

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS



**“Islas de calor urbanas en la ciudad de Lima utilizando imágenes
satelitales”**

Presentado por:

VANESSA SOFÍA SOBERÓN FORSBERG

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL

LIMA, PERU

AÑO, 2014

DEDICATORIA

A mi padre, madre y hermanas por su amor
y apoyo incondicional en todo momento.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi agradecimiento a mis padres, Margarita Forsberg y Luis Soberón por el apoyo incondicional y desinteresado durante la investigación.

También agradezco a mi profesor patrocinador Mg. Esaúl Obregón Párraga, por la asesoría y confianza para realizar en esta investigación y por su compromiso y paciencia en cada etapa y a los miembros del jurado calificador por dedicar su valioso tiempo a la revisión y aportes de mejora en esta investigación.

Así mismo, agradezco a EKODES CONSULTORES DEL PERU S.I.G. , empresa consultora especializada en brindar soluciones mediante el uso de tecnologías de información geográfica, y a SENAMHI, Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, por su valioso apoyo y aporte en esta investigación.

Y finalmente, a todos aquellos amigos que me brindaron su apoyo y confianza en cada oportunidad.

ÍNDICE GENERAL

I.	Introducción	1
II.	Revisión de literatura	3
2.1.	Islas de calor y urbanización	3
2.1.1.	Ciudad	3
2.1.2.	Ecosistema urbano	3
2.2.	Crecimiento urbano	5
2.2.1.	Crecimiento urbano en el mundo y en América Latina	5
2.3.	Consecuencias de la urbanización	7
2.4.	Clima urbano	10
2.4.1.	Atmósfera urbana	11
2.5.	Conceptos, tipos, características	14
2.5.1.	Conceptos	14
2.5.2.	Tipos de islas de calor	14
2.5.3.	Características de islas de calor	16
2.6.	Formación y consecuencias de las islas de calor	18
2.6.1.	Formación	18
2.6.2.	Consecuencias de las islas de calor	23
2.7.	Medición de las islas calor	26
2.7.1.	Medición de las islas de calor atmosférica	26
2.7.2.	Medición de las islas de calor superficial	28
2.8.	La islas de calor y la relación entre atmósfera y superficie	30
2.8.1.	Relación entre la temperatura del aire y la temperatura de superficie	31
2.8.2.	Relación entre la temperatura de superficie y la vegetación	32
2.9.	Estudios relacionados a las islas de calor urbanas	32
2.9.1.	Estudios internacionales	33
2.9.2.	Estudios nacionales	36
2.10.	Regresión lineal	37
2.11.	Presentación del área de estudio, la ciudad de Lima Metropolitana	39
2.11.1.	Aspectos demográficos.....	41
2.11.2.	Crecimiento poblacional en Lima Metropolitana	41
2.11.3.	Densidad poblacional en Lima Metropolitana	42

2.11.4.	Crecimiento urbano	43
2.11.5.	Uso de suelo en Lima Metropolitana	45
2.11.6.	Aspectos climáticos.....	47
III.	Materiales y métodos	49
3.1.	Materiales	49
3.1.1.	Datos	49
3.1.2.	Equipos y software	50
3.2.	Métodos	50
3.2.1.	Definir el área de estudio	50
3.2.2.	Determinar la distribución espacial de las islas de calor	50
3.2.3.	Determinación de la relación entre la temperatura de superficie y la temperatura del aire	55
3.2.4.	Determinación de la relación entre la temperatura de superficie y la vegetación.....	56
IV.	Resultados y discusión	58
4.1.	Determinación de la distribución espacial de las islas de calor	58
4.2.	Determinación de la relación entre la temperatura del aire (°C) y la temperatura de superficie (°C)	66
4.3.	Determinación del coeficiente de relación (r^2) entre la temperatura de superficie (°C) y el NDVI y el coeficiente de correlación (r^2) entre la temperatura de brillo (°C) y el NDVI	69
V.	Conclusiones	71
VI.	Recomendaciones	73
VII.	Referencias bibliográficas	74
VIII.	Anexos	83

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Impactos ambientales de la urbanización	9
Cuadro 2: Factores que influyen en la formación de islas de calor urbanas y su efecto en el balance de energía	23
Cuadro 3: Impacto de las islas de calor clasificado por región climática.....	24
Cuadro 4: Características del Landsat 5TM.....	29
Cuadro 5: Bandas del satélite Landsat 5 TM	30
Cuadro 6: Diferencias entre isla de calor atmosférica e isla de calor superficial	31
Cuadro 7: Población censada	41
Cuadro 8: Población urbana y rural	41
Cuadro 9: Datos utilizados	49
Cuadro 10: Fórmulas para la corrección de emisividad	54
Cuadro 11: Datos geográficos de las estaciones meteorológicas.....	55
Cuadro 12: Coordenadas de los núcleos térmicos más elevados	60
Cuadro 13: Resumen del análisis estadístico entre la relación de la temperatura de brillo (°C) y la temperatura del aire (°C)	66
Cuadro 14: Resumen del análisis estadístico entre la relación de la temperatura de superficie (°C) y la temperatura del aire (°C)	67
Cuadro 15: Resumen del análisis estadístico entre la relación de la diferencia de la temperatura del aire (°C) y la temperatura de superficie (°C) y la temperatura de superficie	68
Cuadro 16: Resultados del coeficiente de correlación entre la temperatura de superficie (°C) y temperatura de brillo (°C)	95
Cuadro 17: Coordenadas geográficas de los núcleos térmicos con temperaturas más altas en el área urbanizada	96
Cuadro 18: Datos utilizados para la regresión lineal	106
Cuadro 19: Tabla ANOVA de la regresión lineal de la temperatura del aire (°C) y la temperatura de brillo (°C)	108
Cuadro 20: Tabla ANOVA de la regresión lineal de la temperatura del aire (°C) y la temperatura de superficie (°C)	109
Cuadro 21: Tabla ANOVA de la regresión lineal de la temperatura del aire (°C) y la dT [Temperatura del aire (°C) - Temperatura de superficie (°C)]	110

Cuadro 22: Coeficientes de la regresión lineal entre la temperatura del aire (°C) y la temperatura de brillo (°C)	111
Cuadro 23: Coeficientes de la regresión lineal de la temperatura del aire (°C) y la temperatura de superficie (°C)	112
Cuadro 24: Coeficientes de la regresión lineal entre la temperatura de superficie (°C) y dT [temperatura del aire (°C) y la temperatura de superficie (°C)]	113
Cuadro 25: Resultado del coeficiente de correlación entre la temperatura de brillo (°C) y el NDVI y del coeficiente de correlación entre la temperatura de superficie (°C) y el NDVI	114

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ecosistema urbano	4
Figura 2: Distribución de la población mundial – urbana y rural	6
Figura 3: Porcentaje de la población urbana en América latina	7
Figura 4: Factores que influyen en el ecosistema urbano	11
Figura 5: Composición de la atmósfera urbana	12
Figura 6: Formación del ozono troposférico	12
Figura 7: Componentes de la atmósfera urbana	13
Figura 8: Correlación entre la isla de calor atmosférica y la isla de calor superficial ...	16
Figura 9: Configuración espacial de la isla de calor	17
Figura 10: Cañón urbano	20
Figura 11: Reducción de la evaporación de la ciudad	21
Figura 12: Mapa de expansión urbana de Lima Metropolitana del año 2007	40
Figura 13: Tasa de crecimiento poblacional	42
Figura 14: Mapa de densidad poblacional	43
Figura 15: Mapa de expansión urbana desde 1940 hasta el 2005	44
Figura 16: Mapa de uso de suelos	46
Figura 17: Delimitación del área de estudio	51
Figura 18: Mapa de temperatura de superficie (°C) de las 10:00 am.	62
Figura 19: Mapa de temperatura de brillo (°C) de las 10:00 am.	63
Figura 20: Isla de calor sobrepuestas en el mapa de uso de suelo	64
Figura 21: Micro islas de calor urbanas en la Lima Metropolitana	65
Figura 22: Gráfico de la relación entre la temperatura de superficie (°C) y NDVI y Temperatura de brillo (°C) y NDVI	69
Figura 23: Mapa de temperatura de superficie (°C) de las 15:00 horas GTM del 11 de febrero del 2008	83
Figura 24: Mapa de temperatura de superficie (°C) de las 15:00 horas GTM del 15 de abril del 2008	84
Figura 25: Mapa de temperatura de superficie (°C) de las 15:00 horas GTM del 01 de mayo del 2008	85
Figura 26: Mapa de temperatura de superficie (°C) de las 15:00 horas GTM del 02 de abril del 2009	86

Figura 27: Mapa de temperatura de superficie (°C) de las 15:00 horas GTM del 31 de enero del 2010.....	87
Figura 28: Mapa de temperatura de superficie (°C) de las 15:00 horas GTM del 07 de marzo del 2011.....	88
Figura 29: Mapa de temperatura de brillo (°C) de las 15:00 horas GTM del 11 de febrero del 2008.....	89
Figura 30: Mapa de temperatura de brillo (°C) de las 15:00 horas GTM del 15 de abril del 2008.....	90
Figura 31: Mapa de temperatura de brillo (°C) de las 15:00 horas GTM del 01 de mayo del 2008.....	91
Figura 32: Mapa de temperatura de brillo (°C) de las 15:00 horas GTM del 02 de abril del 2009.....	92
Figura 33: Mapa de temperatura de brillo (°C) de las 15:00 horas GTM del 31 de enero del 2010.....	93
Figura 34: Mapa de temperatura de brillo (°C) de las 15:00 horas GTM del 07 de marzo del 2011.....	94
Figura 35: Gráfico de barras del coeficiente de correlación entre la temperatura de superficie (°C) y temperatura de brillo (°C)	95
Figura 36: Gráfico de dispersión de la temperatura del aire (°C) versus temperatura de brillo (°C) para el día 11 de febrero del 2008	98
Figura 37: Gráfico de dispersión de la temperatura del aire (°C) versus temperatura de brillo (°C) para el día 15 de abril del 2008.....	98
Figura 38: Gráfico de dispersión de la temperatura del aire (°C) versus temperatura de brillo (°C) para el día 01 de mayo del 2008.....	99
Figura 39: Gráfico de dispersión de la temperatura del aire (°C) versus temperatura de brillo (°C) para el día 31 de enero del 2010	99
Figura 40: Gráfico de dispersión de la temperatura del aire (°C) versus temperatura de brillo (°C) para el día 7 de marzo del 2011.....	100
Figura 41: Gráfico de dispersión de la temperatura del aire (°C) versus temperatura de superficie (°C) para el día 11 de febrero del 2008.....	100
Figura 42: Gráfico de dispersión de la temperatura del aire (°C) versus temperatura de superficie (°C) para el día 15 de abril del 2008.....	101

Figura 43: Gráfico de dispersión de la temperatura del aire (°C) versus temperatura de superficie (°C) para el día 1 de mayo del 2008.....	101
Figura 44: Gráfico de dispersión de la temperatura del aire (°C) versus temperatura de superficie (°C) para el día 31 de enero del 2010.....	102
Figura 45: Gráfico de dispersión de la temperatura del aire (°C) versus temperatura de superficie (°C) para el día 7 de marzo del 2011.....	102
Figura 46: Gráfico de dispersión de la temperatura de superficie (°C) versus la temperatura del aire (°C) menos la temperatura de superficie (°C) para el día 11 de febrero del 2008.....	103
Figura 47: Gráfico de dispersión de la temperatura de superficie (°C) versus la temperatura del aire (°C) menos la temperatura de superficie (°C) para el día 15 de abril del 2008.....	103
Figura 48: Gráfico de dispersión de la temperatura de superficie (°C) versus la temperatura del aire (°C) menos la temperatura de superficie (°C) para el día 1 de mayo del 2008.....	104
Figura 49: Gráfico de dispersión de la temperatura de superficie (°C) versus la temperatura del aire (°C) menos la temperatura de superficie (°C) para el día 31 de enero del 2010.....	104
Figura 50: Gráfico de dispersión de la temperatura de superficie (°C) versus la temperatura del aire (°C) menos la temperatura de superficie (°C) para el día 7 de marzo del 2011.....	105

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Mapas referentes a la distribución espacial de las islas de calor urbanas	83
Anexo 2: Correlación entre la temperatura de superficie (°C) y la temperatura de brillo (°C)	95
Anexo 3: Coordenadas geográficas de los núcleos térmicos	96
Anexo 4: Gráficos de dispersión referentes a la relación entre la temperatura del aire (°C) versus temperatura de superficie (°C)	97
Anexo 5: Cuadros referentes a la relación entre temperatura del aire y la temperatura de superficie	106
Anexo 6: Cuadros referentes a la determinación de la relación entre la temperatura de superficie y la vegetación	114

ABSTRACT

Identifying Urban Heat Islands in the City of Lima Using Satellite Images

This thesis analyzes surface heat islands in the City of Metropolitan Lima with the aim of contributing to improve knowledge on this subject and determining the location of surface urban heat islands as well as the relationship between surface temperature and air temperature. The data were obtained through the digital processing of six Landsat 5 TM satellite images of events registered at 10:00 a.m. on February 11, 2008; April 15, 2008; May 1, 2008; April 2, 2009; January 31, 2010, and March 7, 2011. This information was converted to surface temperatures. Moreover, data on air temperature were also obtained from weather stations to analyze the relationship between air temperature and surface temperature.

The results indicate the presence of a negative heat island during the morning, the highest temperatures being observed in non-urban areas. The following heat islands were identified in Metropolitan Lima: 5 surface heat islands, 7 heat islands in industrial and commercial areas, and 3 urban micro heat islands. The relationship between air temperature, surface temperature, and brightness temperature was low – which would indicate that other factors not analyzed in this study influence the surface temperature--, while the relationship between air temperature and the difference between air temperature less surface temperature was high, probably by air advection. No definite conclusion may be drawn on these relationships since they are based on a few meteorological observation points. The data reflect a low relationship between surface temperature and the normalized difference vegetation index (NDVI) due to the small amount of green areas. This research contributes to generate information about superficial urban heat islands in Metropolitan Lima.

Key words: Surface urban heat islands, land surface temperature, Landsat 5 TM, emissivity.

RESUMEN

Islas de calor urbanas en la ciudad de Lima utilizando imágenes satelitales

Esta tesis analiza las islas de calor urbanas superficiales en la ciudad de Lima Metropolitana con la finalidad de determinar la ubicación de las islas de calor urbanas superficiales y la relación entre la temperatura de superficie y la temperatura del aire. Los datos fueron obtenidos mediante el procesamiento digital de seis eventos satelitales Landsat 5 TM correspondientes a las 10:00 am para las fechas 11 de febrero del 2008, 15 de abril del 2008, 01 de mayo del 2008, 02 de abril del 2009, 31 de enero del 2010 y 7 de marzo del 2011; y transformados a temperatura de superficie. Así mismo, se obtuvieron datos de temperatura del aire de estaciones meteorológicas y se analizó la relación entre temperatura del aire y temperatura de superficie.

Los resultados indican la presencia de una isla de calor negativa durante la mañana, presentándose las temperaturas más elevadas en las zonas no urbanas. La ciudad presentó la ubicación de 5 islas de calor superficiales, 7 islas ubicadas en zonas industriales y comerciales y 3 micro islas de calor urbanas. La relación entre temperatura del aire, temperatura de superficie y temperatura de brillo fue baja -- lo que indicaría que otros factores no analizados en esta investigación influyen en la temperatura de superficie--, mientras que la relación entre temperatura del aire y la diferencia entre la temperatura del aire menos la temperatura de superficie fue alta, probablemente por la advección del aire. Sobre estas relaciones no es posible ofrecer una conclusión definida debido a que están basadas en pocos puntos de observación meteorológica. Se encontró una baja relación entre la temperatura de superficie y el índice de vegetación normalizado debido a la poca presencia de áreas verdes. Esta investigación contribuye con generar información sobre las islas de calor urbanas en la ciudad de Lima Metropolitana.

Palabras clave: Islas de calor urbanas superficiales, Temperatura del suelo, Landsat 5 TM, emisividad

I. INTRODUCCIÓN

El elevado aumento poblacional en las ciudades ha generado una alta demanda de casas e inmuebles. Mientras la población aumentó, las ciudades también aumentaron. La alta demanda de casas e inmuebles generó el reemplazo de las áreas verdes como jardines y parques por viviendas y edificaciones. El aumento en el sector de construcción afectó el clima urbano produciendo un nuevo fenómeno, conocido como islas de calor urbanas. Las ciudades almacenan calor causando un aumento de temperaturas que afecta la salud de las personas, el clima urbano y global, la emisión de gases de efecto invernadero y el consumo de energía. Las causas principales han sido la morfología de la ciudad, la contaminación del aire y los parámetros meteorológicos. También existe el fenómeno inverso conocido como isla de calor negativa, en donde el entorno no urbano tiene una temperatura más elevada que el área urbana.

La hipótesis de esta tesis es la siguiente: “En la ciudad de Lima Metropolitana, se presenta una isla de calor negativa, obteniéndose mayores temperaturas en los alrededores no urbanizados y menores temperaturas en el centro de la ciudad y en la cercanía a la costa.” Se espera encontrar este fenómeno (islas de calor negativa) ya que en estudios anteriores se encontró que la temperatura es menor cerca al mar y mayor en el este conforme se aleja del mar.

La importancia de estudiar las islas de calor urbanas radica en aportar conocimientos que pueden contribuir a mejorar el confort térmico en las ciudades y que sus habitantes puedan tener un ambiente más agradable. Es importante conocer la presencia de las islas de calor en Lima Metropolitana porque estas pueden afectar y perjudicar a la salud de las personas. El aumento de temperatura genera un mayor consumo de energía por la utilización de refrigerantes y en consecuencia hay un mayor gasto económico y se liberan gases de efecto invernadero. El aumento de temperatura también acelera la velocidad de las reacciones químicas de los procesos de combustión produciendo gases contaminantes que pueden ser dañinos para el hombre, como el ozono O_3 . Todos estos factores y procesos ambientales son importantes para ordenamiento territorial de las ciudades considerando los factores ambientales, como la temperatura.

El objetivo general de la tesis es:

- Determinar la distribución espacial de las islas de calor urbanas superficiales en la ciudad de Lima Metropolitana y la relación entre la temperatura de superficie estimada y la temperatura del aire.

Los objetivos específicos de esta tesis son:

- Determinar la distribución espacial de las islas de calor superficial en la ciudad de Lima Metropolitana mediante datos de imágenes satelitales, para los días 7 de marzo del 2011, 31 de enero del 2010, 2 de abril del 2009, 11 de febrero del 2008, 1 de mayo del 2008 y 15 de abril del 2008.
- Determinar la relación entre la temperatura de superficie estimada mediante la información satelital y la temperatura atmosférica para los días 7 de marzo del 2011, 31 de enero del 2010, 2 de abril del 2009, 11 de febrero del 2008, 1 de mayo del 2008 y 15 de abril del 2008.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ISLAS DE CALOR Y URBANIZACIÓN

2.1.1. CIUDAD

La palabra ciudad viene del latín civitas. “Las ciudades constituyen el hábitat por excelencia para los seres humanos, y pese a su diversidad presentan características ambientales comunes en muchas partes del mundo” (Romero et al., 2011). Uno de los problemas más interesantes de la Geografía urbana es la misma definición de la palabra ciudad ya que se consideran varios factores como el tamaño, actividad no agrícola, modo de vida, etc. (Capel, 1975). Hay varias definiciones de ciudad:

- “La ciudad es aquella área urbana que presenta una alta densidad de población y cuyos habitantes no suelen dedicarse a las actividades agrícolas” ([definicion.de](#)).
- Una ciudad es una aglomeración de más de 5.000 habitantes donde menos del 25% de la población se dedica a la agricultura (Conferencia Europea de la Estadística de Praga).
- “Se designa con el término de ciudad a aquella área urbana que ostenta una alta densidad poblacional y en la cual predominan fundamentalmente los servicios y las industrias, oponiéndose ciertamente a las actividades de tipo agrícola que se realizan preeminentemente en las regiones rurales” (<http://www.definicionabc.com/>).

2.1.2. ECOSISTEMA URBANO

Una ciudad es un ecosistema urbano, que contiene una parte biótica y una parte abiótica y que funciona a través de intercambios de materia, energía e información (Guía Urbana.com). En este ocurre una estrecha relación de hábitat entre el previamente existente -lo natural- y lo construido por el hombre -lo artificial- (Amaya, 2005).

Un ecosistema urbano está conformado por factores como los climáticos, constituidos por temperatura, humedad y el viento; físicos constituido por la nueva geomorfología territorial; lumínicos constituido por los distintos aspectos de la iluminación; equilibrio ambiental el cual incluye los ruidos, vibraciones y otro; paisajísticos reflejados por el medio circundante y sociales y psicológicos que comprenden las relaciones interpersonales (Guía Urbana.com). La ciudad altera sustancialmente las condiciones naturales del entorno (Guía Urbana.com).

Los ecosistemas urbanos están compuestos de elementos físicos y biológicos interdependientes y dependientes a su vez de otros ecosistemas (Ver Figura 1). “Lo que distingue a los sistemas urbanos de los demás ecosistemas es la enorme preponderancia de su componente humano, con sus características sociales, culturales, económicas y políticas” (Rekondo).

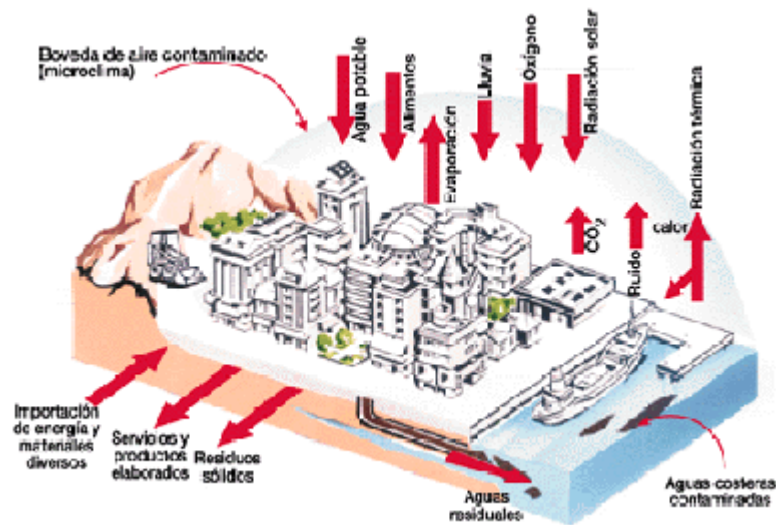


Figura 1: Ecosistema Urbano
Fuente: Rekondo

La ciudad tiene una morfología definida por la red urbana con tres tipos principales de estructuras: la estructura en zonas concéntricas, la estructura en sectores radiales (estructura sectorial) y la estructura en mosaico, en núcleos múltiples (Educación Ambiental en la república dominicana).

Hay tres tipos de transformaciones o sustitución de usos, en el ecosistema urbano (Amaya, 2005):

- Urbano – urbano: Sucede cuando un antiguo uso urbano, como una vivienda, es sustituido por otro uso urbano, como un comercio (Amaya, 2005).
- Rural- rural: Sucede cuando un bosque es sustituido por un área de cultivo para satisfacer una necesidad urbana, como puede ser el abastecimiento alimentario (Amaya, 2005).
- Rural-urbano: Sucede cuando un suelo de uso rural, como un área de cultivo, es acondicionado para ubicar residencias o cualquier otra actividad netamente urbana (Amaya, 2005). Este tipo de transformación tiene el mayor impacto en el ecosistema.

La complejidad de la ciudad depende de las escalas. Hay dos escalas: los macro ecosistemas urbanos y los micros ecosistemas urbanos. Los macro ecosistemas urbanos pueden presentar una gran heterogeneidad de rasgos físico-naturales -incluso tener microclimas-, con diferentes fuentes de agua, energía, alimentos, y otros elementos necesarios para el consumo y alimentación de la población (Amaya, 2005). Estos pueden producir mayores riesgos para los ecosistemas, pérdida de recursos y de materiales (Amaya, 2005). Los micro ecosistemas urbanos son lo opuesto, es menos complejo y tiene componentes más homogéneos (Amaya, 2005). Los riesgos de destrucción del ambiente son menores que los macro ecosistemas urbanos.

2.2. CRECIMIENTO URBANO

2.2.1. CRECIMIENTO URBANO EN EL MUNDO Y EN AMÉRICA LATINA

La ciudad es un sistema dinámico que se encuentran en constante cambio y crecimiento, transformándose con el tiempo y ocupando mayor área de superficie natural por área urbana. El crecimiento urbano implica un incremento de población, cambios y

movimientos asociados a los esfuerzos de cada individuo por encontrar su lugar en la ciudad (Park citado por Elgueta, 2006).

El crecimiento urbano se ha ido incrementando en todo el mundo (Ver Figura 2). En los años 1970, la población rural mundial representaba más del 50 % de la población total. Se estima que para el año 2030, la población urbana mundial tendrá un porcentaje de 60 %.

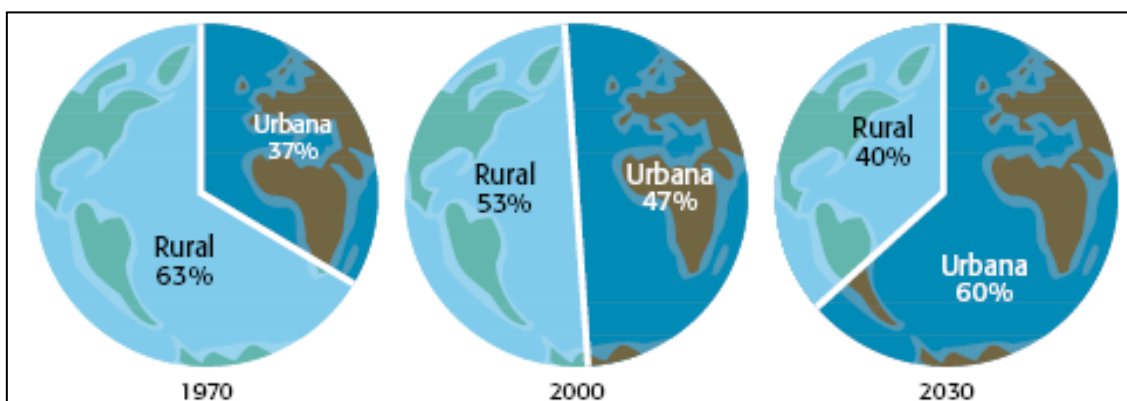


Figura 2: Distribución de la población mundial – urbana y rural
FUENTE: UN-HABITAT; citado por REDLAC (2006).

En América Latina, desde mediados del siglo pasado, los cambios de la composición etaria, ocupacional y residencial de la población ocurrieron en forma casi simultánea con una expansión de la población sin igual en la historia, desde 159 millones en 1950, a 325 en 1980 y, un estimado de 450 en 1990 (INEI, 1993). Esta población equivale al 12% de la población mundial (INEI, 1993). Este crecimiento poblacional ha estado acompañado por un crecimiento de áreas urbanas, que en 1950 alcanzó una urbanización de 25%, llegó a más del 50% en 1980 y a más del 72% en 1990. Siendo este último el más alto porcentaje de habitantes urbanos de los países en el mundo en desarrollo (INEI, 1993). La Figura 3 evidencia el crecimiento de la población urbana en América Latina desde 1960 hasta 1990.

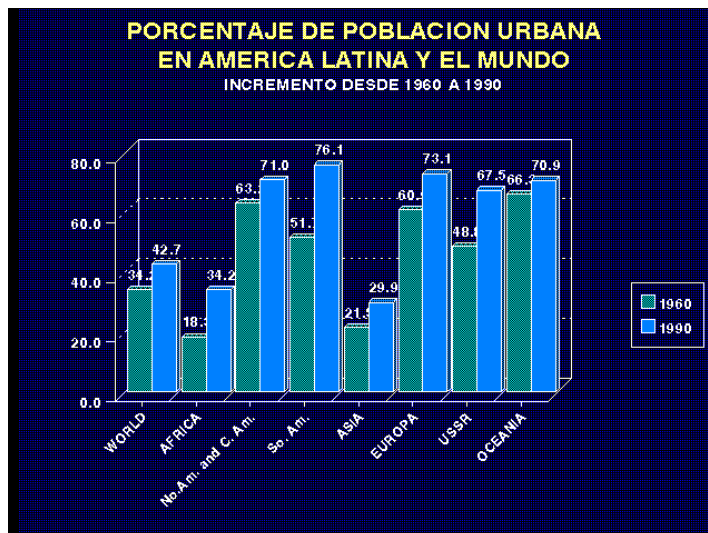


Figura 3: Porcentaje de población urbana en América latina
Fuente: INEI, 1993

2.3. CONSECUENCIAS DE LA URBANIZACIÓN

El crecimiento urbano produce daños en los sistemas ecológicos y en el medio ambiente. Entra las consecuencias más destacadas se encuentran:

- Dañar a los sistemas ecológicos y a las funciones que se dan en este (Mashour y Mc Donell, 2005).
- La destrucción de los factores bióticos en el ecosistema urbano (Mashour y Mc Donell, 2005).
- Aumento de contaminación del aire, contaminación del suelo, contaminación del agua, etc. (Mashour y Mc Donell, 2005).
- Introducción de plantas y animales no nativos en áreas naturales (Mashour y Mc Donell, 2005).
- Aumento de exposición de enfermedades para los humanos (Mashour y Mc Donell, 2005).
- Aumenta el riesgo de la contaminación del agua proveniente del uso de productos químicos como fertilizantes, pesticidas, gasolina, aceite, etc. (Mashour y Mc Donell, 2005).
- Aumento el riesgo potencial de inundaciones y la erosión del suelo debido cambio de uso del suelo desnudo a pavimento en la ciudad (Mashour y Mc Donell, 2005).

- Disminución del agua subterránea causada por los cambio del uso de las superficies como el pavimento que impiden que el agua se infiltre hacia el suelo (Mashour y Mc Donell, 2005).

Como señala Mashour y Mc Donell (2005) el crecimiento urbano también puede afectar negativamente a la sociedad y la economía en las comunidades. Este aumenta el costo de mantenimiento para pistas, caminos, transporte, alcantarillado y otros servicios que se necesitan para los negocios y las viviendas; aumento del precio de la propiedad; aumenta la contaminación generada por el aumento del uso de automóviles; genera el aislamiento de los jóvenes, pobres o personas de tercera edad que no tienen acceso a los carros; aumenta el costo y la dificultad para proveer el transporte público; aumenta el tiempo necesario para transportarse, reduciendo el tiempo disponible para estar en compañía de amigos o familiares o contribuir con la comunidad; genera la pérdida de trabajos en el campo y prácticas de usos tradicionales de tierras; general la reducción del sentido de pertenencia a una comunidad y genera el aumento de las legislaciones que regulan el ruido, olores, etc. (Mashour y Mc Donell, 2005).

Así mismo, el crecimiento urbano también puede afectar a la litósfera, atmósfera e hidrosfera (Ver Cuadro 1). Henry y Heinke (1999) indican que el componente urbano afecta a la atmosfera generando temperaturas medias más elevadas en las zonas con mayor urbanización generando temperaturas medias más elevadas en las zonas con mayor urbanización (Ver Cuadro 1).

Cuadro 1: Impactos ambientales de la urbanización

Componente ambiental	Componente Urbano			
	Población	Uso de suelo	Transporte	Servicio
Impactos humanos	Impactos psicológicos de la vida en zonas de alta densidad.	Impactos psicológicos.	Niveles de ruido más altos. Efectos del ruido y la contaminación del aire en la salud.	...
Litósfera	Incremento en la transformación de tierras agrícolas o no utilizadas y deshabilitadas para usos urbanos.	Cambios completos debido a construcción, enjardinado, etc.	Destrucción o desfiguración del paisaje, etc.	El relleno sanitario para los desperdicios urbanos y la instalación y reparación de servicios alternas el paisaje.
Atmósfera	Creciente liberación de CO ₂ , menor producción de O ₂ conforme las colonias vegetales son destruidas por la expansión de la áreas urbanas.	Temperaturas medias más elevadas en la mayor parte de las áreas urbanas.	Contaminación del aire por quema de combustible. Creación de smog fotoquímico. Emisión de plomo por ciertos motores.	Partículas emanaciones nocivas de incineraciones, rellenos sanitarios, obras de tratamiento de aguas negras, etc.

Componente ambiental	Componente Urbano			
	Población	Uso de suelo	Transporte	Servicio
Hidrosfera	Mayor demanda de recursos acuíferos.	Uso intensivo de recursos hidrológicos que causa una carga de contaminación mayor.	Aguas pluviales y superficiales contaminadas por patrones de drenaje alterados por la infraestructura.	Lixiviados de contaminantes de los rellenos sanitarios. Contaminación proveniente de barcos. Descarga de las salidas de alcantarillado

FUENTE: Henry y Heinke (1999)

2.4. CLIMA URBANO

La modificación del clima urbano es una de las consecuencias más importantes de la urbanización. “La ciudad es el ejemplo más representativo de las modificaciones que el hombre es capaz de introducir en el medio; modifica las condiciones climáticas y ambientales, elevando la temperatura y afectando al régimen de precipitaciones y de vientos, entre otros” (Gómez, 2005, citado por Romero et. al. 2011). El clima urbano se define como las condiciones climáticas que permanecen en un área metropolitana y son diferentes de clima de sus alrededores. El clima urbano modifica a la temperatura del aire, la humedad, la velocidad y dirección del viento y la cantidad de precipitación. Estas diferencias se deben a la sustitución del terreno natural por el terreno urbano (The free dictionary by Farlex).

Tal como indica la Figura 4, el clima urbano depende de una diversidad de factores; tanto naturales (latitud, topografía, cubierta vegetal, entre otros) como artificiales (calor producido por el hombre, contaminación atmosférica, etc.)

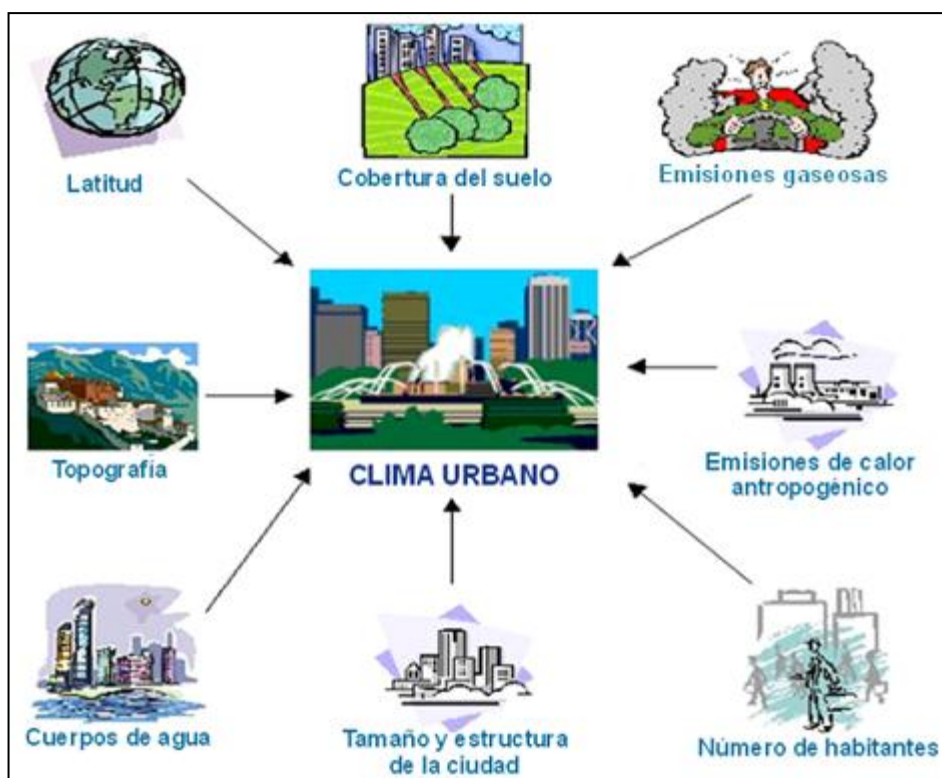


Figura 4: Factores que influyen en el ecosistema urbano
 Fuente: Elaboración propia en base a Sebastian Wypych,

Según Seoánez (2001) los efectos causados por la ciudad en el clima se generalizan y agrupan en: modificación de la composición del aire, modificación del equilibrio térmico, modificación en la dinámica del aire, modificación en el régimen de tormentas, modificación en el régimen pluviométrico, modificación de la rugosidad topográfica, impermeabilización del suelo y poca vegetación y por ende poca evapotranspiración.

2.4.1. ATMÓSFERA URBANA

La atmósfera urbana se diferencia de la atmósfera rural, en la medida que su composición ha sido modificada por: (a) la presencia de gases contaminantes como lo son: el dióxido de azufre, óxido de nitrógeno, dióxido de nitrógeno, monóxido de carbono, entre otros; (b) los compuestos orgánicos; (c) los productos foto químicos, como el ozono troposférico y (d) las partículas sólidas o aerosoles (Moreno, 1999). En la Figura 5, página 12, se aprecia la composición de la atmósfera urbana.

COMPOSICIÓN DEL AIRE	
Atmósfera rural	Atmósfera urbana
Mezcla de gases	Mezcla de gases
$\left[\begin{array}{l} \text{N}_2 \\ \text{O}_2 \\ \text{Ar} \\ \text{CO}_2 \\ \text{y otros} \end{array} \right.$	$\left[\begin{array}{l} \text{N}_2 \\ \text{O}_2 \\ \text{Ar} \\ \text{CO}_2 \\ \text{y otros} \end{array} \right.$
Partículas sólidas y líquidas en suspensión (polvo, humos, cenizas, sales, etc.)	Partículas sólidas y líquidas en suspensión (polvo, humos, cenizas, sales, etc.)
	SO ₂ , NO, NO ₂ , CO, etc.
	Compuestos orgánicos
	Productos fotoquímicos (O ₃)
	Aerosoles (Al, As, C, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Ti, V, etc.)

Figura 5: Composición de la atmosfera urbana

FUENTE: Moreno, 1999

La actividad del hombre produce catalizadores que contribuyen a la formación de reacciones químicas y fotoquímicas, es decir con intervención de la radiación solar (Moreno, 1999). Una de estas reacciones más importante, es la formación del ozono troposférico (Ver Figura 6).

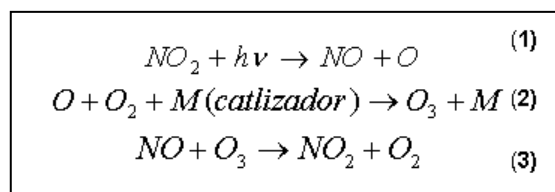


Figura 6: Formación del ozono troposférico

FUENTE: CEC.ORG

El ozono troposférico es un fuerte oxidante, poderoso reactivo, es nocivo para la salud humana y animal, y además es componente básico para la formación del smog fotoquímico, por lo que es una de las principales causas de contaminación ambiental en las áreas urbanas (CEC.ORG).

Oke (1981), citado por Pagliarini (2008), distinguió que en la ciudad, el flujo del viento, proveniente de las áreas rurales, presenta una atmósfera estratificada y diferenciada; y propuso dividirlos en dos capas: la capa límite dosel urbano y la capa límite urbano (Ver Figura 7).

- La capa límite del dosel urbano: es la capa atmosférica existente desde la superficie urbana hasta el nivel de los techos de la ciudad, producido por procesos de pequeña escala situados en la calle, entre edificios, etc. (Pagliarini, 2008, citado por Barros 2010).

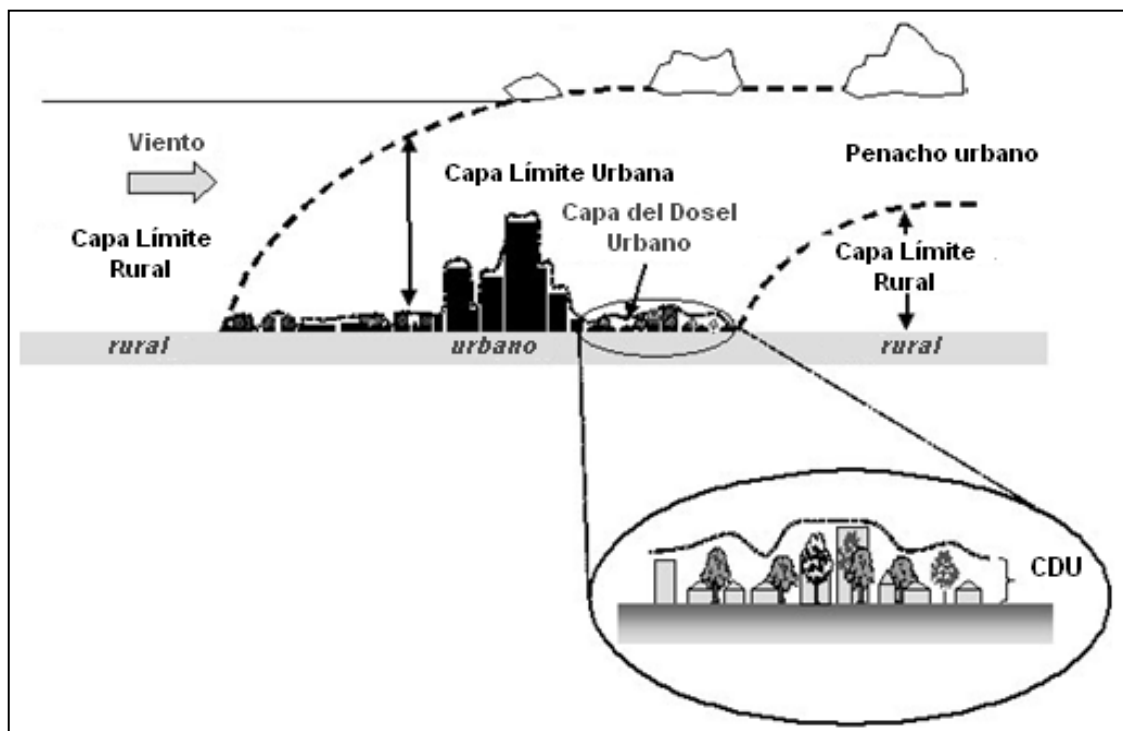


Figura 7: Componentes de la atmósfera urbana
 FUENTE: Voogt (2008), citado por Barros (2010)

- La capa límite urbano: es aquella porción de la atmósfera donde las características climáticas están influenciadas por la presencia de la superficie de la ciudad. Se extiende desde encima de los techos hasta un nivel por debajo del cual los fenómenos locales o mesoescálicos estén dominados por la naturaleza de la superficie urbana. Esta capa tiene una mayor extensión, durante las horas del día,

debido a que la convección contribuye a elevarla, sin embargo, durante las noches, la capa límite urbana es más estable y disminuye su extensión porque no hay procesos convectivos que originen la transferencia vertical (Moreno, 1999 citado por Barros 2010).

2.5. CONCEPTOS, TIPOS, CARACTERÍSTICAS

2.5.1. CONCEPTOS

La isla térmica o isla de calor urbana (ICU) es aquel efecto inducido por la urbanización y las actividades antropogénicas que éstas conllevan. “Se define a la “Isla Urbana de Calor” cuyas siglas en inglés son UHI (Urban Heat Island) como la diferencia térmica entre el área urbana y sus alrededores” (Galindo, 2010). La isla de calor es una situación urbana donde el calor se acumula. Las islas de calor urbanas se forman en áreas urbanas y suburbanas porque muchos de los materiales comunes utilizados en las construcciones absorben y retienen más calor que los materiales naturales en áreas rurales menos desarrolladas (Gartland, 2008). Las dos principales causas son:

- La mayoría de los materiales urbanos son impermeables generando que la humedad no esté disponible para disipar el calor (Gartland, 2008).
- Los materiales oscuros como el pavimento, colectan y atrapan la energía del sol (Gartland, 2008).

2.5.2. TIPOS DE ISLAS DE CALOR

a. Isla de calor atmosférica

Usualmente se refieren al aumento de temperatura del aire. Estas son estimadas a partir de mediciones de temperatura del aire dentro de la atmosfera urbana, conocida como la capa dosel (Voogt, 2002).

b. Isla de calor superficial

La isla de calor urbana superficial (ICUs) corresponde a las altas temperaturas de emisión que alcanzan las diferentes estructuras de las ciudades y cuerpos urbanos y que son captados directamente por sensores infrarrojos, tales como los disponibles en los satélites de observación terrestre (Sarricolea y Romero, 2006, citados por Sarricochea 2008). La temperatura de la superficie es más sensible a las condiciones superficiales y en consecuencia se produce una mayor variabilidad espacial y temporal entre el día y la noche, que la encontrada en la isla de calor atmosférica (Voogt, 2002). La ICUs no está sometida directamente a las compensaciones térmicas que realizan los flujos de aire, desde las superficies más cálidas a las más frías, y que regulan la temperatura del aire de las ciudades, por lo que cabe esperar rasgos térmicos más marcados (Sarricochea, 2008).

c. Isla de calor micro urbana

La isla de calor micro urbana (Micro urban heat island) son los lugares calientes con poca vegetación, techos con poca reflectividad y pistas asfaltadas (Pérez y Peña, 2010). Estas son afectadas por los factores del micro clima (Pérez y Peña, 2010). Es mejor identificarlas utilizando datos de sensoramiento remoto (Pérez y Peña, 2010).

d. Isla de calor negativa

Las islas de calor negativas (Urban heat sink) sucede cuando la ciudad es más fría que las zonas no urbanizadas (Pérez y Peña, 2010). Se han encontrado islas de calor negativas en ciudades con climas templados, tropicales, semiáridos y áridos, principalmente durante la mañana (Pérez y Peña, 2010).

La Figura 8 evidencia las altas correlaciones en las temperaturas superficiales y del aire durante la noche (tanto en magnitud como distribución), la casi nula existencia de ICU atmosférica durante el día; y la existencia de la ICUs durante el día muy sometidas a las superficies construidas y con dos núcleos: el centro de la ciudad y las zonas industriales (Sarricolea, 2010).

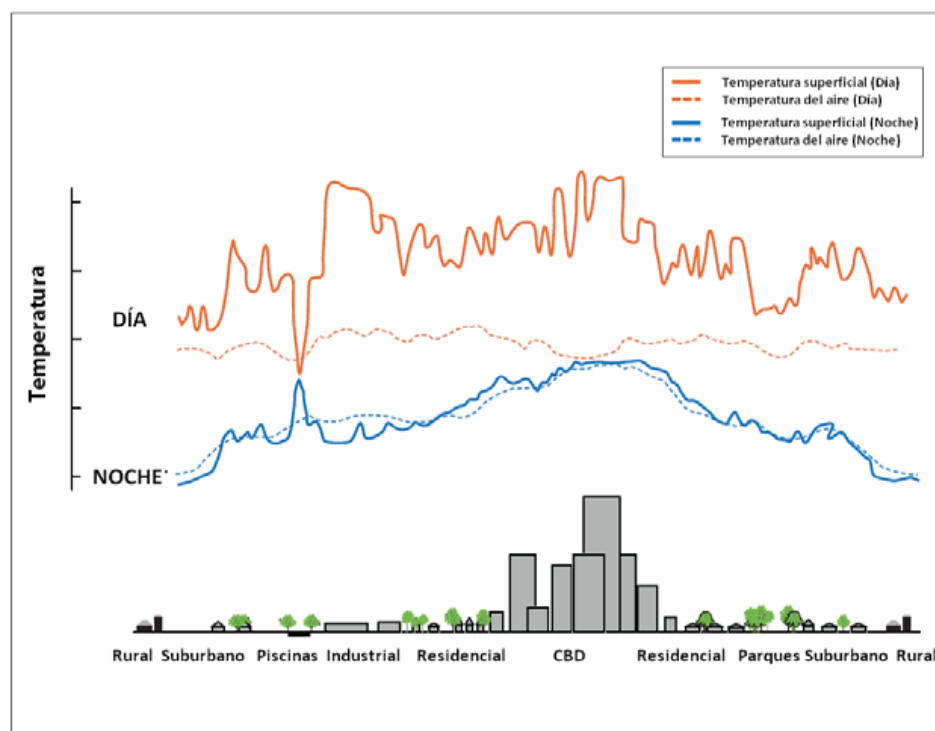


Figura 8: Correlación entre la islas de calor atmosférica y la superficial
Fuente: Sarricole, 2010

2.5.3. CARACTERÍSTICAS DE LA ISLAS DE CALOR

Una vez que se ha originado el fenómeno de la isla de calor, éste queda caracterizado por tres parámetros que son: su intensidad, su forma o configuración y la localización del máximo térmico.

a. Intensidad

La intensidad o magnitud del fenómeno se obtiene mediante la diferencia máxima observada, en un momento determinado, entre la temperatura de un punto del centro de la ciudad y otro de su periferia (Serra, 2007). Esta dependerá, principalmente, de factores temporales (como la hora del día y la estación del año), de factores meteorológicos (como, por ejemplo, la velocidad del viento y la nubosidad) y de factores urbanos (como el tamaño de la ciudad, la población, etc.) (Serra, 2007). Es muy difícil indicar la máxima intensidad respecto a la estacionalidad global (verano, otoño, invierno, primavera), ya que ella

dependerá de las condiciones propias de la localización geográfica del emplazamiento de la ciudad, su entorno y su climatología (Sarricochea, 2008). Para las islas de calor urbano superficial (ICU) la estacionalidad de la máxima intensidad de ICU depende de las condiciones propias de localización geográfica del emplazamiento de la ciudad y su entorno (Sarricolea et. al., 2008, citado por sarricolea 2010).

b. CONFIGURACIÓN espacial

Queda reflejada gráficamente mediante la disposición correspondiente de isothermas (Serra, 2007). La forma del fenómeno no depende tanto de las condiciones meteorológicas concretas, como de factores de tipo urbano (Serra, 2007). Así se puede llegar a afirmar que existen tantas formas distintas del fenómeno como morfologías distintas de ciudades (Serra, 2007). La configuración espacial que adquiere la ICUs no es estable y su variabilidad temporal puede ser muy importante, estando relacionados estos cambios con la dinámica atmosférica regional y por determinadas condiciones meteorológicas (Sarricolea 2010).

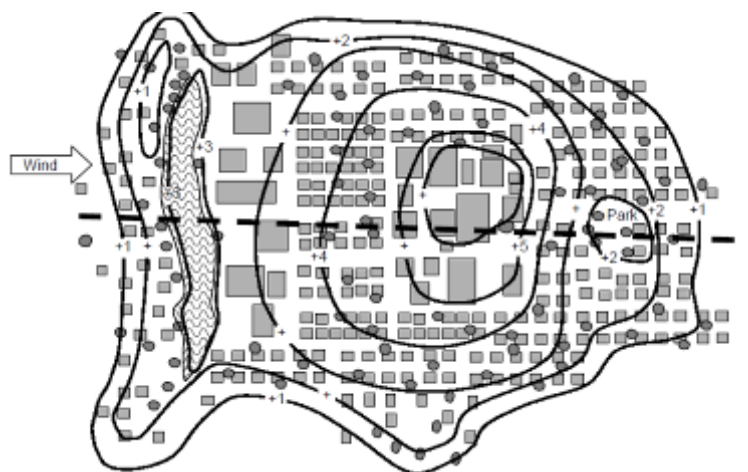


Figura 9: Configuración espacial de la isla de calor

Fuente: Voogt 2002

La Figura 9 muestra la configuración espacial de la temperatura del aire de una isla de calor atmosférica.

c. Localización del máximo térmico

El máximo térmico es la zona donde se concentra el calor. Este está determinado por factores urbanos, por ciertas condiciones meteorológicas, como puedan ser las eólicas, y por la estación del año (Serra, 2007). Los factores urbanos que pueden afectar a la localización del máximo térmico son los mismos que afectan a la configuración (Serra, 2007). En cuanto a las condiciones meteorológicas, según la situación sinóptica y la dirección del viento, la localización del máximo pudiera sufrir un desplazamiento a sotavento del flujo dominante (Serra, 2007).

2.6. FORMACIÓN Y CONSECUENCIAS DE LAS ISLAS DE CALOR

2.6.1. FORMACIÓN

Los factores que influyen en la formación de las islas de calor son la morfología de la ciudad, los parámetros meteorológicos y la contaminación atmosférica.

a. Morfología de la ciudad

- Materiales de la ciudad: El calor en la ciudad está relacionado a los materiales de construcción y su componente térmico. “Un mayor almacenamiento del calor durante el día en la ciudad, debido a las propiedades térmicas y caloríficas de los materiales de construcción urbanos y su devolución a la atmósfera durante la noche” (Serra, 2007). Durante el día los materiales se van calentando progresivamente, si bien de un modo más lento que el propio suelo desnudo o cubierto de vegetación, y durante la noche, se va enfriando, también muy lentamente, a diferencia de los suelos rurales o con vegetación, que sufren una rápida pérdida de calor por la irradiación nocturna (Serra, 2007). Esto causa que el aire urbano se enfríe lentamente durante la noche.
- Las edificaciones altas: Las zonas edificadas ofrecen más superficie para la absorción de calor, el cual irradian lentamente durante la noche (Gartland, 2008). Otro efecto de los edificios altos son las múltiples reflexiones horizontales de la

radiación recibida, que aumentan la probabilidad de que esta energía permanezca en el suelo en lo que se conoce como efecto cañón (Gartland, 2008).

- Falta de áreas verdes: La falta de grandes zonas verdes y el entubamiento de los afluentes acuáticos en la ciudad reduce las oportunidades de transformar la energía solar a través de los procesos de fotosíntesis o evaporación del agua (Gartland, 2008). Diversos estudios muestran la relación directa entre las altas temperaturas urbanas y la falta de vegetación (Gartland, 2008).
- Tamaño de la ciudad: El número de habitantes es otro factor que influye en la generación de islas de calor. Oke, citado por García et al., en el 2004, establece que “la diferencia térmica entre la temperatura del interior de una ciudad y la temperatura de una zona rural próxima, T_{u-r} , está relacionada con la población de dicha ciudad (P) de forma logarítmica (Oke, citado por García et al., 2004).”

$$T_{u-r} = 3,06 \text{ Log } P - 6,79$$

- Incremento de la superficie rugosa: Hay una mayor intensidad en las islas de calor cuando el viento tiene baja velocidad (Landsberg, 1981, Tumanov et al. 1999, citados por Gartland, 2008). Cuando la velocidad del viento es baja, hay menos convección del calor de las superficies al aire (Che-Ani et al. 2009). Los edificios de las ciudades con su singular geometría y rugosidad reducen la velocidad del viento aumentando la intensidad de las islas de calor (Serra, 2007).
- Efecto de cañón: Los sectores existentes entre los edificios son conocidos como cañón urbano (Ver Figura 10, en la página 20). Estas zonas poseen una gran superficie vertical, en la cual hay una gran reflexión y absorción de la radiación del sol generando que las áreas urbanas absorban de forma más eficiente la radiación solar en onda corta que las rurales. Las diferentes geometrías urbanas permiten que haya una mejor absorción de la radiación durante los periodos donde el ángulo cenital solar es alto, como el amanecer y el atardecer. Esto se debe a que el efecto cañón reduce el valor global del albedo de la zona urbana independiente de los albedos individuales de cada material de la superficie (Streutker, 2003). Además, la presencia del cañón urbano contribuye a la disminución de la eficiencia con la que el área urbana puede liberar en onda larga, el calor almacenado, hacia la atmósfera y el espacio, ya que las diversas superficies reabsorben la radiación en onda larga emitidas (Streutker, 2003).

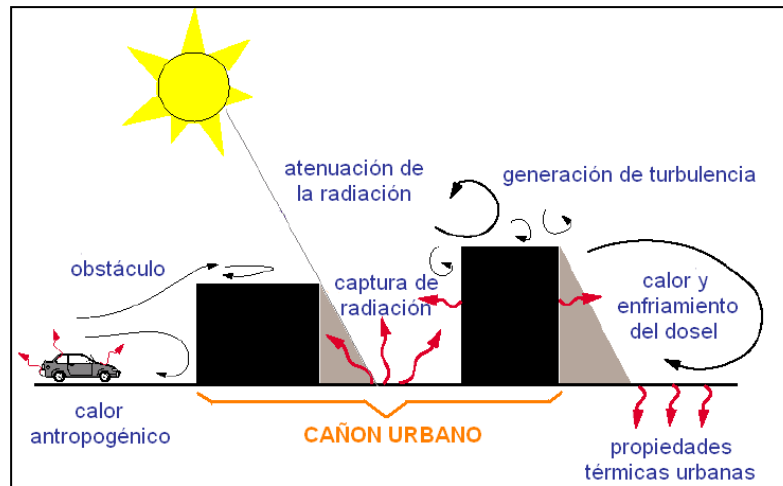


Figura 10: Cañón urbano

FUENTE: Modificado de Chuan-Yao (2008)

- Decrecimiento del factor visión cielo: La EPA (2007) define como factor visión cielo, SVF por sus siglas en inglés, al “área visible del cielo”. Los edificios con su singular geometría disminuyen el área visible del cielo, creando una barrera para el cielo nocturno impidiendo que el calor se disipe durante la noche.

b. Parámetros meteorológicos

De esta categoría depende principalmente la intensidad de la isla de calor urbana. Los factores más importantes son:

- Los vientos: El viento es el principal causante de la intensidad de la isla de calor, ya que ésta muestra una gran sensibilidad a su presencia. La cápsula de gases solo puede ser rota cuando los vientos son superiores a 20 km/h, si en la superficie hay demasiados edificios de mucha altura el aire será obstruido y la cápsula no se romperá, sin embargo hasta lo más natural puede provocar una cápsula de calor. Las ciudades localizadas en un valle rodeado de montañas de más de 500 m son más propensas a una isla de calor, pues el aire queda obstruido por las montañas que la rodean haciendo la cápsula más densa y gruesa.
- Radiación solar: Esta es la principal causa meteorológica de la formación de las islas de calor. Un aumento de la absorción de radiación solar, debido al efecto de

captura que produce la singular geometría que presentan las calles y los edificios, que contribuye a un albedo relativamente bajo. La radiación solar incidente sufre múltiples reflexiones en las fachadas y en el suelo, quedando atrapada entre las calles (Serra, 2007).

- Evapotranspiración: La expansión urbana genera que se reemplace el suelo natural por un suelo artificial, produciendo que disminuyan la cantidad de áreas verdes. Este suceso genera una disminución de la evapotranspiración como una pérdida de calor latente con relaciones a las áreas rural y en consecuencia un aumento de la temperatura del aire. Por otro lado, los materiales impermeables y los sistemas de drenaje para el transporte de aguas superficiales, afectan a la pérdida de calor latente a través de la evaporación (Streutker, 2003). La Figura 11 muestra como el reemplazo del suelo natural por artificial reduce la evapotranspiración en un 10 % y aumenta el escurrimiento superficial en un 45 %.

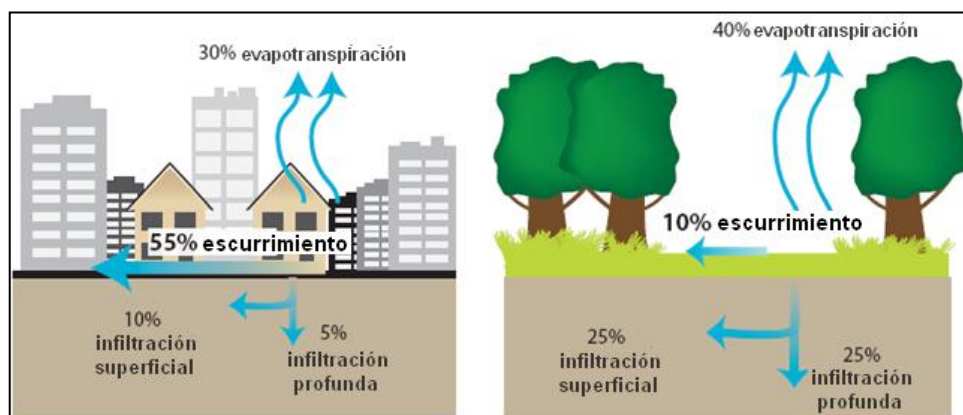


Figura 11: Reducción de la evapotranspiración en la ciudad

FUENTE: EPA (2007)

- Humedad atmosférica: El agua posee una gran propiedad termorreguladora la cual permite reducir las variaciones térmicas que puedan ocurrir en el aire (Seoáñez, 2001). Las grandes áreas que posean altos valores de humedad, serán menos propensos a sufrir grandes diferencias entre las temperaturas urbanas y rurales.

c. Contaminación atmosférica

La contaminación atmosférica se da por un aumento de la radiación de onda larga que es absorbida y reemitida hacia el suelo por la contaminada atmósfera urbana. La radiación de onda larga es emitida del suelo hacia la atmósfera, ante el obstáculo que representa la presencia de una capa de contaminantes en la atmósfera urbana, es absorbida un parte de esta radiación por dicha capa, que vuelve remitir la radiación hacia el suelo (Moreno, 1993 y 1999, citado por Serra, 2007). Esto impide el paso de la radiación de onda larga hacia niveles atmosféricos superiores y su pérdida al espacio (Moreno, 1993 y 1999, citado por Serra, 2007).

- La actividad del hombre: La actividad industrial y doméstica genera un aporte de calor al medio. En particular los sistemas de refrigeración en la ciudad forman parte de un círculo vicioso, ya que generan calor extra y su uso se incrementa con la temperatura. Algunos autores explican que la isla de calor es como un efecto invernadero local, pues los gases se encierran en un solo lugar provocando una cápsula de gases que absorbe calor del sol.
- Polución: Las actividades del hombre como el transporte generan una alteración en la composición de la atmósfera urbana en comparación con la atmosfera rural. Los contaminantes y emisiones de gases de efecto invernadero generados en las ciudades, absorben y re irradian la radiación de onda larga hacia la superficie, evitando su pérdida hacia las capas más altas de la atmosfera, y contribuyendo a incrementar la temperatura del aire, lo cual significa que es una de las causas que originan la presencia de las isla de calor (Streutker, 2003).

Cuadro 2: Factores que influyen en la formación de islas de calor urbanas y su efecto en el balance de energía.

Factores que contribuyen a la formación de ICU	Efecto en el balance de energía
Disminución en la vegetación	Reduce la evaporación
Aumento de superficies impermeables	Reduce la evaporación
Aumento de la difusividad termal en los materiales urbanos	Aumenta el almacenamiento de calor
Baja reflectancia solar en los materiales urbanos	Aumenta la radiación neta
La geometría urbana que atrapa el calor	Aumenta la radiación neta
La geometría urbana que reduce la velocidad del viento	Reduce la convección
El aumento de la contaminación del aire	Aumenta la radiación neta
El incremento del uso de energía	Aumenta el calor antropogénico

FUENTE: Gartland, 2008

En el Cuadro 2, se indican los factores que contribuyen a la formación de las islas de calor urbanas y el efecto que estos tienen en el balance de energía. De estos factores, los dos que tienen más influencia en la formación de las islas de calor urbanas son la disminución en la vegetación y el aumento de superficies impermeables.

2.6.2. CONSECUENCIAS DE LAS ISLAS DE CALOR

Las islas de calor urbanas pueden tener efectos positivos y negativos en las distintas ciudades del mundo y generalmente durante la época de verano se observa sus efectos negativos al ambiente y a la calidad de vida. En el Cuadro 3, página 24, se indican las consecuencias por región climática y por estación.

Cuadro 3: Impacto de las islas de calor clasificado por región climática

Impacto	Región Climática	
	Fría	Caliente
Confort humano	Positivo (invierno) Negativo (verano)	Negativo (todas las estaciones)
Uso de energía	Positivo (invierno) Negativo (verano)	Negativo
Contaminación del aire	Negativo	Negativo
Uso del agua	Negativo	Negativo
Actividad biológica	Positivo	Pero probablemente
Hielo y nieve	Positivo	No aplica

FUENTE: Oke (1997), citado por Voogt (2000)

Entre las consecuencias negativas están: el aumento de consumo de energía, las elevadas emisiones de contaminantes y gases de efectos invernadero, el daño al confort térmico y a la salud del hombre y el deterioro de la calidad del agua (EPA, 2011).

a. Aumento del consumo de energía

En verano, al aumentar la temperatura del aire por el efecto de la isla de calor urbana se incrementa el consumo de energía en las ciudades, debido a que se demanda mayor uso de refrigerantes para mantener una temperatura adecuada dentro de las instalaciones urbanas. Investigaciones han demostrado que por cada 0.6 °C de aumento en la temperatura del aire, el consumo de electricidad aumenta 1.5 – 2 % (Akbari, H. 2005, citado por la EPA). Las islas de calor urbanas aumentan el consumo de energía usualmente en el verano.

b. Elevadas emisiones de contaminantes y gases de efectos invernadero

Como ya se mencionó, las ICU aumentan la demanda por el uso de energía eléctrica en verano. Las compañías que proveen energía eléctrica dependen de plantas de combustibles fósiles. Para abastecer las demandas de combustibles fósiles, las compañías

contaminan el aire liberando gases contaminantes y de efecto invernadero como el SO₂, NO_x, PM, CO, etc. (EPA).

Richard (2003), menciona en su tesis doctoral, que debido al efecto de la isla de calor urbana, la circulación del aire urbano surge en respuesta del gradiente del aire entre las áreas urbanas y rurales. El aire más caliente de la ciudad se eleva por diferencias de presión y este aire ascendente conduce a una circulación térmica que se alimenta en superficie por la fluencia del viento desde la periferia hacia el centro urbano. Esta circulación del aire, según Sailor (2007) provoca una mezcla y dispersión de los contaminantes.

Según Sailor (2007), el aumento de la temperatura afecta a las emisiones de hidrocarburos, ya que éstas se incrementan en un 10% por cada grado centígrado, así mismo las emisiones provenientes de las actividades humanas también se ven influenciadas por la temperatura debido a que los motores vehiculares en funcionamiento aumentan sus emisiones en un 7 – 14% por cada grado centígrado incrementado y a que las emisiones fugitivas de los centros de venta de combustible se incrementan también con la temperatura.

La presencia del efecto isla de calor, como bien ya se mencionó, incrementa la temperatura del aire ocasionando que las velocidades de reacción de algunos contaminantes se aceleren. Según Gray y Finster (2000), uno de los contaminantes más favorecido es el ozono troposférico, el cual es el principal causante del smog fotoquímico, teniendo efectos perjudiciales sobre la salud humana y el medio ambiente.

c. Daño al confort térmico y a la salud del hombre

Las islas de calor pueden contribuir el discomfort general, las dificultades en la respiración, el cansancio, deshidratación e incluso la muerte (EPA). Las islas de calor pueden incrementar los daños en las olas de calor que ocurren en Europa. La población más sensible a estos daños, como los niños y los adultos mayores, son más susceptibles a sufrir daños a la salud por las olas de calor.

Los eventos de calor excesivo son particularmente peligrosos y pueden causar varias muertes. En Estados Unidos, el centro de prevención y control de enfermedades (The Centers for Disease Control and Prevention) ha estimado que entre 1979 al 2003, la exposición al calor elevado ha contribuido a más de 8000 muertes prematuras (Center for Disease Control and Prevention. 2006, citado por EPA).

d. Deterioro de la calidad del agua

Las personas consumen mayor cantidad de agua ya que aumenta la frecuencia de duchas, utilizan mayor cantidad de agua para regar el jardín, utilizan el agua para actividades recreacionales como la piscina, etc. Según Gelt (2006) el agua y la energía están relacionadas entre sí. El aumento de energía producido por el aumento de consumo de refrigerantes genera que se aumente la cantidad utilizada de agua por las hidroeléctricas para producir energía.

Así mismo, un efecto en la cantidad del agua existente debido al aumento de la temperatura, origina un aumento en la evaporación y evapotranspiración del agua, ya sean en fuentes naturales o de las fuentes artificiales de agua que existen en las ciudades (Gelt, 2006).

2.7. MEDICIÓN DE LAS ISLAS CALOR

La forma ideal de medir las islas de calor sería examinar el clima regional con la ciudad y sin la ciudad. Sin embargo, eso es imposible. Los métodos se clasifican en: medición de la isla de calor atmosférica y medición de la isla de calor superficial.

2.7.1. MEDICIÓN DE LAS ISLAS DE CALOR ATMOSFÉRICA

Consiste en medir la temperatura del aire.

a. Estaciones meteorológicas

Este método consiste en comparar los datos meteorológicos existentes provenientes de dos o más estaciones meteorológicas fijas. Este método se ha usado principalmente para comparar los datos meteorológicos entre una estación en la ciudad y otra en los alrededores no urbanizados, estudiar los datos de varias estaciones e investigar datos meteorológicos históricos para evaluar las islas de calor en el tiempo (Gartland, 2008).

b. Transectos

Este procedimiento metodológico consiste en tomar medidas meteorológicas (temperatura y humedad relativa) en diferentes puntos de la ciudad a través de una ruta pre-establecida mediante el uso de automóviles. Los transectos surgen ante la necesidad de cubrir una mayor área de estudio, debido a que la red, poco densa, de observatorios y estaciones meteorológicas no son suficiente para brindar datos del clima urbano. Se utiliza el método de los transectos para tomar datos de temperatura del aire y humedad relativa en el área de estudio (Cuadrat et al., 1993). Este es el método más utilizado, siendo empleado hace ya varias décadas (Yamashita et al., 1994; citado por Correa et al., 2005). Fue empleado por primera vez en 1930 por Schmidt para estudiar el clima urbano en la ciudad de Viena (Vide, 1987; citado por Carreras et al., 1990).

c. Sensoramiento vertical

Este método sirve para medir las temperaturas y otras propiedades en diferentes alturas y capas: canopy y boundary. Este método incluye un globo meteorológico, instalación de equipos meteorológicos en torres de radios o volando en diferentes alturas en helicópteros o aviones.

2.7.2. MEDICIÓN DE LAS ISLAS DE CALOR SUPERFICIAL

Las islas de calor superficial se pueden medir por el método de balance de energía y el método de sensoramiento remoto.

a. Balance de energía

En este método se mide la energía que entra y sale de las superficies. Este método provee un mejor entendimiento de los orígenes de las islas de calor.

b. Sensoramiento remoto

Todas las superficies emiten energía termal la cual está comprendida en longitudes de ondas. Los instrumentos en los satélites pueden identificar y medir la energía termal, generando un indicador de temperatura (Environmental Protection Agency, 2012). Los valores de temperatura de los satélites no corresponden a los valores de temperatura que obtendríamos realizando la medición in situ, es necesario introducir dos factores de corrección: la corrección por emisividad y la corrección atmosférica (Lopez y Caselle, 1986).

- La corrección por emisividad: Las temperaturas calculadas a partir de la radiación emitida en el intervalo espectral del infrarrojo térmico se obtienen suponiendo que el sistema observado se comporta como un perfecto cuerpo emisor (cuerpo negro), lo cual en la práctica no es rigurosamente cierto, ya que la emisividad varía en función de la naturaleza y las características de la superficie observada (Lopez y Caselle, 1986). Debido a la heterogeneidad de la superficie terrestre (tipo de suelo, rugosidad, cobertura vegetal, etc.) la emisividad varía de forma considerable de unas superficies a otras (0.85 -0.99), por lo que es necesario tener en cuenta este factor a la hora de determinar las temperaturas a partir de una imagen satelital (Lopez y Caselle, 1986).
- Corrección atmosférica: La radiación emitida por la superficie llega al satélite después de atravesar un medio absorbente y emisor como es la atmósfera, que

introduce diferentes perturbaciones, parte de esta radiación es absorbida por los componentes atmosféricos, siendo el principal el vapor de agua (Lopez y Caselle, 1986). Para realizar la corrección atmosférica, es necesario conocer el perfil vertical de la humedad en la atmósfera (Lopez y Caselle, 1986).

c. Satélites para estimar la temperatura

Se utilizan varios satélites para estimar la temperatura de superficie. Los satélites más usados son el NOAA (usualmente se usa para estimar la temperatura de superficie y del mar), el Landsat (estimar temperatura del suelo), el Terra, el Acua, etc.

- Series Landsat: El satélite Landsat 5 fue puesto en órbita el 01 de marzo de 1984 portando el sensor TM (Mapeador Temático) que opera en siete bandas espectrales diferentes. Estas bandas fueron elegidas especialmente para el monitoreo de vegetación a excepción de la banda 7 que se agregó para aplicaciones geológicas. El Landsat 5 pertenece al programa Landsat, financiado por el gobierno de los Estados Unidos y operado por la NASA.

En los Cuadros 4 y 5 se presentan las características del satélite landsat 5 TM.

Cuadro 4: Características del landsat 5TM

Resolución espacial	Bandas 1-5 y 7: 30 metros Banda 6: 120 metros
Largo de faja	185 km
Resolución temporal	16 días

FUENTE: www.professores.uff.br/cristiane/.../apostilasr.doc

Cuadro 5: Bandas del satélite landsat 5 TM

Banda	Descripción
Banda 1: (0,45 a 0,52 micrones - azul)	Es útil para la penetración en cuerpos de agua, el mapeo de costas, diferenciar entre suelo y vegetación y para clasificar distintos cubrimientos boscosos.
Banda 2: (0,52 a 0,60 micrones - verde)	Es útil para evaluar el vigor de la vegetación sana, para diferenciar tipos de rocas y para detectar la presencia o no de limonita.
Banda 3: (0,63 a 0,69 micrones - rojo)	Es útil para la clasificación de la cubierta vegetal, diferenciar las distintas rocas y para detectar limonita.
Banda 4: (0,76 a 0,90 micrones - infrarrojo cercano)	Es útil para determinar el contenido de biomasa, para la delimitación de cuerpos de agua y para la clasificación de las rocas.
Banda 5: (1,55 a 1,75 micrones - infrarrojo medio)	Es útil para indicar el contenido de humedad de la vegetación y del suelo y para discriminar entre nieve y nubes.
Banda 6: (10,40 a 12,50 micrones - infrarrojo termal)	El infrarrojo termal es útil en el análisis del stress de la vegetación, en la determinación de la humedad del suelo y en el mapeo termal.
Banda 7: (2,08 a 2,35 micrones - infrarrojo medio)	Es útil para la discriminación de rocas y para el mapeo hidrotermal.

FUENTE: Elaboración propia, en base a la información brindada por la página

<http://www.imagenesgeograficas.com/Landsat.html>

2.8. LA ISLA DE CALOR Y LA RELACIÓN ENTRE ATMOSFERA Y SUPERFICIE

Del Cuadro 6 se desprende que las ICUs son más intensas en verano y durante el día, con intensidades de 10 a 15°C. Además, existen altas correlaciones espaciales entre las islas de calor de superficie y del aire (Arnfield, 2003, citado por Sarricolea, 2010) durante el periodo diurno.

Cuadro 6: Diferencias entre isla de calor atmosférica e isla de calor superficial

Característica	Isla de calor atmosférica	Isla de calor superficial
Ritmo temporal	<ul style="list-style-type: none"> - Débil o inexistente durante el día; - Máxima en invierno y durante la noche 	<ul style="list-style-type: none"> - Se mantiene durante el día y la noche - Máxima intensidad durante el día y en verano
Método de identificación	<ul style="list-style-type: none"> - Estaciones meteorológicas fijas - Transectos 	<ul style="list-style-type: none"> - Sensoramiento remoto
Representación	<ul style="list-style-type: none"> - Mapas de isotermas - Gráficos 	<ul style="list-style-type: none"> - Imágenes térmicas
Intensidad	<ul style="list-style-type: none"> - Día: -1 a 3 °C - Noche: 7 a 12 °C 	<ul style="list-style-type: none"> - Día: 10 a 15 °C - Noche: 5 a 10 °C

FUENTE: Elaboración propia en base a la EPA, 2008; citado por Fernández, 2009 y la EPA, citado por Sarricolea, 2010

2.8.1. RELACIÓN ENTRE LA TEMPERATURA DEL AIRE Y LA TEMPERATURA DE SUPERFICIE

El factor de temperatura de superficie es considerado como un indicador fiable de la temperatura del aire ya que generalmente hay una alta correlación entre ambos factores en la capa de dosel, debido a la transferencia de energía térmica emitida desde la superficie a la atmósfera (Nichol, 1994; Arrau y Pena, 2010 citados por Farina, 2012). Sin embargo, debido al hecho de que el aire se mezcla dentro de la atmósfera, la relación entre la superficie y la temperatura del aire cerca de la superficie no es constante (EPA, 2009 citado por Farina 2012). Las temperaturas atmosféricas normalmente fluctúan menos que las temperaturas superficiales a través de un área dada durante el día, mientras que una relación más congruente entre la atmosférica y temperaturas de la superficie se pueden observar durante las horas nocturnas (Farina 2012).

2.8.2. RELACIÓN ENTRE LA TEMPERATURA DE SUPERFICIE Y LA VEGETACIÓN

Se considera que la vegetación es un buen indicador de las islas de calor superficial. La abundancia de vegetación reduce los valores elevados de temperatura de superficie a través de la evapotranspiración (Farina, 2012). El Índice de Vegetación Normalizada (NDVI) es un índice vegetativo utilizado en el análisis de teledetección para evaluar si la zona estudiada contiene vegetación (Farina, 2012). Los valores de este Índice varían entre -1 y 1, en donde el 1 indica una vegetación densa y saludable (Farina, 2012). El Índice de Vegetación Normalizado se puede utilizar para investigar la relación entre temperatura de superficie y la vegetación. En general, la relación entre la temperatura de superficie y el NDVI es inversa y puede ser influenciada por la humedad del suelo y la evapotranspiración de la superficie (Yuan y Bauer, 2007; citado por Farina, 2012. Su et al, 2010, citado por Farina 2012). Se requieren estudios adicionales para la relación entre la temperatura de superficie y el NDVI para superficies sin vegetación o con menos vegetación como océanos, lagos, ríos, suelo con características urbanas, suelo desnudo y vegetación muerta o estresado (Weng, Dengsheng y Jacquelyn, 2003).

2.9. ESTUDIOS RELACIONADOS A LAS ISLAS DE CALOR URBANAS

El estudio de las islas de calor comenzó cuando se hizo un estudio en la ciudad de Londres y se descubrió que presentaba una temperatura más caliente que el campo, después de registrar las temperaturas medias mensuales entre el centro de la ciudad y el área rural (Howard, 1818; citado por Romero et al., 2011). En Paris, en la segunda mitad del siglo XIX también descubrieron temperaturas más elevadas en las ciudades que en las zonas rurales (Emilien Renou, citado por Gartland, 2006). Este fenómeno recibió el nombre de islas de calor urbanas (“urban heat islands”), el cual fue utilizado por Manley por vez primera en 1958 (Romero et al., 2011). La aparición de la Isla de Calor se ha documentado sistemáticamente en diversas ciudades del mundo, pues las condiciones de crecimiento urbano son significativamente diferentes a las condiciones rurales (Capelli et al., 2005; citado por Romero et al. 2011).

A lo largo siglo XX, la climatología urbana ha experimentado un desarrollo ciertamente espectacular. Las investigaciones son cada vez más numerosas, especialmente en Estados Unidos; Brasil; Japón y Europa. El interés por el estudio del clima urbano está bien fundamentado, ya que las áreas urbanas constituyen zonas distintivas dentro del clima de la región donde se localizan. “Este interés responde no solo a la necesidad de lograr un conocimiento para conseguir un ambiente más agradable para los habitantes de las ciudades, sino, también, al de analizar y prever las modificaciones que suponen éstas y las repercusiones que pueden tener en el clima” (Moreno, 1992).

2.9.1. ESTUDIOS INTERNACIONALES

Algunos estudios afirman que las islas de calor tienen una intensidad positiva en verano y una intensidad negativa en invierno (Oltra-Carrio et al., 2010; Serra, 2008). Un estudio analizó el impacto de la urbanización en el Gran San Miguel de Tucumán (Argentina), estudiando el tipo de vegetación de la ciudad, la transición de vegetación natural a vegetación de parques y jardines con imágenes Landsat TM, captadas a las 14:00 UTC (Oltra-Carrio y et al., 2010). Se encontró en invierno y primavera que la intensidad de la isla de calor superficial es negativa y en verano la intensidad es positiva (Oltra-Carrio y et al., 2010). Otro estudio de la isla de calor de la ciudad de Ibiza (España) utilizando el método de los transectos comprobó la existencia del fenómeno de la isla de calor en la ciudad con una mayor intensidad en verano por la actividad turística (Serra, 2008). Este estudio encontró una isla de calor con una intensidad media de 3°C, mientras que la diferencia entre la intensidad máxima invernal y estival puede llegar a los 0,9°C (Serra, 2008).

Otros estudios analizan los distintos algoritmos para estimar la temperatura de superficie a partir de las imágenes satelitales. Walawender y Hajto examinaron diferentes datos de satélites (Terra/MODIS, Meteosat/SEVIRI, NOAA/AVHRR y Landsat/TM) y diferentes algoritmos para estimar la temperatura del suelo utilizados para el monitoreo de islas de calor urbanas. Walawender y Hajto elaboraron cuatro mapas de temperatura superficial del suelo y encontraron que los cuatro mapas de temperatura superficial indican los mismos núcleos térmicos; sin embargo hay una diferencia de temperatura significativa entre los valores estimados de los datos satelitales provenientes del Meteosat/SEVIRI; del

Terra/MODIS; del NOAA/AVHRR y del Landsat/TM debido a los diferentes algoritmos. Es difícil comparar y decir cuál es el algoritmo más preciso (Walawender y Hajto). Para responder a esta pregunta hay que validar los datos de imágenes satelitales con datos de mediciones en campo tomadas en el mismo momento que los datos del satélite (Walawender y Hajto).

Algunos estudios identifican los factores determinantes de la formación de las islas de calor. Un estudio en el centro de España (Madrid, Segovia, Ávila, Guadalajara y Toledo) utilizó información aportada por los satélites NOAA y Landsat y por las estaciones meteorológicas y descubrió que la isla de calor respondía al distinto ritmo de calentamiento-enfriamiento de los materiales, de modo que la «isla de calor urbana» sólo se manifiesta por la noche, mientras que durante el día las ciudades estudiadas muestran una «isla de frío» con respecto a su entorno (PÉREZ et al., 2003). Otro estudio investigó las islas de calor utilizando imágenes Landsat – ETM y descubrió que la temperatura superficial está relacionada positivamente con la concentración de las estructuras urbanas, la densidad poblacional y la actividad humana (Adinna et al., 2009). Los gradientes de temperaturas se forman en los distritos centrales de actividades de negocios en el centro de la ciudad y luego se reducen en los suburbios (Adinna et al., 2009).

Otros estudios analizan la relación entre la temperatura del aire y la temperatura de superficie. Roth et al. (1989) afirman que la relación entre la temperatura de superficie y temperatura del aire es débil e inversa y también indican que durante la noche la variabilidad intra-urbano en temperatura de superficie (TS) es mucho menor que la variabilidad diurna mientras que lo contrario es cierto para la temperatura del aire (TA) y que esto podría ser debido a lo siguiente: (i) la falta de una conexión simple entre el TS y los valores de TA (implicada también por Goldreich (1985)), (ii) los sensores remotos no perciben la superficie activa total, (iii) la falta de reconocimiento de las diferentes escalas de los fenómenos climáticos. Voogt y Oke (2003) citados por Unger et al. (2009) indican que no existe una relación general simple entre los dos parámetros (temperatura de superficie y temperatura del aire). Zhaoquin et al. encontraron que la diferencia entre la temperatura de superficie y la temperatura del aire es relativamente grande y que no se puede utilizar la temperatura de superficie como un sustituto directo de la temperatura del aire de estaciones meteorológicas debido a las grandes diferencias en sus valores

absolutos. Prata (1994) citado por Zhaoquin et al. realizo una regresión múltiple entre la temperatura de superficie derivada del satélite AVHRR y la temperatura del aire promedio en diferentes tipos de superficies y encontró una correlación buena y un error de +/- 1.5°C entre ambas.

Otros estudios analizan la relación entre la temperatura de superficie (Ts) y la diferencia entre la temperatura del aire (Ta) y la temperatura de superficie (Ts), conocido como dT. Bastiaanssen et al. (1998) citado por Valiente et. al. (2010) afirman que hay una relación lineal entre ambas variables, sin embargo Valiente et. al. (2010) afirman que esta relación no está completamente validada y que hay una relación lineal entre el dT (Ta – Ts) y con el Producto del flujo de radiación neta ($R_n * CWSI$) y el índice de estrés hídrico de vegetación (r_{ah}).

Hay estudios que analizan la relación entre la vegetación y la temperatura de superficie. Goward et al. (1994) citado por Niclòs (2010) propuso una aproximación contextual conocida como el Índice Temperatura – Vegetación (TVX), la cual asume que la temperatura de superficie de una superficie vegetal densa es igual a la temperatura del aire y que existe una correlación significativa entre la temperatura de superficie y el índice de vegetación espectral (NDVI). Carson et al. (1994), Gillies & Carlson (1995), Gillies et al. (1997); citados por Weng (2004) afirman que la temperatura de superficie versus el Índice de Vegetación (NDVI) en un diagrama de dispersión tiene un forma triangular. Sun y Kafatos (2007) indican que en el invierno la correlación entre la temperatura de superficie y el NDVI es positiva y en verano es negativa.

Resumiendo los aportes fundamentales de los estudios internacionales, un primer grupo de aportes se refiere a la identificación de los factores que inciden en formación de las islas de calor superficiales: la estructura de la ciudad, los materiales de construcción, la densidad poblacional, la actividad humana, la ausencia de vegetación. Otro grupo de investigaciones analiza sobre todo las relaciones existentes entre la temperatura de superficie y la temperatura del aire (débil e inversa), la relación entre la temperatura de superficie y la presencia o ausencia de vegetación (alta y positiva en invierno y negativa en verano), y la relación entre la temperatura de superficie y dT [Temperatura del aire menos la temperatura de superficie] (alta y positiva). Por último, un tercer grupo de investigaciones

se concentra en mediciones. Una investigación concluye que las islas de calor superficiales tienen una intensidad positiva en verano y una intensidad negativa en invierno. Otras investigaciones desarrollan algoritmos para estimar la temperatura de superficie.

2.9.2. ESTUDIOS NACIONALES

En el Perú, se realizaron los primeros estudios del clima urbano en los años 80 (1982, 1985) en la ciudad de Lima. Se encontró la ubicación de las zonas térmicas en el Agustino, La Victoria, San Luis, El Cercado, Rimac y La Molina (Reyes, Cisneros y Obregón, citados por Quezada, 1987).

En 1985, se realizó un estudio del comportamiento temporal de la temperatura del aire en los distritos de Lima y Callo durante el día. Se encontró que la temperatura se incrementa desde el litoral costero hacia el continente, debido al efecto de continentalidad y oceánica (Cisneros y Obregón, 1985, citados por Quezada, 1987).

Se realizó otro estudio sobre el confort climático en los distritos de Lima y Callao (Quezada, 1987). En este se realizó un estudio climatológico de las distintas variables meteorológicas. Las isotermas de temperatura mostraron la misma tendencia que la encontrada por Cisneros y Obregón (1985), indicando que la temperatura tiene menor valor conforme se acerca al océano Pacífico. Quezada (1987) en su estudio, encontró una lengua de isotermas que disminuyen de temperatura desde Pueblo Libre hasta la Punta. Quezada, 1987, encontró que en verano (mes de marzo) la isla de calor atmosférica se ubica dentro de los distritos del Agustino, La Victoria, San Luis, el Cercado de Lima y el Rímac y que en este mismo mes se presenta un centro de altas temperaturas en el distrito de La Molina. Encontró, así mismo, que en invierno (en el mes de agosto) la isla de calor atmosférica se ubica dentro de los distritos del Agustino, La Victoria, San Luis, el Cercado de Lima y el Rímac y la formación de una isla de frío en el distrito de La Molina.

Pulache y Menis (2009), estudiaron las siguientes variables meteorológicas: temperatura, precipitación y horas de sol desde el año 1950 al 2008. Ellos encontraron que las olas de calor ($> 26^{\circ}\text{C}$ y 27°C) fueron más comunes durante la décadas de 1980 y 1990. Además

encontraron que las temperaturas extremas en la ciudad de Lima son mayores en la parte continental y menores en la parte marítima.

Barros (2010) estudió las islas de calor meteorológicas en la ciudad de Lima por el método de transectos para un día típico de verano. Se encontró que la temperatura del aire aumenta su valor conforme a la distancia del mar a las 16:00 horas y que se produce el efecto inverso a las 19:00 horas. A las 16:00 horas se encontró dos núcleos térmicos: uno en los distritos de Independencia y Rímac y el otro en los distritos de Ate Vitarte, Santa Anita, el Agustino y San Luis. La formación de las islas de calor se debió a la altitud, la densidad poblacional y la densidad urbana media. A las 19:00 horas se encontró solo un núcleo térmico dominante en los distritos de la Independencia, Rímac, San Martín de Porres y Los Olivos. Este núcleo térmico se debió a la densidad urbana media y la altitud. Además se encontró que la intensidad de las islas de calor es mayor a las 16:00 horas.

En síntesis, los estudios sobre islas de calor realizados en la ciudad de Lima Metropolitana son relativamente recientes (fueron desarrollados a partir de 1985), se han concentrado básicamente en estudiar la variable de la temperatura del aire y han estado orientados sobre todo a identificar las islas de calor geográficamente. Un estudio analiza variables que influyen en la formación de las islas de calor. Varios identifican tendencias de temperatura del aire e indican que la temperatura del aire aumenta cuanto mayor es distancia existente entre un área geográfica y el mar.

2.10. REGRESIÓN LINEAL

El tutorial de SPSS indica que “la regresión lineal estima los coeficientes de la ecuación lineal, con una o más variables independientes, que mejor prediga el valor de la variable dependiente”. Hay cinco métodos de regresión lineal:

- Introducir (Regresión): Procedimiento para la selección de variables en el que todas las variables de un bloque se introducen en un solo paso.
- Por pasos: En cada paso se introduce la variable independiente que no se encuentre ya en la ecuación y que tenga la probabilidad para F más pequeña, si esa probabilidad es suficientemente pequeña.

- Eliminar: Procedimiento para la selección de variables en el que las variables de un bloque se eliminan en un solo paso.
- Eliminación hacia atrás: Procedimiento de selección de variables en el que se introducen todas las variables en la ecuación y después se van excluyendo una tras otra.
- Selección hacia adelante: Procedimiento de selección de variables por pasos en el que las variables se introducen secuencialmente en el modelo. La primera variable que se considerará introducir en la ecuación será la que tenga mayor correlación, positiva o negativa, con la variable dependiente.

La opción estimaciones muestra el coeficiente de regresión B, el error típico de B, el coeficiente beta tipificado, el valor de t para B y el nivel de significación bilateral t. Intervalos de confianza muestra intervalos de confianza con el nivel de confianza especificado para cada coeficiente de regresión o una matriz de covarianzas. Matriz de covarianzas muestra una matriz de varianzas-covarianzas de los coeficientes de regresión, con las covarianzas fuera de la diagonal y las varianzas en la diagonal. También se muestra una matriz de correlaciones.

- Coeficientes de regresión B: La columna etiquetada “Coeficientes no estandarizados” contiene los coeficientes de regresión parcial que definen la ecuación de regresión lineal.
- Coeficientes beta tipificado: Son los coeficientes que definen la ecuación de regresión cuando ésta se obtiene tras estandarizar las variables originales, es decir, tras convertir las puntuaciones directas en típicas. Se obtiene de la siguiente manera: $\beta_1 = B_1 (S_x / S_y)$. En regresión múltiple, según veremos, los coeficientes de regresión estandarizados permiten valorar la importancia relativa de cada variable independiente dentro de la ecuación.
- Pruebas estadísticas: Pueden ser utilizados para decidir si un determinado coeficiente de regresión es significativamente distinto de cero y, en consecuencia, si la variable independiente está significativamente relacionada con la dependiente. El estadístico F contrasta la hipótesis nula de que el valor poblacional de R es cero y, por tanto, nos permite decidir si existe relación lineal significativa entre la variable dependiente y el conjunto de variables independientes. Si la significancia estadística es igual a cero, indica que hay una

relación significativa entre las variables estudiadas. Las pruebas t y sus niveles críticos sirven para contrastar la hipótesis nula de que un coeficiente de regresión vale cero en la población. Niveles críticos muy pequeños (generalmente menores a 0.05) indican que se debe rechazar la hipótesis nula. Un coeficiente de cero indica ausencia de regresión lineal, de modo que los coeficientes significativamente distintos de cero nos informan sobre qué variables son relevantes en la ecuación de regresión. (Universidad Complutense Madrid).

El ajuste del modelo presenta una lista de las variables introducidas y eliminadas del modelo y muestra los siguientes estadísticos de bondad de ajuste: R múltiple, R cuadrado y R cuadrado corregida, error típico de la estimación y tabla de análisis de la varianza.

- R múltiple: Es el valor absoluto del coeficiente de correlación de Pearson.
- R cuadrado: El R cuadrado expresa la proporción de varianza de la variable dependiente que está explicada por la variable independiente (Universidad Complutense Madrid). Cuanto más se acerque a uno, más poder explicativo tendrá el modelo. Pero esto esconde una trampa. Cada vez que introducimos una nueva variable independiente en el modelo, R cuadrado aumenta acercándose más a uno. Si introducimos un número artificialmente grande de variables, podremos llegar a acercarla a uno tanto como queramos (López y Montiel).
- Error típico de estimación: Este error típico es la raíz cuadrada de la media cuadrática residual. Representa una medida de la parte de variabilidad de la variable dependiente que no es explicada por la recta de regresión. En general, cuanto mejor es el ajuste, más pequeño es este error típico.

2.11. PRESENTACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO: LA CIUDAD DE LIMA METROPOLITANA

Lima es la capital de la República del Perú. Está situada en la región occidental de América del sur a orillas del Océano Pacífico. La provincia de Lima tiene una población de aproximadamente 7.6 millones, constituyendo uno de los centros más poblados de América Latina (Atlas Ambiental, 2007). Lima contiene el 91 % de la población de todo el

departamento y 29 % de la población del país (Atlas Ambiental, 2007). Esto se refleja en los indicadores de densidad poblacional: la provincia del Callao en el 2007 tiene una densidad de 6 061,3 Hab / Km² y la provincia de Lima tiene una densidad poblacional de 2 846,2 Hab / Km² (Atlas Ambiental, 2007).

El Instituto Nacional de Estadísticas e Informática (INEI) indica que el límite entre lo urbano y lo rural está en base de los conglomerados de personas. Se considera ciudad a partir de 5,000 habitantes (INEI, 1993). Para este trabajo, la ciudad urbana de lima metropolitana se ha considerado utilizando el mapa de expansión urbana correspondiente al 2007 (Ver Figura 12).

Lima metropolitana tiene una extensión aproximada de 2.819 km², se encuentra constituida por los distritos de la provincia de Lima y de la Provincia Constitucional del Callao.

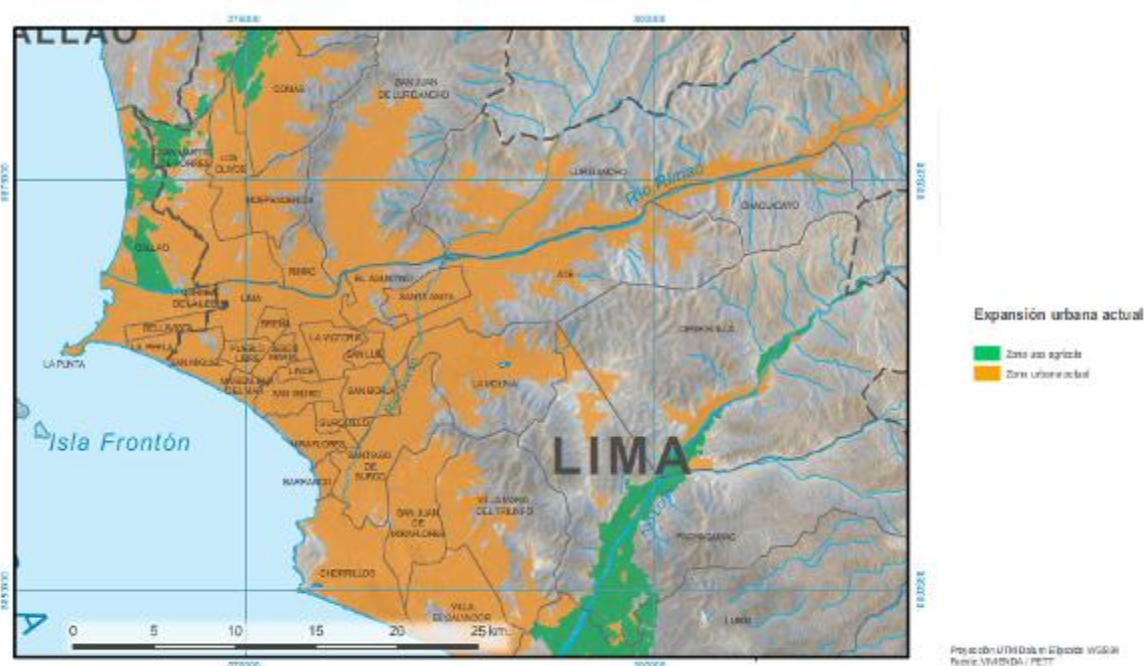


Figura 12: Mapa de expansión urbana de Lima Metropolitana del año 2007
Fuente: Vivienda / PETT, citado por el Atlas Ambiental

2.11.1. ASPECTOS DEMOGRÁFICOS

La ciudad de Lima – Callao es considerada la quinta ciudad más grande de América Latina después de Sao Paulo, México D.F., Buenos Aires y Río de Janeiro, teniendo una población de 7 605 742 en Lima y 890 887 en el Callao, según el INEI (2007). En el cuadro 7 se aprecia el crecimiento poblacional en la provincia de Lima y Callao desde 1981 hasta el 2007.

Los censos nacionales de Población y Vivienda de los años: 1981, 1993 y 2007 muestran como en Lima y el Callao la población ha crecido (Ver Cuadro 7) y como la población urbana ha aumentado y la población rural se ha reducido (Ver Cuadro 8).

Cuadro 7: Población censada

Provincia	1981	1993	2007
Lima	4 164 597	5 706 127	7 605 742
Callao	443 413	639 729	876 877

FUENTE: INEI - Censos Nacionales de Población y Vivienda, 1981, 1993 y 2007.

Cuadro 8: Población urbana y rural

Provincia	1981		1993		2007	
	Población urbana (%)	Población rural (%)	Población urbana (%)	Población rural (%)	Población urbana (%)	Población rural (%)
Lima	99.2	0.8	99.6	0.4	99.9	0.1
Callao	99.3	0.7	99.9	0.1	100	0

FUENTE: INEI - Censos Nacionales de Población y Vivienda, 1981, 1993 y 2007.

2.11.2. CRECIMIENTO POBLACIONAL EN LIMA METROPOLITANA

Los censos nacionales de Población y Vivienda de los años: 1940, 1961, 1972, 1981, 1993 y 2005 muestran que la tasa de crecimiento de la población de Lima

Metropolitana ha sido la mayor del Perú (Atlas Ambiental, 2007). La Figura 13 muestra como la tasa más grande se observó en el periodo de 1961- 1972, en el que el índice de Lima Metropolitana fue de 5.5 % en comparación con el del Perú de 2.8 % (Atlas Ambiental, 2007).

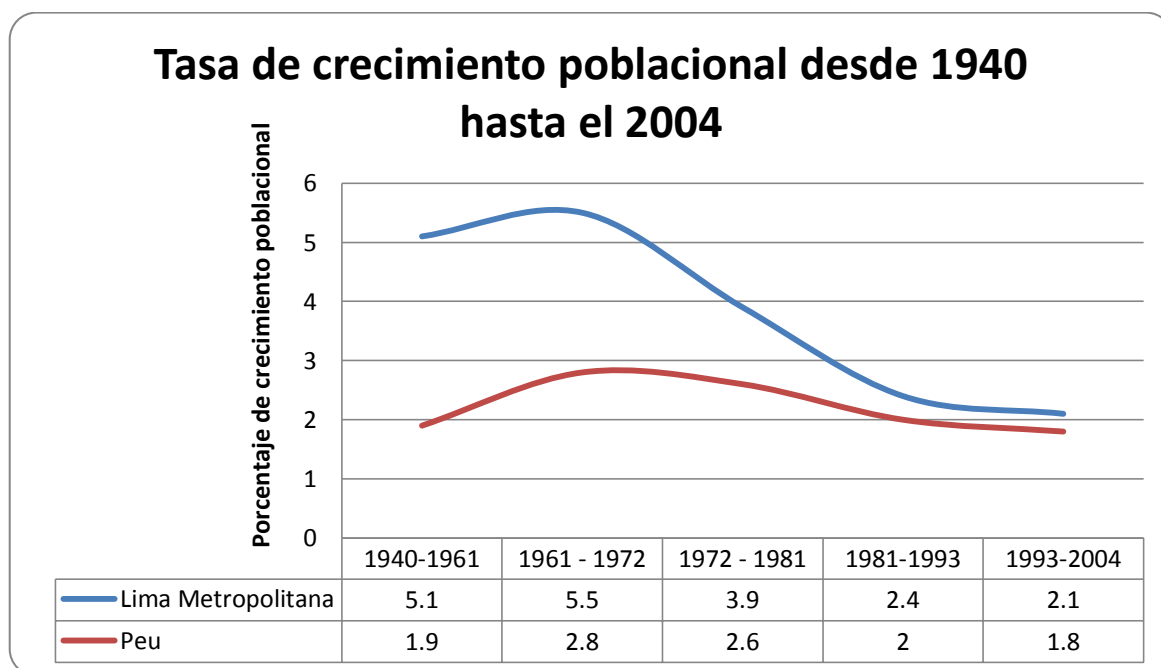


Figura 13: Tasa de crecimiento Poblacional

Fuente: INEI, citado por el Atlas Ambiental 2007

2.11.3. DENSIDAD POBLACIONAL EN LIMA METROPOLITANA

En su mayor parte, la población de Lima Metropolitana está asentada mayormente en los distritos de San Juan de Lurigancho y Ate por el este; Comas, y San Martín de Porres, por el norte; en los distritos de Villa El Salvador, Villa María del Triunfo y San Juan de Miraflores por el Sur y en el centro en los distritos de Callao y Lima (Atlas Ambiental, 2007). La mayor población se encuentra concentrada en el distrito de San Juan de Lurigancho (Atlas Ambiental, 2007). En la Figura 14 se muestra el mapa de densidad poblacional de la ciudad de Lima Metropolitana.

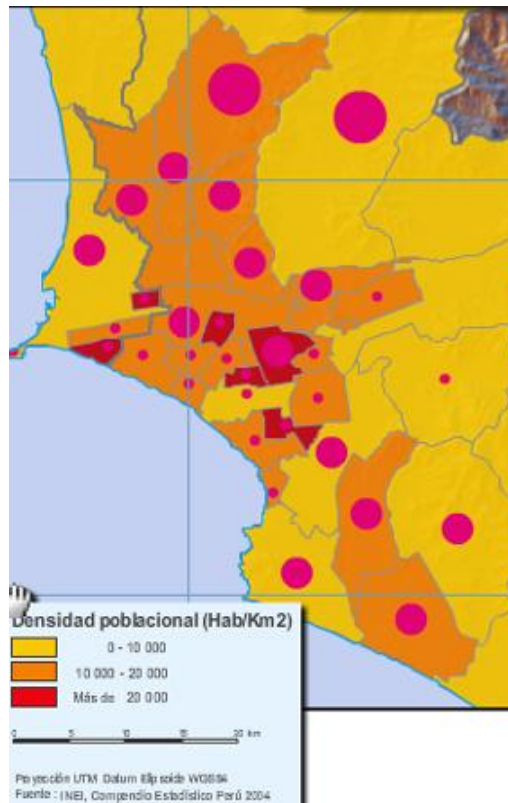


Figura 14: Mapa de densidad poblacional

Fuente: INEI, 2004

2.11.4. CRECIMIENTO URBANO

El periodo de expansión en Lima Metropolitana se inicia en los 1940 y continúa hasta la actualidad. Este se divide en tres grandes etapas. En el primer período (antes de 1954) el crecimiento de Lima se da en el cono de deyección del río Rímac, donde se distribuyen los terrenos la clase media y la clase más pobre. El inicio de la segunda etapa de este crecimiento se dio a finales de 1954 cuando se dio la invasión de Ciudad de Dios, ahora conocido como el centro comercial del distrito de San Juan de Miraflores. En la segunda etapa se da la gran expansión territorial de la ciudad de Lima, la cual estuvo direccionada por el Gobierno Militar de Juan Velasco Alvarado. La tercera etapa de la expansión de Lima se inicia en la década de los 80, en donde los nuevos barrios de la ciudad se forman en áreas marginales como laderas y cimas de cerros o en áreas reservadas para construir equipamiento urbano (Programa Urbano). A lo largo de esta década, la ciudad se había transformado por completo: habían viviendas de dos o tres pisos, calles asfaltadas, colegios, postas médicas y otros equipamientos urbanos (INADUR). En la

Figura 15, página 44, se aprecia el crecimiento de Lima Metropolitana desde 1940 hasta el 2005.

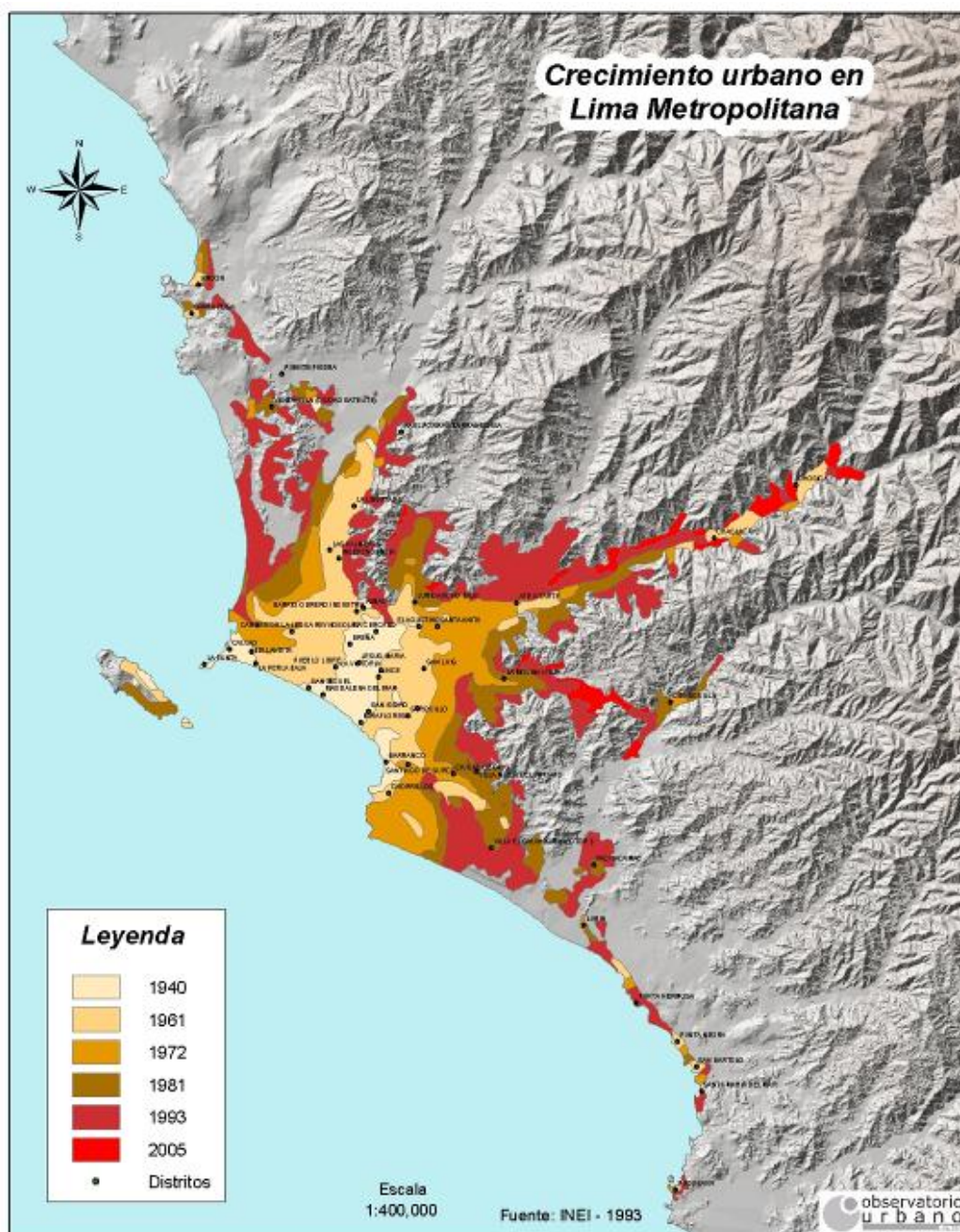


Figura 15: Mapa de expansión urbano desde 1940 hasta el 2005
Fuente: INEI, 2003

2.11.5. USO DE SUELO EN LIMA METROPOLITANA

El tipo de cobertura del suelo influye en la formación de islas de calor, debido a que el uso del suelo afecta la absorción y reflexión de los rayos solares (albedo). Existen 6 tipos de uso de suelo:

- Uso residencial: destinado principalmente al uso de vivienda
- Uso comercial: destinado fundamentalmente al uso de establecimientos de compras y ventas de productos
- Uso industrial: destinado principalmente uso de fábricas de producción
- Uso de equipamiento: destinado a la habilitación y funcionamiento de instalaciones, como centros cívicos, de salud, centros de educación, establecimientos administrativos, terminales terrestres, marítimos, aéreo, establecimientos religiosos, entre otros
- Áreas verdes: destinadas predominantemente a la vegetación
- Suelo sin uso: suelo natural desnudo, inerte

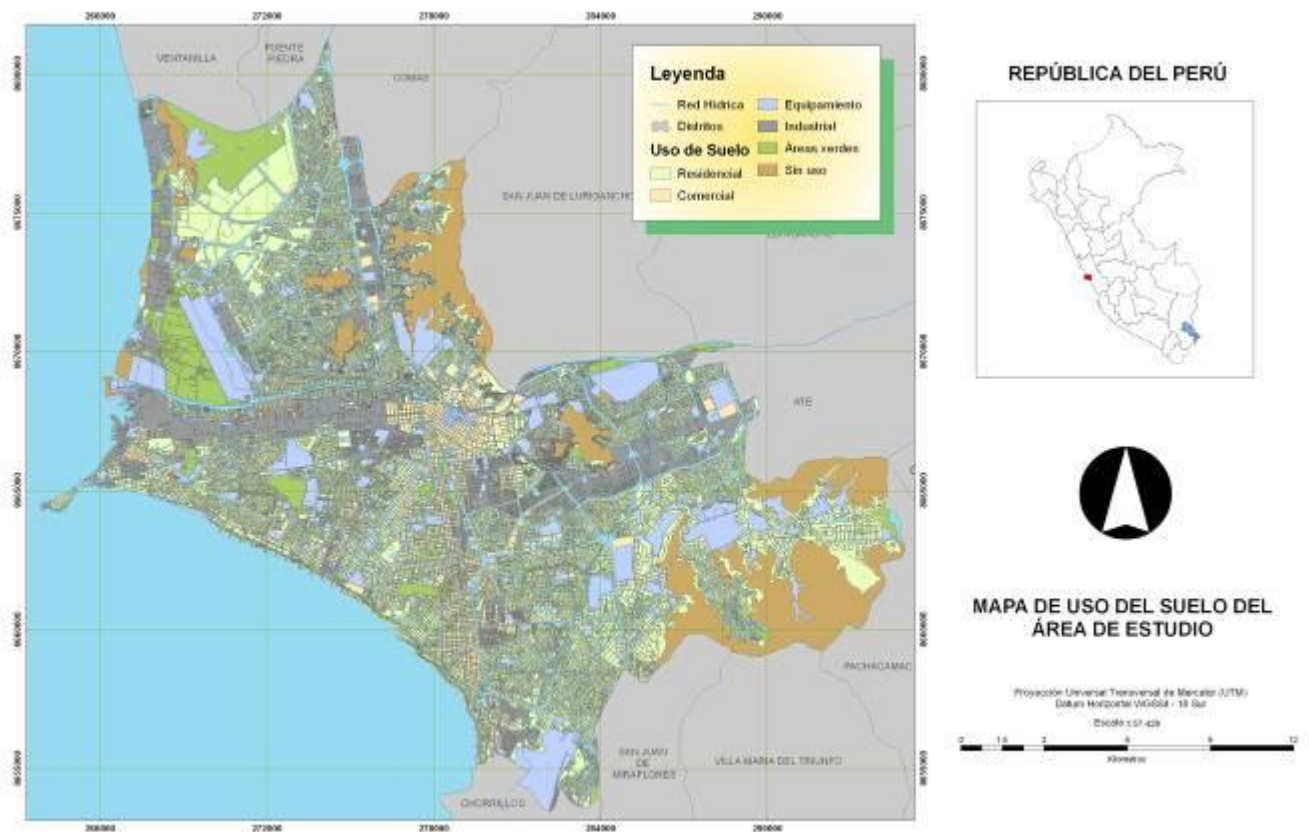


Figura 16: Mapa de uso de suelos

Fuente: Barros, 2010

En la Figura 16 se aprecia el mapa de uso de suelos de Lima Metropolitana. El uso industrial se restringe principalmente a las áreas del distrito del Callao, Lima, Ate Vitarte, La Victoria, Santa Anita, Independencia y Rímac y sus avenidas principales que poseen un nivel de tráfico elevado (Barros, 2010). El uso residencial se encuentra esparcido por todos los distritos del área de estudio, habiendo una mayor concentración en los distritos de La Molina, Santiago de Surco, San Borja, Magdalena, San Miguel, La Perla, La Punta, Bellavista, Pueblo Libre, San Martín de Porres y Los Olivos (Barros, 2010). Las zonas de uso comercial también están distribuidas en toda el área de estudio, ubicándose principalmente en los distritos de Miraflores, San Isidro, Lince y Lima (Barros, 2010). El uso denominando equipamiento principalmente se localiza en las zonas del Callao, La Punta, La Perla, San Miguel, Lima, San Isidro, Santiago de Surco, San Borja y Rímac (Barros, 2010). Los distritos que concentran la mayor cantidad de áreas verdes son Santiago de Surco, La Molina, San Borja, San Isidro, Miraflores y Callao (Barros, 2010).

2.11.6. ASPECTOS CLIMÁTICOS

El clima de Lima es húmedo con poca lluvia (menor a 11 mm/ año). Tiene temperaturas moderadas ocasionadas por el afloramiento de aguas frías de la Corriente Peruana frente a la costa del Pacífico (Atlas Ambiental de Lima, 2007).

Los factores naturales que inciden sobre el clima de Lima Metropolitana, además de la Cordillera de los Andes son los siguientes:

- Capa de inversión Térmica: La temperatura del aire aumenta con la altura y se ubica en los niveles de la atmósfera (tropósfera) (Atlas Ambiental de Lima, 2007). Debido a la gran estabilidad, se genera un manto nuboso del tipo estrato, que es más notorio en la estación de invierno con presencia de lloviznas persistentes (Atlas Ambiental de Lima, 2007).
- La Capa de Inversión Térmica juega un papel importante en el comportamiento de las temperaturas extremas del aire en los distritos de Lima debido a la cobertura de nubes (Atlas Ambiental de Lima, 2007). Así, en los meses de invierno, la temperatura máxima no supera los 20 °C en la mayoría de los distritos (Atlas Ambiental de Lima, 2007). Por el contrario, en el verano predominan los cielos despejados y las temperaturas máximas superan los 24 °C (Atlas Ambiental de Lima, 2007).
- Topografía: Los valles, hondanadas y cerros influyen sobre las variables meteorológicas como en la temperatura, humedad, viento y en las nubes (Atlas Ambiental de Lima, 2007). La presencia de cerros influye en la circulación de vientos, produciendo vientos que descienden desde la altura hasta el fondo o vientos que ascienden desde el fondo hasta las zonas más altas, la variación espacial de la temperatura es afectada por la topografía (Atlas Ambiental de Lima, 2007).
- El efecto de continentalidad: debido de la distancia del mar al continente, las temperaturas mínimas del aire se dan en los distritos ubicados en los lugares cercano al mar, y estos están sujetas a menores variaciones con respecto a los

distritos que se encuentran con mayor distancia del mar (Atlas Ambiental de Lima, 2007).

- Corriente de Humboldt: Esta corriente de aguas frías, disminuye la evaporación, formando solo nubes bajas que causan lluvias tipo lloviznas, en la estación de invierno (Atlas Ambiental de Lima, 2007).

Las variables climáticas que influyen en el clima son la temperatura, la precipitación, radiación solar, humedad y viento:

- La temperatura de lima: La temperatura media anual presenta valores comprendidos entre 18.6°C y 19.8°C (Atlas Ambiental de Lima, 2007). Los menores valores se obtienen cerca del litoral y disminuyen a medida que nos acercamos al este de la capital.
- La precipitación en lima: Las precipitaciones varían de escasas a nulas, generalmente se caracterizan por presentar lloviznas ligeras. Los valores promedio usualmente se encuentra por debajo de los 10 mm anuales, distribuyendo las mayores cantidades en el sector este de la ciudad (Atlas Ambiental de Lima, 2007).
- Radiación solar: La radiación se incrementa hacia la cuenca media y alta de los ríos Chillón, Rímac y Lurín hasta aproximadamente 6.0 kW h / m² (Atlas Ambiental de Lima, 2007). La mayor potencia de energía solar se encuentra en el este, con valores promedios entre 5.5 a 5.6 kW h / m² (Kilobatio – hora / m²) (Atlas Ambiental de Lima, 2007).
- Humedad: Lima tiene una humedad relativa sumamente alta, la cual genera una neblina desde junio hasta diciembre. La humedad es mayor cerca al mar y menor en las lejanías del continente.
- Viento: La velocidad de los vientos medio varía de 2 a 4 m/s y direcciones de componentes Sur y Sur Oeste principalmente (Atlas Ambiental de Lima, 2007). La tendencia del viento anual fluye desde las zonas costeras hacia el interior del continente, y se dirige hacia los valles que conforman las cuencas de los ríos Chillón, Rímac y Lurín (Atlas Ambiental de Lima, 2007).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES

El estudio se realizó en la ciudad de Lima Metropolitana.

3.1.1. DATOS

En el estudio se utilizó los datos mencionados en el Cuadro 9.

Cuadro 9: Datos utilizados

Tipo de datos	Fuente	Periodo de adquisición
Datos de imágenes satelitales	Landsat 5 TM (Mapeador Temático) del United States Geological Survey (USGS)	7 de marzo del 2011
		31 de enero del 2010
		2 de abril del 2009
		11 de febrero del 2008
		1 de mayo del 2008
		15 de abril del 2008
Temperatura del aire	Estaciones meteorológicas	7 de marzo del 2011
		31 de enero del 2010
		11 de febrero del 2008
		1 de mayo del 2008
		15 de abril del 2008
Datos de una imagen satelital	Datos de una imagen satelital SPOT proveniente del EKODES CONSULTORES DEL PERU S.I.G.	Año 1998
Mapa	Mapa del uso de suelo de Lima Metropolitana de la tesis de Barros, 2010	2010

FUENTE: Elaboración propia

3.1.2. EQUIPOS Y SOFTWARE

- Una laptop
- Google Earth
- ArcGis Desktop 9.3
- Microsoft Office 2010
- Statistical Package for Social Sciences (SPSS)

3.2. MÉTODOS

En este capítulo, dedicado a los métodos, se presenta la metodología para cumplir con los objetivos de la tesis y comprobar la hipótesis, la cual indica que “en la ciudad de Lima Metropolitana, se presenta una isla de calor negativa, obteniéndose mayores temperaturas en los alrededores no urbanizados y menores temperaturas en el centro de la ciudad y en la cercanía a la costa.”

3.2.1. DEFINICIÓN EL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio fue la ciudad de lima metropolitana y se delimitó la zona de estudio de acuerdo a la zona urbana y la zona rural. La zona urbana se caracterizó por tener suelos de uso residencial, suelos de uso comercial, suelos de uso industrial, zonas de equipamiento y suelo desnudo. Los límites entre lo urbano y lo rural se plantearon en base al mapa de la Figura 12, en la página 41. En la Figura 17 se presenta la zona de estudio y el área de urbanización.

3.2.2. DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS ISLAS DE CALOR

Se utilizó el método del sensoramiento remoto para estimar la temperatura superficial del suelo ya que es la técnica más reciente para los estudios de clima urbano.

Este procedimiento metodológico consistió en procesar las bandas termales de los satélites para obtener la temperatura superficial.

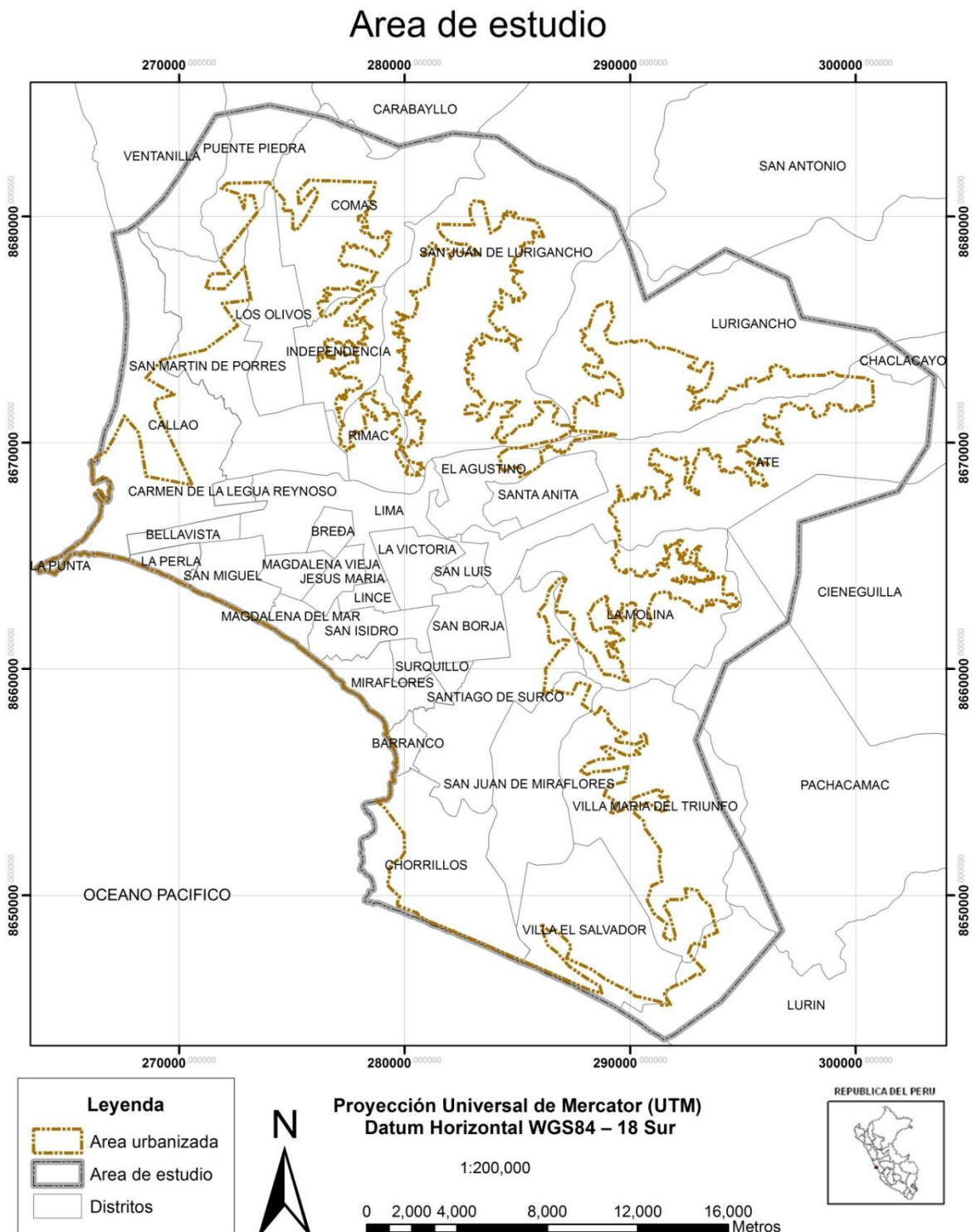


Figura 17: Delimitación del área de estudio

FUENTE: Elaboración propia, 2012

a. Fuentes de información para la temperatura de superficie

Se eligió el satélite Landsat 5 TM, ya que se tenía acceso libre a la data de dicho satélite y presenta una resolución espacial de 120 metros que permite identificar las micro islas de calor.

b. Horas de estudios

Los datos provenientes del satélite Landsat 5 TM, correspondieron a las 15:00 horas GTM, hora local de 10:00 am. en Lima Perú.

c. Pre procesamiento

USGS realizó la corrección de las imágenes hasta el nivel L1T, que es un nivel de corrección que elimina la inclinación y desplazamiento por relieve propio de imágenes satelitales y proporciona un nivel aceptable que refleja la verdadera posición planimétrica de una zona. El nivel de proceso L1T utilizó tanto los puntos de control terrestre (GCP) y modelos de elevación digital (DEM) para alcanzar la absoluta precisión geodésica obteniendo un producto rectificado geoméricamente en el sistema WGS 1984 UTM 18 Norte. En el programa ArcGis Desktop 9.3 se procedió a proyectar las imágenes al sistema WGS 1984 UTM 18 Sur.

d. Estimación de temperatura de superficie

El Número digital (ND) de la banda 6 del satélite landsat 5 TM se transformó a radiancia utilizando la fórmula de Chuvieco (2002), citado por Montoya:

$$L_{sen} = (L_{max} - L_{min}) / 255 * ND_k + L_{min}$$

Dónde:

- L_{sen} : Radiancia

- ND: Número digital de la banda 6
- Lmax: 15.303; valor para la banda 6 de las imágenes con fecha de adquisición después del 4 de mayo de 2003 (Chander y Markhan, 2003; citado por Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2005).
- Lmin: 1.2378; valor para la banda 6 de las imágenes con fecha de adquisición después del 4 de mayo de 2003 (Chander y Markhan, 2003; citado por Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2005).

Luego se usó la fórmula de Sospedra et al. (1998) citado por Montoya para obtener la temperatura de brillo:

$$T_b = \frac{k_2}{\ln\left(\frac{k_1}{L_{sen}} + 1\right)}$$

- Tb= Temperatura de brillo o temperatura de satélite (kelvin)
- Lsen: Radiancia del satélite
- k1 = 607.76 W m² sr⁻¹ Am⁻¹; para el satélite Landsat 5 TM
- k2 = 1260.56 Kelvin; para el satélite Landsat 5 TM

Aunque debería realizarse una corrección atmosférica para mejorar la estimación de la temperatura de superficie, esta no se realizó por no ser indispensable debido a la poca presencia de nubes en la zona de estudio.

Para realizar la corrección de emisividad se utilizó el método de Stathopoulou et al., (2007) citado por Farina (2012). Este método obtiene la emisividad utilizando como umbral al NDVI para diferenciar entre el suelo urbano, suelo mixto y vegetación.

Se obtuvo el NDVI de las bandas rojo (R) e infrarrojo (IR) del satélite Landsat 5 TM mediante la ecuación de Yarleque, Posadas y Quiroz (2004):

$$\text{NDVI} = (\text{IR} - \text{R}) / (\text{IR} + \text{R})$$

La temperatura de superficie se obtuvo considerando tres posibles escenarios presentados en el Cuadro 10:

Cuadro 10: Fórmulas para la corrección de emisividad

NDVI	PIXELES	EMISIVIDAD
NDVI < 0.2	Estos pixeles fueron considerados como suelo urbano o áreas de materiales hechos por el hombre	0.92
0.2 ≤ NDVI ≤ 0.5	Estos pixeles fueron considerados mixtos entre vegetación y suelo urbano	$\varepsilon = \varepsilon_v P_v + \varepsilon_m (1 - P_v) + d\varepsilon \text{NDVI}$
		$\varepsilon_v =$ Emisividad de la vegetación (0.98)
		$\varepsilon_m =$ Emisividad del suelo urbano (0.92)
		$P_v = (\text{NDVI} - 0.2)^2 / (0.5 - 0.2)^2$
		$d\varepsilon = (1 - \varepsilon_m) \varepsilon_v 0.55 (1 - P_v)$
NDVI > 0.5	Estos pixeles fueron considerados vegetación	0.98

FUENTE: Elaboración propia

Finalmente se usó la fórmula de Artis y Carnahan (1982) citado por Farina (2012) para convertir la temperatura de brillo a temperatura de superficie:

$$\text{LST} = T_B / (1 + (\lambda T_B / \rho) \ln \varepsilon)$$

- LST = Temperatura de superficie en kelvin
- TB = Temperatura de brillo en kelvin
- λ = La longitud de onda de la radiancia emitida (11.5 μm)
- $\rho = h \times c / \sigma$ (1.438 $\times 10^{-2}$ m K)
- h = Constante de Planck (6.26 $\times 10^{-34}$ J s)
- c = Velocidad de la luz (2.998 $\times 10^8$ m/sec)
- σ = Constante de Stefan Boltzmann (1.38 $\times 10^{-23}$ J K⁻¹)
- ε = Emisividad

3.2.3. DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA TEMPERATURA DE SUPERFICIE Y LA TEMPERATURA DEL AIRE

La temperatura del aire (T_a) depende de varios factores como la latitud, altitud, cobertura de nubes, efectos marítimos y de continentalidad y las corrientes oceánicas (Pidwirny y Saundry, 2013). Bassian et al. (1998) citado por Valiente et. al. (2010) indicaron que existe una relación lineal entre la temperatura de superficie y la diferencia entre temperatura de superficie y temperatura del aire (dT). En este estudio se decidió hacer una relación entre la temperatura del aire y la temperatura de superficie, entre la temperatura del aire y temperatura de brillo y la temperatura de superficie, por un lado, y el dT (temperatura del aire menos temperatura de superficie), por otro lado.

a. Obtención de temperatura del aire

Se acudió al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (Senamhi) y a la Estación Meteorológica Alexander Von Humboldt (OVH) para la obtención de la temperatura del aire. En el Cuadro 11 se ha detallado las características de las estaciones meteorológicas:

Cuadro 11: Datos geográficos de las estaciones meteorológicas

Estación Meteorológica	Latitud Sur	Longitud Oeste	Altitud (m.s.n.m)
Las Palmas	12°09'	77°01'	73
Campo de Marte	12°04'	77°02'	123
Hospital Central de la FAP	12°06'	77°01'	158
Alexander Von Humboldt	12°05'	76°56'	257.43
Lima Este	12°03'	77°55'	241
Collique	11.931392°	77.064720°	138

* m.s.n.m. = metros sobre el nivel del mar

FUENTE: elaboración propia

b. Ubicación de las estaciones meteorológicas en los pixeles landsat

Para realizar la correlación entre los datos de temperatura del aire y temperatura de superficie, es necesario que los datos se encuentren en el mismo sistema de coordenadas. En el programa Arcgis Desktop 9.3 se elaboró un vector de estaciones meteorológicas en el sistema de coordenadas de las imágenes Landsat 5 TM (UTM 18 Sur, WGS 84).

c. Determinación del coeficiente de correlación entre la temperatura de superficie y la temperatura del aire

En el programa Statistical Package for Social Sciences (SPSS) se procedió a realizar una regresión lineal introduciendo progresivamente los siguientes factores:

- Temperatura del aire y temperatura de brillo
- Temperatura del aire y temperatura de superficie
- dT (Temperatura del aire – Temperatura de superficie) y Temperatura de Superficie

3.2.4. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN ENTRE LA TEMPERATURA DE SUPERFICIE Y LA VEGETACIÓN

Farina (2012) indicó que la vegetación es un buen indicador de las islas de calor superficial. Barros (2010) afirmó que en Lima Metropolitana hay poca presencia de áreas verdes, ya que la mayor parte de la superficie natural ha sido reemplazada por materiales antropogénicos. Barros (2010) indicó que las zonas más frescas en Lima Metropolitana se encuentran predominantemente cerca de las zonas con densidad urbana baja, las cuales cuentan con la presencia de áreas verdes y que la poca significancia de este factor condicionante (densidad urbana baja) a la hora de determinar la presencia de la isla de calor urbana indican la ausencia de parques urbanos de gran masa vegetal en el área de estudio. Es por este motivo que se decidió analizar la relación entre la temperatura de

brillo, la temperatura de superficie y el NDVI. La Temperatura de superficie versus el Índice de Vegetación (NDVI) en un diagrama de dispersión tiene una forma triangular. Sun y Kafatos (2007) indicaron que en el invierno la correlación entre la temperatura de superficie y el NDVI es positiva y en verano es negativa.

a. Obtención del NDVI

El NDVI se obtuvo de las bandas rojo (R) e infrarrojo (IR) del satélite Landsat 5 TM mediante la ecuación de Yarleque, Posadas y Quiroz (2004):

$$\text{NDVI} = (\text{IR} - \text{R}) / (\text{IR} + \text{R})$$

b. Determinación de la correlación entre la temperatura de brillo (°C) y el NDVI y la correlación entre la temperatura de superficie (°C) y el NDVI

Se utilizó el coeficiente r^2 del programa Microsoft Excel (2010) para conocer la correlación entre la temperatura de brillo (°C) y el NDVI y la correlación entre la temperatura de superficie (°C) y el NDVI:

$$r^2 = \left(\frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \sum(y - \bar{y})^2}} \right)^2$$

- \bar{x} = Media de la muestra promedio del conocido x
- Conocido \bar{x} = Es una matriz o un rango de puntos de datos de la variable x
- \bar{y} = Media de la muestra promedio del conocido y
- Conocido \bar{y} = Es una matriz o un rango de puntos de datos de la variable y

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo, dedicado a los resultados, se presenta en donde se ubican las islas de calor superficiales en la ciudad de Lima Metropolitana, el análisis de la relación entre temperatura del aire y la temperatura de superficie y el análisis de la relación entre la vegetación y la temperatura de superficie. Esta investigación se realizó para generar conocimientos sobre las islas de calor superficiales en la ciudad de Lima Metropolitana.

4.1. DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS ISLAS DE CALOR

Las mediciones de temperaturas para la ciudad de Lima fueron realizadas en condiciones de cielo despejado. Se elaboró seis mapas de temperatura de superficie y seis mapas de temperatura de brillo de las imágenes landsat correspondientes a las siguientes fechas y horas: 10:00 am para las fechas 11 de febrero del 2008, 15 de abril del 2008, 01 de mayo del 2008, 02 de abril del 2009, 31 de enero del 2010 y 7 de marzo del 2011. Los mapas de temperaturas de superficie y brillo son presentados en los anexos (Ver ANEXO 1, página 84). Se obtuvo la temperatura promedio de los seis mapas de temperatura de brillo y la temperatura promedio de los seis mapas de temperatura de superficie, los cuales se aprecian en las Figura 18 y Figura 19 respectivamente y se utilizó estas Figuras (18 y 19) para identificar la ubicación de las islas de calor superficiales en la ciudad de Lima Metropolitana. Ambas Figuras (18 y 19) mostraron la misma tendencia respecto a la distribución espacial de la temperatura y tuvieron un coeficiente de correlación (r^2) entre la temperatura de brillo y la temperatura de superficie de 0,960925453. Los coeficientes de correlación entre temperatura de brillo y temperatura de superficie para cada día estudiado son presentados en los anexos (Ver ANEXO 2, página 96).

Se observó que la temperatura de superficie es menor cerca del mar y mayor hacia el este conforme se aleja del mar.

Este resultado concordó con lo mencionado por Cisneros y Quezada (1985), que la temperatura del aire en los distritos de Lima y Callao se incrementa desde el litoral costero hacia el continente, debido al efecto de continentalidad y oceánica; así mismo Quezada (1987) encontró que las isotermas de temperatura del aire tienen menor valor conforme se acerca al océano Pacífico y por Barros (2010) quien encontró que la temperatura del aire aumentan su valor conforme a la distancia del mar.

En los seis mapas de temperatura de superficie y seis mapas de temperatura de brillo de las imágenes landsat, se encontró que las temperaturas más elevadas en las zonas no urbanizadas y temperaturas menores en las zonas urbanizadas.

Este resultado llegó a la misma conclusión encontradas por Pulache y Menis (2009); confirmado la presencia en Lima de la isla de calor negativa. Estas son producidas por la presencia de cerros desnudos, de superficie de color oscuro, con propiedades térmicas y caloríficas que durante el día se calientan más que los materiales urbanos. Según Pérez y Peña (2010) este efecto corresponde a climas templados, tropicales, semiáridos y áridos, y ocurren principalmente durante la mañana.

Los núcleos térmicos con temperaturas más elevadas se encontraron en el cerro el Agustino, en el cerro Gramadal ubicado entre Chorrillos y San Juan de Miraflores y en el distrito de Chorrillos. Sin embargo, estos núcleos no son islas de calor urbanas superficiales ya que son ubicados en cerros y no en zonas urbanas. En el ANEXO 3 (página 97) se aprecia las coordenadas de los núcleos térmicos con temperaturas más elevadas. Se consideró como islas de calor urbanas a aquellas superficies que tienen una temperatura mayor al promedio de la temperatura encontrada en el área urbanizada. Las islas de calor con mayor núcleo térmico se encontraron en el extremo nor - este de la ciudad, teniéndose el mayor núcleo térmico en el distrito de Ate y Lurigancho, seguido por los distritos de Villa María del Triunfo, Villa el Salvador y San Juan de Miraflores, luego los distritos de San Juan de Lurigancho. Las coordenadas de los núcleos térmicos más elevados de las islas de calor urbanas son apreciadas en el Cuadro 12.

Cuadro 12: Coordenadas de los núcleos térmicos con temperatura más altas

Ubicación	Temperatura de Superficie (°C)	Sistema de coordenadas en WGS 84 18 Sur (metros)	
		X	Y
Ate y Lurigancho	36,4104	291138,45005700000	8667654,56731000000
Ate y Lurigancho	35,8977	294002,61005700000	8669086,64731000000
Villa María del Triunfo	36,3410	290501,97005700000	8656993,52731000000
Villa María del Triunfo	36,1473	291774,93005700000	8649037,52731000000
San Juan de Lurigancho	36,1226	281750,37005700000	8679111,20731000000
San Juan de Lurigancho	36,0366	281591,25005700000	8679270,32731000000
San Juan de Lurigancho	35,9096	281909,49005700000	8678952,08731000000

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados obtenidos indicaron la presencia de 15 islas de calor urbana:

- Una isla de calor se ubicó en el norte de Lima, en el distrito de San Juan de Lurigancho. Las altas temperaturas en este distrito pueden ser explicadas por la densidad poblacional del distrito; el efecto de continentalidad; falta de áreas verdes; altitud y la topografía del distrito; el cual se encuentra rodeado por cerros. (Ver Figura 18 y Figura 19)
- En el este de Lima se ubicaron dos islas de calor en los distritos de Ate y Lurigancho y en el distrito de La Molina. Ambas islas de calor pueden ser explicadas por el efecto de continentalidad, altitud y a la presencia de cerros. (Ver Figura 18 y Figura 19)
- En el sur, se ubicó una isla de calor, en los distritos de San Juan de Miraflores; Villa El Salvador y Villa María del Triunfo. Las elevadas temperaturas son generadas por la proximidad de los cerros y al tipo de suelo (arena). (Ver Figura 18 y Figura 19)
- En el centro de la ciudad, se encontró una isla de calor en los distritos de Rímac y el Agustino. (Ver Figura 18 y Figura 19)
- Siete islas de calor se ubicaron en las zonas comerciales e industriales de Lima Metropolitana, conforme a lo indicado por Sarricole (2010) quien afirmó que durante el día las Isla de calor urbana superficial tiene dos núcleos: el centro de la ciudad y las zonas industriales. Una isla de calor se ubicó en los distritos de Los Olivos e Independencia, en las zonas industriales de dichos distritos. Otra se ubicó

en la zona industrial al costado de aeropuerto Jorge Chávez. En el centro de la ciudad se ubicaron cuatro islas de calor. Una se encontró en la zona industrial de los distritos del Callao, Carmen de La legua Reynoso, Lima y Breña; otra isla se ubicó en la zona comercial del distrito de Lima; otra se ubicó en la zona comercial e industrial de La victoria y la otra isla de calor se encontró en la zona industrial de los distritos de San Luis, Ate, El Agustino y Santa Anita. En el sur se ubicó una isla de calor en la zona industrial del distrito de Surquillo. (En la Figura 20 se aprecian las islas de calor sobrepuestas en el mapa de uso de suelos de Lima Metropolitana)

- Tres fueron micro islas de calor. Las micro islas son lugares caliente con poca vegetación, techos con poca reflectividad y pistas asfaltadas (Pérez y Peña, 2010). Estas se ubicaron en el distrito de Santiago de Surco, en el distrito de San Juan de Miraflores y en el aeropuerto Jorge Chávez (En la Figura 21 se aprecian las zonas con mucho asfalto que generan las micro islas de calor urbanas superficiales).

Barros (2010) realizó un estudio para identificar la presencia de las islas de calor urbanas atmosféricas para dos días típicos de verano por el método de transectos y encontró dos núcleos cálidos en la temperatura del aire a las 16:00 horas, encontrándose el primero en los distritos de Independencia y Rímac y el segundo predominantemente en los distritos de Ate Vitarte, Santa Anita, El Agustino y San Luis. Barros (2010) encontró solo un núcleo térmico, a las 19:00 horas, dominante en los distritos de la Independencia, Rímac, San Martín de Porres y Los Olivos. La autora de esta tesis encontró islas de calor urbanas superficiales a las 10:00 de la mañana en el los distritos indicados por Barros (2010), sin embargo encontró una mayor cantidad de núcleos térmicos (15). Se debe tener en cuenta que ambos estudios se realizaron en horas diferentes, en diferentes días de estudio y se consideran diferentes variables: Barros (2010) considero la temperatura del aire y la autora de esta tesis considero la temperatura de superficie.

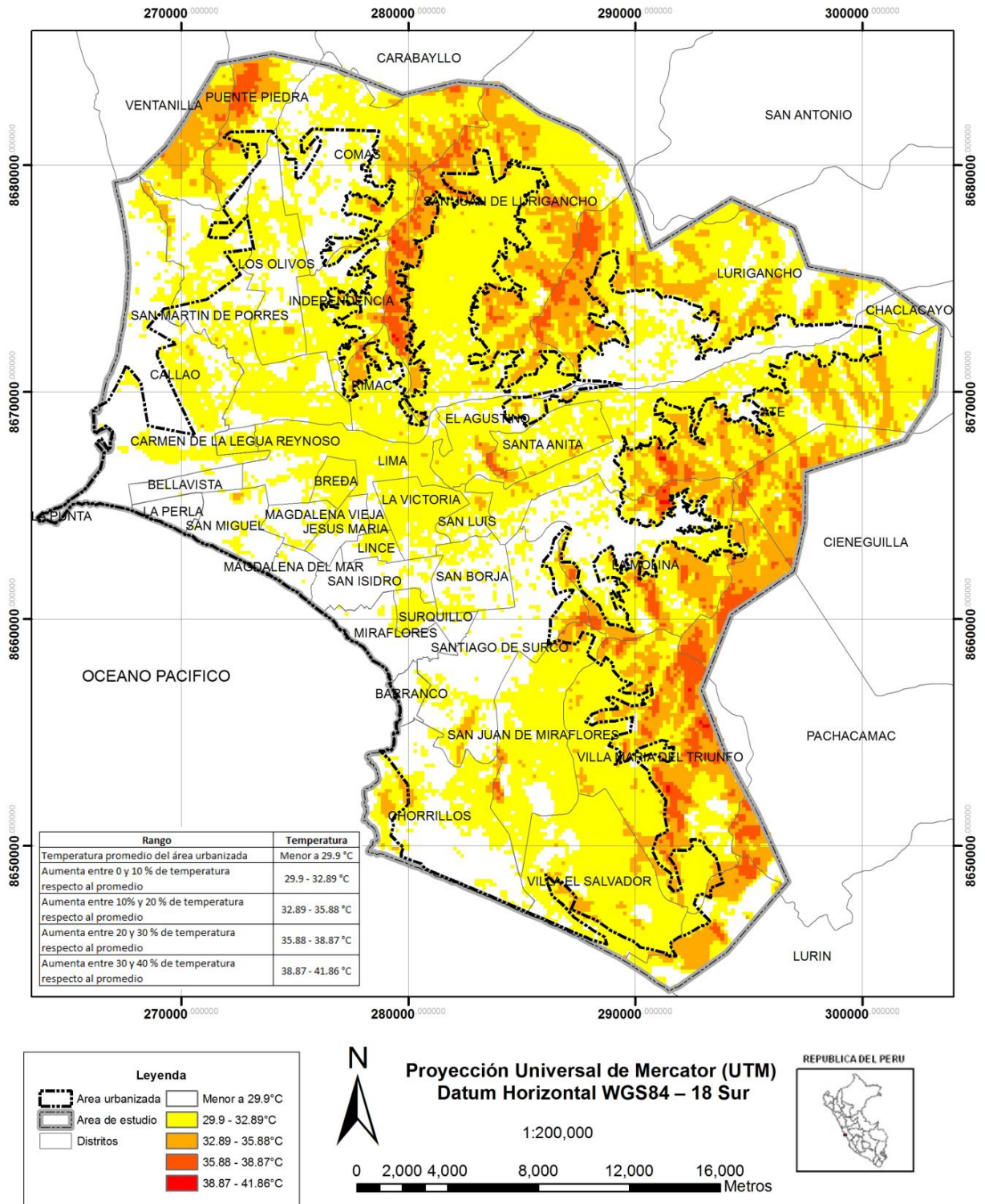


Figura 18: Mapa de temperatura de superficie (°C) de las 10:00 am.

Fuente: Elaboración propia

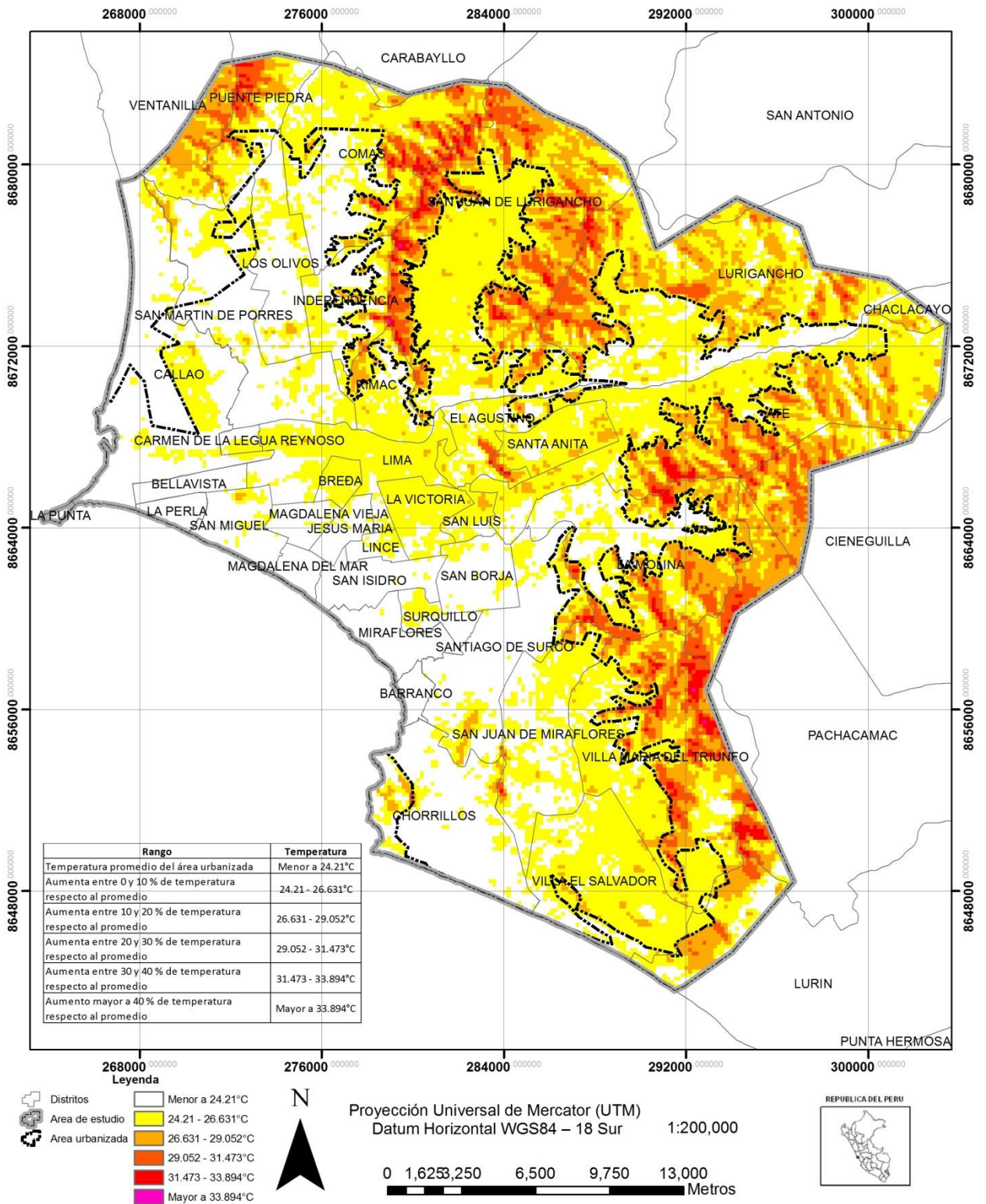


Figura 19: Mapa de temperatura de brillo (°C) de las 10:00 am.

Fuente: Elaboración propia

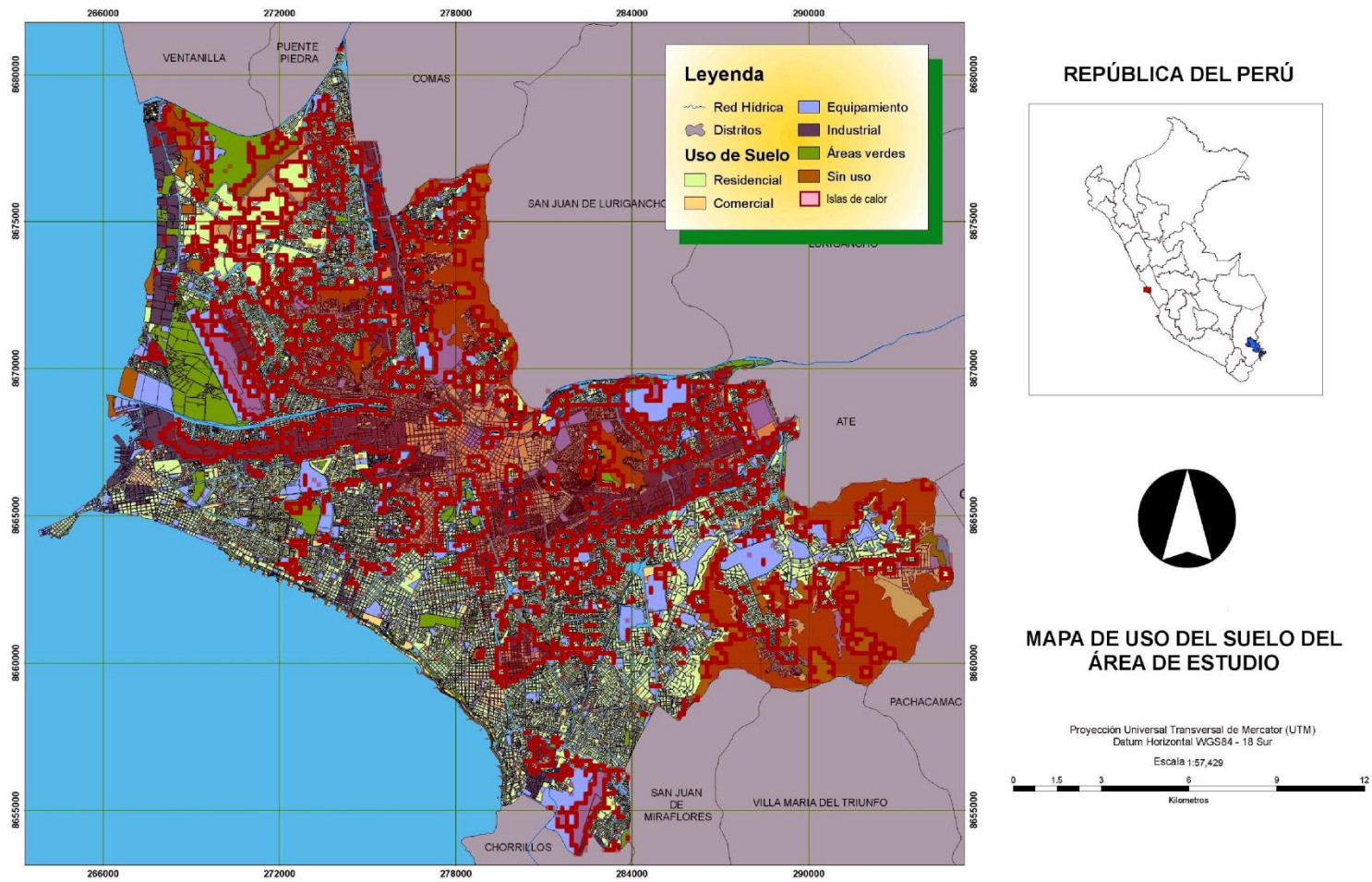


Figura 20: Isla de calor sobrepuestas en el mapa de uso de suelo

Fuente: Barros, 2010

Micro de calor urbana ubicada en el aeropuerto Jorge Chavez



Micro isla de calor urbana ubicada en el distrito de San Juan de Miraflores



Micro isla de calor urbana ubicada en el distrito de Santiago de Surco



Figura 21: Micro islas de calor urbanas en la Lima Metropolitana

Fuente: Imagen satelital SPOT del ECODES, 1998

4.2. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN ENTRE LA TEMPERATURA DEL AIRE (°C) Y LA TEMPERATURA DE SUPERFICIE (°C)

Este resultado fue importante, ya que contar con un número de datos de temperatura del aire adecuados, permite tener un referente del grado de aceptación de la temperatura de superficie estimada. Sin embargo, en Lima metropolitana se tuvieron pocos datos de temperatura del aire, debido al bajo número de estaciones de la red meteorológica. Así mismo, este resultado contribuyó a brindar información para la estimación de temperatura del aire utilizando los valores de la temperatura de superficie.

En el Cuadro 13 se observa que el valor de r^2 para la relación entre temperatura de brillo y temperatura del aire, para los días estudiados; presentó un valor inferior a 0,31 para todos los días.

CUADRO 13: Resumen del análisis estadístico de regresión lineal entre la temperatura de brillo (°C) y la temperatura del aire (°C)

Fechas del estudio	Variable dependiente	Variable independiente	r	r^2	Error típico de la estimación
11 de febrero del 2008	Temperatura de brillo (°C)	Temperatura del aire (°C)	0,074	0,005	1,36591
15 de abril del 2008	Temperatura de brillo (°C)	Temperatura del aire (°C)	0,202	0,041	1,45712
01 mayo del 2008	Temperatura de brillo (°C)	Temperatura del aire (°C)	0,172	0,029	1,11337
31 de enero del 2010	Temperatura de brillo (°C)	Temperatura del aire (°C)	0,029	0,001	1,20934
07 de marzo del 2011	Temperatura de brillo (°C)	Temperatura del aire (°C)	0,550	0,302	4,53018

FUENTE: Elaboración propia

El valor de r^2 para la relación entre temperatura de superficie y temperatura del aire para los días estudiados fue menor a 0,4 indicando que la temperatura del aire explicó menos del 40% de la temperatura de superficie estimada para los días estudiados (Ver Cuadro 14).

La temperatura de superficie depende de varios factores además de la temperatura del aire como por ejemplo la radiancia, la vegetación, el tipo de material de superficie, el albedo, etc. El bajo valor de r^2 entre la temperatura de brillo y la temperatura del aire y entre la temperatura de superficie y la temperatura del aire, indicó que otros factores no analizados en esta investigación influyen en la temperatura de superficie.

CUADRO 14: Resumen del análisis estadístico de regresión lineal entre la relación de la temperatura de superficie (°C) y la temperatura del aire (°C)

Fechas del estudio	Variable dependiente	Variable independiente	r	r^2	Error típico de la estimación
11 de febrero del 2008	Temperatura de superficie (°C)	Temperatura del aire (°C)	0,155	0,024	3,566
15 de abril del 2008	Temperatura de superficie (°C)	Temperatura del aire (°C)	0,435	0,189	1,46469323
01 mayo del 2008	Temperatura de superficie (°C)	Temperatura del aire (°C)	0,467	0,218	1,93583
31 de enero del 2010	Temperatura de superficie (°C)	Temperatura del aire (°C)	0,566	0,321	2,13725
07 de marzo del 2011	Temperatura de superficie (°C)	Temperatura del aire (°C)	0,581	0,338	5,54572

FUENTE: Elaboración propia

El mayor valor de r^2 se obtuvo al analizar la relación entre la temperatura del aire, de un lado, y la temperatura del aire menos la temperatura de superficie, del otro lado. En todos los días analizados el r^2 fue mayor a 0,8, excepto en el periodo 15 de abril del 2008 (Ver Cuadro 15). Esta alta relación se pudo deber a la advección del aire que se dio en la capa dosel, que promueve el intercambio de calor entre el suelo y el aire; sin embargo se requieren más investigaciones sobre este tema.

CUADRO 15: Resumen del análisis estadístico entre la relación de la diferencia de la temperatura del aire (°C) y la temperatura de superficie (°C) y la temperatura de superficie

Fechas del estudio	Variable dependiente	Variable independiente	r	r ²	Error típico de la estimación
11 de febrero del 2008	Temperatura de superficie (°C)	Temperatura del aire (°C) - Temperatura de superficie (°C)	0,956	0,915	1,053
15 de abril del 2008	Temperatura de superficie (°C)	Temperatura del aire (°C) - Temperatura de superficie (°C)	0,343	0,117	1,52813583
01 mayo del 2008	Temperatura de superficie (°C)	Temperatura del aire (°C) - Temperatura de superficie (°C)	0,916	0,839	0,87955
31 de enero del 2010	Temperatura de superficie (°C)	Temperatura del aire (°C) - Temperatura de superficie (°C)	0,940	0,883	0,8873
07 de marzo del 2011	Temperatura de superficie (°C)	Temperatura del aire (°C) - Temperatura de superficie (°C)	0,952	0,906	2,09264

FUENTE: Elaboración propia

El bajo valor de los r² para los días estudiados entre temperatura de brillo y temperatura del aire (menor a 31 %) y entre la temperatura de superficie y temperatura del aire (menor a 40%) indicó una relación baja entre la temperatura de superficie y temperatura del aire.

Este resultado coincidió con los mencionados por: Roth et al. (1989) y Goldreich (1985), que no hay una conexión simple entre ambas variables, y con lo mencionado Zhaoquin et

al. que no se puede utilizar la temperatura de superficie como sustituto directo de la temperatura del aire debido a las altas diferencias de los valores absolutos entre temperatura de superficie y temperatura del aire.

El alto valor de r^2 para los días estudiados entre la relación de la temperatura del aire, de un lado, y la temperatura del aire menos la temperatura de superficie, del otro lado, (mayor a 80 %) coincidió con lo mencionado Bastiaanssen et al. (1998) citado por Valiente et. al. (2010) quienes afirmaron que hay una relación lineal entre ambas variables.

4.3. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN (R^2) ENTRE LA TEMPERATURA DE SUPERFICIE ($^{\circ}\text{C}$) Y EL NDVI Y EL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN (R^2) ENTRE LA TEMPERATURA DE BRILLO ($^{\circ}\text{C}$) Y EL NDVI

La Figura 22 indica que la relación estudiada entre el NDVI y las temperaturas de superficie y el NDVI y temperatura de brillo presentó valores promedio bajos de r^2 para los días estudiados, de 0,15 para el caso de la temperatura de superficie y 0,10 para el caso de la temperatura de brillo.

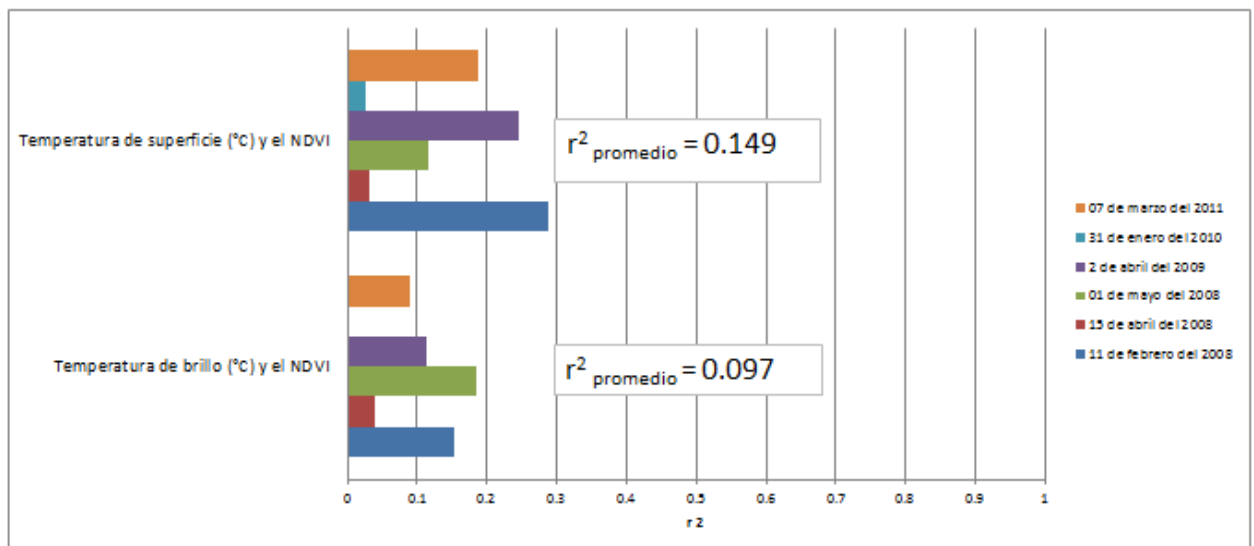


Figura 22: Gráfico de la relación entre la temperatura de superficie ($^{\circ}\text{C}$) y NDVI y Temperatura de brillo ($^{\circ}\text{C}$) y NDVI

Fuente: elaboración propia

En teoría se espera una correlación alta y negativa para los meses de verano y positiva en invierno (Sun y Kafatos, 2007), sin embargo las bajas correlaciones reflejaron en Lima Metropolitana la poca presencia de áreas verdes coincidiendo con lo encontrado por Barros (2010).

V. CONCLUSIONES

1. A partir de los datos proporcionados de imágenes satelitales fue posible la detección de diferentes islas de calor urbana en la ciudad de Lima Metropolitana
2. Se confirmó que en Lima Metropolitana se da la presencia de una isla de calor negativa durante el mañana y en los meses cálidos, debido a que las observaciones realizadas indicaron temperaturas de superficie más elevadas en las zonas no urbanizadas y temperatura de superficie menos elevadas en las zonas urbanizadas.
3. En base al estudio realizado se concluyó que en Lima Metropolitana se dio durante la mañana y en los meses cálidos una configuración de las islas de calor comprendiendo un conjunto de 15 islas. Las islas de calor con núcleo térmico más elevado se encontraron en los distritos de Ate y Lurigancho, en el distrito de Villa María del Triunfo y en el distrito de San Juan de Lurigancho.
4. En la mañana y en los meses cálidos se observó la presencia de islas de calor el distrito de San Juan de Lurigancho, en los distritos de Ate y Lurigancho, en el distrito de La Molina, en los distritos de San Juan de Miraflores; Villa El Salvador y Villa María del Triunfo, en los distritos de Rímac y el Agustino. También se observó islas de calor en las zonas comerciales e industriales de Lima Metropolitana. Estas se ubicaron en los distritos de Los Olivos e Independencia, en la zona industrial al costado de aeropuerto Jorge Chávez, en la zona industrial de los distritos del Callao; Carmen de La legua Reynoso; Lima y Breña, en la zona comercial del distrito de Lima, en la zona comercial e industrial de La victoria en la zona industrial de los distritos de San Luis, Ate, El Agustino y Santa Anita y en la zona industrial del distrito de Surquillo. Asimismo se observó islas de calor en zonas con mucho asfalto en el distrito de Santiago de Surco, en el distrito de San Juan de Miraflores y en el aeropuerto.
5. El coeficiente de determinación entre la temperatura del aire y la temperatura de superficie y entre la temperatura del aire y la temperatura de brillo fue baja para los días estudiados. El coeficiente de determinación entre la temperatura de superficie y la diferencia de temperatura del aire entre la temperatura de superficie fue alta. Sobre estas relaciones no fue posible ofrecer una conclusión definida debido a que están basadas en pocos puntos de observación meteorológica.

6. Existió una baja correlación entre la temperatura de superficie y el índice de vegetación normalizado (NDVI) a consecuencia de las pocas áreas verdes en el área de estudio.

VI. RECOMENDACIONES

1. Para mejorar la identificación de las islas de calor superficial, se recomendó utilizar información de los satélites NOAA y del satélite Landsat 7 TM durante los meses de verano.
2. Se sugirió realizar mediciones in situ de la temperatura de superficie en el momento de la medición del satélite para validar la temperatura de superficie estimada de la data del satélite y tener más puntos de temperatura del aire para obtener una mejor análisis entre las tres variables.
3. Se sugirió realizar investigaciones más detalladas en los núcleos térmicos encontrados (Ate y Lurigancho, Villa María del Triunfo y San Juan de Lurigancho) y en las zonas industriales y comerciales de Lima Metropolitana.
4. Se recomendó realizar investigaciones, de las islas de calor, más grandes y con mayor presupuesto en las distintas ciudades del Perú, ya que estas van a ayudar a realizar planes de ordenamiento territorial más eficaces.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Adinna Enete, I.C. y Okolie, T. Assessment of Urban Heat Island and Possible Adaptations in Enugu Urban using Landsat/ ETM. Journal of Geography and Regional Plannin. 2(2):30-36. 2009
2. Amaya, Carlos. EL ECOSISTEMA URBANO: SIMBIOSIS ESPACIAL ENTRE LO NATURAL Y LO ARTIFICIAL. [En Línea] Revista Forestal Latinoamericana. 2005, N° 37/2005: 1 - 16.
<<http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/24099/2/articulo1.pdf>> [Consultado: 30 de mayo del 2011]
3. Altas Ambiental de Lima. [En Línea] 2007,
<<http://geoserver.itc.nl/lima/start/start.html>>. [Consultado: 30 de mayo del 2011]
4. Arcgis Resource Center. Comparar métodos de interpolación. [En Línea] <<http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//009z000000z4000000>> [Consultado: 17 de septiembre de 2013]
5. Bandfield Joshua L. Effects of surface roughness and gray body emissivity on martian thermal infrared spectra. Icarus. (202): 414–428. 2009
6. Barros Pozo, P.M. Modificaciones térmicas en la ciudad de Lima: análisis de la presencia de la isla de calor urbana. Tesis (Ingeniero en Ingeniería Ambiental) Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ciencias. 2010.
7. Buyantuyev Alexander y Wu Jianguo. Urban heat islands and landscape heterogeneity: linking spatiotemporal variations in surface temperatures to land-cover and socioeconomic patterns. Landscape Ecol (25):17–33. 2010
8. Pulache, W. y Menis L. Cambio climático en el Perú: Impactos económicos y sociales. Climatología urbana y el cambio climático en Lima Metropolitana. SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología). Lima, Perú. (2009, Lima, Perú).
9. Capel, H. La definición de lo urbano. Scripta Vetera: Edición electrónica de trabajos publicados sobre geografía y ciencias sociales [en línea] <http://www.ub.es/geocrit/sv-33.htm#N_7>. Reproducido de la Revista

- Estudios Geográficos, No. 138-139: 265-301. Barcelona. 1975. [Consultado: 30 de marzo del 2011]
10. Casares Marta, Piorno Marta y Gioia Antonela. INDICADORES AMBIENTALES URBANOS: MORFOLOGÍA URBANA – ISLA DE CALOR URBANA. [En línea] <www.observatoriofau.org.ar> [Consultado: 15 de marzo del 2011]
 11. CEC.org. Ozono troposférico [En línea] <http://www.cec.org/Storage/35/2621_SOE_Ground-levelOzone_es.pdf> [Consultado: 3 de febrero del 2012]
 12. Chuvieco Emilio y Hantson Stijn. Plan Nacional de Teledetección de Media Resolución Procesamiento estándar de imágenes Landsat Documento técnico de algoritmos a aplicar. 15 de Febrero de 2010.
 13. Cristobal J., Ninyerola M. y Pons X. Modeling air temperature through a combination of remote sensing and GIS data. JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH. (113) 2008.
 14. CRISTÓBAL ROSSELLÓ, NINYEROLA CASALS, PONS FERNÁNDEZ y PLA MONTFERRER. MEJORAS EN LA MODELIZACIÓN DE LA TEMPERATURA DEL AIRE MEDIANTE EL USO DE LA TELEDETECCIÓN Y DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. EL ACCESO A LA INFORMACIÓN ESPACIAL Y LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS GEOGRÁFICAS PÁG. 93-103
 15. Cristobal J., Jimenez-Muñoz, Sobrino J .A. , Ninyerola M. y Pons X. Improvements in land surface temperature retrieval from the Landsat series thermal band using water vapor and air temperature. JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH. (114) 2009
 16. Conferencia Europea de Estadística de Praga [En Línea]. <cmappublic.ihmc.us/rid=1152472865312.../text%20ciutat.doc> [Consultado: 30 de marzo 2012]
 17. Cuadrat Prats, JM; De la Riva, J; López, F; Martí, A. El medio ambiente urbano en Zaragoza, observaciones de la isla de calor [en línea] <<http://revistas.ucm.es/ghi/02119803/articulos/AGUC9393110127A.PDF>>. Anales de Geografía de la Universidad Complutense. 13: 119-130. 1993. [Consultado: 24 de abril 2009]
 18. Definición. [En Línea] <<http://definicion.de/>> [Consultado: 24 de abril 2009]

19. Definición. [En Línea] < <http://definicion.de/ciudad/>> [Consultado: 24 de abril 2009]
20. Definición ABC.< <http://www.definicionabc.com/social/ciudad.php>> [Consultado: 24 de abril 2009]
21. Donglian Sun y Menas Kafatos. Note on the NDVI-LST relationship and the use of temperature-related drought indices over North America. [En Línea] Revista GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS. (34). 2007. <http://www.atmos.umd.edu/~sun/Sun_2007GL031485.pdf >
22. Elgueta Astaburuaga, MA. Gran Santiago: Transformación del patrón espacial de localización del sector residencial de la élite. Tesis (Ingeniero Geógrafo) Santiago, CH. Universidad de Chile. 2006.
23. Educación Ambiental en la república dominicana. [En Línea] <<http://www.jmarcano.com/nociones/ciudad/urbs4.html#morfo>> [20 de abril del 2011]
24. Environmental Science Published for Everybody Round the Earth Educational Network on Climate. Enciclopedia virtual del clima.
25. Environmental Protection Agency (EPA). Heat Island Impacts. [En Línea] <<http://www.epa.gov/heatisland/impacts/index.htm>> [Consultado: 3 de febrero del 2012]
26. Farina Andrew. Exploring the relationship between land surface temperature and vegetation abundance for urban heat island mitigation in Seville, Spain. [En línea] <<http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=3460284&fileId=3460402>> [Consultado: 10 de marzo del 2013]
27. Fernandez García Felipe. Ciudad y cambio climático: aspectos generales y aplicación al área metropolitana de Madrid. Investigaciones Geográficas, n°49: 173-195. 2009.
28. F. J. López y F. Téllez. Apuntes bioestadística. [En Línea] <http://www.bioestadistica.uma.es/baron/apuntes/ficheros/cap06.pdf> [Consultado: 31 de octubre del 2013]
29. Gartland Lisa. Heat Islands. Understanding and mitigating heat in urban areas. Editorial Earthscan Publications Ltd. 2008.
30. Galindo Estrada, Ignacio Guillermo. Identificación y estudios de las islas urbanas de calor de las ciudades de Guadalajara y Colima, propuestas de

- estrategias de mitigación. [En Línea]
<<http://www.conacyt.gob.mx/fondos/FondosSectoriales/CONAVI/Documents/8-IgnacioGalindo.pdf>> [Consultado el: 20 de abril del 2011]
31. Goldreich Y. The structure of the ground- level heat island in a central business district. Revista J. Climate Appl. Meteor. (24): 1237–1244. 20 de mayo 1985.
32. Guía Urbano.com. [En Línea] <<http://www.guia-urbana.com/urbanismo/ecosistema-urbano.php>> [Consultado: 20 de abril del 2011]
33. Henry, JG y Heinke, GW. Ingeniería Ambiental. Trad. HC Escalona. 2a. Ed. México, Prentice Hall. 800 p. (ISBN: 970-17-0266-2) 1999
34. CENSOS NACIONALES DE POBLACION Y VIVIENDA 1993. Instituto nacional de estadística del Perú [En Línea]
<<http://www.inei.gob.pe/biblioineipub/bancopub/Est/Lib0046/C6-22.htm>>
[Consultado: 20 de abril del 2011]
35. Instituto nacional de estadística del Perú [En Línea]
<<http://www.inei.gob.pe/biblioineipub/bancopub/Est/Lib0046/C2-1.htm>>
[Consultado: 20 de abril del 2011]
36. Instituto nacional de estadística del Perú [En Línea]
<<http://www.inei.gob.pe/biblioineipub/bancopub/Est/Lib0950/cap04.pdf>>
[Consultado: 17 de septiembre de 2013]
37. JULIEN, SOBRINO, MATTAR, RUESCAS, JIMENEZ-MUNÑOZ, SORIA, HIDALGO, ATITAR, FRANCH y CUENCA. Temporal analysis of normalized difference vegetation index (NDVI) and land surface temperature (LST) parameters to detect changes in the Iberian land cover between 1981 and 2001. International Journal of Remote Sensing. (32): 2057–2068. 2011.
38. Kon Joon Bhang y Seok-Soon Park. Evaluation of the Surface Temperature Variation With Surface Settings on the Urban Heat Island in Seoul, Korea, Using Landsat-7 ETM+ and SPOT. IEEE GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING LETTERS 4 (6). 2009
39. Land Processes Distributed active archive center. [En Línea]
<<https://lpdaac.usgs.gov/>> [Consultado: 12 de abril del 2012]
40. Mashour y Mc Donell. Some Negative Effects of Urban Sprawl. [En Línea]
<<http://www.interfacesouth.org/products/changing-roles/changing-roles->

- [notebook/module-3/fact-sheets/mod3fs4.pdf](#)> [Consultado: 3 de febrero del 2012]
41. Moreno García, MC. Climatología urbana. 1a. Ed. Barcelona, ESP, Edicions Universitat de Barcelona. 80 p. (ISBN: 848-33-8127-3). 1999
 42. Montoya Martínez J. F, Isern Herrero, J., Casterad, M. A. UTILIDAD DE LA BANDA TÉRMICA DE LANDSAT EN LA DISCRIMINACIÓN DE TERRENOS YESOSOS. [En Línea]
<http://digital.csic.es/bitstream/10261/43993/1/HerreroJ_Symp_2011.pdf>
[Consultado: 18 de diciembre del 2012]
 43. Oltra-Carrión R., Sobrino J.A., Gutiérrez-Angonese, Gioia, Paolini y Malizia. Estudio del crecimiento urbano, de la estructura de la vegetación y de la temperatura de la superficie del Gran San Miguel de Tucumán, Argentina. Revista de Teledetección (34): 69-76. 2010.
 44. Parra J.C., Sobrino J.A., Acevedo P.S. y Morales L.J. Estimación de la temperatura de suelo desde datos satelitales AVHRR-NOAA aplicando algoritmos de split window. REVISTA MEXICANA DE FISICA 52 (3): 238–245. 2006
 45. PÉREZ GONZÁLEZ, GARCÍA RODRÍGUEZ y GUERRA ZABALLOS. Análisis del clima urbano a partir de imágenes de satélite en el centro peninsular español. [En Línea]
<<http://inrm.cip.cgiar.org/home/publicat/0406nrm.pdf>> Anales de Geografía de la Universidad Complutense. (23): 187-206. [Consultado: 21 de mayo de 2003]
 46. Pérez A.M., Calle A. y Casanova J.L. CÁLCULO DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL A PARTIR DE DATOS LANDSAT TM. Teledetección y Desarrollo Regional (20): 95- 98. 2003.
 47. Pérez Arrau Camilo y Peña Marco A. Urban heat island types. [En Línea]
<<http://www.urbanheatlands.com/heat-island-types>> [Consultado: 3 de febrero del 2012]
 48. Peña Marco A. Examination of the Land Surface Temperature Response for Santiago, Chile. 10 (75): 1191–1200. October 2009
 49. Pidwirny Michales y Saundry Peter. Factors Influencing Surface Air Temperature. [En Línea]

- <http://www.eoearth.org/article/Factors_Influencing_Surface_Air_Temperatur_e?topic=49479> [Consultado: 3 de febrero del 2012]
50. Programa Urbano [En línea]
<<http://www.urbano.org.pe/observatorio/index.php?IDIOMA=OU&plantilla=contenido&ncategoria1=103&ncategoria2=153&ncontenido=146>> [Consultado: 17 de septiembre de 2013]
51. Quezada Pacheco, JM. Estudio del confort climático en Lima Metropolitana y Callao. Tesis (Requerimiento para optar el título de meteorólogo) Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Ciencias. 1987. 227 p.
52. REDLAC (Grupo Regional de Riesgo, Emergencia y Desastre de América Latina y el Caribe). Diez años después del huracán Mitch: Panorama de la tendencia de la gestión del riesgo de desastre en Centroamérica [En Línea] <<http://www.eird.org/cd/redlac/capitulo1/tendencias.html>> Panamá. 2008. [Consultado: 15 de junio del 2011]
53. Rekondo Julen. Las ciudades, segunda parte. [En Línea] <<http://www.jmarcano.com/educa/cursos/ciudad2.html>> [Consultado: 3 de marzo del 2011]
54. Rea1, Medina, Camacho, López y Roldán. APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN Y SIG A LA DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DE MAPAS DE EVAPOTRANSPIRACIÓN. Ingeniería del Agua. 1 (6): 63-68. 1999.
55. Romero Dávila Sonia, Constantino Morales Méndez Carlos y Némiga Xanat Antonio. [En Línea] < <http://webs.ono.com/reclim5/reclim11a.pdf> > Identificación de las islas de calor de verano e invierno en la ciudad de Toluca, México. Revista de climatología (11): 1-10. 2011
56. Rose Lilly, Monsingh Devadas, Sathyabama. ANALYSIS OF LAND SURFACE TEMPERATURE AND LAND USE / LAND COVER TYPES USING REMOTE SENSING IMAGERY - A CASE IN CHENNAI CITY, INDIA. [En Línea] < <http://www.ehu.es/cdsea/Formaci%F3n/Castellano/Educaci%F3n%20Ambient al/Ciudades.htm>> The seventh International Conference on Urban Climate, 29 June - 3 July 2009, Yokohama, Japan. [Consultado: 3 de marzo del 2011]

57. Sebastian Wypych. El clima de las ciudades. [En Línea]
<http://www.atmosphere.mpg.de/enid/2_Clima_Urbano/-Qu_lo_controla_3x3.html> [Consultado: 15 de junio del 2011]
58. Sarricolea, P; Aliste, E; Castro, E y Escobedo, C. 2008. Análisis de la máxima intensidad de la isla de calor urbano nocturno de la ciudad de Rancagua (Chile) y sus factores explicativos. [en línea].
<<http://webs.ono.com/reclim3/reclim08f.pdf>> Revista de Climatología. (8): 71-84. 2008. [Consultado: el 19 de abril 2009]
59. SARRICOLEA ESPINOZA PABLO y ROMERO ARAVENA HUGO. ANÁLISIS DE LOS FACTORES CONDICIONANTES SOBRE LAS TEMPERATURAS DE EMISIÓN SUPERFICIAL EN EL ÁREA METROPOLITANA DE VALPARAÍSO, CHILE. Arquitectura, Ciudad y Entorno. Número 14: 79-96. 2010.
60. Serra Pardo Juan Antonio. ESTUDIO DE LA ISLA DE CALOR DE LA CIUDAD DE IBIZA. [En Línea]
<http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/10232/1/IG_44_03.pdf>
Investigaciones Geográficas, Número 44: 55-73. 2007. [Consultado: el 19 de abril 2009]
61. SEOANEZ CALVO, M. Tratado de climatología aplicado a la ingeniería medioambiental, Madrid, Mundi- prensa, Epígrafes relativos al suelo. 2001
62. Streutker David R. Satellite-measured growth of the urban heat island of Houston, Texas. Remote Sensing of Environment (85): 282–289. 2003
63. Sobrino Jose A. y Raissouni N. Toward remote sensing methods for land cover dynamic monitoring: Application to Morocco. International Journal of Remote Sensing 2 (21): 353- 366. 2000
64. Sobrino José A. Estimación de la temperatura y la emisividad de la superficie terrestre a partir de datos suministrados por sensores de alta resolución. [En Línea] < <http://www.tdx.cat/handle/10803/10337> > Calor. Termodinàmica. 2005 [Consultado: el 19 de abril 2009]
65. Sobrino José A., Jiménez-Muñoz Juan C., Guillem Sòria, Mireia Romaguera, Guanter Luis y Moreno José. Land Surface Emissivity Retrieval From Different VNIR and TIR Sensors. IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING 2(46). 2008.

66. Sobrino José A., Julien Y. y Jiménez-Muñoz J.C. Land use classification from multitemporal Landsat imagery using the Yearly Land Cover Dynamics (YLCD) method. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation (13) 711–720. 2011.
67. Sobrino José A., Jiménez-Muñoz J. C., Cristóbal J., Sòria, Ninyerola, Pons, Hidalgo, Franch, Romaguera, Oltra-Carrió, Julien y C. Mattar. Obtención de la temperatura de la superficie terrestre a partir de la serie histórica LANDSAT. Revista de Teledetección. (33):53-63. 2010.
68. Sobrino José A., G. Sòria, R. Oltra-Carrió, J. C. Jiménez-Muñoz, J. Cuenca, V. Hidalgo, B. Franch, C. Mattar, M. Romaguera, Y. Julien, R. Bianchi, M. Paganini, J. F. Moreno, L. Alonso, A. Fernández-Renau, J. A. Gómez, E. de Miguel, Ó. Gutiérrez, M. Jiménez, E. Prado, R. Rodríguez-Cantano, I. Ruiz, F. Nerry, G. Najjar, P. Kastendeutch, M. Pujadas, F. Molero, A. Martilli, F. Salamanca, F. Fernández, E. Galán, R. Cañada, E. Hernández, J. Hidalgo, J. Á. Acero, J. M. Romero, F. Moya, L. Gimeno. ESTUDIO DE LA ISLA DE CALOR EN LA CIUDAD DE MADRID. Teledetección: Agua y desarrollo sostenible. 23 – 26: 441 -444- 2009
69. The free dictionary by Farlex. [En Línea] < <http://www.thefreedictionary.com/>> [Consultado: 17 de septiembre del 2013].
70. Universidad Complutense Madrid. Capítulo 18 Análisis de regresión lineal: El procedimiento Regresión lineal. [En Línea] < http://pendientedemigracion.ucm.es/info/socivmyt/paginas/D_departamento/materiales/analisis_datosyMultivariable/18reglin_SPSS.pdf > [Consultado: 17 de septiembre del 2013].
71. Unger János, Gál Tamás, Rakonczai János, Mucsi László, Szatmári János, Tobak Zalán, Boudewijn van Leeuwen y Károly Fiala. AIR TEMPERATURE VERSUS SURFACE TEMPERATURE IN URBAN ENVIRONMENT. [En Línea] <http://www.ide.titech.ac.jp/~icuc7/extended_abstracts/pdf/375624-1-090514014110-003.pdf > The seventh International Conference on Urban Climate. (29). Yokohama, Japón. 2009
72. Valiente José A., Niclòs Raquel, Barberá María J. y Estrela María J. ANALYSIS OF DIFFERENCES BETWEEN AIR-LAND SURFACE TEMPERATURES TO ESTIMATE LAND SURFACE AIR TEMPERATURE FROM MSG DATA. [En Línea]

- <http://www.eumetsat.int/Home/Main/AboutEUMETSAT/Publications/ConferenceandWorkshopProceedings/2010/groups/cps/documents/document/pdf_conf_p57_sl_16_valiente_p.pdf> [Consultado: 04 de febrero del 2013]
73. Voogt, JAMES. Urban heat island. Encyclopedia of global environmental change (Ed. T. Munn), (3): 660-666. 2000.
74. Voogt, James. Urban Heat Island. Encyclopedia of Global Environmental Change (3): 657- 663. 2002.
75. Voogt, JAMES. Islas de calor en zonas urbanas: Ciudades más calientes America. Institute of Biological Sciences. [en línea] <<http://www.actionbioscience.org/esp/ambiente/voogt.html>> 2008 [Consultado: 19 de abril 2009]
76. Walawender Jakub y Hajto Monika. ASSESSMENT OF THERMAL CONDITIONS IN URBAN AREAS WITH USE OF DIFFERENT SATELLITE DATA AND GIS. [En Línea] <<http://geostat-course.org/node/282>> [Consultado: 17 de Diciembre del 2012]
77. Weng Qihao. Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends. Revista ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. (64): 335-344. 2009.
78. Weng Qihao, Lu Dengsheng y Schubring Jacquelyn. Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. [En línea] <http://www.utsa.edu/lrsg/Teaching/EES5053_Geo4093/Labs/Wengetal.pdf> Remote Sensing of Environment (89): 467–483. 2003.
79. Yarlequé, Posadas y Quiroz. Procesamiento de Datos de NDVI para la obtención de Precipitación de Lluvias en la Cuenca del Altiplano. [En Línea] <<http://inrm.cip.cgiar.org/home/publicat/0406nrm.pdf>> Septiembre del 2004. [Consultado: 12 de febrero del 2013]
80. Zhaoquin Li, Xulin Guo y Yuhong He. Applicability of Land Surface Temperature (LST) estimates from AVHRR satellite image composites in northern Canada.[En Línea] <<http://pcag.uwinnipeg.ca/Prairie-Perspectives/PP-Vol11/Li-Guo-Dixon-He.pdf>> Prairie Perspectives (11): 119 – 130. [Consultado: 17 de Diciembre del 2012]

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Mapas referentes a la distribución espacial de las islas de calor urbanas

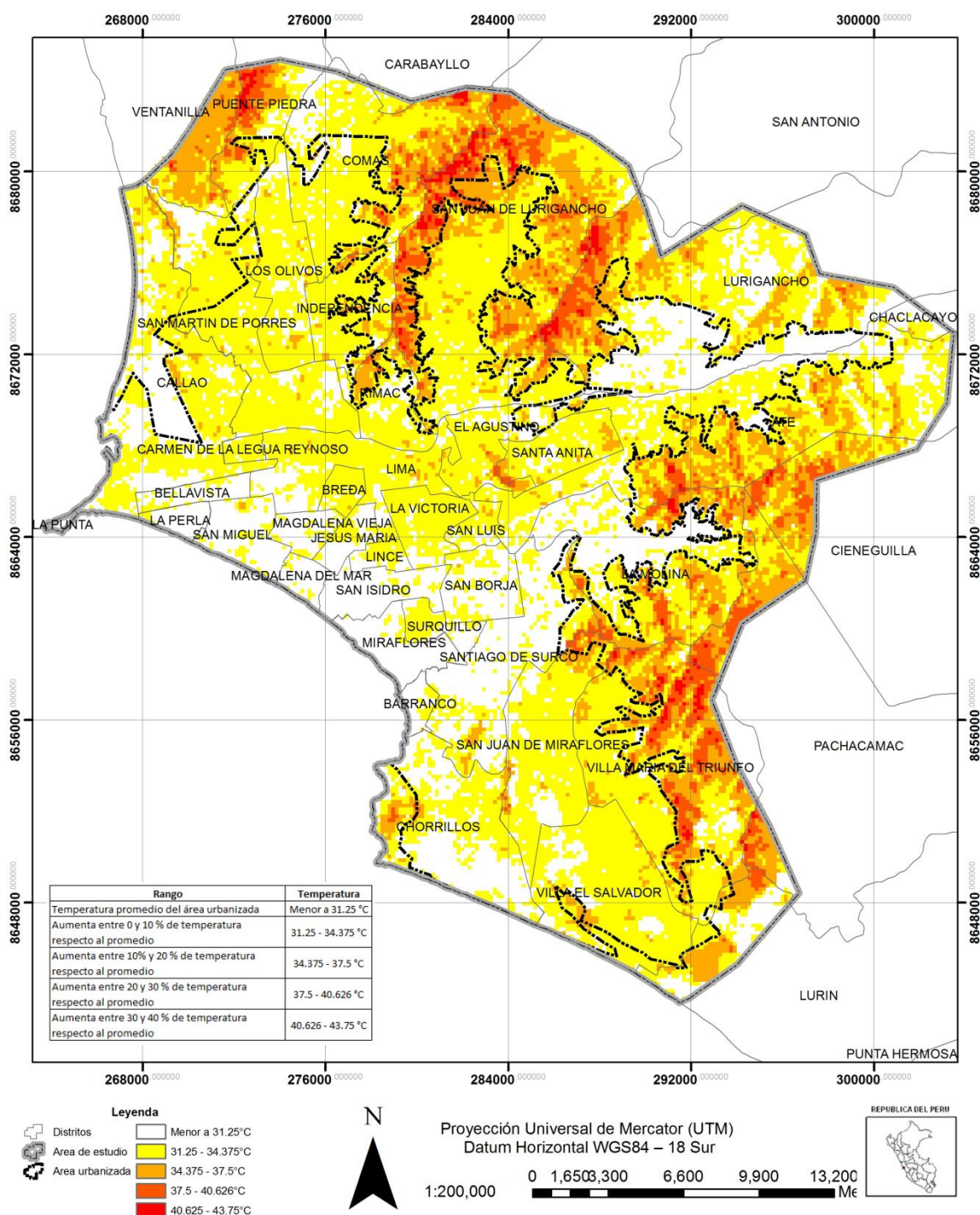


Figura 23.: Mapa de temperatura de superficie (°C) de las 15:00 horas GTM del 11 de febrero del 2008

Fuente: Elaboración propia

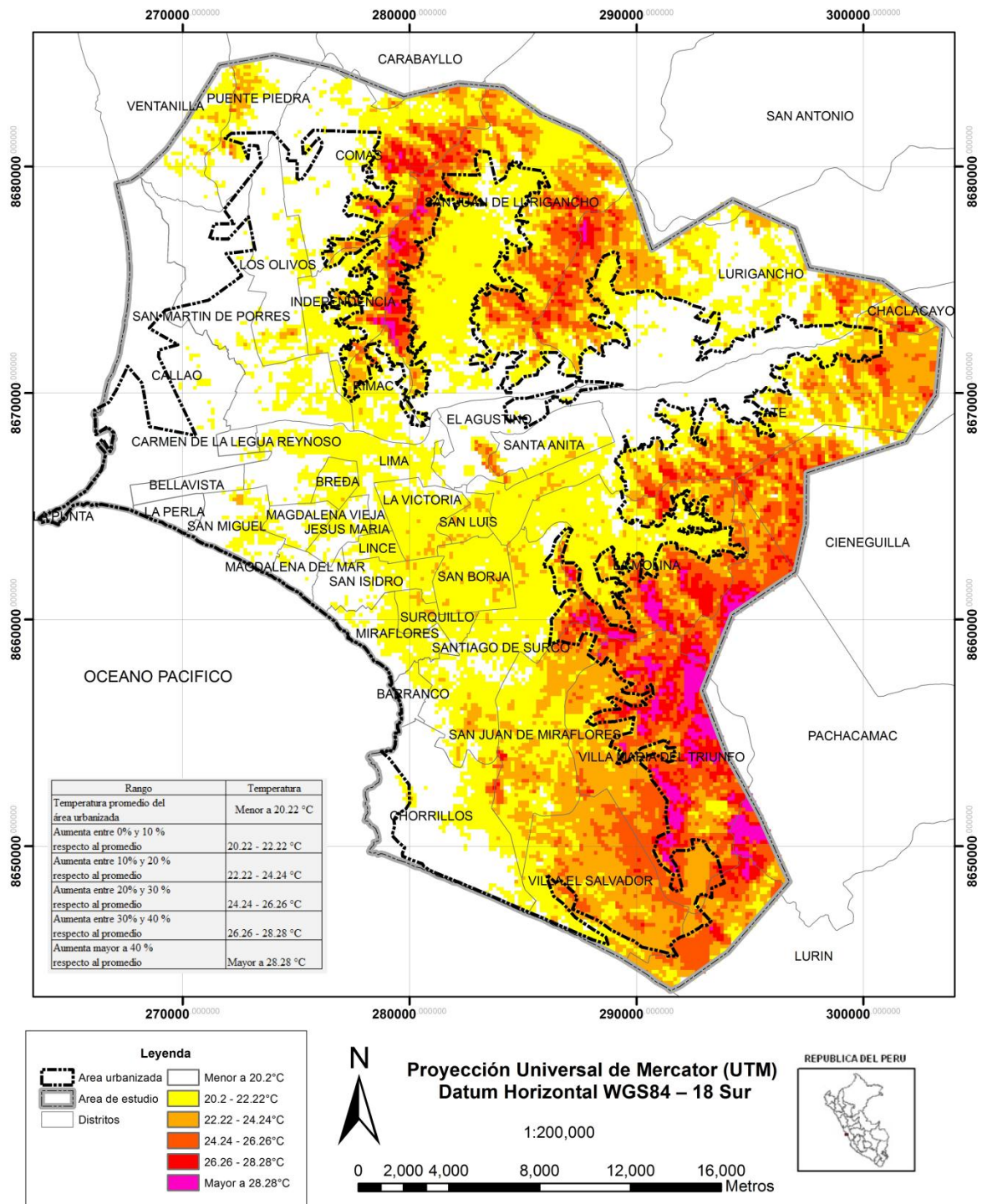


Figura 24: Mapa de temperatura de superficie (°C) de las 15:00 horas GTM del 15 de abril del 2008

Fuente: Elaboración propia

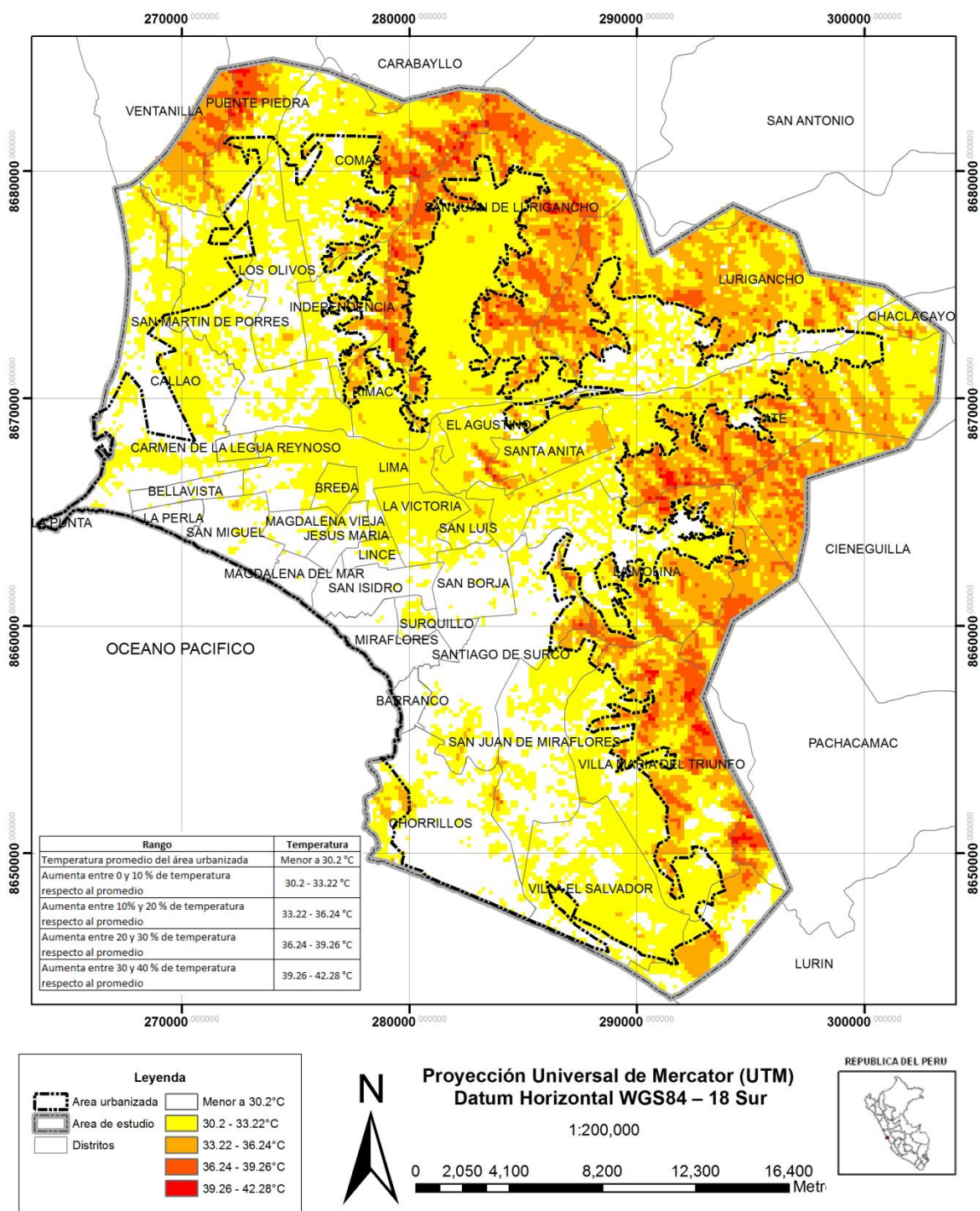


Figura 25: Mapa de temperatura de superficie (°C) de las 15:00 horas GTM del 01 de mayo del 2008

Fuente: Elaboración propia

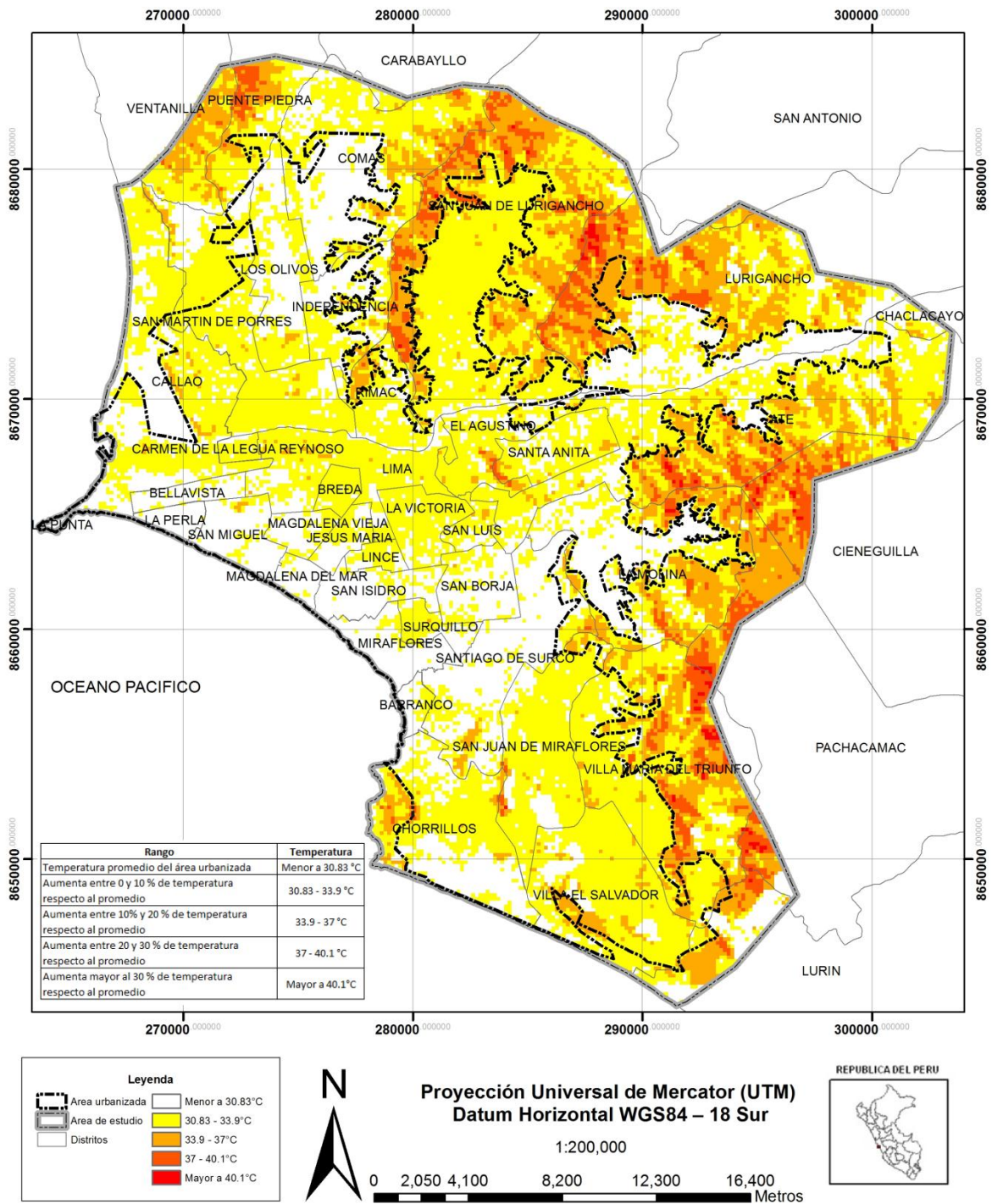


Figura 26: Mapa de temperatura de superficie (°C) de las 15:00 horas GTM del 02 de abril del 2009

Fuente: Elaboración propia

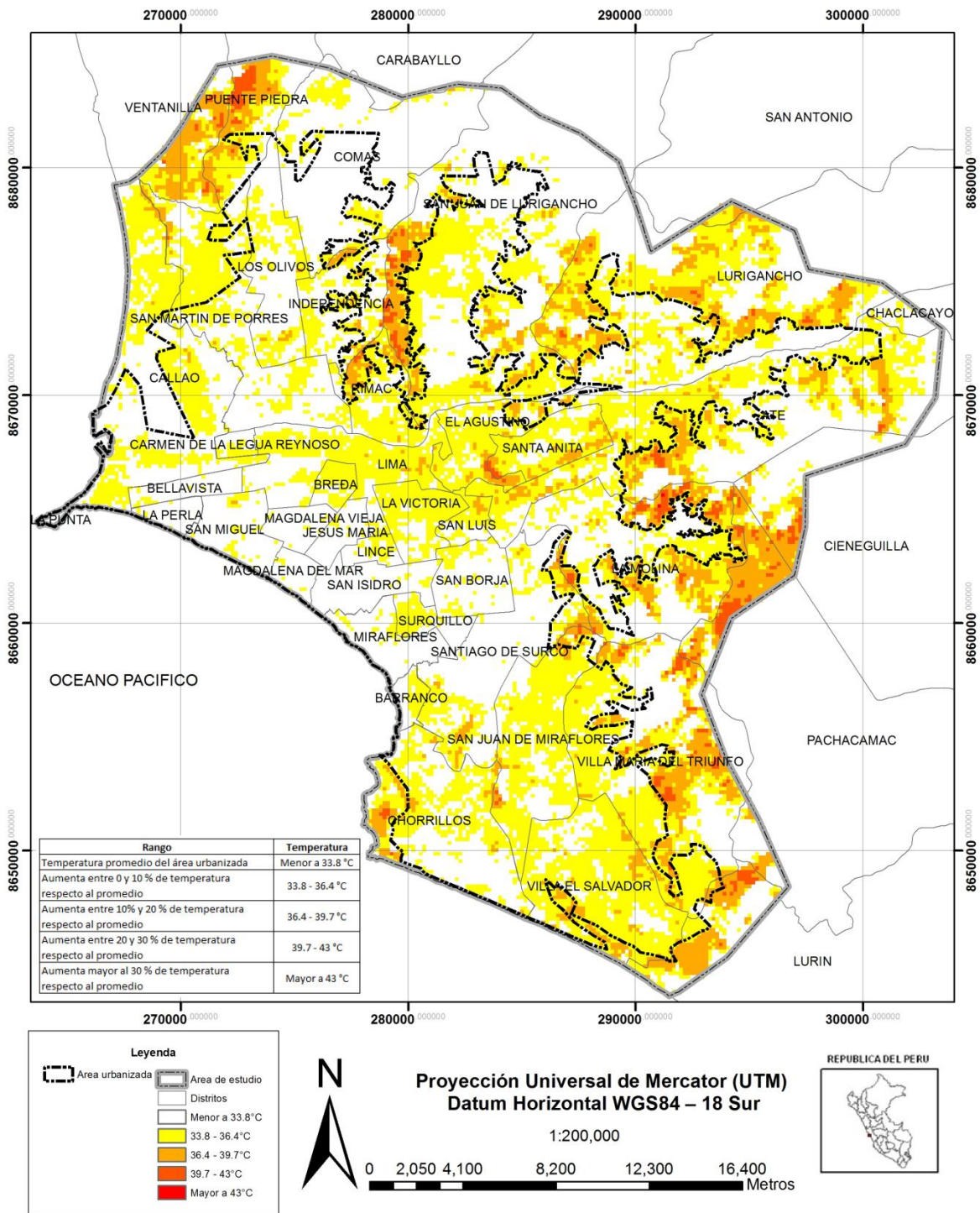


Figura 27: Mapa de temperatura de superficie (°C) de las 15:00 horas GTM del 31 de enero del 2010

Fuente: Elaboración propia

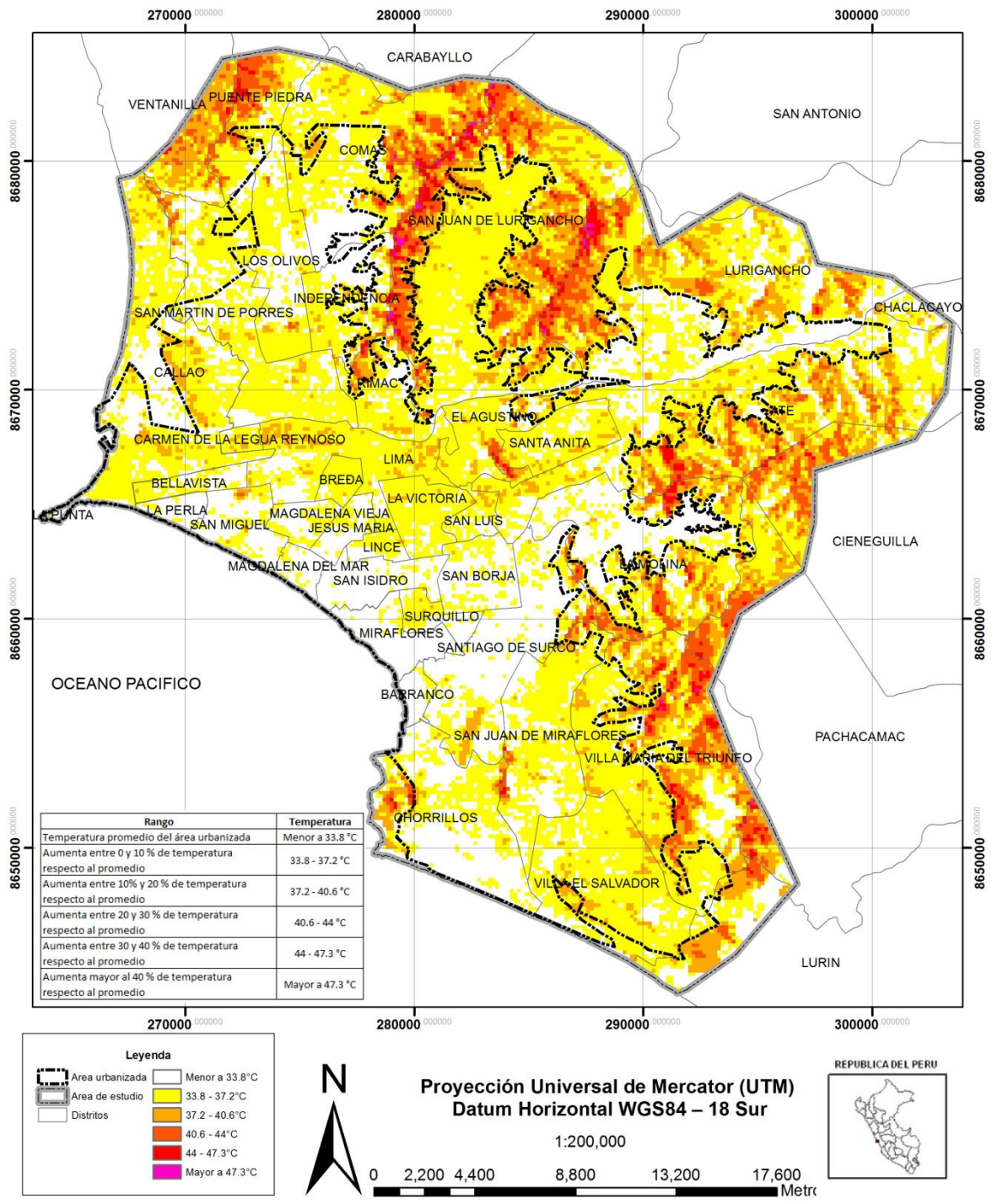


Figura 28: Mapa de temperatura de superficie (°C) de las 15:00 horas GTM del 07 de marzo del 2011

Fuente: Elaboración propia

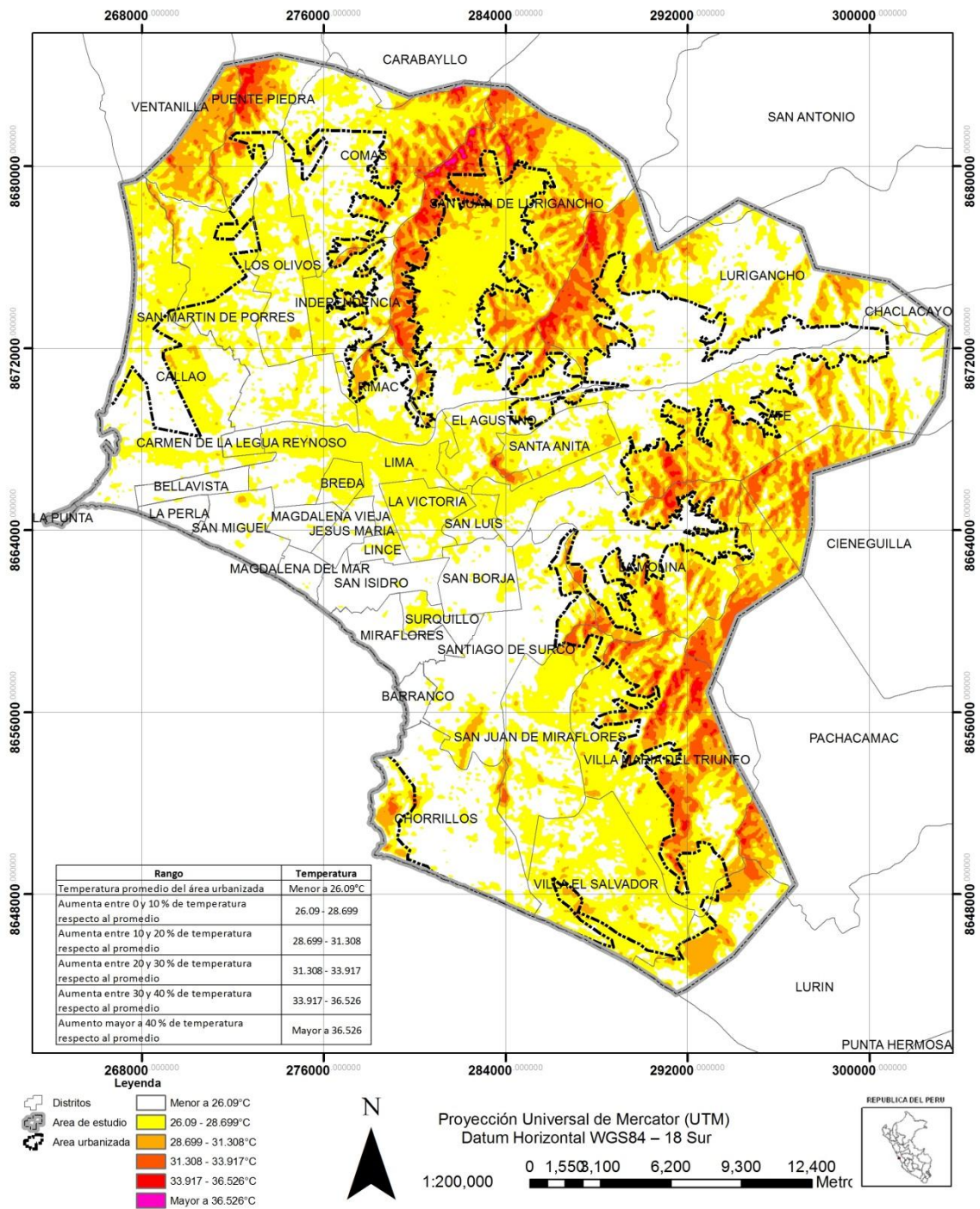


Figura 29: Mapa de temperatura de brillo (°C) de las 15:00 horas GTM del 11 de febrero del 2008

Fuente: Elaboración propia

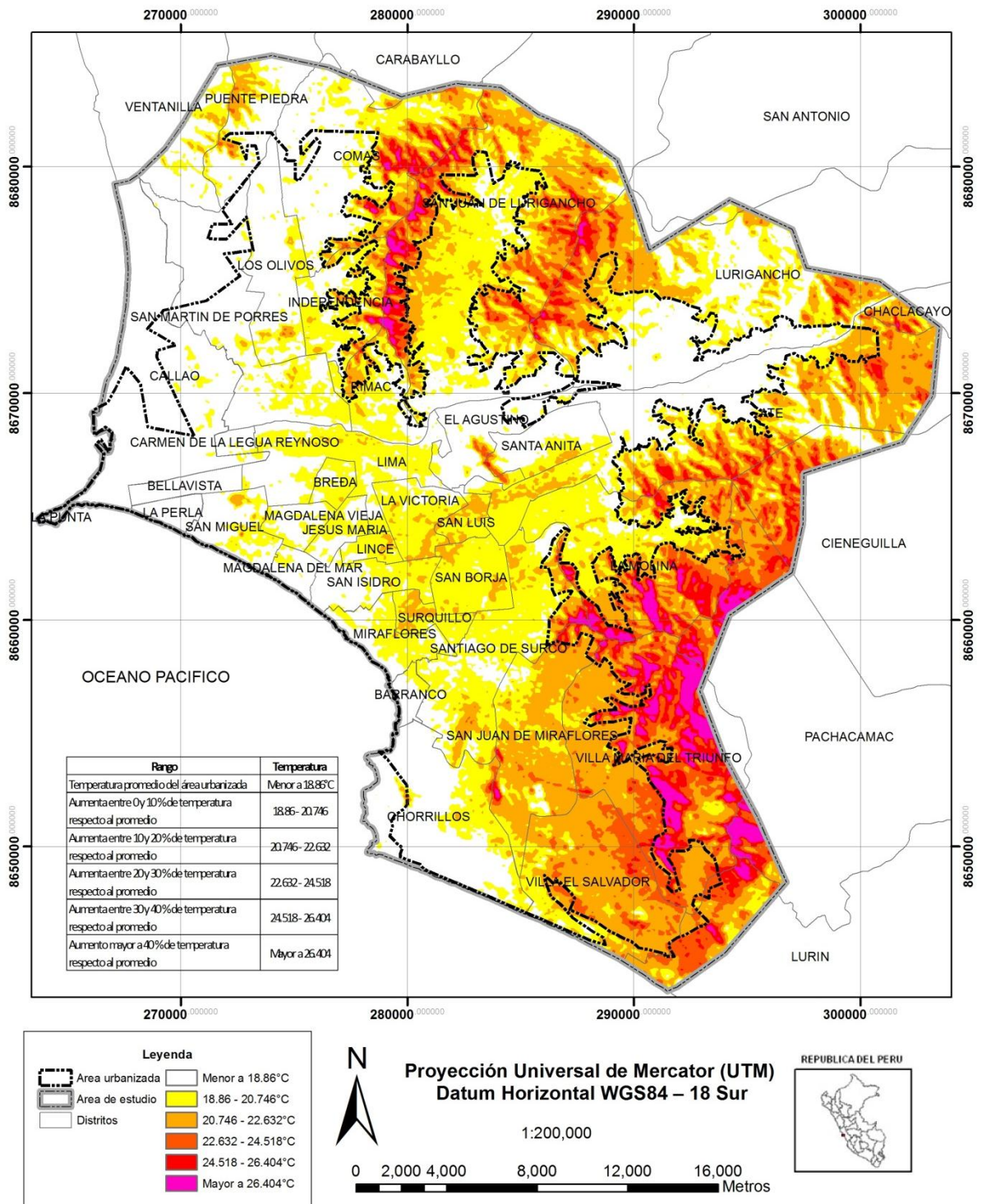


Figura 30: Mapa de temperatura de brillo (°C) de las 15:00 horas GTM del 15 de abril del 2008

Fuente: Elaboración propia

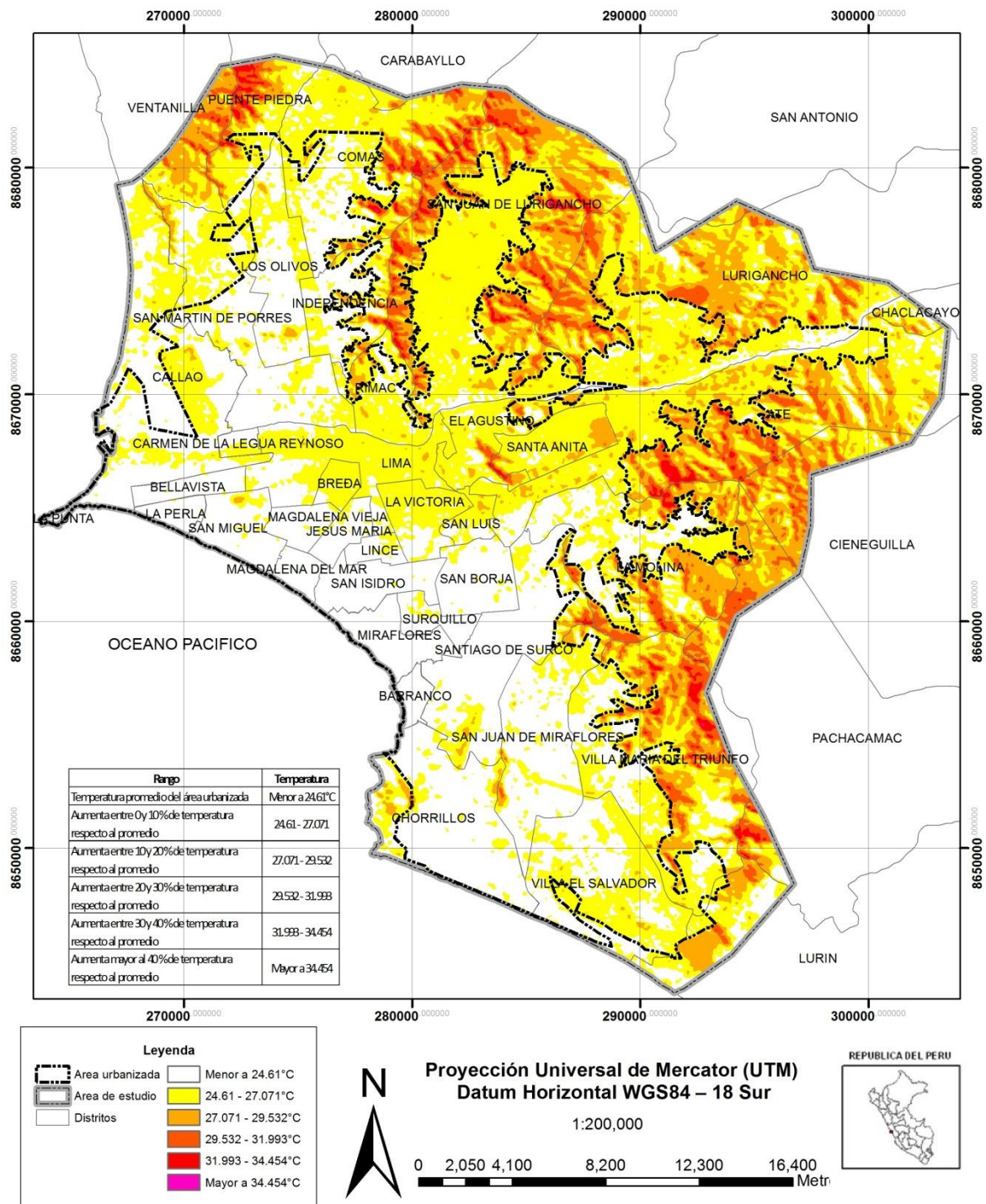


Figura 31: Mapa de temperatura de brillo (°C) de las 15:00 horas GTM del 01 de mayo del 2008

Fuente: Elaboración propia

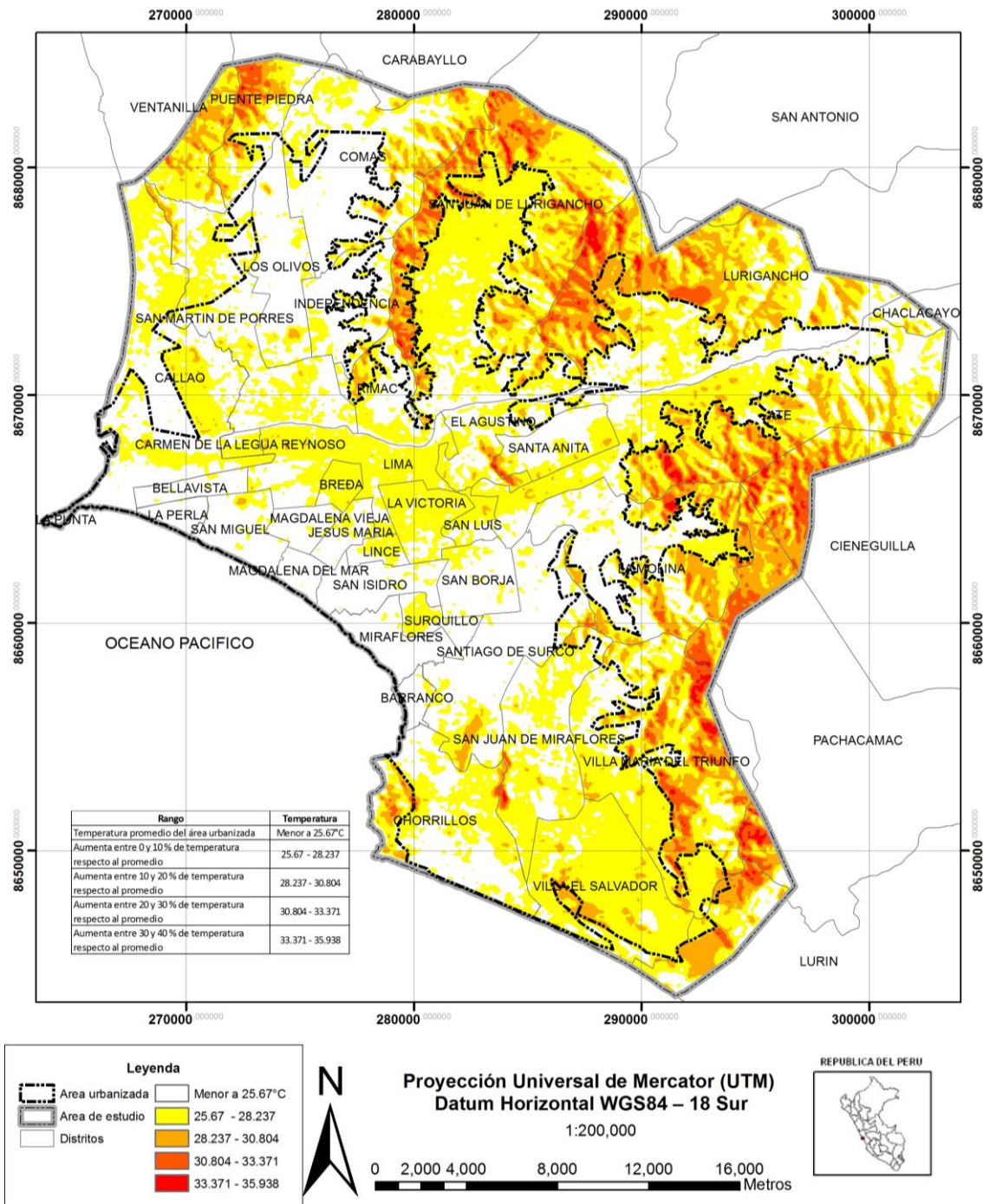


Figura 32: Mapa de temperatura de brillo (°C) de las 15:00 horas GMT del 02 de abril del 2009

Fuente: Elaboración propia

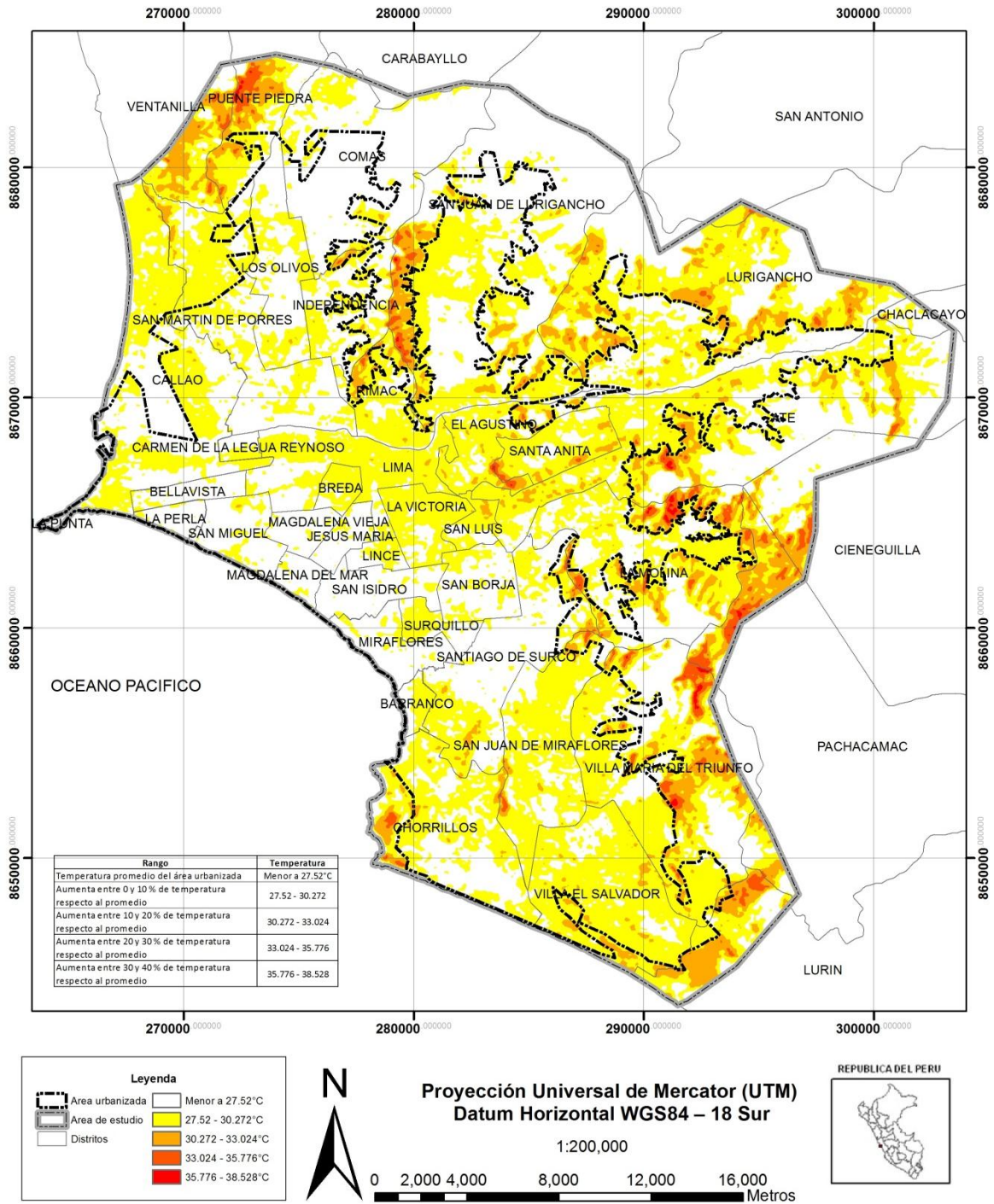


Figura 33: Mapa de temperatura de brillo (°C) de las 15:00 horas GTM del 31 de enero del 2010

Fuente: Elaboración propia

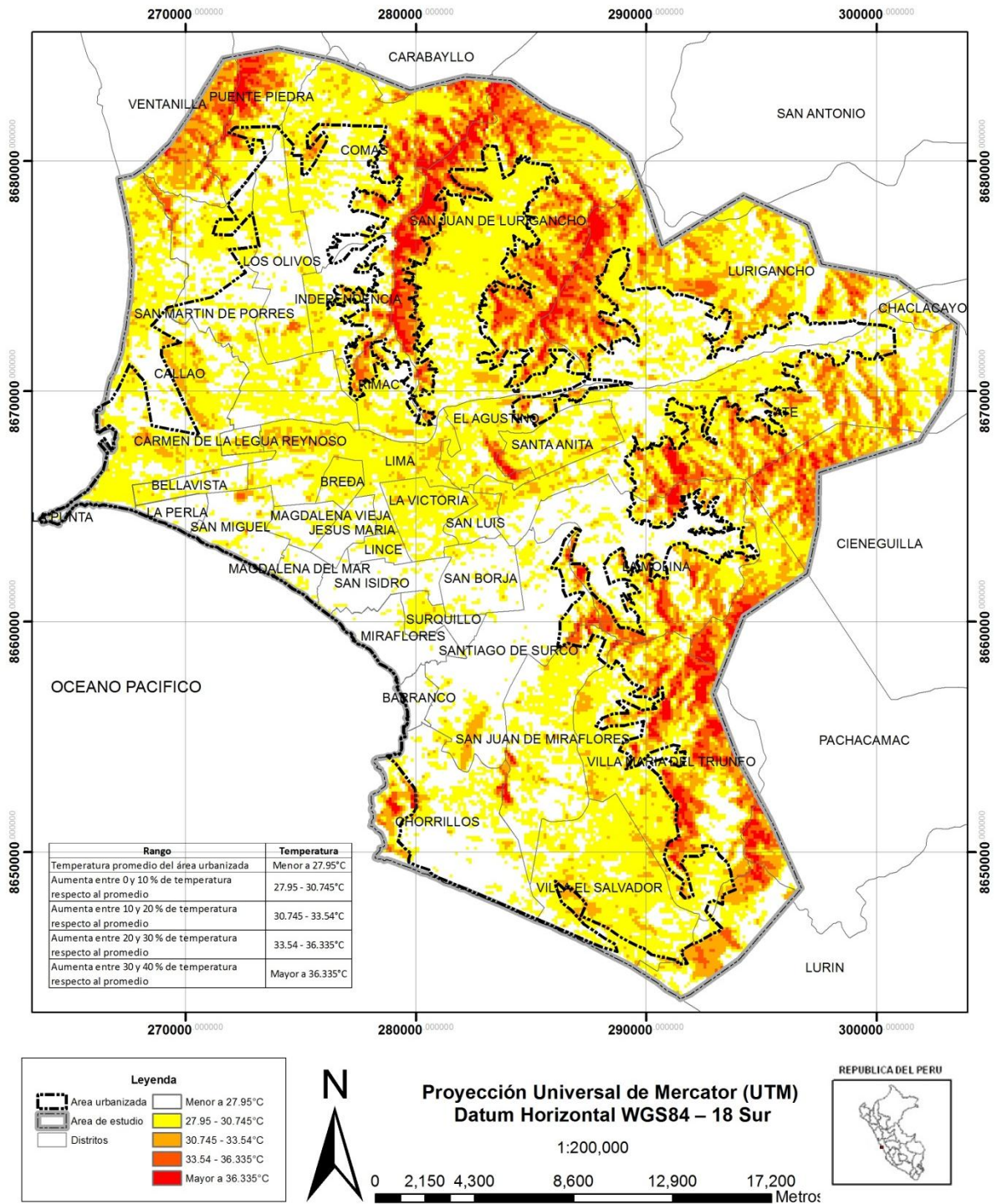


Figura 34: Mapa de temperatura de brillo (°C) de las 15:00 horas GTM del 07 de marzo del 2011

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2: Correlación entre la temperatura de superficie (°C) y la temperatura de brillo (°C)

CUADRO 16: Resultados del coeficiente de correlación entre la temperatura de superficie (°C) y temperatura de brillo (°C)

Días	r^2
11 de febrero del 2008	0,939856507
15 de abril del 2008	0,99882223
01 de mayo del 2008	0,9690632
2 de abril del 2009	0,93371321
31 de enero del 2010	0,96380591
7 de marzo del 2011	0.96029166

FUENTE: Elaboración Propia

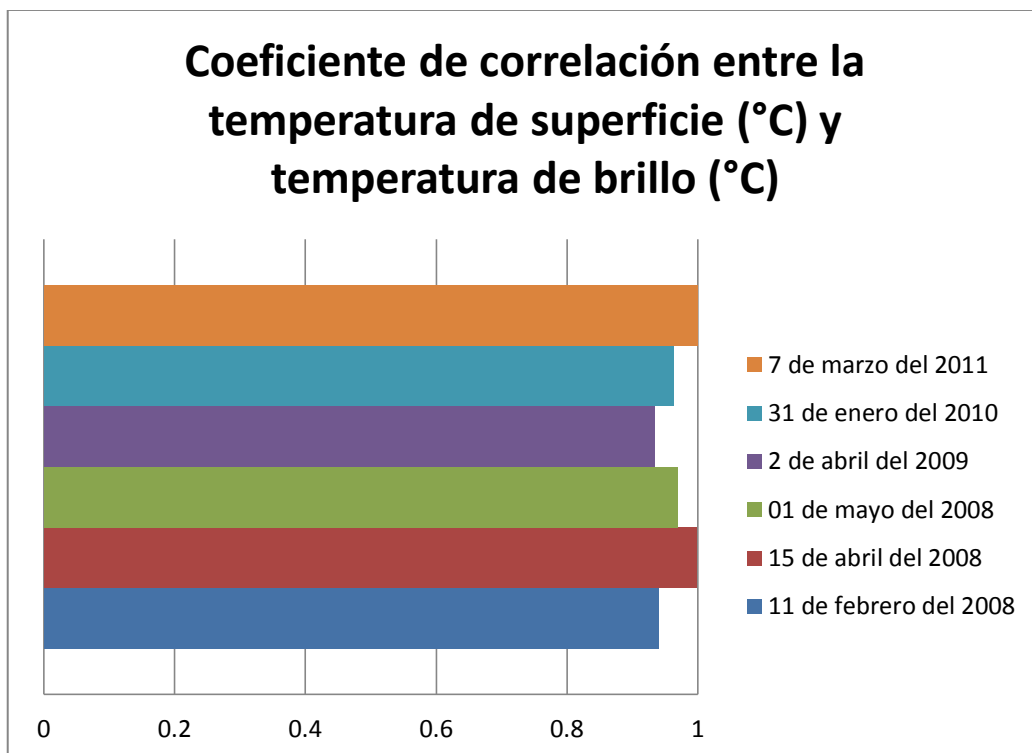


Figura 35: Gráfico de barras del coeficiente de correlación entre la temperatura de superficie (°C) y temperatura de brillo (°C)

Fuente: Elaboración propia

Anexo 3: Coordenadas geográficas de los núcleos térmicos

CUADRO 17: Coordenadas geográficas de los núcleos térmicos con temperaturas más altas en el área urbanizada

Ubicación	Temperatura de Superficie (°C)	Coordenadas en UTM WGS 84 18 Sur (metros)	
		X	Y
Cerro el agustino	38,2071	283659,81005700000	8666858,96731000000
Cerro el agustino	38,0806	284296,29005700000	8666222,48731000000
Cerro el agustino	37,7923	283978,05005700000	8652538,16731000000
Cerro el agustino	37,4941	283659,81005700000	8667018,08731000000
Cerro el agustino	37,3106	283500,69005700000	8667018,08731000000
Cerro el agustino	37,0944	284137,17005700000	8666381,60731000000
Cerro el agustino	36,7658	283659,81005700000	8667177,20731000000
Cerro el agustino	36,6837	283978,05005700000	8666540,72731000000
Cerro el agustino	36,5654	283818,93005700000	8666540,72731000000
Cerro el agustino	36,5568	283659,81005700000	8666699,84731000000
Cerro el agustino	36,4565	284137,17005700000	8666540,72731000000
Cerro el agustino	36,4093	283500,69005700000	8666858,96731000000
Cerro el agustino	36,3141	283500,69005700000	8667177,20731000000
Cerro el agustino	36,1873	283818,93005700000	8666699,84731000000
Cerro el agustino	36,1109	284296,29005700000	8666381,60731000000
Cerro el agustino	36,0596	283182,45005700000	8667654,56731000000
Cerro Gramadal	37,4654	284137,17005700000	8652219,92731000000
Cerro Gramadal	36,8979	283818,93005700000	8652697,28731000000
Cerro Gramadal	36,8727	283978,05005700000	8652379,04731000000
Cerro Gramadal	36,8330	283978,05005700000	8652697,28731000000
Cerro Gramadal	36,3454	283818,93005700000	8652538,16731000000
Cerro Gramadal	36,2823	283978,05005700000	8652060,80731000000
Cerro Gramadal	35,9388	283978,05005700000	8654129,36731000000
Cerro Gramadal	35,9200	284137,17005700000	8653811,12731000000
Chorrillos	35,7035	280108,78612200000	8652139,49204000000
Chorrillos	34,4319	280108,78612200000	8652298,61204000000

Ubicación	Temperatura de Superficie (°C)	Coordenadas en UTM WGS 84 18 Sur (metros)	
		X	Y
Chorrillos	34,4213	280108,78612200000	8651980,37204000000
Chorrillos	33,3408	280108,78612200000	8652457,73204000000
Chorrillos	33,2163	280267,90612200000	8652139,49204000000
Chorrillos	32,9273	280108,78612200000	8651821,25204000000
Rimac	35,8464	278130,69552100000	8671848,54218000000
Los Olivos	33,0629	273675,33552100000	8679008,94218000000
San Martin de Porres	33,3300	271521,21200000000	8672304,75700000000
Aeropuerto	33,0497	270935,79348300000	8668564,97753000000
Santa Anita	32,9800	288274,57300000000	8668828,32600000000
Zona Comercial del centro de Lima	33,1423	280672,47294000000	8667253,68482000000
Villa María del Triunfo, Villa El Salvador y San Juan de Miraflores	35,2875	291779,67797800000	8649304,35336000000
Micro Isla de Santiago de Surco	34,2904	282575,29583100000	8655267,60431000000
Micro Isla de Santiago de Surco	33,4348	282257,05583100000	8653994,64431000000
Zona Industrial al costado del Aeropuerto	33,4200	270323,35100000000	8672021,15500000000
Zona Industrial del Callao, Carmen de La legua Reynoso, Lima y Breña	33,0700	274582,53500000000	8667679,53400000000

FUENTE: Elaboración Propia

Anexo 4: Gráficos de dispersión referentes a la relación entre la temperatura del aire (°C) versus temperatura de superficie (°C)

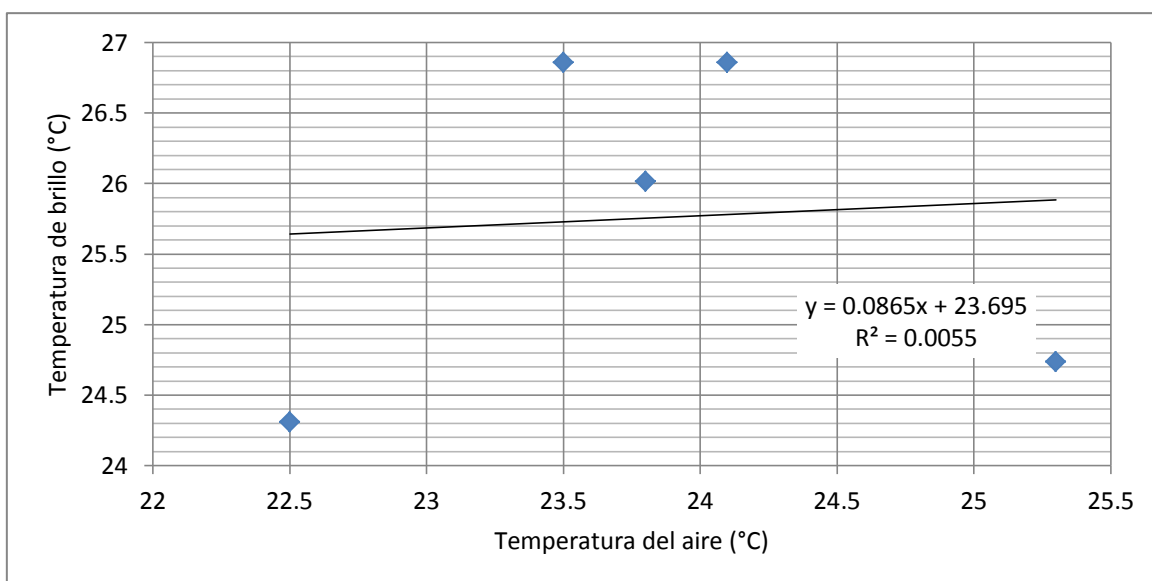


Figura 36: Gráfico de dispersión de la temperatura del aire (°C) versus temperatura de brillo (°C) para el día 11 de febrero del 2008

Fuente: Elaboración propia

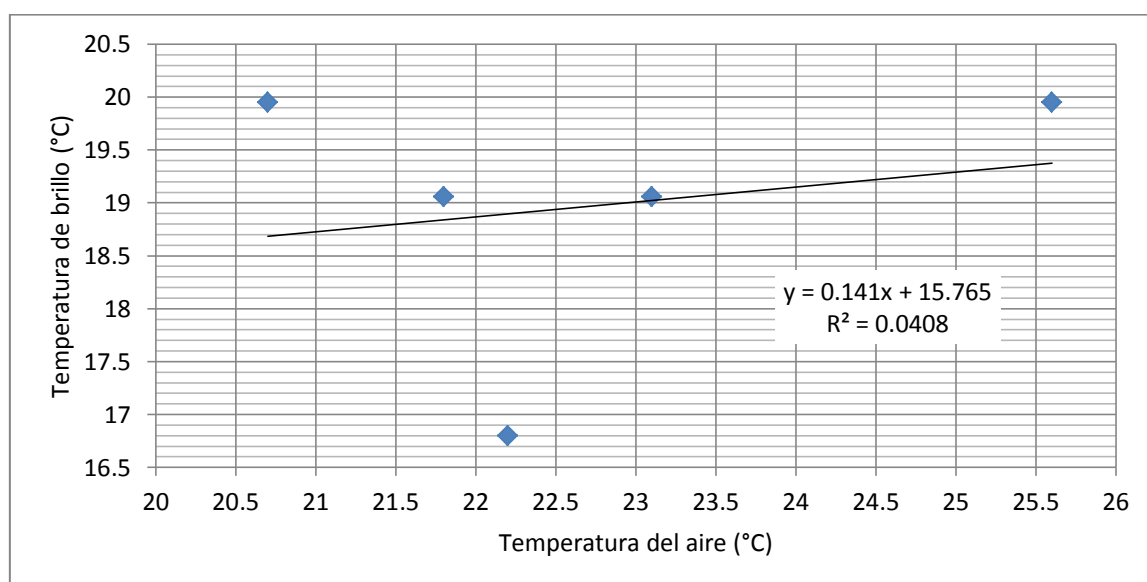


Figura 37: Gráfico de dispersión de la temperatura del aire (°C) versus temperatura de brillo (°C) para el día 15 de abril del 2008

Fuente: Elaboración propia

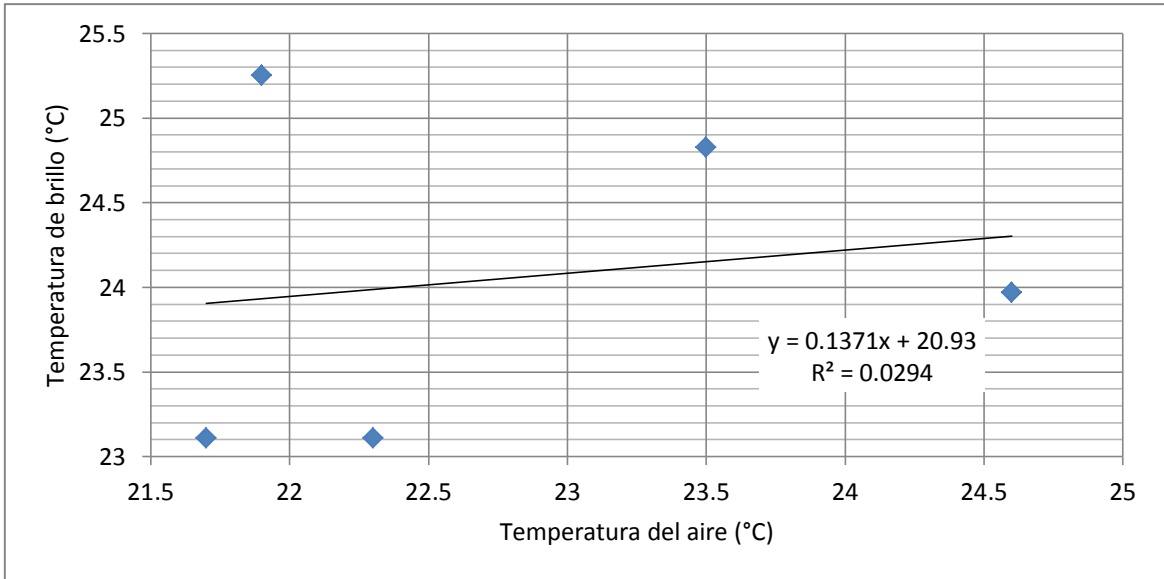


Figura 38: Gráfico de dispersión de la temperatura del aire (°C) versus temperatura de brillo (°C) para el día 01 de mayo del 2008

Fuente: Elaboración propia

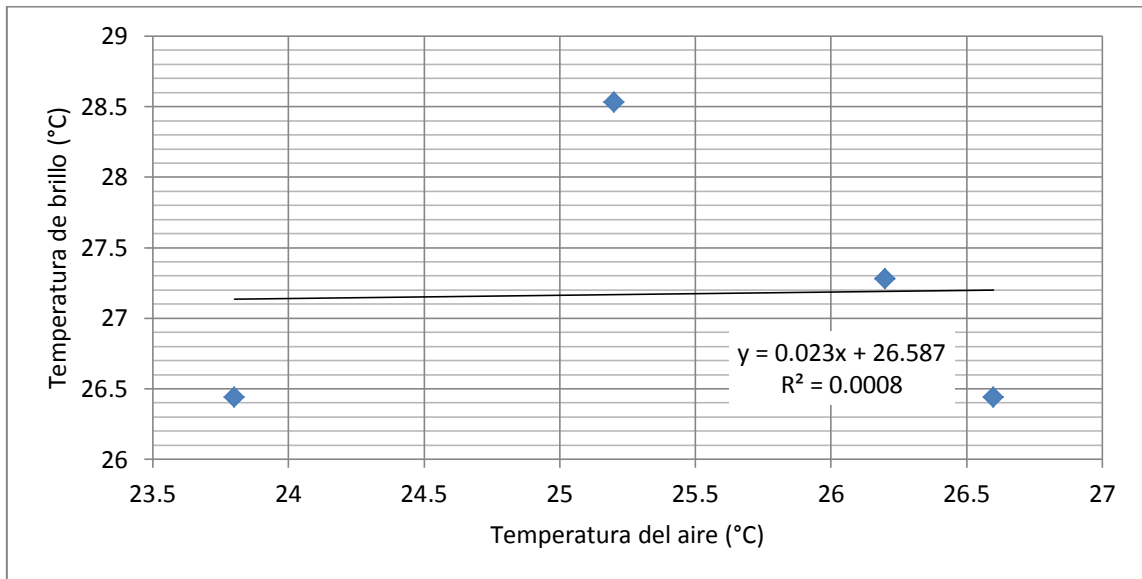


Figura 39: Gráfico de dispersión de la temperatura del aire (°C) versus temperatura de brillo (°C) para el día 31 de enero del 2010

Fuente: Elaboración propia

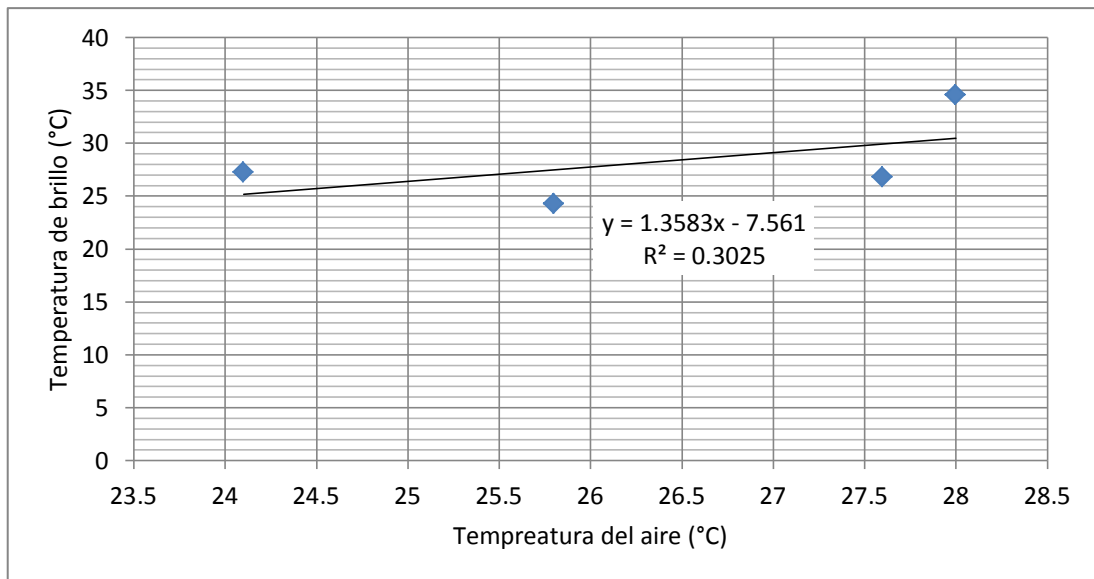


Figura 40: Gráfico de dispersión de la temperatura del aire (°C) versus temperatura de brillo (°C) para el día 7 de marzo del 2011

Fuente: Elaboración propia

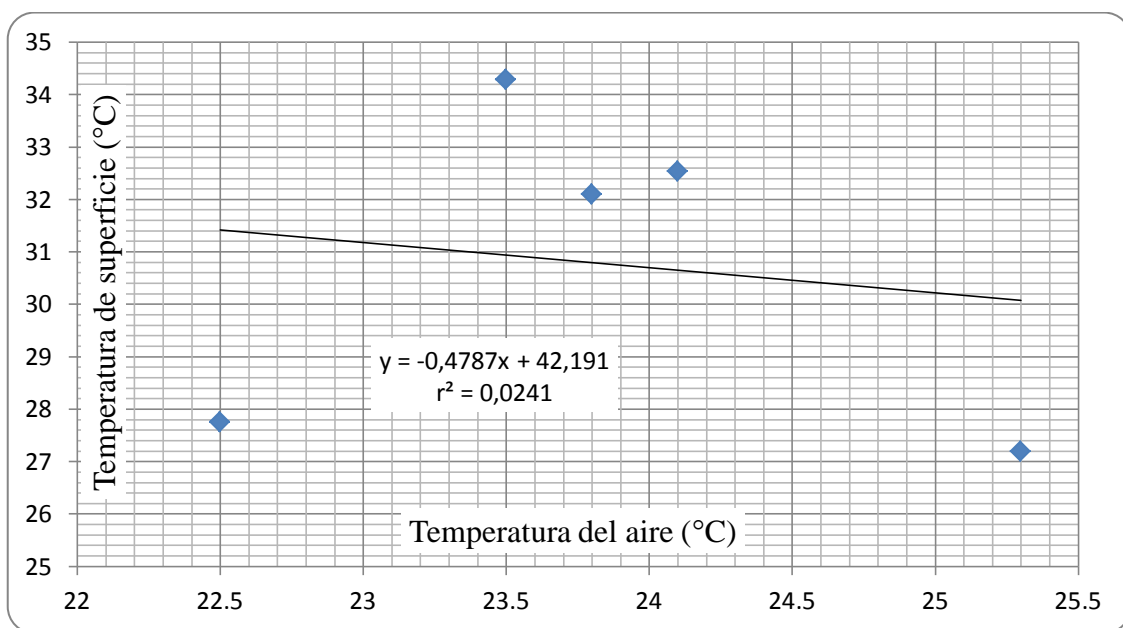


Figura 41: Gráfico de dispersión de la temperatura del aire (°C) versus temperatura de superficie (°C) para el día 11 de febrero del 2008

Fuente: Elaboración propia

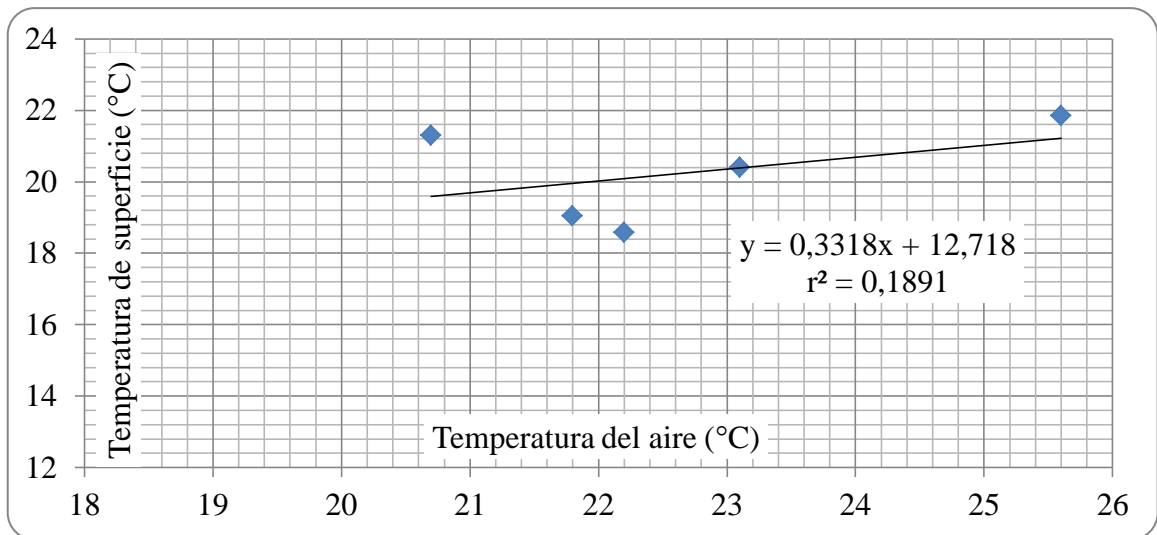


Figura 42: Gráfico de dispersión de la temperatura del aire (°C) versus temperatura de superficie (°C) para el día 15 de abril del 2008

Fuente: Elaboración propia

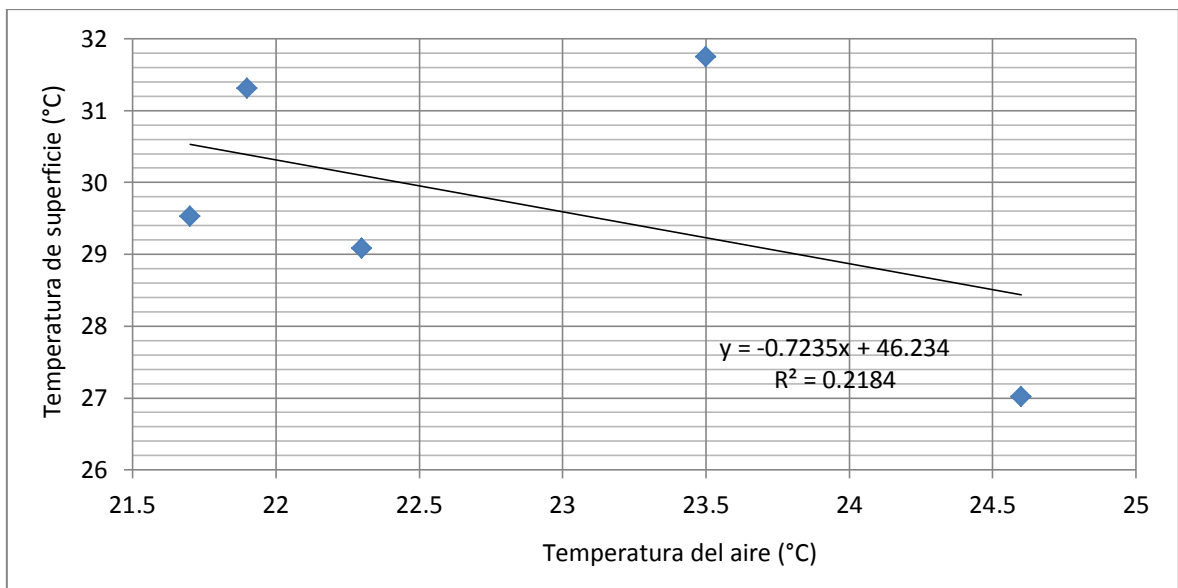


Figura 43: Gráfico de dispersión de la temperatura del aire (°C) versus temperatura de superficie (°C) para el día 1 de mayo del 2008

Fuente: Elaboración propia

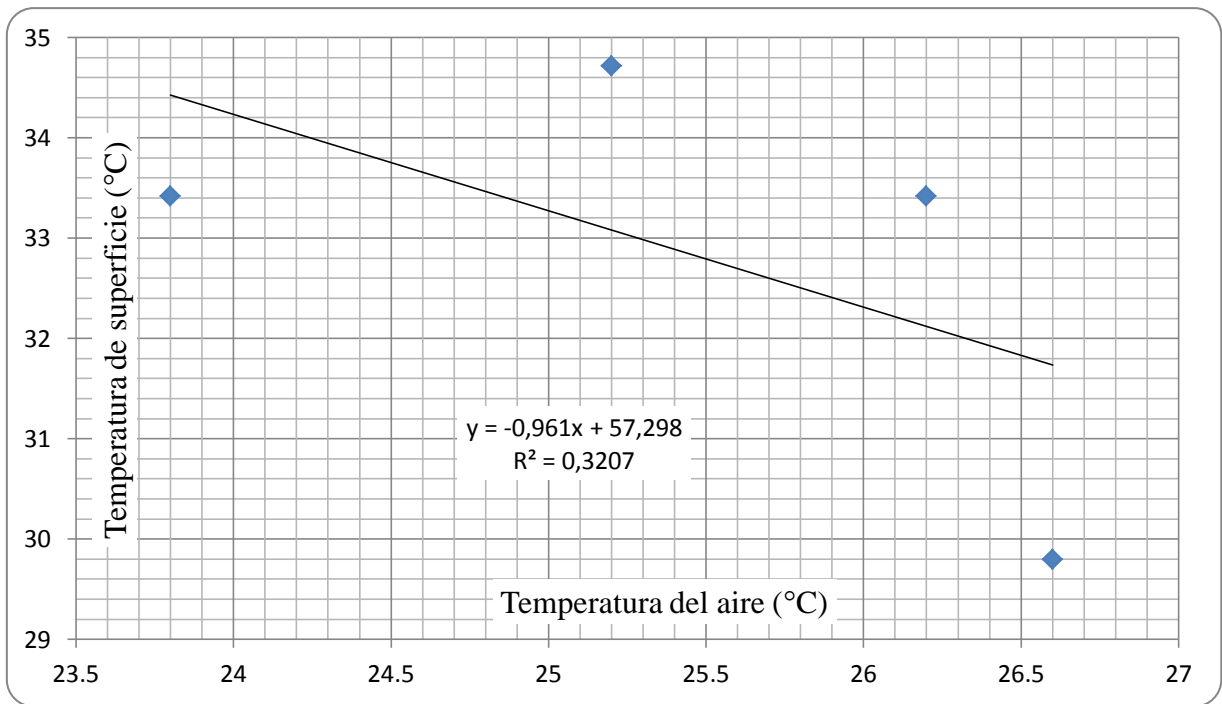


Figura 44: Gráfico de dispersión de la temperatura del aire (°C) versus temperatura de superficie (°C) para el día 31 de enero del 2010

Fuente: Elaboración propia

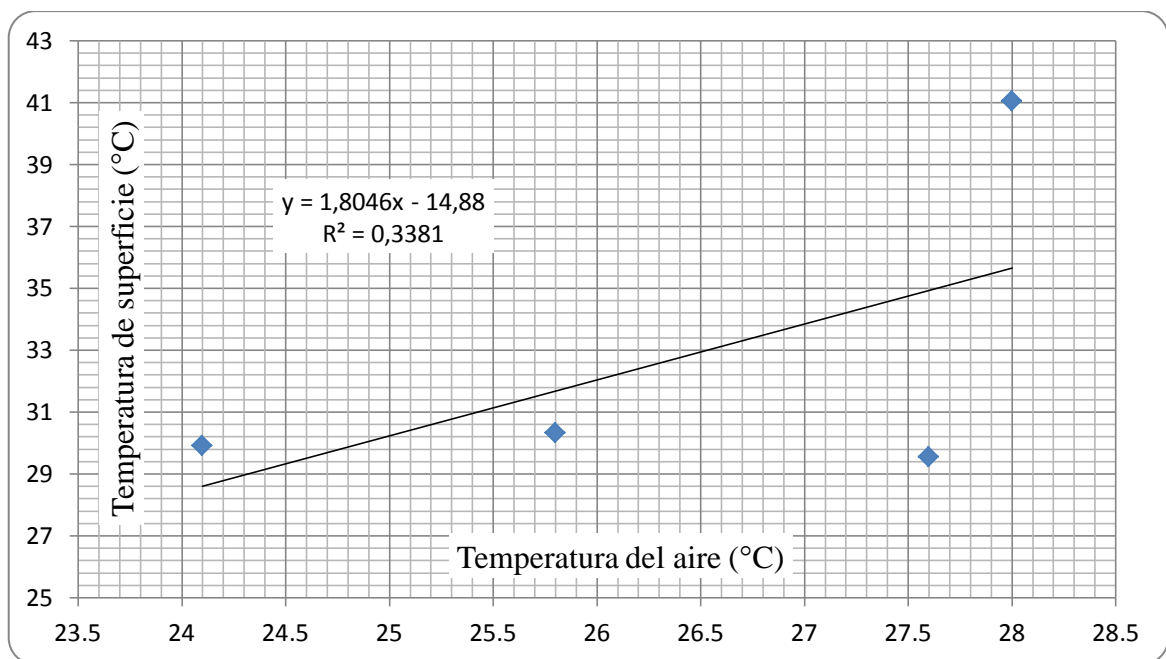


Figura 45: Gráfico de dispersión de la temperatura del aire (°C) versus temperatura de superficie (°C) para el día 7 de marzo del 2011

Fuente: Elaboración propia

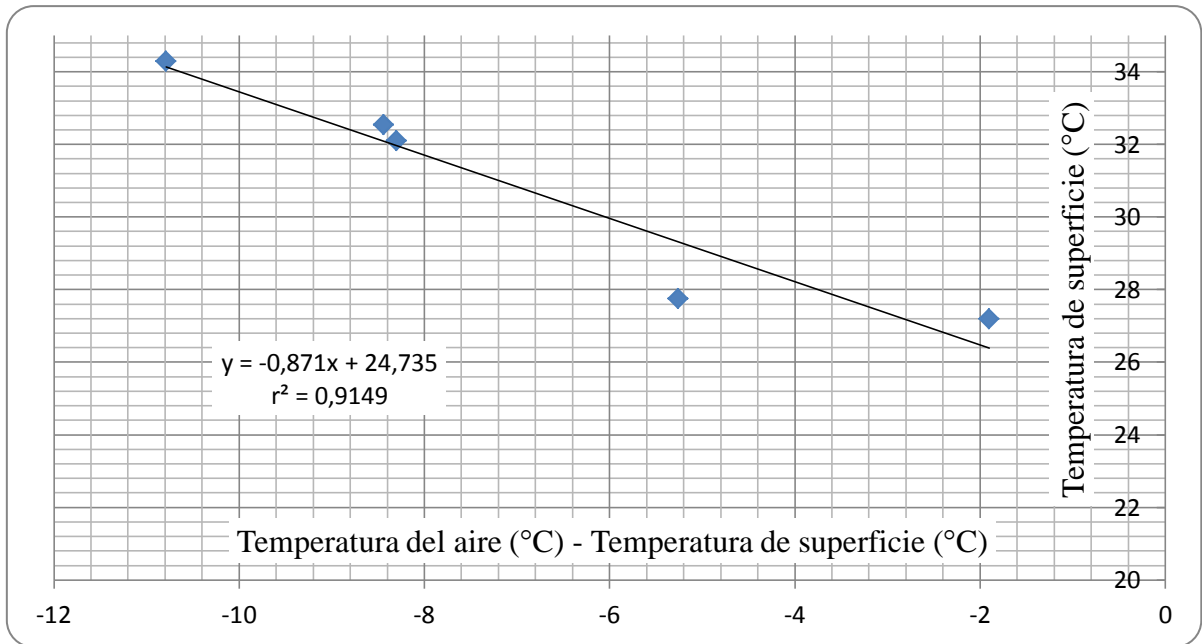


Figura 46: Gráfico de dispersión de la temperatura de superficie (°C) versus la temperatura del aire (°C) menos la temperatura de superficie (°C) para el día 11 de febrero del 2008

Fuente: Elaboración propia

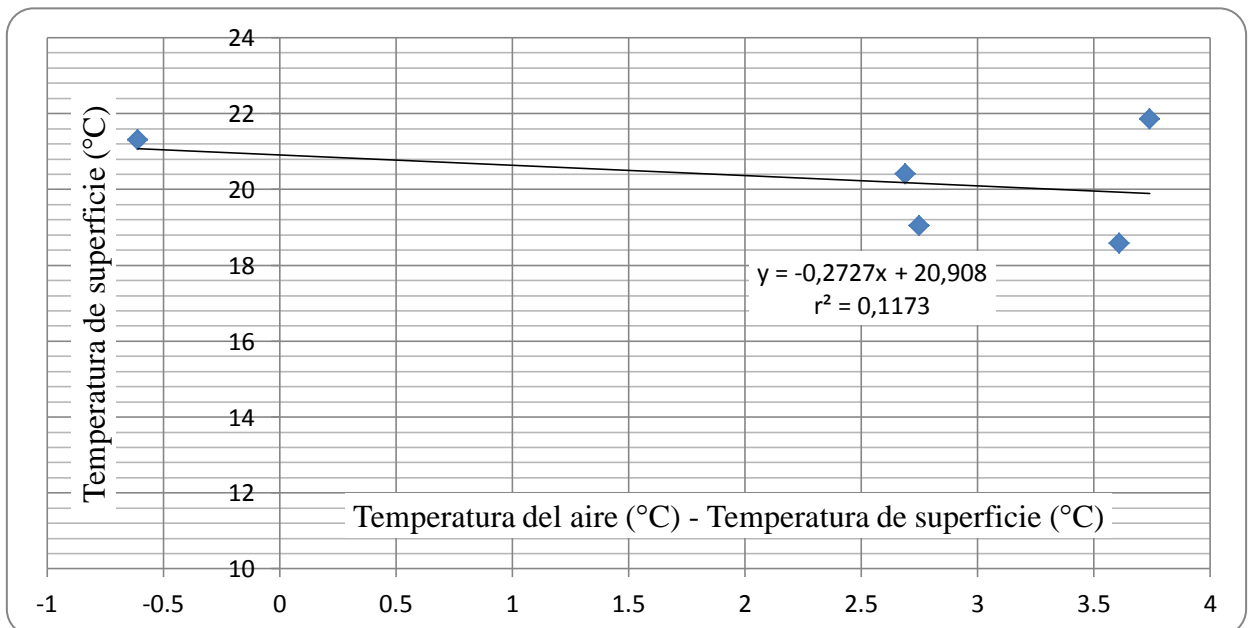


Figura 47: Gráfico de dispersión de la temperatura de superficie (°C) versus la temperatura del aire (°C) menos la temperatura de superficie (°C) para el día 15 de abril del 2008

Fuente: Elaboración propia

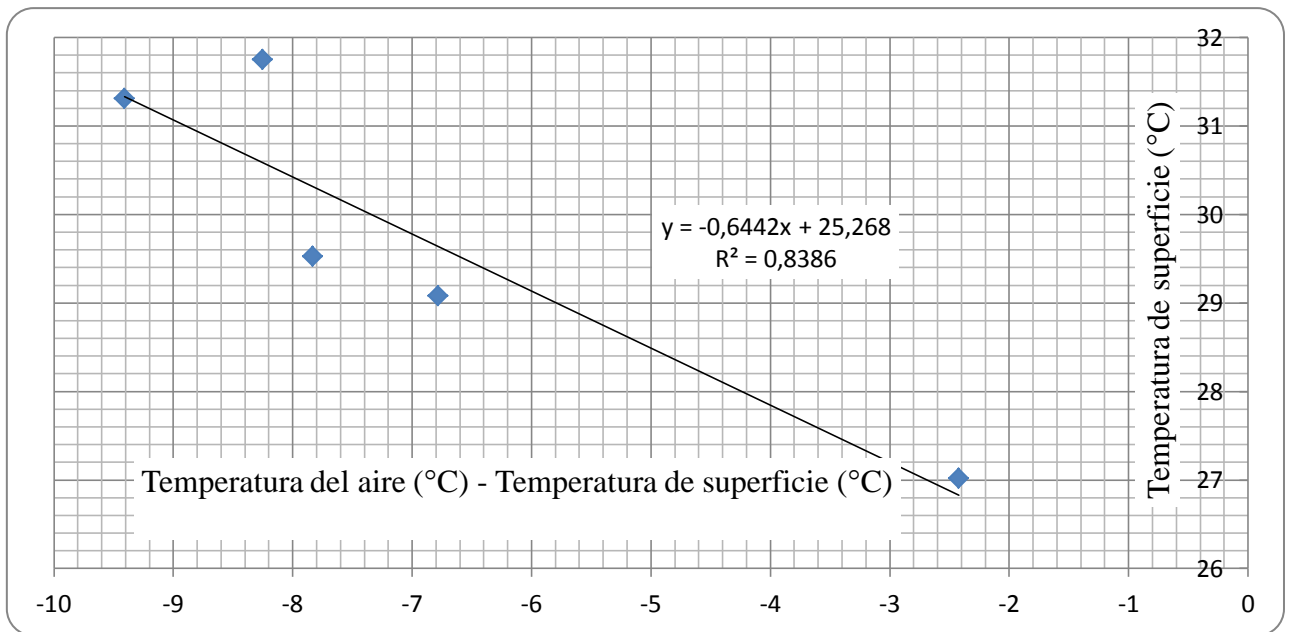


Figura 48: Gráfico de dispersión de la temperatura de superficie (°C) versus la temperatura del aire (°C) menos la temperatura de superficie (°C) para el día 1 de mayo del 2008

Fuente: Elaboración propia

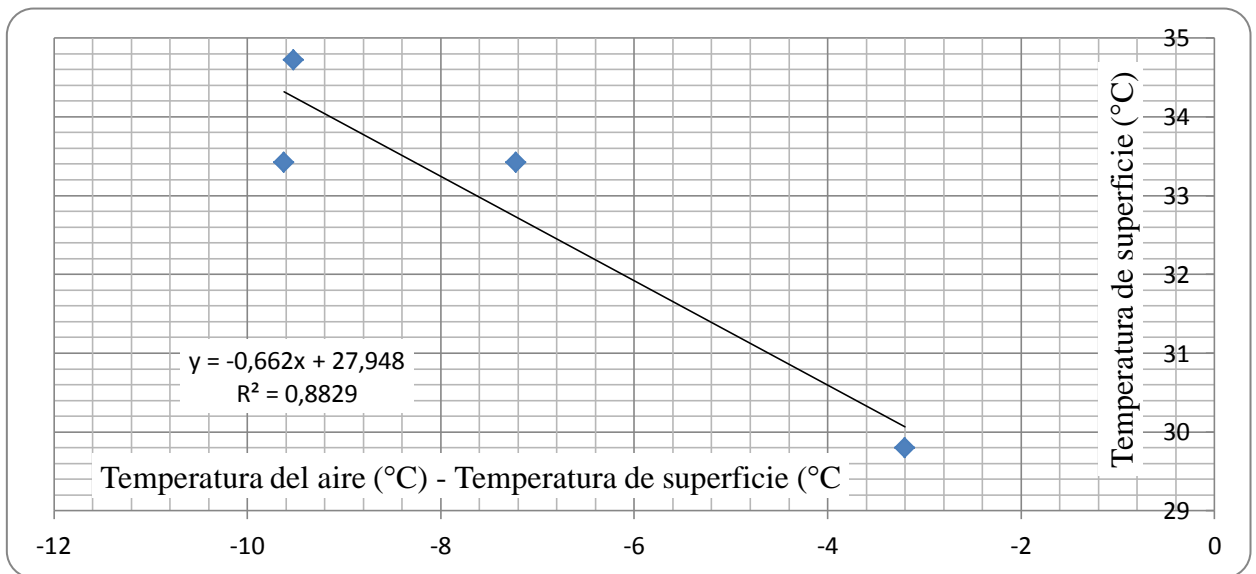


Figura 49: Gráfico de dispersión de la temperatura de superficie (°C) versus la temperatura del aire (°C) menos la temperatura de superficie (°C) para el día 31 de enero del 2010

Fuente: Elaboración propia

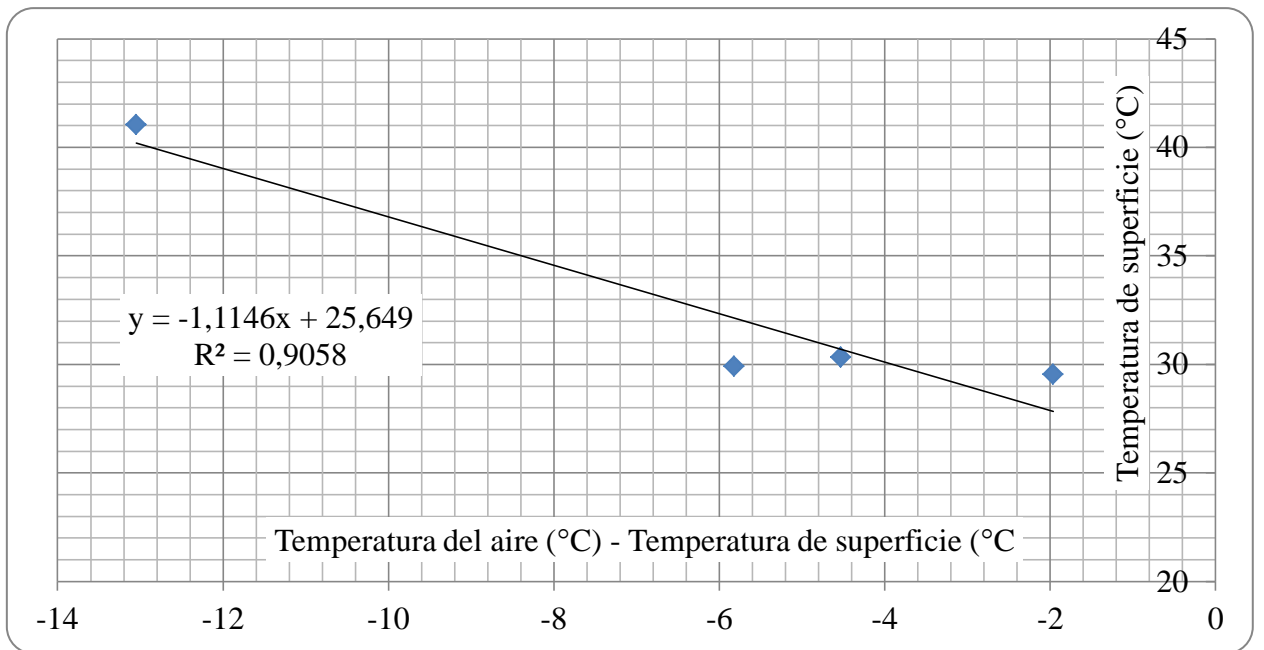


Figura 50: Gráfico de dispersión de la temperatura de superficie (°C) versus la temperatura del aire (°C) menos la temperatura de superficie (°C) para el día 7 de marzo del 2011

Fuente: Elaboración propia

Anexo 5: Cuadros referentes a la relación entre temperatura del aire y la temperatura de superficie

CUADRO 18: Datos utilizados para la regresión lineal

Fecha	Estación Meteorológica	Temperatura del aire (°C)	Temperatura de brillo (°C)	Temperatura de Superficie (°C)	Temperatura del aire (°C) – Temperatura de Superficie (°C)
11 de febrero del 2008	Alexander Von Humboldt	25,3	24,74	27,2	-1,9
11 de febrero del 2008	Campo de Marte	23,5	26,86	34,29	-10,79
11 de febrero del 2008	Hospital central FAP	22,5	24,31	27,76	-5,26
11 de febrero del 2008	Las Palmas	23,8	26,015	32,1	-8,3
11 de febrero del 2008	Collique	24,1	26,86	32,54	-8,44
15 de abril del 2008	Collique	21,8	19,058	19,05	2,75
15 de abril del 2008	Las Palmas	22,2	16,801	18,59	3,61
15 de abril del 2008	Hospital central de la FAP	20,7	19,95	21,31	-0,61
15 de abril del 2008	Campo de marte	23,1	19,058	20,41	2,69
1 de mayo del 2008	Collique	21,9	25,254	31,31	-9,41
1 de mayo del 2008	Las Palmas	22,3	23,11	29,08	-6,78
1 de mayo del 2008	Hospital central de la FAP	21,7	23,11	29,53	-7,83

Fecha	Estación Meteorológica	Temperatura del aire (°C)	Temperatura de brillo (°C)	Temperatura de Superficie (°C)	Temperatura del aire (°C) – Temperatura de Superficie (°C)
1 de mayo del 2008	Campo de marte	23,5	24,83	31,75	-8,25
1 de mayo del 2008	Alexander Von Humboldt	24,6	23,97	27,02	-2,42
31 de enero del 2010	Las Palmas	25,2	28,53	34,72	-9,52
31 de enero del 2010	Hospital central de la FAP	23,8	26,44	33,42	-9,62
31 de enero del 2010	Campo de marte	26,2	27,28	33,42	-7,22
31 de enero del 2010	Alexander Von Humboldt	26,6	26,44	29,8	-3,2
7 de marzo del 2011	Las palmas	24,1	27,28	29,92	-5,82
7 de marzo del 2011	Campo de marte	25,8	24,31	30,33	-4,53
7 de marzo del 2011	Alexander Von Humboldt	27,6	26,86	29,56	-1,96
7 de marzo del 2011	Lima Este	28	34,61	41,05	-13,05

FUENTE: Elaboración Propia

CUADRO 19: Tabla ANOVA de la regresión lineal de la temperatura del aire (°C) y la temperatura de brillo (°C)

Fechas del estudio	Variable dependiente	Variable Independiente	ANOVA	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig,
11/02/2008	Temperatura de brillo (°C)	Temperatura del aire (°C)	Regresión	0,031	1	0,031	0,016	,906
			Residual	5,597	3	1,866	-	-
			Total	5,628	4	-	-	-
15/04/2008	Temperatura de brillo (°C)	Temperatura del aire (°C)	Regresión	,271	1	0,271	0,128	0,745
			Residual	6,370	3	2,123	-	-
			Total	6,641	4	-	-	-
01/05/2008	Temperatura de brillo (°C)	Temperatura del aire (°C)	Regresión	0,113	1	0,113	0,091	0,783
			Residual	3,719	3	1,240	-	-
			Total	3,832	4	-	-	-
31/01/2010	Temperatura de brillo (°C)	Temperatura del aire (°C)	Regresión	0,002	1	0,002	0,002	0,971
			Residual	2,925	2	1,463	-	-
			Total	2,927	3	-	-	-
07/03/2011	Temperatura de brillo (°C)	Temperatura del aire (°C)	Regresión	17,800	1	17,800	0,867	0,450
			Residual	41,045	2	20,523	-	-
			Total	58,845	3	-	-	-

FUENTE: elaboración propia

CUADRO 20: Tabla ANOVA de la regresión lineal de la temperatura del aire (°C) y la temperatura de superficie (°C)

Fechas del estudio	Variable dependiente	Variable Independiente	ANOVA	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig,
11/02/2008	Temperatura de superficie (°C)	Temperatura del aire (°C)	Regresión	0,942	1	0,942	0,074	0,803
			Residual	38,154	3	12,718	-	-
			Total	39,097	4	-	-	-
15/04/2008	Temperatura de superficie (°C)	Temperatura del aire (°C)	Regresión	1,501	1	1,501	0,700	0,464
			Residual	6,436	3	2,145	-	-
			Total	7,937	4	-	-	-
01/05/2008	Temperatura de superficie (°C)	Temperatura del aire (°C)	Regresión	3,141	1	3,141	0,838	0,427
			Residual	11,242	3	3,747	-	-
			Total	14,383	4	-	-	-
31/01/2010	Temperatura de superficie (°C)	Temperatura del aire (°C)	Regresión	4,313	1	4,313	0,944	0,434
			Residual	9,136	2	4,568	-	-
			Total	13,449	3	-	-	-
07/03/2011	Temperatura de superficie (°C)	Temperatura del aire (°C)	Regresión	31,417	1	31,417	1,022	0,419
			Residual	61,510	2	30,755	-	-
			Total	92,927	3	-	-	-

FUENTE: elaboración propia

CUADRO 21: Tabla ANOVA de la regresión lineal de la temperatura del aire (°C) y la dT [Temperatura del aire (°C) - Temperatura de superficie (°C)]

Fechas del estudio	Variable dependiente	Variable Independiente	ANOVA	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig,
11/02/2008	Temperatura de superficie (°C)	Temperatura del aire (°C) - Temperatura de superficie (°C)	Regresión	35,769	1	35,769	32,246	0,011
			Residual	3,328	3	1,109	-	-
			Total	39,097	4	-	-	-
15/04/2008	Temperatura de superficie (°C)	Temperatura del aire (°C) - Temperatura de superficie (°C)	Regresión	,931	1	0,931	0,399	0,573
			Residual	7,006	3	2,335	-	-
			Total	7,937	4	-	-	-
01/05/2008	Temperatura de superficie (°C)	Temperatura del aire (°C) - Temperatura de superficie (°C)	Regresión	12,062	1	12,062	15,592	0,029
			Residual	2,321	3	,774	-	-
			Total	14,383	4	-	-	-
31/01/2010	Temperatura de superficie (°C)	Temperatura del aire (°C) - Temperatura de superficie (°C)	Regresión	11,874	1	11,874	15,082	0,060
			Residual	1,575	2	,787	-	-
			Total	13,449	3	-	-	-
07/03/2011	Temperatura de superficie (°C)	Temperatura del aire (°C) - Temperatura de superficie (°C)	Regresión	84,168	1	84,168	19,220	0,048
			Residual	8,758	2	4,379	-	-
			Total	92,927	3	-	-	-

FUENTE: elaboración propia

CUADRO 22: Coeficientes de la regresión lineal entre la temperatura del aire (°C) y la temperatura de brillo (°C)

Modelo			Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Significativo
Fechas del estudio	Variable dependiente	Variable	B	Error típico	Beta		
11 de febrero del 2008	Temperatura de brillo (°C)	(Constante)	23,695	16,070	-	1,475	0,237
		Temperatura del aire (°C)	0,086	0,674	0,074	0,128	0,906
15 de abril del 2008	Temperatura de brillo (°C)	(Constante)	15,765	8,976	-	1,756	0,177
		Temperatura del aire (°C)	0,141	0,395	0,202	0,357	0,745
1 de mayo del 2008	Temperatura de brillo (°C)	(Constante)	20,930	10,375	-	2,017	,137
		Temperatura del aire (°C)	0,137	0,455	0,172	0,302	0,783
31 de enero del 2010	Temperatura de brillo (°C)	(Constante)	26,587	14,255	-	1,865	,203
		Temperatura del aire (°C)	0,023	0,560	0,029	0,041	0,971
7 de marzo del 2011	Temperatura de brillo (°C)	(Constante)	-7,561	38,535	-	-0,196	0,863
		Temperatura del aire (°C)	1,358	1,459	0,550	0,931	0,450

FUENTE: Elaboración propia

CUADRO 23: Coeficientes de la regresión lineal de la temperatura del aire (°C) y la temperatura de superficie (°C)

Modelo			Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Significativo
Fechas del estudio	Variable dependiente	Variable	B	Error típico	Beta		
11 de febrero del 2008	Temperatura de superficie (°C)	(Constante)	42,191	41,957	-	1,006	0,389
		Temperatura del aire (°C)	-0,479	1,759	-0,155	-0,272	0,803
15 de abril del 2008	Temperatura de superficie (°C)	(Constante)	12,718	9,022	-	1,410	0,253
		Temperatura del aire (°C)	0,332	0,397	0,435	0,836	0,464
1 de mayo del 2008	Temperatura de superficie (°C)	(Constante)	46,234	18,040	-	2,563	0,083
		Temperatura del aire (°C)	-0,724	0,790	-0,467	-0,915	0,427
31 de enero del 2010	Temperatura de superficie (°C)	(Constante)	57,298	25,193	-	2,274	0,151
		Temperatura del aire (°C)	-0,961	0,989	-0,566	-0,972	0,434
7 de marzo del 2011	Temperatura de superficie (°C)	(Constante)	-14,880	47,173	-	-0,315	0,782
		Temperatura del aire (°C)	1,805	1,785	0,581	1,011	0,419

FUENTE: Elaboración propia

CUADRO 24: Coeficientes de la regresión lineal entre la temperatura de superficie (°C) y dT [temperatura del aire (°C) y la temperatura de superficie (°C)]

Modelo			Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Significativo
Fechas del estudio	Variable dependiente	Variable	B	Error típico	Beta		
11 de febrero del 2008	Temperatura de superficie (°C)	(Constante)	24,735	1,164	-	21,254	0,000
		Temperatura del aire (°C) – Temperatura de superficie (°C)	-0,871	0,153	-0,956	-5,679	0,011
15 de abril del 2008	Temperatura de superficie (°C)	(Constante)	20,908	1,255	-	16,666	0,000
		Temperatura del aire (°C) – Temperatura de superficie (°C)	-0,273	0,432	-0,343	-0,631	0,573
1 de mayo del 2008	Temperatura de superficie (°C)	(Constante)	25,268	1,198	-	21,087	0,000
		Temperatura del aire (°C) – Temperatura de superficie (°C)	-0,644	0,163	-0,916	-3,949	0,029
31 de enero del 2010	Temperatura de superficie (°C)	(Constante)	27,948	1,336	-	20,926	0,002
		Temperatura del aire (°C) – Temperatura de superficie (°C)	-0,662	0,170	-0,940	-3,884	0,060
7 de marzo del 2011	Temperatura de superficie (°C)	(Constante)	25,649	1,922	-	13,347	0,006
		Temperatura del aire (°C) – Temperatura de superficie (°C)	-1,115	0,254	-0,952	-4,384	0,048

FUENTE: Elaboración propia

Anexo 6: Cuadros referentes a la determinación de la relación entre la temperatura de superficie y la vegetación

CUADRO 25: Resultado del coeficiente de correlación entre la temperatura de brillo (°C) y el NDVI y del coeficiente de correlación entre la temperatura de superficie (°C) y el NDVI

Temperatura de brillo (°C) y el NDVI		Temperatura de superficie (°C) y el NDVI	
Fecha	r^2	Fecha	r^2
11 de febrero del 2008	0,15376558	11/02/2008	0,28807308785
15 de abril del 2008	0,0389371369621339	15/04/2008	0,0325639458683761
01 de mayo del 2008	0,1851754	01/05/2008	0,11635703
2 de abril del 2009	0,113207113	2009	0,24552074
31 de enero del 2010	0,00121504213	31 de enero del 2010	0,02492582
07 de marzo del 2011	0,09022207	07 de marzo del 2011	0,18773585
r^2 promedio	0,097087057	r^2 promedio	0,149196079

FUENTE: elaboración propia