



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TESIS**

**ISLA DE CALOR URBANO SUPERFICIAL EN LAS  
CIUDADES DE HUANCAYO Y AREQUIPA DURANTE  
2001 – 2016**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR LA BACHILLER  
GINA ROXY ARANA MALLMA**

**ASESOR  
Ing. JULIO MIGUEL ANGELES SUAZO**

**HUANCAYO - PERÚ**

**2018**

**ASESOR**  
**Ing. JULIO MIGUEL ANGELES SUAZO**

## **DEDICATORIA**

Dedico este Trabajo a Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a los ingenieros de la Universidad Alas Peruanas, por el apoyo brindado en mis estudios y a mis padres por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad.

## TABLA DE CONTENIDOS

ASESOR.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
GLOSARIO DE ABREVIATURAS .....	viii
ÍNDICE DE TABLA.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS .....	x
RESUMEN .....	xii
ABSTRACT .....	xiii
INTRODUCCION .....	xiv
CAPÍTULO I: .....	17
PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
1.1 Caracterización de la realidad problemática.....	17
1.2 Formulación del problema.....	18
1.2.1 Problema general.....	18
1.2.2 Problemas específicos.....	18
1.2 Objetivos .....	19
1.3.1 Objetivo general .....	19
1.3.2 Objetivos específicos.....	19
1.4 Hipótesis de la investigación .....	19
1.4.1. Hipótesis general .....	19
1.4.2. Hipótesis específicas .....	19
1.5 Justificación.....	20
1.6 Importancia.....	20
1.7 Limitaciones .....	20
CAPITULO II: .....	21
FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	21
2.1 Marco Referencial.....	21
2.1.1 Antecedentes de la investigación.....	21
2.2 Marco Legal.....	25
2.2.1 Norma técnica .....	25
2.3 Marco Conceptual.....	26

2.3.1	Isla de calor urbano .....	26
2.4	Marco Teórico.....	27
2.4.1	Islas de calor .....	27
2.4.2.	Generación, determinación y mitigación del efecto de la isla de calor urbana .....	30
2.4.3.	Temperatura superficial .....	30
2.4.4.	Relación entre LST y los índices de vegetación (NDVI, EVI) .....	31
2.4.5.	Sensoramiento remoto .....	34
2.4.6.	Sensor MODIS.....	36
CAPÍTULO III	.....	37
PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	.....	37
3.1	Metodología. ....	37
3.1.1	Métodos.....	37
3.1.2	Tipo de Investigación.....	44
3.1.3	Nivel de Investigación.....	44
3.2	Diseño de la Investigación.....	44
3.3	Variables .....	44
3.3.1.	Variable independiente.....	44
3.3.2.	Variable dependiente.....	44
3.4	Cobertura del Estudio.....	45
3.4.1.	Universo .....	45
3.4.2.	Población.....	45
3.4.3.	Muestra .....	45
3.4.4.	Muestreo .....	45
3.5	Técnicas e Instrumentos de Recolección de información.....	45
3.5.1.	Técnicas de la Investigación .....	45
3.5.2.	Instrumentos de la investigación .....	45
3.5.3.	Fuentes .....	46
3.6.	Procesamiento estadístico de la información .....	46
3.6.1.	Estadísticos .....	46
3.6.2.	Representación .....	46
3.6.3.	Técnica de comprobación de la hipótesis.....	47
CAPÍTULO IV	.....	48
ORGANIZACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	.....	48

4.1. Resultados .....	48
4.1.1. Patrones espaciales y variaciones temporales de LST.....	48
4.1.2 Isla de calor urbano superficial .....	50
4.1.3 Intensidad de la SUHI diurno y nocturno .....	52
4.2 Discusión de resultados .....	62
4.2.1 SUHI e índice de vegetación .....	62
4.2.2 Contratación de Hipótesis.....	62
CONCLUSIONES .....	69
RECOMENDACIONES .....	70
BIBLIOGRAFIA .....	71
ANEXO.....	77

## **GLOSARIO DE ABREVIATURAS**

ICU: Isla de Calor Urbano

TS: Temperatura Superficial

NDVI: Índice de Vegetación Diferencia Normalizada

CCU: Isla de calor de la capa de cobertura urbana

CLU: Isla de calor de la capa limite urbano

SUHI: intensidad de isla de calor urbano superficial

## ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1: Tipo de cobertura de suelo .....	31
Tabla 2: Diagrama de la Metodología propuesta .....	42
Tabla 3: Diseño de la investigación.....	44
Tabla 4: Media diurna de la SUHI y extensión espacial con desviación estándar para el AMH usando el método desarrollado por Streutker (2002) del periodo 2001-2016.. .....	56
Tabla 5: Media diurna de la SUHI y extensión espacial con desviación estándar para el AMA usando el método desarrollado por Streutker (2002) del periodo 2001-2016 .....	57
Tabla 6: Promedio mensual diurno de LST (C) con su desviación estándar para áreas rurales, urbanas la intensidad del SUHI (C) a 5 km de resolución para el AMH durante el periodo 2001 – 2016. ....	58
Tabla 7: Promedio mensual diurno de LST (C) con su desviación estándar para áreas rurales, urbanas y la intensidad del SUHI (C) a 5 km de resolución para el AMA durante el periodo 2001 – 2016 .....	60
Tabla 8: Promedio mensual nocturno de LST (C) con su desviación estándar para áreas rurales, urbanas y la intensidad del SUHI (C) a 5 km de resolución para el AMH durante el periodo 2001 – 2016.....	61
Tabla 9. Promedio mensual nocturno de LST (C) con su desviación estándar para áreas rurales, urbanas y la intensidad del SUHI (C) a 5 km de resolución para el AMA durante el periodo 2001 – 2016 .....	61
Tabla 10: Pendiente (Slope), intercepto (IC) e índice de correlación (R2) de la regresión lineal entre NDVI vs LST y EVI vs LST para el AMH.....	67
Tabla 11: Pendiente (Slope), intercepto (IC) e índice de correlación (R2) de la regresión lineal entre NDVI vs LST y EVI vs LST para el AMA .....	68

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Variación temporal típica en zonas urbanas y rurales.....	29
Figura 2: Procesos en el clima urbano a mesoescala y microescala .....	29
Figura 3: Isla de calor Urbana.....	30
Figura 4: Tipo de cobertura de suelo del AMH y AMA para diciembre del 2006 acorde al IGBP .....	32
Figura 5: Mapa de ubicación.....	38
Figura 6: A) El dominio del AMH y B) la media mensual de LST durante el día y C) periodos nocturnos en diciembre 2001.....	38
Figura 7: A) El dominio del AMA y B) la media mensual de LST durante el día y C) periodos nocturnos en diciembre 2001. ....	39
Figura 8: A) Interpolación planar Least – Squares para la LST rural en 2 dimensiones, B) LST del AMH. ....	43
Figura 9: A) Media mensual diurna de LST (5km de resolución) bajo el área urbana del AMH, B) Media mensual diurna LST del área rural del AMH para octubre 2001, C) Media mensual diurna de LST (5km de resolución) bajo el área urbana del AMA, y D) Media mensual diurna LST del área rural del AMA para enero 2001. ....	43
Figura 10: Distribución espacial del medio mensual diurno LST de América del Sur para enero 2001 con una resolución de $0.05^0 \times 0.05^0$ , variación diurna del LST urbano de latitud y longitud.....	49
Figura 11: Distribución espacial del medio mensual diurno LST de América del Sur para junio 2001 con una resolución de $0.05^0 \times 0.05^0$ , variación diurna del LST urbano de latitud Y longitud. ....	49
Figura 12: A) Evolución mensual del LST para periodo diurno y B) periodo nocturno del AMH, C) Evolución mensual del LST para el periodo diurno y D) periodo nocturno del AMA del centro urbano (líneas rojas), frontera (línea azul) y rural (línea verde). ....	51

Figura 13:A) Scatterplot del SUHI en periodos diurno, obtenido con el método de Streutker's vs SUHI con la diferencia de cuantiles $Q_{5urban}-Q_{3rural}$ para el AMH, y B) AMA. ....	53
Figura 14:A) Scatterplot del SUHI en periodos nocturno, obtenido con el método de Streutker's vs SUHI con la diferencia de cuantiles $Q_{5urban}-Q_{3rural}$ , para el AMH y B) AMA. ....	53
Figura 15:A) Evolución temporal de 2001-2016, media mensual diurno LST ( C ) con desviación estándar para periodo diurno de LST urbano ( $Q_5$ ) rural LST ( $Q_3$ ), intensidad del SUHI ( C ), para el AMH y B) AMA. ....	55
Figura 16: A) Evolución temporal de 2001-2016, media mensual nocturno LST ( C ) con desviación estándar para periodo diurno de LST urbano ( $Q_5$ ) rural LST ( $Q_3$ ), intensidad del SUHI ( C ) para el AMH y B) AMA. ....	55
Figura 17: Evolución temporal 2001-2016 media mensual con desviación estándar del NDVI, y B) EVI para el AMH, C) media mensual con desviación estándar del NDVI y D) EVI para el AMA en el centro urbano (línea roja), frontera (línea azul) y rural (línea verde).....	64
Figura 18: Scatterplots 2001-2016 diurno de LST vs NDVI y LST vs EVI para área urbana y rural en abril (A, B), y diciembre (C, D) respectivamente del AMH. ....	65
Figura 19: Scatterplots 2001-2016 diurno de LST vs NDVI y LST vs EVI para área urbana y rural en abril (A, B), y diciembre (C, D) respectivamente del AMA. ....	66

## RESUMEN

En la presente investigación se estimó la isla de calor urbano superficial utilizando el sensor MODIS del satélite AQUA y TERRA durante el periodo 2001 al 2016, utilizando el método de cuantiles y de Streutker, donde la SUHI diurnas obtenido con el método de cuantiles en el AMH, muestra los valores máximos en marzo (6.94 C) y valores mínimos en agosto (2.79 C) y la SUHI nocturnas obtenidas presenta valores máximos en agosto (6.06 C) y valores mínimos en marzo (3.76 C). Asimismo, la SUHI diurnas en el AMA, muestra los valores máximos en febrero (5.54 C) y valores mínimos en agosto (2.14 C), y la SUHI nocturnas presenta valores máximos en febrero (6.38 C) y valores mínimos en junio (4.62 C). Asimismo, la correlación entre el método de Streutker y cuantiles es igual a 0.58 y para el periodo nocturno, es igual a 0.73 para el AMH. No obstante, en el AMA, la correlación es igual a 0.20 y 0.02 para el periodo diurno y nocturno respectivamente.

## ABSTRACT

In the present investigation, the superficial urban heat island was estimated using the MODIS sensor of the AQUA and TERRA satellites during the period 2001 to 2016, using the quantile and Streutker method, where the SUHI diurnal obtained with the quantile method in the AMH, shows the maximum values in March (6.94 C) and minimum values in August (2.79 C) and the SUHI at night obtained maximum values in August (6.06 C) and minimum values in March (3.76 C). Likewise the SUHI diurnal in the AMA, shows the maximum values in February (5.54 C) and minimum values in August (2.14 C), and the SUHI at night presents maximum values in February (6.38 C) and minimum values in June (4.62 C). Likewise, the correlation between the Streutker method and quantiles is equal to 0.58 and for the night period, it is equal to 0.73 for the AMH. However, in the AMA, the correlation is equal to 0.20 and 0.02 for the day and night periods respectively.

## INTRODUCCION

La población urbana global aumentó en un factor de 0.7 billones en 1950 a 3,9 millones de habitantes en 2014 (Buhaug & Urdal, 2013). En contraste, la población del mundo rural en una salida de crecer y de cumplir sus proyectos puede llegar a un mínimo de 3.4 billones para 2020 y después de un decrecimiento a 3,2 billones en 2050 (Naciones Unidas, 2014). El proceso de urbanización en el mundo de crecimiento durante la década de 1980, debido a su desarrollo industrial, aumentó del 36,2% en 1950 al 86,5% en diciembre de 2010 (IBGE, 2011) y tiene una proyección de aumentar a 91.1% en 2030 (Naciones unidas, 2011).

Las grandes mega ciudades son un ejemplo dramático de problemas ambientales asociados con el cambio en el uso del suelo, cómo destaca el estudio de Ferreira et al., 2013 para la RMSF. El desarrollo de las áreas urbanas produce grandes variaciones en la superficie terrestre y en el clima pueden ser modificados por estas alteraciones (Changnon, 1978). Una introducción de nuevos materiales a la superficie (como hormigón, asfalto, azulejos) asocia una nueva emisión de calor, humedad y contaminantes que produce turbidez atmosférica (Flores, Karam, Marques filho, & Pereira Filho, 2016) producen un intercambio de energía y humedad entre la superficie y la atmósfera, los que cambian de forma dramática las propiedades radiativas, térmicas, humedad, rugosidad y la emisión del sistema superficie - atmósfera (Hung, Uchiyama , Ochi, & Yasuoka, 2006).

Estas alteraciones generadas por las superficies urbanas hacen que las temperaturas locales del aire y de la superficie suban varios grados y lo mismo ocurre en las zonas rurales vecinas a las zonas urbanas.

En general, los microclimas urbanos son más calientes que las áreas rurales circundantes para cualquier momento del día y en latitudes medias. Este fenómeno conocido como una isla de calor urbano (ICU) (Oke T. , 1982) (Parece, Jie Li Campbell, & Carroll, 2015).

La forma y el tamaño de la ICU varía con el tiempo, el clima y los padrones de superficie urbana (Oke T. , 1987). Pueden distinguirse de los tipos de ICU: una

isla de calor de la capa de cobertura urbana (CCU) y una isla de calor de la capa límite urbano (CLU). En general, un CCU se sitúa debajo del nivel del techo y consiste en varios microclimas generados por la heterogeneidad de los elementos de la cobertura urbana (calles, casas, árboles, etc.). En contraste, un CLU presenta características modificadas por la integración de CCU en un clima regional o de mesoescala (Roth, Oke, & Emery, 1989).

Las intensidades de la ICU para áreas urbanas tropicales y sub tropicales son al menos intensas hacer que las ciudades en las latitudes más altas. Como UCI más evidentes durante los periodos diurnos en el verano, impulsado por el calor de la irradiación solar sobre cubiertas urbanas (Roth M. , 2007), y su variabilidad puede ser modulada por diferencias de las casas urbanas en el índice de humedad del suelo (Heisler & Brazel , 2010). En contraste, en las ciudades de latitudes medias, como ICUs son más evidentes durante los días diurnos en invierno. Para una ciudad metropolitana brasileña, el estudio de Ferreira et al., 2012 muestra que el valor máximo de la ICU sobre un RMSD como 1700 UTC y 1900 UTC, variando entre 2.6 C en julio y 5.5 C en septiembre. También indican que existe una alta correlación entre una intensidad de la UCI y una irradiación solar líquido rendimiento.

Por otra parte, las aportaciones relativas de las modificaciones superficiales subyacentes causadas por la urbanización y la liberación de calor antropogénico en la generación de la ICU, difícilmente pueden distinguirse de los datos observados. Por lo tanto, los estudios de modelado son cada vez más conducidos para investigar el impacto de la urbanización sobre el tiempo y el clima, así como los procesos que moldean los patrones espaciales y temporales de la ICU en una amplia gama de escalas.

Estudios observacionales de las intensidades de las ICUs, llevados a cabo de dos formas:

(a) Mediante mediciones directas de la ICU en la temperatura del aire a través del uso de transectos automáticos y redes de estaciones meteorológicas y (b) Mediante mediciones de la ICU a través de la temperatura superficial haciendo uso de detección remota por vía aérea o por satélite (Hung, Uchihama , Ochi, & Yasuoka, 2006). Aunque muchos estudios de ICU anteriores han utilizado

temperaturas aire de superficie observada por la Organización Meteorológica Mundial (OMM), los cambios en lugares e instrumentos, así como la cobertura irregular, complican esta metodología (Peterson, 2003). Estos estudios destacan el hecho de que la temperatura del aire de superficie debe ser complementada con otras observaciones para captar con más precisión los cambios inducidos por la ciudad.

En este contexto, las ICUs pueden ser obtenidas para diferentes capas de la atmósfera urbana y de la superficie incluyendo el sub suelo (Voogt & Oke, 1997). Los mecanismos subyacentes diferentes para cada ICU y, en consecuencia, es importante distinguir entre ellos (Oke T. , 1982). Los datos de temperatura de superficie ( $T_{skin}$ ) son complementarios a los datos de temperatura del aire en regiones próximas de la superficie (Jin & Dickinson, 2000). Debido a su acoplamiento más débil con la atmósfera,  $T_{skin}$  tiende a tener una intensidad de ICU más fuerte que la temperatura del aire y genera una isla de calor urbano superficial (ICUS). La temperatura de la superficie varía de acuerdo con el balance energético superficial y de las propiedades radiativas y termodinámicas de la superficie, incluyendo la humedad superficial, conductividad térmica, emisividad de superficie, irradiaciones solares y atmosféricas y flujos atmosféricos turbulentos próximos de la superficie (Voogt & Oke, 2003). Al mismo tiempo, las múltiples reflexiones internas resultantes debido a la geometría de la cobertura urbana y la densa distribución de los edificios generan un efecto de cavidad que reducen el albedo superficial y la emisividad de la superficie plana individual que contribuyen a la formación de la ICU (Marciotto, Oliveira, & Hanna, 2010)

## **CAPÍTULO I:**

### **PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.1 Caracterización de la realidad problemática.**

El Perú a lo largo de los años ha ido sufriendo cambios en la superficie de la tierra que se produce en las ciudades, debido principalmente a la sustitución de la vegetación natural por construcciones de casas, edificios, carreteras, avenidas, parques industriales, entre otros. La ciudad de Huancayo y Arequipa actualmente ha ido aumentando la población ocasionando que dichas ciudades sean un mosaico de paisajes intraurbanos integrados con diferentes características de uso y ocupación del suelo. Esto contribuye a la destrucción del microclima existente dando lugar a uno nuevo, de gran complejidad, con condiciones muy diferentes de aquellos que se encuentran en sus alrededores. Este nuevo microclima creado por las ciudades tiene diferencias significativas en comparación con el anterior, como la temperatura, la humedad relativa, el comportamiento de los vientos, la composición de la atmósfera local, el balance de energía e hídrico, en albedo y en la rugosidad de la superficie (Barry & Chorley, 1998, 409 pp)

Las Islas de calor consisten en parcelas de aire con temperaturas más elevadas y están formados en los centros de las grandes ciudades. Se produce principalmente debido a las propiedades térmicas de los materiales de construcciones urbanas (asfalto, hormigón, baldosas, etc.),

almacenan más calor que el suelo y la vegetación en las zonas rurales o menos urbanizadas.

Las barreras físicas del terreno, la importancia política de cada ciudad, entre otras condiciones, causaron desarrollos desiguales y diversos usos de suelo con los más diferentes patrones en las formas urbanas (variando de áreas con buena vegetación, los barrios con gran concentración de edificios, calles pavimentadas, bajo índice de áreas verdes). Asimismo durante el último período censal del 2015 el INEI estimó la tasa de crecimiento de la provincia de Huancayo en solo 0.95% anual (detrás de los valores asignados a la provincia de Satipo-4.45% y Chanchamayo-2.39%), provocando un crecimiento y desarrollo urbano de manera exponencial (INEI, 2015). En la provincia de Arequipa tiene 980 mil 221 habitantes, que representa el 75,3% de la población del departamento de Arequipa.

La presente investigación se desarrolló debido al aumento de las zonas urbanas (islas de calor), como consecuencia se da la disminución de las áreas de cobertura vegetal, produciendo una alteración de las propiedades físicas del ambiente, incrementando la temperatura superficial en la provincia de Huancayo.

## **1.2 Formulación del problema.**

### **1.2.1 Problema general.**

1.2.1.1 ¿Cuál es la isla de calor urbana superficial en las ciudades de Huancayo y Arequipa durante el periodo 2001-2016?

### **1.2.2 Problemas específicos.**

1.2.2.1 ¿Cuál es la relación entre la intensidad de isla de calor urbano obtenido con el método de Streutker y método de cuantiles en las ciudades de Huancayo y Arequipa durante el periodo 2001 al 2016?

1.2.2.2 ¿Cuál es la variación espacial temperatura superficial a partir del sensor MODIS en las ciudades de Huancayo y Arequipa durante el periodo 2001 al 2016?

1.2.2.3 ¿Cuál es la variación espacial del índice de vegetación normalizado en las ciudades de Huancayo y Arequipa durante el periodo 2001-2016?

1.2.2.4 ¿Cuál es la relación entre temperatura superficial e índice de vegetación en las ciudades de Huancayo y Arequipa, durante el periodo 2001-2016?

## **1.2 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

1.3.1.1 Determinar la isla de calor urbana superficial en las ciudades de Huancayo y Arequipa durante el periodo 2001-2016

### **1.3.2 Objetivos específicos**

1.3.2.1 Determinar la relación entre la intensidad de isla de calor urbano obtenido con el método de Streutker y método de cuantiles en las ciudades de Huancayo y Arequipa durante el periodo 2001-2016

1.3.2.2 Determinar la variación espacial de la temperatura superficial a partir del sensor MODIS en las ciudades de Huancayo y Arequipa durante el periodo 2001 - 2016.

1.3.2.3 Determinar la variación espacial del índice de vegetación normalizado en las ciudades de Huancayo y Arequipa durante el periodo 2001-2016.

1.3.2.4 Determinar la relación entre temperatura superficial e índice de vegetación en las ciudades de Huancayo y Arequipa durante el periodo 2001-2016

## **1.4 Hipótesis de la investigación**

### **1.4.1. Hipótesis general**

1.4.1.1 La isla de calor urbana superficial es de 3 °C en las ciudades de Huancayo y Arequipa durante 2001-2016.

### **1.4.2. Hipótesis específicas**

1.4.2.1 La relación de la intensidad de isla de calor urbano superficial utilizando el método de Streutker y cuantiles es

de 0.8 en las ciudades de Huancayo y Arequipa durante 2001-2016.

1.4.2.2 El intervalo de la variación espacial de la temperatura superficial es de 0 a 40 C en las ciudades de Arequipa y Huancayo.

1.4.2.3 El intervalo de la variación espacial del índice de vegetación normalizado es entre 0 y 1, considerando los datos registrados por el sensor MODIS en las ciudades de Huancayo y Arequipa.

1.4.2.4 La relación de la temperatura superficial e índice de vegetación es de 0.8 en las ciudades de Huancayo y Arequipa durante 2001-2016.

## **1.5 Justificación**

Para calcular el incremento de la temperatura debido a las construcciones urbanas (islas de calor) produciendo una disminución en la cobertura vegetal.

## **1.6 Importancia**

Es importante conocer los niveles de temperatura superficial ya que es un indicador del cambio climático o calentamiento global, ya que el hombre o las actividades antropogénicas viene aumentando de manera exponencial debido al cambio de cobertura vegetal por construcciones de manera no sostenible, por ello es importante la presente investigación para mitigar dichos impactos ambientales y no permitir el aumento de temperatura que se viene dando.

## **1.7 Limitaciones**

Las limitaciones de la presente investigación es utilizar y validar mejor los datos satelitales del portal NASA.

## **CAPITULO II:**

### **FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

#### **2.1 Marco Referencial.**

##### **2.1.1 Antecedentes de la investigación.**

###### ***a) Nacional***

Soberon (2015) **realizó la tesis de maestría “ *Identificación de islas de calor en la ciudad de Lima metropolitana utilizando imágenes del satélite Landsat*”** donde estudio la identificación de islas de calor urbanas superficiales en la ciudad de Lima Metropolitana y la relación entre la temperatura de superficie y la temperatura del aire debido a que el aumento de la población en las ciudades ha generado una alta demanda de viviendas siendo reemplazadas por condominios y edificaciones multifamiliares, para ello se descargó datos de las imágenes del satélite, calculó la temperatura de superficie (TST) , elaboró mapas térmicos y determinó la relación entre la temperatura de superficie, la temperatura del aire y el NDVI. Donde se obtuvo un mapa de la distribución espacial de las islas de calor encontrando la presencia de una isla de calor negativa durante la mañana en los meses cálidos, también se encontró una configuración de 15 islas de calor en los distritos de Ate y Lurigancho, en el distrito de Villa María del Triunfo y en el distrito de San Juan de Lurigancho. En conclusión

debido a la poca información disponible para relacionar la temperatura del aire y la temperatura de superficie no es posible afirmar la baja correlación existente entre estas variables asimismo los coeficientes de determinación entre la temperatura de superficie y el NDVI son bajos debido a las pocas áreas verdes en el área de estudio; sin embargo al relacionar el NDVI con la diferencia de temperatura de superficie (LST) con la temperatura del aire ( $T_a$ ) se encontró mejores coeficientes, así llegando hasta 0.8 el coeficiente de correlación.

#### **b) INTERNACIONAL**

Flores Rojas, Pereira Filho, & Karam (2016) realizó la investigación titulado ***“Intensidades de isla de calor urbana para las ciudades tropicales utilizando los datos de teledetección MODIS”***, donde el estudio, calcula intensidades a largo plazo (2001-2014) de baja resolución ( $0,05^\circ$ ), de las islas de calor urbano superficial (SUHI) para dos áreas urbanas tropicales: el Área Metropolitana de São Paulo (MASP) y el Área Metropolitana de Río de Janeiro (MARJ), ubicada en la región sureste de Brasil presentado con un aumento poblacional desmedido lo cual originó islas de calor. Para ello, se utilizaron dos métodos: el primero es el método de Streutker, que cuantifica las intensidades SUHI utilizando una superficie gaussiana para ajustar la diferencia entre los patrones urbanos y rurales de las temperaturas superficiales de la tierra (LST) y el segundo estima las intensidades de SUHI por la diferencia entre el cuantil de 0.95 de LST para el área urbana y la mediana de LST para el área rural, separado con el producto MODIS de cobertura terrestre anual a  $0.05^\circ$  de resolución. Ambos métodos utilizan datos de teledetección obtenidos del sensor MODIS a bordo de los satélites TERRA y AQUA. Donde en la RMRJ se obtuvo en períodos de tiempo día el máximo SUHI que ocurrió en febrero ( $\sim 7,9^\circ\text{C}$ ) y el mínimo en junio ( $\sim 4,7^\circ\text{C}$ ), en períodos de tiempo noche el máximo SUHI se produjo en enero ( $\sim 4,8^\circ\text{C}$ ) y el mínimo en julio ( $\sim 3,4^\circ\text{C}$ ) mientras que, en la región de Sao Paulo en períodos diurnas, lo máximo ocurrió en noviembre ( $\sim 10,4^\circ\text{C}$ ) y mínimo en julio

(~4,6 °C). En conclusión, se demostró que la presencia de mayor cobertura vegetal en el área urbana del MARJ en comparación con el MASP, puede explicar parcialmente las mayores intensidades de SUHI MASP en relación con el MARJ en los períodos diurnos.

Pezzini (2011) realizó la investigación titulada **“Estudio del fenómeno de islas de calor urbano en la región metropolitana rio de Janeiro (RMRJ) usando datos del sensor AVHRR del satélites NOAA – 14 y 18”**, donde estudió la comprobación de la estacionalidad a través del seguimiento de la evolución del índice de vegetación (NDVI y TS) así mismo a través del análisis de imágenes satelitales del sensor AVHRR del satélite NOAA y las modificaciones en el campo de la temperatura de la superficie en la Región de la ciudad de Río de Janeiro (RMRJ). Debido a una densidad demográfica de aproximadamente 2.400 hab./km<sup>2</sup> con un grado de urbanización del 99,6%. Para ello se realizó la descarga de imágenes obtenidas del satélite NOAA - 14 y 18 del sensor AVHRR, en los períodos de octubre 2005 hasta mayo 2007 para el primer satélite y de agosto / 2008 a febrero / 2010 para el otro. Asimismo, se emplearon las técnicas de enmascaramiento de las nubes para el cálculo de los parámetros del índice de vegetación NDVI (Índice de Vegetación Diferencia Normalizada). Donde se obtuvo valores de NDVI por encima de 0,5 que caracterizan regiones vegetales. También se notó la existencia de un área (entre las latitudes de 22,7°S a 23,0°S y longitudes de 43,4°W hasta, aproximadamente, 43,2° W) con valores muy reducidos del NDVI, esta región engloba partes de algunos municipios de la región Baixada Fluminense y algunos barrios de la ciudad de Río de Janeiro y por último se observó una expansión de bajos valores del NDVI en la Zona Oeste de la ciudad del Río de Janeiro entre Niterói y São Gonçalo, estos bajos valores de NDVI indican que esa área refleja casi la misma cantidad en la banda del visible e infrarrojo caracterizándolo un local con poca o casi ninguna vegetación, es decir un área intensamente urbanizada de la RMRJ.

En conclusión, en estas áreas se observó valores de NDVI con áreas de vegetación en la zona oeste y áreas con poca vegetación identificadas en la banda visible e infrarrojo en la zona este.

Cordova (2011) realizó la tesis de maestría "***Impactos de las islas térmicas o islas de calor urbano, en el ambiente y la salud humana. Análisis estacional comparativo: Caracas, octubre-2009, marzo-2011***", donde el estudio identifica las variaciones en los patrones de la temperatura superficial urbana y determina la intensidad y extensión de las anomalías térmicas, que podrían estar relacionadas con el aumento de las temperaturas en la ciudad y la incidencia de incendios forestales. Debido a la intensificación en la temporada de sequía con elevación de las temperaturas ambientales, alta incidencias de incendios forestales, fenómenos de clima y smog intensificados por los incendios de vegetación. Para ello se seleccionaron dos imágenes para octubre-2009, correspondiente al período húmedo y marzo del 2011, correspondiente a finales del período seco. Obteniendo un aumento de temperatura en el valle de Caracas, inclusive en sectores de menor densidad constructiva y con mayor presencia vegetal. Aún en la zona norte de la ciudad, que se beneficia de la proximidad del Parque Nacional el Ávila y, donde en condiciones normales de la temperatura se mantienen más templadas (24-27°C), se observó un incremento significativo entre 28 y 31°C. Las áreas verdes peri-urbanas y urbanas, así como los parques recreacionales y botánicos presentaron también altas temperaturas durante el evento de calor de marzo de 2010, lo que implica mayores niveles de estrés (stress) hídrico y sufrimiento vegetal así mismo causó un aumento en los reportes de afecciones alérgicas, bronquiales, e irritación de las mucosas en la población capitalina. En conclusión, estas perspectivas ponen un acento sobre la urgencia de definir estrategias de prevención, mitigación y control de la dinámica ambiental en las zonas urbanas, donde los cambios socio naturales

ocurren con mayor velocidad que en las áreas rurales afectando a un mayor número de personas.

Sobrino & Bianchi (2011) realizó la investigación titulada: ***Evaluación del efecto de isla de calor urbano en la ciudad de Madrid utilizando sensoramiento remoto, donde*** contribuye en las características óptimas en términos de resolución y el tiempo de adquisición que un satélite debe poseer para controlar adecuadamente el efecto SUHI. Debido al aumento del 50% de la población llevando a cambios en el clima local. El efecto es más relevante en la noche cuando las superficies. Para ello se descarga imágenes satelitales para el análisis del impacto de la resolución espacial monitoreando adecuadamente el fenómeno SUHI dentro de una ciudad. Obteniendo las resoluciones espaciales superiores a 50m necesario para estimar adecuadamente el efecto SUHI a nivel de distrito. Sin embargo, una resolución inferior a 50 m subestima el efecto y no distingue entre las diferentes zonas dentro de la ciudad. En conclusión, se proponen un tiempo de revisión de 2 días (un día si dos satélites están operativos) y una franja de aproximadamente 25 km. Además de esto, se ha demostrado que un tiempo de paso superior inmediatamente antes del amanecer es la mejor opción para estimar el efecto UHI obtenido del aire temperatura.

## **2.2 Marco Legal**

### **2.2.1 Norma técnica**

La zonificación forestal busca integrar aspectos ecológicos incorporados en la capacidad de uso mayor de la tierra, la clasificación de tipos de bosque, la cobertura vegetal actual, las condiciones de fragilidad relativa de los ecosistemas, la distribución de la biodiversidad forestal y de fauna silvestre y su estado de conservación, con los aspectos económicos, sociales y culturales vinculados a la ocupación del territorio y los dispositivos legales, incluyendo los distintos escenarios socio ambientales y ecológicos referidos a la intensidad de ocupación y actividad humana en los ecosistemas naturales y las diferentes condiciones o estado de

naturalidad o de transformación de los paisajes forestales. Igualmente, toma en consideración los diversos usos posibles para estos ecosistemas y sus recursos, así como de diversos tipos de usuarios y distintas intensidades de uso vinculadas a la magnitud de las intervenciones y a su impacto o efecto sobre la provisión permanente de bienes y servicios de los ecosistemas. (MINISTERIO DE AGRICULTURA, 2010, pág. 20)

## **2.3 Marco Conceptual.**

### **2.3.1 *Isla de calor urbano***

La isla de calor urbano es una situación urbana, de acumulación de calor por la inmensa mole de hormigón, y demás materiales absorbentes de calor y atmosférica que se da en situaciones de estabilidad por la acción de un anticiclón térmico (Jimenez Muñoz & Sobrino, 2006, pág. 1001).

### **2.3.2 *Temperatura superficial***

Se llama temperatura superficial a uno de los elementos constitutivos del clima que se refiere al grado de calor específico del aire en un lugar y momento determinados así como la evolución temporal y espacial de dicho elemento en las distintas zonas climáticas (Klysik & Foruniak, 1999, pág. 155).

### **2.3.3 *Índice de vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)***

Es un índice usado para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación con base a la medición, por medio de sensores remotos instalados comúnmente desde una plataforma espacial, de la intensidad de la radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que la vegetación emite o refleja. (Huete, y otros, 2002).

### **2.3.4 *Sensoramiento remoto***

Es la adquisición de información acerca de un objeto a través de datos obtenidos con un instrumento que no está en contacto directo con él. Una aplicación muy conocida de percepción remota es los datos colectados por los satélites de la NASA AQUA, TERRA, NOAA, AURA. (Flores Rojas, Pereira Filho, & Karam, 2016)

## **2.4 Marco Teórico.**

### **2.4.1 Islas de calor**

#### **a) Origen de la isla de calor**

Se presenta en las grandes ciudades y consiste en la dificultad de la disipación del calor durante las horas nocturnas, cuando las áreas no urbanas, se enfrían notablemente por la falta de acumulación de calor. El centro urbano, donde los edificios y el asfalto desprenden por la noche el calor acumulado durante el día, provoca vientos locales desde el exterior hacia el interior. Comúnmente se da el fenómeno de elevación de la temperatura en zonas urbanas densamente construidas causado por una combinación de factores tales como la edificación, la falta de espacios verdes, los gases contaminantes o la generación de calor. Se ha observado que el fenómeno de la isla de calor aumenta con el tamaño de la ciudad y que es directamente proporcional al tamaño de la mancha urbana (Acero, 2011, pág. 26).

#### **b) Generación de la Isla de Calor en Urbana (ICU).**

La isla de calor urbana es la respuesta de muchos factores, los cuales pueden ser catalogados como controlables e incontrolables. A su vez estos factores pueden ser clasificados como variables temporales en el tiempo, por ejemplo, la velocidad del viento o la cobertura de las nubes; como variables constantes en el tiempo como lo son las zonas verdes, el material de los edificios y el factor de visión del cielo y como variables cíclicas es la radiación solar o las fuentes de calor antropogénico (Rizwan & Dennis, 2008, pág. 122)

Las estructuras urbanas: como fachadas, cubiertas, suelo, zonas verdes, entre otras absorben y almacenan radiación durante el transcurso del día, y esto lo hacen de diferente manera dependiendo de los materiales con los que están constituidas. Al atardecer, el medio ambiente comienza a enfriarse y la energía térmica almacenada en las estructuras es liberada en forma de flujo de calor.

Los factores importantes a considerar en la generación de la ICU son el factor de visión del cielo y el albedo. Por una parte, la capacidad de

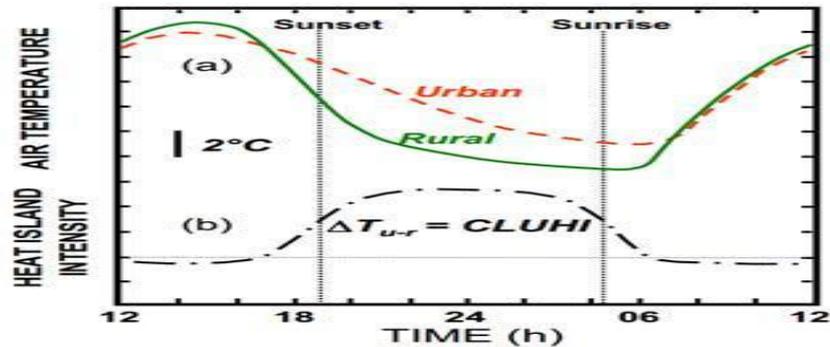
liberar energía por la radiación de onda larga es reducida debido a la disminución del factor de visión del cielo y en consecuencia existe un almacenamiento de calor en las superficies constructivas de los edificios. Por otra, la cantidad de luz reflejada es menor en comparación con la luz incidente, en otras palabras, el albedo es generalmente bajo en las zonas urbanas (Gridharan, Gnesan, & Lau, 2004, pág. 55).

Asimismo, el efecto de la densidad de población ha sido analizado por varios autores. En el estudio donde se analizaron doce ciudades de Asia y correlacionaron el número de habitantes con el incremento de la ICU, la densidad de población tiene dos efectos en la generación de la ICU, una directa y otra indirecta. La directa está relacionada con el metabolismo de las personas, a mayor número de personas es mayor el calor emitido por las mismas; y la indirecta, que influye de manera más significativa en el efecto de la ICU, pues a mayor población se incrementa el número de edificios, vehículos, fábricas, debido a la falta de vegetación también se presenta el efecto de ICU (Huang, Hung, Uchiyama, Ochi, & Yasuoka, 2006). La investigación realizada por (Kondoh & Nishiyama, 1999), ha demostrado que el decremento en zonas verdes en Tokio de 1972 a 1995 ha reducido la evapotranspiración un 38%, elevando de manera proporcional la temperatura urbana.

También existen variables temporales como las condiciones climáticas y anticiclónicas que incrementan la ICU por ejemplo la velocidad del viento y la cobertura de las nubes son factores que están directamente correlacionados con la elevación del efecto ICU. Por otra parte se ha reportado que aún con velocidades de viento de 4 m/s durante la noche y velocidades de 2 m/s durante el día, es posible apreciar el efecto ICU (Pongracz, Bartholy, & Dezso, 2006, pág. 2193)

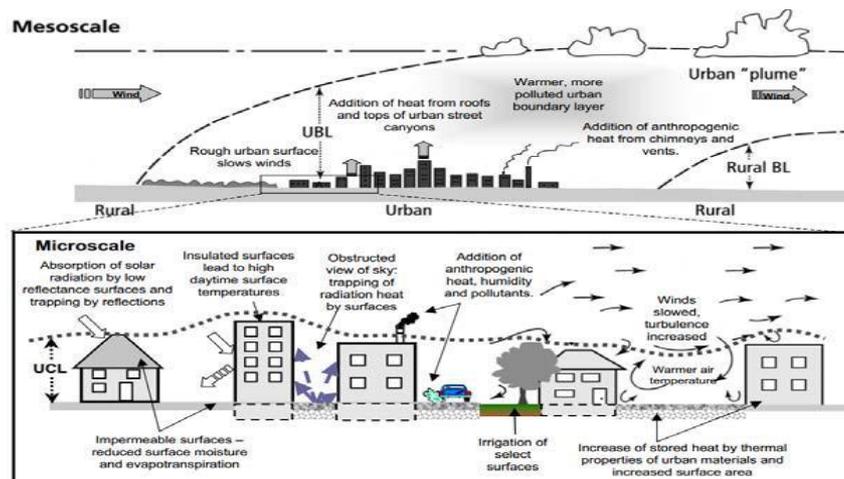
La ICU varía a lo largo del día, alcanzando su máximo efecto pocas horas después de la puesta del sol. Esto es debido a que la energía absorbida por las superficies urbanas es liberada lentamente en comparación con las superficies rurales se han obtenido diferentes

valores del efecto ICU ( $T_{\text{Urbano-Rural}}$ ) (Saitoh, Shimada, & Hoshi, 1995, pág. 3435).



**Figura 1:** Variación temporal típica en zonas urbanas y rurales a) temperatura del aire; b) intensidad del clima urbano. Fuente: (Oke T. R., 1978).

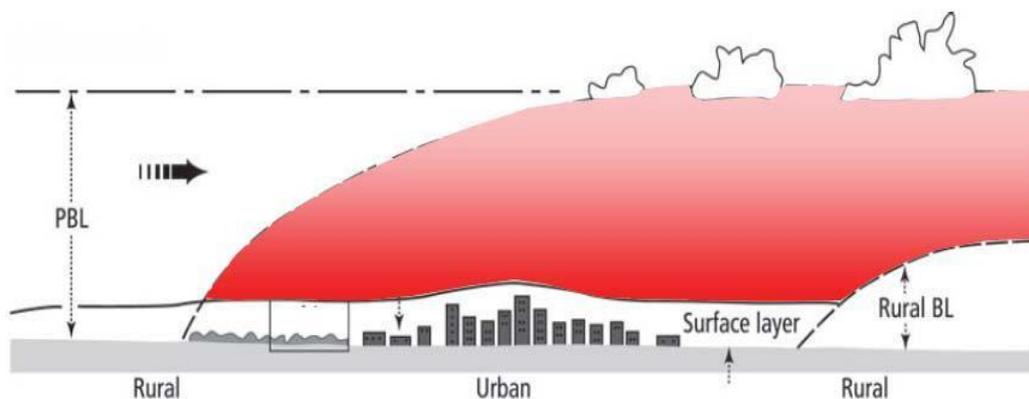
La transformación del terreno asociado a las actividades urbanas modifica el clima urbano a micro-escala y a meso-escala. Los procesos a micro-escala presentan perturbaciones atmosféricas debido al planeamiento urbano, por ejemplo, la presencia de calles, edificios y parques. Por otro lado, los procesos a meso-escala varían de decenas a cientos de kilómetros, en este contexto incluyen las perturbaciones de la superficie urbana en el clima y la velocidad del viento de la región.



**Figura 2:** Procesos que interactúan en el clima urbano a mesoescala y microescala. Fuente: (Voogt, 2007)

### 2.4.2. Generación, determinación y mitigación del efecto de la isla de calor urbana

Las zonas urbanas tienden a tener una mayor temperatura que las zonas rurales de los alrededores, como resultado de las progresivas modificaciones de la superficie que incluyen la sustitución de la vegetación por edificios y calles (Figura N 3). Cuando las superficies constructivas y calles absorben una mayor cantidad de radiación solar, se calientan y reflejan energía calorífica al aire circundante provocando una elevación de la temperatura local. Este fenómeno es conocido como “Isla de Calor Urbana” (Oke T. R., 1978, pág. 32).



**Figura 3:** Isla de calor Urbana. Fuente: (Oke T. R., 1978, pág. 33)

### 2.4.3. Temperatura superficial

Constituye el elemento meteorológico más importante en la delimitación de la mayor parte de los tipos climáticos. Por ejemplo, al referirnos a los climas macrotérmicos (es decir, de altas temperaturas; climas A en la clasificación de Köppen), mesotérmicos (climas templados o climas C en la clasificación de Köppen) y microtérmicos (climas fríos o climas E) estamos haciendo de la temperatura atmosférica uno de los criterios principales para caracterizar el clima.

La temperatura de un cuerpo negro, por lo que es necesario realizar una corrección de la emisividad de acuerdo a la naturaleza de las cubiertas. Por lo tanto la TST está en función de un valor de emisividad, en este sentido se ha de utilizar la clasificación de emisividades con el método propuesto por (Valor & Caselles, 1996).

La ecuación en función de la emisividad de las superficies urbanas queda de la forma:

$$TST = \frac{K2}{\ln\left(\frac{\epsilon_{\lambda_6} k1}{L\lambda} + 1\right)} \quad (1)$$

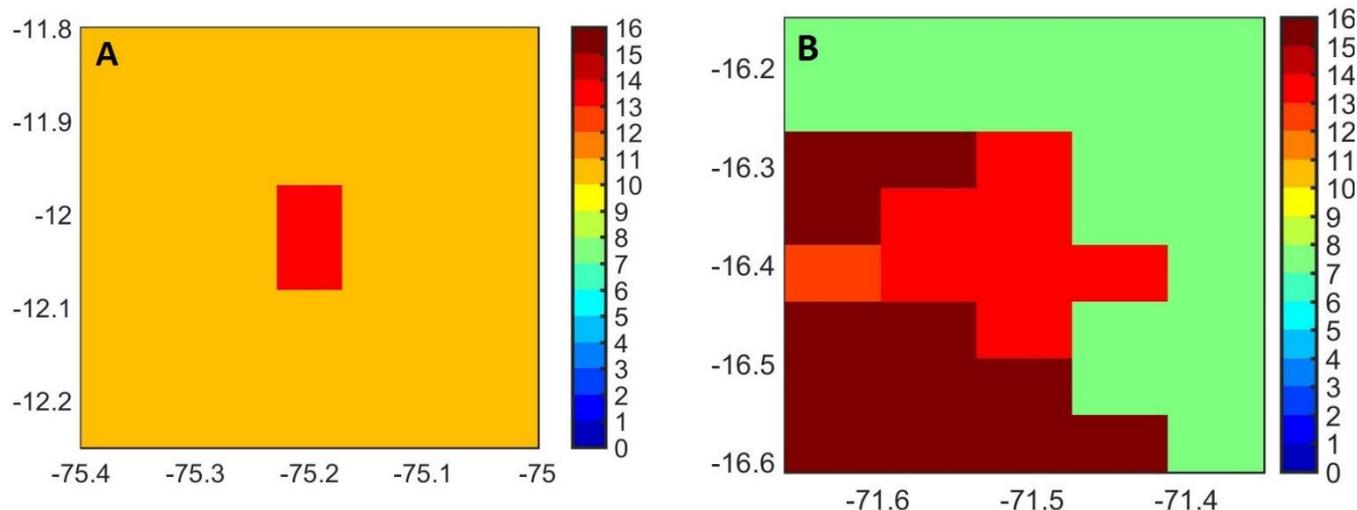
#### 2.4.4. Relación entre LST y los índices de vegetación (NDVI, EVI)

El índice de vegetación más utilizado es el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI). El índice NDVI se desarrolló debido a la diferencia en las características del albedo de suelo desnudo y vegetación de Superficies cubiertas. (Figura N 4)

**Tabla 1:** Tipo de cobertura de suelo

Clase	IGBP (Type 1) land cover index
0	Agua
1	Bosque de hoja de aguja de hoja perenne
2	Bosque de hoja ancha siempreverde
3	Deciduous needleleaf forest
4	Deciduous broadleaf forest
5	Bosque mixto
6	matorrales cerrados
7	Arboledas abiertas
8	Sabanas arboladas
9	Savannas
10	Praderas
11	Humedales permanentes
12	Tierras Cultivadas
13	Urbano y urbanizado
14	Mosaico de cultivos / vegetación natural
15	Nieve y hielo
16	Estériles o escasamente vegetales

Fuente: (IGBP, 2006)



**Figura 4:** A) Tipo de cobertura de suelo del AMH y B) AMA para diciembre del 2006 acorde al IGBP

Los albedos de suelos desnudos son bastante constantes a través de las porciones visible (rojo, 0,62-0,75  $\mu\text{m}$ ) y casi infrarroja (NIR, 0,75-1,4  $\mu\text{m}$ ) del espectro. Mientras que las superficies cubiertas por la vegetación muestran un aumento dramático en el albedo en la región NIR cuando se compara con las porciones visibles del espectro. Por lo tanto, el NDVI es una medida de la diferencia entre dos bandas específicas de longitud de onda como también transmitidas por el aire desde planos y satélites:

$$NDVI = \frac{NIR - VIS_R}{NIR + VIS_R} \quad (2)$$

Para no-vegetación, el albedo en el visible y NIR son casi iguales y NDVI es aproximadamente 0.1. Para las áreas con vegetación, el NDVI se aproxima a 0,9. Cuando las nubes están presentes, entonces la reflectancia visible es mayor que la reflexión NIR y el NDVI se vuelve negativo. Por otro lado, el índice de vegetación mejorado (EVI) mejora la señal de vegetación con una sensibilidad mejorada en regiones de alta biomasa y una mejor monitorización de la vegetación a través de un desacoplamiento de la señal de fondo y una reducción de las influencias atmosféricas. EVI se calcula siguiendo esta ecuación:

$$EVI = G \times \frac{NIR - red}{NIR + C1 \times red - C2 \times blue + L} \quad (3)$$

Donde NIR (0,75-1,4  $\mu\text{m}$ ), rojo (0,62-0,75  $\mu\text{m}$ ), azul (0,459-0,479  $\mu\text{m}$ ) se corrigen atmosféricamente o se corrigen parcialmente la atmósfera (Rayleigh y absorción de ozono), L es el ajuste de fondo de la copa que se dirige No lineal, NIR diferencial y transferencia radiante roja a través de un dosel, y C1, C2 son los coeficientes del término de resistencia a aerosol, que utiliza la banda azul para corregir las influencias de aerosol en la banda roja. Los coeficientes adoptados en el algoritmo MODIS-EVI son: L = 1, C1 = 6, C2 = 7,5, y G (factor de ganancia) = 2,5. Considerando que el Índice de Vegetación Diferenciada Normalizada (NDVI) es sensible a la clorofila, el índice de vegetación mejorado (EVI) es más sensible a las variaciones estructurales del dosel, incluyendo el índice de área foliar (IAF), el tipo de dosel, la fisonomía vegetal y la arquitectura del dosel. Los dos índices de vegetación (NDVI y EVI) se complementan en los estudios de vegetación global y mejoran la detección de cambios en la vegetación y la extracción de parámetros biofísicos del dosel (Huete, y otros, 2002, pág. 200).

“Varios estudios han revelado una fuerte correlación negativa entre NDVI y LST, resultante de los efectos de enfriamiento de la transpiración del dosel” (Prihodko & Goward, 1997, pág. 341).

La pendiente entre los índices de vegetación y la LST también se encontró relacionada con el tipo de vegetación y la topografía, así como con la cubierta vegetal” (Nemani, Pierce, Running, & Goward, 1993, pág. 551). La pendiente LST-NDVI se ha utilizado en numerosas aplicaciones asociadas con el balance de agua y energía así mismo estaba relacionada con la disponibilidad de humedad y la resistencia de la copa, indicando el estrés de la vegetación y / o el estrés hídrico del suelo (Gillies y Goetz, 1997, pag.45). Encontraron que la pendiente está inversamente correlacionada con un índice de humedad de los

cultivos. Otros estudios mostraron que la pendiente está relacionada con la tasa de evapotranspiración desde la superficie (Prihodko & Goward, 1997, pág. 338).

Kawashima (1994) Distinguió las diferencias entre los sitios urbanos y suburbanos y las relaciones positivas observadas en una clara noche de invierno como resultado de una mayor densidad de vegetación en el área suburbana que en el área urbana de Tokio. Trabajando a escala continental en África, (Lambin & Ehrlich, 1996) encontraron correlaciones positivas sobre un bosque de hoja perenne y correlaciones negativas sobre los biomas secos. (Smith & Choudhury, 1991), muestran una pendiente positiva para el bosque nativo de hoja perenne en el sur de Australia. Se observó una pendiente negativa en las regiones áridas del sur de Mongolia, mientras que la pendiente fue positiva en la parte norte del país. La distribución global de las relaciones LST y NDVI (EVI) muestra correlaciones negativas sobre las tierras secas y las latitudes medias y correlaciones positivas sobre los trópicos y las latitudes altas (Julien & Sobrino, 2009, pág. 330). En consecuencia, en latitudes altas, el aumento de la LST no debe interpretarse como una señal de estrés vegetativo.

En general, estudios previos sugieren que el signo de la pendiente LST-NDVI (EVI) puede ser gobernado por si el crecimiento de la vegetación es limitado por el agua (pendiente negativa) o limitado por la energía (pendiente positiva). Esta última condición es frecuente en las latitudes altas o en el bosque tropical siempre verde, mientras que la primera puede ocurrir en las latitudes más bajas, especialmente en las tierras secas (Nemani, Pierce, Running, & Goward, 1993, pág. 549) (Lambin & Ehrlich, 1996, pág. 464).

#### **2.4.5. Sensoramiento remoto**

Un problema importante para el avance de las ciencias de la atmósfera radica en la obtención de datos. Cualquier estudio es el experimento de campo o de modelado numérico, es dependiente de la cantidad y de

la calidad de las informaciones medidas. Por lo tanto, para describir cualquier fenómeno atmosférico en cualquier escala se necesita de una extensa y amplia red de medidas meteorológicas con una buena distribución espacial y temporal. El sensoramiento remoto es ampliamente utilizado a partir de datos obtenidos a partir de plataformas remotas lo que permite una amplia disponibilidad de medidas y proporcionar una cobertura espacial y temporal. La técnica del sensoramiento remoto se define por diversos autores, ejemplo. Novo (1989) considera que el proceso por el cual se obtiene informaciones, sobre las propiedades de algún material sin que haya contacto físico directo con los objetos investigados. En este estudio, las plataformas remotas utilizadas fueron dos satélites TERRA Y AQUA. En cuanto a los tipos de órbita, los satélites para fines meteorológicos en general tienen una órbita geoestacionaria o casi polar. Las plataformas orbitales de primer tipo se colocan en la línea ecuatorial, sobre, 36.000 kilómetros de altitud y se mueve con la misma velocidad angular y dirección del movimiento de la tierra, por lo que sus sensores recogen constantemente los datos de la misma zona. Un ejemplo es el satélite GOES (Geostationary Operational Environmental Satellites) (Flores Rojas, Pereira Filho, & Karam, 2016, pág. 28)

En la formación de la imagen de un satélite o sensor realiza el proceso de escaneamiento del objetivo generando líneas de datos con las informaciones capturadas. La resolución de esta imagen está determinada por la resolución del sensor de imagen utilizada, ya que esto establecerá el número de espacios, denominados píxeles, estas líneas están separadas. Esta separación es la unidad de una imagen y cada píxel tiene un valor único, sea de la reflectancia y/o radiancia medido en un tiempo / espacio asociado a los sensores pueden ser separados en activos y pasivos. Los activos emiten energía electromagnética para los objetos terrestres a ser captados y detectan parte de esta energía que es reflejada por ellos en la dirección de estos sensores. Los sensores pasivos funcionan como la detección de la

energía solar reflejada o energía emitida por el objeto (por ejemplo, infrarrojo térmico). Uno de los autores pioneros en la utilización de datos satelitales en el estudio del fenómeno de isla de calor urbano fue Oke. En su trabajo de 1982, el autor dice que la variabilidad espacial y temporal de esta fenómeno crea problemas de muestreo. Además, hay restricciones sobre el uso de los sistemas de observación como torres, globos, radiosondas, para tener una resolución espacial menor que la del fenómeno. Por lo tanto, (Oke T. R., 1978) justifica la aplicación de sensoramiento remoto para el estudio de las islas de calor y obtiene mejores resultados que los obtenidos sin la ayuda de esta herramienta. Además de una gama más amplia de información, el uso de sensoramiento remoto puede ayudar en la planificación urbana a distancia y por lo tanto en la mejora en la calidad de vida en las ciudades, debido a que sus resultados pueden ser utilizados en políticas ambientales para el equilibrio ambiental de los espacios urbanos.

#### **2.4.6. Sensor MODIS**

El sensor MODIS se encuentra a bordo de los satélites TERRA (lanzado en diciembre de 1999) y AQUA (lanzado en mayo de 2002). Hay 14 aplicaciones del sensor MODIS para el monitoreo del territorio. La órbita de ambas plataformas es helio-sincrónica y cuasi-polar con una inclinación de 98.2° y 98° y una altitud media de 708 y 705 km respectivamente. El satélite TERRA está programada para pasar de norte a sur cruzando el ecuador a las 10:30 de la mañana en su órbita descendente, mientras que AQUA pasa de sur a norte sobre el ecuador a las 1:30 de la tarde. Las primeras imágenes captadas por TERRA se obtuvieron en febrero del año 2000. Ambas plataformas monitorean la totalidad de la superficie terrestre cada 1 o 2 días dependiendo de la latitud. (NASA, 2017).

## **CAPÍTULO III**

### **PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO**

#### **3.1 Metodología.**

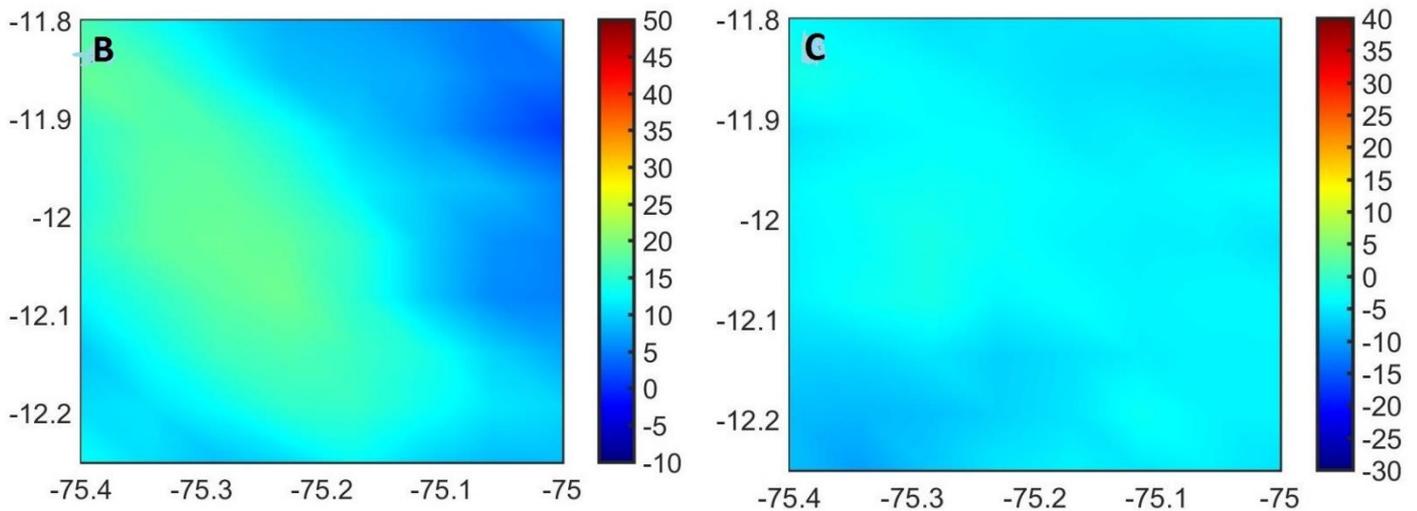
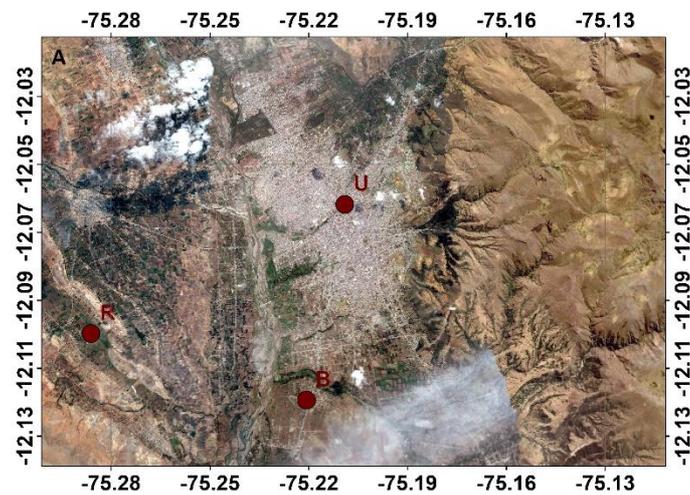
##### **3.1.1 Métodos**

###### ***a) Área de estudio***

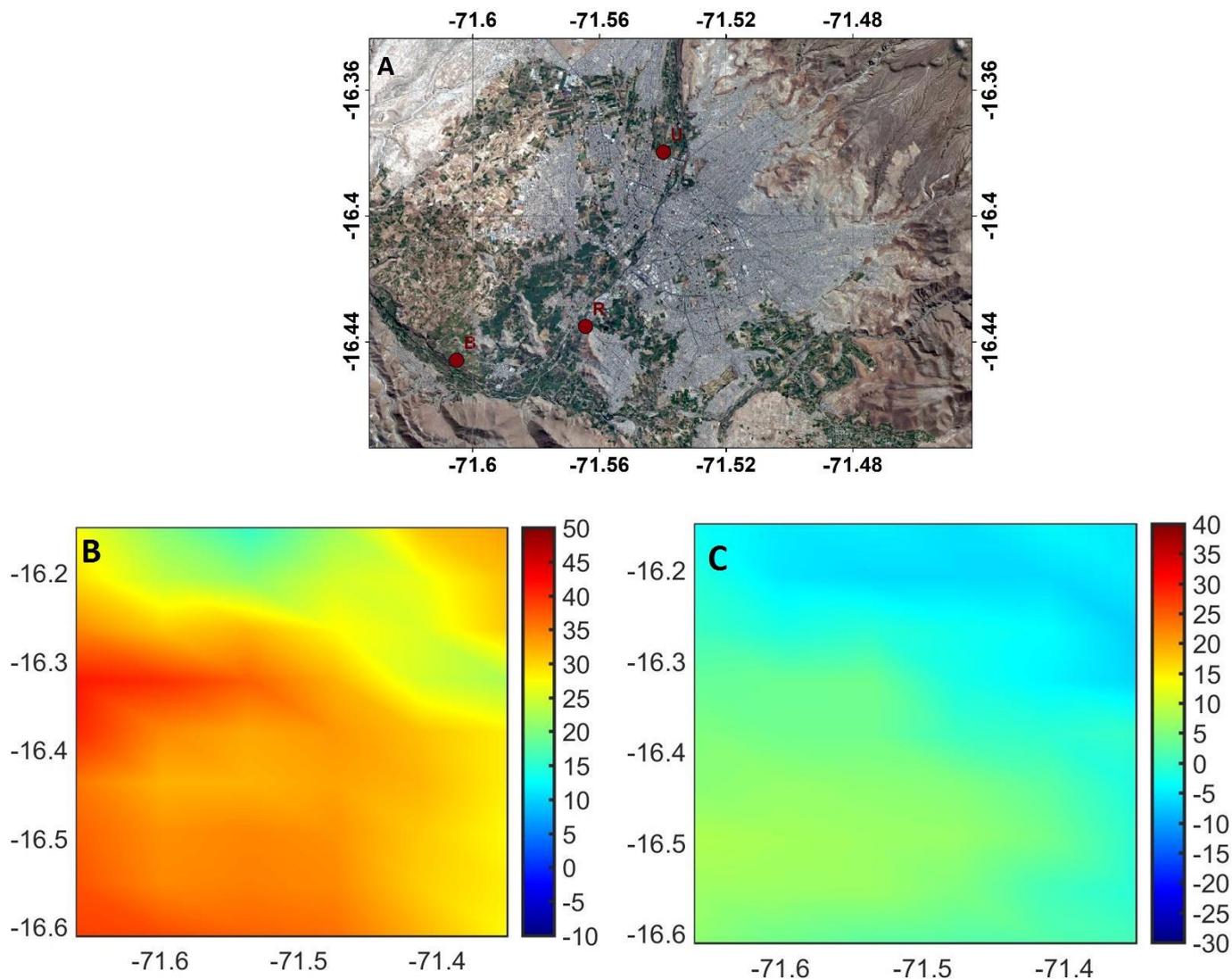
El estudio de la isla de calor urbana se realizó en la provincia de Huancayo (-12.05 latitud Sur, -75.85 Longitud Oeste, altitud 3313msnm), departamento de Junín, Perú. Una ciudad con un precedente histórico tan importante que engloba características constructivas muy diferentes a lo largo de los años y presenta trazados urbanos que se han ido adecuando al crecimiento de la ciudad con el paso del tiempo. En total Huancayo con identidad propia, cada uno con un precedente histórico importante que lo identifica con las características constructivas de sus edificios y la forma del trazado de sus calles. Además, Huancayo posee una gran área verde, pulmón de la ciudad. En la figura se presenta un mapa cartográfico de la provincia de Huancayo. (Figura N 5).



**Figura 5:** Mapa de ubicación. Fuente: *Elaboración Propia*



**Figura 6:** A) El dominio del AMH y B) la media mensual de LST durante el día y C) periodos nocturnos en diciembre 2001.



**Figura 7:** A) El dominio del AMA y B) la media mensual de LST durante el día y C) periodos nocturnos en diciembre 2001.

**b) Datos de teledetección MODIS**

El sensor MODIS se lleva a cabo en los satélites TERRA y AQUA por parte de la NASA lanzado en mayo de 2000. El satélite TERRA proporciona información sobre la superficie de la Tierra en 36 bandas de ondas, incluyendo el infrarrojo cercano y los espectros visibles. TERRA tiene cerca de la órbita polar solar -sincrónica, pasa en vista de cualquier punto en la tierra dos veces al día en aproximadamente 1030 LT y 2230 LT. Los sensores infrarrojos

térmicos (TIR) de MODIS miden las radiaciones de la parte superior de la atmósfera (TOA), de las cuales las temperaturas de brillo pueden ser derivadas usando la ley de Planck (Dousset & Gourmelon, 2003, pág. 48).

Estas temperaturas de brillo difieren de las temperaturas reales de la superficie terrestre (LST) con una diferencia entre 1 y 5 K, debido al ángulo de visión satelital no vertical, la geometría urbana, la variación subpixel de la temperatura superficial, la emisividad variable de la superficie y varios efectos atmosféricos (Dousset & Gourmelon, 2003, pág. 51). Regionalmente representativas, se consideró la rugosidad tridimensional de las superficies urbanas, dependiente de las imágenes de satélite (Voogt & Oke, Thermal remote sensing of urban climates, 2003, pág. 373).

El producto MOD11 contiene nivel 2 y 3 LST y emisividad recuperada de datos MODIS en resoluciones espaciales de 1 km y 5 km sobre superficies terrestres globales bajo condiciones de cielo despejado. En el presente estudio se utilizaron los datos MODIS (MOD11A2) de nivel 3 de la superficie terrestre global MODIS (MOD11A2), que se componen del producto diario LST de 1 kilómetro (MOD11A1) y se almacenan en una rejilla sinusoidal de 1 kilómetro como valores medios de LST de cielo claro durante un período de 8 días. A continuación, se realizó un promedio mensual y se amplió hasta una resolución de 5,6 km, para analizar los efectos del reescalamiento en los patrones estadísticos de LST y luego comparar con el producto CM11 Global de MOD11C3, que es un promedio mensual compuesto, Derivado del producto global diario MOD11C1. Estos datos se almacenan como valores LST de cielo despejado durante un período de meses a una resolución de 0,05° (5600 m).

Con el objetivo de separar las áreas urbanas y rurales, se utilizó el producto MODIS MCD12C1 con una resolución de 0.05° para clasificar la superficie terrestre de acuerdo con el proyecto de la

Geosfera-Biosfera (IGBP) Este tipo de cobertura primaria identifica 17 clases de cobertura terrestre definidas por el IGBP, que incluye 11 clases de vegetación natural, 3 clases de tierras desarrolladas y en mosaico y 3 clases de tierras no vegetadas. En esta categorización, se ha obtenido una categoría urbana a partir de las observaciones de MODIS versión 4 (Snheider, Friedl, McIver, & Woodcock, 2002, pág. 1380).

#### **c) Estimación de SUHI (método cuantiles)**

En contraste con el método desarrollado por (Streutker, 2002) para estimar la intensidad de SUHI, el presente método se basa en un análisis estadístico cuantil de LST urbano y rural separado por enmascaramiento de áreas urbanas usando el producto MODIS Land Cover Type (MCD12C1) a 5 Km de resolución. Agrupados mensualmente (cada 8 días) por el sensor MODIS los datos de LST (MOD11A2) de 1 km de resolución, donde se reescala a 5 km de resolución, para separar los píxeles urbanos y rurales.

Con base en el análisis estadístico, se propuso la siguiente fórmula con el fin de estimar la intensidad SUHI para una resolución de 5 km (Flores Rojas, Pereira Filho, & Karam, 2016, pág. 47).

$$SUHI\ intensity = Q5^{urban} - Q3^{rural} \quad (4)$$

#### **d) Estimación de SUHI (método de Streutker)**

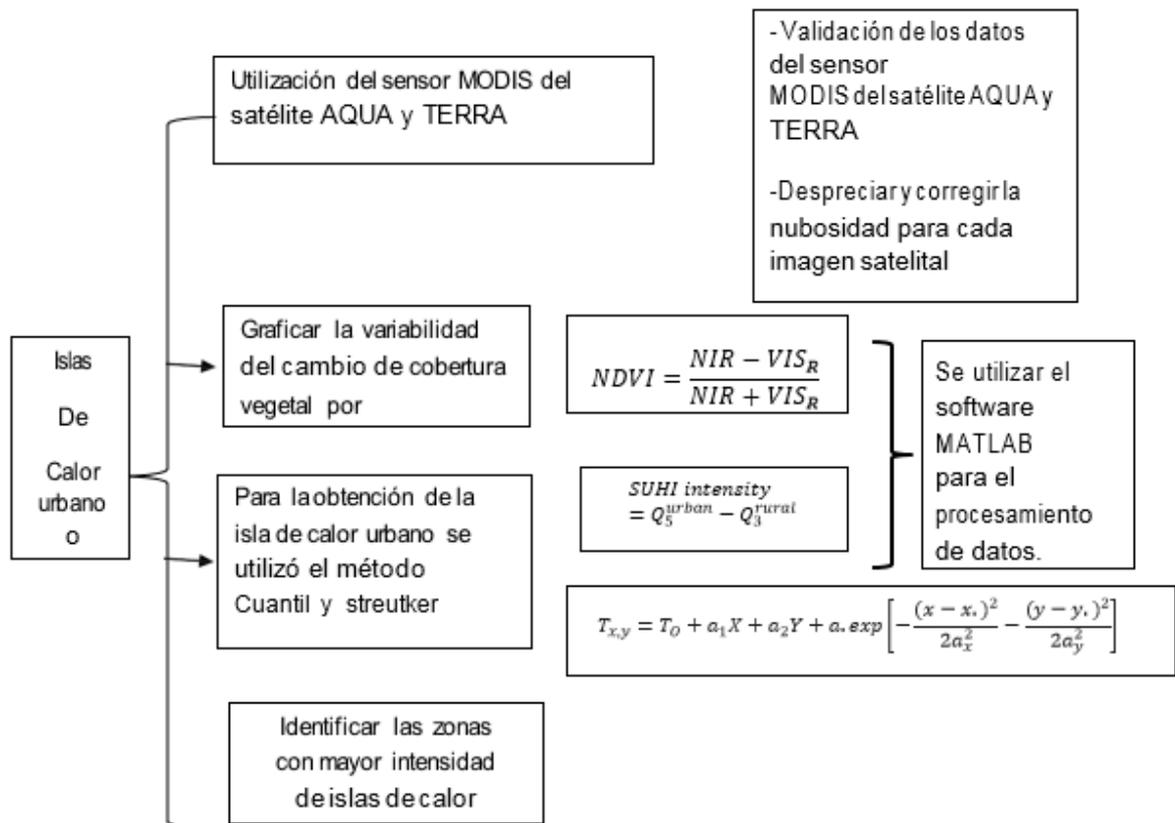
Streutker (2002), propuso uno de los métodos más sencillos para comparar las características de un conjunto de mediciones individuales de UHIs. El método es formalmente una distribución gaussiana de la distribución espacial de las intensidades UHI y su propósito es caracterizar la UHI completa en magnitud y extensión espacial sin el uso de mediciones in situ. Este método es adecuado para estudios comparativos de SUHIs para varias ciudades debido a que la cantidad estimada no es la temperatura absoluta, sino la diferencia en la temperatura simultánea entre las zonas urbanas y rurales. Este

procedimiento de diferenciación elimina parcialmente las influencias de las condiciones meteorológicas locales y otras fuentes de error (Hung et al., 2006). La técnica emplea un tamaño mínimo cuadrado de toda la isla de calor en una superficie gaussiana de la forma:

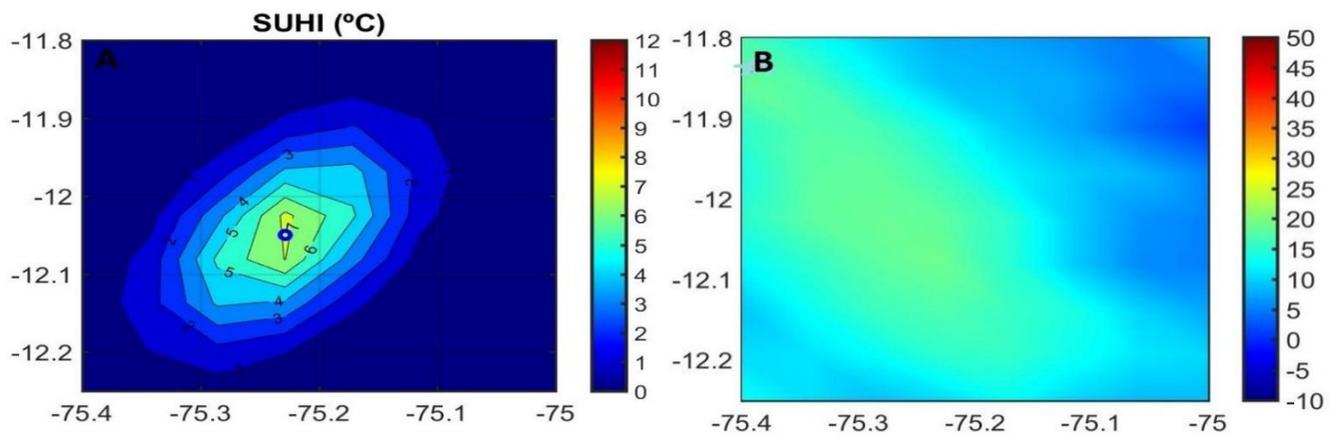
$$T_{x,y} = T_0 + a_1X + a_2Y + a \cdot \exp \left[ -\frac{(x - x_0)^2}{2a_x^2} - \frac{(y - y_0)^2}{2a_y^2} \right] \quad (5)$$

Donde T (x, y) es la temperatura superficial total, incluyendo píxeles urbanos y rurales. A, a1 y a2 son los componentes constantes y lineales de la temperatura rural, respectivamente. Estos valores fueron obtenidos por cuadrados mínimos planar del LST rural. (Figura N 9)

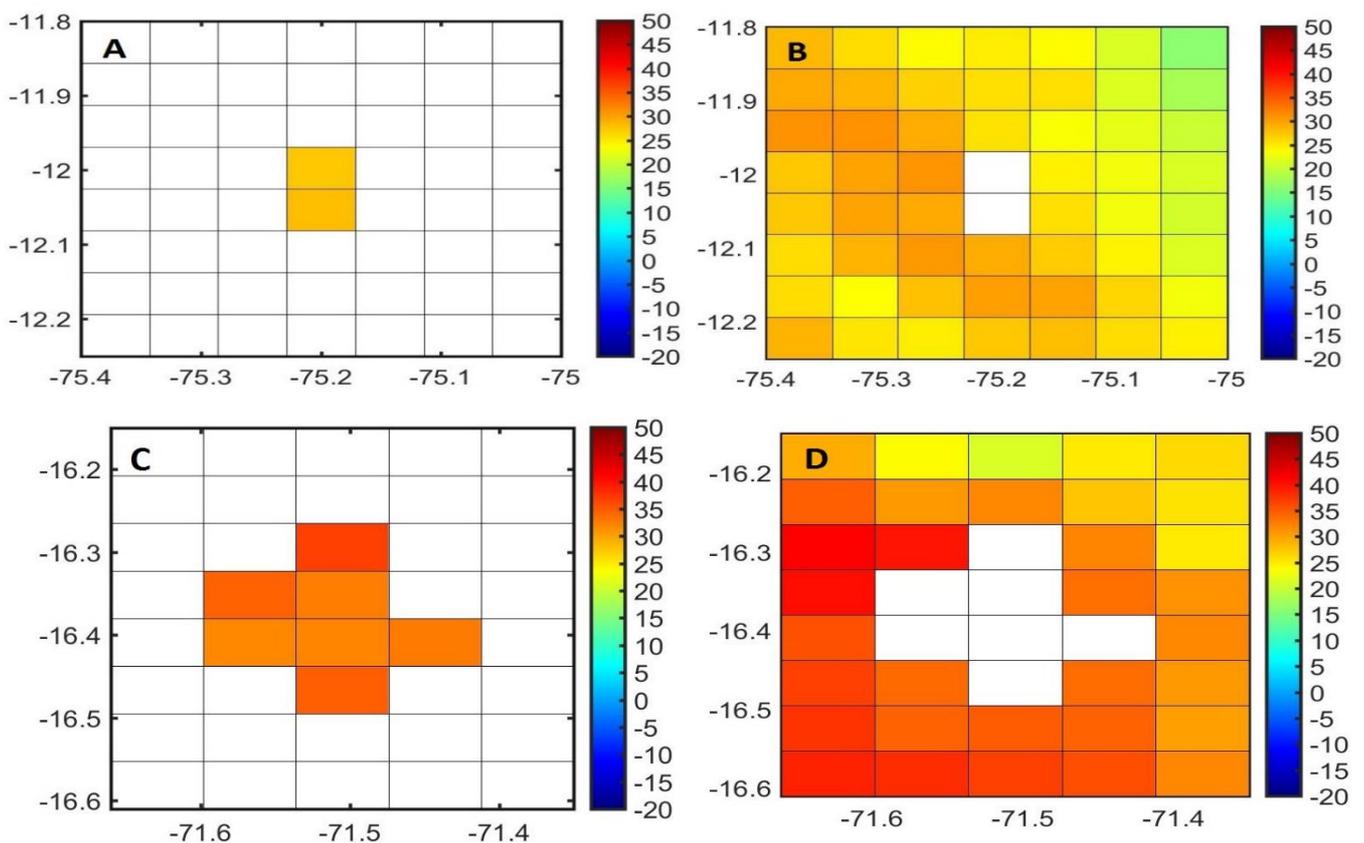
**Tabla 2:** Diagrama de la Metodología propuesta.



Fuente: Elaboración propia.



**Figura 8:** A) Interpolación planar Least – Squares para la LST rural en 2 dimensiones, B) LST del AMH.



**Figura 9:** A) Media mensual diurna de LST (5km de resolución) bajo el área urbana del AMH, B) Media mensual diurna LST del área rural del AMH para octubre 2001, C) Media mensual diurna de LST (5km de resolución) bajo el área urbana del AMA, y D) Media mensual diurna LST del área rural del AMA para enero 2001.

### 3.1.2 Tipo de Investigación

Según (Hernandez, Fernandez, & Bautista, 2010) la presente investigación es de tipo Aplicada.

### 3.1.3 Nivel de Investigación

Según (Hernandez, Fernandez, & Bautista, 2010) la presente investigación es de nivel Descriptivo y Explicativo.

## 3.2 Diseño de la Investigación

Según (Hernandez, Fernandez, & Bautista, 2010) el diseño de la presente investigación es Descriptivo Correlacional simple.

**Tabla 3:** *Diseño de la Investigación.*

M	Ox	Islas de calor Urbano método cuantiles, temperatura superficial.
	R	Relación entre las dos variables
	Oy	Isla de calor urbano método de Streutker, índice de vegetación

Fuente: Elaboración Propia

## 3.3 Variables

### 3.3.1. Variable independiente

Islas de calor: Es el cambio de cobertura vegetal de la superficie por las construcciones de urbanización por lo tanto la temperatura se ve influenciada por las alteraciones que ocurren en la superficie terrestre lo cual es uno de los principales parámetros en los procesos físicos resultantes de todas las interacciones de los flujos de energía entre la superficie y la atmósfera. (Pezzini, 2011)

### 3.3.2. Variable dependiente

Temperatura superficial: Es la temperatura del aire alcanzada en un lugar en un día (máxima diaria), en un mes (máxima mensual) o en un año (máxima anual). También puede referirse a la temperatura máxima registrada en un lugar durante mucho tiempo (máxima absoluta). En

condiciones normales, y sin tener en cuenta otros elementos del clima, las temperaturas máximas diarias se alcanzan en las primeras horas de la tarde; las máximas mensuales suelen alcanzarse durante julio o agosto en la zona templada del hemisferio norte y en enero o febrero en el hemisferio sur. (Pezzini, 2011)

### **3.4 Cobertura del Estudio**

#### **3.4.1. Universo**

Se tomó datos del sensor MODIS de los satélites AQUA TERRA para la provincia de Huancayo durante el periodo 2001-2017.

#### **3.4.2. Población**

Se tomó datos del sensor MODIS de los satélites AQUA TERRA para la provincia de Huancayo durante el periodo 2001-2017 obteniendo datos mensuales.

#### **3.4.3. Muestra**

Se tomó datos del sensor MODIS de los satélites AQUA TERRA para la provincia de Huancayo durante el periodo 2001-2017 obteniendo datos mensuales, sin cobertura de nubes.

#### **3.4.4. Muestreo**

Se descargó del portal <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/> los datos de temperatura superficial diurno y nocturno utilizándose el software HDFview para la manipulación de datos y el software Matlab para el procesamiento de datos.

### **3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de información**

#### **3.5.1. Técnicas de la Investigación**

##### **➤ Análisis de correlación**

Para observar si existe alguna dependencia entre las islas de calor urbano y la temperatura superficial en la provincia de Huancayo donde se realizó análisis de correlación y regresión

#### **3.5.2. Instrumentos de la investigación**

##### **➤ Sensor MODIS del satélite AQUA TERRA**

El radiómetro MODIS (Advanced Very High Resolution Radiometer) fue diseñado para la observación meteorológica (determinación de

cobertura de nubes y temperatura de la superficie), pero posteriormente los datos que suministra han encontrado numerosas aplicaciones en el campo de la Observación de la Tierra, lo que ha llevado a convertir al sensor MODIS en una de las fuentes de datos de Teledetección más utilizadas.

Su escáner tiene un barrido de banda ancha, capaz de medir radiación en diferentes zonas del espectro electromagnético. Al obtener una misma imagen en diferentes longitudes de onda se puede hacer un análisis multiespectral para definir con gran precisión parámetros hidrológicos, oceanográficos y meteorológicos. La representación gráfica de la matriz de correlación es una línea recta diagonal en los ejes cartesianos en los que las abscisas son las variables y los coeficientes son una nube de puntos. El test, que está empleando un coeficiente de correlación o asociación, no es inferencial o predictor, ya que es no-paramétrico o libre de probabilidad, y es descriptivo, no causal. Un test del nivel significativo de los coeficientes de correlación valida la prueba. (NASA, 2017).

### **3.5.3. Fuentes**

Las fuentes que se utilizó para la presente investigación son: Artículos científicos publicados en base SCOPUS, Scielo, tesis nacionales e internacionales.

## **3.6. Procesamiento estadístico de la información**

### **3.6.1. Estadísticos**

Se utilizó la estadística descriptiva (media, mediana) para determinar el promedio mensual, anual y estacional de la ICU e TS. Asimismo se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson entre ICU e TS

### **3.6.2. Representación**

La representación de las variables se utilizó el software Matlab para visualizar la variación temporal (mensual, anual, estacional) y variación espacial de la TS para comparar los pixeles de zonas urbanas y rurales.

### 3.6.3. Técnica de comprobación de la hipótesis

Prueba de Z, como en la ecuación 6.

$H_0: p > 0.8$  (correlación)

$H_a: p < 0.8$

Margen de confianza: 95%

Grados de libertad; N-2

$$Z = \frac{r_{xy} - 0.8}{\sqrt{\frac{1 - r_{xy}^2}{N - 2}}} \quad (6)$$

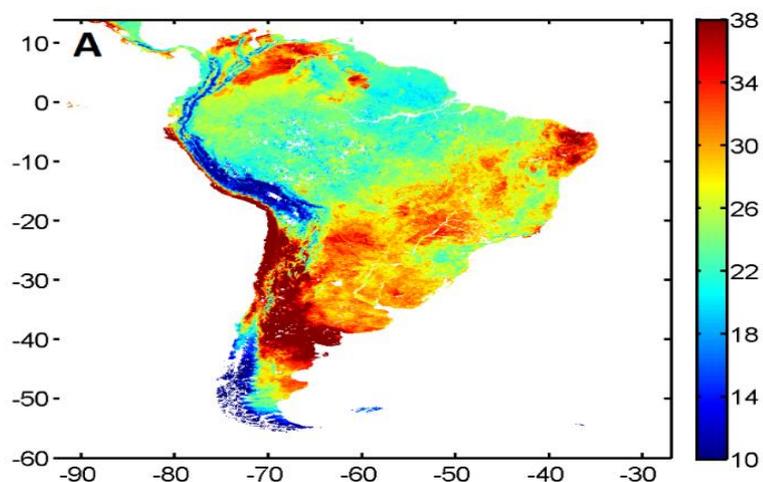
## CAPÍTULO IV

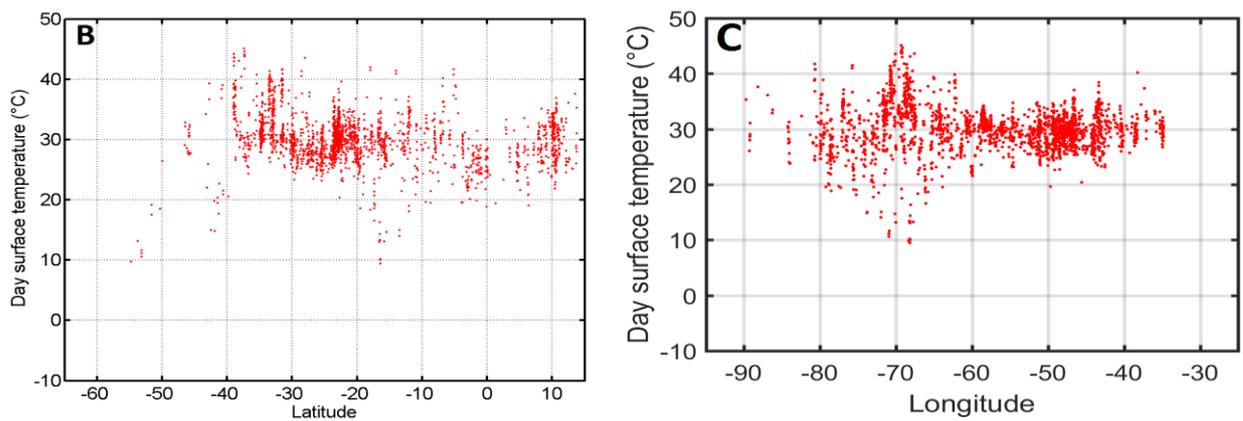
### ORGANIZACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1. Resultados

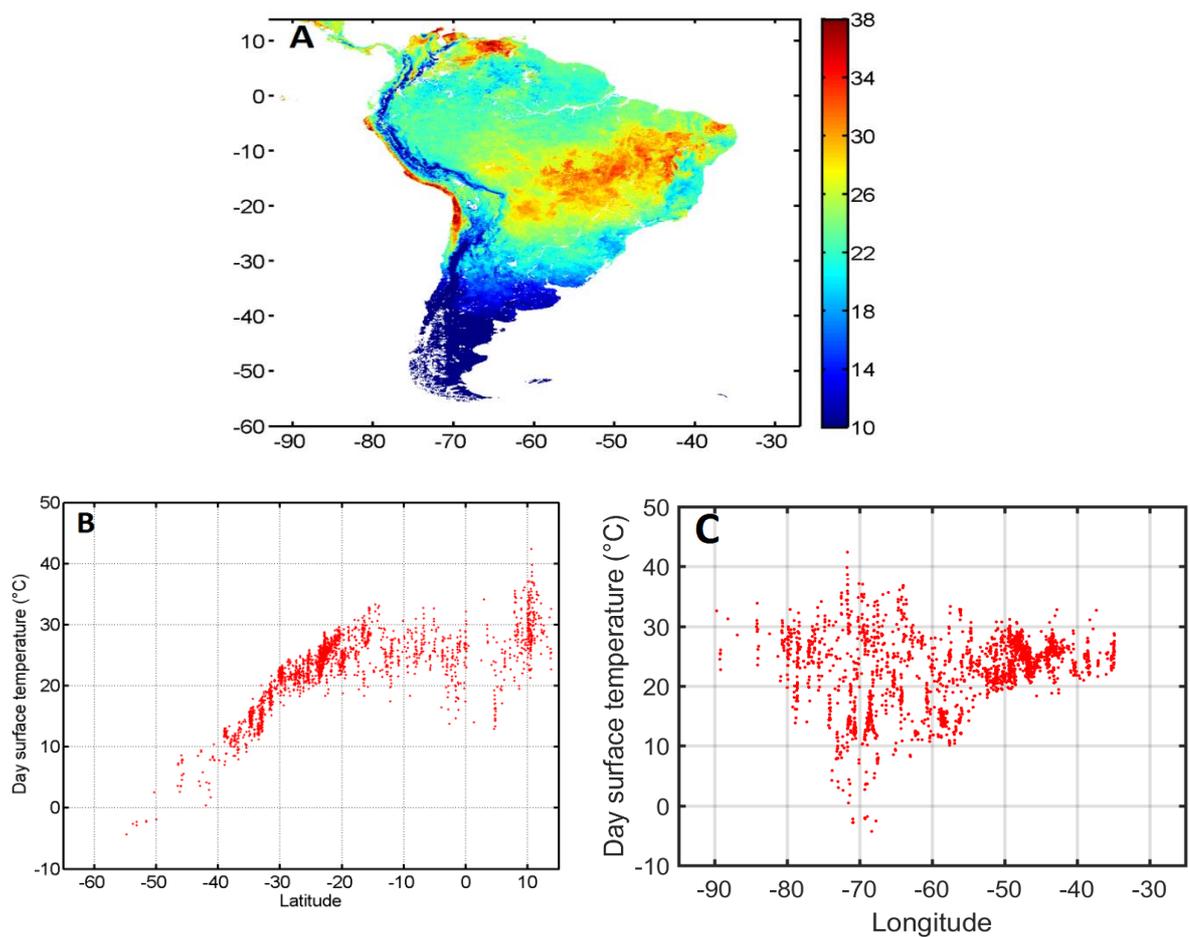
##### 4.1.1. Patrones espaciales y variaciones temporales de LST

La Fig. 10A muestra la distribución espacial de la media mensual diaria LST sobre Sudamérica para enero de 2001 (temporada de verano) obtenida del producto MODIS LST (MOD11C1) con resolución de 0,05°. Para este mes, las regiones de mayor LST se localizan alrededor de 40°S de latitud sobre la región sur de Argentina con temperaturas cercanas a los 42 °C y sobre región noreste de Brasil alrededor de los 5 °S de latitud con temperaturas cercanas a los 38 °C.





**Figura 10:** A) distribución espacial del medio mensual diurno LST de América del Sur para enero 2001 con una resolución de  $0.05^0 \times 0.05^0$  B) variación diurna del LST urbano de latitud, C) longitud.



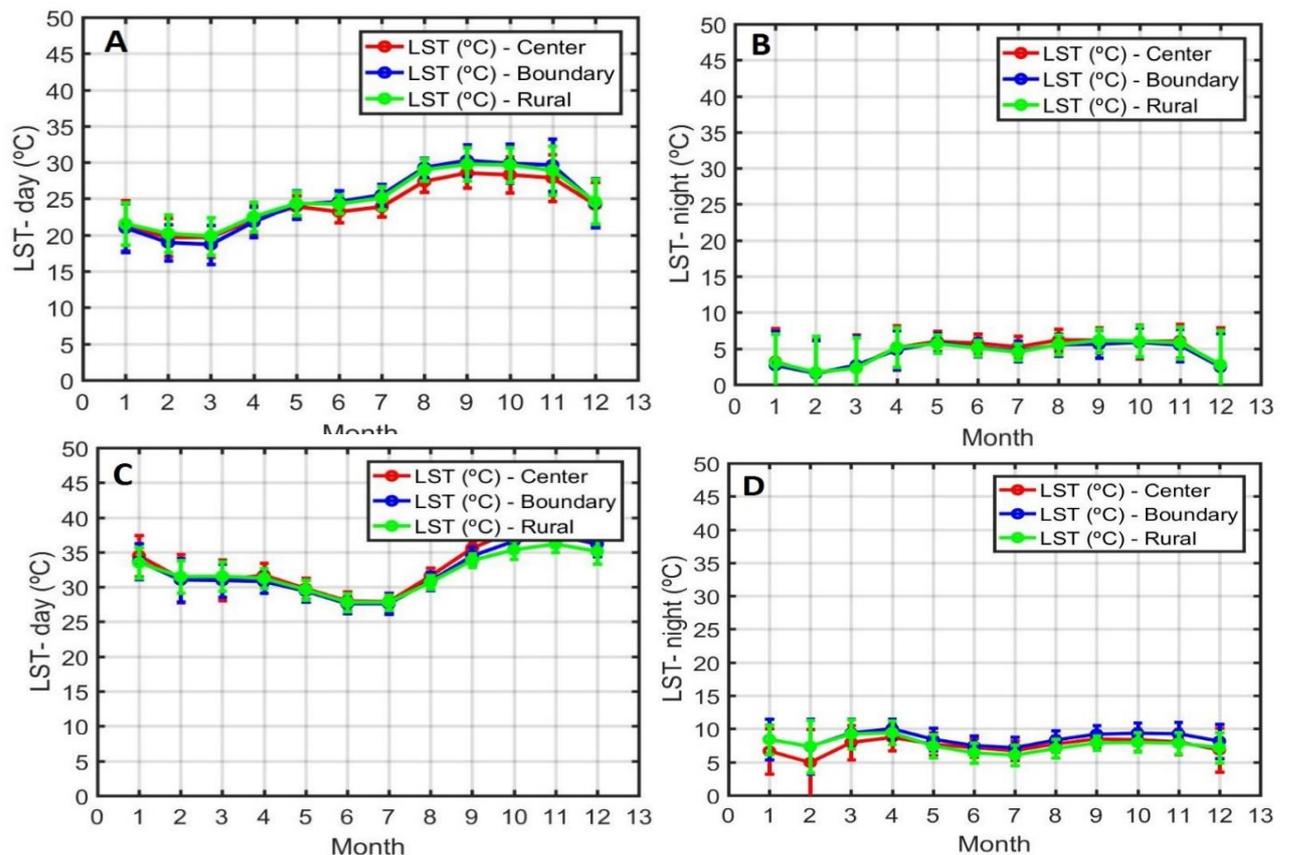
**Figura 11:** A) distribución espacial del medio mensual diurno LST de América del Sur para junio 2001 con una resolución de  $0.05^0 \times 0.05^0$  B) variación diurna del LST urbano de latitud, C) longitud.

#### 4.1.2 Isla de calor urbano superficial

Los resultados para las magnitudes de SUHI diurnas a largo plazo (2001-2016) y las extensiones espaciales para todos los meses sobre el AMH y AMA usando el método de Streutker, se presentan en la Tabla 4 y 5. La SUHI para el AMH, el valor más alto para el periodo diurno ocurrió en marzo (7.28 C) y se observó la SUHI más baja en julio (3.10 C). El área máxima de la huella se produjo en setiembre (928.4 km<sup>2</sup>) y mínimo en diciembre (48.39 km<sup>2</sup>). La tabla 4 también muestra el coeficiente de correlación (R-cuadrado) del ajuste de Gauss, con valores alrededor de 0.25 para el mes de marzo. Estos resultados destacan la variación estacional de la SUHI y las extensiones espaciales. Asimismo, el SUHI para el AMA, el valor más alto para el periodo diurno ocurrió en febrero (3.69 C) y se observó la SUHI más baja en noviembre (0.64 C). El área máxima de la huella se produjo en setiembre (3061.3 km<sup>2</sup>) y mínimo en diciembre (64.1 km<sup>2</sup>). La tabla 3 también muestra el coeficiente de correlación (R-cuadrado) del ajuste de Gauss, con valores alrededor de 0.16 para el mes de febrero.

Con el fin de mostrar variaciones estacionales de la SUHI del AMH y AMA, la figura 14 presenta la evolución del LST (día y noche) para 3 diferentes localizaciones: urbano, frontera y rural. Estos gráficos muestran los valores promedios a largo plazo (2001-2016) y las desviaciones estándar de LST para las 3 localizaciones. La evolución temporal de LST para el periodo diurno (Figura 12 A Y 12 C) muestra un bien marcado variación estacional para el AMH y AMA respectivamente, con amplitudes más altas en la ubicación central urbana y menor en zonas rurales. La LST del AMH máxima se observa en setiembre para el centro urbano (30 C), frontera (30 C) y rural (25 C). Los valores del promedio mínimo se observan en marzo para todas las ubicaciones, centro urbano (20 C), frontera (19 C) y rural (15 C). En el periodo de la noche, la evolución temporal de LST (Figura 12B) muestra una variación estacional con

amplitudes similares para todas las ubicaciones, con valores máximos en mayo para central urbano (6 C), frontera (6 C) y rural (4 C). Los valores de promedio mínimo se observan en febrero para el centro urbano (2 C), frontera (1 C) y rural (1 C). La LST del AMA máxima se observa en noviembre para el centro urbano (39 C), frontera (37 C) y rural (35 C). Los valores del promedio mínimo se observan en julio para todas las ubicaciones, centro urbano (27 C), frontera (27 C) y rural (26 C). En el periodo de la noche, la evolución temporal de LST (Figura 12D) muestra una variación estacional con amplitudes similares para todas las ubicaciones, con valores máximos en abril para central urbano (10 C), frontera (9 C) y rural (7 C). Los valores de promedio mínimo se observan en febrero para el centro urbano (5 C), frontera (8 C) y rural (7 C).

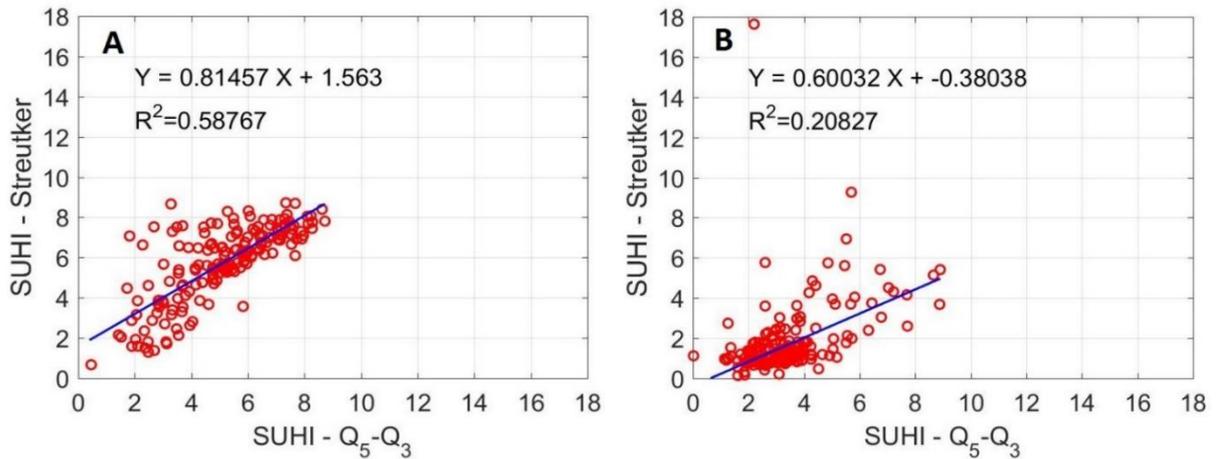


**Figura 12:** A) Evolución mensual del LST para periodo diurno y B) periodo nocturno del AMH, C) Evolución mensual del LST para el periodo diurno y D) periodo nocturno del AMA del centro urbano (líneas rojas), frontera (línea azul) y rural (línea verde).

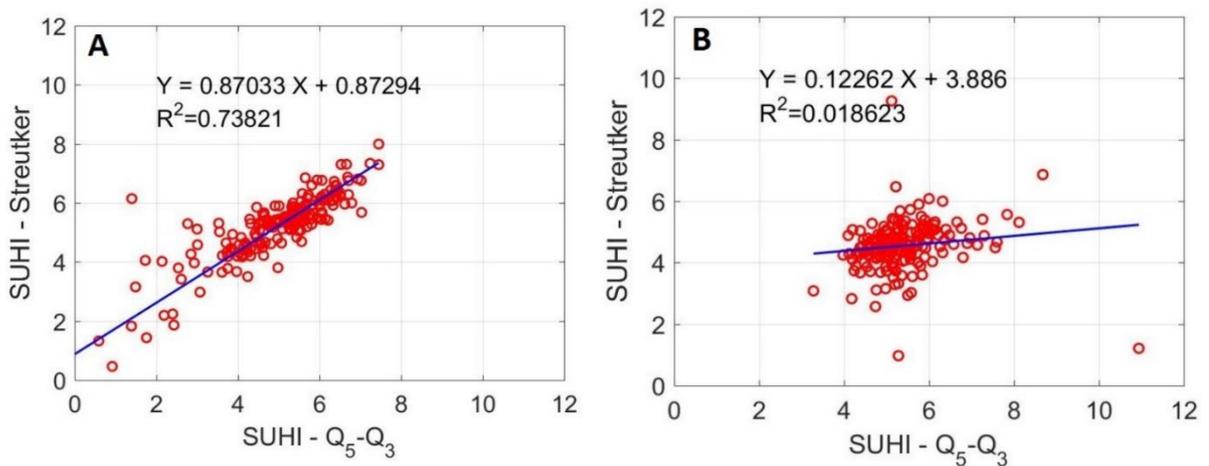
#### 4.1.3 Intensidad de la SUHI diurno y nocturno

La figura 13 A, B muestra el diagrama de dispersión entre ambos métodos por todos los meses para el AMH y AMA. Para el AMH la pendiente de la línea recta que se ajusta a los datos es igual a 0.81, la intersección es igual a 1.15 y el índice de correlación es igual a 0.58. Este comportamiento se puede observar en la figura 15 A, que muestra la comparación entre la evolución del tiempo de la SUHI con las desviaciones estándar utilizando Streutker y método cuantiles. Asimismo, en la figura 14 A para el periodo nocturno, la pendiente de la línea recta que se ajusta a los datos es igual a 0.87, la intersección es igual a 0.87 y el índice de correlación es igual a 0.73 y en la figura 18 A se compara entre la evolución del tiempo de la SUHI con las desviaciones estándar utilizando Streutker y método cuantiles.

No obstante, para el AMA en la figura N 13 B, la pendiente de la línea recta que se ajusta a los datos es igual a 0.60, la intersección es igual a -0.38 y el índice de correlación es igual a 0.20. Este comportamiento se puede observar en la figura 15 B, que muestra la comparación entre la evolución del tiempo de la SUHI con las desviaciones estándar utilizando Streutker y método cuantiles. Asimismo, en la figura 14 B para el periodo nocturno, la pendiente de la línea recta que se ajusta a los datos es igual a 0.12, la intersección es igual a 3.8 y el índice de correlación es igual a 0.02 y en la figura 16 B se compara entre la evolución del tiempo de la SUHI con las desviaciones estándar utilizando Streutker y método cuantiles.



**Figura 13:** A) Scatterplot del SUHI en periodos diurno, obtenido con el método de Streutker's vs SUHI con la diferencia de cuantiles  $Q_{5urban}-Q_{3rural}$  para el AMH, y B) AMA.



**Figura 14:** A) Scatterplot del SUHI en periodos nocturno, obtenido con el método de Streutker's vs SUHI con la diferencia de cuantiles  $Q_{5urban}-Q_{3rural}$ , para el AMH y B) AMA.

Para el AMH, los resultados que utilizan el método estadístico de cuantiles en periodos diurnos son que se muestra en la Tabla 6. El valor más alto del cuantil ( $Q_5$ ) para LST urbano se observó en setiembre (28.87 C) y el más bajo en marzo (19.67 C). El valor máximo de LST rural medio ( $Q_3$ ) se observó en agosto (24.74 C) y mínimo en marzo (12.73 C). La SUHI diurna obtenido con la

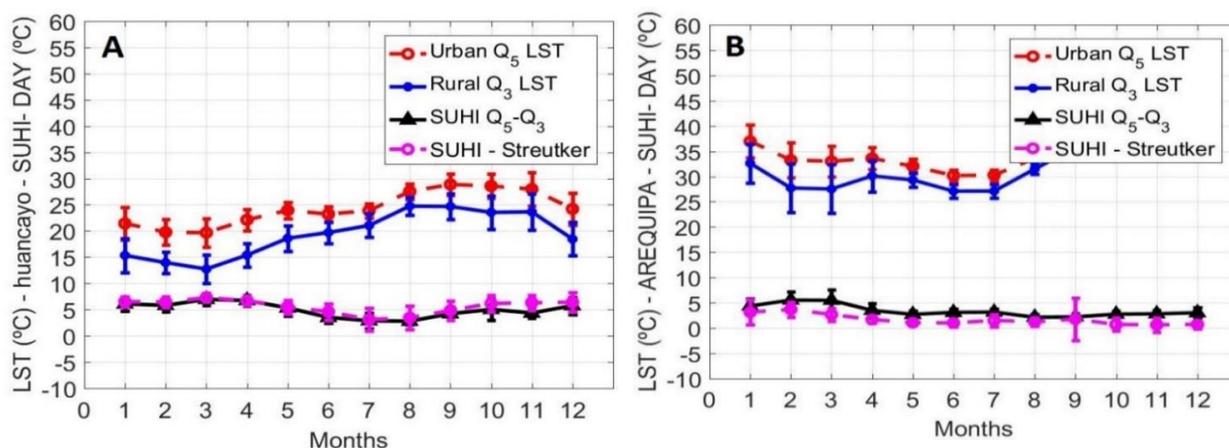
ecuación 2, muestra los valores máximos en marzo (6.94 C) y valores mínimos en agosto (2.79 C). Comparando los resultados de las SUHI usando ambos métodos (Tablas 4 y 6), se observa un alto nivel de acuerdo entre ellos.

Durante el periodo nocturno, la LST rural media cae significativamente para el cuantil 0.95 ( $Q_5$ ) del área urbana y la mediana ( $Q_3$ ) del área rural para el AMH (Figura 16A). Para el AMH, los resultados usando el método estadístico de cuantiles en los periodos nocturnos se muestra en la tabla 8. El valor más alto del cuantil ( $Q_5$ ) para LST urbano se observó en agosto (6.18 C) y el más bajo en febrero (2.51 C). El valor máximo de mediana LST rural ( $Q_3$ ), se observó en mayo (1.18 C) y el mínimo en febrero (-1.55 C). Las SUHI nocturnas obtenidas con el Ecuación 2, presente valores máximos en agosto (6.06 C) y valores mínimos en marzo (3.76 C). Se muestran en la figura 15A en contraste con el caso diurno, se observa que la intensidad de SUHI nocturna es menor.

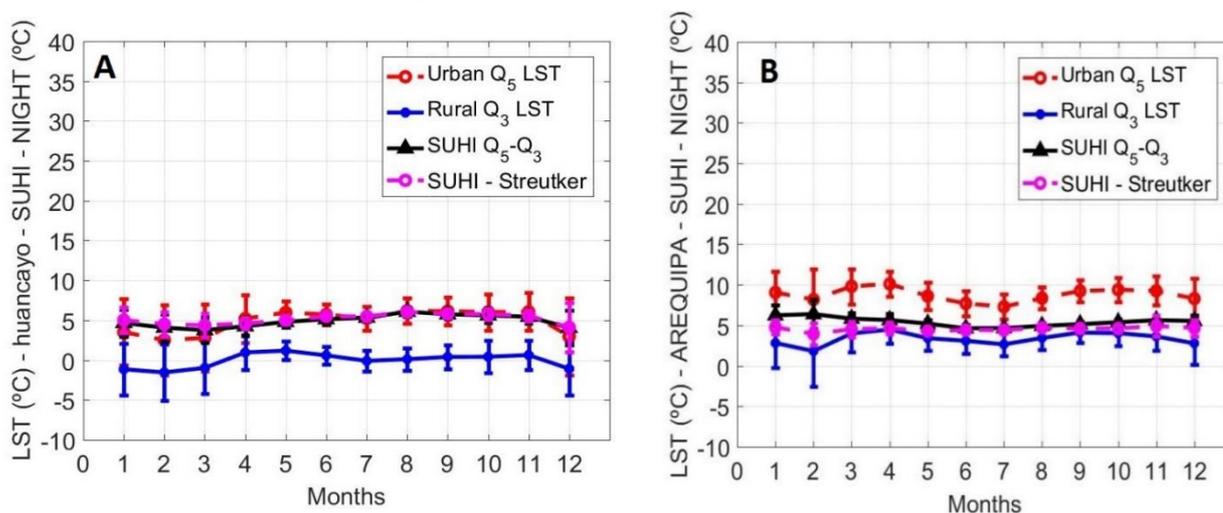
Asimismo, para el AMA, los resultados que utilizan el método estadístico de cuantiles en periodos diurnos son que se muestra en la Tabla 7. El valor más alto del cuantil ( $Q_5$ ) para LST urbano se observó en noviembre (41.87 C) y el más bajo en junio (30.20 C). El valor máximo de LST rural medio ( $Q_3$ ) se observó en noviembre (39.06 C) y mínimo en junio (27.10 C). La SUHI diurnas obtenido con la ecuación 2, muestra los valores máximos en febrero (5.54 C) y valores mínimos en agosto (2.14 C). Comparando los resultados de las SUHI usando ambos métodos (Tablas 5 y 7), se observa un alto nivel de acuerdo entre ellos.

Durante el periodo nocturno, la LST rural media cae significativamente para el cuantil 0.95 ( $Q_5$ ) del área urbana y la mediana ( $Q_3$ ) del área rural para el AMA (Figura 16B). Para el AMA, los resultados usando el método estadístico de cuantiles en los periodos nocturnos se muestra en la tabla 9. El valor más alto del cuantil ( $Q_5$ ) para LST urbano se observó en abril (10.11 C) y el más

bajo en febrero (8.18 C). El valor máximo de mediana LST rural (Q3), se observó en abril (4.47 C) y el mínimo en febrero (1.80 C). Las SUHI nocturnas obtenidas con el Ecuación 2, presente valores máximos en febrero (6.38 C) y valores mínimos en junio (4.62 C). Se muestran en la figura 15B en contraste con el caso diurno, se observa que la intensidad de SUHI nocturna es menor.



**Figura 15:** A) Evolución temporal de 2001-2016, media mensual diurno LST ( C) con desviación estándar para periodo diurno de LST urbano (Q<sub>5</sub>) rural LST (Q<sub>3</sub>), intensidad del SUHI (C), para el AMH y B) AMA.



**Figura 16:** A) Evolución temporal de 2001-2016, media mensual nocturno LST (C) con desviación estándar para periodo diurno de LST urbano (Q<sub>5</sub>) rural LST (Q<sub>3</sub>), intensidad del SUHI (C) para el AMH y B) AMA.

**Tabla 4:** Media Diurna de la SUHI y extensión espacial con desviación estándar para el AMH usando el método desarrollado por Streutker (2002) del periodo 2001-2016. La tabla muestra: Temperatura media para área rural  $T_0$  (C), magnitud del SUHI:  $A_0$  (C), extensión longitudinal:  $a_x^1(km)$ , extensión latitudinal:  $a_y^1(km)$ , Footprint área ( $km^2$ ) y R-Square del ajuste.

<b>Meses</b>	<b><math>T_{rural}</math> (C)</b>	<b><math>A_0</math> (C)</b>	<b><math>a_x^1(km)</math></b>	<b><math>a_y^1(km)</math>,</b>	<b>Área Footprint (km<sup>2</sup>)</b>	<b><math>R^2</math></b>
<b>Enero</b>	15.76±3.04	6.52±0.93	6.14±4.26	9.28±2	52.03±44.2	0.22
<b>Febrero</b>	14.19±2.04	6.43±1.04	7.13±0.89	8.68±1.54	61.92±12.5	0.23
<b>Marzo</b>	13.23±2.62	7.28±0.77	7.56±1.4	7.87±2.07	57.34±13.3	0.25
<b>Abril</b>	16.19±1.99	6.68±0.87	6.32±0.54	8.94±1.53	56.09±8.1	0.22
<b>Mayo</b>	19.21±2.42	5.48±1.24	6.72±0.83	19.37±38.83	125.18±244.6	0.18
<b>Junio</b>	20.41±1.97	4.59±1.57	5.71±3.79	17.83±37.93	116.76±289.9	0.15
<b>Julio</b>	21.73±2.28	3.10±2.21	5.81±11.6	20.14±29.87	88.85±234	0.14
<b>Agosto</b>	25.31±1.77	3.44±2.26	5.36±5.6	96.74±105.22	721.85±842.5	0.14
<b>Setiembre</b>	25.06±2.34	4.83±1.81	7.37±0.97	121.89±145.9	928.41±1095.6	0.17
<b>Octubre</b>	23.87±2.87	6.17±1.61	3.91±6.36	36.81±63.88	172.46±479.4	0.20
<b>Noviembre</b>	23.85±3.3	6.31±1.45	7.31±1.3	19.21±42.91	136.86±297.9	0.17
<b>Diciembre</b>	18.68±3.17	6.41±1.81	5.83±5.18	9.22±1.56	48.39±58.4	0.20

**Tabla 5:** Media Diurna de la SUHI y extensión espacial con desviación estándar para el AMA usando el método desarrollado por Streutker (2002) del periodo 2001-2016. La tabla muestra: Temperatura media para área rural  $T_0$  (C), magnitud del SUHI:  $A_0$ (C), extensión longitudinal:  $a_x^1$ (km), extensión latitudinal:  $a_y^1$ (km), Footprint área ( $\text{km}^2$ ) y R-Square del ajuste.

<b>Meses</b>	<b><math>T_{\text{rural}}</math> (C)</b>	<b><math>A_0</math> (C)</b>	<b><math>a_x^1</math>(km)</b>	<b><math>a_y^1</math>(km),</b>	<b>Area Footprint (km<sup>2</sup>)</b>	<b><math>R^2</math></b>
<b>Enero</b>	32.91±3.47	3.14±2.52	11.65±190.09	7.01±6.04	179.4±1714	0.13
<b>Febrero</b>	28.51±4.29	3.69±1.48	29.90±60.5	8.91±1.26	284.7±498	0.16
<b>Marzo</b>	28.60±3.81	2.69±1.28	22.45±40.47	9.07±5.6	349.2±256	0.11
<b>Abril</b>	30.43±2.26	1.69±0.76	21.82±16.65	9.28±2.04	185.6±158	0.08
<b>Mayo</b>	29.23±1.1	1.06±0.36	8.57±23.66	4.80±7.18	117.3±93	0.04
<b>Junio</b>	27.13±1.07	1.02±0.68	4.09±55.35	5.22±7.2	300.2±544	0.05
<b>Julio</b>	26.89±1.14	1.51±1.18	26.06±19.65	8.08±1.02	224.8±194	0.06
<b>Agosto</b>	31.01±0.86	1.23±0.83	55.95±153.8	3.75±6.17	406.5±878	0.03
<b>Setiembre</b>	35.39±0.83	1.77±4.19	56.71±239.65	6.78±17.91	3061.3±127	0.04
<b>Octubre</b>	38.18±1.09	0.71±1.27	17.68±41.49	8.02±9.66	49.3±169	0.05
<b>Noviembre</b>	39.09±0.76	0.64±1.43	20.44±33.95	8.68±5.34	65.5±254	0.07
<b>Diciembre</b>	37.21±1.66	0.74±0.83	9.76±33.59	10.85±13.07	64.1±278	0.06

**Tabla 6:** Promedio mensual diario de LST (C) con su desviación estándar para áreas rurales, urbanas y la intensidad del SUHI (C) a 5 km de resolución para el AMH durante el periodo 2001 – 2016. La tabla muestra valores para la mediana  $Q_3$  y cuantil 0.95  $Q_5$ .

Meses	URBANO		RURAL		SUHI
	$Q_3$	$Q_5$	$Q_3$	$Q_5$	
<b>Enero</b>	20.70±3.18	21.42±3.16	15.33±3.21	21.36±3.04	6.09±1.35
<b>Febrero</b>	19.06±2.46	19.76±2.42	13.96±2.09	19.41±2.02	5.80±1.25
<b>Marzo</b>	18.74±2.71	19.67±2.71	12.73±2.76	18.84±2.43	6.94±1.16
<b>Abril</b>	21.27±2.17	22.12±2.06	15.39±2.23	21.76±2.09	6.73±1.04
<b>Mayo</b>	23.31±1.64	23.93±1.6	18.60±2.42	24.66±2.11	5.33±1.51
<b>Junio</b>	22.94±1.4	23.21±1.44	19.70±2.02	25.23±1.63	3.51±1.04
<b>Julio</b>	23.69±1.44	23.89±1.35	21.03±2.22	26.55±1.74	2.86±1.44
<b>Agosto</b>	27.34±1.5	27.53±1.46	24.74±1.66	30.43±1.38	2.79±0.64
<b>Setiembre</b>	28.57±1.93	28.87±2.0	24.67±2.42	31.28±1.91	4.21±1.28
<b>Octubre</b>	28.18±2.44	28.57±2.35	23.54±3.18	30.53±2.37	5.03±2.0
<b>Noviembre</b>	27.49±3.17	27.98±3.22	23.64±3.44	30.01±3.59	4.35±1.01
<b>Diciembre</b>	23.61±3.08	24.20±3.07	18.46±3.19	24.84±3.14	5.74±1.63

**Tabla 7:** Promedio mensual diurno de LST (C) con su desviación estándar para áreas rurales, urbanas y la intensidad del SUHI (C) a 5 km de resolución para el AMA durante el periodo 2001 – 2016. La tabla muestra valores para la mediana  $Q_3$  y cuantil 0.95  $Q_5$ .

Meses	URBANO		RURAL		SUHI
	$Q_3$	$Q_5$	$Q_3$	$Q_5$	
<b>Enero</b>	34.42±2.78	36.97±3.22	32.61±3.88	39.28±2.82	4.36±1.51
<b>Febrero</b>	31.44±3.44	33.26±3.42	27.72±4.81	36.20±3.27	5.54±1.66
<b>Marzo</b>	31.35±2.74	33.02±3.03	27.53±4.81	36.02±2.66	5.49±2.13
<b>Abril</b>	31.82±1.75	33.61±2.16	30.11±3.09	36.51±1.71	3.49±1.4
<b>Mayo</b>	30.15±1.41	32.02±1.39	29.32±1.43	34.75±1.18	2.70±0.7
<b>Junio</b>	28.30±1.26	30.20±1.09	27.10±1.32	32.30±1.0	3.10±0.65
<b>Julio</b>	28.24±1.23	30.27±1.07	27.12±1.36	32.02±0.95	3.15±0.67
<b>Agosto</b>	31.77±1.18	33.62±1.01	31.48±0.98	36.04±0.92	2.14±0.62
<b>Setiembre</b>	35.71±1.04	37.97±0.76	35.77±0.87	40.53±0.77	2.20±0.69
<b>Octubre</b>	38.07±1.22	41.02±1.46	38.27±1.28	43.22±1.19	2.74±0.71
<b>Noviembre</b>	38.64±1.10	41.87±0.82	39.06±0.97	44.01±0.83	2.81±0.77
<b>Diciembre</b>	37.23±1.78	40.24±1.99	37.21±1.85	42.25±1.61	3.03±1.07

**Tabla 8:** Promedio mensual nocturno de LST (C) con su desviación estándar para áreas rurales, urbanas y la intensidad del SUHI (C) a 5 km de resolución para el AMH durante el periodo 2001 – 2016. La tabla muestra valores para la mediana  $Q_3$  y cuantil  $0.95Q_5$ .

Meses	URBANO		RURAL		SUHI
	$Q_3$	$Q_5$	$Q_3$	$Q_5$	
<b>Enero</b>	7.03±3.07	9.05±3.22	2.81±3.88	8.59±2.8	6.23±1.29
<b>Febrero</b>	6.16±3.99	8.18±3.42	1.80±4.81	7.97±3.45	6.38±1.77
<b>Marzo</b>	8.24±2.28	9.81±3.03	3.99±4.81	9.44±2.14	5.81±0.67
<b>Abril</b>	8.94±1.61	10.11±2.16	4.47±3.09	10.03±1.73	5.64±0.78
<b>Mayo</b>	7.59±1.62	8.61±1.39	3.40±1.43	8.86±1.85	5.20±0.48
<b>Junio</b>	6.89±1.41	7.70±1.09	3.08±1.32	8.04±1.64	4.62±0.43
<b>Julio</b>	6.49±1.43	7.28±1.07	2.64±1.36	7.69±1.59	4.64±0.36
<b>Agosto</b>	7.48±1.19	8.35±1.01	3.43±0.98	8.64±1.32	4.92±0.36
<b>Setiembre</b>	8.16±1.05	9.23±0.76	4.10±0.87	9.49±1.47	5.13±0.31
<b>Octubre</b>	8.11±1.49	9.39±1.46	4.02±1.28	9.19±1.63	5.37±0.37
<b>Noviembre</b>	7.75±1.72	9.25±0.82	3.62±0.97	8.87±1.91	5.63±0.6
<b>Diciembre</b>	6.86±2.77	8.30±1.99	2.76±1.85	8.21±2.47	5.53±0.72

**Tabla 9:** Promedio mensual nocturno de LST (C) con su desviación estándar para áreas rurales, urbanas y la intensidad del SUHI (C) a 5 km de resolución para el AMA durante el periodo 2001 – 2016. La tabla muestra valores para la mediana  $Q_3$  y cuantil 0.95  $Q_5$ .

Meses	URBANO		RURAL		SUHI
	$Q_3$	$Q_5$	$Q_3$	$Q_5$	
<b>Enero</b>	2.91±4.21	3.50±4.17	-1.15±3.26	2.99±3.56	4.66±1.72
<b>Febrero</b>	1.58±4.61	2.51±4.42	-1.55±3.55	2.41±3.72	4.06±1.73
<b>Marzo</b>	2.23±4.25	2.78±4.2	-0.97±3.19	2.82±3.26	3.76±1.58
<b>Abril</b>	4.82±3.0	5.20±3.01	0.96±2.16	4.86±2.28	4.24±1.14
<b>Mayo</b>	5.64±1.45	5.97±1.38	1.18±1.17	5.36±1.26	4.79±0.65
<b>Junio</b>	5.38±1.25	5.72±1.32	0.59±1.08	4.93±1.15	5.13±0.6
<b>Julio</b>	4.98±1.4	5.23±1.46	-0.10±1.35	4.42±1.27	5.33±0.45
<b>Agosto</b>	5.92±1.49	6.18±1.57	0.11±1.42	5.43±1.24	6.06±0.56
<b>Setiembre</b>	5.80±1.84	6.14±1.78	0.39±1.54	5.43±1.64	5.74±0.59
<b>Octubre</b>	5.64±2.24	6.03±2.29	0.41±2.03	5.42±1.95	5.61±0.92
<b>Noviembre</b>	5.56±2.43	6.06±2.36	0.63±1.87	5.54±2.05	5.43±0.82
<b>Diciembre</b>	2.29±5.06	2.96±4.8	-1.09±3.29	2.96±3.61	4.05±2.2

## **4.2 Discusión de resultados**

### **4.2.1 SUHI e índice de vegetación**

Con el fin de comprender los procesos para la génesis de las SUHI y posibles cambios en el clima como resultado de la expansión de las áreas urbanas, las relaciones entre LST y los índices de vegetación (NDVI y EVI). En particular, la evolución temporal mensual de los índices de vegetación a largo plazo (2001-2016) de NDVI y EVI para tres puntos sobre el AMH y AMA: ubicaciones urbanas centrales, fronteras y rurales se muestran en la figura 17 A, B y 17 C y D respectivamente. Como era de esperar, los valores más altos de los índices de vegetación corresponden a las áreas rurales y más bajas en las áreas urbanizadas, con valores intermedios en los límites o frontera.

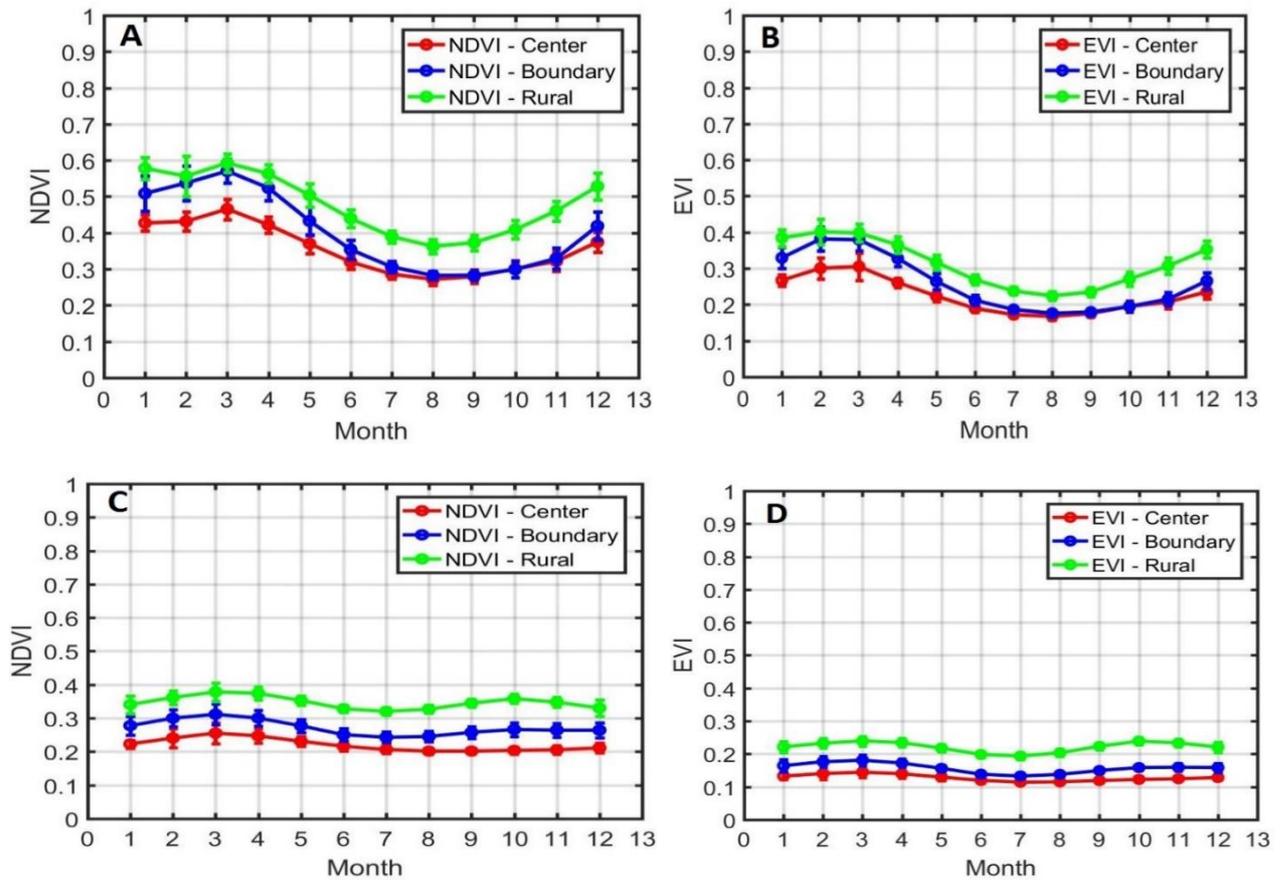
Para periodos diurnos, se comparó los índices de vegetación NDVI con LST y EVI con LST para el AMH (Figura 19 A, B) y para el AMA (Figura 17 C, D), donde se observa que las ubicaciones urbanas con una cubierta vegetal más baja muestran amplitudes térmicas estacionales baja alrededor de 14C y las localidades rurales con una cubierta vegetal más alta muestran amplitudes térmicas estacionales más alta alrededor de 18C.

### **4.2.2 Contrastación de Hipótesis**

- H0: Existe relación mayor al 80% entre el método de cuantiles y el método de Streutker en la ciudad de Huancayo  
Ha: No existe relación mayor al 80% entre el método de cuantiles y el método de Streutker en la ciudad de Huancayo
  
- H0: Existe relación mayor al 80 % entre la temperatura superficial y el índice de vegetación en la ciudad de Huancayo.  
Ha: Existe relación mayor al 80 % entre la temperatura superficial y el índice de vegetación en la ciudad de Huancayo

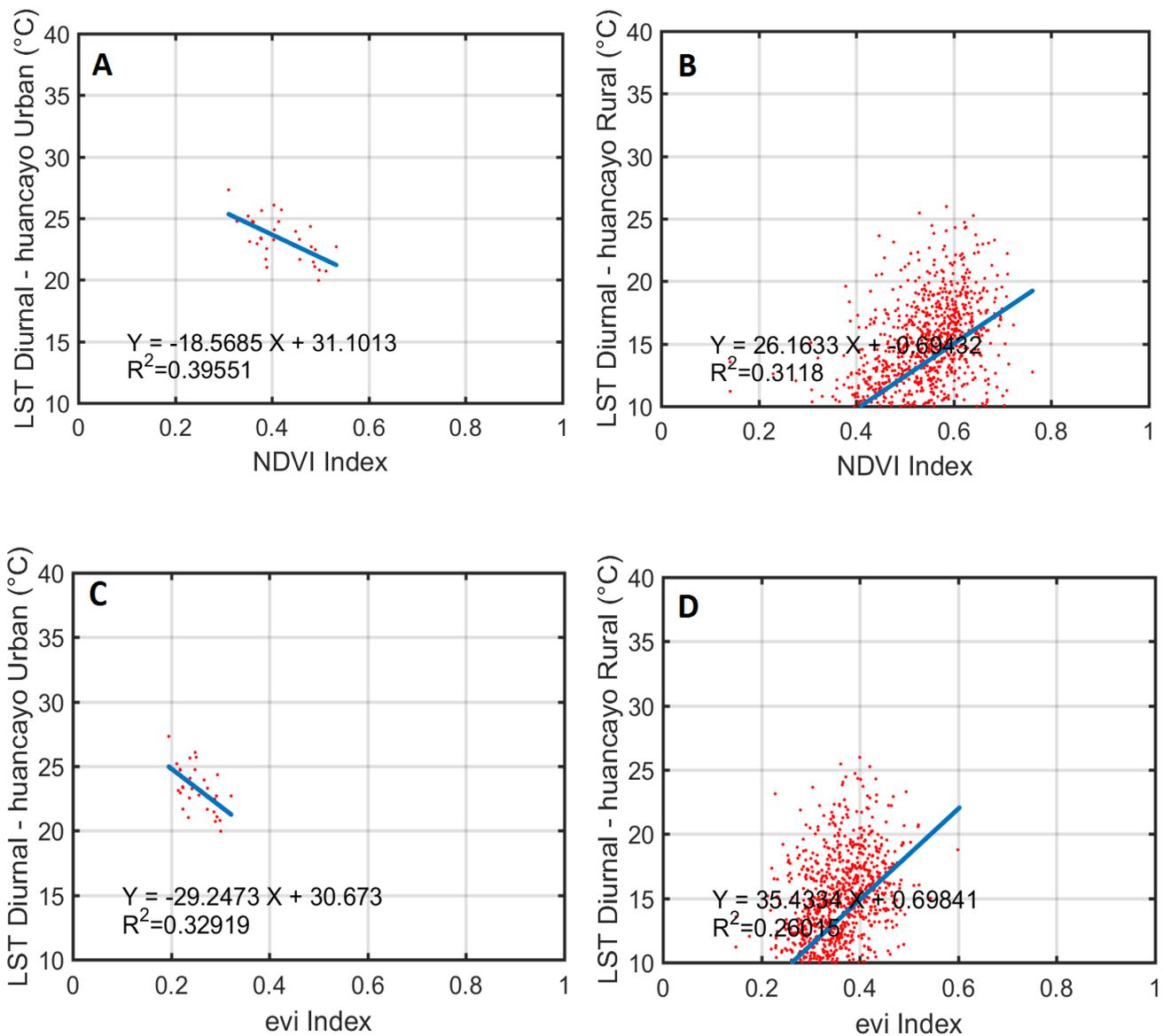
- H0: Existe relación mayor al 80% entre el método de cuantiles y el método de Streutker en la ciudad de Arequipa  
Ha: No existe relación mayor al 80% entre el método de cuantiles y el método de Streutker en la ciudad de Arequipa
  
- H0: Existe relación mayor al 80 % entre la temperatura superficial y el índice de vegetación en la ciudad de Arequipa.  
Ha: Existe relación mayor al 80 % entre la temperatura superficial y el índice de vegetación en la ciudad de Arequipa

Se concluyó que para la ciudad de Huancayo y Arequipa se obtuvo un p-value de 0.01 y 0.02 respectivamente, en la relación de la intensidad de isla de calor urbano entre ambos métodos, donde se rechaza la hipótesis nula, para concluir que no existe relación, esto se debe a que las ciudades de Huancayo y Arequipa está rodeado por cerros y montañas en el cual no se ajusta a una superficie gaussiana o superficie homogénea. Asimismo, en la relación entre la temperatura superficial y el índice de vegetación se obtuvo un p-value de 0.002 y 0.0003 en la ciudad de Huancayo y Arequipa respectivamente, entonces se rechaza la hipótesis nula, esto se debe a la estacionalidad del índice de vegetación ya que el índice de vegetación no es constante respecto al tiempo. Asimismo, existe una gran incertidumbre respecto a la influencia de la vegetación o índices cobertura vegetal (NDVI y EVI) sobre la temperatura superficial.

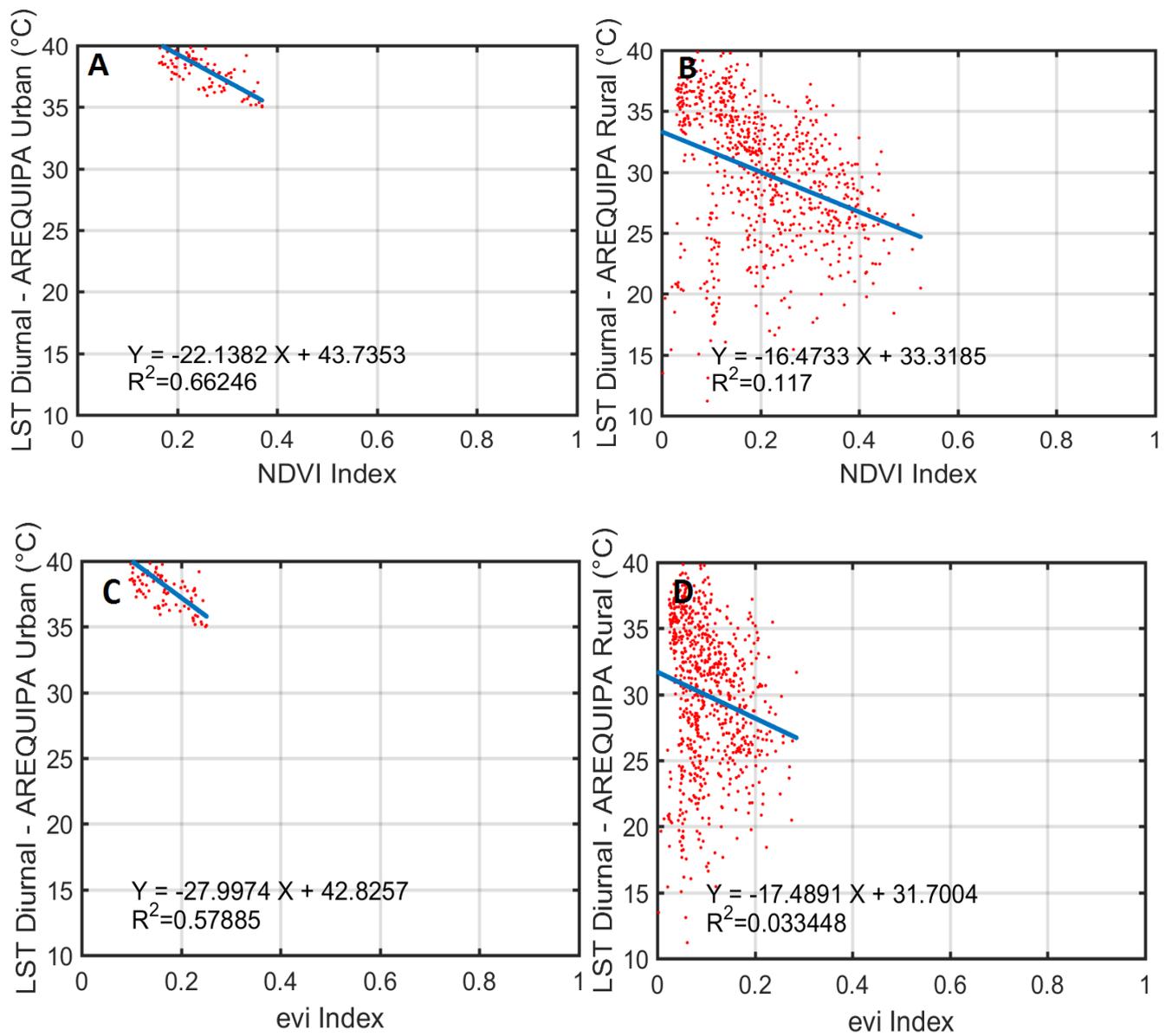


**Figura N 17:** A) Evolución temporal 2001-2016, media mensual con desviación estándar del NDVI, y B) EVI para el AMH, C) media mensual con desviación estándar del NDVI y D) EVI para el AMA en el centro urbano (línea roja), frontera (línea azul) y rural (línea verde).

Por otro lado, la regresión durante el periodo (2001-2016) entre NDVI vs a LST y EVI vs a LST con pendientes, intersecciones e índices de correlación ( $R^2$ ) para el AMH Y AMA se muestran en Tabla 10 y 11 respectivamente. Las áreas urbanas del AMH y AMA muestran correlación positiva máxima entre LST y NDVI de 0.1 y 0.4 respectivamente. En el caso de la correlación positiva entre LST y EVI es levemente más bajo de 0.01 y 0.3 respectivamente. Por el contrario, para las áreas rurales de ambas correlaciones entre LST y NDVI y LST y EVI, las correlaciones son menores, a veces insignificante con valores entre 0.01 a 0.4 y de 0.01 a 0.38 respectivamente.



**Figura N 18:** Scatterplots 2001-2016 diurno de LST vs NDVI y LST vs EVI para área urbana y rural en abril (A, B), y diciembre (C, D) respectivamente del AMH.



**Figura N 19:** Scatterplots 2001-2016 diurno de LST vs NDVI y LST vs EVI para área urbana y rural en abril (A, B), y diciembre (C, D) respectivamente del AMA.

**Tabla 10:** Pendiente (Slope), intercepto (IC) e índice de correlación ( $R^2$ ) de la regresión lineal entre NDVI vs LST y EVI vs LST para el AMH.

	NDVI						EVI					
	URBAN			RURAL			URBAN			RURAL		
	SLOPE	IC	$R^2$									
<b>Enero</b>	-5.25	23.23	0.01	23.55	4.17	0.21	-14.56	25.08	0.03	33.78	5.13	0.16
<b>Febrero</b>	-3.19	20.62	0.01	22.85	2.49	0.29	-20.40	25.92	0.15	31.15	3.37	0.25
<b>Marzo</b>	-17.65	27.78	0.12	26.16	-0.69	0.31	-34.62	30.25	0.25	35.43	0.70	0.26
<b>Abril</b>	-21.16	31.46	0.34	17.15	6.65	0.11	-32.10	30.83	0.31	31.80	5.44	0.17
<b>Mayo</b>	-18.57	31.10	0.40	-2.58	19.94	0.00	-29.25	30.67	0.33	13.63	14.90	0.02
<b>Junio</b>	-14.12	27.94	0.18	-11.71	24.81	0.05	-23.42	27.79	0.14	-6.48	21.41	0.00
<b>Julio</b>	-26.63	31.86	0.23	-17.60	27.47	0.08	-50.56	32.89	0.22	-13.93	23.91	0.01
<b>Agosto</b>	-34.70	37.25	0.25	-18.68	30.73	0.07	-55.47	36.93	0.14	-9.98	26.54	0.00
<b>Setiembre</b>	-32.39	37.94	0.12	-14.41	28.92	0.03	-24.54	32.95	0.02	-3.51	25.11	0.00
<b>Octubre</b>	-41.02	41.21	0.22	-8.23	25.80	0.01	-45.11	37.30	0.13	-9.26	24.95	0.00
<b>Noviembre</b>	-32.10	38.79	0.17	-9.41	26.60	0.01	-46.00	37.85	0.13	-17.89	27.20	0.02
<b>Diciembre</b>	-20.26	32.14	0.14	12.37	12.91	0.03	-22.81	29.57	0.06	16.29	13.82	0.02

**Tabla 11:** Pendiente (Slope), intercepto (IC) e índice de correlación ( $R^2$ ) de la regresión lineal entre NDVI vs LST y EVI vs LST para el AMA.

	NDVI						EVI					
	URBAN			RURAL			URBAN			RURAL		
	SLOPE	IC	$R^2$									
Enero	-16.17	38.58	0.15	-13.21	34.36	0.02	-18.98	37.54	0.11	-2.30	32.58	0.00
Febrero	-13.66	35.12	0.08	-17.31	30.82	0.05	-12.61	33.52	0.03	-18.95	29.53	0.02
Marzo	-15.21	35.77	0.14	-20.30	32.12	0.11	-13.07	33.63	0.05	-27.31	30.79	0.05
Abril	-14.12	35.88	0.24	-16.47	33.32	0.12	-14.03	34.29	0.12	-17.49	31.70	0.03
Mayo	-7.29	32.29	0.08	-13.19	31.32	0.08	-5.35	31.24	0.02	-2.18	29.01	0.00
Junio	-5.34	29.81	0.05	-14.79	29.31	0.08	-2.41	28.88	0.00	2.15	26.53	0.00
Julio	-6.12	29.89	0.06	-13.09	28.57	0.04	-3.87	29.02	0.01	9.32	25.69	0.01
Agosto	-10.72	34.38	0.20	-14.18	32.87	0.05	-11.08	33.48	0.11	4.97	30.34	0.00
Setiembre	-16.30	39.50	0.49	-13.10	37.06	0.04	-19.50	38.58	0.36	4.11	34.88	0.00
Octubre	-21.19	42.91	0.55	-12.71	39.86	0.04	-27.12	42.06	0.48	-3.47	38.37	0.00
Noviembre	-22.14	43.74	0.66	-11.49	40.62	0.05	-28.00	42.83	0.58	-5.35	39.48	0.00
Diciembre	-20.46	42.05	0.40	-11.25	38.65	0.03	-24.41	40.95	0.32	-1.29	37.18	0.00

## CONCLUSIONES

1. Se determinó la intensidad de isla de calor urbano superficial, obtenido con el método de cuantiles en el AMH, muestra los valores máximos en marzo (6.94 C) y valores mínimos en agosto (2.79 C). y la SUHI nocturnas obtenidas presente valores máximos en agosto (6.06 C) y valores mínimos en marzo (3.76 C). Asimismo, la SUHI diurna en el AMA, muestra los valores máximos en febrero (5.54 C) y valores mínimos en agosto (2.14 C), y la SUHI nocturnas presenta valores máximos en febrero (6.38 C) y valores mínimos en junio (4.62 C).
2. Para el AMH la pendiente de la línea recta que se ajusta a los datos obtenidos con el método de Streutker y cuantiles es igual a 0.81, la intersección es igual a 1.15 y el índice de correlación es igual a 0.58 y para el periodo nocturno, la pendiente de la línea recta que se ajusta a los datos es igual a 0.87, la intersección es igual a 0.87 y el índice de correlación es igual a 0.73. No obstante en el AMA, la pendiente de la línea recta que se ajusta a los datos es igual a 0.60, la intersección es igual a -0.38 y el índice de correlación es igual a 0.20. Asimismo, para el periodo nocturno, la pendiente de la línea recta que se ajusta a los datos es igual a 0.12, la intersección es igual a 3.8 y el índice de correlación es igual a 0.02.
3. La variación espacial de la temperatura superficial considerando las zonas urbanas y rurales, se demostró que la temperatura en los centros urbano es mayor a las áreas rurales en la estación de primavera en las AMH y AMA.
4. La variación espacial del índice de vegetación NDVI y EVI, nos indica que es mayor en áreas rurales, con respecto a áreas urbanas en las estaciones de verano y primavera en las AMH y AMA.
5. La relación entre temperatura superficial con NDVI y EVI es baja en el AMA y alta en el AMA solo para el mes de noviembre, eso se debe al bajo grado de incertidumbre, solo para ese mes nos indica que mayor cantidad de vegetación que cubre dentro de las áreas urbanas en el en el AMH y AMA, puede explicar parcialmente las mayores amplitudes térmicas diurnas del LST urbano y por lo tanto las intensidades de isla de calor más altas para ambas áreas.

## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda la utilización del método de cuantiles para cualquier sitio del mundo, para la estimación de la isla de calor urbano, asimismo la instalación de sensores de radiación solar para la estimación de isla de calor urbano con datos en superficie y poder comparar con los datos satelitales.

## BIBLIOGRAFIA

- Acero, J. (2011). *Urban Climate modeling: Development of urban climate evaluation methods for urban planning purposes*. Kassel: Faculty of Architecture, Urban and Landscape Planning at the University Kassel.
- Barry, & Chorley. (1998, 409 pp). *Atmosphere, Weather and Climate*. Routledge, London.
- Buhaug, H., & Urdal, H. (2013). An Urbanization bomb? Population growth and social disorder in cities. *Global Environmental Change*, 23, 1-10.
- Changnon, S. (1978). Urban effects on severe local storms at St. Louis. *J. Appl. Meteor.*, 17, 578-592.
- Cordova, J. (2011). Impactos de las islas térmicas o islas de calor urbano, en el ambiente y la salud humana. Análisis estacional comparativo: Caracas, octubre- 2009, marzo- 2011. *UFRJ*, 1-140.
- Dousset , B., & Gourmelon, F. (2003). Satellite multi-sensor data analysis of urban surface temperatures and land cover. *Remote Sensing. Photogramm.* 58, 43-54.
- Eriksen. (1978). *Okologische Crapekte der umweltbelastung Hannovers Stadtklima und Lutverunreinigung. In: Hannover und sein Unland; Hannover.*
- Ferreira , M., Oliveira, A., Soares, J., Codato, G., Barbaro, E., & Escobedo, J. (2012). Radiation balance at the surface in the city of Sao Paulo, Brazil: diurnal and seasonal variations. *Theor. Appl. Climatol.*, 107, 229-246.
- Ferreira, M., Olivera, A., & Soares, J. (2013). Diurnal variation in stored energy flux in Sao Paulo city.
- Flores Rojas, J., Pereira Filho, A., & Karam, H. (2016). Intensidades De Isla De Calor Urbana Para Las Ciudades Tropicales Utilizando Los Datos De Teledetección Modis. *Urban Climate*, 32-66.

- Flores, J., Karam, H., Marques filho, E., & Pereira Filho, A. (2016). Estimation of atmospheric turbidity and surface radiative parameters using broadband clear sky solar irradiance models in Rio de Janeiro-Brasil. *Theoretical and Applied Climatology*, 123, 593-617.
- Garcia. (1999). *Climatologia Urbana*. Barcelona. Edicions de la Universitat de Barcelona. Barcelona.
- Gomez. (1998). *O Efeito da Ilha de Calor Sobre os Fluxos de Calor Através da Utilização do Modelo RAMS*. Brasil.
- Gridharan, R., Gnesan, S., & Lau, S. (2004). Daytime urban heat island effect in high-rise and high – density residential developments in Hong Kong, Energy and Buildings. *Energy and Buildings*, 36, 54-70.
- Heisler, G., & Brazel , A. (2010). The urban physical environment: temperature and urban heat islands, in urban ecosystem ecology. *Am. soc. of Agron*, 1, 29-56.
- Hernandez, R., Fernandez, C., & Bautista, P. (2010). *Metodologia de la Investigacion Cientifica*. Colombia: Mc Graw Hill.
- Huang, Hung, T., Uchihama, D., Ochi, S., & Yasuoka , Y. (2006). *Assessment with satellite data of the urban heat island effects in Asian mega cities*. *International Journal of Applied Earth Observation and Geo-Information*.
- Huete, A., Didana, K., Miura, T., Rodriguez, E., Gao, X., & Ferreira, L. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing, Environment*, 83, 195-213.
- Hung, T., Uchihama , D., Ochi, S., & Yasuoka, Y. (2006). Assessment with satellite data of the urban heat island effects in Asian mega cities. *International Journal of Applied Earth Observation and geoinformation*, 8, 34-48.
- IBGE. (2011). Demographic Censuses.
- IGBP. (2006). *International Geosphere and Biosphere programme*. Retrieved from IGBP: <http://www.igbp.net/>

INEI. (2015). Retrieved from <https://www.inei.gob.pe/bases-de-datos/>

Jimenez Muñoz, J., & Sobrino, J. (2006). Error sources on the land surface temperature retrieved from thermal infrared single channel remote sensing data. *International Journal Remote Sensing*. *International Journal Remote Sensing*, 27 (5), 999,1014.

Jin, M., & Dickinson, R. (2000). A generalized algorithm for retrieving cloudy sky skin temperature from satellite thermal infrared radiances. *J. geophys. Res.*, 105, 27-37.

Julien, Y., & Sobrino, J. (2009). The yearly land cover dynamics (YLCD) method: an analysis of global vegetation from NDVI and l<sub>st</sub> parameters. *Remote Sensing Environment*. 113, 329-334.

kakstein. (1998). *A Determination of Character and Frequency Changes in air Masses Using a Spatial Synoptic Classification*. *Int. Journal of Climatology*, 18, 1223 – 1236.

Kawashima, S. (1994). Relation between vegetation, surface temperature, and surface composition in the Tokyo region during winter. *Sensing Remote Environment*. 50, 52-60.

Klysik, K., & Foruniak, K. (1999). Temporal and spatial characteristics of the urban island of Lodz, Poland. *Atmospheric Environment*. *Theoretical and Applied Climatology*, 79, 151–164.

Kondoh , A., & Nishiyama, J. (1999). Changes in hydrological cycle due to urbanization in the suburb of Tokyo Metropolitan Area. *Advances in Space Research, Japan*, 26, 1173–1176.

Lambin , E., & Ehrlich, D. (1996). The surface temperature–vegetation index space for land cover and land-cover change analysis. *Remote Sensing*. 17, 463-487.

Lombardo. (1985). *Islas de Calor Metrópoles de São Paulo*. São Paulo.

- Marciotto, E., Oliveira, A., & Hanna, S. (2010). Modeling study of the aspect ratio influence on urban canopy energy fluxes with a modified wall canyon energy budget scheme. *Building and Environment*, 1, 1-9.
- Marquez , F. (2009). *Rio de Janeiro's Tropical Urban Climate. International Association For Urban Climate.*
- MINISTERIO DE AGRICULTURA. (2010). Ley forestal y fauna silvestre 29763. 1-86. LIMA, LIMA, PERU.
- Naccarato.H. (2001). *Análise das características dos relâmpagos na região Sudeste do Brasil.* Brasil.
- Naciones unidas. (2011). World urbanization prospects: the revision. *United Nations population division, Department of Economic and Social Affairs, United Nations Secretariat*, 1, 1-50.
- Naciones Unidas. (2014). Population Fact-Our urbanizing world. *Department of Economic and Social Affairs Population division*, 1, 1-4.
- NASA. (2017). NASA. Retrieved from <https://modis.gsfc.nasa.gov/>
- Nemani, R., Pierce, L., Running, S., & Goward, S. (1993). Developing satellite-derived estimates of surface moisture status. *Appl. Meteorology*.32, 548-557.
- Oke, T. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of Royal Meteorology society*, 108.
- Oke, T. (1987). Boundary Layer climates. *Taylor and Francis Group*, 435.
- Oke, T. R. (1978). *Boundary Layer Climates.* Methuen, London.: UK.
- Parece, T., Jie Li Campbell, J., & Carroll, D. (2015). Assessing Urban Landscape Variables contributions to Microclimates. *Advances in Meteorology*, 116, 1-14.
- Peterson, T. (2003). Assessment of urban versus rural in situ surface temperatures in the contiguous United States: No difference found. *J. climate*, 16, 29-41.

- Pezzini, V. (2011). Estudio del fenómeno de islas de calor urbano en la región metropolitana rio de Janeiro (RMRJ) usando datos del sensor AVHRR del satélites NOAA – 14 y 18. *UFRJ*, 1-161.
- Pongracz, R., Bartholy, J., & Dezso, Z. (2006). Remotely sensed thermal information applied to urban climate analysis. *Advances in Space Research*, 37(12). *Advances in Space Research*, 37(12), 2191–2196.
- Prihodko, I., & Goward, S. (1997). Estimation of air temperature from remotely sensed surface observations. *Remote Sensing. Environment*, 60, 335-346.
- Rizwan , A., & Dennis, Y. (2008). A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island, *Journal of environmental science*, 120-128. *Journal of environmental science*, 120-128.
- Roth, M. (2007). Review of urban climate research in (sub) tropical regions. *Int. J. climatol.*, 27, 1859-1873.
- Roth, M., Oke, T., & Emery, W. (1989). Satellite derived urban heat island from three coastal cities and the utilization of such data in urban climatology. *International journal of remote Sensing*, 10, 1699-1720.
- Sailor. (2003). *Ecoroofs and the urban climate, in: Proceedings of the Second Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference, Portland.*
- Saitoh, T., Shimada, T., & Hoshi, H. (1995). Modeling an simulation of the Tokiourban heat island. *Atmospheric Environment. Atmospheric Environment*, 30, 3431-3442.
- Smith, R., & Choudhury, B. (1991). Analysis of normalized difference and surface temperature observations over southeastern Australia. *Remote Sensing*. 12, 2021-2044.
- Snheider, A., Friedl, M., McIver, D., & Woodcock, C. (2002). Mapping urban areas by fusing multiple sources of coarse resolution remotely sensed data. *Photogramm. Eng. Remote Sensing*. 69, 1377-1386.

- Soberon, V. (2015). IDENTIFICACIÓN DE ISLAS DE CALOR EN LA CIUDAD DE LIMA METROPOLITANA UTILIZANDO IMÁGENES DEL SATÉLITE LANDSAT 5TM. *Universidad Nacional Agraria La Molina*, 34-44.
- Sobrino, J., & Bianchi, R. (2011). Evaluation of the surface Urban Heat Island effect in the city of Madrid by thermal remote sensin. *International journal of remote sensing*, 1-12.
- Streutker, D. (2002). Satellite-measured growth of the urban heat island of Houston, Texas. *Int. Remote Sensing*.23, 2595-2608.
- Taha, H. (1997). *Urban climates and heat islands: Albedo, evapotranspiration and antropogenic heat”, Energy and Buildings*.
- Teza.P, & Baptista .C. (2005). *Atmosphere, Weather and Climate, Routledge, London, 409 pp.* Brasil.
- Valor, E., & Caselles, V. (1996). Mapping land surfac emissivity from NDVI: Application to European, African, and South American areas. *Remote Sensing of Environment Vol 57(3)*, 167-184.
- Vanesa, S. (2015). IDENTIFICACIÓN DE ISLAS DE CALOR EN LA CIUDAD DE LIMA METROPOLITANA UTILIZANDO IMÁGENES DEL SATÉLITE LANDSAT 5TM. *Universidad Nacional Agraria La Molina*, 34-44.
- Vanesa, S. (2015). IDENTIFICACIÓN DE ISLAS DE CALOR EN LA CIUDAD DE LIMA METROPOLITANA UTILIZANDO IMÁGENES DEL SATÉLITE LANDSAT 5TM. *Universidad Nacional Agraria La Molina*, 34-44.
- Voogt. (2007). *How Researchers Measure Urban Heat Islands, Department of Geography, London ON Canada*.
- Voogt, J., & Oke, T. (1997). Complete urban surface temperatures. *Journal of Applied Meteorology*, 36, 1117-1132.
- Voogt, J., & Oke, T. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing. Environment*. 86, 370-384.

## ANEXO

### PROGRAMACION DE TEMPERATURA SUPERFICIAL REALIZADO EN MATLAB

```
%-----  
% Script to separate urban and rural points using Land Cover type  
% information  
% Author: José L. Flores Rojas  
% Date: 03-06-2014  
%-----  
clear all  
close all  
clc  
%-----  
  
year_list =  
[2001,2002,2003,2004,2005,2006,2007,2008,2009,2010,2011,2012,2013,2014,2015  
,2016];  
%year_list = [2001, 2016];  
  
for year_number = 1:1:length(year_list)  
  
    year_n = year_list(year_number);  
  
    if ( year_n == 2004 || year_n == 2008 || year_n == 2012 || year_n ==  
2016)  
        day_list=[1,32,61,92,122,153,183,214,245,275,306,336];  
    else  
        day_list=[1,32,60,91,121,152,182,213,244,274,305,335];  
        %day_list=[1];  
    end  
  
for day_number = 1:length(day_list)  
  
    dia_n = day_list(day_number);  
  
    dir_out_AREQUIPA = 'OUTPUT_AREQUIPA\';  
    titulo_out_AREQUIPA = 'NDVI_EVI_AREQUIPA_1D';  
  
    %directorio para almacenar los resultados  
  
    dir_in_AREQUIPA = 'OUTPUT_AREQUIPA\';  
    titulo_in_AREQUIPA = 'FIELDS_NDVI_AREQUIPA';  
  
    name_AREQUIPA = [dir_in_AREQUIPA,titulo_in_AREQUIPA,'-',num2str(dia_n),'-'  
,num2str(year_n),'.mat']  
    load(name_AREQUIPA);  
  
%Geographic coordinates  
  
%Todo el globo  
%lon_min_as = -180.0;  
%lon_max_as = 180.0;
```

```

%lat_min_as = -90.0;
%lat_max_as = 90.0;
%AREQUIPA
lon_min_AREQUIPA = -71.66;
lon_max_AREQUIPA = -71.35;
lat_min_AREQUIPA = -16.61;
lat_max_AREQUIPA = -16.15
%-----coordenadas para AREQUIPA paulo -----
[nx_AREQUIPA, ny_AREQUIPA] = size(lct_1_AREQUIPA_urban);
lat_AREQUIPA=linspace(lat_min_AREQUIPA,lat_max_AREQUIPA,nx_AREQUIPA);
lon_AREQUIPA=linspace(lon_min_AREQUIPA,lon_max_AREQUIPA,ny_AREQUIPA);

%-----Output graphics directory-----
dir_graph = 'GRAPHICS_AREQUIPA\';
%-----Center of AREQUIPA-----
---

lon_center = -71.54;
lat_center = -16.38;
%Coordinates boundary
lon_bound = -71.53;
lat_bound = -16.437;
%Coordinates rural
lon_rural = -71.605;
lat_rural = -16.446;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
center_lon = abs(lon_AREQUIPA - lon_center);
center_lat = abs(lat_AREQUIPA - lat_center);

bound_lon = abs(lon_AREQUIPA - lon_bound);
bound_lat = abs(lat_AREQUIPA - lat_bound);

rural_lon = abs(lon_AREQUIPA - lon_rural);
rural_lat = abs(lat_AREQUIPA - lat_rural);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
[c_lon] = find(center_lon==min(center_lon));
[c_lat] = find(center_lat==min(center_lat));

[b_lon] = find(bound_lon==min(bound_lon));
[b_lat] = find(bound_lat==min(bound_lat));

[r_lon] = find(rural_lon==min(rural_lon));
[r_lat] = find(rural_lat==min(rural_lat));
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

ndvi_AREQUIPA_center_1D(day_number,year_number) =
ndvi_AREQUIPA_final(c_lat,c_lon);
ndvi_AREQUIPA_bouda_1D(day_number,year_number) =
ndvi_AREQUIPA_final(b_lat,b_lon);
ndvi_AREQUIPA_rural_1D(day_number,year_number) =
ndvi_AREQUIPA_final(r_lat,r_lon);

evi_AREQUIPA_center_1D(day_number,year_number) =
evi_AREQUIPA_final(c_lat,c_lon);
evi_AREQUIPA_bouda_1D(day_number,year_number) =
evi_AREQUIPA_final(b_lat,b_lon);

```

```

evi_AREQUIPA_rural_1D(day_number,year_number) =
evi_AREQUIPA_final(r_lat,r_lon);

levels = (0:0.1:1);
figure('visible','off')
h=pcolor(lon_AREQUIPA,lat_AREQUIPA,ndvi_AREQUIPA_final);
shading interp
set(gca, 'LineWidth', 2, 'FontSize', 16)
colorDepth = 300;
colormap(jet(colorDepth));
caxis([levels(1),levels(end)]);
hcb = colorbar;
set(hcb,'YTick',levels,...
'LineWidth', 2, 'FontSize', 16);
graf=(['print -djpeg
',dir_graph,'ndvi_AREQUIPA','_',num2str(dia_n),'_',num2str(year_n)]);
eval(graf);

levels = (0:0.1:1);
figure('visible','off')
h=pcolor(lon_AREQUIPA,lat_AREQUIPA,evi_AREQUIPA_final);
shading interp
set(gca, 'LineWidth', 2, 'FontSize', 16)
colorDepth = 300;
colormap(jet(colorDepth));
caxis([levels(1),levels(end)]);
hcb = colorbar;
set(hcb,'YTick',levels,...
'LineWidth', 2, 'FontSize', 16);
graf=(['print -djpeg
',dir_graph,'evi_AREQUIPA','_',num2str(dia_n),'_',num2str(year_n)]);
eval(graf);

end
end

save([dir_out_AREQUIPA,titulo_out_AREQUIPA],...
'ndvi_AREQUIPA_center_1D',...
'ndvi_AREQUIPA_bounda_1D',...
'ndvi_AREQUIPA_rural_1D',...
'evi_AREQUIPA_center_1D',...
'evi_AREQUIPA_bounda_1D',...
'evi_AREQUIPA_rural_1D');

```