

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



*Una Institución Adventista*

Evaluación espacial para la identificación de islas de calor mediante el uso de imágenes satelitales Landsat 8 de los años 2014 y 2020 en la ciudad de Juliaca

Trabajo de Investigación para obtener el Grado Académico de Bachiller en Ingeniería Ambiental

Por:

Cesar Gabriel Condori Ccollanqui

Asesor:

Dr. Efrain Lujano Laura

Juliaca, diciembre de 2020

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

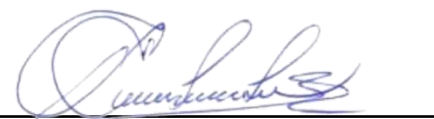
Dr. Efrain Lujano Laura, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente trabajo de investigación titulado: “EVALUACIÓN ESPACIAL PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ISLAS DE CALOR MEDIANTE EL USO DE IMÁGENES SATELITALES LANDSAT 8 DE LOS AÑOS 2014 Y 2020 EN LA CIUDAD DE JULIACA” constituye la memoria que presenta el estudiante Cesar Gabriel Condori Ccollanqui para aspirar al grado de bachiller en Ingeniería Ambiental, cuyo trabajo de investigación ha sido realizado en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este trabajo de investigación son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Juliaca, a los 23 días del mes de diciembre del año 2020.



Dr. Efrain Lujano Laura

Asesor

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En Puno, Juliaca, Villa Chullunqui, a 22 día(s) del mes de diciembre del año 2020 siendo las 9:10 horas

se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión campus Juliaca, bajo la dirección del (de la)

presidente(a): Msc. Rose Adeline Collata Chura el (la)

secretario(a): Ing. Verónica Haydeé Pari Mamani y los demás miembros:

Msc. Jael Collata Collata

y el (la) asesor(a) Dr. Efrain Lujano Laura

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación del trabajo de

investigación titulado: Evaluación espacial para la identificación de

islas de calor mediante el uso de imágenes satelitales

Landsat 8 de los años 2014 y 2020 en la ciudad de Juliaca

de los (las) egresados (as): a) Cesar Gabriel Condori Collanqui

b)

conducente a la obtención del grado académico de Bachiller en

Ingeniería Ambiental

(Denominación del Grado Académico de Bachiller)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato/a (a): Cesar Gabriel Condori Collanqui

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>14</u>	<u>C</u>	<u>Aceptable</u>	<u>Bueno</u>

Candidato/a (b):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(\*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

\_\_\_\_\_  
Presidente/a

\_\_\_\_\_  
Secretario/a

\_\_\_\_\_  
Asesor/a

\_\_\_\_\_  
Miembro

\_\_\_\_\_  
Miembro

\_\_\_\_\_  
Candidato/a (a)

\_\_\_\_\_  
Candidato/a (b)

# Evaluación espacial para la identificación de islas de calor mediante el uso de imágenes satelitales Landsat 8 de los años 2014 y 2020 en la ciudad de Juliaca

## Spatial evaluation for the identification of heat islands through the use of Landsat 8 satellite images from the years 2014 and 2020 in the city of Juliaca

Cesar Gabriel Condori Ccollanqui <sup>a\*</sup> Efraín Lujano Laura <sup>b</sup>

<sup>a</sup>EP. Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión

<sup>b</sup>EP Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión (Asesor)

---

### Resumen

A lo largo del tiempo se ha intensificado la presencia de islas de calor, debido a que existe un incremento de temperatura en las zonas urbanas a comparación con las zonas rurales, creando así microclimas esto es causado principalmente por el material de construcción, reducción de áreas verdes y el parque automotor de la zona. El objetivo fue realizar una evaluación multitemporal espacial de la evolución de islas de calor en la ciudad de Juliaca mediante el uso de imágenes satelitales Landsat 8 de los años 2014 y 2020 de los meses de junio y noviembre, los datos fueron obtenidos de la página de Earth Explorer – USGS (Servicio Geológico de los Estados Unidos) y procesada en el software Arcgis 10.5. Se logró identificar 6 islas de calor urbanas en la ciudad de Juliaca de intensidad baja las cuales están ubicadas en el centro de la ciudad, zona industrial en salida Puno, aeropuerto Inca Manco Cápac, estación de tren y el centro comercial plaza vea, la capilla del parque cholo, y el cerro Huaynaroque, estos resultados obtenidos evidenciaron que existe un incremento de temperatura superficial en las áreas urbanas desde el año 2014 al año 2020, estos resultados además contrastan con diversos factores como la impermeabilización de las calles, el incremento de viviendas de concreto, aumento del parque automotor y la falta de áreas verdes, en el NDVI se logró apreciar que las áreas urbanas aumentaron y que las áreas con vegetación ha disminuido desde el año 2014 a 2020, también se apreció islas de calor negativas producidas por la presencia de cerros desnudos, superficies arenosas o rocosas, superficies de color oscuro, con propiedades térmicas y caloríficas que durante el día se calientan más que las zonas urbanas, donde generalmente ocurre en zonas semiáridas, en los resultados de la rosa de vientos y la comparación de la temperatura de la estación meteorológica de Juliaca se puso observar cierta relación entre estas variables.

*Palabras clave: Evaluación espacial; islas de calor; radianza; temperatura superficial.*

### Abstract

Over time the presence of heat islands has intensified, because there is an increase in temperature in urban areas compared to rural areas, thus creating microclimates this is caused mainly by the construction material, reduction of green areas and the vehicle fleet in the area. The objective was to carry out a multitemporal spatial evaluation of the evolution of heat islands in the city of Juliaca using Landsat 8 satellite images of the years 2014 and 2020 from the months of June and November. The data was obtained from the Earth Explorer - USGS (United States Geological Survey) page and processed in the Arcgis 10.5 software. It was possible to identify 6 urban heat islands in the city of Juliaca of low intensity which are located in the center of the city, industrial zone in Puno exit, airport Inca Manco Capac, train station and the commercial center plaza vea, the chapel of the cholo park, and the hill Huaynaroque, these results obtained showed that there is an increase in surface temperature in urban areas from 2014 to 2020, these results also contrast with various factors such as waterproofing of streets, increased concrete housing, increased vehicle fleet and lack of green areas, In the NDVI it was possible to appreciate that the urban areas increased and that the areas with vegetation has decreased from 2014 to 2020, also it was appreciated negative heat islands produced by the presence of naked hills, sandy or rocky surfaces, surfaces of dark color, with thermal and calorific properties that during the day they heat up more than the urban areas, where generally it happens in semiarid zones, in the results of the wind rose and the comparison of the temperature of the meteorological station of Juliaca it was put to observe certain relation between these variables.

*Keywords: Spatial evaluation; heat islands; radiance; surface temperature.*

## 1. Introducción

El crecimiento de las ciudades y las urbanizaciones a nivel mundial se ha incrementado de una manera considerable durante los últimos años. En el Perú más de 53.85% de la población mundial habita en las ciudades, la población peruana mayoritariamente urbana se elevó a 24 millones 630 mil 476 y representa el 78,8% y la población total rural llegó a 6 millones 606 mil 909 habitantes, correspondiendo a 21,2% de la población (INEI, 2017).

La ciudad de Juliaca está considerada dentro de los 30 distritos más poblados del Perú, en el 2007 se tenía una población de 240776 habitantes para el 2017 llegó a los 317 510 habitantes (INEI, 2017) lo que trae consigo la expansión territorial que generó el reemplazo de las áreas verdes como jardines y parques por áreas edificadas y pavimentadas (Soberón & Obregón, 2015) desencadenando en una serie de alteraciones en el ambiente como; el incremento de temperatura superficial (Moscoso, 2007).

El cambio de la composición de la superficie natural del suelo por actividades antropogénicas afecta principalmente al balance de energía por la predominancia de materiales de alta capacidad calorífica como son el hormigón, el asfalto y el cemento, entre otros, esta acción modificadora hace que las ciudades tengan la propiedad de generar sus propias condiciones medioambientales (Sepúlveda, 2006). La alteración del balance de energía en una ciudad trae como consecuencia inmediata el incremento de la temperatura, la cual se ve además intensificada por la emisión de contaminantes hacia la atmósfera, provenientes de las actividades humanas. El aumento en el sector de construcción afecta el clima urbano produciendo un nuevo fenómeno, conocido como “Islas de Calor Urbanas” (ICU).

El crecimiento poblacional sin ninguna planificación urbana produce diversos problemas; la ciudad de Juliaca crece de manera desordenada de modo que son comunes las prácticas como la impermeabilización de las superficies, el uso de materiales de construcción inadecuados, la eliminación de la cubierta vegetal original o la urbanización sin áreas verdes, la canalización cerrada de ríos y la emisión de contaminantes a la atmósfera debido al parque automotor, diversos estudios muestran que los materiales de construcción absorben y retienen más radiación solar que los materiales naturales en áreas rurales o menos urbanas, esto favorece la generación de islas de calor en zonas densamente construidas. El entubamiento del afluente acuoso del río Torococha en Juliaca y las escasas zonas de áreas verdes reducen las oportunidades de transformar la energía solar a través de los procesos de fotosíntesis o evaporación del agua.

Fuentes (2014) menciona que la actividad comercial y doméstica genera un aporte de calor al entorno, la ciudad de Juliaca tiene como actividad principal el comercio, por lo tanto, la fluidez de vehículos y el comercio es constante y esto aporta un calor extra al entorno.

Porras (2018) determinó la evolución de islas de calor urbano en la ciudad de Arequipa mediante el uso de imágenes satelitales del Landsat 5 y 8 de los años 2011, 2013 y 2016, también usaron los datos de estaciones meteorológicas del SENAMHI, con los cuales se pudo determinar la evolución de 3 islas de calor urbano a través de los años en los distritos de Socabaya, Cerro Colorado, Bustamante y Rivero con temperaturas de 2°C a 8 °C que indican una intensidad moderada, fuerte y muy fuerte de acuerdo con Fernández (2016).

(Soberón & Obregón, 2015) identificaron islas de calor urbano en la ciudad de Lima Metropolitana utilizando imágenes satelitales del satélite Landsat 5 de las estaciones de verano, otoño, invierno y primavera del año 2008. En el cual encontraron 5 islas de calor urbanas, 7 islas en zonas industriales y comerciales y 3 micro islas de calor urbanas con temperaturas que varían de 35.90°C a 36.41°C en las islas de calor en zonas industriales y comerciales.

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo la realización de una evaluación multitemporal espacial de la evolución de islas de calor en la ciudad de Juliaca mediante el uso de imágenes satelitales Landsat 8 de los años 2014 y 2020.

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1 Área de estudio

La ubicación del área de estudio se encuentra al sur del Perú en la ciudad de Juliaca, provincia de San Román de la región de Puno, esta área de estudio es una de las ciudades más grandes del sur peruano y también tiene un acelerado crecimiento poblacional, su posición geográfica es Latitud 378641 E y Longitud 8287310,3 N, con una altura de 3825 m.s.n.m; su clima es frígido la temperatura mínima promedio es de -5°C en los meses de junio y julio, la temperatura máxima promedio diaria es menos de 16 °C y las temporadas de lluvia son generalmente en los meses de diciembre, enero y febrero.

De acuerdo al ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, las ciudades se clasifican según el número de habitantes, como se puede apreciar en la tabla 1. Identificar a la ciudad de Juliaca fue muy importante antes de realizar nuestro trabajo de investigación.

**Tabla 1**

*Clasificación de las ciudades según número de habitantes*

Clasificación de las ciudades	Magnitud demográfica	
	Según tamaño de población en el sistema urbano nacional	Según población de referencia que alcanzaría en el año 2015
<b>Metrópoli nacional</b>	Más de 1 000 000	Más de 10 000 000 a más
<b>Metrópoli regional</b>	500 000 a 1 000 000	1000 000 a más
<b>Ciudad Mayor</b>	-----	250 000 a 999 999
<b>Ciudad Intermedia</b>	5000 a 20000	100 000 a 249 999
<b>Ciudad Menor</b>	20 000 a 5 000	20000 a 99 999
<b>Centro poblado (ámbito rural)</b>	No mayor a 2 000 hab	

*Fuente:* Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento

De acuerdo a la clasificación del tipo de ciudad, la ciudad de Juliaca es considerada una ciudad mayor ya que cuenta con 317 510 habitantes al año 2017, que se encuentra dentro del rango de 250000 a 999999.

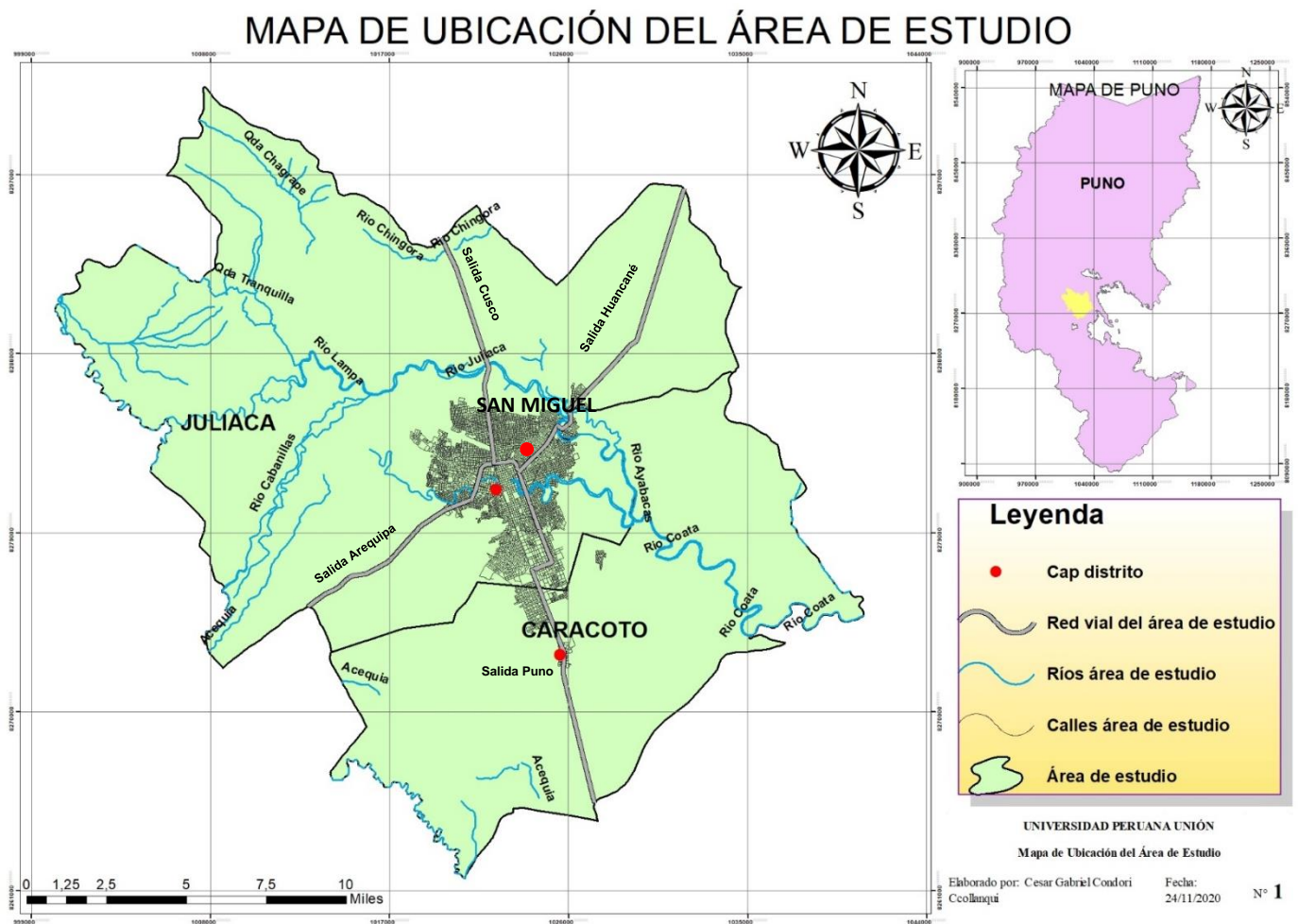


Figura 1. Mapa de ubicación de Juliaca

En la figura 1 se puede observar el área de estudio que abarcan 3 distritos el distrito de Juliaca, San Miguel y Caracoto.

## 2.2 Instrumentos

Para obtener el modelo digital de islas de calor urbano del territorio de Juliaca, se utilizó las imágenes satelitales Landsat 8 de los años 2014 y 2020, de los meses de junio y septiembre, y para el procesamiento de datos se utilizó el software Argis 10.5. Ver tabla 2.

**Tabla 2**

*Herramientas utilizadas.*

Software	Imagen satelital	Fuente
ArcGIS 10.5	Landsat 8 de los años 2014 y 2020	Earth Explorer - Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS)

## 2.3 Procesamiento de datos

### 2.3.1 Valores constantes de calibración Landsat 8

Los datos primarios se obtuvieron de los sensores multi-espectrales TM de Landsat 8; estas imágenes se encuentran georreferenciadas al sistema UTM, además poseen correcciones geométricas y radiométricas a nivel de procesamiento 1GB; y se adquirieron del servidor del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), disponibles en: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Estos datos provenientes de dicho satélite, fueron seleccionados de las fechas 16 de junio, 07 de noviembre del 2014 y del 16 de junio, 23 de noviembre del 2020.

Las constantes de calibración en función de la configuración de la banda térmica de Landsat se muestran en la tabla 3.

**Tabla 3.**

*Valores constantes Landsat 8*

Valores constantes	Banda 10	Banda 11
RADIANCE MULT	3.3420E-04	3.3420E-04
RADIANCE ADD	0.1	0.1
K1 CONSTANT	774.89	480.89
K2 CONSTANT	1321.08	1201.14

### 2.3.2 Calibración radiométrica

La calibración radiométrica consiste en convertir los niveles digitales (ND) de las bandas infrarrojas térmicas del Landsat 8 en valores de Radiancia (Nguyen & Danh, 2019) Para ello se utiliza la ecuación (1) (USGS, 2019).

$$L = M_L * Q_{cal} + A_L \quad (1)$$

Donde  $M_L$  representa el factor de reescalamiento multiplicativo específico de la banda,  $Q_{cal}$  es la imagen de la Banda 10,  $A_L$  es el factor de reescalado aditivo específico de la banda (Barsi, Schott, & Hook, 2014).

### 2.3.3 Cálculo de TOA (Top of Atmospheric) radiancia espectral.

El cálculo se realiza usando los valores constantes Landsat 8 que se muestra en la tabla 3, se utiliza también en el software Arcgis 10.5 se usa la herramienta Raster Calculator y se ingresa la siguiente ecuación (USGS, 2019).

$$TOA = 0.0003342 * \text{banda } 10 + 1.0 \quad (2)$$

Para el cálculo de Radianza Multiband se usa la siguiente formula

$$\text{RADIANCE\_MULT\_BAND\_X} * \text{BANDA TÉRMICA X} + \text{RADIANCE\_ADD\_BAND\_X}$$



### 2.3.4 Conversión de TOA a Brightness Temperature (Temperatura de brillo)

Avdan & Jovanovska (2016) mencionan que después de que los números digitales (ND) se convierten en reflexión, los datos de la banda TIRS deben convertirse de radiancia espectral a temperatura de brillo (TB) utilizando las constantes térmicas proporcionadas en el archivo de metadatos. La siguiente ecuación se utiliza en el algoritmo de la herramienta para convertir la reflectancia a TB en grados Kelvin a grados Centígrados.

$$T(^{\circ}\text{C}) = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{\text{Radianza}} + 1\right)} - 273.1 \quad (3)$$

Donde  $K_1$  y  $K_2$  representan las constantes de conversión térmica específicas de banda de los metadatos. Para obtener los resultados en grados Celsius, la temperatura radiante se revisa agregando el cero absoluto (aprox.  $-273.1^{\circ}\text{C}$ ).

### 2.3.5 Cálculo del NDVI para la corrección de la emisividad

Weng, Lu, & Schubring (2004), utilizaron bandas de infrarrojo cercano y visible de Landsat para calcular el Índice de Vegetación de Diferencia Normal (NDVI). La importancia de estimar NDVI es esencial ya que la cantidad de vegetación presente es un factor importante y el NDVI puede usarse para inferir en general condición de la vegetación, después, se debe calcular la proporción de la vegetación ( $Pv$ ), y están altamente relacionadas con el NDVI y la emisividad ( $\epsilon$ ) y debe calcularse, lo que está relacionado con el  $Pv$ .

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

Donde NIR representa la banda de infrarrojo cercano (Banda 5) y  $R$  representa la banda roja (Banda 4).

### 2.3.6 Cálculo de Proporción de vegetación ( $Pv$ )

Con el cálculo de la proporción de la vegetación se podrá clasificar las áreas urbanas de las áreas rurales Para el cálculo de proporción se utiliza la siguiente ecuación con los resultados obtenidos en la ecuación 4.

$$Pv = NDVI - \left(\frac{NDVimin}{NDVimax}\right) + NDVimin^2 \quad (5)$$

### 2.3.7 Cálculo de la Emisividad de la superficie terrestre (LSE)

Como la superficie terrestre no se comporta exactamente como un cuerpo negro la radiancia emitida por un cuerpo natural no obedece la función de Planck, por lo que hay que introducir un coeficiente denominado “emisividad”, de modo que la radiancia emitida por una superficie se realiza el cálculo final de la LSE para la cual se utiliza la ecuación mostrada anteriormente

$$LSE = 0.004 * Pv + 0.986 \quad (6)$$

### 2.3.7.1 *Calculo de la temperatura superficial.*

La TST es un factor muy importante que tiene una gran variedad de aplicaciones sobre todo en los cambios climáticos. Para su medición por medio de imágenes satelitales se requiere de cierto procedimiento y condiciones; para el presente estudio no se realizaron correcciones atmosféricas debido a que la presencia de nubes no fue significativa en la zona de estudio en los días seleccionados, también se realizó la corrección por emisividad utilizando el método de Stathopoulou este método considera el NDVI para su cálculo.

Para las bandas 10 y 11 de Landsat 8 se han estimado valores de emisividad medios ver tabla 4, a los cuales ha de ser aplicada la misma corrección anterior en función de la proporción de vegetación existente en cada píxel.

Para analizar las islas, en forma conjunta, se elaboró un mapa representativo basado en los 4 eventos (16 de junio, 07 de noviembre del 2014 y del 16 de junio, 23 de noviembre del 2020), este mapa nos permite ubicar con mayor precisión las islas de calor. Se consideró como islas de calor urbanas a aquellas superficies que tienen una temperatura mayor al promedio de la temperatura encontrada en el área urbanizada.

$$T_s = \frac{TBPro}{1} + Banda X * \left( \frac{TBProm}{14380} \right) * Ln(LSE) \quad (7)$$

Donde  $T_s$  es la temperatura superficial,  $TBPro$  es la temperatura de brillo promedio y  $LSE$  es la emisividad de la superficie terrestre

**Tabla 4**

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

<b>Banda</b>	<b>Suelo</b>	<b>Vegetación</b>
<b>Landsat 8 TIRS banda 10</b>	0.9668	0.9863
<b>Landsat 8 TIRS banda 11</b>	0.9747	0.9896

### 2.3.7.2 *Realización de rosa de vientos*

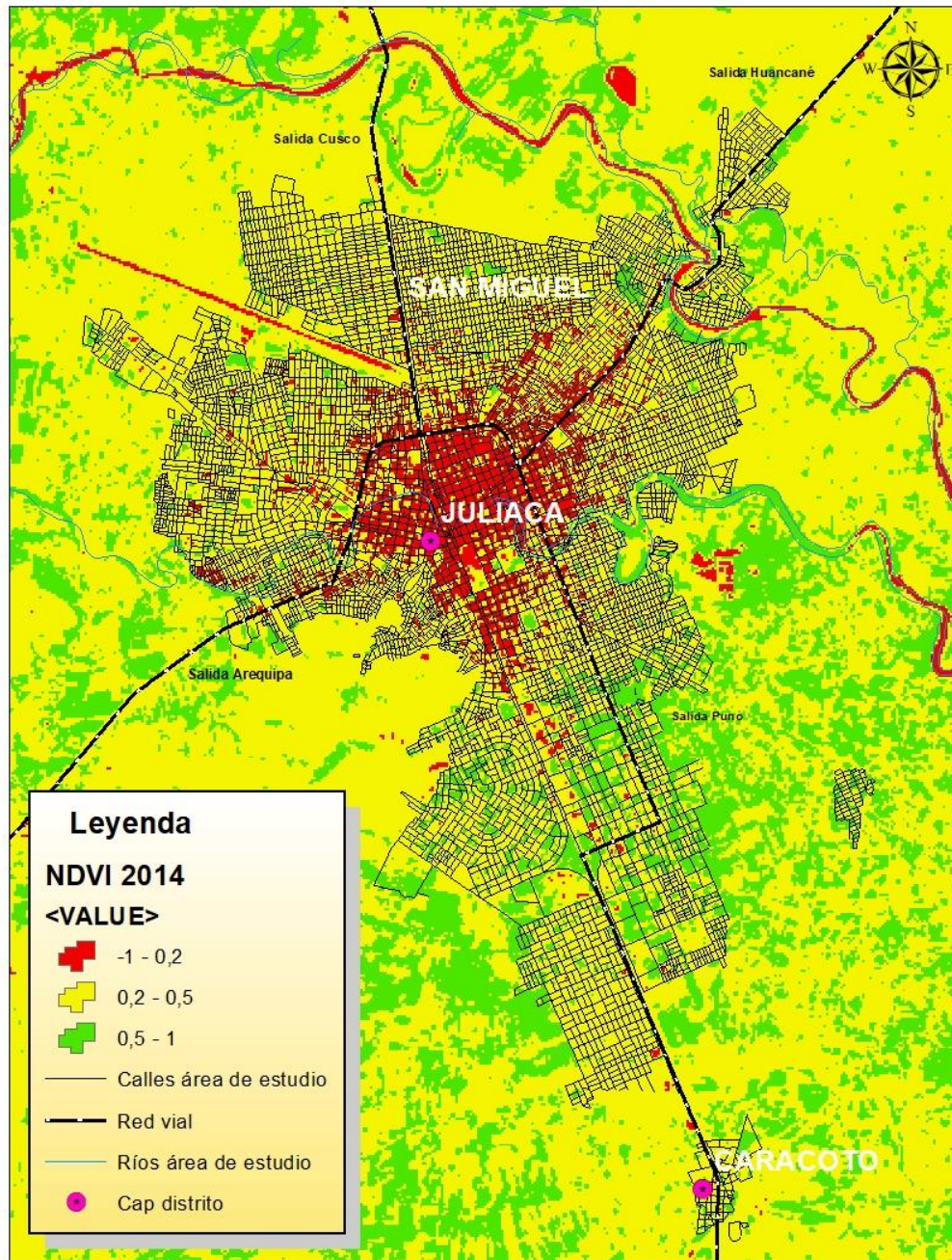
Se realizó la rosa de vientos debido al estudio de Torrez (2008) que menciona sobre la irradianza solar y temperatura del aire superficial en una atmósfera estática, concluyendo que existe una estrecha relación entre las variables de radiación solar, la temperatura y la velocidad del viento.

Para realizar la rosa de vientos se extrajo los datos meteorológicos del SENAMHI de los meses de junio a noviembre del 2020 estos datos se clasificaron según día, mes, año, precipitación, dirección de viento y velocidad de viento, estos datos se procesaron el programa WRPLOT View.

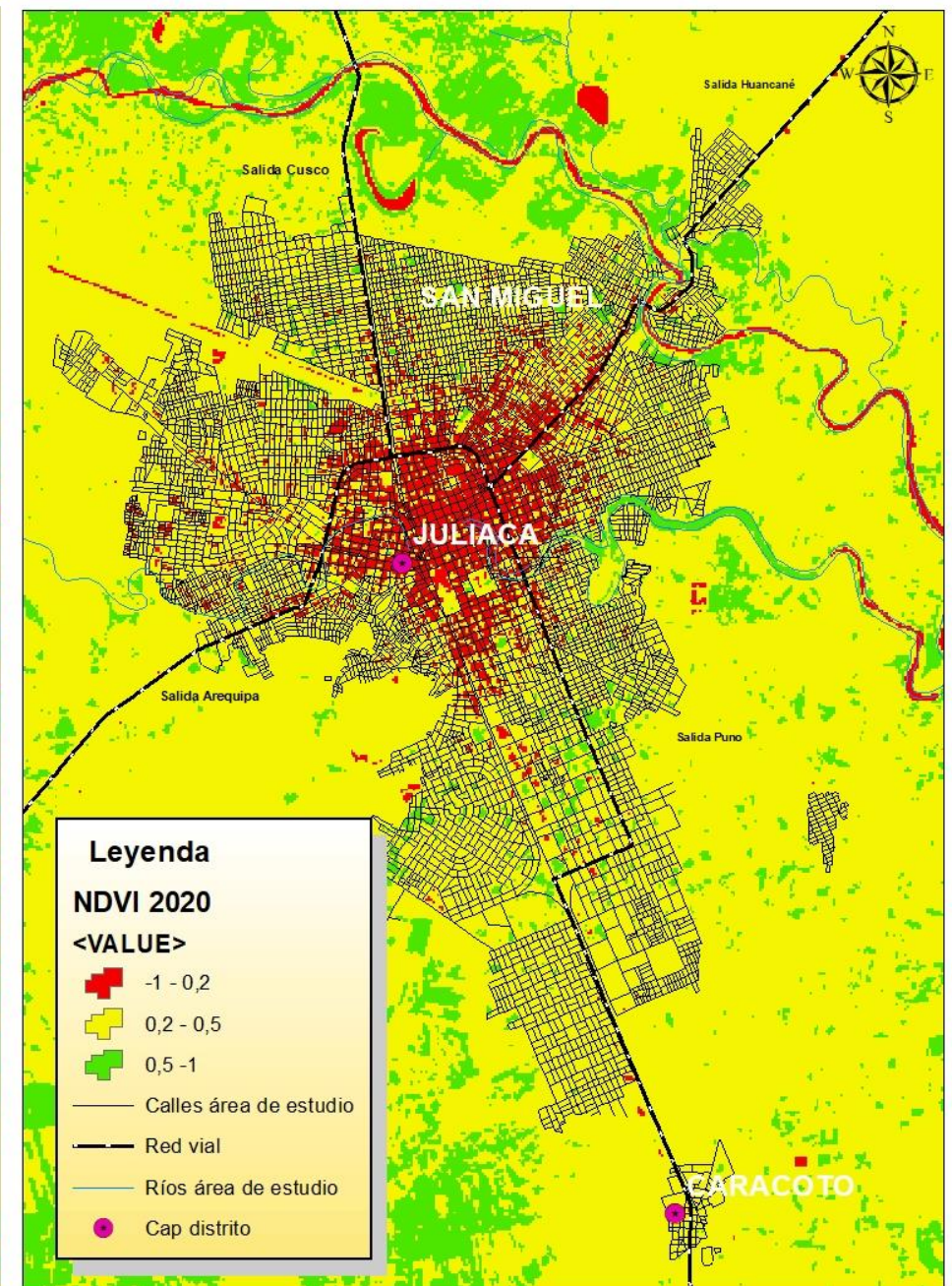
### 3. Resultados y Discusión

#### 3.1 Determinación de áreas rurales y urbanas

##### Determinación de áreas rurales y urbanas 2014



##### Determinación de áreas rurales y urbanas 2020



*Figura 2. Clasificación de áreas urbanas y rurales*

De acuerdo a la clasificación según el método de Stathopoulou (2007) como se muestra en la siguiente tabla 5.

**Tabla 5**

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

<b>NDVI</b>	<b>PIXELES</b>	<b>EMISIVIDAD</b>
NDVI = 0	Cuando el NDVI es 0, se clasifica como agua	0.991
NDVI < 0.2	Si el NDVI tiene valores menores a 0.2, los pixeles son considerados como suelo urbano.	0.996
$0.2 \leq \text{NDVI} \leq 0.5$	Cuando el NDVI tiene valores mayores o igual a 0.2 y menor o igual a 0.5, los pixeles son considerados mixtos entre vegetación y suelo urbano y su emisividad ( $\epsilon$ ) se calcula según las ecuaciones:	$\epsilon_v = 0.98$ $\epsilon_{sl} = 0.92$
NDVI > 0.5	Cuando el NDVI tiene valores mayores a 0.5, los pixeles son considerados de vegetación.	0.973

Las áreas que cuentan con -1 a 0.2 del NDVI en la ciudad de Juliaca son considerados como urbanas y se puede observar en el centro de la ciudad y que a lo largo de los años ha estado en aumento.

Para los valores de 0.2 a 0.5, son considerados una mezcla entre área urbana y rural, por lo tanto, estas áreas en la ciudad de Juliaca se encuentran en la periferie de la ciudad de Juliaca, también se observó que ha estado en aumento desde el año 2014 al 2020 esto debido al crecimiento poblacional de la ciudad de Juliaca.

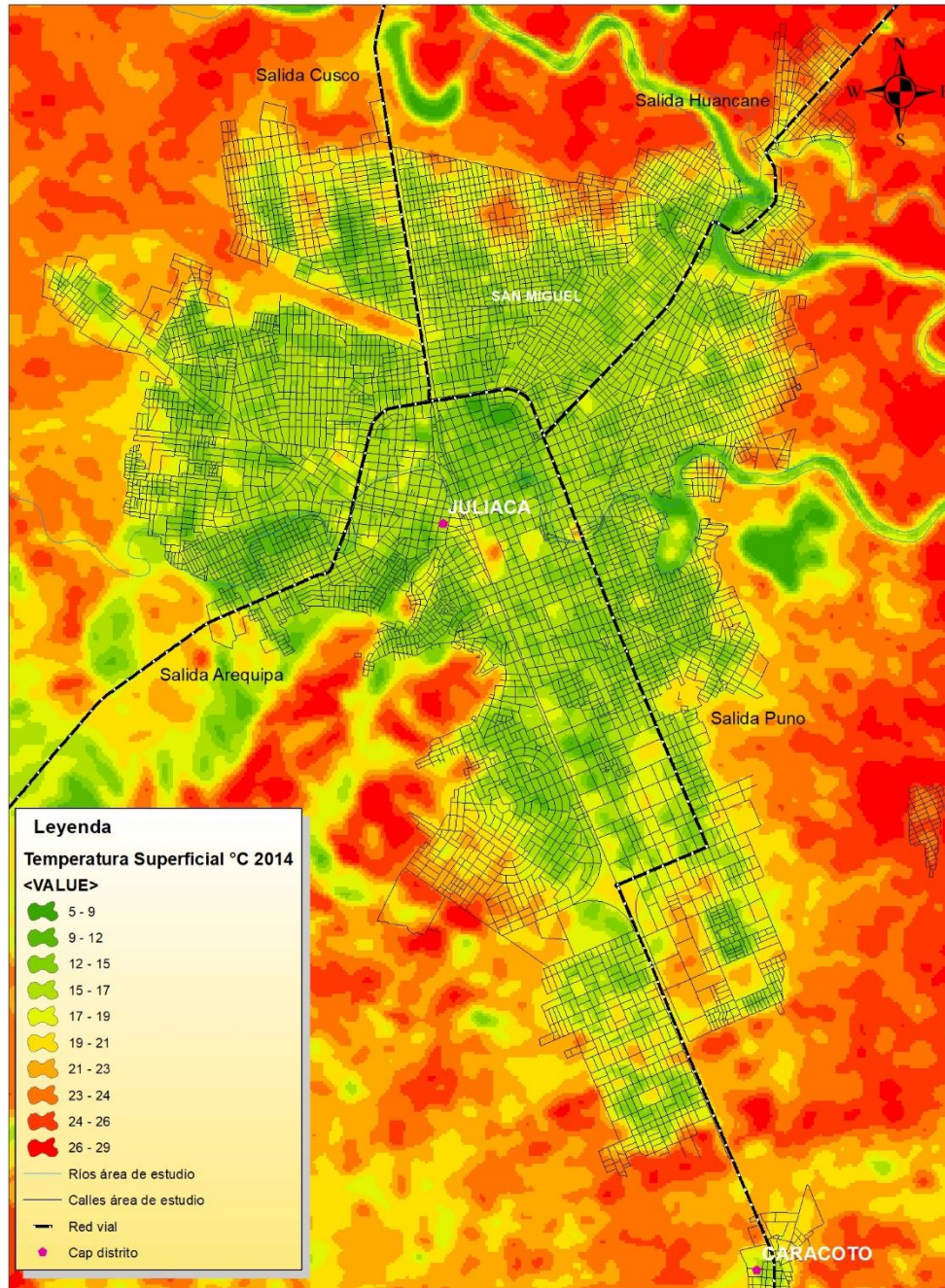
Para los valores de 0.5 a 1, se considerados como áreas con vegetación o área rurales, por lo tanto, dentro de la ciudad de Juliaca, no se encuentran áreas con vegetación representativas ya que las resoluciones de las bandas termaltes son de 30 km.

Para los valores de 0 se puede observar el rio de Juliaca y el rio Torococha mostradas en los mapas de coloración roja, a medida que el rio Torococha penetra la ciudad se puede observar que el NDVI lo clasifica como áreas con vegetación esto puede ser debido a que el rio sufre de eutrofización por los contaminantes.

Se puede apreciar que las áreas de vegetación más representativas en el área de estudio se encuentran a la periferie del rio Juliaca esto debido a la humedad que genera el rio. También se puede observar una cierta evolución de las áreas urbanas desde el año 2014 al 2020, este efecto debido a la urbanización y crecimiento poblacional de la ciudad de Juliaca.

### 3.2 Determinación del aumento de temperaturas de la ciudad de Juliaca

#### Temperatura Superficial Año 2014



#### Temperatura Superficial Año 2020

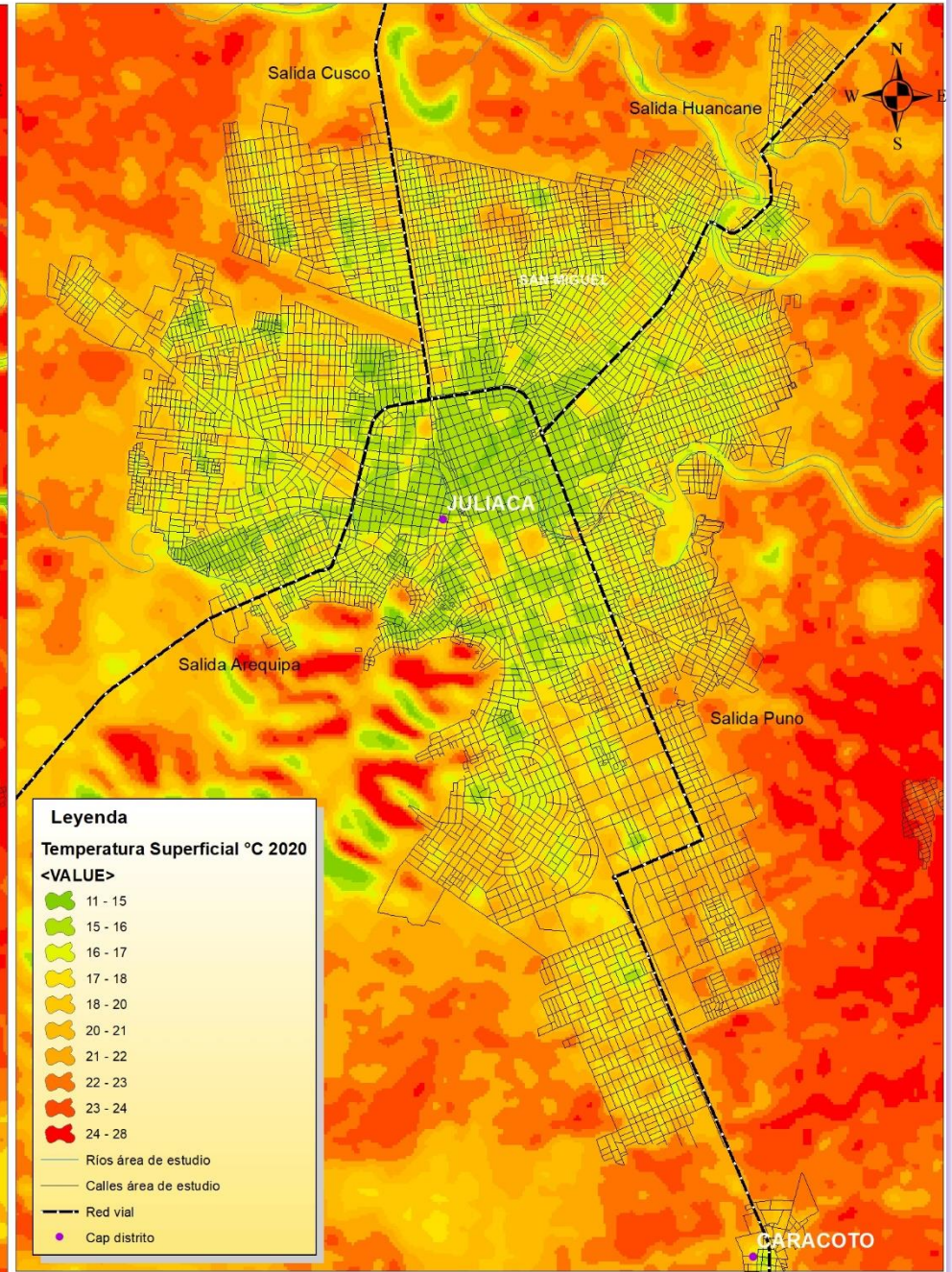


Figura 3. Determinación del aumento de temperatura en los años 2014 y 2020

En la imagen se puede observar que existe un incremento de temperatura superficial desde el año 2014 al año 2020 en un promedio de 5°C en el centro de la ciudad, esto debido a los materiales absorbentes como el concreto y también a la disminución de áreas verdes o cubiertas vegetales de la zona, y estos resultados de incremento se muestran principalmente en las áreas de la ciudad, en el mapa del 2020 se puede observar que las superficies techadas con calamina o materiales similares tienen una temperatura mayor como es el caso de la plaza San José y el mercado las Mercedes, también se observa un incremento exponencial de la temperatura superficial en la salida Puno en las áreas donde existe un elevado número de industrias en la ciudad (Zona Industrial).

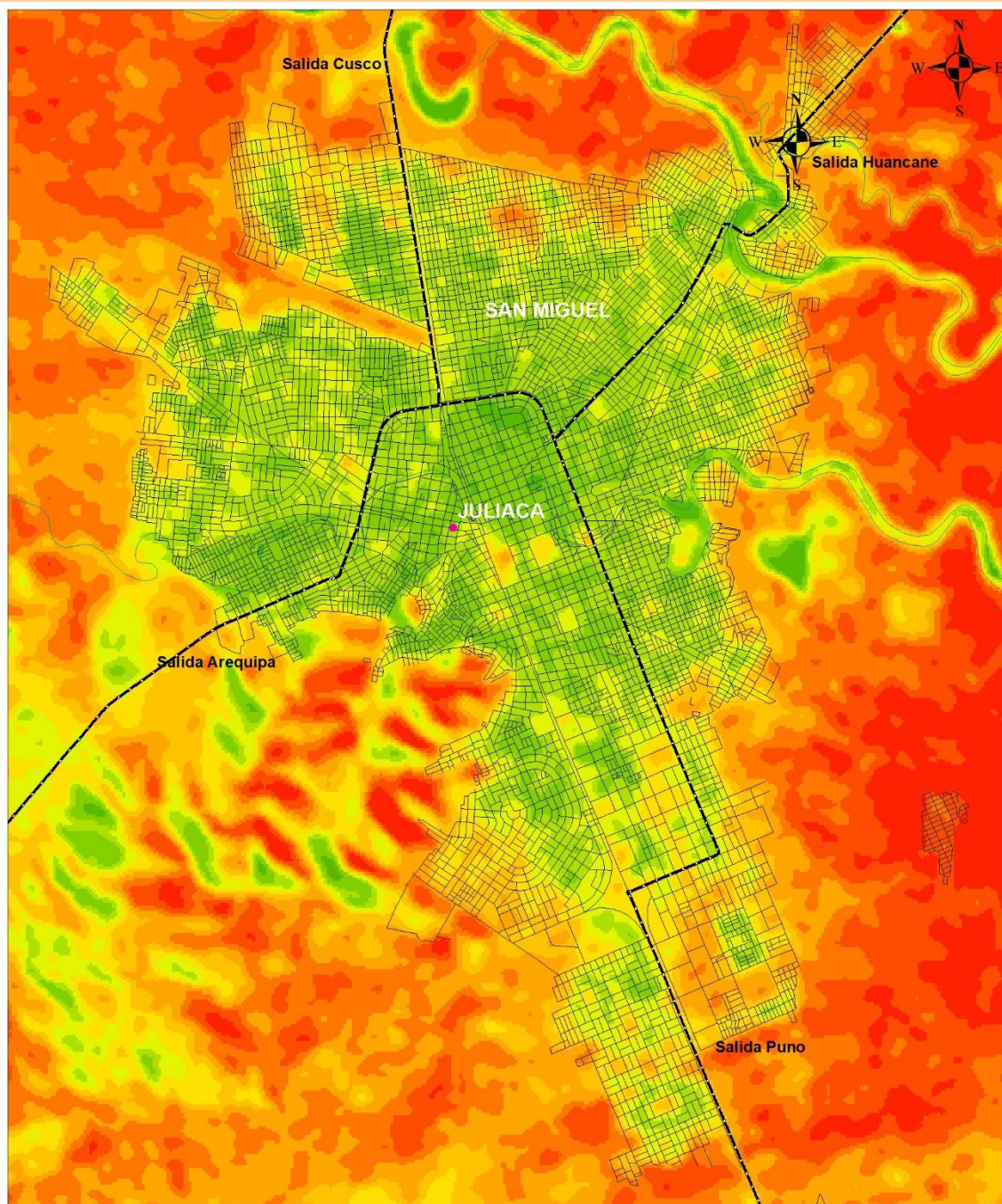
Desde el punto de vista de urbanización se encontró temperaturas más elevadas en las zonas no urbanizadas y temperaturas bajas en las zonas urbanizadas; lo que indica la presencia de la isla de calor negativa en coincidencia lo mencionado por Pulache y Menis (2009). Estas islas de calor negativas son producidas por la presencia de cerros desnudos, superficies arenosas o rocosas, superficies de color oscuro, con propiedades térmicas y caloríficas que durante el día se calientan más que las zonas urbanas. También este comportamiento está dentro lo mencionado por Pérez y Peña (2010) que indican que este efecto corresponde a climas templados, tropicales, semiáridos y áridos, y ocurren principalmente durante la mañana y la tarde como es el caso del área en estudio a las 3:00 pm, a esta hora la superficie desnuda o rocosa se calienta más que el área urbanizada debido a que el sol crea sombras en las áreas urbanizadas de gran tamaño esto ocasiona que la superficie baje la temperatura y este efecto es lo que se aprecia en los mapas de temperatura superficial, otro factor importante es la velocidad y la intensidad del viento en la zona que están estrechamente relacionados entre la temperatura y las corrientes de aire.

También se muestra lo mencionado por Sepúlveda (2006) que las superficies de materiales de alta capacidad calorífica como son el hormigón, el asfalto y el cemento son los que tienden a almacenar o absorber mayor temperatura que el resto de superficies este efecto se puede apreciar de manera clara en el aeropuerto "INCA MANCO CAPAC" ya que este tiene la superficie de aterrizaje construida de concreto y este incremento se puede observar en ambos mapas de los años 2014 y 2020.

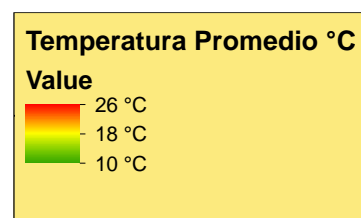
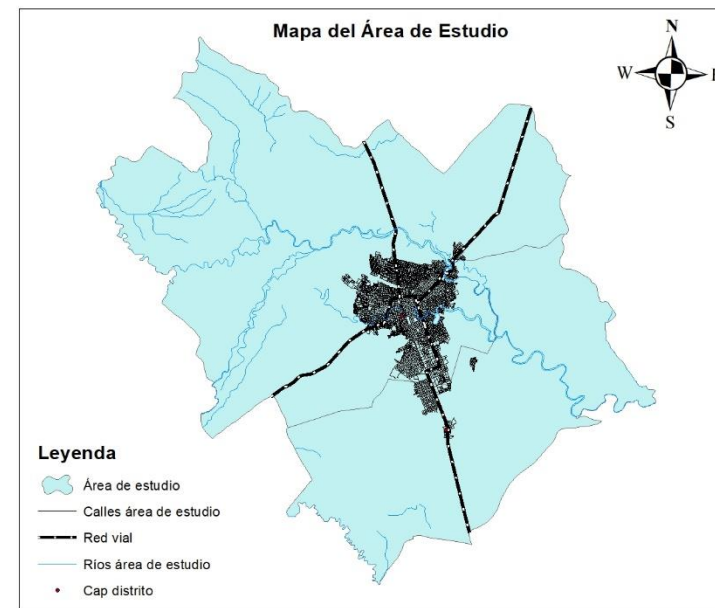


Figura 4. Áreas áridas y de superficie oscura afueras de la ciudad de Juliaca

### 3.2.1 Temperatura de la superficie terrestre de Juliaca



Mapa de Temperatura Superficial Promedio Juliaca



UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

Mapa de Temperatura Superficial Promedio Juliaca

Elaborado por: Cesar Gabriel Condori  
Ccollanqui

Fecha: 10/12/2020

Figura 4. Temperatura superficial terrestre de Juliaca

En el centro de la ciudad se encontró 6 islas de calor de tamaño regular y varían de 18 a 26 °C a comparación de las áreas aledañas a estas islas, a medida que se aleja de la zona urbana la temperatura superficial aumenta, lo que indica la presencia de la isla de calor negativa en coincidencia lo mencionado por Pulache y Menis (2009). Estas islas de calor negativas son producidas por la presencia de cerros desnudos, superficies arenosas o rocosas, superficies de color oscuro, con propiedades térmicas y caloríficas que durante el día se calientan más que las zonas urbanas, donde generalmente ocurre en zonas semiáridas como es Juliaca.

También se observa, los núcleos térmicos con temperaturas más elevadas, y estos se encontraron en el cerro Huaynaroque y las zonas rurales. Sin embargo, estos no son islas de calor urbanas superficiales ya que no están ubicados en zonas urbanas. Las islas de calor con mayor núcleo térmico se encontraron en el extremo noreste de la ciudad (salida Cusco) y el sureste de la ciudad (salida Puno). Las islas de calor urbanas en la ciudad de Juliaca las cuales están ubicadas en el centro de la ciudad, zona industrial en salida Puno, aeropuerto Inca Manco Cápac, estación de tren y el centro comercial plaza vea, la capilla del parque cholo, y el cerro Huaynaroque.

### 3.2.2 Rosa de vientos

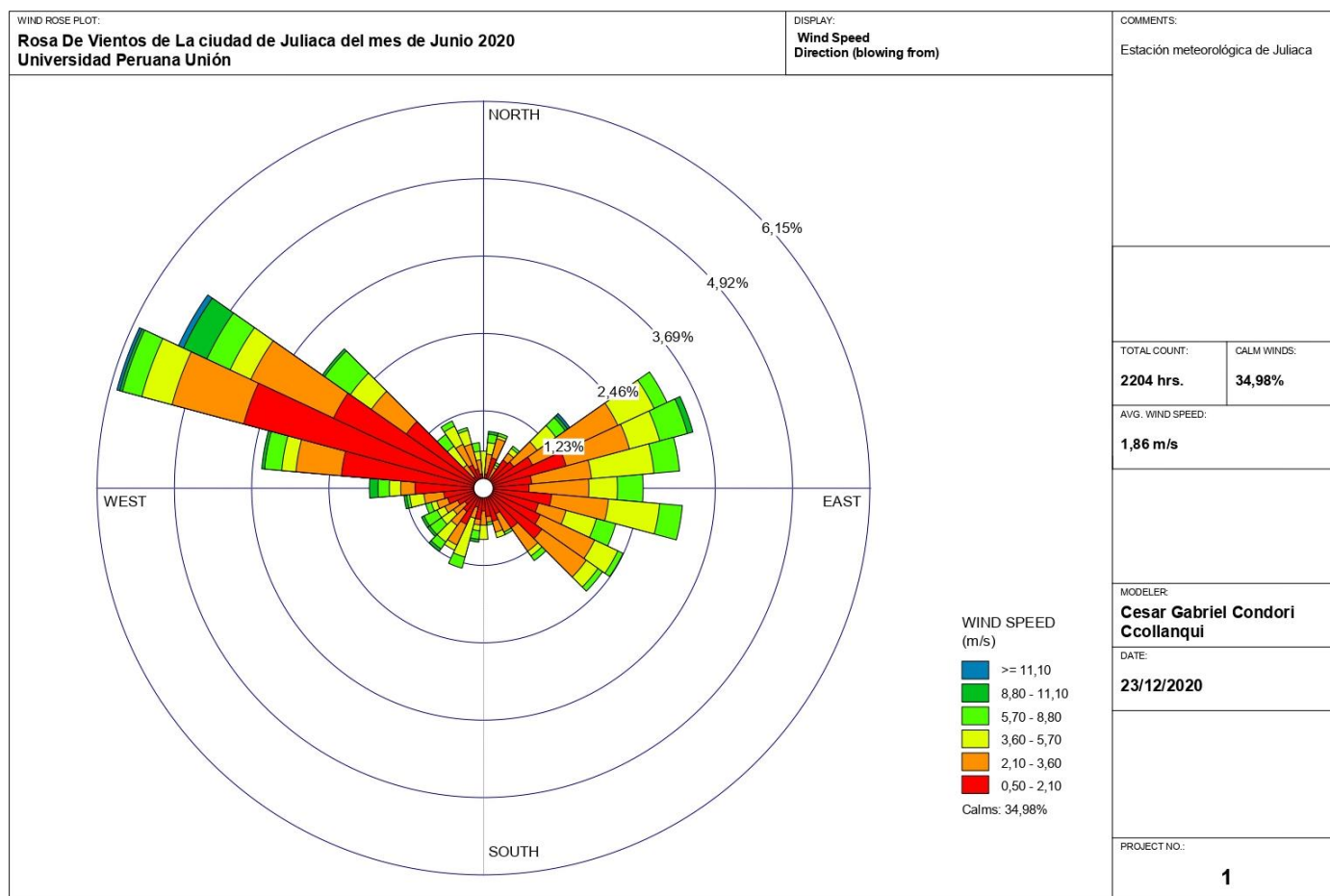


Figura 5. Rosa de vientos de Juliaca

Según Torrez (2008), los parámetros meteorológicos más importantes como la radiación solar, la temperatura y la velocidad del viento se correlacionan estrechamente entre sí, como se observa en la imagen de la rosa de vientos se puede observar que varía desde 0,5 a valores de 11,1 m/s en la velocidad de viento, la dirección del viento en la ciudad de Juliaca es hacia el noroeste y hacia el este, cuando existe un movimiento de aire afecta el clima, debido a que los vientos transportan el calor y las temperaturas frías de un lugar a otro, transfiriendo las condiciones climáticas de una zona geográfica hacia otra, la manera en que el viento se mueve y la dirección en que lo hace también afecta el clima que tendrá una región en un día determinado.



### 3.2.3 Comparación de temperaturas con estaciones meteorológicas

Para la comparación de temperaturas se descargó la base de datos de temperaturas del SENAMHI de la estación automática de Juliaca de los meses de junio y noviembre del 2020, de los cuales se saca el promedio mensual de temperatura.

En la siguiente tabla 6 se muestra las temperaturas del mes de junio del 2020 donde se muestra la temperatura diaria como la dirección del viento y velocidad del viento utilizadas para la rosa de vientos.

Tabla 6

*Datos de temperatura del mes de junio 2020.*

AÑO	MES	DÍA	TEMPERATURA (°C)	DIRECCIÓN DEL VIENTO (°)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)
2020	6	1	16.7	297	5
2020	6	2	16.2	227	2.4
2020	6	3	14.6	321	6.6
2020	6	4	15.6	324	4.6
2020	6	5	16.5	325	3.4
2020	6	7	16	323	1.1
2020	6	8	17	117	1.4
2020	6	9	16.7	354	1.6
2020	6	10	16.3	61	1.3
2020	6	11	17	90	2.8
2020	6	12	17	66	2.4
2020	6	13	17.8	130	6.5
2020	6	14	17.1	83	3.5
2020	6	15	15.7	105	3.7
2020	6	16	17.2	39	1.5
2020	6	17	18.8	208	3.1
2020	6	18	16.1	102	3.4
2020	6	19	16.3	49	1.9
2020	6	20	16.7	175	2
2020	6	21	17.1	143	0.2
2020	6	22	16.5	55	0.9
2020	6	23	16.4	43	0.5
2020	6	24	15.8	185	1.1
2020	6	25	17.1	84	3.1
2020	6	26	17.9	240	6.6
2020	6	27	17.2	298	1.7
2020	6	28	17.1	250	2.8
2020	6	29	16.6	247	5.2
2020	6	30	15.6	79	2.6
Promedio de temperatura Juliaca			16.6		

En la siguiente tabla 7 se muestra las temperaturas del mes de noviembre del 2020 donde se muestra la temperatura diaria como la dirección del viento y velocidad del viento utilizadas para la rosa de vientos.

Tabla 7

*Datos de temperatura del mes de noviembre 2020*

AÑO	MES	DÍA	TEMPERATURA (°C)	DIRECCIÓN DEL VIENTO (°)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)
2020	10	1	16.3	300	5.60
2020	10	2	14.7	119	6.20
2020	10	3	16.1	110	6.30
2020	10	4	15.4	83	4.50
2020	10	5	17.1	54	12.80
2020	10	6	18.1	118	4.10
2020	10	7	16.2	79	5.30
2020	10	8	18.1	83	7.60
2020	10	9	19.6	122	5.60
2020	10	10	19.5	132	2.70
2020	10	11	19.3	86	7.80
2020	10	12	15.9	129	3.20
2020	10	13	16	55	4.70
2020	10	14	14.2	73	6.80
2020	10	15	12.5	39	3.90
2020	10	16	14.5	82	4.60
2020	10	17	15.6	57	3.00
2020	10	18	12.8	70	4.40
2020	10	19	15.2	116	4.30
2020	10	20	15.5	95	5.70
2020	10	21	15	348	3.50
2020	10	22	14.3	138	3.00
2020	10	23	16.4	21	3.00
2020	10	24	18.9	184	2.50
2020	10	25	16.8	123	2.80
2020	10	26	19.3	139	1.50
2020	10	27	20.1	270	4.10
2020	10	28	18.6	199	5.60
2020	10	29	18.6	57	3.30
2020	10	30	15.4	115	3.20
2020	10	31	17.4	177	2.50
Promedio de temperatura Juliaca			16.6		

Estos datos son muy importantes al momento de realizar la comparación de los mapas de temperatura superficial con la temperatura obtenida del SENAMHI, en ambas tablas nos dio como promedio 16,6 °C de temperatura, en nuestro mapa de TS podemos ver que la ciudad de Juliaca se encuentra en un rango de 10 a 18 °C de temperatura superficial, y existe una relación entre los datos proporcionados del SENAMHI con los mapas de TS.

#### **4. Conclusiones**

Se logró identificar 6 islas de calor urbanas de intensidad baja en la ciudad de Juliaca las cuales están ubicadas en el centro de la ciudad, zona industrial en salida Puno, aeropuerto Inca Manco Cápac, estación de tren y el centro comercial plaza vea, la capilla del parque cholo, y el cerro Huaynaroque. Las estimaciones de temperatura superficial arrojaron que los mayores núcleos de concentraciones de calor se encuentran en las áreas céntricas de la ciudad y también en la zona industrial de salida Puno, esto debido por la poca presencia de cobertura vegetal, asimismo, la temperatura más elevada se distribuye durante mes de junio a comparación con los meses de noviembre, debido a que se encuentra en temporada de verano, los resultados fueron comparados con las temperaturas obtenidas del SENAMHI de los meses de junio y noviembre del 2020 y también se hizo una comparación con la rosa de vientos pudiendo percibir que existe relación entre las variables.

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede concluir que existe un incremento de temperatura superficial en las áreas urbanas desde el año 2014 al año 2020, estos resultados corroboran con diversos factores como la impermeabilización de las calles, el incremento de viviendas de concreto, aumento del parque automotor y la falta de áreas verdes, en el NDVI se logró apreciar que las áreas urbanas aumentaron y que las áreas con vegetación han disminuido desde el año 2014 a 2020.

#### **5. Recomendaciones**

- ❖ Se recomienda realizar un estudio más amplio en cuanto a la zona de estudio debido a que los resultados obtenidos en el Arcgis resultaron fueron de una banda termal de 30 km, también es recomendable trabajar con diferentes años de estudio, a más resultados de mapas de temperatura superficial mayor será la precisión de islas de calor.
- ❖ Se recomienda realizar un estudio comparando y ajustando según a la temperatura del aire de las estaciones meteorológicas del SENAMHI para hallar mayor precisión de las islas de calor, para así también realizar la correlación de las variables.
- ❖ Se recomienda la impermeabilización de calles y avenidas con espacios de áreas verdes, así como también la habilitación y construcción de más áreas verdes.

## Referencias

- Barsi, J. A., Schott, J. R., & Hook, S. J. (2014). Landsat-8 thermal infrared sensor (TIRS) vicarious radiometric calibration. *Remote Sensing*, 11607–11626.
- Fuentes Pérez, C. A. (2014). Islas de calor urbano en Tampico, México. Impacto del microclima a la calidad del hábitat. *Electrónica Nova Scientia*, 5-6.
- INEI. (2017). *Crecimiento y distribución poblacional*. Lima: Instituto Nacional de Estadística e Informática.
- Moreno, S., & Osvaldo. (2006). Islas de Calor en el centro de Santiago. *Boletín de Geografía*.
- Moscoso, C. (2007). Cambio en los usos y coberturas de suelo y sus efectos sobre la escorrentía urbana. *Universidad de Chile*, 6-8.
- Sepúlveda, O. (2006). Islas de Calor en el centro de Santiago. *Espacios*, 24.
- Avdan, U., & Jovanovska, G. (2016). Algorithm for Automated Mapping of Land Surface Temperature Using LANDSAT 8 Satellite Data. *Journal of Sensor*, 1-8.
- CENEPRED . (2012). *Sistema de Información de Recursos para Atención de Desastres (SIRAD)*. Trujillo: Sistema de Información de Recursos para Atención de Desastres. Obtenido de Preparación para la respuesta y recuperación temprana ante sismos y tsunamis en áreas costeras seleccionadas.
- Cifuentes , C. (2017). Analisis entra la temperatura Superficial y Temperatura Atmosférica en la formación de las islas de Calor Urbano y Efectos de las Coberturas Naturales en la Ciudad de Concepción. *Universidad de Concepción*, 5-44.
- Cisnero, J., & Quezada, M. (1987). *Estudio del Confort Climático en Lima Metropolitana y Callao*. Lima, Perú: UNALM.
- Ministerio del Ambiente. (2014). *Protocolo: Ortorectificación de Imágenes Satelitales Landsat*. Lima - Perú: Dirección General de Ordenamiento Territorial (DGOT).
- Pulache, W., & Menis, L. (2009). *Cambio climático en el Perú: Impactos económicos y sociales*. Lima, Perú: SENAMHI.
- Salazar, J., & Baño, D. (2017). Estudio de la isla de calor urbano del distrito Metropolitano de Quito mediante Técnicas de percepción remota. *Universidad Internacional SEK*.
- Soberón , V., & Obregón, E. (2015). Identificación de islas de calor en la ciudad de Lima Metropolitana utilizando imágenes del satélite Landsat 5TM. *Universidad Nacional Agraria La Molina*, 2- 4.
- Stathopoulou , M., & Cartalis, C. (2007). Daytime urban heat islands from Landsat ETM+ and Corine land cover data: an application to major cities in Greece. *Solar Energy*, 358–368.
- Weng,, Q. H., Lu, D. S., & Schubring, J. (2004). Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, 467–483.
- Pulache, W y Menis, L. 2009. Cambio climático en el Perú: Impactos económicos y sociales. Climatología urbana y el cambio climático en Lima Metropolitana - SENAMHI. Lima, Perú.
- Pérez, C y Peña MA. Urban heat island (en línea). Consultado: 3 de febrero del 2012. <http://www.urbanheatlands.com/heat-island-types>.