

Islas de calor urbano mediante imágenes satelitales en la ciudad de Juliaca durante el año 2019

Urban heat islands through satellite images in the city of Juliaca during the year 2019.

^{1,a}Reyder Orlando Sucapuca Mamani

^{1,b}José Domingo Choquehuanca Soto

^{2,c,*}Edgar Pelinco Ruelas

ARTÍCULO CIENTÍFICO

RESUMEN

¹Universidad Nacional de Juliaca, Puno.

²Universidad Nacional del Altiplano, Puno.

Correspondencia:

*epelinco@unap.edu.pe

^aORCID: 0000-0002-6804-5366

^bORCID: 0000-0002-7742-6187

^cORCID: 0000-0001-6269-3269

Esta investigación se realizó en la ciudad de Juliaca entre abril y setiembre del 2019, con el objetivo de identificar islas de calor urbano mediante mapas de temperatura superficial basadas en imágenes satelitales del sensor térmico TIRS. Se utilizó correcciones de emisividad de superficie donde se estimó la temperatura de la superficie y se identificó islas de calor urbano en la ciudad de Juliaca. Los resultados mostraron ocho islas de calor urbano ubicados en la Sociedad de la Beneficencia Pública (24,8 °C), Cerro Huayna Roque (28,3 °C), Centro Comercial Plaza Vea (25,6 °C), Cuartel Francisco Bolognesi (26 °C), Estadio San Isidro (25,3 °C), Parque Cholo (24,4 °C), Estadio Politécnico de los Andes (26,1 °C) y el estadio Manuel A. Odría (25,9 °C). Se concluye que las islas de calor urbano se presentan en el centro de la ciudad y también en lugares con suelos desnudos.

Palabras clave: Sensor termino, Satélite Landsat, Temperatura superficial, Emisividad de superficie.

Keywords: Thermal Sensor, Landsat Satellite, Surface Temperature, Surface Emissivity.

Información adicional

Presentado: 16/05/2022

Aprobado: 27/06/2022

ABSTRACT

This research was carried out in the city of Juliaca between April and September 2019, in order to identify urban heat islands through surface temperature maps based on satellite images of the TIRS thermal sensor. Surface emissivity corrections were used where the surface temperature was estimated and urban heat islands were identified in Juliaca city. The results showed eight urban heat islands located in the Public Welfare Society (24,8 °C), Cerro Huayna Roque (28,3 °C), Plaza Vea Shopping Center (25,6 °C), Francisco Bolognesi Barracks (26 °C), Estadio San Isidro (25,3 °C), Parque Cholo (24,4 °C), Estadio Politécnico de los Andes (26,1 °C) and the Manuel A. Odría stadium (25,9 °C). It is concluded that urban heat islands occur in the center of the city and also in places with bare soil.

INTRODUCCIÓN

Las islas de calor urbano son fenómenos de acumulación de calor que se presentan dentro de zonas urbanas debido a las construcciones urbanas y a las actividades humanas (Yang *et al.*, 2016). Los estudios de islas de calor urbano son muy importantes y contribuyen a la gestión de la calidad del aire, estudios ambientales y salud pública en áreas urbanas (El-Hattab *et al.*, 2018). Medidas como la planificación urbana a largo plazo en ciudades industriales y la implementación de áreas verdes con vegetación de alto nivel y disposición completa en ciudades comerciales y barrios residenciales han ido desarrollándose con más frecuencia en los últimos años (Zhang *et al.*, 2012). La importancia de identificar islas de calor urbano ayuda a tomar decisiones acertadas y con buen criterio para poder mitigar este fenómeno y poder contribuir al bienestar de la salud de una población.

Juliaca es una ciudad que crece aceleradamente y esto significa el incremento de asfalto, viviendas, edificios, entre otras infraestructuras. Todos estos factores y la urbanización no controlada generan la variación de la temperatura en las ciudades. Las islas de calor urbano generan una serie de efectos ecológicos y ambientales en los climas urbanos, situaciones hidrológicas urbanas, propiedades del suelo, entorno atmosférico, los hábitos biológicos, ciclos de materiales, el metabolismo energético y la salud de los residentes (Zhang *et al.*, 2016). El crecimiento urbano está siempre relacionado con el fenómeno de isla de calor (Bek *et al.*, 2018). La exposición continua a un ambiente con elevadas temperaturas provoca trastornos como el agotamiento por deshidratación, calambres, síncope, golpes de calor, la aparición de enfermedades cerebrovasculares y la aparición de serios problemas respiratorios (Gálvez, 2014).

La caracterización del fenómeno de la isla de calor urbana está en función de una red de estaciones meteorológicas, radiómetros y sondeos atmosféricos que permiten la representación de los cambios atmosféricos sobre el medio urbano (EPA, 2008). En países de América Latina no es muy común el uso de estaciones, debido a que no se cuenta con muchas estaciones en las ciudades y por lo tanto no es científicamente correcto la identificación de islas de calor urbano. En estos casos el uso de sensores remotos que cuentan con bandas térmicas es la opción más viable para analizar las islas de calor urbano a nivel superficial (Córdova, 2012).

En la ciudad de Juliaca no existen muchas estaciones meteorológicas para obtener datos de temperatura. El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) tiene dos estaciones meteorológicas cercanas a la ciudad de Juliaca: Estación Illpa (ubicada en la vía Juliaca-Puno) y la estación Juliaca (ubicada fuera de la ciudad, por el sector del aeropuerto Internacional Manco Cápac). En lugares con pocas estaciones de monitoreo meteorológico se dificulta la obtención de temperaturas de superficie en forma distribuida y dificulta la identificación de islas de calor urbanas (Soberón & Obregón, 2016). Sin embargo, el uso de imágenes satelitales contribuye enormemente en la estimación de la temperatura superficial y permite identificar las islas de calor urbano.

La investigación tuvo como objetivo la identificación de islas de calor urbano en la ciudad de Juliaca mediante el uso de herramientas satelitales. Los resultados de esta investigación servirán para la toma de decisiones en la implementación de áreas verdes y la mitigación del fenómeno de las islas de calor urbano en la ciudad de Juliaca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La investigación se realizó en la ciudad de Juliaca (Figura 1), cuya población alcanzó 228,276 personas y cuenta con 222,854 viviendas. Los equipos empleados fueron: una computadora portátil con capacidad para emplear los softwares ArcGis 10.6, QGIS 3.8 y las imágenes satelitales Landsat 8 OLI/TIRS.

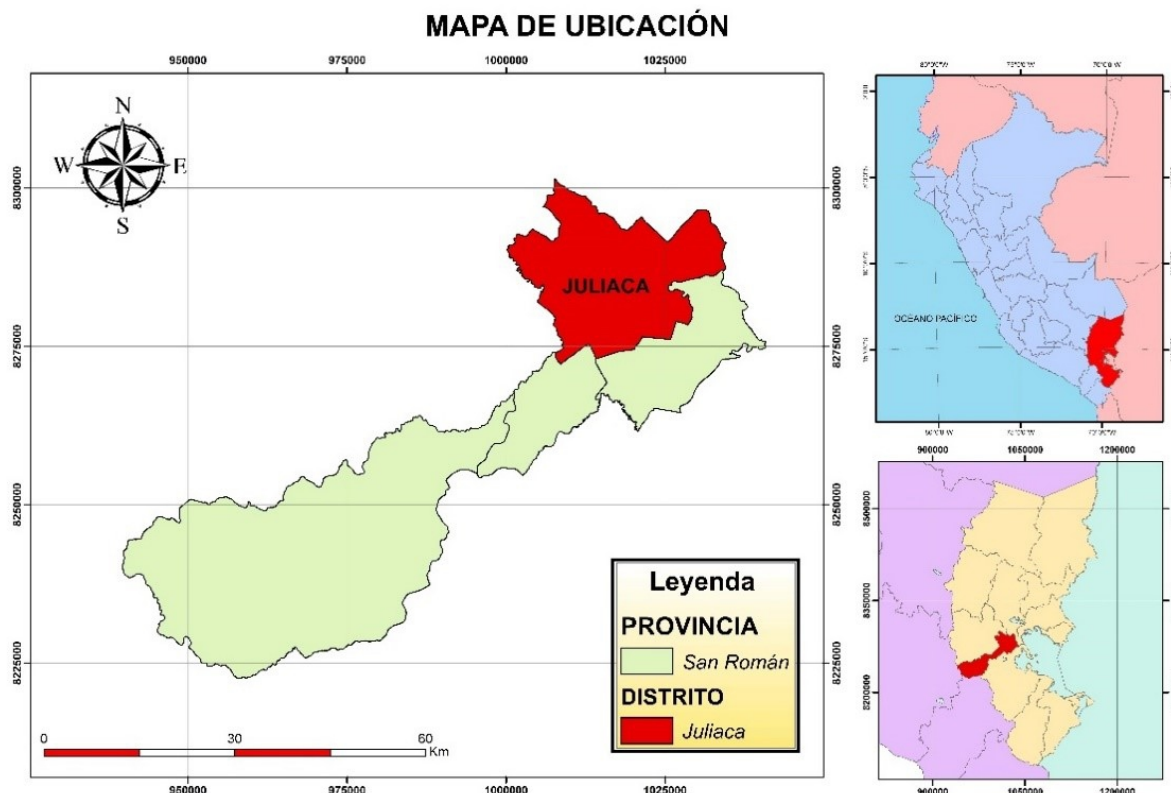


Figura 1. Mapa de ubicación de la ciudad de Juliaca.

Para la identificación de islas de calor urbano mediante mapas de temperatura superficial con imágenes satelitales, se determinó la temperatura de la superficie mediante adquisición de imágenes satelitales Landsat 8 (Roy *et al.*, 2014). Posteriormente se realizaron las correcciones radiométricas y atmosféricas en el software Qgis (Avdan & Jovanovska, 2016). Finalmente se elaboraron los mapas de temperatura superficial. El procedimiento empleado para la obtención de temperaturas superficiales fue el planteado por Avdan & Jovanovska (2016).

Adquisición de imágenes satelitales

Se realizaron mediante EarthExplorer, servidor de la NASA “USGS (U.S. Geological Survey)”, la Interfaz gráfica utilizada para definir áreas de interés por dirección, código postal, nombre del lugar (Survey United States Geological, 2017). Se descargaron 10 imágenes entre abril y setiembre del 2019 (Tabla 1).

Tabla 1

Características de las imágenes Landsat

Tipo de dato	Fuente	Fecha de las imágenes	Hora de toma de imagen	Bandas usadas	Resolución espacial de banda
Imágenes satelitales	Landsat 8 OLI/TIRS	11 de abril del 2019	14:40:44		Banda 4 y 5: 30 metros Banda 10: 100 metros
		27 de abril del 2019	14:40:38		
		29 de mayo del 2019	14:40:57		
		14 de junio del 2019	14:41:04	Banda 5: NIR	
		30 de junio del 2019	14:41:08	Banda 4: RED	
		16 de julio del 2019	14:41:11	Banda 10: TÉRMICA	
		1 de agosto del 2019	14:41:18		
		17 de agosto del 2019	14:41:23		
		2 de setiembre del 2019	14:41:27		
		18 de setiembre del 2019	14:41:32		

Procesamiento de las imágenes satelitales

Conversión de ND a radiancia. Los números digitales (ND) se convirtieron a radiancia utilizando el complemento SCP (Semi-Automatic Classification Plugin), en el software Qgis. La conversión está basada en el método de coeficientes de calibración (ganancias y compensaciones). Se usó la fórmula 1 para este proceso.

$$L\lambda = ML * Q_{cal} + AL \quad (1)$$

Donde:

Lλ: Radiancia espectral

ML: Factor multiplicativo de reescalamiento específico.

Qcal: Valores de pixel (valores digitales Números digitales)

AL: Factor aditivo de reescalamiento específico.

Los valores de ML y AL se obtuvieron de los metadatos de cada imagen satelital.

Conversión de radiancia a reflectancia de superficie

Para este procedimiento se usó el complemento SCP (Semi-Automatic Classification Plugin) incorporado en el software Qgis. El complemento básicamente usa como entradas los valores de los píxeles de las bandas de la imagen satelital y tiene como datos de salida los valores de reflectancia de superficie de cada banda. Este complemento usa el método “DOS1” elaborado por Chávez (1996) y elimina las interferencias atmosféricas que el sensor pueda sufrir. El método “DOS1” se explica que mediante la suposición básica, que dentro de la imagen, algunos píxeles están en sombra completa y sus radiaciones recibidas en el satélite se deben a la dispersión atmosférica (trayectoria de radiación). Esta suposición se combina con el hecho de que muy pocos objetivos en la superficie de la Tierra son negros absolutos, por lo que una reflectancia mínima supuesta del uno por ciento es mejor que el cero por ciento.

$$\rho = \frac{\pi * (L\lambda - Lp) * d^2}{Tv * ((ESUN\lambda * \cos\theta_s * Tz) + E_{down})} \quad (2)$$

Donde:

$L\lambda$: Radiancia espectral.

Lp : Efecto bruma.

Tv : Transmitancia atmosférica en la dirección de visualización.

Tz : Transmitancia atmosférica en la dirección de la iluminación.

d : Distancia Tierra-Sol en unidades astronómicas

$ESUN$: Irradiancias exoatmosféricas solares medias

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

E_{down} : irradiancia difusa descendente

$$Lp = L_{min} - LDO1\% \quad (3)$$

Donde:

Lp : Efecto bruma

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

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

Para las imágenes landsat:

$$L_{min} = ML * DN_{min} + AL \quad (4)$$

DN_{min} : Valor del pixel más bajo

$$LDO1\% = 0.01 * \frac{(ESUN\lambda * \cos\theta_s * Tz + E_{down}) * Tv}{\pi * d^2} \quad (5)$$

Hay varias técnicas de DOS (por ejemplo, DOS1, DOS2, DOS3, DOS4), basadas en diferentes suposiciones sobre Tv , Tz y E_{down} . La técnica más simple es la DOS1, donde se hacen las siguientes suposiciones:

- $Tv = 1$
- $Tz = 1$
- $E_{down} = 0$

Cálculo del NDVI

Los valores de NDVI se determinaron por medio de las bandas 5 y 4 (bandas infrarrojo cercano y rojo respectivamente). El NDVI es el indicador de la salud de las plantas que permite diferenciar las zonas vegetadas de otras coberturas y diferenciar la vegetación sana de aquella senescente o que se encuentra bajo algún estrés (Bautista *et al.*, 2019). Los valores del NDVI oscilan entre -1 y 1, los valores mayores indican mayor presencia de vegetación y los valores menores indican menor presencia de vegetación (Olaya, 2014).

El cálculo del NDVI es importante para calcular la proporción de la vegetación (PV), y está altamente relacionada con la emisividad (E). Se calculó el NDVI con la fórmula 6 (Avdan & Jovanovska, 2016).

$$NDVI = \frac{NIR (banda 5) - R(banda 4)}{NIR (banda 5) + R(banda 4)} \quad (6)$$

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

Cálculo de la proporción de vegetación

Se procedió a partir del NDVI y será de utilidad para calcular la emisividad. Los valores máximos y mínimos del NDVI fueron calculados mediante el histograma de los valores de los píxeles del NDVI. Se utilizó la fórmula 7 para el cálculo de la proporción de vegetación (Avdan & Jovanovska, 2016).

$$Pv = \left(\frac{NDVI - NDVImin}{NDVImax - NDVImin} \right)^2 \quad (7)$$

Donde NDVImin y NDVImax son los valores mínimos y máximos del mapa de NDVI generado anteriormente.

Determinación de la emisividad de la superficie

Fue calculada a partir de los valores de la proporción de vegetación y servirá para determinar la temperatura de la superficie. La emisividad se define como la relación de la energía emitida por una superficie a una longitud de onda y temperatura dada y la energía emitida por un cuerpo negro a la misma longitud de onda y temperatura (Méndez & Gómez 2015). La emisividad fue calculada mediante la fórmula de Stathopoulou *et al.* (2007), que implica el uso de los valores del potencial de vegetación. Se calculó la emisividad de la superficie terrestre $\epsilon\lambda$, necesaria para estimar la temperatura de la superficie. La emisividad es un factor de proporcionalidad que escala el cuerpo negro resplandor (ley de Planck) para predecir el resplandor emitido, y es la eficiencia de transmitir energía térmica a través de la superficie en la atmósfera (Méndez & Gómez, 2015). La determinación de la emisividad del suelo se calculó condicionalmente con la fórmula 8 (Avdan & Jovanovska, 2016).

$$\varepsilon\lambda = \varepsilon\nu\lambda * P_v + \varepsilon s\lambda * (1-P_v) + C\lambda \quad (8)$$

Donde:

$\varepsilon\lambda$: Emisividad de la superficie

$\varepsilon\nu\lambda$: Emisividad de la vegetación

P_v : Proporción de vegetación

$\varepsilon s\lambda$: Emisividad del suelo

$C\lambda$: Rugosidad de la superficie

La fórmula 9 fue reducida y adaptada a las características de las imágenes satelitales Landsat, se usó la fórmula simplificada 5 (Hantson *et al.*, 2011).

$$\varepsilon\lambda = 0,004 * P_v + 0,986 \quad (9)$$

Conversión de radiancia a temperatura de brillo

Los valores de la temperatura de brillo del sensor se obtuvieron a partir de los valores de radiancia de la banda 10. Para calcularlas se usaron las constantes de calibración térmica de cada imagen. La temperatura de brillo del sensor representa la temperatura del brillo que se presenta en el tope de la atmósfera (Zhang *et al.*, 2006). Se calculó la temperatura de brillo del sensor utilizando el complemento SCP (Semi-Automatic Classification Plugin), en el software Qgis. La conversión está basada en la fórmula 10 (Coelho & Correa, 2013).

$$TB = \frac{K2}{\ln[(K1/L\lambda) + 1]} - 273,15 \quad (10)$$

Donde:

TB: Temperatura de brillo del sensor (en celsius).

K2: Constante de conversión térmica específica de la banda (en grados kelvin).

K1: constante de conversión térmica específica de la banda (en vatios/metro cuadrado * ster * um)

Lλ: Radiancia espectral

Las constantes K1 y K2 fueron tomadas de los metadatos de cada imagen satelital.

Determinación de la temperatura de la superficie

La temperatura de la superficie terrestre se obtuvo a partir de los datos de la temperatura de brillo y la emisividad de superficie. Se obtuvieron 10 mapas de temperatura de la superficie terrestre entre los meses de abril y setiembre. Durante el mes de abril se evidenció la presencia de nubes, para ello se realizó un enmascaramiento de las nubes y se eliminó estos valores. Para determinar la temperatura de la superficie se utilizó la emisividad y la temperatura de brillo del sensor, mediante el uso de la fórmula 11 (Avdan & Jovanovska, 2016).

$$Ts = \frac{TB}{\{1 + [(\lambda * TB/\rho) * \ln \varepsilon\lambda]\}} \quad (11)$$

Donde:

T_s : Temperatura de la superficie en grados Celsius.

TB: Temperatura de brillo del sensor.

λ : Longitud de onda de la radiación emitida (para la cual se utilizó la respuesta máxima y el promedio de la longitud de onda limitante ($\lambda = 10,895$)).

$\epsilon\lambda$: Emisividad de la superficie

ρ : Constante definido por:

$$\rho = h * \frac{c}{\sigma} = 1,438 * 10^{-2} mK \quad (12)$$

Donde σ es la constante de Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$ J / K), h es la constante de Planck ($6,626 \times 10^{-34}$ J s), y c es la velocidad de la luz ($2,998 \times 10^8$ m / s).

Intensidad máxima de isla de calor

Los valores de intensidad máxima de isla de calor fueron calculados mediante el promedio de la diferencia de las temperaturas máximas (olas de calor) y las temperaturas mínimas dentro de Juliaca.

RESULTADOS

Todos los resultados están basados en la información de las imágenes satelitales, que pasan por Juliaca a las 14:40 horas en promedio. Se usó una sola imagen satelital, con un “path” de 2 y “row” de 71. Path y row son dos sencillos parámetros numéricos que permiten identificar rápidamente una imagen satélite Landsat de forma análoga a los valores de longitud y latitud.

Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

Los valores alcanzaron valores mínimos de hasta -1, esto debido a que se presentan zonas con nubes o cuerpos de agua. Además, al tratarse de una zona urbanizada en su mayoría no existe muchas áreas verdes y por ello los valores de NDVI predominan entre 0 y 0,4. Los valores máximos de NDVI llegan hasta 0,7 y en pocos lugares hasta los 0,8 como por ejemplo en el estadio de la ciudad de Juliaca. También se observa la reducción espacio-temporal de zonas de vegetación principalmente a partir del mes de junio (Figura 2).

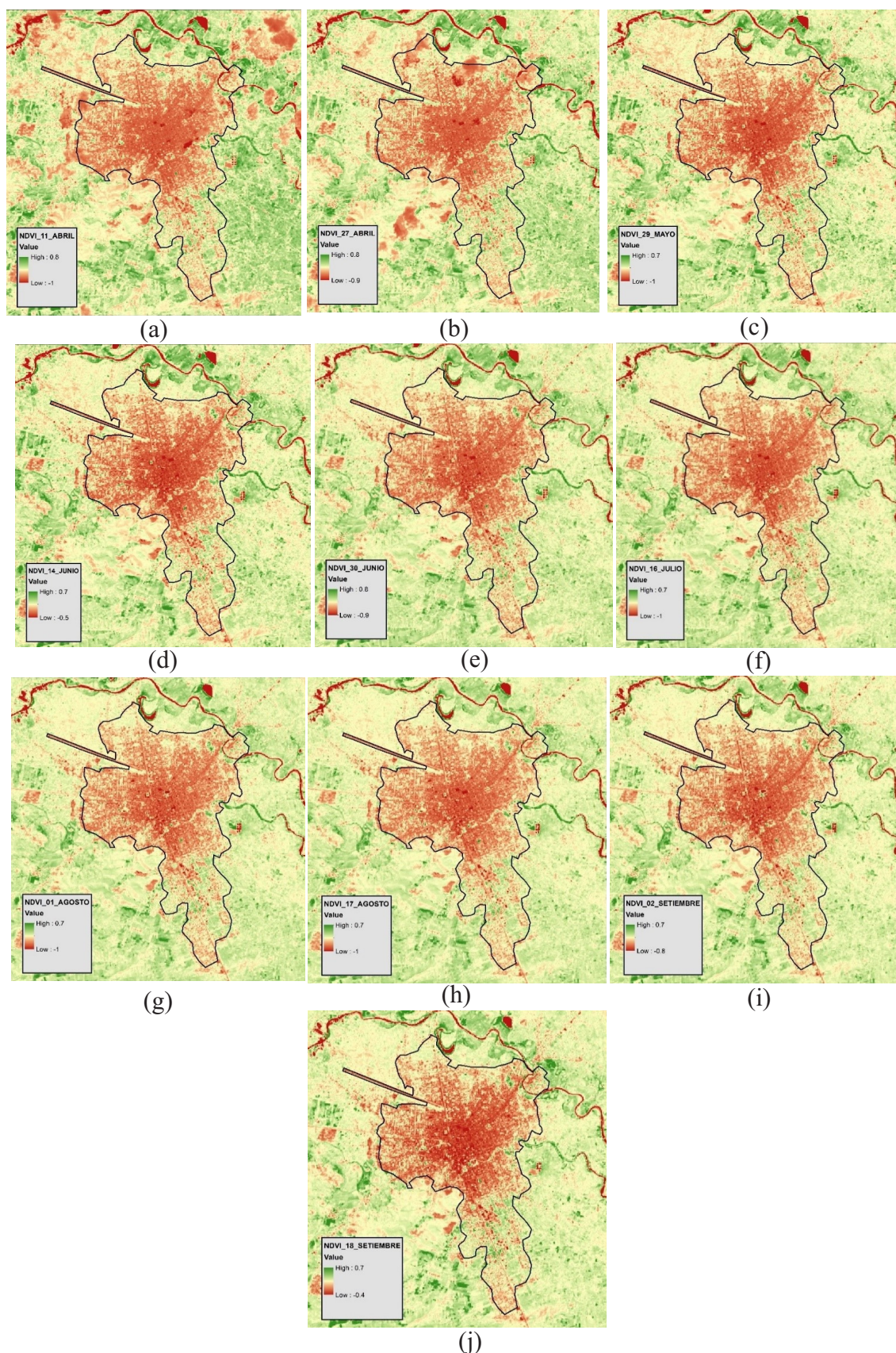


Figura 2. Índices de Vegetación de diferencia normalizada (NDVI), (a, b) NDVI del 11 de abril y 27 de abril, (c, d) NDVI del 29 de mayo y 14 de junio, (e, f) NDVI del 30 de junio y 16 de julio, (g, h) NDVI del 01 de agosto y 17 de agosto, (i, j) NDVI del 02 de setiembre y 18 de setiembre.

Proporción de vegetación (Pv)

La ciudad de Juliaca presenta valores muy bajos en vegetación, debido a que es una zona urbanizada. También se puede observar la disminución de los valores de la proporción de vegetación a partir de los meses de mayo y junio, siendo en este último mes la disminución más notoria y significativa (Figura 3).

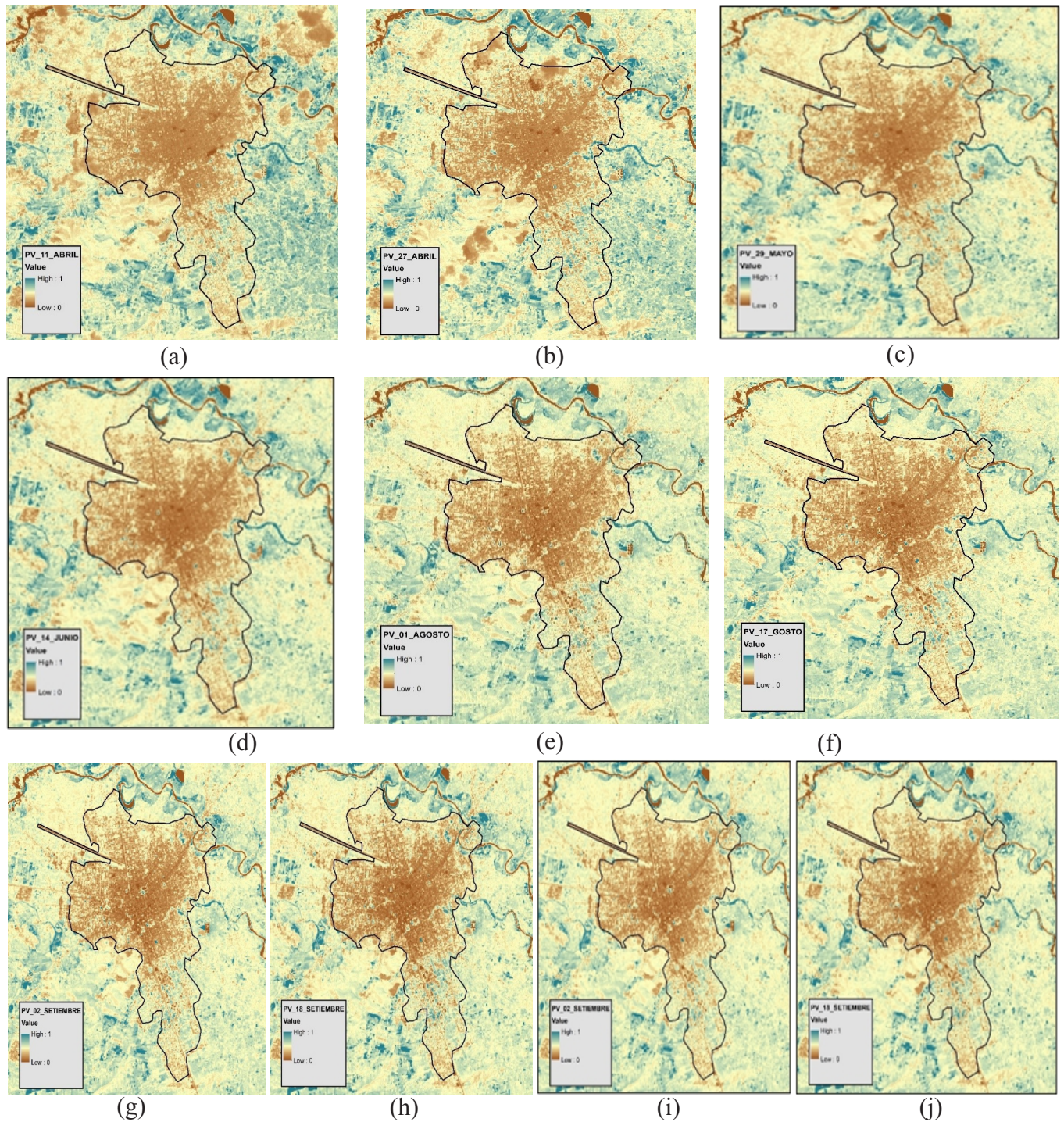


Figura 3. Proporción de vegetación (PV). (a, b) Potencial de vegetación del 11 de abril y 27 de abril, (c, d) Potencial de vegetación del 29 de mayo y 14 de junio, (e, f) Potencia de vegetación del 30 de junio y 16 de julio, (g, h) Potencia de vegetación del 01 de agosto y 17 de agosto, (i, j) Potencia de vegetación del 02 de setiembre y 18 de setiembre.

Emisividad de la superficie

Se identifica la disminución de los valores de emisividad a partir de junio, producto de la disminución de la vegetación en las zonas periféricas de la ciudad de Juliaca. Los valores de emisividad oscilan entre 0,96 y 0,98 en todas las imágenes usadas (Figura 4).

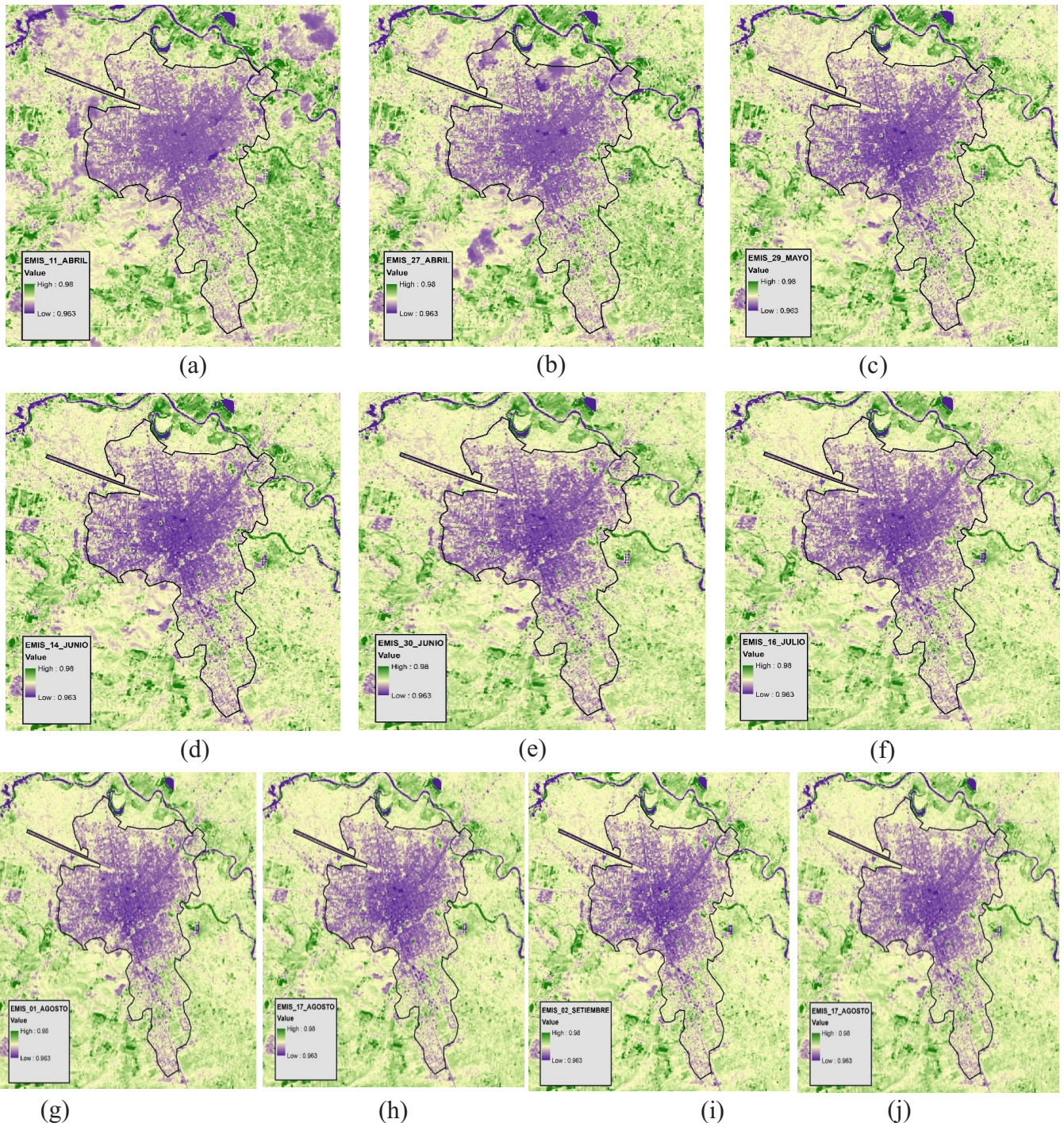


Figura 4. Emisividad de Superficie. (a, b) Emisividad de superficie del 11 de abril y 27 de abril, (c, d) Emisividad de superficie del 29 de mayo y 14 de junio, (e, f) Emisividad de superficie del 30 de junio y 16 de julio, (g, h) Emisividad de superficie del 01 de agosto y 17 de agosto, (i, j) Emisividad de superficie del 02 de septiembre y 18 de setiembre.

Temperatura de brillo

Los valores de temperatura de brillo fueron usados para calcular la temperatura de la superficie del suelo. Las temperaturas de brillo más bajas se presentan en las imágenes de abril debido a la presencia de pequeñas nubes, que en su mayoría se encuentran fuera de Juliaca. En general, las temperaturas de brillo alcanzan valores máximos de 39 °C en el mes de setiembre (Figura 5).

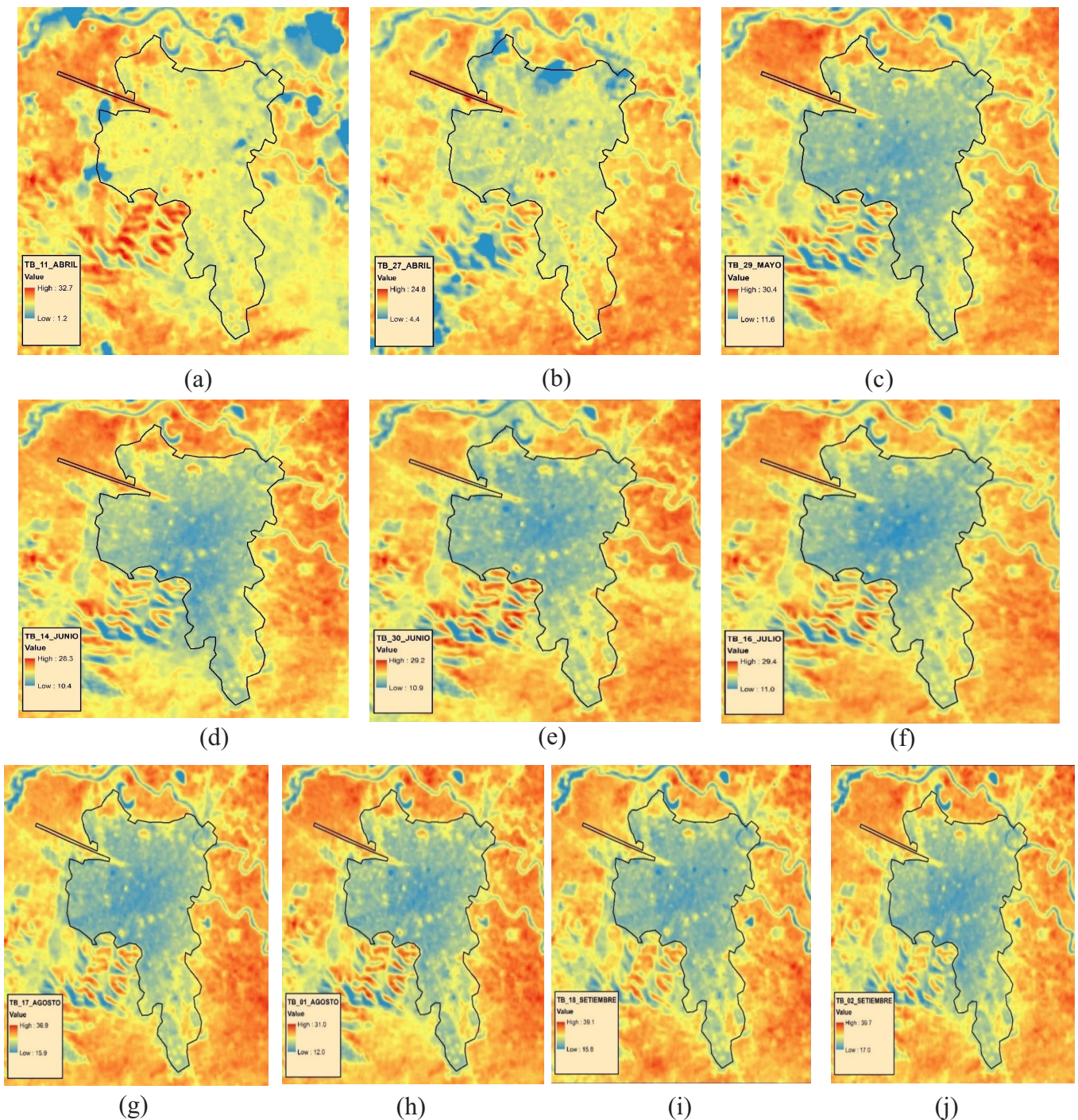


Figura 5. Temperatura de brillo del sensor. (a, b) Temperatura de brillo del 11 de abril y 27 de abril, (c, d) Temperatura de brillo del 29 de mayo y 14 de junio, (e, f) Temperatura de brillo del 30 de junio y 16 de julio, (g, h) Temperatura de brillo del 01 de agosto y 17 de agosto, (i, j) Temperatura de brillo del 02 de setiembre y 18 de setiembre

Temperatura de la superficie

Los resultados indican que las mayores temperaturas se presentan en setiembre y abril y las más bajas en julio. En su mayoría todas las fechas muestran una parecida tendencia respecto a la distribución de la intensidad de las temperaturas superficiales. Se observa que en la zona rural la temperatura es mayor en suelos desnudos, y en la zona urbana la temperatura se mantiene casi constante dentro de toda la ciudad (Figura 6).

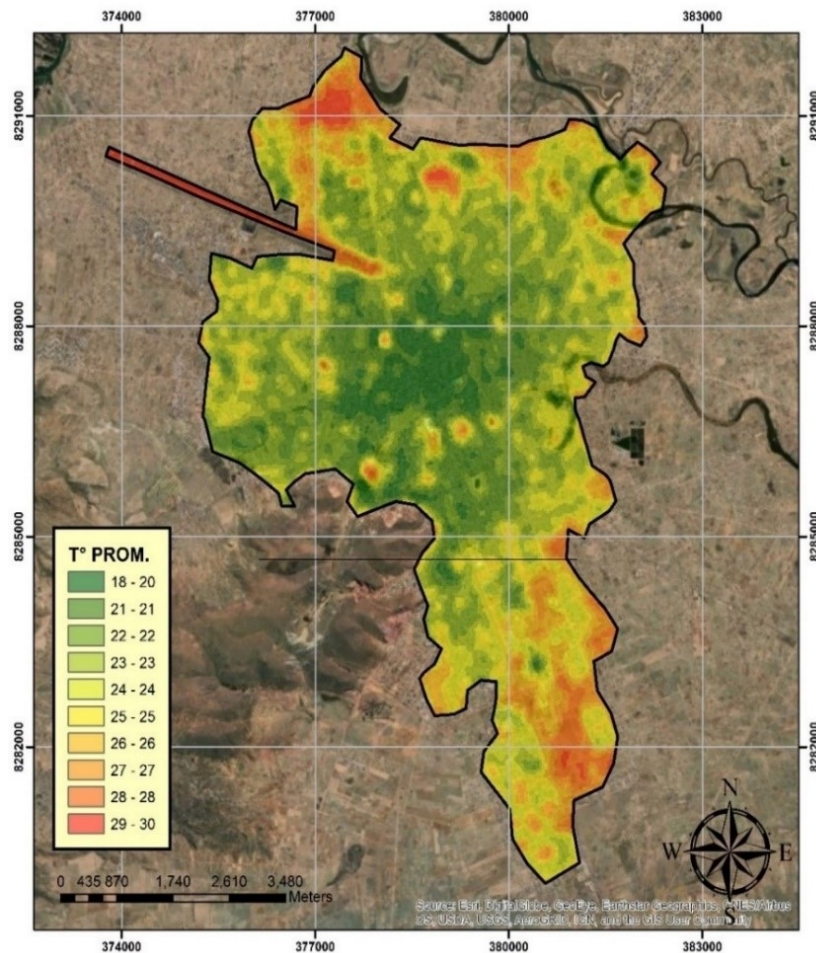


Figura 6. Promedio de la temperatura de superficie entre abril a septiembre de la ciudad de Juliaca.

Relación de la temperatura superficial y la vegetación

En base a 80 puntos tomados aleatoriamente en la ciudad de Juliaca, se realizó un análisis de correlación entre la temperatura superficial calculada anteriormente y el NDVI. Los resultados del nivel de relación se muestran en la Figura 7. El coeficiente de determinación (R^2) fue 0,2334, lo que indica que no existe una correlación significativa entre la vegetación y la temperatura superficial (Figura 8). Sin embargo, existe una tendencia positiva entre ambos datos.

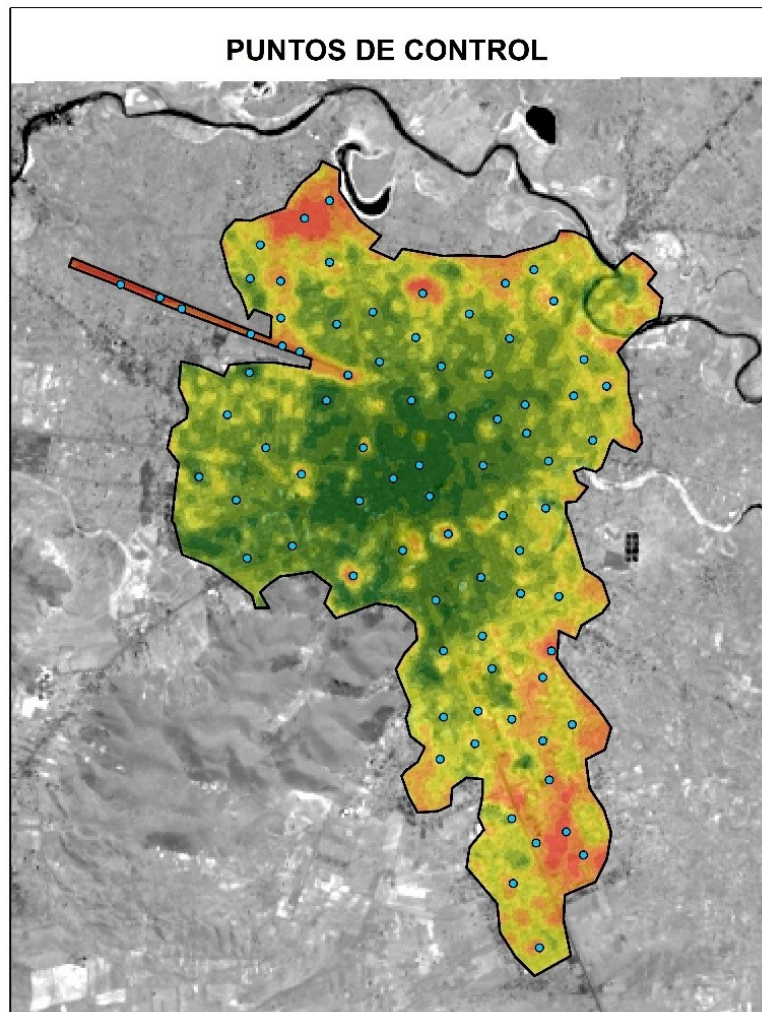


Figura 7. Puntos de control para análisis de vegetación y temperatura superficial.

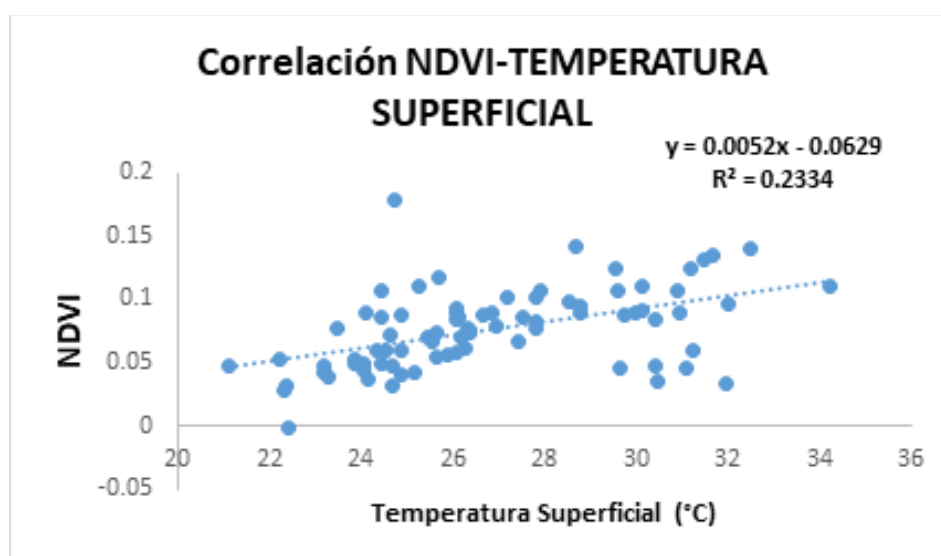


Figura 8. Relación entre la temperatura superficial y el NDVI en la ciudad de Juliaca.

Identificación de islas de calor urbano

Se presenta un promedio de las temperaturas de las 10 imágenes (Figura 6, Tabla 2) para identificar los sitios con incremento de temperatura. En lugares como plataformas o suelo asfaltado se presenta mayores temperaturas que en otros lugares. En general las avenidas principales (Avenidas Circunvalación y Huancané) de la ciudad presentan una mayor temperatura. En los estadios se observa que la temperatura varía dependiendo del tipo de cubierta que tengan. El estadio Rosa Medina posee en su cubierta pasto natural que hace que la temperatura sea menor. Sin embargo, estadios como San Isidro y Manuel A. Odría presentan cubiertas sintéticas y presentan temperaturas elevadas.

Tabla 2

Ubicación de islas de calor urbano en la ciudad de Juliaca

Lugar	T(°C)	Coordenadas UTM	
		WGS84	
		Este	Norte
Sociedad de Beneficencia Pública de la ciudad de Juliaca	24,8	378744,54	8285834,73
Cerro Huayna Roque	28,3	377866,12	8285903,52
Centro Comercial Plaza Veá	25,6	378818,62	8286379,78
Cuartel Francisco Bolognesi	26,0	379284,29	8286517,36
Estadio San Isidro	25,3	379744,68	8286643,30
Parque Cholo- Campo Ferial de Juliaca	24,4	377198,06	8287124,30
Estadio deportivo Politécnico de los Andes	26,1	377121,99	8287451,72
Estadio Manuel A. Odría	25,9	378081,12	8287802,30

La Sociedad de Beneficencia Pública de la ciudad de Juliaca presenta una temperatura de 24,8 °C. Esto podría deberse a que se encuentra cerca de un pequeño cerro cuya superficie se encuentra desnuda, es por ello que se presenta un incremento de temperatura. El cerro Huayna Roque presenta una temperatura promedio de 28,3 °C, posiblemente debido a la desnudez de su superficie y la escasa vegetación. Si bien es cierto en este lugar no existe mucha presencia de viviendas y personas. Sin embargo, la temperatura de este lugar influye a la temperatura de las zonas urbanísticas que se encuentran cercas a esta. El Centro Comercial Plaza Veá presenta una temperatura de 25,6 °C, esto podría deberse a que se encuentra adyacente a la estación de trenes de la ciudad de Juliaca y esta se encuentra con toda la superficie de suelo desnudo. El cuartel Francisco Bolognesi presenta una temperatura de 26 °C, posiblemente a la desnudez de suelo. A ello se adiciona la proximidad de un conjunto de lugares deportivos que cuentan con superficies sintéticas. El parque Cholo y el campo Ferial de Juliaca presentan una temperatura promedio de 24,4 °C, posiblemente a que en el campo ferial se presenta suelo desnudo y a esto también influye la proximidad del estadio deportivo de la institución educativa Politécnico de los Andes. La ubicación del “Parque cholo” es muy próxima al campo ferial es por ello que las temperaturas del parque cholo también son altas, pero no se comparan con las temperaturas con suelos desnudos. El estadio Manuel A. Odría, el estadio San Isidro y el estadio deportivo Politécnico de los Andes presentan temperaturas altas. Esto puede basarse a que cuentan con superficies de vegetación sintética, a comparación del Estadio Rosa Medina de Juliaca que cuenta con una cubierta de vegetación natural.

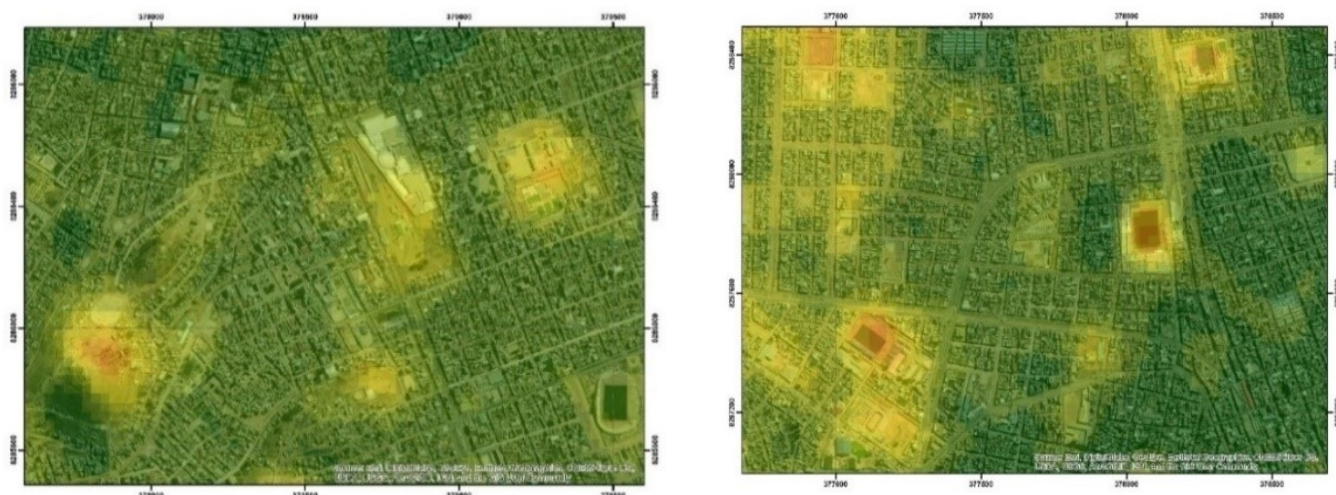


Figura 9. Islas de calor urbano de la ciudad de Juliaca.

Intensidad máxima de isla de calor

La intensidad máxima de las islas de calor fue obtenida a partir del promedio de la diferencia de las ocho temperaturas máximas (Tabla 2) y la temperatura mínima presente dentro del día en la ciudad de Juliaca. El resultado obtenido fue de 6,12 °C. Para la clasificación de la intensidad máxima se utilizaron las categorías de Fernández (1996), que señalan diferencias de intensidad en función de la temperatura: intensidad débil (hasta 2 °C), moderada (2 a 4 °C), fuerte (4 a 6 °C) y muy fuerte (mayores a 6 °C). Este valor es categorizado como “muy fuerte”. Para la ciudad de Juliaca se presenta islas de calor urbano de categoría “muy fuertes”.

DISCUSIÓN

Según El-Hattab *et al.* (2018), las zonas urbanas e industriales presentan mayores temperaturas superficiales debido a la presencia de vegetación en la zona semiurbana de estudio. Sin embargo, en esta investigación se encontró que la zona rural presenta mayor temperatura que la zona urbana. Esto puede ocurrir debido a la desnudez y tipo del suelo en el distrito de Juliaca; así como, a la carencia de vegetación en las zonas rurales ya que en su mayor proporción corresponden a suelos desnudos. Esto coincide con lo afirmado por Soberón & Obregón (2016). Menacho & Teruya (2019), encontraron una relación entre la temperatura superficial y la vegetación, que a pesar de tener un coeficiente de correlación relativamente bajo, muestra que en lugares desnudos las temperaturas son las máximas, y las temperaturas mínimas se evidencian en solamente lugares que cuentan con césped vegetativo natural (estadios con césped natural). En Juliaca la vegetación es muy escasa. Los valores de NDVI indican que predominan arbustos y principalmente pastos. Estos no representan altos niveles de evapotranspiración y por lo tanto no aportan humedad al ambiente, es por ello que se justifica ese nivel de correlación tan bajo. Sin embargo, un análisis más detallado de otros índices de vegetación (EVI, SAVI, ARVI, GCI) podría explicar mejor la relación de estas dos variables. , encontraron islas de calor urbano en Huancayo y Arequipa con intensidades máximas de 6,94 °C y 6,38 °C;), identificaron islas de calor urbano en Nagpur (India) con intensidades máximas de 4,9 °C; Soltani & Sharifi (2017), encontraron islas de calor urbano en Adelaide (Australia) con intensidades máximas de 5,9 °C; Cui *et al.* (2017), encontraron islas de calor urbano en Beijing con intensidades de hasta 8 °C; Casillas *et al.* (2014), identificaron islas de calor urbano en México con intensidades máximas de 5,4 °C y Sarricolea & Martín (2014) en Chile con intensidades máximas de 5 °C. En esta investigación la intensidad máxima promedio de la isla de calor urbano fue 6,12 °C. Este valor es muy alto comparado con

los valores de los demás autores a excepción de la isla de calor en Beijing con 8 °C de intensidad máxima. Es evidente que la ausencia de vegetación influye enormemente en la intensidad de las islas de calor en la ciudad de Juliaca.

CONCLUSIONES

Se identificaron islas de calor urbano en base a las temperaturas máximas, donde: para la sociedad de la Beneficencia Pública se obtuvo 24,8 °C, para el sector del cerro Huayna Roque fue 28,3 °C, en el centro comercial Plaza Vea fue 25,6, en el cuartel Francisco Bolognesi fue 26 °C, en el Sector del “parque cholo” fue 24,4 °C y en los estadios sintéticos de la ciudad de Juliaca fue 26,1 °C. Así mismo, las zonas de la plaza de armas, el mercado Vilcapaza y en general el centro de la ciudad también muestran ligeros incrementos de temperatura que sus alrededores. Se concluye, que el incremento de temperatura en el centro de la ciudad puede estar justificado principalmente en la superficie de asfalto en las calles y avenidas, también por las infraestructuras y por el parque automotor en la ciudad de Juliaca.

BIBLIOGRAFÍA

- Avdan, U. & Jovanovska, G. (2016). Algorithm for automated mapping of land surface temperature using LANDSAT 8 satellite data. *Journal of Sensors*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/1480307>
- Bautista, R., Constante, P., Gordon, A. & Mendoza, D. (2019). Diseño e implementación de un sistema de visión artificial para análisis de datos NDVI en imágenes espectrales de cultivos de brócoli obtenidos mediante una aeronave pilotada remotamente. *Infociencia*, 12(1), 30. <https://doi.org/10.24133/infociencia.v12i1.1230>
- Bek, M. A., Azmy, N. & Elkafrawy, S. (2018). The effect of unplanned growth of urban areas on heat island phenomena. 9(4), 3169-3177. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2017.11.001>
- Casillas Higuera, A., García Cueto, R., Leyva Camacho, O. & Gonzalez Navarro, F. F. (2014). Detección de la Isla Urbana de Calor mediante Modelado Dinámico en Mexicali, B.C., México. *Informacion Tecnologica*, 25(1), 139-150. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000100015>
- Coelho, A. L. N., & Correa, W. de S. C. (2013). Temperatura De Superfície Celsius Do Sensor Tirs/Landsat-8: Metodologia E Aplicações. *Revista Geográfica Acadêmica*, 7(1), 31. <https://doi.org/10.18227/1678-7226rga.v7i1.2996>
- Congedo, L. (2021). Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. *Journal of Open Source Software*, 6(64), 3172. <https://doi.org/10.21105/joss.03172>
- Córdova Sáez, K. (2012). Impacto de las islas térmicas o islas de calor urbano, en el ambiente y la salud humana. Análisis estacional comparativo: Caracas, octubre-2009, marzo-2010. *Terra. Nueva Etapa*, 95-122.

- Cui, Y., Yan, D., Hong, T. & Ma, J. (2017). Temporal and spatial characteristics of the urban heat island in Beijing and the impact on building design and energy performance. *Energy*, 130, 286-297. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.053>
- Chávez, P. (1996). *Image-based atmospheric corrections*. Revisited and improved. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 1025 p.
- El-Hattab, M., Amany, S. M. & Lamia, G. E. (2018). Monitoring and assessment of urban heat islands over the Southern region of Cairo Governorate, Egypt. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 21(3), 311-323. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2017.08.008>
- EPA, E. P. A. (2008). *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Estrategies Urban Heat Island Basics*. Recuperado de <https://www.epa.gov/heat-islands/%0Aheat-island-compendium>.
- Fernández García, F. (1996). *Manual de climatología aplicada* (Editorial). Madrid, España.
- Gálvez, J. A. (2014). Criterios para la planificación y el diseño de corredores fluviales urbanos para la mitigación de la isla de calor. *Memoria del Congreso Nacional del Medio Ambiente*, 1-24.
- Hantson, S., Chuvieco Salinero, E., Pons, X., Domingo, C., Cea, C., Moré, G., ... Tejeiro, J. (2011). Cadena de pre-procesamiento estándar para las imágenes Landsat del Plan Nacional de Teledetección. *Revista de teledetección: Revista de la Asociación Española de Teledetección*, (36), 51-61.
- INEI, I. N. de E. e I. (2017). *Resultados definitivos de los Censos Nacionales*.
- Kotharkar, R., & Bagade, A. (2018). Evaluating urban heat island in the critical local climate zones of an Indian city. *Landscape and Urban Planning*, 169, 92 - 104. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.08.009>
- Menacho, E. & Teruya, S. (2019). Análisis de la relación de la isla de calor urbano con factores demográficos, espaciales y ambientales de Lima metropolitana usando sensores remotos. *Anales Científicos*, 80(1), 60-75.
- Méndez Pérez, I. R. & Gómez Azpeitia, G. (2015). Conceptos Generales. En A. Tejada Martínez & G. Gómez Azpeitia (Eds.), *Prontuario Solar de México* (pp. 11-27). Colima, México: Universidad de Colima.
- Moran, M. S., Jackson, R. D., Slater, P. N. & Teillet, P. M. (1992). Evaluation of simplified procedures for retrieval of land surface reflectance factors from satellite sensor output. *Remote Sensing of Environment*, 41(2-3), 169-184. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(92\)90076-V](https://doi.org/10.1016/0034-4257(92)90076-V)

- Olaya, V. (2014). *Sistemas de Información Geográfica*. CreatSpace Independent Publishing Platform. <https://volaya.github.io/libro-sig>
- Roy, D. P., Wulder, M. A., Loveland, T. R., C.E., W., Allen, R. G., Anderson, M. C., ... Zhu, Z. (2014). Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. *Remote Sensing of Environment*, 145, 154-172. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.001>
- Sarricolea, P. & Martín-Vide, J. (2014). El estudio de la Isla de Calor Urbana de Superficie del Área Metropolitana de Santiago de Chile con imágenes Terra-MODIS y Análisis de Componentes Principales. *Revista de Geografía Norte Grande*, (57), 123-141. <https://doi.org/10.4067/s0718-34022014000100009>
- Soberón, V. S. & Obregón, E. (2016). Identificación de islas de calor en la ciudad de Lima Metropolitana utilizando imágenes del Satélite Landsat 5TM. *Anales Científicos*, 77(1), 34-44. <https://doi.org/10.21704/ac.v77i1.475>
- Soltani, A. & Sharifi, E. (2017). Daily variation of urban heat island effect and its correlations to urban greenery: A case study of Adelaide. *Frontiers of Architectural Research*, 6(4), 529-538. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2017.08.001>
- Stathopoulou, M., Cartalis, C. & Petrakis, M. (2007). Integrating Corine Land Cover data and Landsat TM for surface emissivity definition: Application to the urban area of Athens, Greece. *International Journal of Remote Sensing*, 28(15), 3291-3304. <https://doi.org/10.1080/01431160600993421>
- Survey United States Geological, U. (2017). Landsat Data Access. Recuperado de https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-data-access?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con
- Xu, H., Chen, Y., Dan, S. & Qiu, W. (2011). Dynamical Monitoring and Evaluation Methods to Urban Heat Island Effects Based on RS & GIS. *Procedia Environmental Sciences*, 10(Esiat), 1228-1237. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.09.197>
- Yang, L., Qian, F., Song, D. X. & Zheng, K. J. (2016). Research on Urban Heat-Island Effect. *Procedia Engineering*, 169, 11-18. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.10.002>
- Zhang, J., Wang, Y. & Li, Y. (2006). A C++ program for retrieving land surface temperature from the data of Landsat TM/ETM+ band6. *Computers and Geosciences*, 32(10), 1796-1805. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2006.05.001>
- Zhang, Y., Yiyun, C., Qing, D. & Jiang, P. (2012). Study on Urban Heat Island Effect Based on Normalized Difference Vegetated Index: A Case Study of Wuhan City. *Procedia Environmental Sciences*, 13, 574-581. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.01.04>