La Mitigación De La Isla De Calor Urbana: Parque En La Ciudad De Torreón, México*, 2018.

MARANDO Federica, SALVATORY Elisabetta, SEBASTIANI Alessandro, FUSARO Lina y MANES Fausto, (2019), *Regulación De Los Servicios Ecosistémicos Y La Infraestructura Verde: Evaluación De Mitigación Del Efecto Isla De Calor Urbano En El Municipio De Roma, Italia*, Departamento De Biología Ambiental, Universidad Sapienza De Roma, Italia 2019.

MONCADA W, WILLEMS B, 2020. *Análisis Espacial Y Temporal De La Temperatura Superficial En La Microcuenca Apacheta Mediante Datos Térmicos Landsat*. Universidad Nacional De San Cristóbal De Huamanga, Ayacucho, Perú, 2020.

MOYANO Castillo Daniel, 2020, *Propuesta De Reducción Del Efecto Isla De Calor Urbano Superficial (Icu) En La Ciudad De Curicó*, Universidad De Chile, 2020.

MERCADO Maldonado Laura, 2021, *Isla De Calor Urbana Y Su Impacto En La Pérdida De Espacio Público En Hermosillo, Sonora*, Universidad de Sonora. Blvd. Luis Encinas y Rosales s/n, Hermosillo, Sonora, 83000, México, 2021.

MUJABAR Jeque, (2019), *Variación Espacio-Temporal De La Temperatura De La Superficie Terrestre De Jubail Industrial City, Arabia Saudita Debido Al Efecto Estacional Al Usar El Control Remoto Infrarrojo Térmico Datos Del Satélite Sensor (Tirs)*.

MONTOYA Morales Elvis Fabian, CASTELLANOS Jimenez Jeny Vanessa, 2020, *Revisión Y Caracterización Del Fenómeno De Las Islas De Calor Urbanas Con Énfasis En El Caso Colombiano*, Universidad Distrital Francisco José De Caldas, 2020.

NUÑES Peiró Miguel, SANCHEZ Guevara Sanchez Carmen, GONZALES F. Javier, 2017, *Actualización De La Isla De Calor Urbana De Madrid Y Su Influencia En La Simulación Energética De Edificios*, Universidad Politécnica de Madrid, 2017.

OKUMUS Erdem Deniz, SASTRE Fatih, (2021), *Evaluación Del Papel Del Tejido Urbano En La Isla De Calor Urbana Superficial: El Caso De Estambul*, Universidad Técnica De Yildiz, Estambul, Turquía, Universidad Técnica De Estambul, Estambul, Turquía 2021.

PUTRI Diviyani, ISMAIL Nazli, IDROES Rinaldi, RIZAL Syamsul, NUR Syahrin y NANDA Mohamed, (2021), *Análisis De La Temperatura De La Superficie Terrestre (Lst) En Bur Ni Campo Geotérmico De Geureudong, Aceh, Indonesia Landsat 8 Oli / Tirs Imágenes*.

QUISPE Reymundo Bimael, REVOLO Acevedo Ronald, Jul.2020, *Temperatura Superficial Y Estado De La Vegetación Del Bosque De Polylepis Spp, Distrito De San Marcos De Rocchac Huancavelica – Perú*, 2020.

ROSAS Lusett Mireya Alicia, 2019, *Islas De Calor En La Zona Conurbada Del Río Pánuco*, Universidad Autónoma De Tamaulipas, México, 2019.

SOTO Estrada Engelberth, 2018, *Estimación De La Isla De Calor Urbana En Medellín, Colombia*, universidad EIA, Envigado Colombia 2018.

SUCAPUCA Mamani Reyder Oria *Isla De Calor Urbano Mediante Imágenes Satelitales En La Ciudad De Juliaca Durante El Año 2019*. ndo, p, 1-127, 2019. Universidad Nacional De Juliaca, 2019.

SOTO Soto José, GARZON Barrero Julian, JIMENEZ Cleves Gonzalo, 2020, *Análisis De Isla De Calor Urbano Usando Imágenes De Landsat: Caso De Estudio Armenia-Colombia 1996-2018*.

SCHILLER Silvia, 2019, *Forma Edilicia Y Tejido Urbano; Evaluación De Sustentabilidad*, Universidad de Buenos Aires, 2019.

THERAN Nieto Kevin, RODRIGUEZ Potes Lizeth, MOUTHON Caledon Stephania, MANJARRES De Leon Juliana, 2019, *Microclima Y Confort Térmico*.

WILLIAMS Castro Christopher, 2019, *Intensidad De Las Islas De Calor Urbanas Superficiales En Las Principales Conurbaciones De La V Región De Valparaíso Y Factores Geográficos Explicativos Para El Caso Específico De La Conurbación Del Gran Valparaíso*, Universidad De Chile, 2019.

ANEXOS

MATRIZ OPERACIONAL					
variable de estudio	definición conceptual	definición operacional	dimensión	indicadores	escala de medición
variable independiente	la isla de calor urbano está relacionado a la temperatura superficial que es la energía encontrada al nivel de la superficie que depende de muchos factores geológicos y atmosféricos. La temperatura superficial es la emisión térmica que es un proceso radiactivo (Mujabar 2019 p-1)	descarga de imagen satelital Landsat 8 (C1-L1, OLI/TIRS), del geoservidor EarthEplorer-USGS, se hará uso de ENVI 5.0 Y ArcMap 10.4.1. La estimación de la temperatura se va determinar en tres periodos diferentes para su comparación.	retención de la energía solar a nivel de superficie	temperatura superficial del suelo	grados Celsius
isla de calor			área de zonas con material asfaltado		
variable dependiente	el índice de vegetación normalizada está relacionada a la cubierta vegetal en un determinado suelo y sus propiedades físicas como es la emisividad (Deviyani, Nazli, Rinaldi, Syamsul y Mohamed 2021 p-4).	se estimó a partir de la imagen satelital Landsat 8, las bandas que se utilizaron fueron la banda roja (4) y la banda de infrarrojo cercano (5), el valor de NDVI oscila entre +1 y -1.	áreas con vegetación	cobertura vegetal del suelo	-1 a 1
índice de vegetación normalizada (NDVI)			parques ecológicos		

