



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y FORESTAL



"ISLAS DE CALOR URBANO MEDIANTE IMÁGENES
SATELITALES EN LA CIUDAD DE JULIACA DURANTE EL AÑO
2019"

Bach. Reyder Orlando Sucapuca Mamani

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL

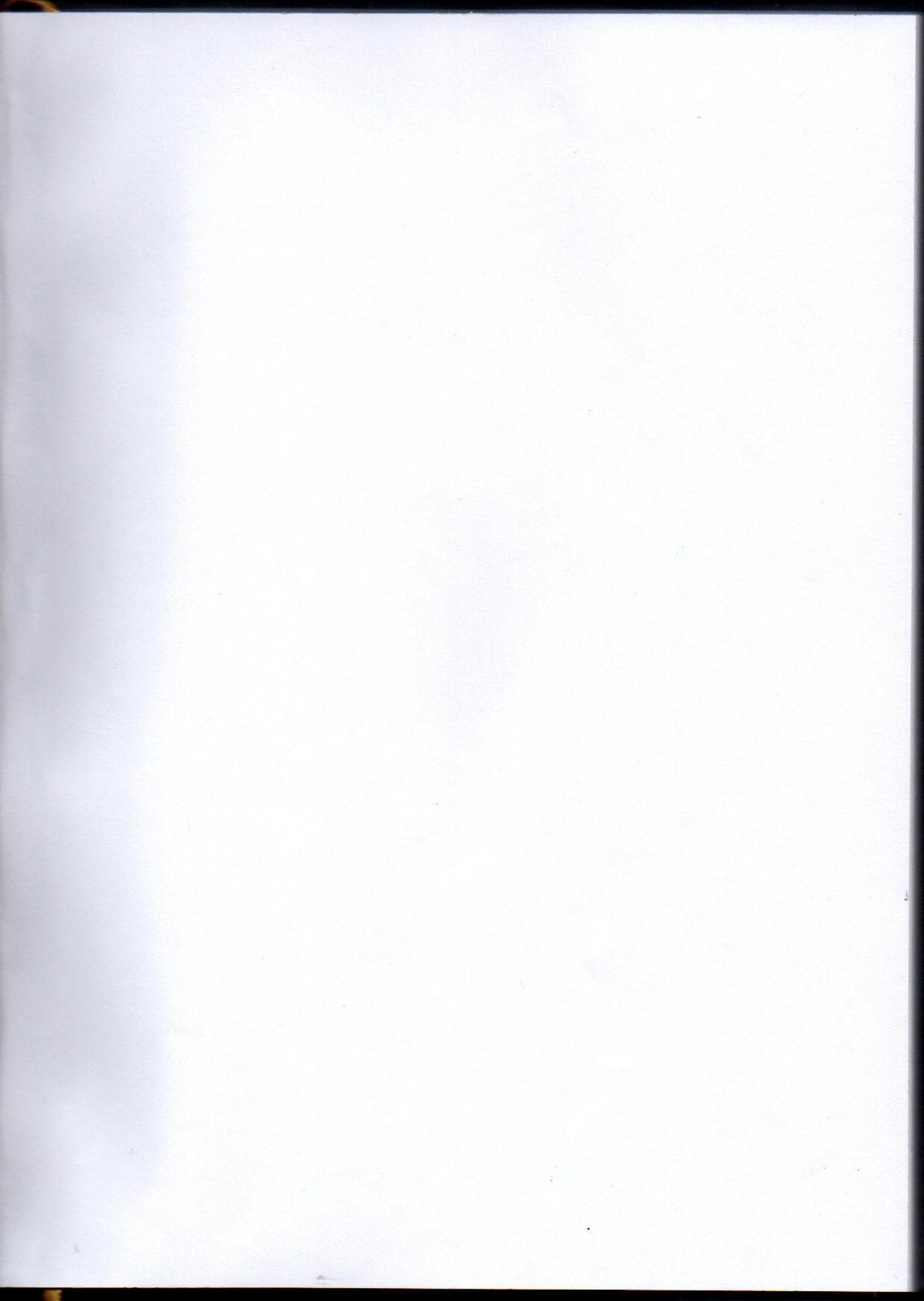
Asesor: Dr. Gustavo Miguel Pacheco Pacheco

Co-Asesor: M. Sc. Edwin Huayhua Huamani



JULIACA - PERU

2020





UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y FORESTAL**



**"ISLAS DE CALOR URBANO MEDIANTE IMÁGENES
SATELITALES EN LA CIUDAD DE JULIACA DURANTE EL AÑO
2019"**

Bach. Reyder Orlando Sucapuca Mamani

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

Asesor: Dr. Gustavo Miguel Pacheco Pacheco

Co-Asesor: M. Sc. Edwin Huayhua Huamani



JULIACA - PERU

2020

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y FORESTAL**



**“ISLAS DE CALOR URBANO MEDIANTE IMÁGENES
SATELITALES EN LA CIUDAD DE JULIACA DURANTE EL AÑO
2019”**

Bach. Reyder Orlando Sucapuca Mamani

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL

Asesor: Dr. Gustavo Miguel Pacheco Pacheco

Co - Asesor: M. Sc. Edwin Huayhua Huamani

Juliaca - Perú

2020

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y FORESTAL

“ISLAS DE CALOR URBANO MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES EN LA CIUDAD DE JULIACA
DURANTE EL AÑO 2019”

TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL

Presentado por:

Bach. Reyder Orlando Sucapuca Mamani

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Dr. Wile Mamani Navarro

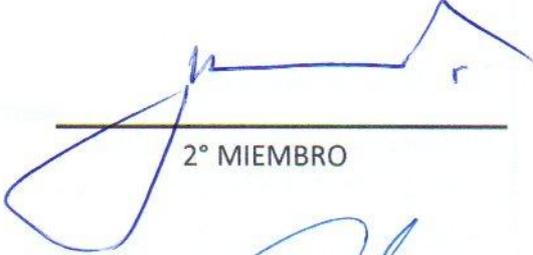
PRESIDENTE DE JURADO



PRESIDENTE

Dr. Jose Domingo Choquehuanca Soto

JURADO (Secretario)



2° MIEMBRO

Mg Sc Edgar Pelinco Ruelas

JURADO (Vocal)



3° MIEMBRO



ASESOR DE TESIS

DR. GUSTAVO MIGUEL PACHECO PACHECO



CO-ASESOR DE TESIS

Mg Sc. EDWIN HUAYHUA HUAMANÍ

Ficha Catalográfica

Sucapuca, R. O. (2020). *Islas de calor Urbano mediante imágenes satelitales en la ciudad de Juliaca durante el año 2019*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Juliaca.

AUTOR: Reyder Orlando Sucapuca Mamani

TÍTULO: Islas de calor Urbano mediante imágenes satelitales en la ciudad de Juliaca durante el año 2019.

PUBLICACIÓN: Juliaca, 2020

DESCRIPCIÓN: Cantidad de páginas (108 pp)

NOTA: Tesis de la Escuela profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal — Universidad Nacional de Juliaca.

CÓDIGO: 003-00006-02/SU942

NOTA: Incluye bibliografía.

ASESOR: Dr. Gustavo Miguel Pacheco Pacheco

PALABRAS CLAVE:

Islas de calor urbano, imágenes satelitales, satélite Landsat, temperatura superficial y emisividad de superficie.

DEDICATORIA:

A Dios

Por darme la vida, por estar siempre presente conmigo y haberme permitido llegar hasta esta etapa de mi vida.

A mis padres Virginia y Orlando

Por el apoyo incondicional en todas las etapas de mi vida, sus ejemplos y lecciones en momentos de fortuna y adversidad.

A mi hermano Marco

Por brindarme motivación, confianza y perseverancia que me ayudarán a lograr mis metas y ser un gran profesional.

AGRADECIMIENTOS:

A la escuela profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal de la Universidad Nacional de Juliaca por haber contribuido enormemente en mi formación profesional.

Al Círculo de Investigación Ambiental y Forestal (CIAF) de la escuela profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal de la Universidad Nacional de Juliaca, por el apoyo en la parte de campo y haber contribuido significativamente en esta investigación.

Al Dr. Gustavo Miguel Pacheco Pacheco y al M. Sc. Edwin Huayhua Huamaní, asesor y co-asesor de tesis respectivamente, por orientarme y brindarme su tiempo en la elaboración de esta investigación.

A los miembros del jurado por contribuir con sus conocimientos y experiencias para la elaboración de la forma más correcta de esta investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1. Preguntas de investigación.....	3
1.1.1. Problema general	3
1.1.2. Problemas específicos.....	3
1.2. Objetivos	4
1.2.1. Objetivo general	4
1.2.2. Objetivos específicos	4
1.2.3. Justificación	4

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Antecedentes	4
2.1.1. Internacionales.....	4
2.1.2. Nacionales	7
2.2. Urbanización	9
2.2.1. Crecimiento urbano	9
2.2.2. Causas del crecimiento urbano	10
2.2.3. Efectos del crecimiento urbano	11
2.2.4. Control del crecimiento urbano	12
2.2.5. Planificación urbana	14
2.2.6. Clima urbano	14
2.2.7. Atmósfera urbana	16
2.3. Isla de calor urbano	17
2.3.1. Tipos de isla de calor urbano	18

2.3.2.	Causas de la isla de calor urbano.....	20
2.3.3.	Efectos de la isla de calor urbano	23
2.3.4.	Técnicas de estudio de islas de calor urbano	25
2.3.5.	Estrategias de mitigación de islas de calor urbano	26
2.4.	Teledetección	27
2.4.1.	Elementos de la teledetección.....	28
2.5.	Satélite Landsat	31
2.5.1.	Landsat 8	32

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS.....	35
3.1. Área de estudio	35
3.2. Materiales.....	36
3.2.1. Datos.....	36
3.2.2. Equipos y softwares.....	37
3.3. Metodología.....	37
3.3.1. Identificación de islas de calor urbano mediante mapas de temperatura superficial con imágenes satelitales	37
3.3.2. Estimación de la influencia del viento en la distribución de la temperatura urbana de la ciudad de Juliaca.....	43
3.3.3. Estimación de la relación de la temperatura superficial y del aire	45

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN	48
4.1. Identificación de islas de calor urbano mediante mapas de temperatura superficial con imágenes satelitales	48
4.1.1. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)	48

4.1.2.	Proporción de vegetación (Pv)	48
4.1.3.	Emisividad de la superficie.....	49
4.1.4.	Temperatura de brillo	49
4.1.5.	Temperatura de la superficie	49
4.1.6.	Identificación de islas de calor urbano	54
4.2.	Estimación de la influencia del viento en la distribución de la temperatura urbana de la ciudad de Juliaca	58
4.2.1.	Elaboración de mapas de vientos.....	58
4.2.2.	Elaboración de rosas de vientos.....	60
4.2.3.	Relación entre la temperatura de superficie y la velocidad del viento	62
4.3.	Estimación de la relación de la temperatura superficial y del aire	63
4.3.1.	Análisis de correlación en función de la variabilidad temporal	63
4.3.2.	Análisis de correlación en función de la distribución espacial.....	63

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	65
5.1. Conclusiones.....	65
5.2. Recomendaciones	66
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
ANEXOS.....	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Nivel porcentual de urbanización de grandes regiones del mundo.....	9
Tabla 2.2: Causas del crecimiento urbano.....	11
Tabla 2.3: Impactos ambientales del crecimiento urbano.	12
Tabla 2.4: Características básicas de las islas de calor urbano (ICU).	19
Tabla 2.5: Características de los satélites Landsat	31
Tabla 2.6: Paralelos bandas Landsat 7 y Landsat 8.....	32
Tabla 2.7: Especificaciones de productos LDCM a Nivel 1	33
Tabla 3.1: Características de los datos.....	36
Tabla 3.2: Detalle de las estaciones meteorológicas automáticas	43
Tabla 3.3: Características de puntos de recolección de datos en campo.	47
Tabla 4.1: Ubicación de islas de calor urbano en la ciudad de Juliaca	56
Tabla 4.2: Velocidad y dirección del viento.....	58
Tabla 4.3: Coeficientes de correlación entre la temperatura superficial y la velocidad del viento.....	62
Tabla 4.4: Coeficientes de correlación entre la temperatura superficial y temperatura del aire en función dl tiempo.....	63
Tabla 4.5: Coeficientes de correlación entre la temperatura superficial y temperatura del aire en función de la ubicación.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Nivel de urbanización de regiones a nivel mundial.	10
Figura 2.2: Estructura de la capa límite urbana	15
Figura 2.3: Componentes de la atmósfera urbana	16
Figura 2.4: Variaciones de la temperatura superficial y atmosférica	18
Figura 2.5: Superficies impermeables y evapotranspiración reducida	20
Figura 2.6: Energía solar versus longitud de onda de la Tierra.....	21
Figura 2.7: Materiales y albedo urbano	22
Figura 2.8: Medidas de mitigación de la isla de calor urbana.	27
Figura 2.9: Elementos de la teledetección	28
Figura 2.10: Espectro electromagnético	29
Figura 2.11: Sensores activos y pasivos	30
Figura 2.12: Satélite Landsat 8	34
Figura 3.1: Mapa de ubicación de la ciudad de Juliaca	35
Figura 3.2: Flujograma del esquema metodológico	38
Figura 3.3: Estaciones meteorológicas del SENAMHI	44
Figura 3.4: Ubicación de puntos de recolección de datos en campo.....	46
Figura 4.1: Temperatura de superficie del 11 y 27 de abril.....	50
Figura 4.2: Temperatura de superficie del 29 de mayo y 14 de junio.	51
Figura 4.3: Temperatura de superficie del 30 de junio y 16 de julio.....	52
Figura 4.4: Temperatura de superficie del 1 y 17 de agosto.....	53
Figura 4.5: Temperatura de superficie del 2 y 18 de setiembre.	54
Figura 4.6: Temperatura superficial de la ciudad de Juliaca.	55
Figura 4.7: Islas de calor de la ciudad de Juliaca.	57
Figura 4.8: Vientos de las 14 y 15 horas del 11 de abril	59
Figura 4.9: Vientos de las 14 y 15 horas del 29 de mayo.....	60
Figura 4.10: Rosa de vientos del 11 de abril	61
Figura 4.11: Frecuencia de la distribución del viento del 11 de abril	61

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Mapa de ubicación de puntos de recolección de datos.....	77
ANEXO 2: GPS Navegador “GARMIN” usado para georreferenciar los puntos de recolección de datos	78
ANEXO 3: Toma de datos de temperatura del aire en la ciudad de Juliaca	79
ANEXO 4: Formato para recopilación de datos de campo	81
ANEXO 5: Temperatura de brillo del sensor.	82
ANEXO 6: Índice de Vegetación de diferencia normalizada (NDVI).....	84
ANEXO 7: Potencial de vegetación (PV)	86
ANEXO 8: Emisividad de Superficie.....	88
ANEXO 9: Mapas de velocidad y dirección de vientos.....	90
ANEXO 10: Rosas de vientos	94
ANEXO 11: Distribución de frecuencias de la velocidad del viento	96
ANEXO 12: Correlación entre temperatura superficial y velocidad del viento.....	99
ANEXO 13: Correlación entre la temperatura de superficie y la temperatura del aire en función de las fechas de recolección de datos.....	103
ANEXO 14: Correlación entre la temperatura de superficie y la temperatura del aire en función de la distribución espacial.	106

RESUMEN

Esta investigación se realizó en la ciudad de Juliaca entre abril y setiembre del año 2019, con el objetivo de evaluar la presencia y el comportamiento de islas de calor urbano mediante imágenes satelitales. Se usaron 10 imágenes satelitales Landsat 8 del sensor térmico TIRS, mediante una corrección de emisividad de superficie se estimó la temperatura de superficie y se identificó las islas de calor urbano en la ciudad de Juliaca; usando datos de velocidad y dirección del viento tomados de las estaciones meteorológicas del SENAMHI, se elaboró mapas de viento con el método de interpolación de ponderación de distancia inversa (IDW) y se estimó la relación entre la velocidad del viento y la temperatura de superficie en 35 puntos tomados aleatoriamente en la ciudad de Juliaca; usando datos de temperatura del aire recopilados con termomanómetros en 9 puntos distribuidos en zonas urbanas y semiurbanas, se estimó la relación entre la temperatura de superficie y la temperatura del aire. Los resultados muestran 8 islas de calor urbano; ubicados en la Sociedad de la Beneficencia Pública (24.8 °C), Cerro Huayna Roque (28.3 °C), Centro Comercial Plaza Vea (25.6 °C), Cuartel Francisco Bolognesi (26 °C), Estadio San Isidro (25.3 °C), Parque Cholo (24.4 °C), Estadio Politécnico de los Andes (26.1 °C) y el estadio Manuel A. Odría (25.9 °C). La velocidad del viento y la temperatura superficial presentan un coeficiente de correlación máximo de 0.38 el 17 de agosto. La temperatura del aire y la temperatura superficial muestran mayor relación en función de la distribución espacial, en la salida Huancané y salida Cusco los coeficientes de relación fueron 0.74 y 0.68 respectivamente. Se concluye que las islas de calor urbano se presentan en el centro de la ciudad y también en lugares con suelos desnudos; la intensidad del viento no influye en la temperatura superficial del suelo y que la temperatura del aire influye más en la temperatura superficial en zonas semiurbanas.

Palabras Clave: Islas de calor urbano, imágenes satelitales, Satélite Landsat, temperatura superficial y emisividad de superficie.

ABSTRACT

This research was carried out in the city of Juliaca between April and September 2019, with the aim of evaluating the presence and behavior of urban heat islands in the city of Juliaca through satellite images. 10 Landsat 8 satellite images of the TIRS thermal sensor were used, by means of a surface emissivity correction, the surface temperature was estimated and the urban heat islands were identified in the city of Juliaca; Using wind speed and direction data taken from SENAMHI meteorological stations, wind maps were prepared with the inverse distance weighting (IDW) interpolation method and the relationship between wind speed and temperature of surface in 35 points taken randomly in the city of Juliaca; Using air temperature data collected in 9 monitoring points distributed in urban and semi-urban areas, the relationship between surface temperature and air temperature was estimated. The results show 8 urban heat islands; located at the Sociedad de la Beneficencia Pública (24.8 ° C), Cerro Huayna Roque (28.3 ° C), Plaza Vea Shopping Center (25.6 ° C), Francisco Bolognesi Barracks (26 ° C), San Isidro Stadium (25.3 ° C) , Cholo Park (24.4 ° C), Politecnico de los Andes Stadium (26.1 ° C) and Manuel A. Odría Stadium (25.9 ° C). Wind speed and surface temperature show a maximum correlation coefficient of 0.38 on August 17. The air temperature and the surface temperature show a greater relationship depending on the spatial distribution, at the Huancané exit and Cusco exit the relationship coefficients were 0.74 and 0.68 respectively. It is concluded that urban heat islands occur in the center of the city and also in places with bare soils; The intensity of the wind does not influence the surface temperature of the soil and that the temperature of the air influences the surface temperature more in semi-urban areas.

Keywords: Heat island, satellite imagery, Landsat satellite, Temperature map and surface emissivity.

INTRODUCCIÓN

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

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

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

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

La presente investigación es un estudio de identificación de la existencia y el comportamiento de las islas de calor urbano en la ciudad de Juliaca mediante el uso de herramientas satelitales, los resultados de esta investigación servirán para la toma de decisiones en la implementación de áreas verdes y la mitigación del fenómeno de las islas de calor urbano en la ciudad de Juliaca.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A nivel mundial el calentamiento global incrementa la temperatura del planeta, esto se debe principalmente al incremento de actividades humanas y el crecimiento poblacional desordenado (Guerrero, Rangel y López, 2017). Las islas de calor urbano se presentan debido al cambio de cobertura rural por cobertura urbana, (Colunga, Cambrón, Suzán, Guevara y Luna, 2015). Las islas de calor urbano son causadas por alto consumo eléctrico, uso excesivo de automóviles, diseño y planificación de infraestructuras y los materiales utilizados y la disminución del área verde (Villarreal y Candanedo, 2020). Las islas de calor urbano generan una serie de efectos ecológicos y ambientales en los climas urbanos, situaciones hidrológicas urbanas, propiedades del suelo, entorno atmosférico, los hábitos biológicos, ciclos de materiales, el metabolismo energético y la salud de las personas (Yang et al., 2016). Además, las islas de calor urbano afectan a los intercambios de turbulencia y flujos de aire en las ciudades, provocando un incremento en los contaminantes atmosféricos nocivos (Santamouris, 2015). La estrategia principal y más común empleada en la mitigación de este fenómeno, es la implementación de la vegetación y áreas verdes (EPA, 2008).

En el Perú, se ha identificado que el cambio climático provoca la variación de temperaturas y esto a su vez genera problemas como desglaciación, escasez hídrica, heladas, deforestación, inundaciones y contaminación ambiental (Damonte, Cabrera y Miranda, 2017). En ciudades como Lima, el incremento poblacional genera una alta tasa de viviendas e inmuebles; el aumento de edificaciones afecta al clima urbano generando el fenómeno de las islas de calor urbano (Soberón y Obregón, 2016). En países desarrollados, la articulación de políticas y decisiones acertadas facilitan la implementación de áreas verdes; sin embargo, en países no desarrollados no existe planificación urbana ni políticas locales óptimas para una adecuada implementación de áreas verdes (Arellano y Roca, 2015).

Juliaca es una ciudad que crece aceleradamente con desorden y presenta una crisis urbana (Choquehuanca, 2014). La alteración de temperatura en Juliaca se debe al crecimiento urbano y a la existencia de edificaciones sin planificación urbana; en el último censo, su población alcanzó 228 276 personas y cuenta con 222 854 viviendas (INEI, 2017). Las áreas verdes son muy escasas en la ciudad de Juliaca, existe un déficit significativo respecto a la relación entre la cantidad de habitantes y las áreas verdes existentes (Hanco, 2017). En la actualidad, Juliaca no cuenta con lugares estratégicos identificados para la implementación de áreas verdes. El problema radica en la inexistencia de información referente al comportamiento de la temperatura o islas de calor urbano en la ciudad de Juliaca, todo esto dificulta la toma de decisiones acertadas para la correcta y eficiente implementación de áreas verdes en la ciudad de Juliaca.

Es por ello que los resultados de esta investigación ayudarán a la toma de decisiones para la implementación de áreas verdes y al mismo tiempo, la mitigación de los efectos de las islas de calor urbano.

1.1. Preguntas de investigación

1.1.1. Problema general

- ¿Existen islas de calor urbano en la ciudad de Juliaca?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es el comportamiento de la distribución de la temperatura superficial en la ciudad de Juliaca?
- ¿El comportamiento de los vientos influye en la temperatura urbana de la ciudad de Juliaca?
- ¿Cuál es la relación entre la temperatura superficial y la temperatura del aire?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Evaluar la presencia y el comportamiento de islas de calor urbano en la ciudad de Juliaca mediante imágenes satelitales en el año 2019.

1.2.2. Objetivos específicos

- Identificar islas de calor urbano mediante mapas de temperatura superficial basadas en imágenes satelitales.
- Estimar la influencia del viento en la distribución de la temperatura urbana de la ciudad de Juliaca.
- Evaluar la relación que existe entre la temperatura superficial y la temperatura del aire.

1.3. Justificación

Es de suma importancia la mitigación de los efectos negativos de las islas de calor urbano; en ese sentido, se deben promover actividades como la implementación de áreas verdes y una adecuada planificación de expansión urbana. Para la adecuada implementación de áreas verdes, es necesario conocer los lugares con mayor temperatura o existencia de islas de calor urbano (Bek et al., 2018). La carencia de estaciones meteorológicas que proporcionen datos de temperatura dificulta la identificación de islas de calor urbano (Soberón y Obregón, 2016); es por ello, que últimamente el uso de imágenes satelitales es una alternativa muy eficaz y útil para la identificación de este fenómeno.

En la ciudad de Juliaca, no existen políticas locales para una adecuada implementación de áreas verdes, las escasas áreas verdes que existen se pierden a medida que pasa el tiempo debido a la falta de cuidado y tampoco existe mucho criterio o sustento técnico al momento de su implementación. En el Plan de Desarrollo Urbano 2016-2025 de la ciudad de Juliaca, no se considera una zonificación referente a la implementación de áreas verdes en la ciudad de Juliaca.

En esta investigación se identificó las islas de calor urbano en la ciudad de Juliaca mediante imágenes satelitales Landsat 8, los resultados que se obtuvieron serán de importancia para la implementación de políticas locales y brindarán más sustento técnico al momento de seleccionar las zonas donde son necesarias la implementación de áreas verdes o techos verdes. La implementación de áreas verdes contribuirá a la mitigación de este fenómeno que es perjudicial para la salud de las personas.

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

2.1.1. Internacionales

Soto (2019), identificó y estimó la intensidad de la isla de calor urbano en la región metropolitana del Valle de Aburrá, Colombia. Mediante el uso de imágenes satelitales Landsat y los sensores TM, ETM+ y OLI/TIRS, adquiridas para los años 1986 al 2016; primero realizando las correcciones atmosféricas y posteriormente calculando las temperaturas de superficie con el algoritmo establecido por la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio de los Estados Unidos de América. Los resultados que se obtuvieron indican que, el promedio de la superficie de la zona urbana fue 4.81 °C más caliente que las coberturas del área rural que la rodea, concentrándose este efecto en los barrios de la zona central del valle.

Boyero, Lecuona, Canay, Tapia, Robertazzi y Datri (2019), estudiaron la variación de la eficacia del arbolado público como reductor de la temperatura atmosférica en el gradiente altitudinal de la ciudad de Neuquén, Argentina. Usaron un sensor de temperatura para automatizar durante el invierno la toma horaria de datos en canales viales urbanos con cobertura contrastante (Alta y Baja) ubicados en zonas del valle altas y de ribera, durante 3 días en cada punto de la combinatoria (4 sitios) y mediante otro sensor midieron la temperatura en un punto de referencia ubicado en un área natural. Los resultados indicaron que existe interacción entre el arbolado y la posición topográfica en el valle y la influencia de la topografía sobre la temperatura atmosférica fue mayor que el de la urbanización.

El-Hattab et al. (2018), desarrollaron mapas de intensidad de islas de calor urbano mediante la banda térmica landsat TM / ETM+ / OLI dentro de los periodos 1984-2004-2015 y determinaron la relación entre la cobertura de la tierra con sus tasas de cambio, la temperatura de la superficie de la tierra (LST) y las islas de calor urbano (UHI). Los resultados muestran la gran extensión urbana desde 1984 hasta 2015 así como también la variabilidad espacial y temporal en LST en esas áreas urbanas y el incremento de la intensidad de las islas de calor urbano desde 1984 hasta 2015.

Kotharkar y Bagade (2018), midieron la intensidad de la isla de calor de la capa de dosel en una ciudad de Nagpur (India) mediante el uso de la clasificación de la zona climática local (LCZ), se mapeó la LCZ mediante la técnica de recolección de datos utilizando puntos de estación fijos y la encuesta transversal móvil realizada durante el mes de diciembre de 2015 y febrero del 2016 de la temporada de invierno. Los resultados que obtuvieron mostraron que la intensidad de la isla de calor dentro de la LCZ en la temporada de invierno para la ciudad de Nagpur varía de 1.76 °C a 4.09 °C.

Soltani y Sharifi (2017), realizaron un mapa del perfil de la temperatura del aire Este-Oeste del área metropolitana de Adelaide (Australia), mediante 60 viajes a lo largo de una ruta transversal recta, bajo un cielo despejado entre el 26 de Julio y el 15 de agosto del 2013. Se evidenció una diferencia de temperaturas urbano-rural más intensa de 5.9 °C. Finalmente llegaron a la conclusión de que el aumento de la vegetación urbana puede facilitar la resistencia al calor al proporcionar sombra y enfriamiento por evaporación.

Levermore, Parkinson, Lee, Laycock y Lindley (2017), determinaron la intensidad de la isla de calor urbano de la ciudad de Manchester Reino Unido mediante el monitoreo de temperatura del aire en dos estaciones: Hulme (zona urbana) y Ringway (ubicado a 12 km del centro de la ciudad, esta estación se consideró como la zona rural); los datos registrados fueron entre el 01 de 1996 y el 31 de diciembre del 2011. Los resultados evidencian la presencia de una isla de calor urbano en la ciudad de Manchester y que los factores no climáticos, como la urbanidad, muy probablemente contribuyan al aumento de UHI.

Cui, Yan, Hong y Ma (2017), analizaron un conjunto de datos medidos entre 1961 a 2014 para 10 estaciones rurales y 7 estaciones urbanas en Beijing para identificar y para comprender las características espaciales y temporales detalladas de las islas de calor urbano en Beijing. Se obtuvo una diferencia de temperatura entre zonas urbanas y rurales de hasta 8 °C durante la noche de invierno, además se identificó impactos de las islas de calor urbano en el diseño de edificios y también se investigó el rendimiento energético.

Casillas, García, Leyva y Gonzalez (2014), aplicaron, compararon y validaron la técnica de modelado dinámico para la estimación de la intensidad y hora en la que se presenta la isla de calor urbano en la ciudad de Mexicali (México), analizaron las diferencias térmicas entre las zonas urbanas y suburbanas de cuatro estaciones meteorológicas entre 2000 y 2005, a través de un software llamado “Stella” que tiene implementado un algoritmo genético, y lo compararon con la interpolación de temperaturas elaborado con un sistema de información geográfica. En tres estudios de caso se identificó islas de calor con intensidades máximas promedios de 5.4 °C, 5.2 °C y 5.3 °C, concluyeron que el modelo dinámico es útil y adecuado para el fin que se propusieron.

Sarricolea y Martín (2014), calcularon las temperaturas superficiales de 53 imágenes Terra MODIS, para determinar el nivel de intensidad de islas de calor urbano en Santiago (Chile) utilizaron un análisis de componentes principales. Los resultados que obtuvieron indicaron que las intensidades de islas de calor urbano en Santiago superaron los 5°C, y esto indica que el uso de imágenes satelitales es muy útil para detectar la intensidad de las islas de calor urbano en ciudades como Santiago.

2.1.2. Nacionales

Ángeles, Flores, Karam, Arana y Ángeles (2019), estimaron las intensidades de las islas de calor urbano superficial durante el periodo 2001 al 2016 en el área metropolitana de Huancayo y Arequipa mediante los métodos Streutker y cuantiles. Usaron datos de temperatura superficial mensual y del producto anual de tipo de cobertura de suelo (Land Cover Type) con 0.05° de resolución, obtenidos con el sensor MODerate resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) a bordo de los satélites TERRA y AQUA. Los resultados que obtuvieron indican que en Huancayo las intensidades máximas diurnas de islas de calor son 6.94 °C e intensidades nocturnas máximas de 6.06 °C; y en Arequipa las intensidades máximas diurnas son 5.54 °C e intensidades nocturnas máximas son 6.38 °C.

Menacho y Teruya (2019), determinaron la presencia de islas de calor urbano mediante el uso de sensores remotos (imágenes satelitales Landsat 8) y su relación con diversas variables de estudio. La temperatura superficial fue calculada con el método “Single Channel” y “Split Window” y procesada con softwares de sistemas de información geográfica. Los resultados mostraron una correlación positiva entre la intensidad de la isla de calor urbano y las variables de elevación, distancia a los cuerpos de agua, índice de edificación de diferencia normalizada y el uso del suelo; mientras el índice de vegetación de diferencia normalizada presentó una correlación negativa.

Ángeles, Ángeles, Flores y Abi (2019), determinaron las intensidades de las islas de calor urbano superficial durante el periodo 2001 al 2016 en el área metropolitana de Iquitos mediante los métodos Streutker y diferencia entre cuantiles. Usaron datos de temperatura superficial mensual y del producto anual de tipo de cobertura de suelo (Land Cover Type) con 0.05° de resolución, obtenidos con el sensor MODerate resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) a bordo de los satélites TERRA y AQUA. Los resultados que obtuvieron indican que las intensidades máximas diurnas de islas de calor son 6.94 °C e intensidades nocturnas máximas de 0.8 °C.

Porras (2018), detectó las islas de calor urbano en la ciudad de Arequipa, mediante el uso de imágenes satelitales Landsat 5 y Landsat 8 de los años 2011, 2013 y 2016, utilizando las bandas térmicas que tienen una resolución de 100 a 120 metros por píxel y se calculó la transmitancia de la atmosfera mediante los datos de tres estaciones en superficie de la red de estaciones del SENAMHI. Los resultados indicaron un incremento de la isla de calor urbano a través de los años, tanto de intensidad como de extensión en la ciudad de Arequipa.

Teruya (2016), determinó la presencia de isla de calor urbano mediante sensores remotos y estableció una relación con factores demográficos, espaciales y ambientales en Lima Metropolitana. La metodología consistió en el uso de imágenes Landsat 8 entre diciembre del 2013 y abril del 2015, se procesaron las imágenes en los programas ENVI 5.1, QGis 2.0, Minitab 17 y L-LDOPE, y se obtuvo la temperatura superficial del suelo mediante métodos de Single Channel (SC) y Split Window (SW). Los resultados indican presencia de islas de calor en la ciudad de Lima Metropolitana; la elevación, distancia a los cuerpos de agua, el índice de edificación de diferencia normalizada (NDBI) y el uso del suelo presentaron una correlación estadística positiva con los datos de la isla de calor urbana; mientras que el índice de vegetación de diferencia normalizada tubo una correlación estadística negativa.

Soberón y Obregón (2016), identificaron islas de calor en la ciudad de Lima mediante la obtención de temperaturas superficiales, se analizaron seis eventos entre el 2008 y el 2011, se utilizarón datos de temperatura de seis estaciones meteorológicas. Los resultados indicaron que se identificó islas de calor negativa durante la mañana, principalmente en zonas no urbanas, se ubicaron 5 islas de calor urbanas, 7 islas en zonas industriales y comerciales, y 3 micro-islas de calor urbanas.

2.2. Urbanización

Se puede definir como el cambio de un terreno rural a urbano, por habilitación urbana; que incluye población, uso del suelo, actividades económicas y culturales; son cambios en el uso del suelo en áreas específicas (generalmente en la periferia de las concentraciones urbanas) cuando las tierras rurales son urbanizadas, vendidas y desarrolladas para uso urbano (Mcgranahan y Satterthwaite, 2015). También puede referirse a la construcción de ciudad, la distribución de los edificios y la relación y conexión entre estos, así como la coordinación y la gestión dirigida de la actividad de construcción en una zona determinada (Frick, 2014).

2.2.1. Crecimiento urbano

Se puede definir como el crecimiento acelerado y poco atractivo de un área urbana o industrial en una zona contigua (Habibi y Asadi, 2011). En el mundo las zonas urbanas crecen cada vez más, la distribución entre lo urbano y lo rural carece de significación en muchos ámbitos (González, 2001). Al cabo del primer cuarto del siglo XX, América Latina se ubicaba como una región en donde la urbanización ocupaba niveles más y menos desarrolladas del mundo (Tabla 2.1), pero durante el medio siglo siguiente el nivel de urbanización de América Latina incrementó de manera tan considerable que llegó a compararse con las regiones más desarrolladas del mundo (Lattes, 2001).

Tabla 2.1

Nivel porcentual de urbanización de grandes regiones del mundo

Regiones	1925	1950	1975	2000	2025
Total, mundial	20.50	29.70	37.90	47.00	58.00
Regiones más desarrolladas	40.10	54.90	70.00	76.00	82.30
Regiones menos desarrolladas	9.30	17.80	26.80	39.90	53.60
África	8.00	14.70	25.20	37.90	51.80
América Latina	25.00	41.40	61.20	75.30	82.20
América del Norte	53.80	63.90	73.80	77.20	83.30
Asia	9.50	17.40	24.70	36.70	50.60
Europa	37.90	52.40	67.30	74.80	81.30
Oceanía	48.50	61.60	71.80	70.20	73.30

Fuente: Carrión (2010).

Pese a que la urbanización en América Latina fue mucho después que los países más desarrollados, esta superó a continentes como Asia y África (figura 2.1). En la actualidad la urbanización de América Latina se acerca bastante al nivel de las regiones desarrolladas y se espera que hacia el año 2025 prácticamente el nivel de urbanización sean iguales (Lattes, 2001).

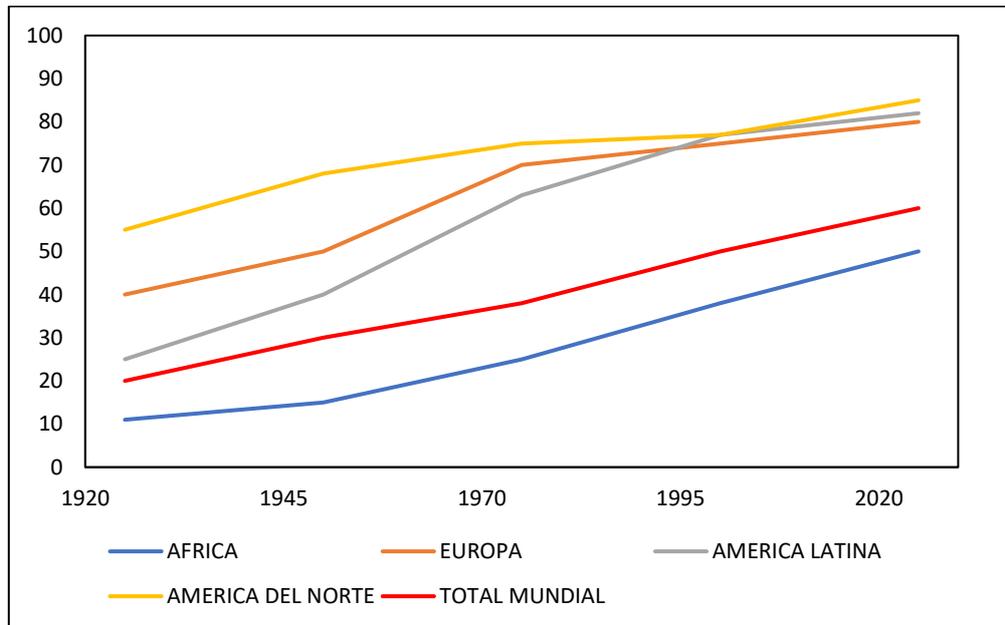


Figura 2.1. Nivel de urbanización de regiones a nivel mundial (Lattes, 2001).

2.2.2. Causas del crecimiento urbano

El crecimiento urbano es consecuencia del crecimiento de los ingresos y la población, las mejoras en los sistemas de transporte, la diversidad en las viviendas de las personas y la competencia por las tierras. El crecimiento urbano en los diferentes contextos y realidades es diferente por las situaciones ambientales, económicas, sociales y políticas (Habibi y Asadi, 2011). El crecimiento urbano no es homogéneo y varía en función de diversos factores como: la posición geográfica de las áreas urbanas, su articulación a los sistemas territoriales más dinámicos, además de la incidencia de las diferentes políticas aplicadas a escala local (Bellet y Olazabal, 2020). En la tabla 2.2 se mencionan las causas del crecimiento urbano, bajos los factores que se presentan.

Tabla 2.2
Causas del crecimiento urbano

Factores	Causas
Económicos	Crecimiento económico y aumento de ingresos Precio de la tierra Subsidios
Demográficos	Crecimiento de la población
Viviendas	Más espacio por persona Diversidad de viviendas
Transporte	Incremento de vehículos particulares Bajo gasto de desplazamiento Mejoramiento de sistemas de transporte Disponibilidad de caminos
Problemas del centro de la ciudad	Altos niveles de impuestos Infraestructuras dañadas Reducidos espacios abiertos Pequeños apartamentos Falta de espacio abierto Problemas sociales
Otros	Innovación tecnológica, instalaciones públicas e infraestructuras

Fuente: Habibi y Asadi (2011).

2.2.3. Efectos del crecimiento urbano

El crecimiento urbano genera efectos negativos y positivos en diferentes aspectos, por ejemplo, en el transporte se presentan mayores desplazamientos debido a que se realizarán viajes largos, los hogares pueden pasar más distancias para acceder a algunos servicios, centros educativos y trabajo (Habibi y Asadi, 2011). Los efectos del crecimiento urbano en el ambiente son múltiples y variados, en la parte horizontal de la tabla 2.3 se encuentra los diversos aspectos del crecimiento urbano, en tanto en el eje vertical se presenta los componentes del medio ambiente: la atmósfera, la hidrósfera, la litósfera, los impactos humanos, y otros (Henry y Heinke, 1999).

Tabla 2.3

Impactos ambientales del crecimiento urbano

Componente ambiental	Población	Componente urbano		
		Uso del suelo	Transporte	Servicio
Impactos humanos	Impactos psicológicos de la vida en zonas de alta densidad	Impactos psicológicos	Niveles altos de ruido y contaminación del aire	
Litósfera	Incremento en la transformación de tierras agrícolas para usos urbanos	Cambios completos debido a construcción, enjardinado, etc.	Destrucción o deterioro del paisaje	La instalación y reparación de servicios alteran el paisaje
Atmósfera	Creciente liberación de CO ₂ , menor producción de O ₂ conforme la vegetación es destruida por la urbanización	Temperaturas medias más elevadas en la mayor parte de las áreas urbanas	Contaminación del aire por quema de combustible. Creación de smog fotoquímico.	Partículas emanaciones nocivas de incineraciones, obras de tratamiento de aguas negras, etc.
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. Descarga de las salidas de alcantarillado

Fuente: Henry y Heinke (1999).

2.2.4. Control del crecimiento urbano

Habibi y Asadi (2011) afirman que es necesario desarrollar estrategias para disminuir sus efectos negativos. Hay muchas acciones y medidas políticas que se pueden implementar para realizar el control del crecimiento urbano.

a. Control vehicular

La reducción del número de vehículos es uno de los principales métodos para controlar la expansión, generalmente el transporte y la industria son aquellas causantes del crecimiento urbano (Quijano, Ramírez, y González, 2017).

b. Participación en el suministro de costos de infraestructura

La participación de la población es importante para el control del crecimiento urbano, el crecimiento urbano significa elevados costos debido a las necesidades de los servicios públicos, también los medios de comunicación y la necesidad de contar con viviendas (Habibi y Asadi, 2011).

c. Mejora de las condiciones de vida de los hogares de bajos ingresos

La población que se encuentra en las zonas alejadas de centro de una ciudad generalmente migran hacia el centro para mejorar su calidad de vida, estrategias como el acceso a créditos financieros, programas de dotación de viviendas y subsidios por parte de autoridades ayudan a disminuir el crecimiento urbano (Arellano y Roca, 2015).

d. Controlar el crecimiento y la protección de las tierras

Los lugares no urbanizados tienen un alto potencial para el cambio a zonas urbanas, esto genera disminución en la tasa de los cambios de la tierra (Habibi y Asadi, 2011). Antes de construir alguna infraestructura es importante verificar si es posible realizar la rehabilitación de alguna vivienda o realizar demoliciones industriales (Echebarría y Aguado, 2003).

e. Consolidación urbana

La consolidación urbana es considerada para el uso más adecuado de las tierras y la infraestructura de la zona urbana, está basada en la restricción del sobreuso de zonas rurales, así como también la reducción de los costos de infraestructura en zonas urbanas (Frick, 2014).

f. Apoyar estrategias de crecimiento inteligente

El crecimiento inteligente se concentra en el desarrollo compacto y la reconstrucción del área construida en una ciudad (Habibi y Asadi, 2011).

g. Gestión creativa y eficiente

Presentar políticas urbanas creativas provocará un crecimiento apropiado. Por lo tanto, los planificadores deberían poder determinar el valor y la dirección del desarrollo y sus costos (Hadria et al., 2018).

2.2.5. Planificación urbana

La planificación urbana surgió en Inglaterra a mediados del siglo pasado en el contexto de la revolución industrial para reducir los impactos ambientales que el crecimiento urbano produjo en la población, debido al traslado de los medios de producción y de la migración de la población del campo a la ciudad (Carrión, 2001). La planificación urbana además de incluir una serie de instrumentos de planificación y mecanismos de gestión del uso del suelo, también es una proyección de políticas enmarcadas en el desarrollo sostenible para regular las condiciones económicas y sociales de la población (Echebarría y Aguado, 2003).

a. Etapas de la planificación urbana

- **Etapa no geográfica:** Basado en establecer objetivos territoriales, por ejemplo: zonificación de acuerdo a cada actividad, longitud de carreteras, cantidad de infraestructuras e instalaciones; en esta fase se prioriza las disponibilidades económicas existentes y los objetivos políticos de la administración y los agentes implicados (Sedra y García, 2000).
- **Etapa geográfica:** La finalidad de esta etapa consiste en la adecuada asignación de la posición espacial para las ocupaciones antes mencionadas, de las edificaciones e infraestructuras (James, 2002).

2.2.6. Clima urbano

Se puede definir como las condiciones climáticas que permanecen en un área urbano y generalmente varían con respecto a las zonas rurales, el clima urbano influye directamente en las condiciones atmosféricas y se deben al cambio del terreno natural por terreno urbano (Soberón y Obregón, 2016). El espacio verde y los cuerpos de agua tienen una influencia notable en el clima urbano (Zhang et al., 2012).

En general las ciudades presentan variabilidad en los procesos físicos que ocurren en ellas y esto se debe a la variabilidad de las propiedades de la superficie urbana, la rugosidad generada por las infraestructuras, la complejidad de los flujos de energía, el momentum entre otras propiedades

físicas del área urbana (Palacio y Jiménez, 2012). La figura 2.2 muestra la situación de la Capa Límite Urbana (CLU) en tres escalas que son:

a. Mesoescala

En esta escala se divisa las zonas rurales, urbanas y semiurbanas en base a diferentes intensidades y la variabilidad de las condiciones ambientales y espacio-temporales contenidas en esta escala (Palacio y Jiménez, 2012).

b. Escala local y micro

Está delimitada por una subcapa límite convectiva que incluye la superficie y las edificaciones, esta capa comprende también los fenómenos que ocurren como turbulencias, condiciones atmosféricas y las propiedades que tenga la superficie del terreno (Frick, 2014).

c. Microescala

Esta escala es más limitada e incluye fenómenos atmosféricos más próximos a la superficie, el movimiento del aire y de las partículas en la capa convectiva es errático y por lo general muy turbulento (sobre todo en las horas de sol), la variabilidad espacio temporal es fuerte como consecuencia del contraste en los flujos de radiación que se producen en el heterogéneo territorio urbano (Palacio y Jiménez, 2012).

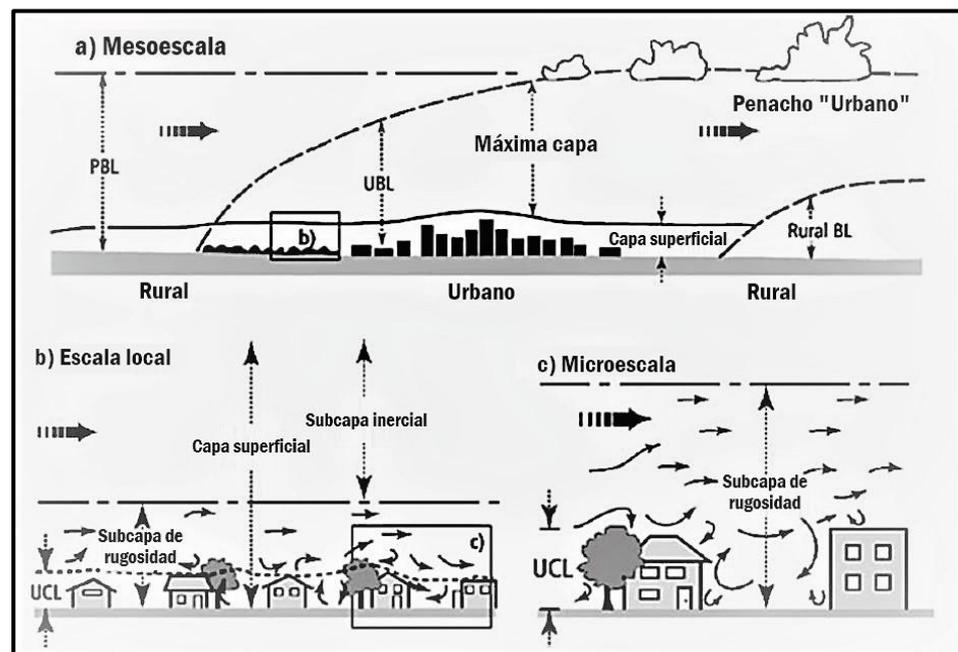


Figura 2.2. Estructura de la capa límite urbana (Palacio y Jiménez, 2012).

2.2.7. Atmósfera urbana

La atmósfera urbana es aquella que ha sido afectada por la presencia de contaminantes (dióxido de azufre, óxido de nitrógeno, dióxido de nitrógeno, monóxido de carbono entre otros), compuestos orgánicos, productos fotoquímicos (ozono troposférico) y las partículas sólidas o aerosoles (Moreno, 1999).

Soberón y Obregón (2016), distinguieron 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 urbana (figura 2.3).

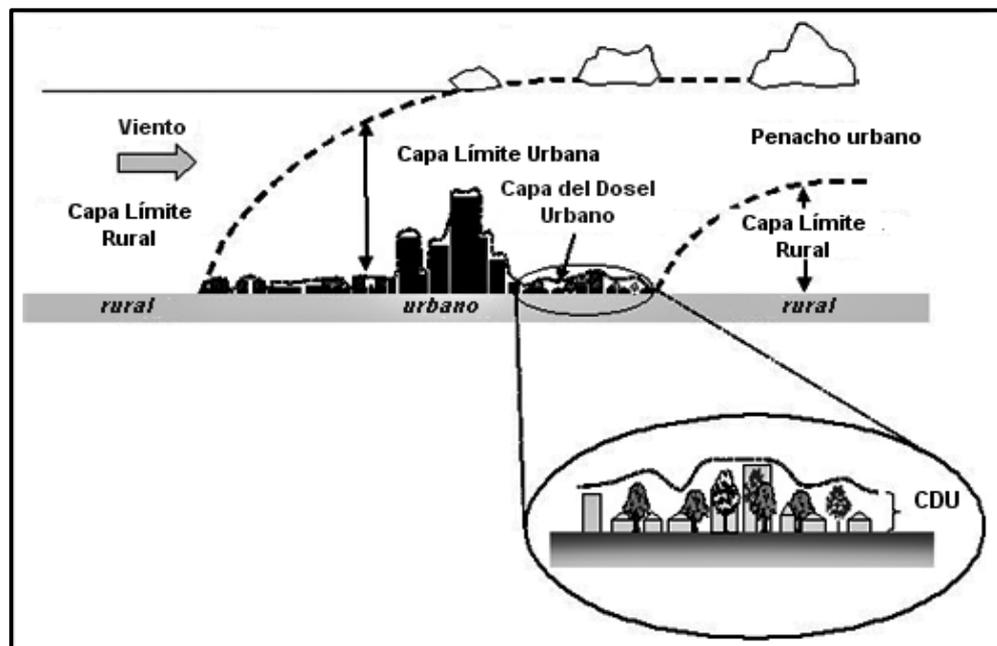


Figura 2.3. Componentes de la atmósfera urbana (Soberón y Obregón, 2016).

a. La capa límite del dosel urbano

Es la zona de la atmósfera que engloba la zona comprendida entre la superficie urbana hasta las zonas del techo de la ciudad, implican procesos de pequeña escala que ocurren en las ciudades (Soberón y Obregón, 2016). Está ubicada desde la superficie del suelo hasta el tope de las infraestructuras, es controlada por el intercambio de energía a microescala (Roca, Puliafito, Kurbán y Cúnsulo, 2013).

b. La capa límite urbano

Es el área de la atmósfera cuyas condiciones atmosféricas son influenciadas por la superficie terrestre, está comprendida entre el tope de las infraestructuras hasta las zonas en las que la superficie deje de influir en las condiciones atmosféricas (Soberón y Obregón, 2016). Es la capa de aire sobre la superficie de la tierra donde fenómenos como la fricción, calentamiento y enfriamiento se sienten en periodos cortos y además algunos fenómenos atmosféricos se presentan solamente en esta zona (Palacio y Jiménez, 2012).

2.3. Isla de calor urbano

Las islas de calor urbano son fenómenos de acumulación de calor que se presentan dentro de la zona urbana debido a las construcciones urbanas y a las actividades humanas, tienen estrecha relación con la liberación del calor de infraestructuras, las propiedades y estructura de la superficie, la cobertura vegetal, la densidad poblacional y las condiciones climáticas (Yang et al., 2016). Este fenómeno se presenta en casi todas las ciudades y su intensidad depende de su tamaño poblacional y el tamaño de la ciudad y se evidencian dos tipos de islas de calor urbano (ICU): la isla de calor urbano superficial e isla de calor urbano atmosférica (Moreno y Serra, 2016). Para identificar las islas de calor urbanas, los científicos utilizan métodos directos e indirectos, modelos numéricos y estimaciones basadas en modelos empíricos. Los investigadores suelen utilizar la teledetección, una técnica de medición indirecta, para estimar las temperaturas de la superficie, utilizan los datos recopilados para producir imágenes térmicas (EPA, 2008).

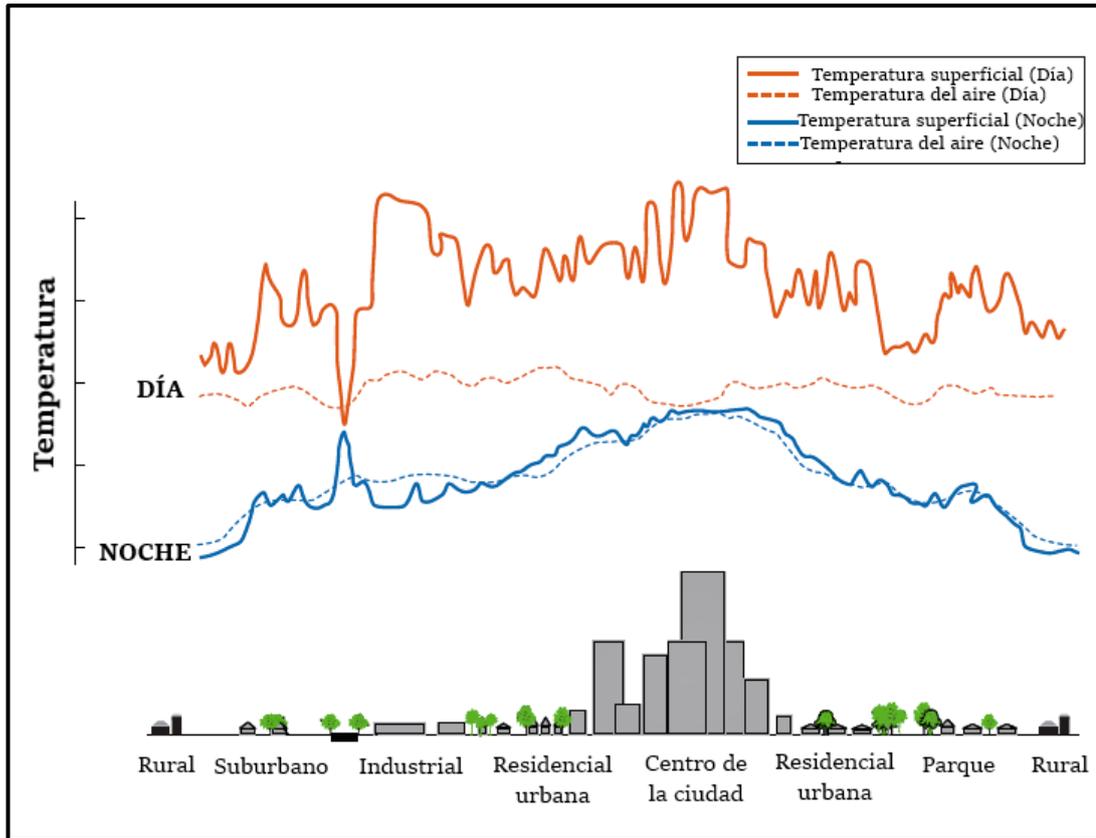


Figura 2.4. Variaciones de la temperatura superficial y atmosférica (EPA, 2008).

2.3.1. Tipos de isla de calor urbano

a. Isla de calor urbano superficial

Es aquel fenómeno que se basa en la diferencia entre la temperatura de la superficie terrestre de la zona urbana y la zona rural más próxima a la ciudad, este fenómeno generalmente está presente debido a la composición de la superficie urbana (pavimentos, aceras, tejados, infraestructuras, etc.) (Moreno y Serra, 2016). Las islas de calor urbano de superficie suelen estar presentes día y noche, pero tienden a ser más fuertes durante el día cuando brilla el sol (EPA, 2008). La magnitud de las islas de calor urbano en la superficie varía con las estaciones, debido a los cambios en la intensidad del sol, así como en la cobertura del suelo y el clima. Como resultado de tal variación, las islas de calor urbano de superficie son típicamente más grandes en el verano (Peña, 2007).

b. Isla de calor urbano atmosférica

Las islas de calor urbano superficiales representan la diferencia de la temperatura del aire registrada entre las zonas urbanas y rurales (Moreno y Serra, 2016). Las islas de calor urbano atmosférica se pueden dividir en dos (EPA, 2008):

- **Las islas de calor urbano de la capa de dosel**, comprende la capa de aire donde vive la población, desde el suelo hasta debajo de las copas de los árboles y techos.
- **Las islas de calor urbanas de la capa límite**, comienzan desde el nivel de la azotea y las copas de los árboles y se extienden hasta el punto en que los paisajes urbanos ya no influyen en la atmósfera. Esta región típicamente se extiende a no más de una milla (1.5 km) de la superficie.

Tabla 2.4

Características básicas de las islas de calor urbano (ICU)

Característica	ICU superficial	ICU atmosférica
Desarrollo temporal	<ul style="list-style-type: none">• Presente en todo momento del día y noche• Más intenso durante el día y en el verano	<ul style="list-style-type: none">• Puede ser pequeño o inexistente durante el día• Más intenso por la noche o antes del amanecer y en el invierno
Intensidad máxima (Mayores condiciones de intensidad de ICU)	<ul style="list-style-type: none">• Más variación espacial y temporal:<ul style="list-style-type: none">- Día: 10 a 15°C- Noche: 5 a 10°C	<ul style="list-style-type: none">• Menos variación:<ul style="list-style-type: none">- Día: -1 a 3°C- Noche: 7 a 12°C
Identificación típica Método	<ul style="list-style-type: none">• Medición indirecta: Teledetección	<ul style="list-style-type: none">• Medida directa: Estaciones meteorológicas fijas Travesías móviles
Representación típica	<ul style="list-style-type: none">• Imagen térmica	<ul style="list-style-type: none">• Mapas de isotermas• Gráficos de temperaturas

Fuente: EPA (2008).

2.3.2. Causas de la isla de calor urbano

Según Moreno (1999), las principales causas que generan el fenómeno de la isla de calor urbano son: un alto grado de almacenamiento de calor durante el día, la generación de calor antropogénico, la disminución de la evaporación, la menor pérdida del calor sensible, el aumento de la radiación solar, la disminución de la pérdida de calor durante la noche por irradiación y el aumento de la radiación de onda larga.

Según la EPA (2008), los factores que influyen generalmente en la formación de islas de calor urbano son:

a. Reducción de vegetación en áreas urbanas

En las zonas rurales generalmente la vegetación se encuentra presente, donde la vegetación y los árboles prestan servicios ecosistémicos como generar sombras o regular la temperatura del aire a través de un proceso llamado evapotranspiración en el cual las plantas liberan agua al aire circundante disipando el calor ambiental. El cambio de cobertura en una zona urbana por un suelo pavimentado, provoca el calentamiento de las zonas urbanas y por la ausencia de vegetación se reduce la evapotranspiración del medio atmosférico (figura 2.5), además también se genera una rápida escorrentía del agua de precipitaciones y se elimina el agua de la superficie de suelo; todo esto contribuye al incremento de la temperatura y presencia de islas de calor urbano (Serra, 2007).

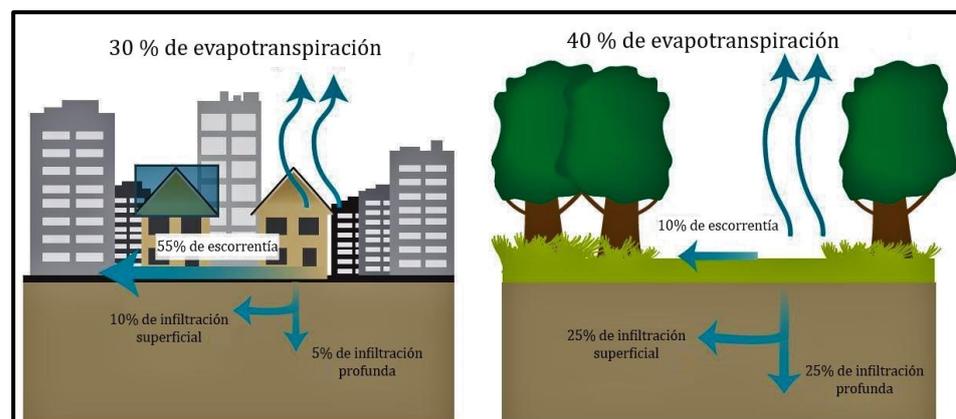


Figura 2.5. Superficies impermeables y evapotranspiración reducida (EPA, 2008).

b. Propiedades de los materiales urbanos

Las propiedades de los materiales urbanos, en particular la reflectancia solar, la emisividad térmica y la capacidad de calor, también influyen en el desarrollo de las islas de calor urbano, ya que determinan cómo se refleja, se emite y se absorbe la energía del sol. La Figura 2.6 muestra la energía solar típica que alcanza la superficie de la Tierra en un día claro de verano, la energía solar se compone de rayos ultravioleta (UV), luz visible y energía infrarroja, cada uno de los cuales llega a la Tierra en diferentes porcentajes, la energía en diferentes longitudes de onda. La diversidad de materiales urbanos incrementa la absorción de la radiación solar, debido a la geometría que presenta las zonas urbanas con sus calles e infraestructuras que hace que la radiación solar quede atrapada en las zonas urbanas (Serra, 2007).

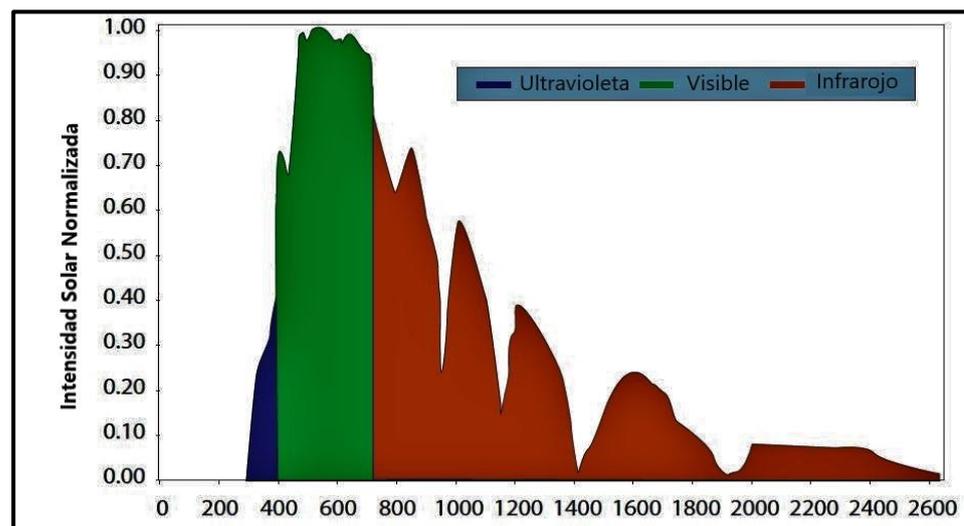


Figura 2.6. Energía solar versus longitud de onda de la Tierra (EPA, 2008).

c. Geometría urbana

La geometría urbana se refiere a las dimensiones y la separación de los edificios dentro de una ciudad e influye en el flujo del viento, la absorción de energía y la capacidad de una superficie dada de emitir radiación de onda larga de regreso al espacio; en las áreas desarrolladas, las superficies y estructuras a menudo están obstruidas por objetos como edificios y se convierten en grandes masas térmicas que no pueden liberar su calor muy fácilmente debido a estas obstrucciones (EPA, 2008).

d. Calor antropogénico

El calor antropogénico varía según la actividad urbana y la infraestructura, con edificios que requieren más energía y transporte que producen más calor. En invierno y durante todo el año en zonas urbanas densas, el calor antropogénico contribuye significativamente a la formación de islas de calor urbano. El calor antropogénico contribuye a las islas de calor atmosférico y se refiere al calor producido por las actividades humanas, puede provenir de una variedad de fuentes y se estima sumando toda la energía utilizada para calefacción y refrigeración, electrodomésticos, transporte y procesos industriales (Serra, 2007).

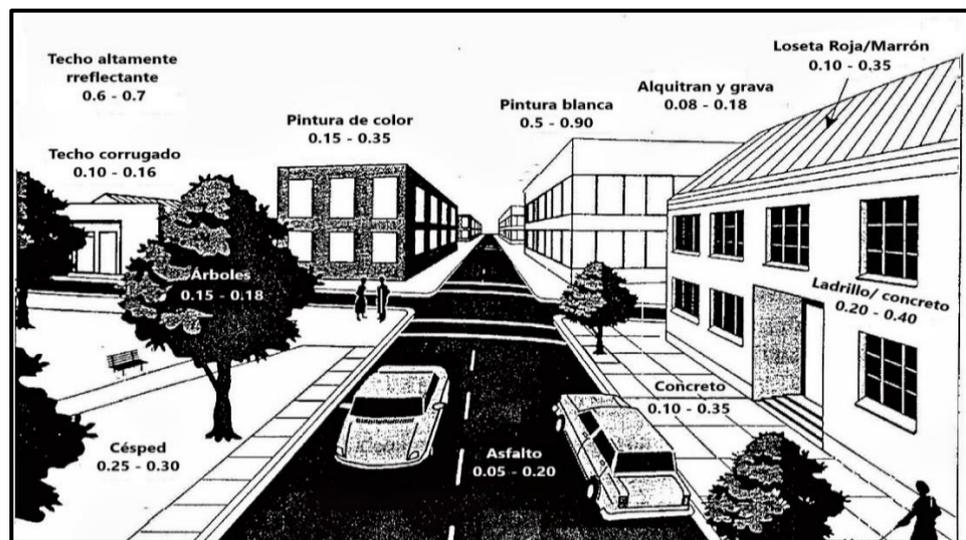


Figura 2.7. Materiales y albedo urbano (Serra, 2007).

e. Factores adicionales

El clima y la ubicación influyen fuertemente en la formación de islas de calor urbano. Si bien las comunidades tienen poco control sobre estos factores, los residentes pueden beneficiarse al comprender el papel que desempeñan.

- **Clima:** Dos características climáticas primarias afectan el desarrollo de las islas de calor urbano: la cubierta de viento y nubes (Casillas y Rafael, 2009). En general, las islas de calor urbano se forman durante los períodos de vientos tranquilos y cielos despejados, porque estas condiciones maximizan la cantidad de energía solar que llega a las superficies urbanas y minimizan la cantidad de calor que se puede convencer (EPA, 2008).

- **Ubicación geográfica:** El clima y la topografía que están determinados en parte por la ubicación geográfica de una ciudad, influyen en la formación de islas de calor urbano (Serra, 2007). Por ejemplo, grandes cuerpos de agua moderan las temperaturas y pueden generar vientos que conducen el calor lejos de las ciudades, las cadenas montañosas cercanas pueden impedir que el viento llegue a una ciudad o crear patrones de viento que pasen por una ciudad (EPA, 2008).

2.3.3. Efectos de la isla de calor urbano

La intensidad de la isla de calor tiene consecuencias importantes en el índice de confort de los habitantes y en su salud, en la disminución de la productividad de la mano de obra y de la actividad urbana (social y económica), así como el consumo de energía dentro de la ciudad (Conde, Pabón, y Sánchez, 2013). Uno de los efectos de la isla de calor es en la economía, debido al aumento del consumo de energía para la refrigeración de los edificios que tiene lugar en las ciudades (Kotharkar y Bagade, 2018). Otro efecto incide en la salud de las personas, debido a que la exposición continua a un ambiente con temperaturas elevadas provoca trastornos como el agotamiento por deshidratación, calambres, síncope, golpes de calor, la aparición de enfermedades cerebrovasculares; y un efecto más es la aparición de serios problemas respiratorios como consecuencia del aumento de los niveles de polución de la atmosfera (Gálvez, 2014). Los efectos de las islas de calor urbanas muestran más interés debido a que los problemas ambientales que son causado por las islas de calor urbanas afectan la vida normal de las personas (Zhang et al., 2012).

a. Mayor consumo de energía

Las temperaturas de verano elevadas en las ciudades aumentan la demanda de energía para enfriamiento, las islas de calor urbano aumentan la demanda general de electricidad, así como la demanda máxima que generalmente ocurre en días con alta presencia de calor y los hogares tienen sistemas de refrigeración, luces y electrodomésticos. (Akbari, 2005).

b. Emisiones elevadas de contaminantes atmosféricos y gases de efecto invernadero

Las empresas que suministran electricidad generalmente dependen de plantas de energía de combustibles fósiles para satisfacer gran parte de esta demanda, lo que a su vez conduce a un aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes del aire (EPA, 2008). Los contaminantes primarios de las centrales eléctricas incluyen:

- Dióxido de azufre (SO₂).
- Óxidos de nitrógeno (NO_x).
- Material particulado (PM).
- Monóxido de carbono (CO).
- Mercurio (Hg).

Estos contaminantes son perjudiciales para la salud humana y también contribuyen a problemas complejos de calidad del aire, como la formación de ozono a nivel del suelo (smog), partículas finas y lluvia ácida (Arellano y Roca, 2015). El mayor uso de plantas que funcionan con combustibles fósiles también aumenta las emisiones de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono (CO₂), que contribuyen al cambio climático global (EPA, 2008).

c. Efecto en la salud y confort humano

El aumento de las temperaturas diurnas y los niveles más altos de contaminación del aire asociados con las islas de calor urbanas pueden afectar la salud humana al contribuir a la incomodidad general, las dificultades respiratorias, los calambres y el agotamiento por calor (EPA, 2008). El exceso de calor producido por esta fenómeno afecta la sensación de confort térmico en los habitantes de la ciudad, durante los últimos años las mortalidades relacionadas con extremos térmicos han mantenido el primer lugar dentro de las muertes vinculadas con el clima (Peña, 2007).

d. Deterioro de la calidad del agua

Las altas temperaturas del pavimento y la superficie de la azotea pueden calentar la escorrentía de las aguas pluviales, esta agua pluvial calentada generalmente se convierte en escorrentía que drena en alcantarillas

pluviales y eleva la temperatura del agua a medida que se libera en arroyos, ríos, estanques y lagos (James, 2002). La temperatura del agua afecta todos los aspectos de la vida acuática, especialmente el metabolismo y la reproducción de muchas especies acuáticas. Los cambios rápidos de temperatura en los ecosistemas acuáticos como resultado de la escorrentía de aguas pluviales cálidas pueden ser particularmente estresantes, incluso fatales para la vida acuática (EPA, 2008).

2.3.4. Técnicas de estudio de islas de calor urbano

La medición de la isla de calor permite demostrar el impacto del hábitat construido sobre el medio e identificar variables de diseño que contribuyen a disminuir este fenómeno (Evans y Schiller, 2005). La caracterización de la isla de calor a partir de las diferencias entre la temperatura urbana y rural presenta bastantes problemas a la hora de determinar los límites entre ambos espacios, las redes meteorológicas convencionales se han diseñado para conocer el clima regional y precisamente para evitar el efecto urbano, en las ciudades hay muy pocos observatorios y los que existen se sitúan en los grandes parques urbanos. (García y Martilli, 2012). Por todo ello la caracterización del clima urbano se realiza utilizando tres métodos diferentes, pero complementarios:

a. Transectos

Es una técnica realizado con instrumentos de medida no convencionales instalados sobre vehículos que permiten obtener información sobre un gran número de puntos y trazar mapas y perfiles bastante detallados (García y Martilli, 2012). La preparación y diseño de los transectos a realizar se realizan tras analizar minuciosamente el plano de la ciudad en cuestión, de acuerdo con sus características urbanas, decidiendo el número de transectos y el trazado que deben seguir; de acuerdo a ello se eligen y distribuyen los puntos de observación, en los que se efectuarán las correspondientes mediciones, siendo el número preciso para tener una red de puntos suficientemente densa y dispersa por la ciudad (Serra, 2007).

b. Estaciones meteorológicas

Está basada en el uso de estaciones meteorológicas para establecer los principales rasgos del clima urbano a escala del conjunto de la ciudad, estas estaciones son muy importantes para la identificación y estudio de islas de calor urbano, recientemente se ha incorporado una mayor variedad de tipo de datos en las estaciones como datos de contaminación atmosférica (García y Martilli, 2012).

c. Sensores remotos

El uso de los sensores remotos mediante la teledetección es una herramienta utilizada para ver el comportamiento de la temperatura de la superficie desde decenas de metros hasta kilómetros, el estudio de la temperatura superficial es útil para identificar islas de calor, la teledetección también es muy útil para estudiar las variables que puedan influir en las islas de calor (Arellano y Roca, 2015). Esta es la técnica más reciente utilizada en los estudios de clima urbano, los sensores remotos recopilan información de la superficie terrestre y entre ellos la temperatura, mediante los sensores remotos puede realizarse análisis de distribución de temperatura y también la relación que tiene con otras variables (García y Martilli, 2012).

2.3.5. Estrategias de mitigación de islas de calor urbano

Dentro de las estrategias de la reducción o mitigación de la isla de calor urbano son considerados actividades como la implementación de materiales en las paredes de los edificios, techos, corredores urbanos, calles y otras superficies del mosaico urbano, también es posible la implementación de techos verdes o jardines en la azotea con el fin de aprovechar el calor latente en el proceso de evapotranspiración (Casillas y Rafael, 2009). Las medidas de mitigación para combatir el efecto de las islas de calor urbana han sido bien estudiadas y bien documentadas. Muchas medidas se han desarrollado a lo largo del tiempo, estos incluyen el diseño de pavimentos fríos aumentando el albedo de las superficies y haciéndolas más reflectantes, permeables, porosas y resistentes al agua; el mayor uso de espacios verdes dentro del paisaje urbano (Mohajerani, Bakaric y Jeffrey, 2017). La figura 2.8 ilustra algunas de las medidas de mitigación comunes.

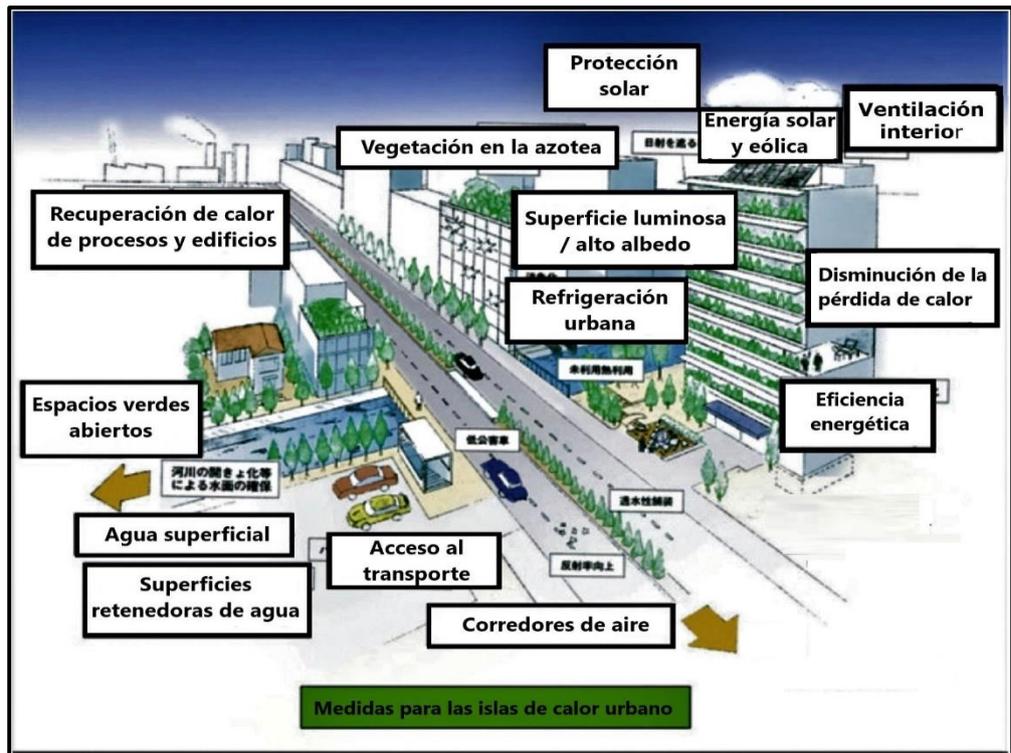


Figura 2.8. Medidas de mitigación de la isla de calor urbana (Mohajerani, Bakaric y Jeffrey, 2017).

2.4. Teledetección

La teledetección es el vocablo que en inglés significa “Remote sensing”, que se traduce literalmente como percepción remota y se refiere a la ciencia, técnica e incluso “Arte” para algunos, de obtener información de la superficie de nuestro planeta a distancia, sin entrar en contacto directo con este (Labrador, Évora, y Arbelo, 2012). La teledetección es aquella técnica que nos permite obtener información a distancia de los objetos situados sobre la superficie terrestre, para que esta observación remota sea posible, es preciso que entre los objetos y el sensor existe alguna interacción (Chuvieco, 2010).

La teledetección es el estudio y medida de las características de una serie de objetos sin que exista contacto físico, para ello se miden las perturbaciones que el objeto provoca en su entorno, principalmente las de tipo electromagnético (Olaya, 2014). Además de ello la teledetección también incluye todo el trabajo realizado a posteriori con esa información, es decir su procesamiento e interpretación. La teledetección más utilizada se refiere a la captura de imágenes desde satelitales o plataformas aéreas como aviones, helicópteros o vehículos aéreos no tripulados (Labrador et al., 2012).

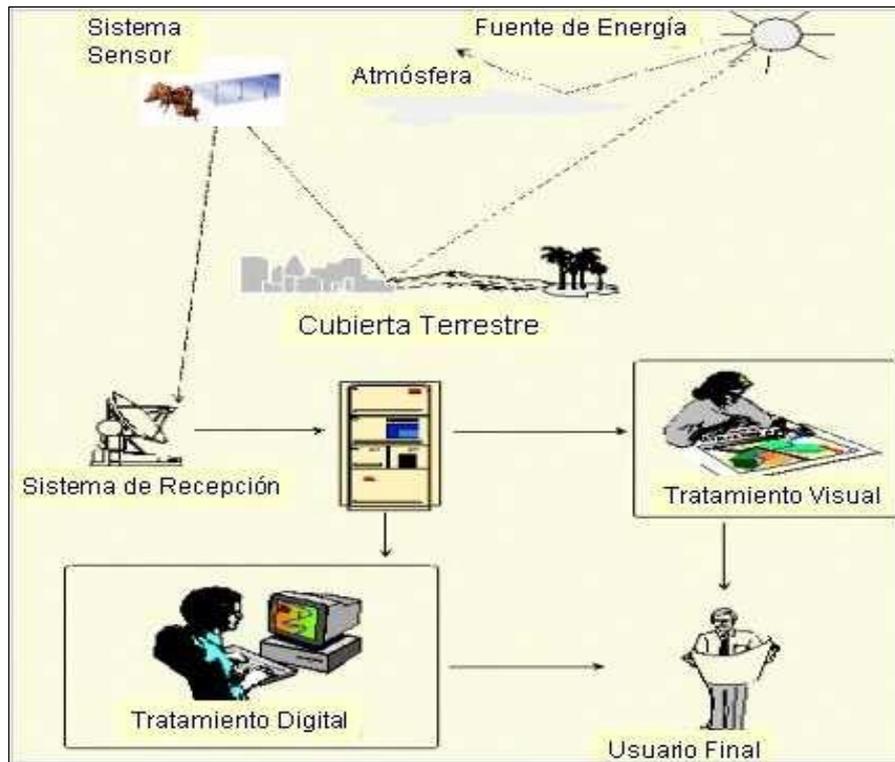


Figura 2.9. Elementos de la teledetección (Labrador et al., 2012).

2.4.1. Elementos de la teledetección

a. La fuente de energía

Es el origen de la radiación electro-magnética que detecta el sensor, puede tratarse de un foco externo al sensor o de un haz energético emitido por el sensor. La fuente de energía más importante es el sol, pero también puede realizarse teledetección a partir de la energía emitida por los mismos objetos observados, o desde fines artificiales (Chuvieco, 2010). La energía originada en una fuente de irradiación electromagnética está caracterizada por vibrar y transmitirse en forma de ondas cuyas distintas longitudes (o sus frecuencias) definen un espectro electromagnético (figura 2.10). La longitud de onda es la inversa de la frecuencia medida en ciclos por segundo (cps), pero en sensores remotos y teledetección se acostumbra hablar siempre de longitudes de onda (Soria y Matar de Saavis, 2016).

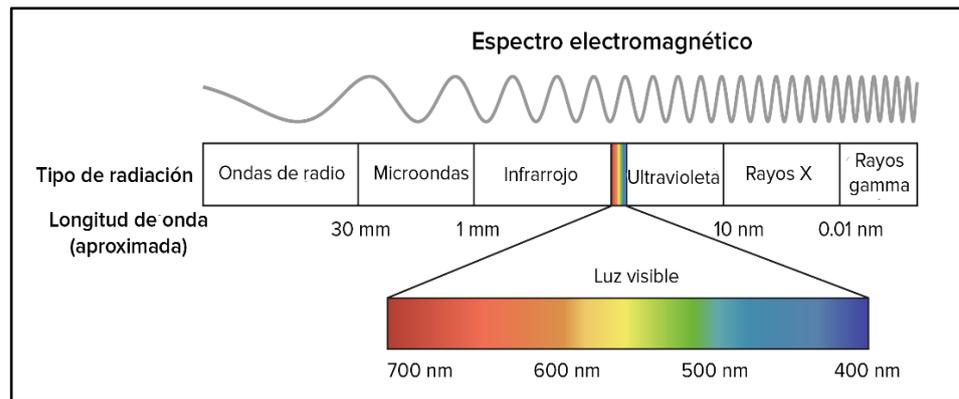


Figura 2.10. Espectro electromagnético (Soria y Matar de Saavis, 2016).

b. Cobertura terrestre

Formada por distintas masas de vegetación, suelos, agua o construcciones humanas, que reciben la señal energética procedente de la fuente de energía, y la reflejan o emiten de acuerdo a sus características físicas (Chuvienco, 2010). Todo objeto de la superficie terrestre refleja o emite energía electromagnética según una función que depende de su longitud de onda; de este modo, cada material u objeto tiene un comportamiento espectral que le es característico, llamado firma espectral (Ariza, 2013).

c. Sistema sensor

Se encuentra compuesto por el sensor, propiamente dicho, y la plataforma que lo sustenta. Tiene como misión captar la energía procedente de las cubiertas terrestres, codificarla y grabarla o enviarla directamente al sistema de recepción (Chuvienco, 2010). Se llaman sensores pasivos aquellos que miden las variaciones de la energía procedente de los objetos sin intervenir en el campo natural; a su vez, se denominan sensores activos aquellos que generan un campo de energía artificial, registrando y midiendo el efecto que producen los objetos sobre este (Soria y Matar de Saavis, 2016).

- **Sensores activos:** Son aquellos que pueden emitir y recibir su propia energía, por lo tanto, no necesitan de un foco de energía externo para trabajar. Esto les permite emitir y recibir información en horas nocturnas, es decir ante la ausencia del sol. Como su frecuencia de energía corresponde a las ondas radar (longitud de ondas largas), pueden trabajar con presencia de nubes, las cuales no presentan interferencias (Irons, Dwyer y Barsi, 2012).

- **Sensores pasivos:** Estos requieren de un foco de energía externo, por lo tanto, necesitan el sol para trabajar. Esto no les permite trabajar en horas nocturnas, por el contrario, la hora preferible para captar información es al medio día, de esta manera se evita la presencia de sombras. Como su frecuencia de energía corresponde al visible e infrarrojo (longitud de onda corta), la presencia de nubes presenta una interferencia en la recepción de la información (Soria y Matar de Saavis, 2016).

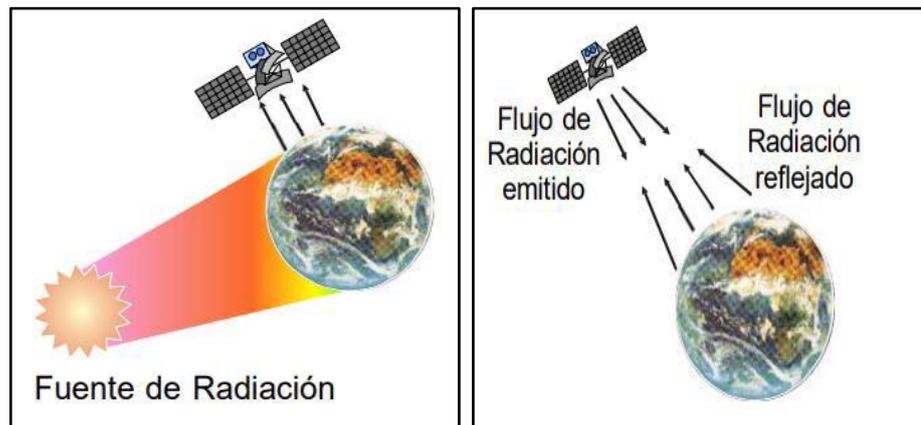


Figura 2.11. Sensores activos y pasivos (Chuvieco, 2010).

d. Sistema de recepción

Es donde se recibe la información transmitida por la plataforma, se graba en un formato apropiado y con las oportunas correcciones se distribuye a los intérpretes (Franco, 2017).

e. Intérprete

Es el encargado de analizar la información, normalmente en forma de imágenes analógicas o digitales, convirtiéndola en una clave temática o cuantitativa, orientada a facilitar la evaluación del problema en estudio (Chuvieco, 2010).

f. Usuario final

El encargado de analizar el documento fruto de la interpretación, así como de dictaminar sobre las consecuencias que de él se deriven (Peña, 2007).

2.5. Satélite Landsat

El programa Landsat representa la serie de satélites estadounidenses que constituye el programa de mayor trayectoria en adquisición de imágenes de nuestro planeta (Franco, 2017). La buena resolución de sus sensores, el carácter global y periódico de la observación que realizan y su buena comercialización, explican su profuso empleo por expertos de muy variados campos en todo el mundo (Chuvieco, 2010). Las series han evolucionado como se muestra en la tabla 2.5.

Tabla 2.5

Características de los satélites Landsat

SATÉLITE	LANZAMIENTO	NOTAS
Landsat 1	1972	Primero de la serie, estuvo activo durante casi tres años y fue operado por la NASA. Incorporaba un escáner multiespectral (MSS) de cuatro canales.
Landsat 2	1975	De características similares a Landsat 1 y estuvo activo por cerca de 7 años Operado por la NASA.
Landsat 3	1978	Tenía el mismo diseño de Landsat 2 estuvo activo por unos 5 años y fue operado por la NASA. Se adicionó un sensor en una banda térmica pero este instrumento falló al poco tiempo del despliegue del satélite.
Landsat 4	1982	Operado por Earth Observation Satellite Company (EOSAT). Fue el primero en incluir un sensor Thematic Mapper (TM) de 7 bandas, una de estas termal.
Landsat 5	1984	Fue operado por EOSAT y transmitió más de 25 millones de imágenes.
Landsat 6	1993	Fue lanzado el 5 de octubre de 1993 pero no alcanzó su órbita.
Landsat 7	1999	Incluye una banda pancromática con 15 m de resolución espacial, aún está activo pero la calidad de sus imágenes bajo al ocurrir una falla en el Scan Line Corrector (SLC) en mayo de 2003, es operado por el USGS.
Landsat 8	2013	Activo desde febrero de 2013 Incorpora dos sensores por una parte el Operational Land Imager (OLI) con 9 bandas que incluyen una pancromática y, por otro, el Thermal Infrared Sensor (TIR) con dos bandas.
Landsat 9	2020	Lanzamiento tentativo para diciembre de 2020 Lo construirá la NASA y sus datos serán administrados por el USGS.

Fuente: Franco (2017).

2.5.1. Landsat 8

El satélite Landsat 8, una colaboración de la NASA y el USGS, adquiere mediciones globales de resolución moderada de las regiones terrestres y polares de la Tierra en el infrarrojo visible, infrarrojo cercano, onda corta y térmico (Roy et al., 2014). Las bandas espectrales OLI y TIRS siguen siendo ampliamente comparables a las bandas Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper plus (ETM⁺), el OLI tiene dos bandas de longitud de onda reflectantes adicionales: una nueva banda azul de longitud de onda más corta (0.43 – 0.45 μm) destinada a mejorar la sensibilidad a la clorofila y otros materiales suspendidos en aguas costeras y para recuperar propiedades de aerosoles atmosféricos, y una nueva banda infrarroja de onda corta (1.36–1.39 μm) para cirrus detección (Irons, Dwyer, y Barsi, 2012). La tabla 2.6 muestra las comparaciones entre el Landsat 7 y Landsat 8.

Tabla 2.6
Paralelos bandas Landsat 7 y Landsat 8

Landsat 8 OLI - TIRS		Landsat 7 ETM+	
Banda	Longitud de onda (μm)	Banda	Longitud de onda (μm)
Banda 1 Costera	0.43–0.45	Banda 1 Azul	0.45–0.52
Banda 2 Azul	0.45–0.51	Banda 2 Verde	0.52–0.60
Banda 3 Verde	0.53–0.59	Banda 3 Rojo	0.63–0.69
Banda 4 Rojo	0.64–0.67	Banda 4 Infrarrojo cercano	0.77–0.90
Banda 5 infrarrojo cercano	0.85–0.88	Banda 5 Infrarrojo de onda corta	1.55–1.75
Banda 6 infrarrojo de onda corta	1.57–1.65	Banda 7 Infrarrojo de onda corta	2.09–2.35
Banda 7 infrarrojo de onda corta	2.11–2.29	Banda 8 Pancromática (15 m)	0.52–0.90
Banda 8 Pancromática (15 m)	0.50–0.68	Banda 6 Infrarrojo térmico (60 m)	10.40–12.50
Banda 9 - cirrus	1.36–1.38	Banda 6 Infrarrojo térmico (60 m)	10.40–12.50
Banda 10 - Infrarrojo térmico (100 m)	10.60–11.19		
Banda 11 - Infrarrojo térmico (100 m)	11.50–12.51		

Fuente: Franco (2017).

El satélite Landsat 8 tiene como objetivo principal extender el uso de la familia Landsat en el futuro y mantener la continuidad de las observaciones y se pueda hacer análisis de consistencia y comparación con las anteriores versiones de Landsat (Roy et al., 2014). La calidad de los datos (relación de la señal en función del ruido) y la resolución radiométrica (12 bits) del OLI y TIRS es más alta que las anteriores versiones, proporcionando una mejora significativa en la capacidad de detectar cambios en la superficie terrestre. Los datos de productos Landsat 8 son totalmente compatibles con todos los datos de los productos estándar a nivel 1 (ortorectificado) creados usando Landsat 1 al Landsat 7 (Ariza, 2013); a continuación se describen algunas de sus especificaciones generales (Tabla 2.7).

Tabla 2.7
Especificaciones de productos LDCM a Nivel 1

Procesamiento:	Nivel 1 T-Corrección geométrica
Tamaño de píxel:	Bandas OLI multiespectrales 1-7,9: 30-metros Banda OLI pancromática 8: 15-metros Bandas TIRS 10-11: tomadas en 100 metros, pero remuestreadas a 30 metros para que coincida con las bandas multiespectrales de OLI
Características de los datos:	<ul style="list-style-type: none"> • Formato de datos GeoTIFF. • Remuestreo por convolución cúbica (CC). • Norte arriba (MAP) de orientación. • Proyección cartográfica: Universal Transversal Mercator (UTM) (estereográfica polar de la Antártida). • Datum al Sistema Geodésico Mundial (WGS) 84 • 12 metros de error circular, 90% de confianza exactitud global para OLI • 41 metros de error circular, 90% de confianza exactitud global para TIRS • Los valores de píxel en 16 bits
Entrega de datos:	Archivo comprimido .Tar.gz y de descarga a través de HTTP
Tamaño de archivo:	Aproximadamente 1 GB (comprimido), aproximadamente 2 GB (sin comprimir)

Fuente: USGS (2013).

Las imágenes Landsat 8 obtenidas por el sensor (OLI) y (TIRS) constan de nueve bandas espectrales con una resolución espacial de 30 metros para las bandas de 1 a 7 y 9, una banda nueva (1) (azul-costero) es útil para estudios costeros y aerosoles, la nueva banda (9) es útil para la detección de cirrus (nubes), la resolución para la banda 8 (pancromática) es de 15 metros, dos bandas térmicas 10 y 11 son útiles para proporcionar temperaturas más precisas de la superficie y se toman a 100 metros de resolución, el tamaño aproximado de la escena es de 170 km de norte-sur por 183 kilómetros de este a oeste (106 km por 114 km) (Ariza, 2013).



Figura 2.12. Satélite Landsat 8 (USGS 2013).

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Área de estudio

El ámbito de estudio fue la ciudad de Juliaca, una ciudad de gran extensión que crece aceleradamente, su población alcanzó 228276 personas y cuenta con 222854 viviendas (INEI, 2017). Entre 1940 y el 2007 la población de Juliaca se ha incrementado 50 veces (Choquehuanca, 2014). En tal sentido un crecimiento desordenado de la población significa un incremento de vehículos, un incremento de infraestructuras, un incremento de carreteras, pistas y veredas.

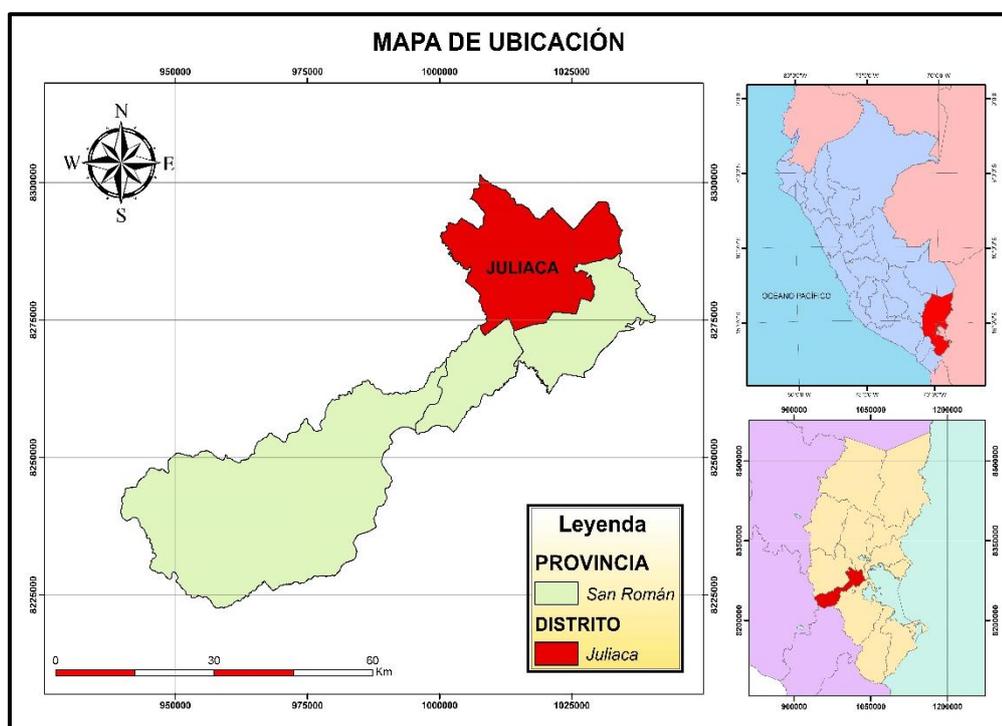


Figura 3.1. Mapa de ubicación de la ciudad de Juliaca

3.2. Materiales

Los materiales usados en esta investigación implican los datos obtenidos a partir de imágenes satelitales, a partir de datos recopilados en campo (con anemómetro-termómetro) y datos obtenidos del SENAMHI. También se usó de herramientas informáticas como equipos y softwares especializados.

3.2.1. Datos

Los datos utilizados en esta investigación fueron obtenidos de las imágenes satelitales, datos de temperatura del aire recopilado en campo y los datos de intensidad y velocidad del viento obtenida a partir de las estaciones del Servicio Nacional de Meteorología y Climatología (SENAMHI).

Tabla 3.1
Características de los datos

Tipo de dato	Fuente	Descripción
Imágenes satelitales	Landsat 8 OLI/TIRS	Las imágenes satelitales correspondieron a las siguientes fechas: <ul style="list-style-type: none">• 11 de abril del 2019• 27 de abril del 2019• 29 de mayo del 2019• 14 de junio del 2019• 30 de junio del 2019• 16 de julio del 2019• 1 de agosto del 2019• 17 de agosto del 2019• 2 de setiembre del 2019• 18 de setiembre del 2019
Temperatura de aire	Recolección de datos in situ	Los puntos de recolección de datos fueron ubicados en las siguientes zonas: <ul style="list-style-type: none">• Parque del Inca (Jirón Cusco)• Mercado Dominical (Jirón Cahuide)• Terminal Terrestre (Centro Comercial Internacional Micaela Bastidas)• Mercado Pedro Vilcapaza• Salida Puno (ovalo de la UANCV)• Salida Huancané (Puente Cacachi)• Salida Cusco (Puente Maravillas)• Salida Arequipa (UPeU)

Tabla 3.1

Características de los datos (continuación)

Velocidad y dirección del viento	Estaciones meteorológicas automáticas del SENAMHI	<p>Se usaron datos meteorológicos de las siguientes estaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estación Meteorológica Juliaca • Estación Meteorológica Illpa • Estación Meteorológica Puno • Estación Meteorológica Laraqueri • Estación Meteorológica Palca • Estación Meteorológica Crucero Alto
----------------------------------	---	--

3.2.2. Equipos y softwares

a. Equipos

- termo-anemómetros digitales.
- GPS Navegador Garmin Map 64.

b. Softwares

- ArcGis 10.6
- QGIS 3.8
- R Estudio
- WRPlot

3.3. Metodología

3.3.1. Identificación de islas de calor urbano mediante mapas de temperatura superficial con imágenes satelitales

Se determinó la temperatura de la superficie, mediante los procesos detallados en la figura 3.2. Primero se adquirieron las imágenes satelitales Landsat 8 (Roy et al., 2014). Posteriormente se realizaron las correcciones radiométricas y atmosféricas en el software Qgis (Avdan y Jovanovska, 2016) y finalmente se elaboraron los mapas de temperatura superficial. El procedimiento empleado para la obtención de temperaturas superficiales, fue el planteado por Avdan y Jovanovska (2016).

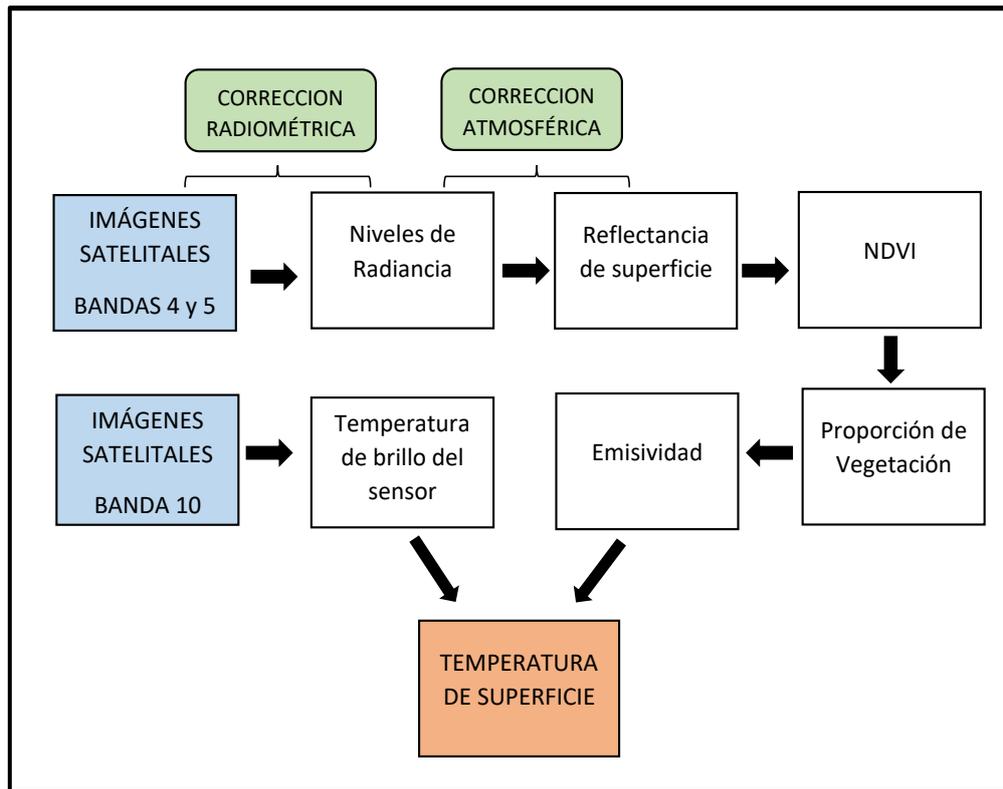


Figura 3.2. Flujograma del esquema metodológico

a. Adquisición de imágenes satelitales

Se realizaron mediante EarthExplorer, servidor de la NASA “USGS (U.S. Geological Survey)” el Interfaz gráfica utilizada para definir áreas de interés por dirección, código postal, nombre del lugar (Survey United States Geological, 2017). Se descargaron en total 10 imágenes entre abril y setiembre del 2019. Es importante mencionar que la información de estas imágenes satelitales se encuentra de manera libre y gratuita en las plataformas del servidor Earth Explorer.

b. Procesamiento de las imágenes satelitales

- **Conversión de ND a Radiancia**

Los números digitales se convirtieron a radiancia utilizando el complemento SCP (Semi-Automatic Classification Plugin), en el software Qgis. La conversión está basada en el método de coeficientes de calibración (ganancias y compensaciones) (Xu, Chen, Dan, y Qiu, 2011). Se usó la fórmula 3.1 para este proceso.

$$L\lambda = ML * Qcal + AL \quad (3.1)$$

Donde:

Lλ: Radiancia espectral

ML: Factor multiplicativo de reescalamiento específico.

Qcal: Valores de pixel (valores digitales Números digitales)

AL: Factor aditivo de reescalamiento específico.

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

- **Conversión de radiancia a reflectancia de superficie**

Para la corrección atmosférica (obtención de la reflectancia de superficie) se usó el complemento SCP incorporado en el software Qgis. Este complemento usa el método “DOS1” elaborado por Chávez (1996) y elimina las interferencias atmosféricas que el sensor pueda sufrir (Hantson et al., 2011).

- **Cálculo del NDVI**

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

El cálculo del NDVI es importante para calcular la proporción de la vegetación (*PV*), y está altamente relacionada con la emisividad (ϵ). Se calculó el NDVI con la fórmula 3.2 (Avdan y Jovanovska, 2016).

$$NDVI = \frac{NIR(banda\ 5) - R(banda\ 4)}{NIR(banda\ 5) + R(banda\ 4)} \quad (3.2)$$

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

- **Cálculo de la proporción de vegetación**

Los valores de la proporción de la vegetación fueron calculados a partir de NDVI y será de utilidad para calcular la emisividad. Los valores máximos y mínimos del NDVI fueron calculados mediante el histograma de los valores de los píxeles del NDVI. Se utilizó la fórmula 3.3 para el cálculo de la proporción de vegetación (Avdan y Jovanovska, 2016).

$$Pv = \left(\frac{NDVI - NDVImin}{NDVImax - NDVImin} \right)^2 \quad (3.3)$$

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

- **Determinación de la emisividad de la superficie**

La emisividad fue calculada a partir de los valores del potencial de vegetación y servirá para determinar la temperatura de la superficie. La emisividad se define como la relación de la energía emitida por una superficie a una longitud de onda y temperatura dada y la energía emitida por un cuerpo negro a la misma longitud de onda y temperatura (Méndez y Gómez 2015). La emisividad fue calculada mediante la fórmula de (Stathopoulou, Cartalis, y Petrakis, 2007), que implica el uso de los valores del potencial de vegetación.

Se calculó la emisividad de la superficie terrestre ϵ_λ , necesaria para estimar la temperatura de la superficie; la emisividad es un factor de proporcionalidad que escala el cuerpo negro resplandor (ley de Planck) para predecir el resplandor emitido, y es la eficiencia de transmitir energía térmica a través de la superficie en la atmósfera (Méndez y Gómez, 2015). La determinación de la emisividad del suelo se calcula condicionalmente con la fórmula 3.4 (Avdan y Jovanovska, 2016).

$$\epsilon_\lambda = \epsilon_{v\lambda} * Pv + \epsilon_{s\lambda} * (1 - Pv) + C\lambda \quad (3.4)$$

Donde:

$\epsilon\lambda$: Emisividad de la superficie

$\epsilon v\lambda$: Emisividad de la vegetación

Pv : Proporción de vegetación

$\epsilon s\lambda$: Emisividad del suelo

$C\lambda$: Rugosidad de la superficie

La fórmula 3.4 fue reducida y adaptada a las características de las imágenes satelitales Landsat, se usó la formula simplificada 3.5 (Hantson et al., 2011).

$$\epsilon\lambda = 0.004 * Pv + 0.986 \quad (3.5)$$

- **Conversión de radiancia a temperatura de brillo**

Los valores de la temperatura de brillo del sensor se obtuvieron a partir de los valores de radiancia de la banda 10, para calcularlas se usaron las constantes de calibración térmica de cada imagen. La temperatura de brillo del sensor representa a la temperatura del brillo que se presenta en el tope de la atmosfera y se (Zhang, Wang, y Li, 2006). Se calculó la temperatura de brillo del sensor utilizando el complemento SCP (Semi-Automatic Classification Plugin), en el software Qgis. La conversión está basada en la fórmula 3.6 (Coelho y Correa, 2013).

$$TB = \frac{K2}{\ln[(K1/L\lambda)+1]} - 273.15 \quad (3.6)$$

Donde:

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

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

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

L λ : Radiancia espectral

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

- **Determinación de la temperatura de la superficie**

La temperatura de la superficie terrestre se obtuvo a partir de los datos de la temperatura de brillo y la emisividad de superficie. Se obtuvieron 10 mapas de temperatura de la superficie terrestre entre los meses de abril y setiembre. Durante el mes de abril se evidenció la presencia de nubes, para ello se realizó un enmascaramiento de las nubes y se eliminó estos valores. Para determinar la temperatura de la superficie se utilizó la emisividad y la temperatura de brillo del sensor, mediante el uso de la fórmula 3.7 (Avdan y Jovanovska, 2016).

$$T_s = \frac{TB}{\{1 + [(\lambda * TB / \rho) * \ln \epsilon \lambda]\}} \quad (3.7)$$

Donde:

T_s: Temperatura de la superficie en grados Celsius.

T_B: Temperatura de brillo del sensor.

λ: Longitud de onda de la radiación emitida (para la cual se utilizó la respuesta máxima y el promedio de la longitud de onda limitante (λ = 10.895).

ελ: Emisividad calculada anteriormente

ρ: Constante definido por:

$$\rho = h * \frac{c}{\sigma} = 1.438 * 10^{-2} mK \quad (3.8)$$

donde σ es la constante de Boltzmann (1.38×10^{-23} J / K), h es la constante de Planck (6.626×10^{-34} J s), y c es la velocidad de la luz (2.998×10^8 m / s)

3.3.2. Estimación de la influencia del viento en la distribución de la temperatura urbana de la ciudad de Juliaca

Se obtuvieron mapas de vientos a partir de los datos de velocidad y dirección de viento del SENAMHI, debido a que los datos de temperatura corresponden a las 14:41 horas, se estimó la velocidad y dirección del viento para las 14 y 15 horas de los días que se tomaron las imágenes satelitales. Para poder identificar si los valores de velocidad intervienen en la temperatura se realizaron análisis de correlación entre los valores de temperatura superficial obtenidas a partir de las imágenes satelitales y los valores de vientos obtenidas a partir de los datos del SENAMHI (Pizarro, Hormazabal, Gonzalez y Yañez , 1994). Se tomó 35 puntos distribuidos dentro y fuera de la ciudad para hacer un análisis correlacional en función de las fechas de las imágenes satelitales. Finalmente se calculó los coeficientes de correlación de Pearson y coeficientes de determinación (Espinoza y Tito, 2019).

a. Elaboración de mapa de vientos

Se elaboró mapas de viento en base a los datos tomados de las estaciones del SENAMHI, se tomó datos de dirección y velocidad de vientos de estaciones meteorológicas automáticas dentro de la región Puno (tabla 3.2).

Tabla 3.2

Detalle de las estaciones meteorológicas automáticas

N°	Estación	Provincia	Distrito	Este	Norte
1	Juliaca	San Román	Juliaca	374357.2	8289229.5
2	Illpa	Puno	Puno	383905.7	8265795.3
3	Puno	Puno	Puno	391617.7	8250022.6
4	Laraqueri	Puno	Pichacani	388169.4	8215746.5
5	Palca	Lampa	Vilavila	328894.5	8314960.6
6	Crucero Alto	Lampa	Santa Lucia	295269.0	8256188.7

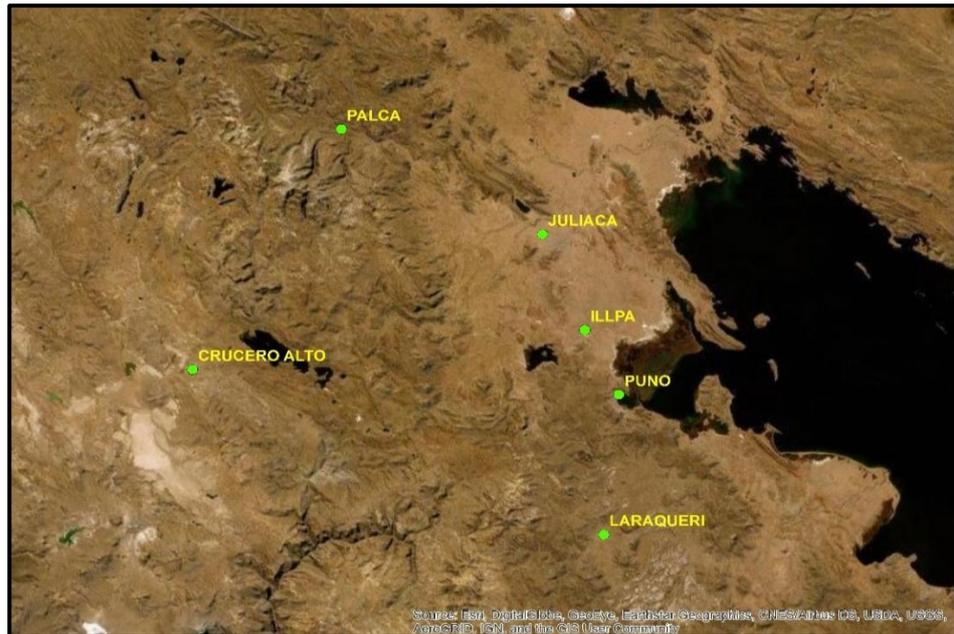


Figura 3.3. Fotografía satelital de estaciones meteorológicas del SENAMHI

Las técnicas de interpolación de superficie en un sistema de información geográfica (SIG) son herramientas muy útiles para predecir valores de superficie (Esri, 2012). El IDW es un método de interpolación espacial determinista, que supone que los puntos más próximos a la muestra son más parecidos entre sí, de tal forma que existe una relación lineal de similitud entre un punto de valor conocido y sus vecinos (Castro, Leiva, Bolados, y Figueroa, 2018).

Se realizó mapas de vientos de todas las fechas en las que se tiene las imágenes satelitales, en base a los datos de las estaciones meteorológicas automáticas usadas. Se usó la interpolación mediante distancia inversa ponderada (IDW) que se encuentra incorporado en las herramientas del software Arcgis 10.6 (Castro et al., 2018), para un mejor análisis se elaboró mapas de vientos para las 14 y 15 horas debido a que las estaciones brindan información cada hora.

b. Elaboración de rosas de vientos

Con el software WRplot se elaboró rosas de vientos para los días de adquisición de las imágenes satelitales, los datos usados fueron la velocidad, dirección del viento y la precipitación durante cada hora de los días de análisis de cada hora de los días de adquisición de las imágenes

satelitales de la estación Juliaca del SENAMHI. Adicionalmente con el mismo software se hizo gráficos de distribuciones de frecuencias de clases de viento. La estación JULIACA no registró datos del día 27 de abril, por ello no se realizó el análisis de esta fecha.

c. Relación entre la temperatura superficial y la velocidad del viento

Con el software Arcgis se extrajo los valores de velocidad del viento (obtenida del mapa de vientos) y temperatura superficial en 35 puntos tomados aleatoriamente dentro y fuera de la ciudad. Con esta información se realizó un análisis estadístico y se calculó el coeficiente de correlación y determinación (Espinoza y Tito, 2019).

3.3.3. Evaluación de la relación entre la temperatura superficial y la temperatura del aire

La temperatura del aire y la temperatura superficial están relacionadas debido al intercambio de calor entre el aire y la superficie de la tierra, existen diversos estudios que ratifican una buena relación lineal entre la temperatura del aire y la temperatura superficial derivada de los datos satelitales, sin embargo existe una variabilidad en la precisión dependiendo de la topografía y cobertura del suelo (Hadria et al., 2018).

En esta investigación se realizó un análisis de la relación entre la temperatura superficial y la temperatura del aire, utilizando un método comparativo entre datos de estaciones (en este caso puntos de toma de datos) meteorológicas y datos de imágenes satelitales (Soberón y Obregón, 2016). Para ello, se usó los resultados de los mapas de temperatura superficial de los datos satelitales y se realizó toma de datos en campo de la temperatura del aire en campo en 8 puntos de la ciudad de Juliaca, se añadió un punto para la estación JULIACA del SENAMHI. Con el software ArcGis se extrajo los valores de temperatura superficial en los 9 puntos de toma de datos de la temperatura del aire. Finalmente se realizó un análisis estadístico entre los resultados de la temperatura superficial y la temperatura del aire.

a. Medición de temperatura en campo

Para la medición de temperatura del aire en campo, primero se hizo la identificación de 8 puntos de toma de datos en zonas urbanas y semiurbanas de la ciudad de Juliaca y luego la recopilación de datos mediante instrumentos de medición de temperatura.

- **Identificación de puntos de recolección de datos**

Se tomaron 8 puntos de recolección de datos distribuidos en la ciudad de Juliaca de la siguiente manera: 4 puntos en el centro de la ciudad (zonas urbanas) y 4 puntos en la periferia de la ciudad (zonas semiurbanas). Con un GPS Navegador Garmin Map 64 se tomó las coordenadas de los 8 puntos de toma de datos, que se muestra en la tabla 3.3.

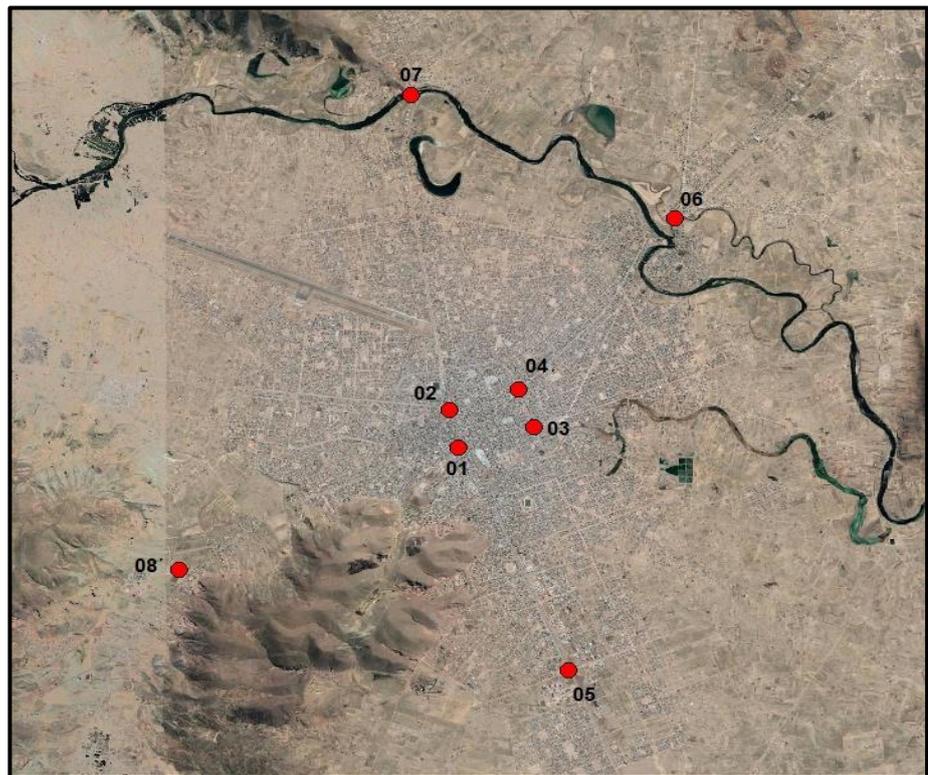


Figura 3.4. Fotografía satelital de la ubicación de puntos de recolección de datos en campo

Tabla 3.3

Características de puntos de recolección de datos en campo.

Punto	Referencia	Este	Norte
1	Parque del Inca (Jirón Cusco)	378477.55	8286785.82
2	Mercado Dominical (Jirón Cahuide)	379293.33	8287178.47
3	Terminal Terrestre (Centro Comercial Internacional Micaela Bastidas)	378618.31	8287519.78
4	Mercado Pedro Vilcapaza	379236.68	8287731.58
5	Salida Puno (ovaló de la UANCV)	380203.47	8282832.81
6	Salida Huancané (Puente Cacachi)	381792.29	8290830.15
7	Salida Cusco (Puente Maravillas)	377773.64	8292890.93
8	Salida Arequipa (UPeU)	374193.69	8284582.29

- **Toma de datos de temperatura del aire en campo**

Con un anemómetro termómetro digital se registró en un formato elaborado previamente, la temperatura y la intensidad de la velocidad de viento en los 8 puntos entre las 13:30 y 15:30 horas, cada 10 minutos debido a que el satélite Landsat 8 realiza la toma de datos aproximadamente a las 14:30 horas. Se monitorearon durante los días que se obtuvieron las imágenes satelitales Landsat 8.

- b. **Relación de temperatura superficial y temperatura del aire**

Se realizó un análisis estadístico para el análisis de correlación entre la temperatura superficial (obtenida de las imágenes satelitales) y la temperatura del aire (monitoreada en campo), los datos de los 8 puntos de monitoreo fueron correlacionados con los datos del pixel en donde se ubica cada estación de monitoreo.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Identificación de islas de calor urbano mediante mapas de temperatura superficial con imágenes satelitales

4.1.1. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

Los valores de NDVI alcanzaron valores mínimos de hasta -1, esto debido a que se presentan zonas con nubes o cuerpos de agua, al tratarse de una zona urbanizada (ciudad) en su mayoría no existe muchas áreas verdes y por ello los valores de NDVI predominan entre 0 y 0.4. Los valores máximos de NDVI llegan hasta 0.7 y en pocos lugares hasta los 0.8 como por ejemplo en el estadio de la ciudad de Juliaca, en su mayoría en la ciudad de Juliaca se observan bajos valores de NDVI. También se observa la reducción espacio-temporal de zonas de vegetación principalmente a partir del mes de junio. En el anexo 6 se presentan los mapas de NDVI que se obtuvieron a partir de las 10 imágenes satelitales trabajadas.

4.1.2. Proporción de vegetación (Pv)

La ciudad de Juliaca presenta valores muy bajos en vegetación, debido a que es una zona urbanizada. También se puede observar la disminución de los valores de la proporción de vegetación a partir de los meses de mayo y junio, siendo en este último mes la disminución más notoria y significativa. En el anexo 7 se presentan las proporciones de vegetación en las fechas mencionadas.

4.1.3. Emisividad de la superficie

Se identifica la disminución de los valores de emisividad a partir de junio, producto de la disminución de la vegetación en las zonas periféricas de la ciudad de Juliaca. Los valores de emisividad oscilan entre 0.963 y 0.98 en todas las imágenes usadas. En el anexo 8 se muestran los valores de emisividad en la zona de estudio.

4.1.4. Temperatura de brillo

Los valores de temperatura de brillo fueron usados para calcular la temperatura de la superficie del suelo. Las temperaturas de brillo más bajas se presentan en las imágenes de abril debido a la presencia de pequeñas nubes, que en su mayoría se encuentran fuera de Juliaca. En general, las temperaturas de brillo alcanzan valores máximos de 39°C en el mes de setiembre. En el anexo 5 se presentan los mapas de temperatura de brillo para las 10 imágenes satelitales

4.1.5. Temperatura de la superficie

Los resultados indican que las mayores temperaturas se presencian en setiembre y abril y las más bajas en julio, en su mayoría todas las fechas muestran una parecida tendencia respecto a la distribución de la intensidad de las temperaturas superficiales. Se observa que en la zona rural la temperatura es mayor en suelos desnudos y menor en lugares con vegetación presente; y en la zona urbana la temperatura se mantiene casi constante dentro de toda la ciudad.

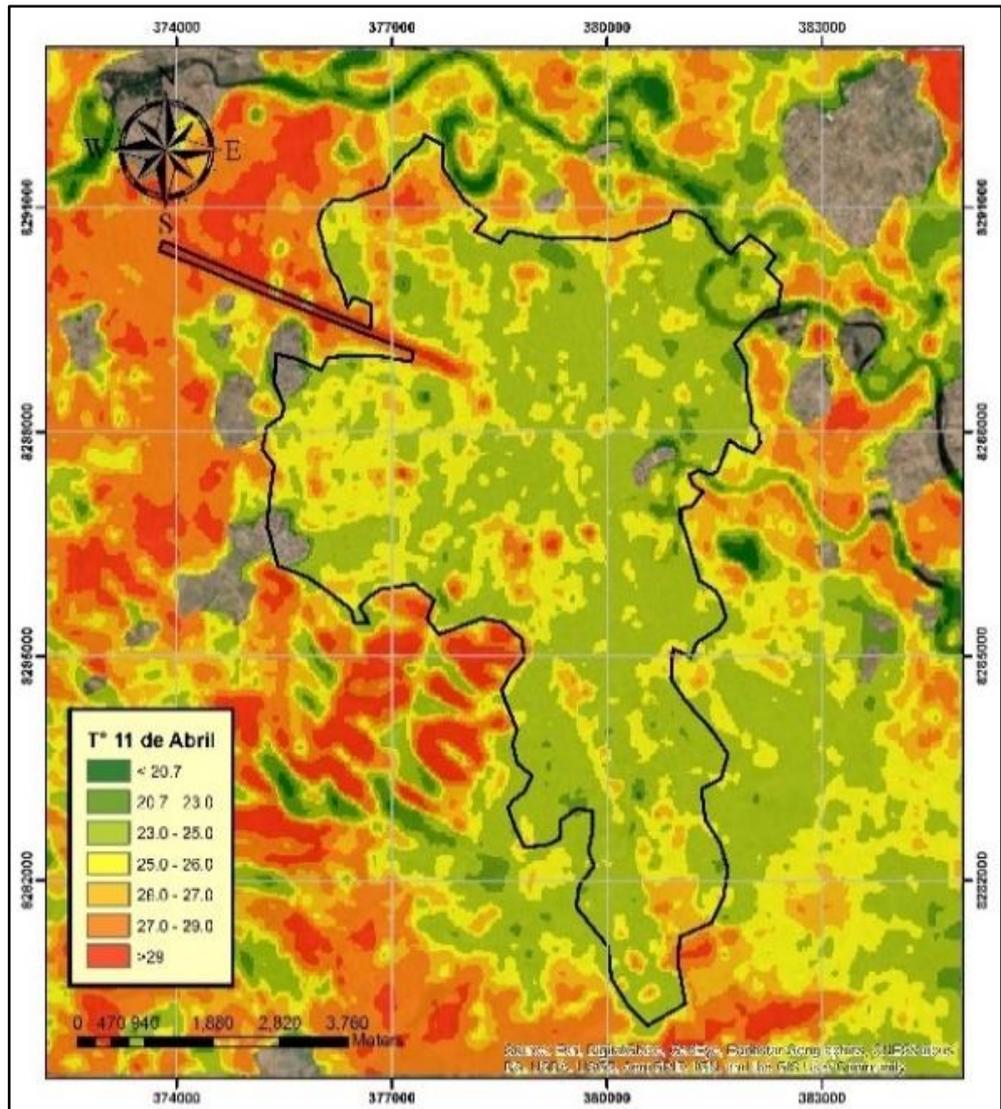


Figura 4.1. Temperatura de superficie del 11 de abril.

En la imagen del 11 y 27 de abril se presentaron pequeñas nubes, estas fueron enmascaradas y cortadas. La temperatura en ambas fechas presenta una diferencia promedio de 5 °C, siendo la fecha con mayores temperaturas el 11 de abril. La temperatura máxima en el mes de abril fue de 31.5 °C y se presentó en el centro de la ciudad, próximo al centro comercial Plaza Veá. En la figura 4.1 se muestra el comportamiento de la temperatura superficial del 11 de abril.

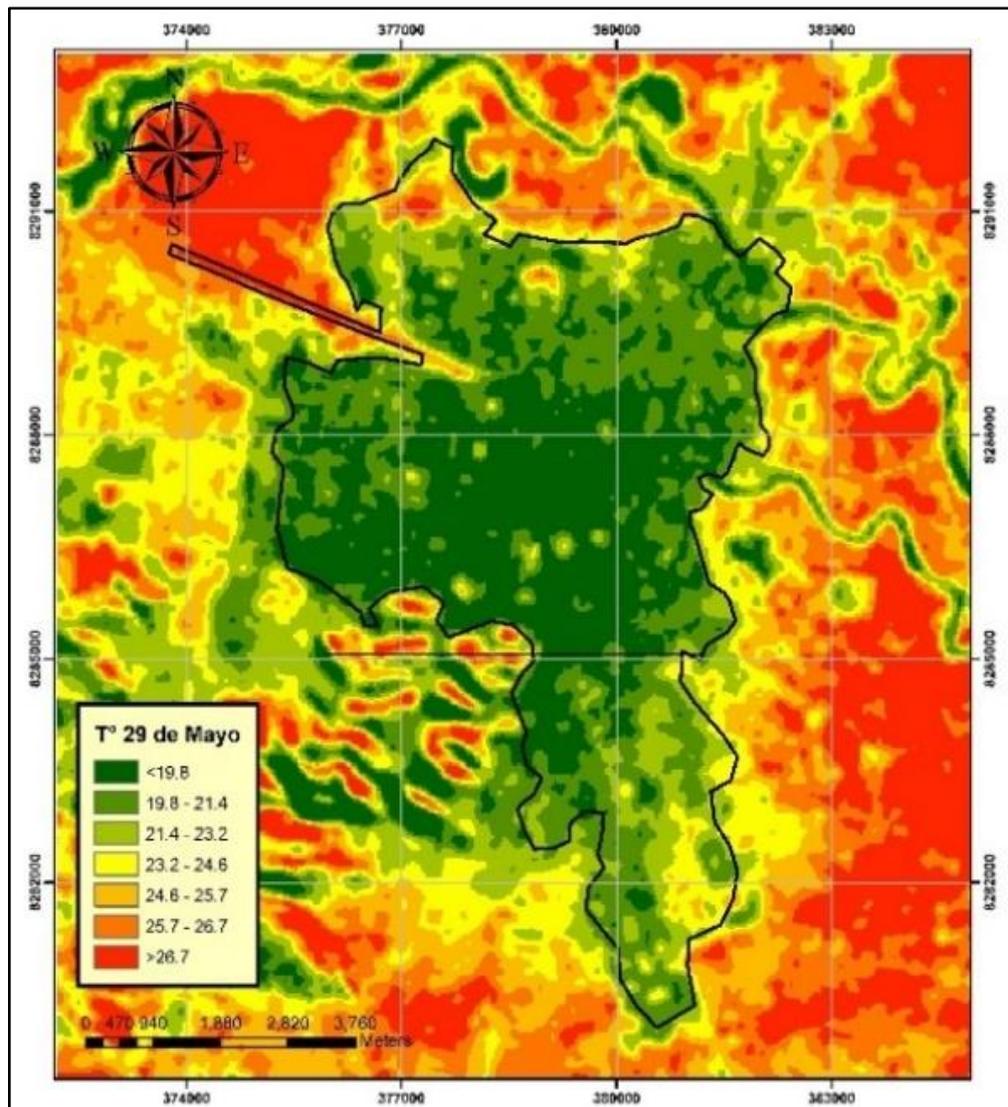


Figura 4.2. Temperatura de superficie del 29 de mayo.

En las imágenes del 29 de mayo y 14 de junio, la temperatura se mantuvo constante con una variación de 1 °C. La máxima temperatura se presentó el 29 de mayo, alcanzando valores de 28 °C. En la figura 4.2 se presenta la temperatura de superficie del 29 de mayo.

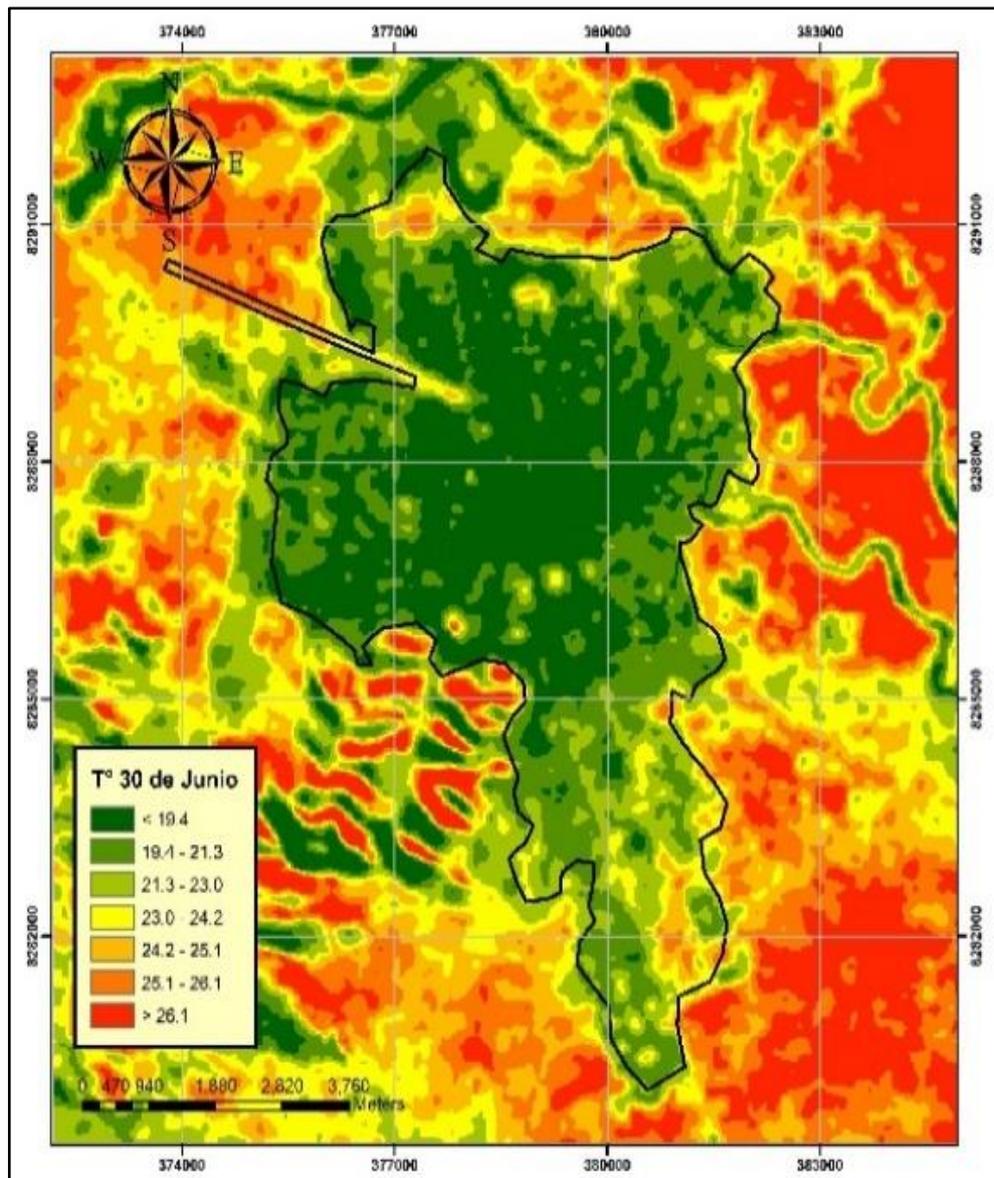


Figura 4.3. Temperatura de superficie del 30 de junio.

En las imágenes del 30 de junio y 16 de julio, la temperatura se mantuvo constante con una variación promedio de 1 °C. La máxima temperatura se presentó el 30 de junio, alcanzando valores de 26.6 °C. En la figura 4.3 se presenta la distribución de temperatura de superficie del 30 de junio en la ciudad de Juliaca y su periferia.

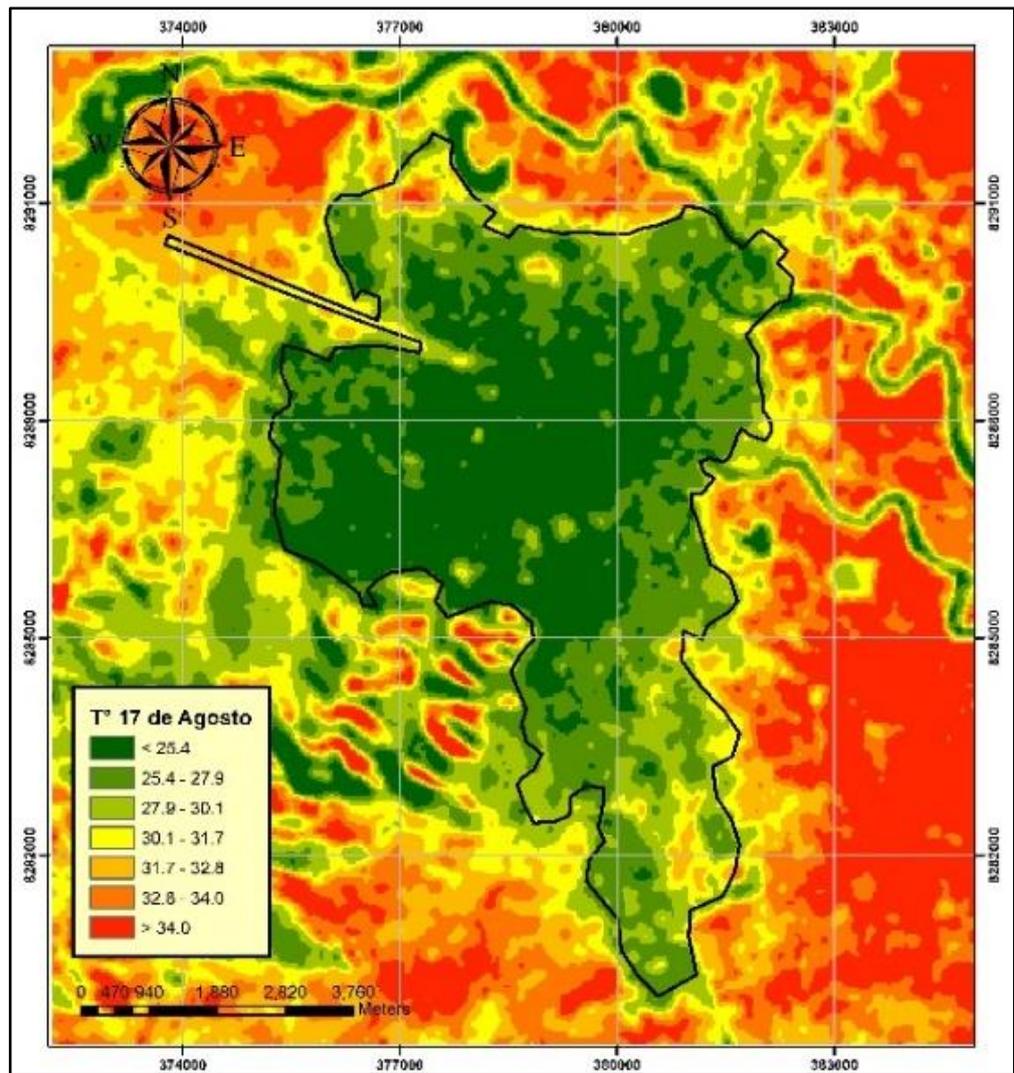


Figura 4.4. Temperatura de superficie del 17 de agosto.

En las imágenes del 1 y 17 de agosto, la temperatura presentó una variación promedio de 4 °C. La máxima temperatura se presentó el 17 de agosto, alcanzando valores de 34 °C. En la figura 4.4 se presenta la distribución de temperatura de superficie del 17 de agosto.

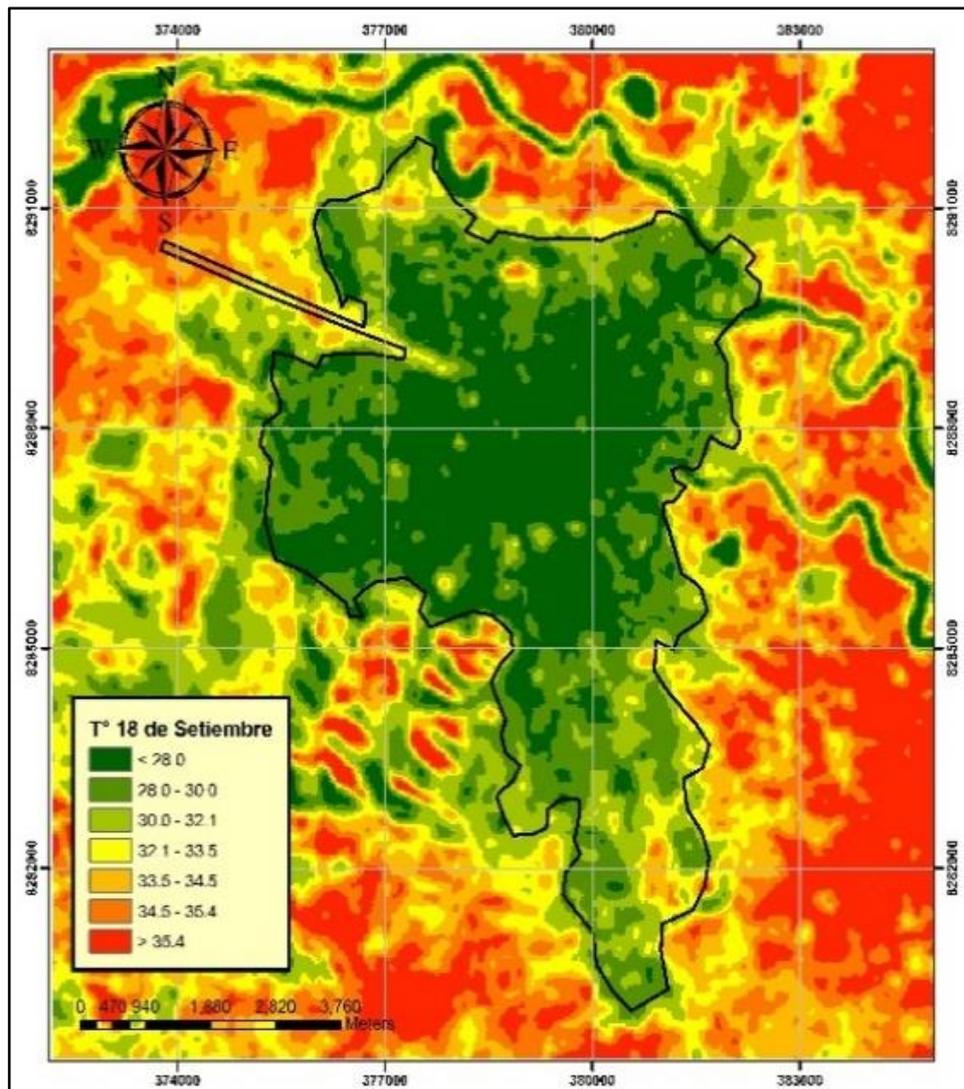


Figura 4.5. Temperatura de superficie del 18 de setiembre.

En las imágenes del 2 y 18 de setiembre, la temperatura presentó una variación promedio de 3.5 °C. La máxima temperatura se presentó el 18 de setiembre, alcanzando valores de 35.4 °C. En la figura 4.5 se presenta la distribución de temperaturas de superficie del 18 de setiembre.

4.1.6. Identificación de islas de calor urbano

Se presenta un promedio de las temperaturas de las 10 imágenes (figura 4.6) para identificar los lugares con incremento de temperatura. En lugares como plataformas o suelo asfaltado se presenta mayores temperaturas que en otros lugares, en general las avenidas principales (Avenidas Circunvalación y Huancané) de la ciudad presentan una mayor temperatura.

En los estadios se observa que la temperatura varía dependiendo del tipo de cubierta que tengan, el estadio rosa medina posee en su cubierta pasto natural que hace que la temperatura sea menor; sin embargo, estadios como san isidro y el Manuel A. Odría presentan cubiertas sintéticas y presentan temperaturas elevadas. En la tabla 4.1 se muestra estos lugares y se presenta además sus temperaturas promedio.

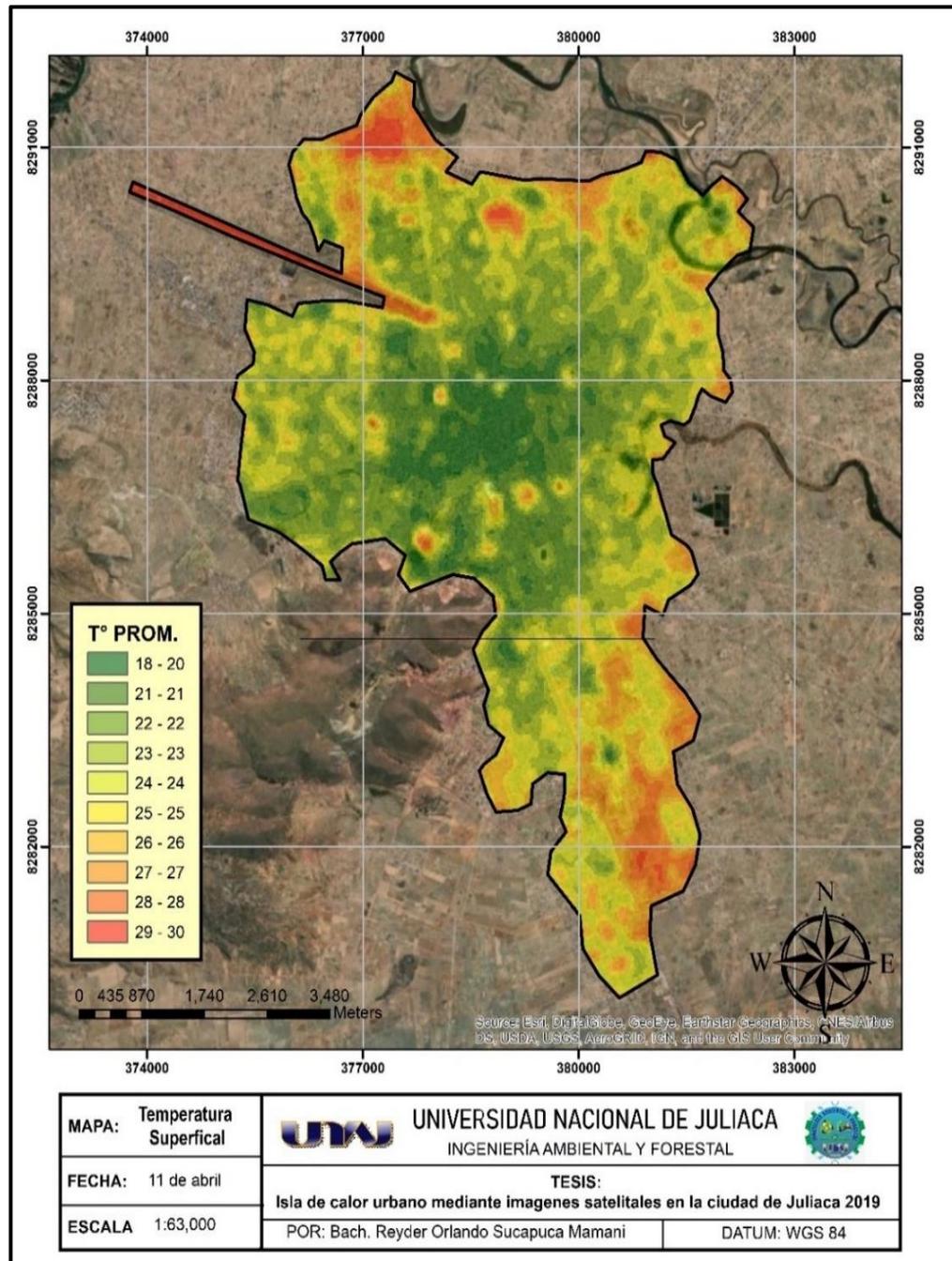


Figura 4.6. Temperatura superficial de la ciudad de Juliaca.

Tabla 4.1

Ubicación de islas de calor urbano en la ciudad de Juliaca

LUGAR	T (°C)	COORDENADAS UTM WGS84	
		ESTE	NORTE
Sociedad de Beneficencia Pública de la ciudad de Juliaca	24.8	378744.54	8285834.73
Cerro Huayna Roque	28.3	377866.12	8285903.52
Centro Comercial Plaza Vea	25.6	378818.62	8286379.78
Cuartel Francisco Bolognesi	26.0	379284.29	8286517.36
Estadio San Isidro	25.3	379744.68	8286643.30
Parque Cholo- Campo Ferial de Juliaca	24.4	377198.06	8287124.30
Estadio deportivo Politécnico de los Andes	26.1	377121.99	8287451.72
Estadio Manuel A. Odría	25.9	378081.12	8287802.30

- La Sociedad de Beneficencia Pública de la ciudad de Juliaca presenta una temperatura de 24.8 °C, esto podría deberse a que se encuentra cerca de un pequeño cerro cuya superficie se encuentra desnuda, es por ello que se presenta un incremento de temperatura.
- El cerro Huayna Roque presenta una temperatura promedio de 28.3 °C, posiblemente debido a la desnudez de su superficie y la escasa vegetación; si bien es cierto en este lugar no existe mucha presencia de viviendas y personas, sin embargo, la temperatura de este lugar influye a la temperatura de las zonas urbanísticas que se encuentran cercas a esta.
- El Centro Comercial Plaza Vea presenta una temperatura de 25.6 °C, esto podría deberse a que se encuentra adyacente a la estación de trenes de la ciudad de Juliaca y esta se encuentra con toda la superficie de suelo desnudo.
- El cuartel Francisco Bolognesi presenta una temperatura de 26 °C, posiblemente a la desnudez de suelo, a ello se adiciona la proximidad de un conjunto de lugares deportivos que cuentan con superficies sintéticas
- El parque Cholo y el campo Ferial de Juliaca presentan una temperatura promedio de 24.4 °C, posiblemente a que en el campo ferial se presencia suelo desnudo y a esto también influye la proximidad del estadio deportivo de la institución educativa Politécnico de los Andes. La ubicación del

“parque cholo” es muy próxima al campo ferial es por ello que las temperaturas del parque cholo también son altas, pero no se comparan con las temperaturas con suelos desnudos.

- El estadio Manuel A. Odría, el estadio San Isidro y el estadio deportivo Politécnico de los Andes presentan temperaturas altas, esto puede basarse a que cuentan con superficies de vegetación sintética, a comparación del Estadio Rosa Medina de Juliaca que cuenta con una cubierta de vegetación natural.

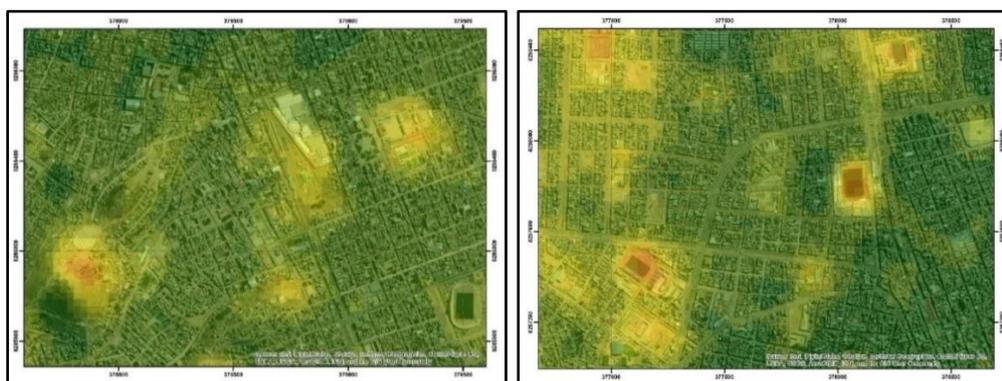


Figura 4.7. Islas de calor urbano de la ciudad de Juliaca.

Según El-Hattab et al. (2018), las zonas urbanas e industriales presentan mayores temperaturas superficiales debido a la presencia de vegetación en la zona semiurbana de estudio. Sin embargo, en esta investigación se encontró que la zona rural presenta mayor temperatura que la zona urbana, esto puede ocurrir debido a la desnudez y tipo del suelo en el distrito de Juliaca así como también la carencia de vegetación en las zonas rurales ya que en su mayor proporción corresponden a suelos desnudos; esto coincide con lo afirmado por Soberón y Obregón (2016). Menacho y Teruya (2019), encontraron relación entre la temperatura urbana y la vegetación en Lima, en esta investigación se identificó una relación entre la temperatura superficial y la vegetación, reafirmando lo afirmado anteriormente; la temperatura es menor en lugares con presencia de vegetación (a excepción de pastos sintéticos) y es mayor en lugares cubiertos de asfalto o suelos desnudos. Angeles et al. (2019), encontraron islas de calor urbano en Huancayo y Arequipa con intensidades máximas de 6.94 °C y 6.38 °C; Kotharkar y Bagade (2018), identificaron islas de calor urbano en Nagpur (India) con intensidades máximas de 4.9 °C; Soltani y Sharifi (2017), encontraron islas de calor urbano en Adelaide (Australia) con

intensidades máximas de 5.9°C; Cui et al. (2017), encontraron islas de calor urbano en Beijing con intensidades de hasta 8°C; Casillas et al. (2014), identificaron islas de calor urbano en México con intensidades máximas de 5.4 °C y Sarricolea y Martín (2014) en Chile con intensidades máximas de 5°C. En esta investigación la intensidad máxima promedio de la isla de calor urbano fue 6.12 °C, este valor es muy alto comparado con los valores de los demás autores a excepción de la isla de calor en Beijing con 8°C de intensidad máxima. Es evidente que la ausencia de vegetación influye enormemente en la intensidad de las islas de calor en la ciudad de Juliaca.

4.2. Estimación de la influencia del viento en la distribución de la temperatura urbana de la ciudad de Juliaca

4.2.1. Elaboración de mapas de vientos

A partir de los datos de velocidad y dirección del viento se obtuvieron mapas de vientos para las 14 y 15 horas (anexo 9). Se observó que los mapas de vientos no varían mucho respecto a las horas. En la tabla 4.2 se observa los valores promedios de la velocidad de viento a las 14 y 15 horas de los días de adquisición de las imágenes satelitales.

Tabla 4.2
Velocidad y dirección del viento

Fecha	Velocidad del viento (m/s) 14 horas	Velocidad del viento (m/s) 15 horas	variación
11/04/2019	4.65	5.74	1.09
27/04/2019	2.87	3.23	0.36
29/05/2019	3.02	3.06	0.04
14/06/2019	1.43	1.46	0.03
30/06/2019	1.06	2.46	1.4
16/07/2019	2.63	2.78	0.15
01/08/2019	1.73	2.01	0.28
17/08/2019	1.75	2.78	1.03
02/09/2019	1.37	2.33	0.96
18/09/2019	2.50	2.17	0.33

Se puede observar que no existe un cambio significativo a partir de los datos de velocidad del viento, los cambios más altos se presentan el 11 de abril, 30 de junio y el 17 de agosto. Las fechas con mayor velocidad de vientos fueron el 11 de abril y el 29 de mayo (Figuras 4.8 y 4.9) y el 02 de setiembre se registró las menores intensidades de vientos. Se puede apreciar todos los mapas de vientos de las 14 y 15 horas en el anexo 9.

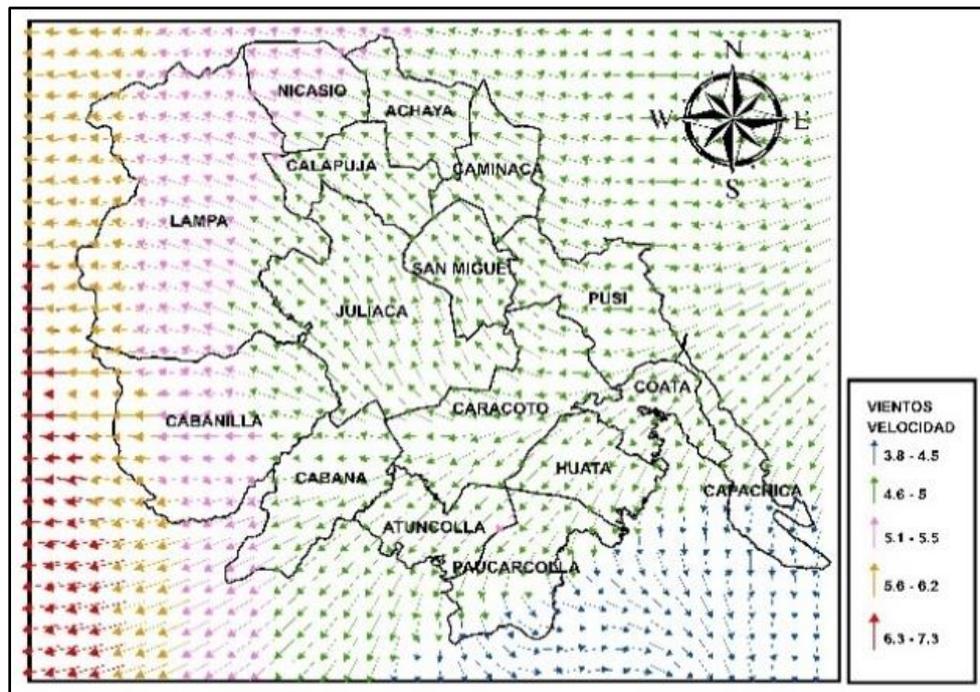


Figura 4.8. Vientos de las 14 horas del 11 de abril

El 11 de abril se registró velocidades máximas de viento, con valores de hasta 6.7 m/s en la ciudad de Juliaca, la dirección predominante fue nor-oeste. La figura 4.8 muestra los valores de velocidad y dirección del viento para el 11 de abril.

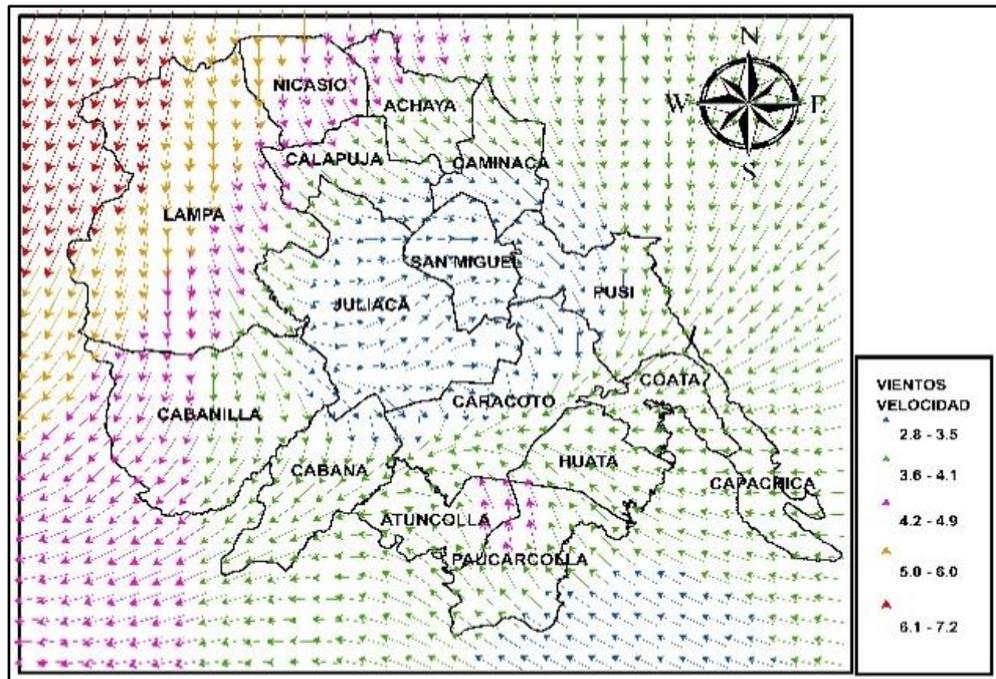


Figura 4.9. Vientos de las 14 horas del 29 de mayo

El 29 de mayo se registró velocidades máximas de viento, con valores de hasta 3.6 m/s en la ciudad de Juliaca, la dirección predominante fue nor-este. La figura 4.9 muestra los valores de velocidad y dirección del viento para el 29 de mayo.

4.2.2. Elaboración de rosas de vientos

La dirección del viento en la estación Juliaca es muy cambiante, sin embargo, se observa que las mayores velocidades de viento preferentemente se presentan en la dirección este. El 11 de abril se presenta mayores cambios y elevadas intensidades de velocidad del viento (figuras 4.10 y 4.11).

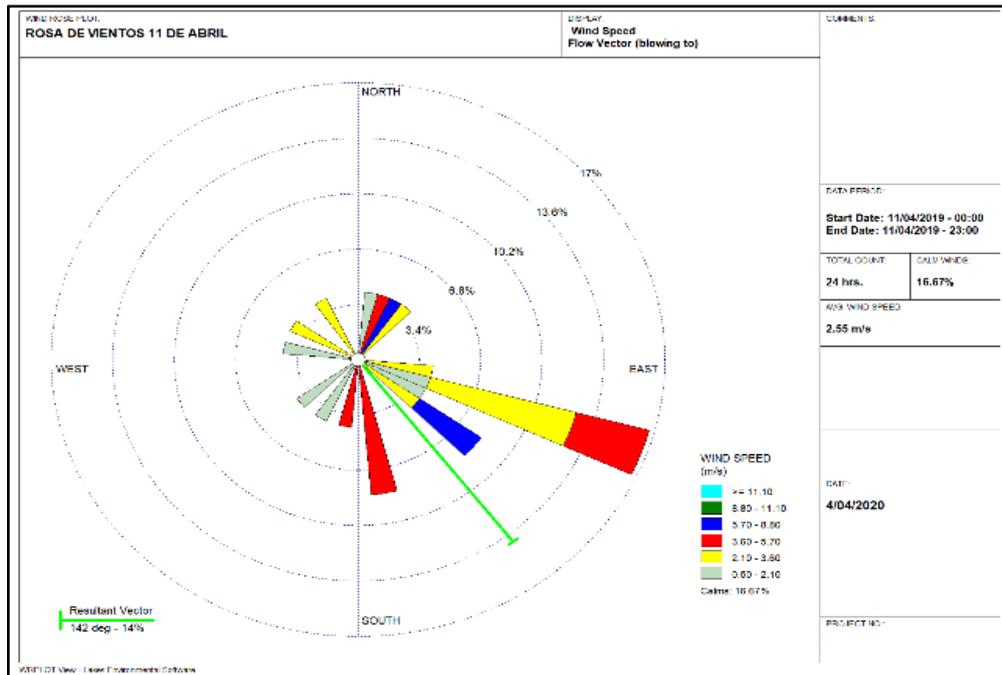


Figura 4.10. Rosa de vientos del 11 de abril

La figura 4.10 muestra la tendencia de la dirección y velocidad del viento para el 11 de abril, estos datos fueron tomados de la estación Juliaca. Los resultados indican que predominan las velocidades de viento entre 2.10 y 3.6 m/s, y las direcciones sur-este.

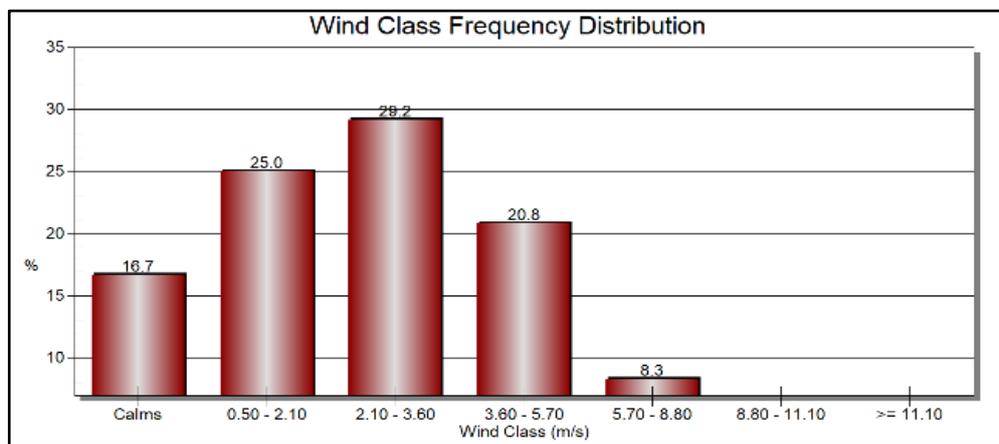


Figura 4.11. Frecuencia de la distribución del viento del 11 de abril

La figura 4.11 muestra la frecuencia de distribución de la velocidad del viento para el 11 de abril, estos datos fueron tomados de la estación Juliaca. Los resultados indican que predominan las velocidades de viento entre 2.10 y 3.6 m/s y durante todo el día, las velocidades del viento fueron bajas con tendencia a calmadas.

4.2.3. Relación entre la temperatura de superficie y la velocidad del viento

Tras un análisis de correlación que determinó el coeficiente de correlación de Pearson y el coeficiente de determinación (r y R^2 respectivamente) en 35 puntos tomados aleatoriamente dentro y fuera de la ciudad de Juliaca se observó que no existe relación entre la velocidad del viento y la temperatura en las fechas de análisis (anexo 12). Los coeficientes de Pearson oscilan entre -0.26 y 0.38 (tabla 4.3), esto indica que no existe una relación lineal entre estas dos variables, por lo tanto, se puede afirmar que la intensidad de la velocidad del viento no influye en la temperatura de superficie.

Tabla 4.3

Coefficientes de correlación entre la temperatura superficial y la velocidad del viento

	11	27	29	14	30	16	01	17	02	18
	Abr	Abr	May	Jun	Jun	Julio	Ago	Ago	Set	Set
r	0.34	0.20	-0.26	0.13	0.25	0.28	0.19	0.38	0.19	0.31
R²	0.12	0.04	0.07	0.02	0.06	0.08	0.03	0.14	0.04	0.10

Las intensidades de los vientos no influyeron en la temperatura superficial de Juliaca, con un máximo coeficiente de correlación de Pearson de 0.38 (Tabla 4.3); esto coincide con lo indicado por Rumela y Zaquinaula (2020) que afirman no hay una relación significativa entre la velocidad del viento y la radiación solar. Pizarro, Hormazabal, Gonzalez y Yañez, (1994) indican que no existe relación entre la velocidad de viento y la temperatura superficial, y que en lugares con fuertes intensidades de vientos la relación entre estas dos variables se da días después. En general es un tanto complejo determinar la relación de estas variables en una distribución espacial, esto debido a la falta de datos de puntos en función de la extensión del área de estudio. En esta investigación se tomó en cuenta la variable viento y su posible influencia en la temperatura superficial de una manera descriptiva y comparativa.

4.3. Evaluación de la relación de la temperatura superficial y la temperatura del aire

Los datos de temperatura de aire fueron procesados y se analizó el comportamiento de la temperatura entre las 14 y 15 horas. El análisis correlacional se hizo desde dos perspectivas: En el primer análisis se verificó el comportamiento de las variables T° del aire y T° superficial en función de las fechas de la toma de datos, tratando de identificar si la variabilidad temporal influye en este análisis correlacional. En el segundo análisis se utilizó ambas variables en función de la extensión geográfica, es decir referente a la distribución geográfica en toda el área de estudio, teniendo en cuenta que fueron 9 puntos de recopilación de datos.

4.3.1. Análisis de correlación en función de la variabilidad temporal

Según el análisis de correlación de la temperatura del aire y la temperatura superficial en función de la variabilidad del clima, es decir, en función de las fechas en que se realizaron las recopilaciones de datos en campo. Las variables T° del aire y T° superficial no muestran correlaciones altas. Según la tabla 4.4 durante la fecha 11 de abril se presenta el mayor coeficiente de determinación de 0.47.

Tabla 4.4

Coefficientes de correlación entre la Temperatura superficial y temperatura del aire en función del tiempo

	11-Abr	27-Abr	29-May	14-Jun	30-Jun	16-Jul	1-Ago	17-Ago
r	0.69	0.38	-0.03	-0.58	0.05	-0.40	-0.26	-0.45
R²	0.47	0.15	0.01	0.34	0.01	0.16	0.07	0.20

4.3.2. Análisis de correlación en función de la distribución espacial

Según el análisis de la correlación de la temperatura del aire y la temperatura superficial en función de la distribución de los puntos. Las variables T° del aire y T° superficial muestran correlaciones más altas en los puntos que se ubican en la periferia de la ciudad que los puntos ubicados dentro de la ciudad. Según la tabla 4.5, se presenta un mayor coeficiente de determinación en el punto 6 (Salida Huancané) con un coeficiente de relación de 0.74.

Tabla 4.5

Coefficientes de correlación entre la temperatura superficial y temperatura del aire en función de la ubicación

	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	P-7	P-8	P-9
r	0.26	0.12	0.61	0.39	0.61	0.74	0.68	0.68	0.66
R²	0.07	0.01	0.37	0.16	0.37	0.55	0.46	0.46	0.44

Los resultados muestran que no existe un buen nivel de correlación entre la temperatura superficial y la temperatura del aire en función de la variabilidad temporal, esto coincide con lo afirmado por Soberón y Obregón (2016) que justifican la baja relación entre estas variables debido a que la temperatura superficial depende de otros factores como la radiación, vegetación, el tipo de material de la superficie, el albedo entre otros. La baja correlación entre estas variables puede deberse a la altitud en la que se encuentra la ciudad de Juliaca; según Soto y Delgado G. (2020), la temperatura superficial y del aire se correlacionan mejor a nivel del mar, esta correlación va disminuyendo en función aumente la altitud, también afirman que la vegetación influye en esta correlación. Por otra parte, existe mejor relación en función de la distribución geográfica (específicamente en los puntos periféricos); alcanzando un coeficiente de correlación de Pearson de 0.74, esto coincide con lo afirmado por Recondo y Pérez (2002), quienes obtuvieron un coeficiente de correlación de 0.8 para 38 estaciones de monitoreo, esto puede deberse a que en estos puntos no influye mucho factores como la radiación, vegetación, el tipo de material de la superficie y el albedo como lo afirman Soberón y Obregón (2016).

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

En base a las temperaturas máximas de las islas de calor urbano, que fueron: en la sociedad de la Beneficencia Pública (24.8 °C) , en el sector del cerro Huayna Roque (28.3 °C), en el centro comercial Plaza Veá (25.6), en el cuartel Francisco Bolognesi (26°C), en el Sector del “parque cholo” (24.4 °C) y en los estadios sintéticos de la ciudad de Juliaca (26.1 °C); así también, las zonas de la plaza de armas, el mercado Vilcapaza y en general el centro de la ciudad muestran un ligero incremento de temperatura que en los alrededores. Se concluye, que el incremento de temperatura en el centro de la ciudad puede estar justificado principalmente en la superficie de asfalto en las calles y avenidas, también por las infraestructuras y por el parque automotor en la ciudad de Juliaca.

Según los resultados obtenidos para el segundo objetivo específico, con un coeficiente máximo de correlación de 0.38 entre la velocidad del viento y la temperatura de superficie; se concluye que, la intensidad del viento no influye en la temperatura de superficie. Sin embargo, esta afirmación aún debe ser analizada con mayor rigurosidad ya que es necesario realizar el análisis de estas variables con un número mayor y significativo de puntos de toma de datos. Los valores de velocidad fueron muy bajos en las fechas de estudio; sin embargo, el viento es una variable cambiante y no tan predecible.

A partir de los resultados de la relación entre la temperatura del aire y la temperatura superficial, que presentan coeficientes de correlaciones máximos de 0.74 y 0.68 en los puntos de salida Huancané y salida Cusco respectivamente; se concluye que, la temperatura del aire y la temperatura superficial presentan mayor relación en los

lugares ubicados en la periferia de la ciudad. Esto puede deberse a la presencia de edificaciones, así como también pistas y veredas, añadidas a estos el parque automotor en la ciudad de Juliaca. Estudios previos indican que estas dos temperaturas presentan menor relación conforme incrementa la altitud en las zonas de estudio, los resultados obtenidos pueden justificarse en esa afirmación; sin embargo, es necesario la implementación de estaciones meteorológicas en la ciudad de Juliaca para poder obtener una mayor variedad cantidad de datos de campo referentes a temperaturas de aire.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda realizar el estudio de las islas de calor urbano frente al comportamiento de diversos parámetros atmosféricos y la calidad de aire en la ciudad de Juliaca. También, realizar un estudio comparativo entre diferentes imágenes satelitales o sensores remotos o vehículos aéreos no tripulados (Drones). En Juliaca, se debe implementar el número de estaciones meteorológicas para un mejor análisis del comportamiento de algunos parámetros atmosféricos y las islas de calor urbano.

Para la mitigación de los efectos de las islas de calor urbano, se recomienda a las autoridades de la ciudad de Juliaca, la implementación de políticas para la reducción de este fenómeno perjudicial para la población. También, la implementación de estrategias en el control y ordenamiento del crecimiento urbano, actividades que se realizan en la ciudad de Juliaca y la distribución urbana. Es necesario que en el Plan de Desarrollo Urbano de la ciudad de Juliaca se considere las futuras áreas verdes y se prevea espacios para parques y jardines, principalmente en lugares con un incremento de temperatura, para poder mitigar los efectos negativos de las islas de calor urbano en la ciudad de Juliaca

Se recomienda la implementación de vegetación adaptada a las condiciones de la ciudad de Juliaca, especies como: *Cassia hookeriana Gill*, *Cupressus macrocarpa Hartw*, *Cytisus canariensis (L) O. Kuntze*, *Pinus radiata D. Don*, *Polylepis incana HBK* y otros que no presenten inconvenientes en el crecimiento dentro de la ciudad. La implementación debe realizarse principalmente en los lugares con presencias de

islas de calor urbano, principalmente en: la Avenida Huancané, Avenida Circunvalación, Parque Cholo (Urbanización la Capilla), entre otros.

La Municipalidad provincial de San Román debe tener en consideración los resultados de esta investigación para poder identificar puntos estratégicos al momento de realizar la implementación de las áreas verdes en la ciudad de Juliaca. También debe realizar el seguimiento del comportamiento de la temperatura urbana en la ciudad de Juliaca, para poder identificar si con el tiempo aparezcan nuevas islas de calor urbano o lugares con elevadas temperaturas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akbari, H. (2005). Energy Saving Potentials and Air Quality Benefits of Urban Heat Island Mitigation. *Solar Energy*, 1–19. <https://doi.org/DE-AC02-05CH11231>
- Ángeles, J., Ángeles, R., Flores, J., & Abi, H. (2019). Estimación de Isla de Calor Urbana Superficial en el Area Metropolitana de Iquitos/Peru. *Anuário Do Instituto de Geociências - UFRJ*, 42, 135–145. <https://doi.org/10.11137/2019>
- Angeles Suazo, J. M., Flores Rojas, J. L., Abi. Karam, H., Arana Mallma, G. R., & Angeles Vasquez, R. J. (2019). Isla de Calor Urbana Superficial en las Áreas Metropolitanas de Huancayo y Arequipa/Perú. *Anuário Do Instituto de Geociências - UFRJ*, 42, 197–207. Retrieved from https://repositorio.igp.gob.pe/bitstream/handle/IGP/4765/Angeles_2019_Anuario-do-Instituto-de-Geociencias.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Arellano, B., & Roca, J. (2015). Planificación urbana y cambio climático. *Internacional Conference on Regional Science: Innovation and Geographical Spillovers: New Approaches and Evidence*, 18. Retrieved from [http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/84561/Planificación urbana y cambio climático.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/84561/Planificación%20urbana%20y%20cambio%20climático.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ariza, A. (2013). Descripción y Corrección de Productos Landsat 8. In *INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI*. Bogotá, Colombia.
- Avdan, U., & Jovanovska, G. (2016). Algorithm for automated mapping of land surface temperature using LANDSAT 8 satellite data. *Journal of Sensors*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/1480307>
- Bautista, R., Constante, P., Gordon, A., & Mendoza, D. (2019). Diseño e implementación de un sistema de visión artificial para análisis de datos NDVI en imágenes espectrales de cultivos de brócoli obtenidos mediante una aeronave pilotada remotamente. *Infociencia*, 12(1), 30. <https://doi.org/10.24133/infociencia.v12i1.1230>
- Bek, M. A., Azmy, N., & Elkafrawy, S. (2018). The effect of unplanned growth of urban areas on heat island phenomena. *Ain Shams Engineering Journal*. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2017.11.001>

- Bellet S., C., & Olazabal S., E. (2020). Formas De Crecimiento Urbano De Las Ciudades Medias Españolas En Las Últimas Décadas. *Terr Plural*, 14, 1–19.
<https://doi.org/10.5212/terraplural.v.14.2013229.013>
- Boyero, L., Lecuona, J., Canay, T., Tapia, R., Robertazzi, M., & Datri, L. (2019). *Variación de la isla de calor urbana regulada por el arbolado en una ciudad del valle inferior del río Limay (Neuquén)*. 9(1), 142–146. Retrieved from
https://asadep.com.ar/_files/200000114-c84e3c84e6/34_Boyero_CAEP_itu2.pdf
- Carrión, F. (2001). Las nuevas tendencias de la urbanización en América Latina. In F. Carrión (Ed.), *La Ciudad Construida: Urbanismo en América Latina* (pp. 7–24). Quito, Ecuador: Alicia Torres.
- Casillas, Á., & Rafael, G. (2009). Microclima Urbano La Isla Urbana de Calor. *Congreso Nacional de Estudiantes de Posgrado Del Instituto de Ingenieria, UABC*.
- Casillas Higuera, A., García Cueto, R., Leyva Camacho, O., & Gonzalez Navarro, F. F. (2014). Detección de la Isla Urbana de Calor mediante Modelado Dinámico en Mexicali, B.C., México. *Informacion Tecnologica*, 25(1), 139–150.
<https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000100015>
- Castro, S. A., Leiva, N. G., Bolados, M., & Figueroa, J. A. (2018). Riqueza y distribución de la flora urbana de Santiago de Chile: una aproximación basada en interpolación IDW. *Caderno de Pesquisa*, 30(1), 41–54. <https://doi.org/10.17058/cp.v30i1.12198>
- Choquehuanca Huanca Andrés. (2014). Distritalización: una solución para el desarrollo de Juliaca. *Espacio y Desarrollo*, 26, 143–164.
- Chuvienco, E. (2010). *Teledetección Ambiental*. Barcelona, España: Ariel Ciencia.
- Coelho, A. L. N., & Correa, W. de S. C. (2013). Temperatura De Superfície Celsius Do Sensor Tirs/Landsat-8: Metodologia E Aplicações. *Revista Geográfica Acadêmica*, 7(1), 31. <https://doi.org/10.18227/1678-7226rga.v7i1.2996>
- Colunga, M. L., Cambrón-Sandoval, V. H., Suzán-Azpiri, H., Guevara-Escobar, A., & Luna-Soria, H. (2015). The role of urban vegetation in temperature and heat island effects in Querétaro city, Mexico. *Atmósfera*, 28(3), 205–218.

- Conde, C., Pabón, D., & Sánchez, R. (2013). La importancia de la información climática para la planificación del crecimiento y el desarrollo urbano. In S. Roberto (Ed.), *Respuestas urbanas al cambio climático en América Latina*. Santiago, Chile.
- Córdova Sáez, K. (2012). Impacto de las islas térmicas o islas de calor urbano, en el ambiente y la salud humana. Análisis estacional comparativo: Caracas, octubre-2009, marzo-2010. *Terra. Nueva Etapa*, 27(42).
- Cui, Y., Yan, D., Hong, T., & Ma, J. (2017). Temporal and spatial characteristics of the urban heat island in Beijing and the impact on building design and energy performance. *Energy*, 130, 286–297. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.053>
- Damonte, G., Cabrera, A., & Miranda, F. (2017). *Problemas vinculados al cambio y variabilidad climáticos y modelos ejemplares de adaptación por regiones en el Perú*. Lima, Perú: Proyecto: FORGE.
- Echebarría Miguel, C., & Aguado Moralejo, I. (2003). La planificación urbana sostenible. *Zainak. Cuadernos de Antropología-Etnografía*, 1(24), 643–660.
- El-Hattab, M., Amany, S. M., & Lamia, G. E. (2018). Monitoring and assessment of urban heat islands over the Southern region of Cairo Governorate, Egypt. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 21(3), 311–323. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2017.08.008>
- EPA, E. P. A. (2008). *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Estrategies Urban Heat Island Basics*. Retrieved from <https://www.epa.gov/heat-islands/%0Aheat-island-compendium>.
- Espinoza Gomez, A., & Tito Meza, S. K. (2019). *Distribución espacial de las partículas en suspensión PM10 en relación al viento y la temperatura del aire en la zona sur del cercado del Callao*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Callao.
- Esri. (2012). An overview of the Interpolation toolset. Retrieved from http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/An_overview_of_the_I nterpolation_tools/009z00000069000000/.
- Evans, J. M., & Schiller, S. De. (2005). Lislra de calor en ciudades con clima cálido-húmedo. El caso de Tampico, México. *Avances En Energías Renovables y Medio Ambiente*, 9, 37–42.

- Franco, R. (2017). *Composiciones Landsat en Arcgis. Guía Básica*. Bogotá, Colombia.
- Frick, D. (2014). *Una Teoría del Urbanismo*. Bogotá, Colombia: Universidad del Rosario.
- Gálvez, J. A. (2014). Criterios para la planificación y el diseño de corredores fluviales urbanos para la mitigación de la isla de calor. *Memoria Del Congreso Nacional Del Medio Ambiente, 2014*, 1–24.
- García, F. F., & Martilli, A. (2012). El clima urbano: aspectos generales y su aplicación en el área de Madrid. *Revista Índice, 50*, 21–24.
- González Tamarit, L. (2001). El regreso a la ciudad construida. La recuperación de la ciudad. In F. Carrión (Ed.), *La Ciudad Construida: Urbanismo en América Latina* (pp. 25–48). Quito, Ecuador: Alicia Torres.
- Guerrero Escamilla, J. B., Rangel Martínez, Y., & López Pérez, S. (2017). Predicción del calentamiento global mediante el desarrollo de un modelo de series de tiempo. *Ambiente y Desarrollo, 21*(40), 125–139.
- Habibi, S., & Asadi, N. (2011). Causes, results and methods of controlling urban sprawl. *Procedia Engineering, 21*, 133–141. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.1996>
- Hadria, R., Benabdelouahab, T., Mahyou, H., Balaghi, R., Bydekerke, L., El Hairech, T., & Ceccato, P. (2018). Relationships between the three components of air temperature and remotely sensed land surface temperature of agricultural areas in Morocco. *International Journal of Remote Sensing, 39*(2), 356–373. <https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1385108>
- Hanco Vilavila, A. M. (2017). *Concentración de material particulado menores a 10 micrómetros y gestión ambiental con áreas verdes en la ciudad de Juliaca*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano.
- Hantson, S., Chuvieco Salinero, E., Pons, X., Domingo, C., Cea, C., Moré, G., ... Tejeiro, J. (2011). Cadena de pre-procesamiento estándar para las imágenes Landsat del Plan Nacional de Teledetección. *Revista de Teledetección: Revista de La Asociación Española de Teledetección, (36)*, 51–61.
- Henry, J. G., & Heinke, G. W. (1999). Crecimiento Poblacional y Económico. In G. W. Heinke (Ed.), *Ingeniería Ambiental*. Monterrey, México: Pearson Educación.

- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), (2017). *Resultados definitivos de los Censos Nacionales*.
- Irons, J. R., Dwyer, J. L., & Barsi, J. A. (2012). The next Landsat satellite: The Landsat Data Continuity Mission. *Remote Sensing of Environment*, 122, 11–21.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.08.026>
- James, W. (2002). Caminos verdes: investigación en adoquines permeables. *Stormwater*, 3 (2), 40–48.
- Kotharkar, R., & Bagade, A. (2018). Evaluating urban heat island in the critical local climate zones of an Indian city. *Landscape and Urban Planning*, 169(December 2016), 92–104. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.08.009>
- Labrador, M., Évora, J. A., & Arbelo, M. (2012). *Satélites de Teledetección para la Gestión del Territorio*. Canarias, España: Litografía Romero.
- Lattes, A. E. (2001). La ciudad construida. Urbanismo en América Latina. In F. Carrión (Ed.), *Población urbana y urbanización en América Latina* (pp. 49–76). Quito, Ecuador: Alicia Torres.
- Levermore, G., Parkinson, J., Lee, K., Laycock, P., & Lindley, S. (2017). Urban Climate The increasing trend of the urban heat island intensity. *Urban Climate*, 2–10.
<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2017.02.004>
- Mcgranahan, G., & Satterthwaite, D. (2015). Conceptos y tendencias de la urbanización. *Medio Ambiente y Urbanización*, 82(1), 9–39.
- Menacho, E., & Teruya, S. (2019). Análisis de la relación de la isla de calor urbano con factores demográficos, espaciales y ambientales de Lima metropolitana usando sensores remotos. *Anales Científicos*, 80(1), 60–75.
- Méndez Pérez, I. R., & Gómez Azpeitia, G. (2015). Conceptos Generales. In A. Tejada Martínez & G. Gómez Azpeitia (Eds.), *Prontuario Solar de México* (pp. 11–27). Colima, México: Universidad de Colima.
- Mohajerani, A., Bakaric, J., & Jeffrey-Bailey, T. (2017). The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete. *Journal of Environmental Management*, 197, 522–538.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.095>

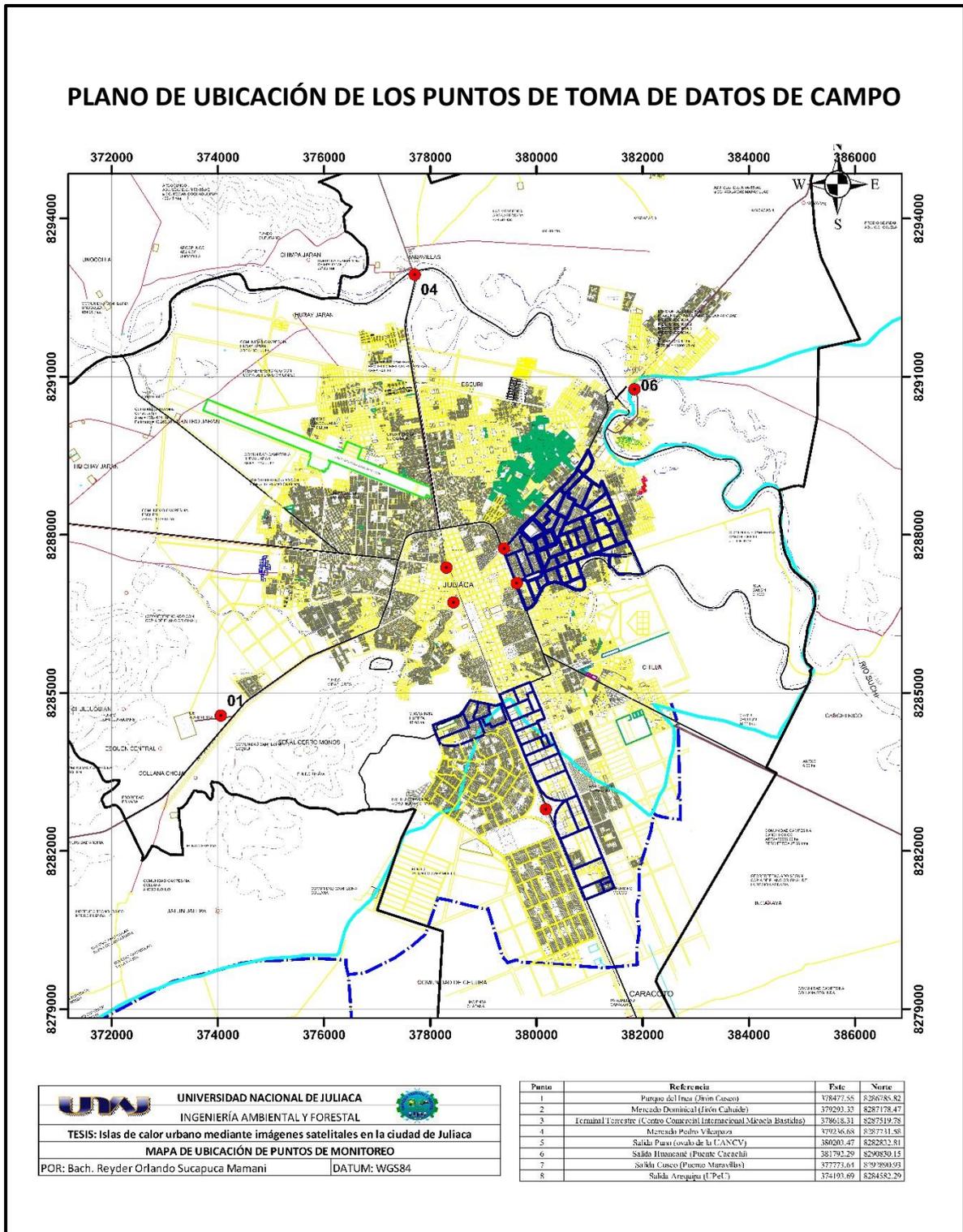
- Moreno, C., & Serra, J. (2016). El estudio de la isla de calor urbana en el ámbito mediterráneo: una revisión bibliográfica. *Biblio3W*, XXI (179). Retrieved from <http://www.ub.edu/geocrit/b3w-1179.pdf>
- Moreno García, C. (1999). *Climatología Urbana* (Edicions U). Barcelona, España.
- Olaya, V. (2014). *Sistemas de Información Geográfica*.
- Palacio, C. A., & Jiménez, J. F. (2012). Climatología urbana y de montañas. *Dyna*, 79, 61–69.
- Peña, M. (2007). El efecto de isla de calor urbano en Santiago. *Ecoamerica*, 7, 18–21.
- PIZARRO A, O., HORMAZABAL F, S., GONZALEZ C, A., & YAÑEZ R, E. (1994). Variabilidad del viento, nivel del mar y temperatura en la costa norte de Chile. *Investigaciones Marinas*, 22, 85–101. <https://doi.org/10.4067/s0717-71781994002200007>
- Porras Vásquez, P. (2018). *Detección de núcleos de islas de calor en la Ciudad de Arequipa*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina. Retrieved from <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3204>
- Quijano Pérez, S. A., Ramírez Velásquez, I. M., & González Manosalva, J. L. (2017). Gradiente térmico en la ciudad de Medellín y su relación con el crecimiento urbano: estudio de caso. *Producción + Limpia*, 12(2), 159–168. <https://doi.org/10.22507/pml.v12n2a13>
- Recondo González, C., & Pérez Morandeira, C. (2002). Obtención de la temperatura del aire en Asturias a partir de la temperatura de superficie calculada con imágenes NOAA-AVHRR. *Revista de Teledetección: Revista de La Asociación Española de Teledetección*, (17), 5–12.
- Revilla, T., & Natalia, S. (2016). *Análisis de la relación de la isla de calor urbano con factores demográficos, especiales y ambientales de Lima Metropolitana usando sensores remotos*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina. Retrieved from <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3107>
- Roca, G., Puliafito, S., Kurbán, A., & Cúnsulo, M. (2013). Categorías urbanísticas y climáticas integradas para estudios microclimáticos del confort térmico urbano. *Asociación de Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente*, 1(11), 93–101.

- Roy, D. P., Wulder, M. A., Loveland, T. R., C.E., W., Allen, R. G., Anderson, M. C., ... Zhu, Z. (2014). Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. *Remote Sensing of Environment*, 145, 154–172.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.001>
- Rumela, I., & Zaquinaula, A. (2020). *Revista Latinoamericana de Difusión Científica la ciudad de Bagua , Perú (de marzo a octubre , 2019)*. 23.
- Santamouris, M. (2015). Analyzing the heat island magnitude and characteristics in one hundred Asian and Australian cities and regions. *Science of the Total Environment*, 512, 582–598. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.060>
- Sarricolea, P., & Martín-Vide, J. (2014). El estudio de la Isla de Calor Urbana de Superficie del Área Metropolitana de Santiago de Chile con imágenes Terra-MODIS y Análisis de Componentes Principales. *Revista de Geografía Norte Grande*, (57), 123–141. <https://doi.org/10.4067/s0718-34022014000100009>
- Sedra, J. B., & García, R. C. (2000). El uso de los Sistemas de Información Geográfica en la planificación territorial. *Anales de Geografía de La Universidad Complutense*, 20, 49–67.
- Serra Pardo, J. A. (2007). Estudio de la isla de calor de la ciudad de Ibiza. *Investigaciones Geográficas*, 44, 55–73.
- Soberón, V. S., & Obregón, E. (2016). Identificación de islas de calor en la ciudad de Lima Metropolitana utilizando imágenes del Satélite Landsat 5TM. *Anales Científicos*, 77(1), 34–44. <https://doi.org/10.21704/ac.v77i1.475>
- Soltani, A., & Sharifi, E. (2017). Daily variation of urban heat island effect and its correlations to urban greenery: A case study of Adelaide. *Frontiers of Architectural Research*, 6(4), 529–538. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2017.08.001>
- Soria, M. V., & Matar de Saavis, M. A. (2016). *Nociones sobre Teledetección*. San Juan, Argentina: Laboratorio de procesamiento de imágenes y SIG, Instituto de Investigaciones mineras.
- Soto-Estrada, E. (2019). Estimation of the urban heat island in medellin, Colombia. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 35(2), 421–434.
<https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.02.13>

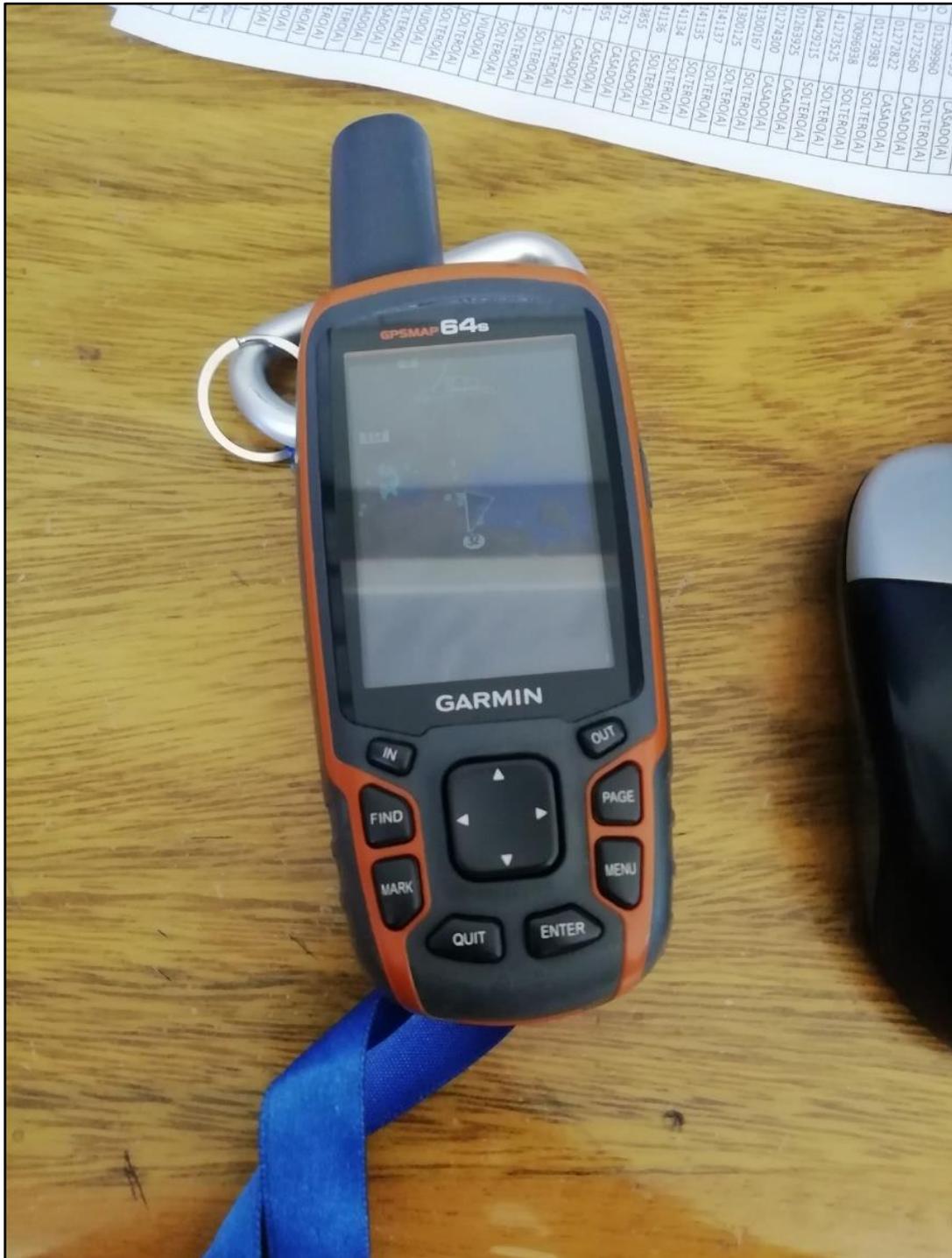
- Soto, V. H., & Delgado G., H. (2020). Dos años de observaciones de temperatura superficial del aire y del suelo en la vertiente norte del volcán Pico de Orizaba, México. *Acta Universitaria*, 30, 1–16. <https://doi.org/10.15174/au.2020.2427>
- Stathopoulou, M., Cartalis, C., & Petrakis, M. (2007). Integrating Corine Land Cover data and Landsat TM for surface emissivity definition: Application to the urban area of Athens, Greece. *International Journal of Remote Sensing*, 28(15), 3291–3304. <https://doi.org/10.1080/01431160600993421>
- Survey United States Geological, U. (2017). Landsat Data Access. Retrieved from https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-data-access?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con
- Villarreal, D., & Candanedo, M. (2020). Efecto de las islas de calor urbano en las principales vías de la Ciudad de Panamá. *I+D Tecnológico*, 16(2). <https://doi.org/10.33412/idt.v16.2.2829>
- Xu, H., Chen, Y., Dan, S., & Qiu, W. (2011). Dynamical Monitoring and Evaluation Methods to Urban Heat Island Effects Based on RS & GIS. *Procedia Environmental Sciences*, 10(Esiat), 1228–1237. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.09.197>
- Yang, L., Qian, F., Song, D. X., & Zheng, K. J. (2016). Research on Urban Heat-Island Effect. *Procedia Engineering*, 169, 11–18. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.10.002>
- Zhang, J., Wang, Y., & Li, Y. (2006). A C++ program for retrieving land surface temperature from the data of Landsat TM/ETM+ band6. *Computers and Geosciences*, 32(10), 1796–1805. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2006.05.001>
- Zhang, Y., Yiyun, C., Qing, D., & Jiang, P. (2012). Study on Urban Heat Island Effect Based on Normalized Difference Vegetated Index:A Case Study of Wuhan City. *Procedia Environmental Sciences*, 13, 574–581. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.01.048>

ANEXOS

ANEXO 1: PLANO DE UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE TOMA DE DATOS DE CAMPO



ANEXO 2: GPS Navegador “GARMIN” usado para georreferenciar los puntos de la toma de datos.



ANEXO 3: Toma de datos de temperatura del aire en la ciudad de Juliaca



a) Punto parque del Inca, b) Punto Vilcapaza, c) Punto Terminal Terrestre, d) Punto salida Cuzco



e) Punto Mariano Nuñez, f) Punto Salida Puno, g) Punto Terminal Terrestre, h) Punto Salida Huancané

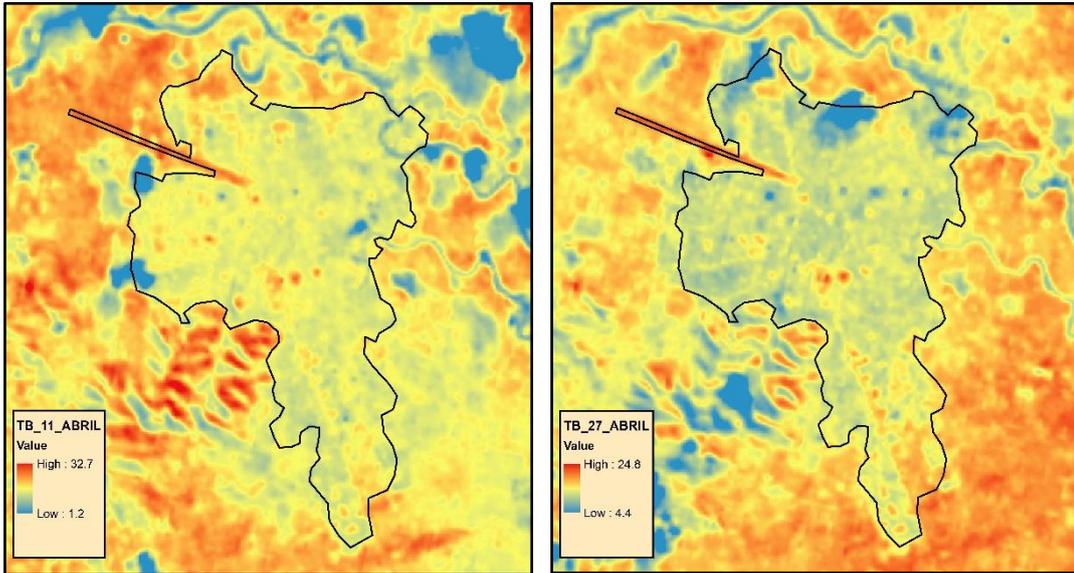
ANEXO 4: Formato para recopilación de datos de campo

TESIS: Isla de Calor Urbano en la ciudad de Juliaca mediante imágenes satelitales 2019

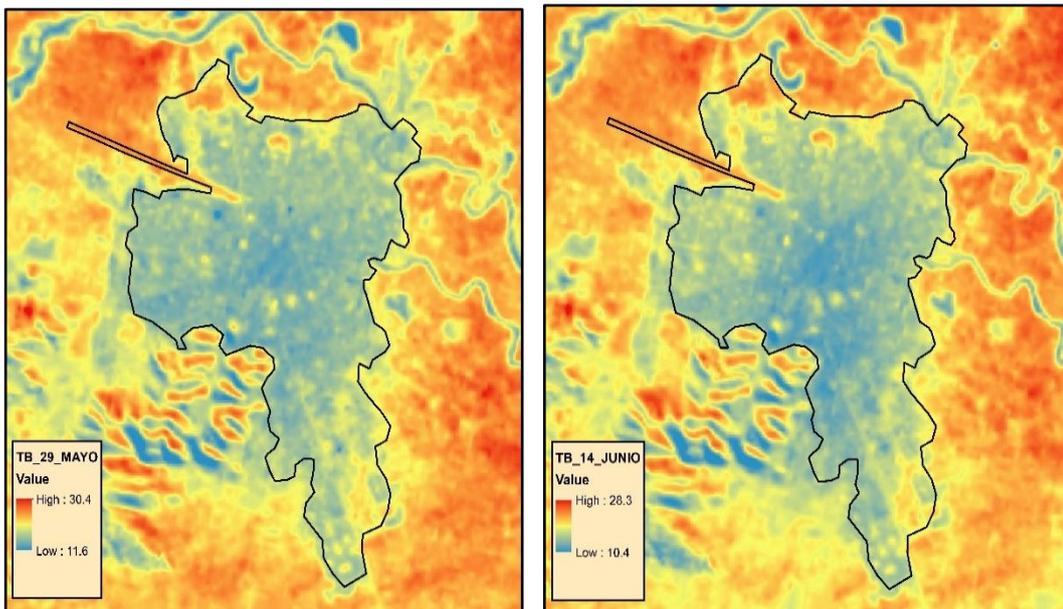
NOMBRE Y APELLIDO DEL MONITORISTA:	
---	--

ESTACIÓN N° 07 SALIDA CUSCO			
TEMPERATURA		VIENTO	
HORA	VALOR	HORA	VALOR
01:30		01:30	
01:40		01:40	
01:50		01:50	
02:00		02:00	
02:10		02:10	
02:20		02:20	
02:30		02:30	
02:40		02:40	
02:50		02:50	
03:00		03:00	
03:10		03:10	
03:20		03:20	
03:30		03:30	

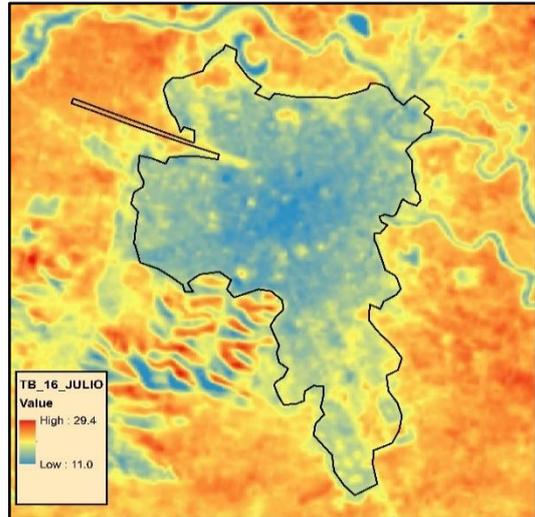
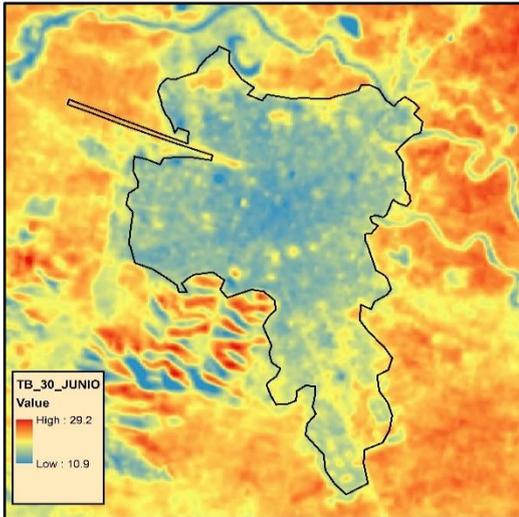
ANEXO 5: Temperatura de brillo del sensor.



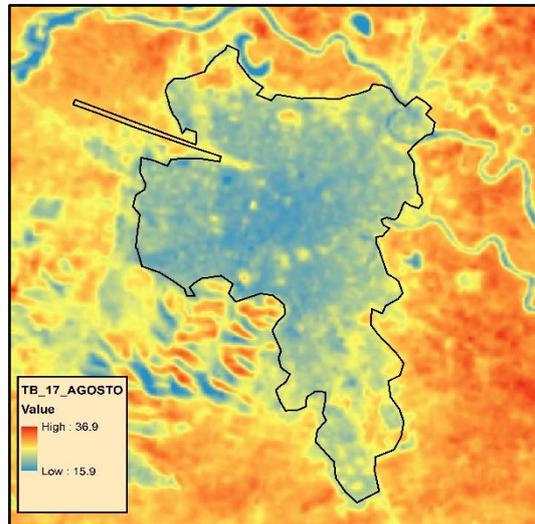
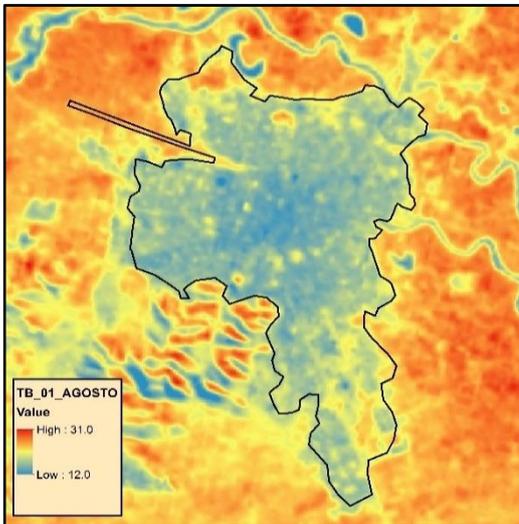
Temperatura de brillo del 11 de abril y 27 de abril



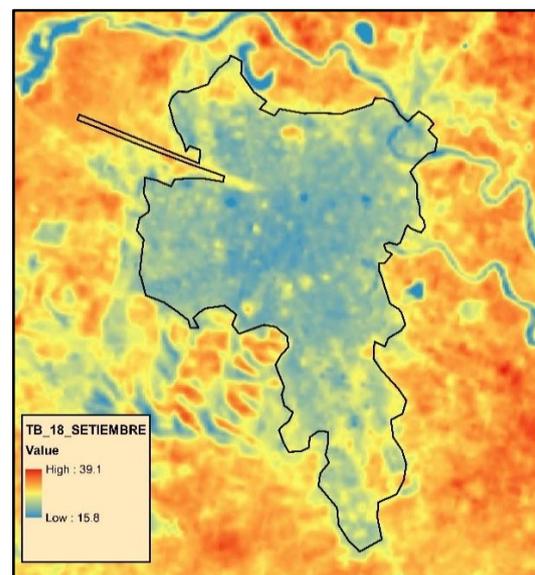
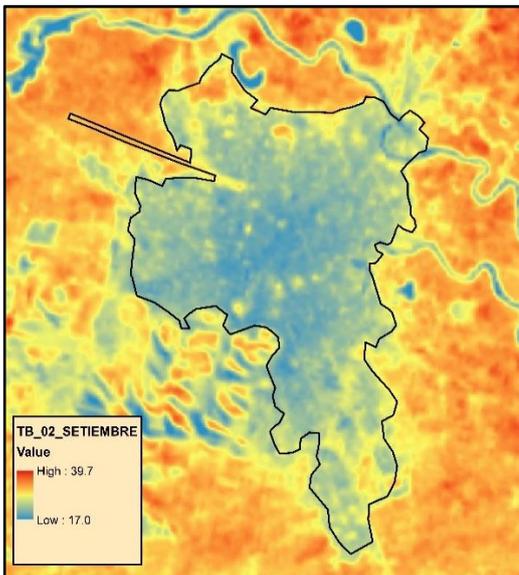
Temperatura de brillo del 29 de mayo y 14 de junio



Temperatura de brillo del 30 de junio y 16 de julio

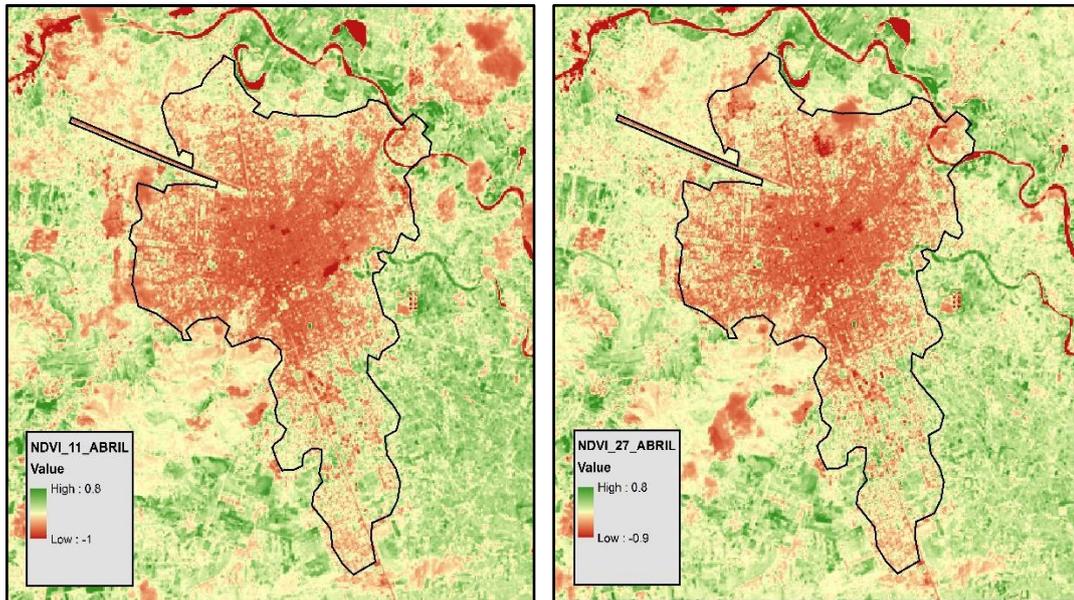


Temperatura de brillo del 01 de agosto y 17 de agosto

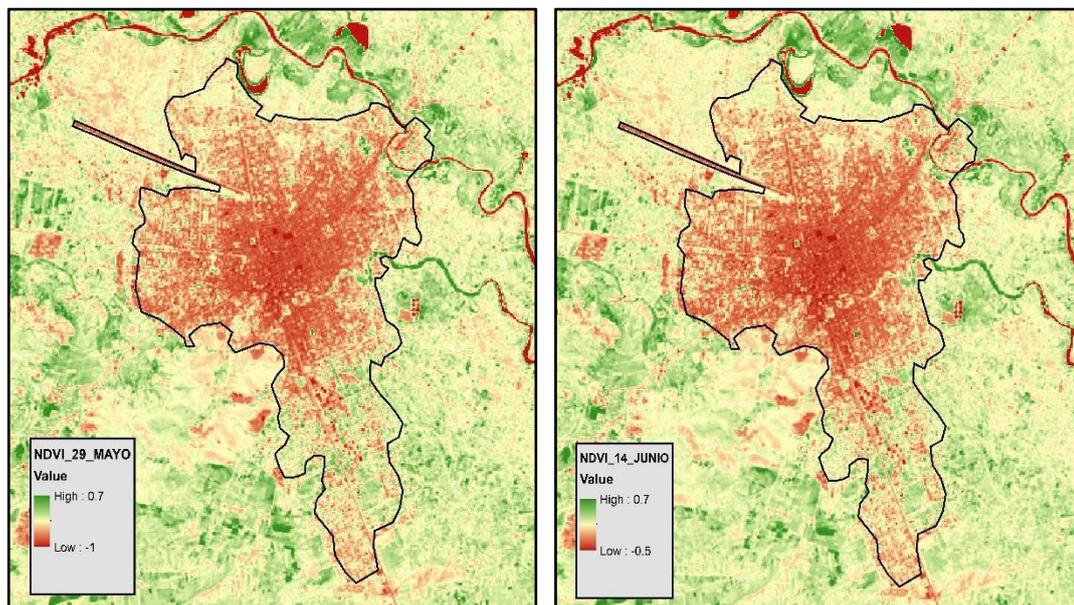


Temperatura de brillo del 02 de setiembre y 18 de setiembre

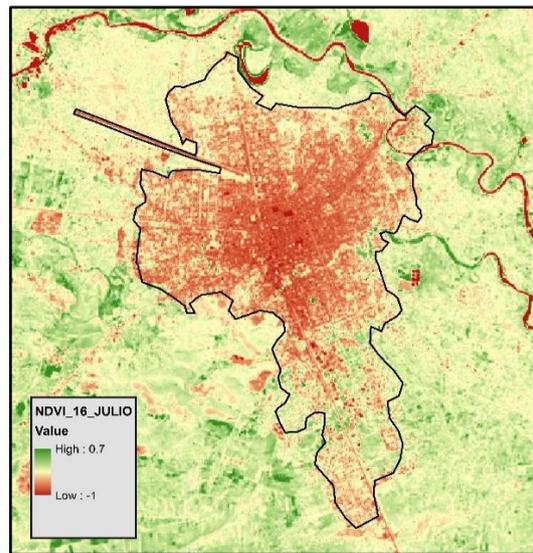
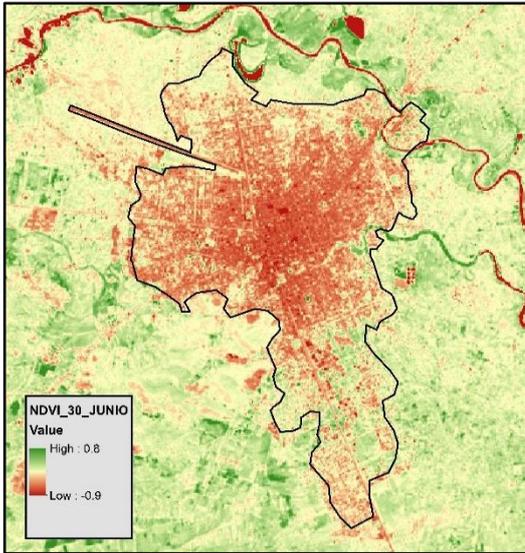
ANEXO 6: Índice de Vegetación de diferencia normalizada (NDVI)



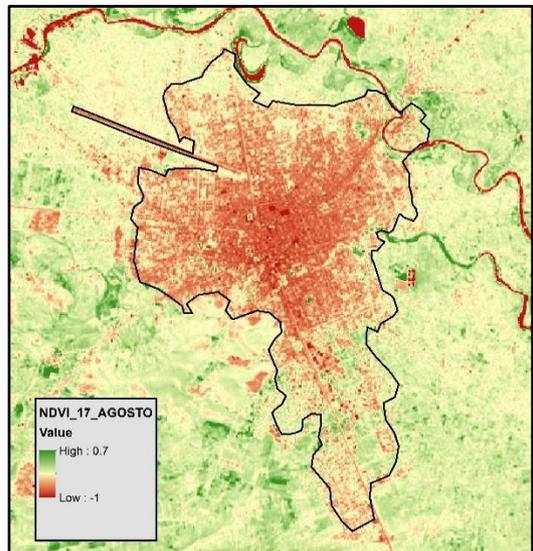
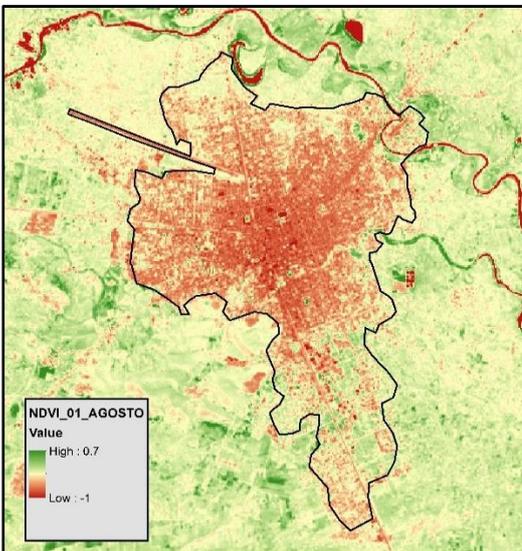
NDVI del 11 de abril y 27 de abril



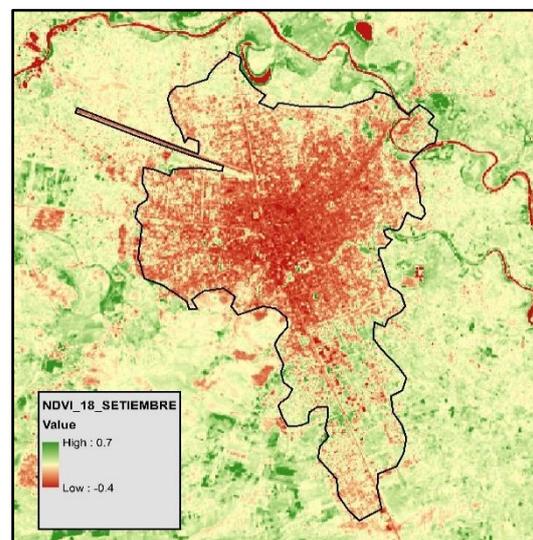
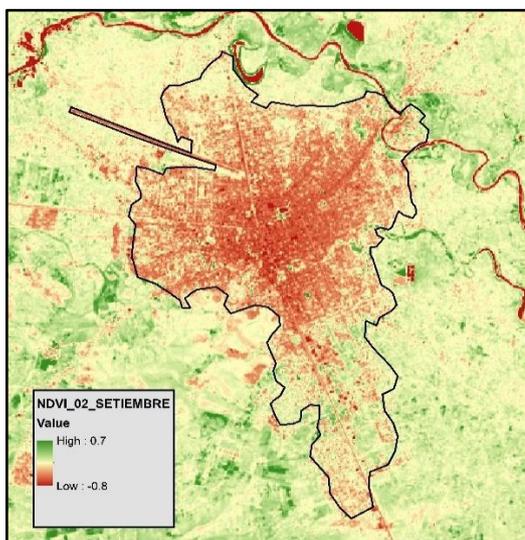
NDVI del 29 de mayo y 14 de junio



NDVI del 30 de junio y 16 de julio

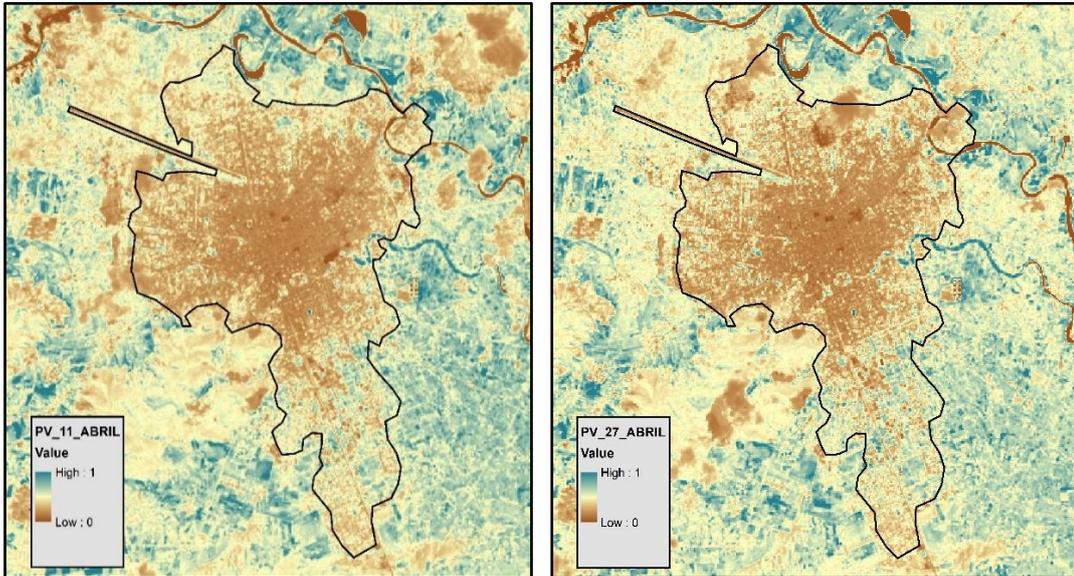


NDVI del 01 de agosto y 17 de agosto

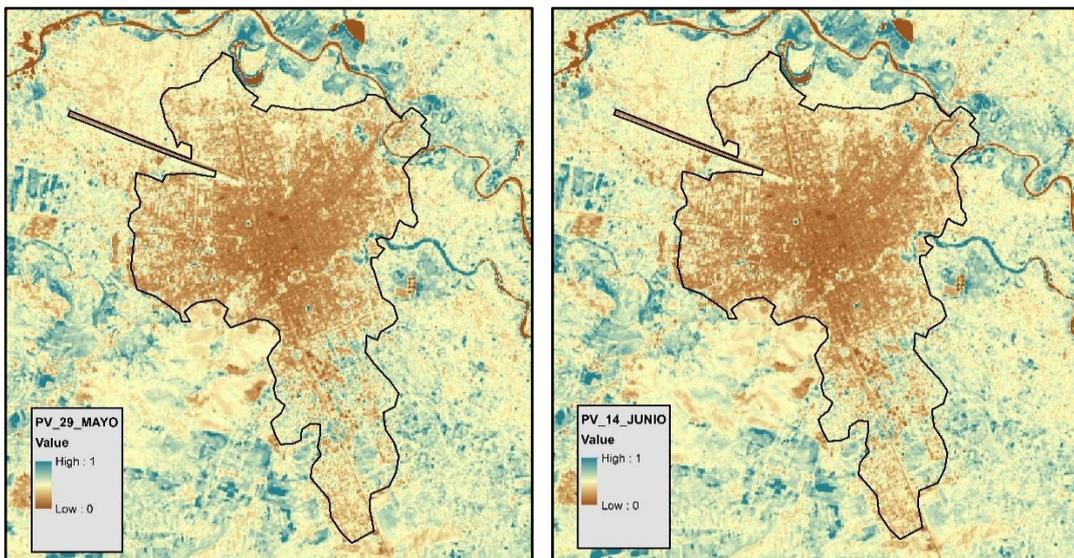


NDVI del 02 de setiembre y 18 de setiembre

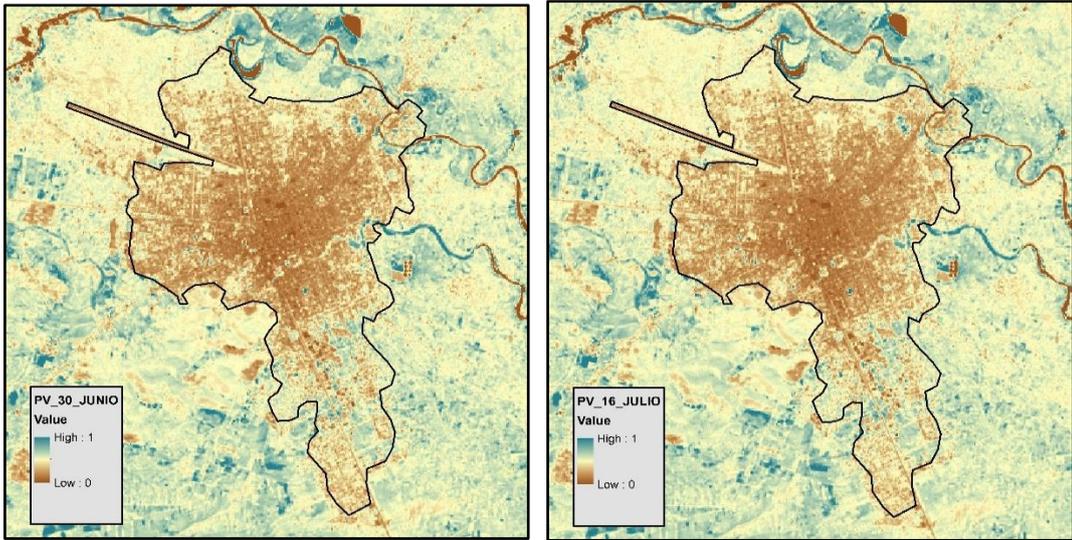
ANEXO 7: Potencial de vegetación (PV)



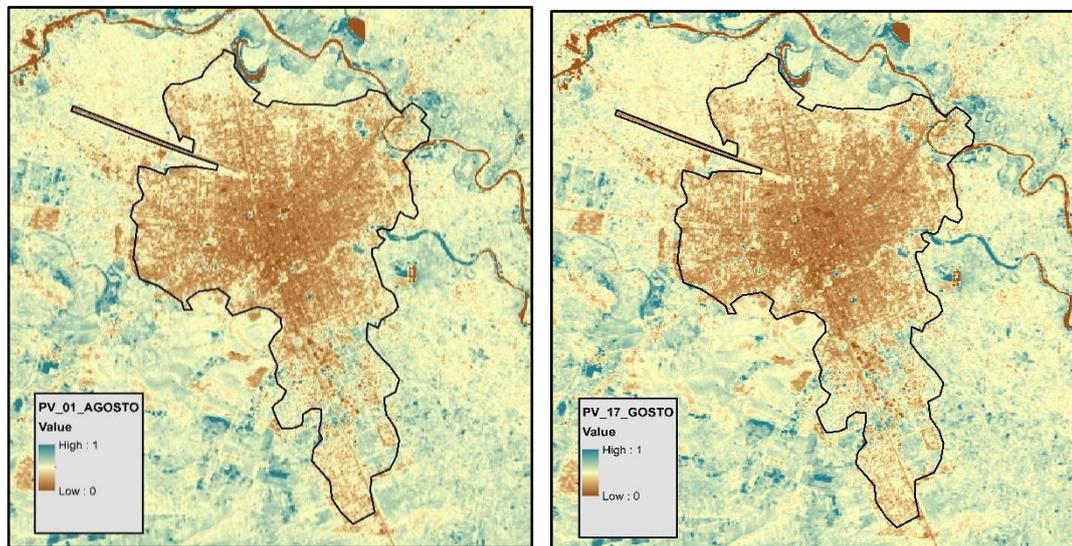
Potencial de vegetación del 11 de abril y 27 de abril



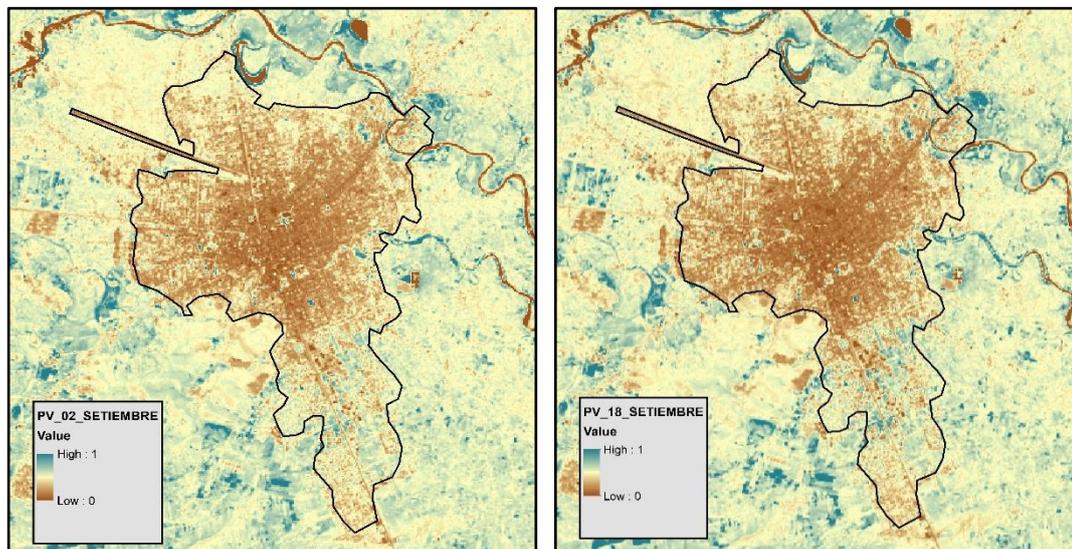
Potencial de vegetación del 29 de mayo y 14 de junio



Potencia de vegetación del 30 de junio y 16 de julio

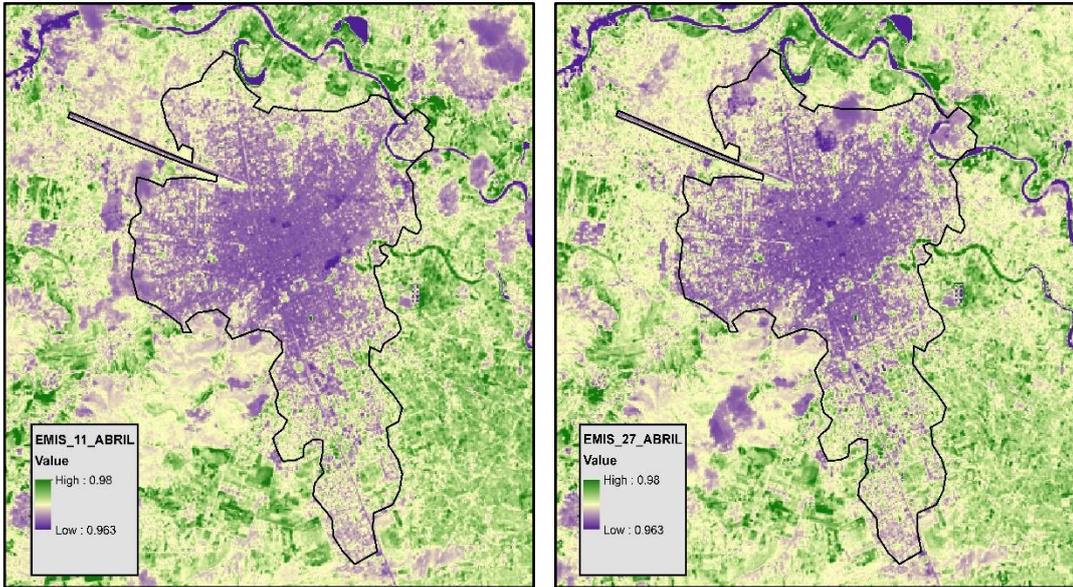


Potencia de vegetación del 01 de agosto y 17 de agosto

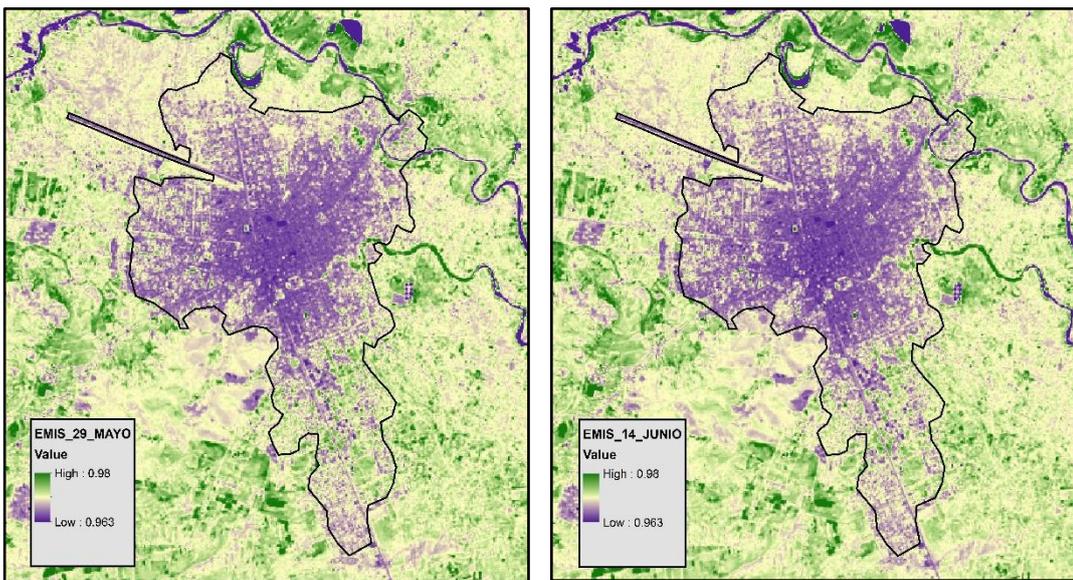


Potencia de vegetación del 02 de setiembre y 18 de setiembre

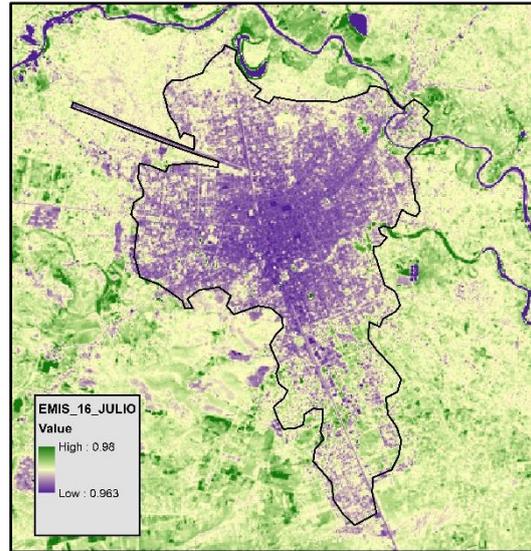
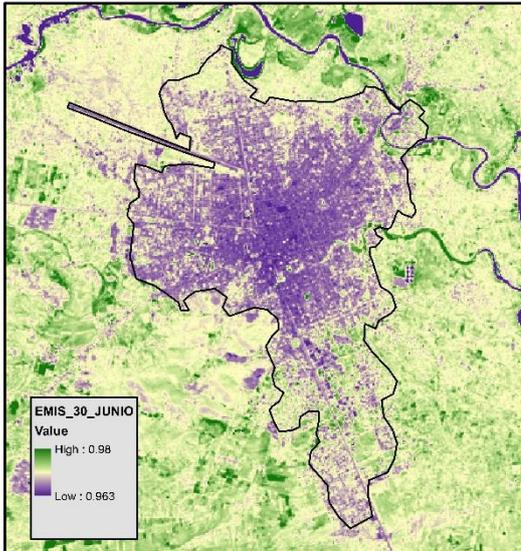
ANEXO 8: Emisividad de Superficie



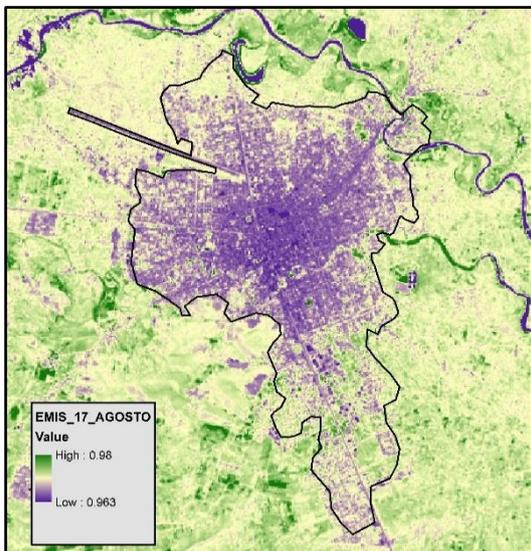
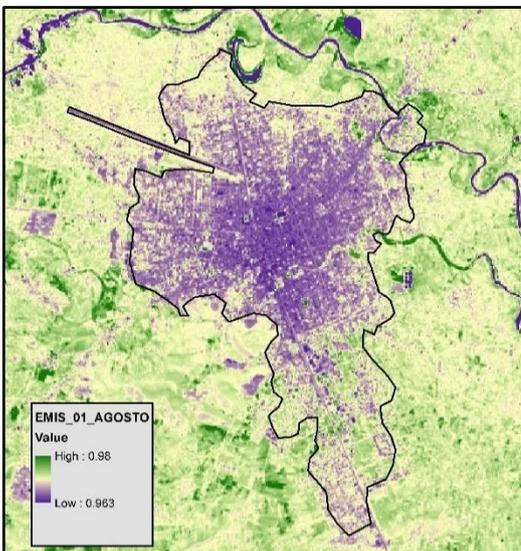
Emisividad de superficie del 11 de abril y 27 de abril



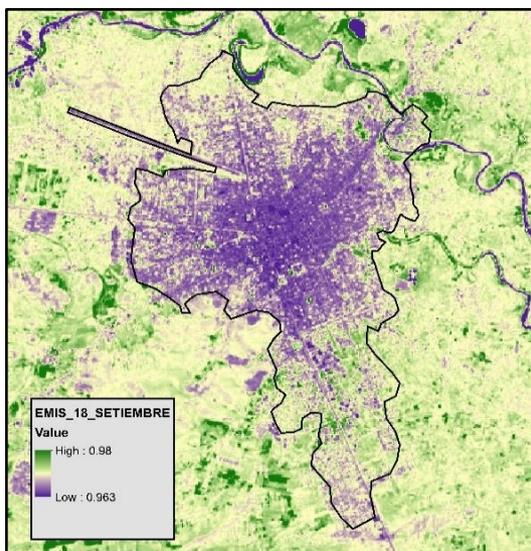
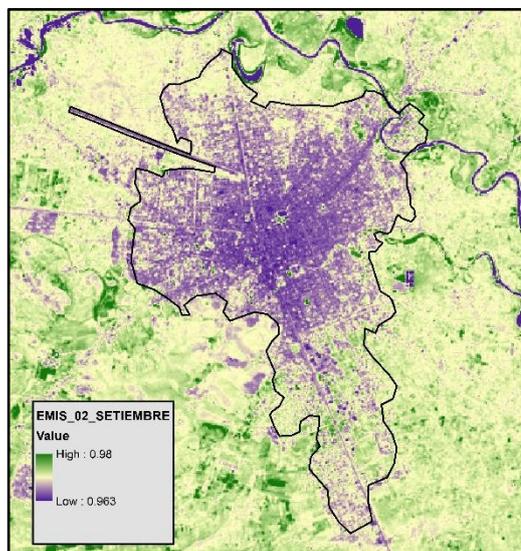
Emisividad de superficie del 29 de mayo y 14 de junio



Emisividad de superficie del 30 de junio y 16 de julio

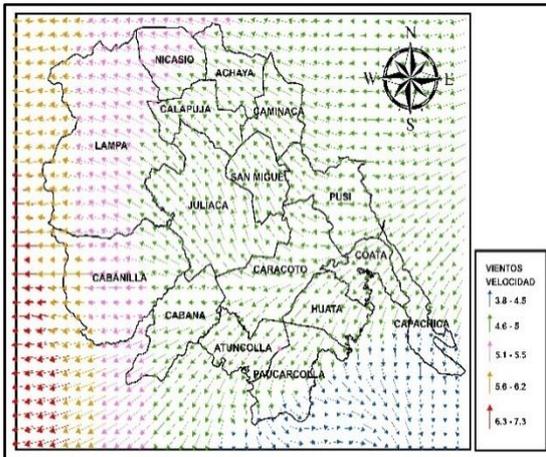


Emisividad de superficie del 01 de agosto y 17 de agosto

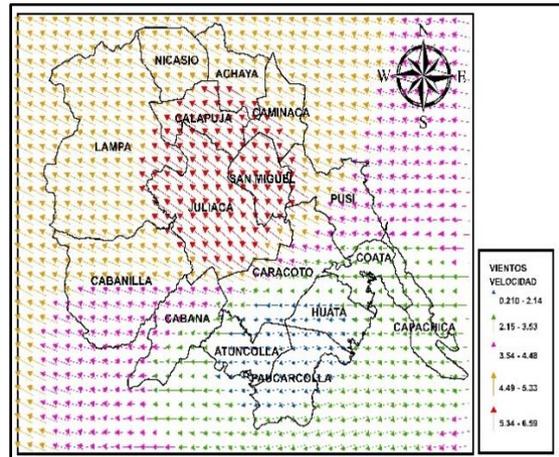


Emisividad de superficie del 02 de setiembre y 18 de setiembre

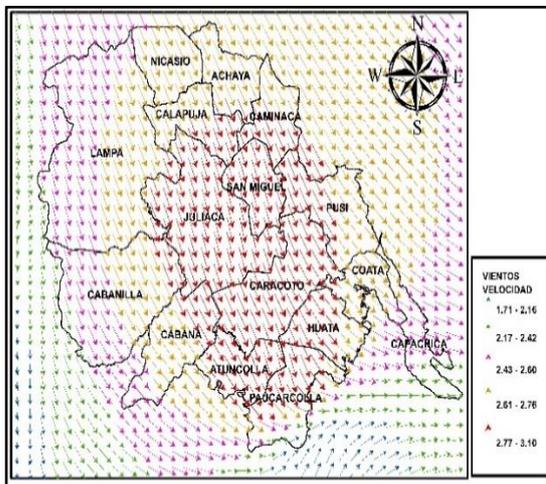
ANEXO 9: Mapas de velocidad y dirección de vientos



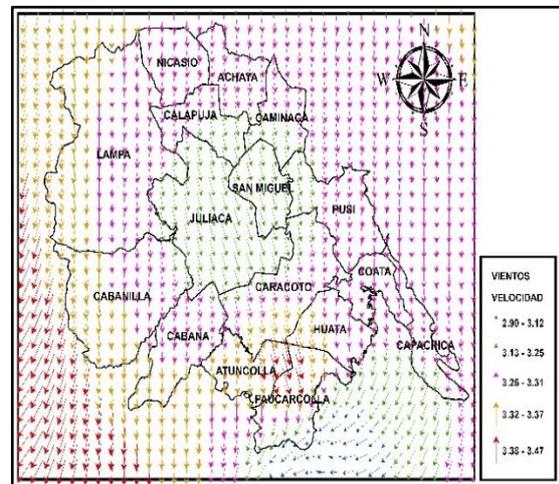
Vientos-14 horas del 11 de abril



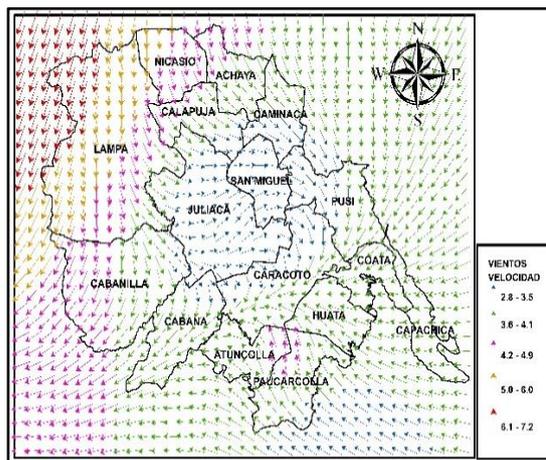
Vientos-15 horas del 11 de abril



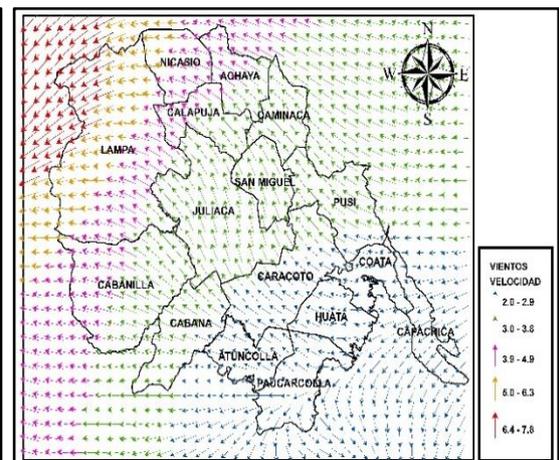
Vientos-14 horas del 27 de abril



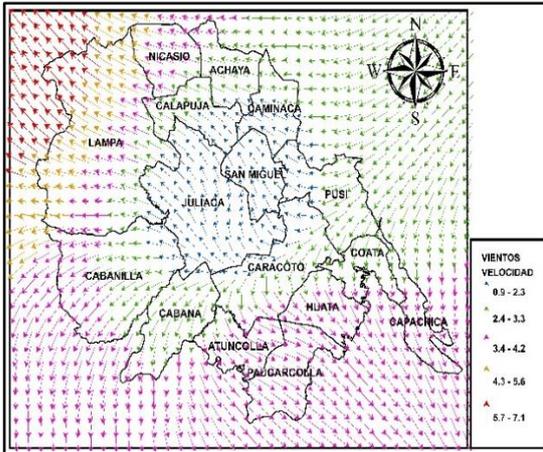
Vientos-15 horas del 27 de abril



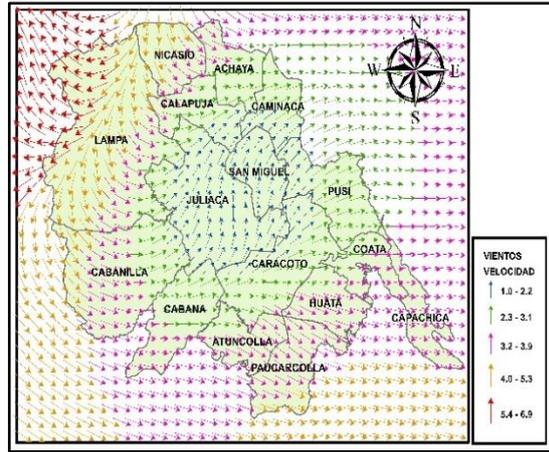
Vientos-14 horas del 29 de mayo



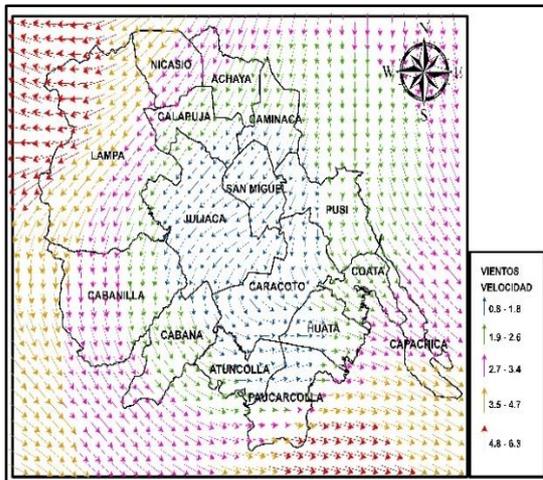
Vientos-15 horas del 29 de mayo



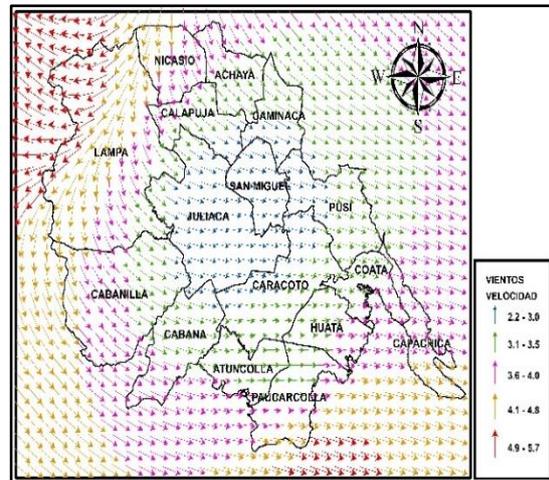
Vientos-14 horas del 14 de junio



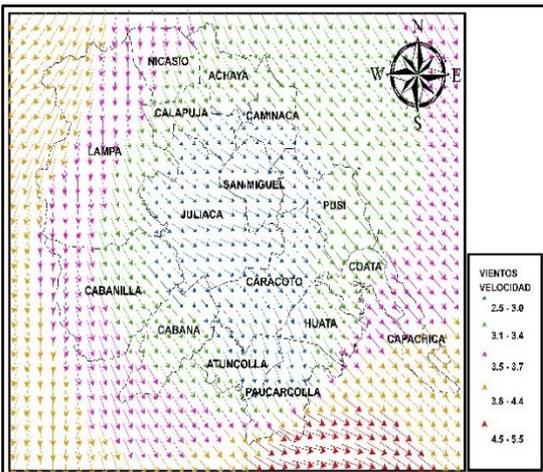
Vientos -15 horas del 14 de junio



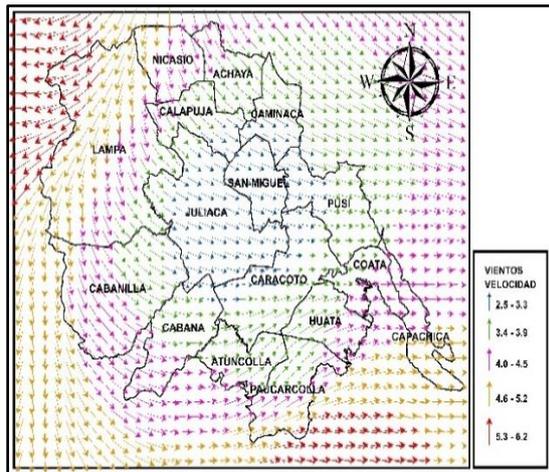
Vientos-14horas del 30 de junio



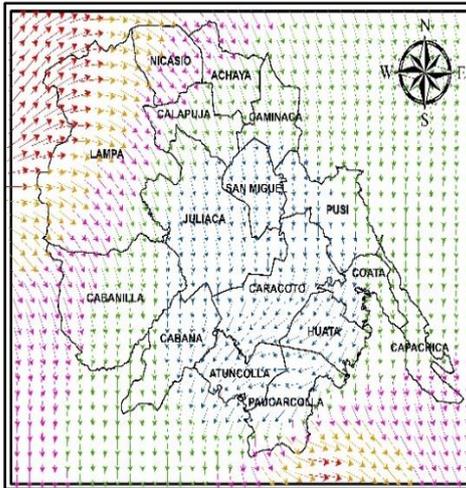
Vientos-15 horas del 30 de junio



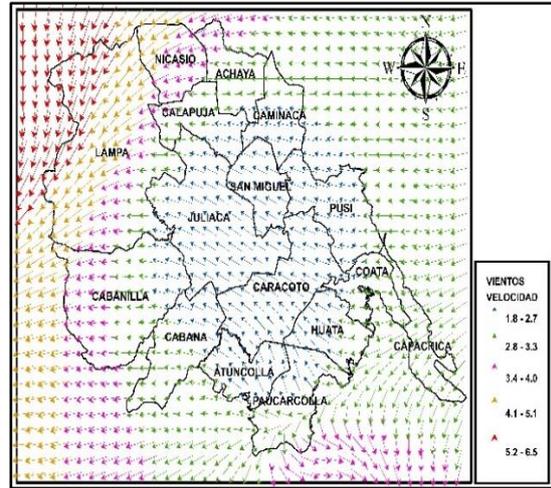
Vientos-14 horas del 16 de julio



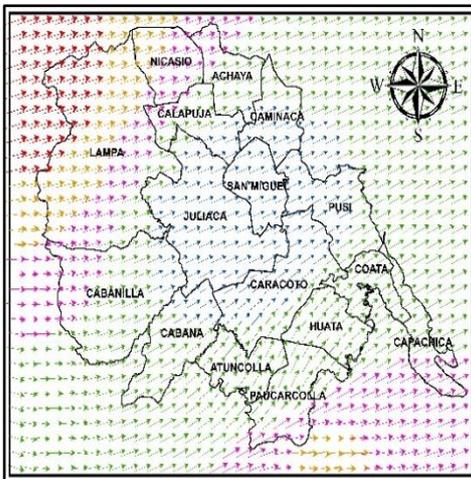
Vientos-15 horas del 16 de julio



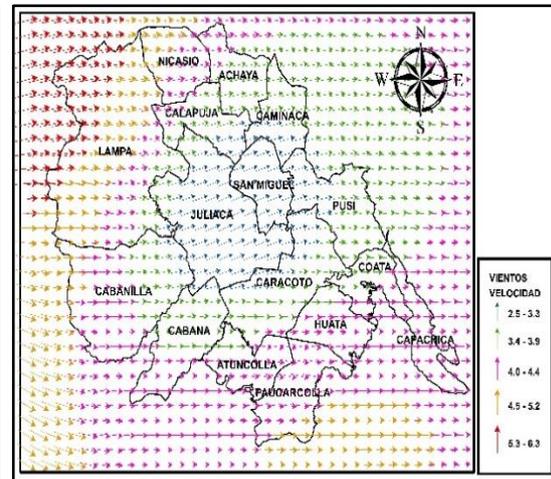
Vientos-14 horas del 01 de agosto



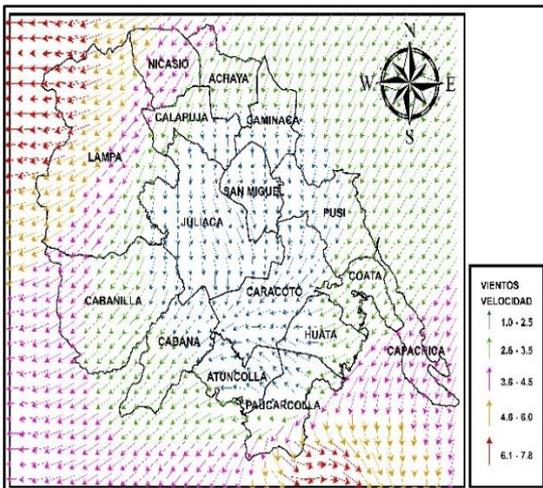
Vientos-15 horas del 01 de agosto



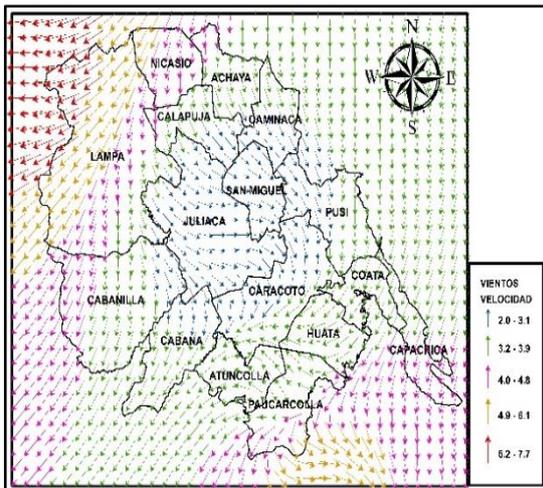
Vientos-14 horas del 17 de agosto



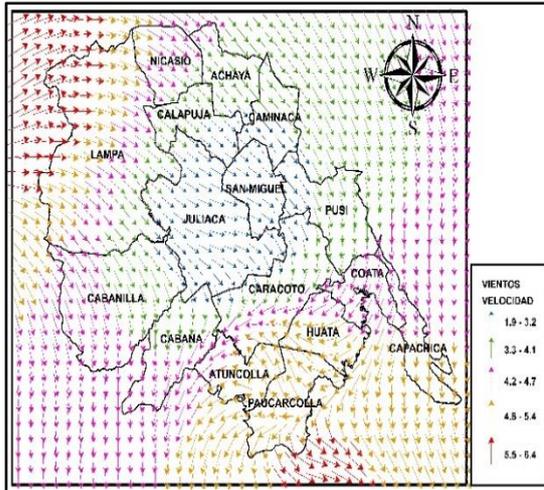
Vientos-15 horas del 17 de agosto



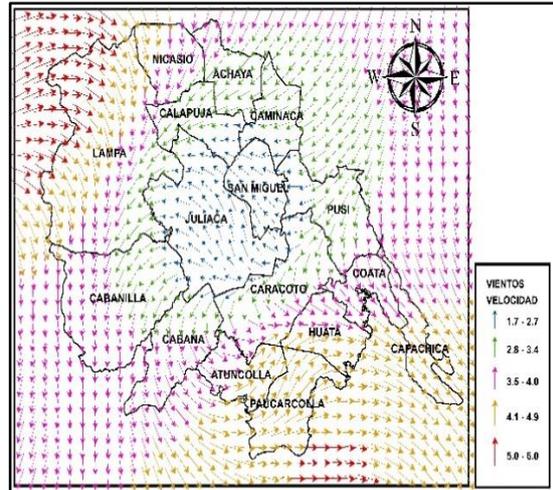
Vientos-14 horas del 02 de setiembre



Vientos-15 horas del 02 de setiembre

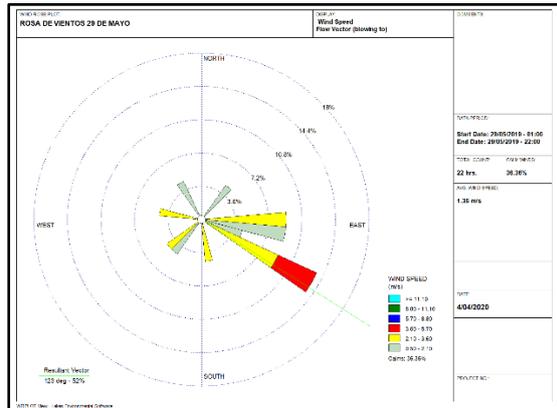
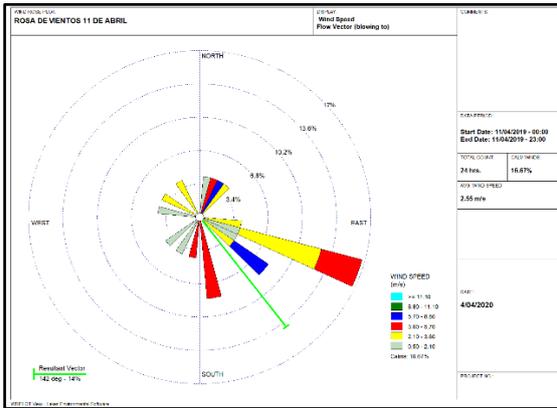


Vientos-14 horas del 18 de setiembre

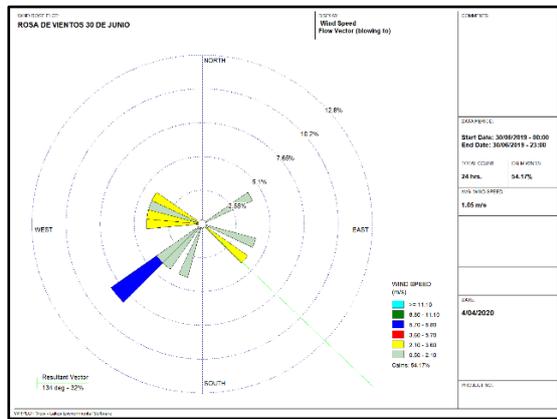
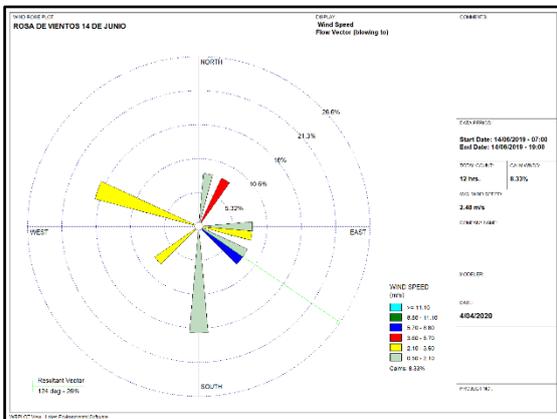


Vientos-15 horas del 18 de setiembre

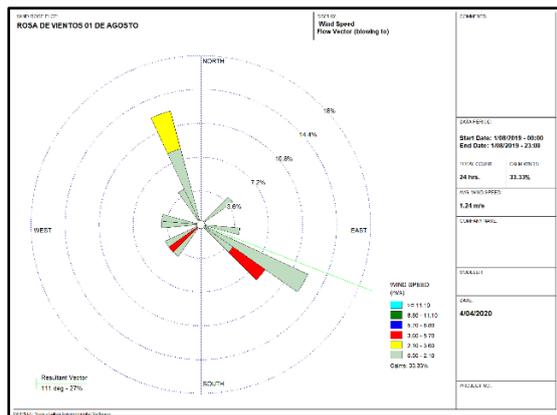
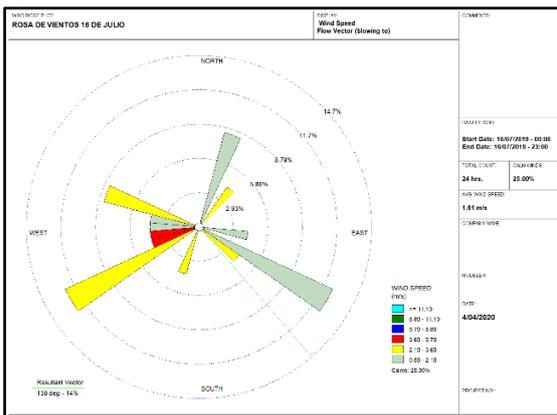
ANEXO 10: Rosas de vientos



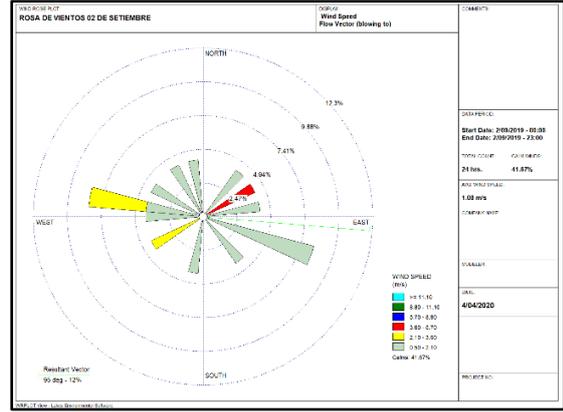
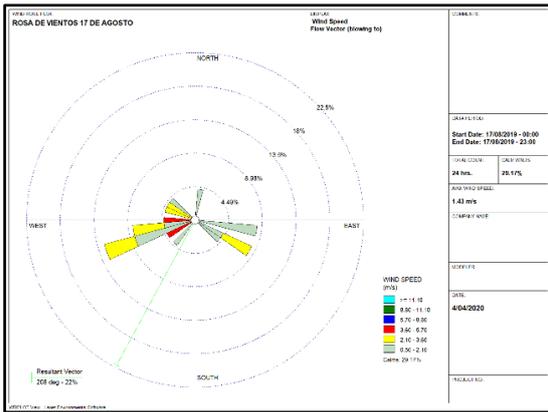
Rosas de los vientos del 11 de abril y 29 de mayo



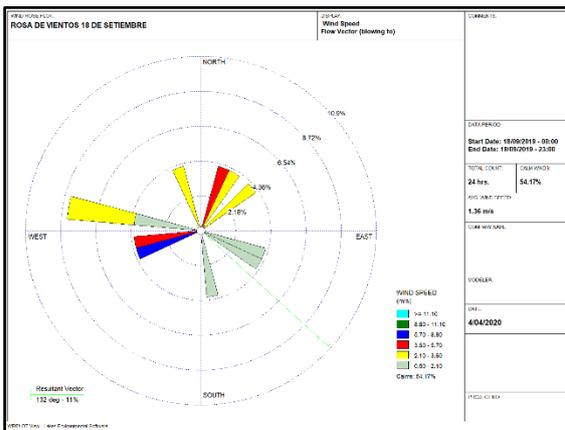
Rosas de los vientos del 14 de junio y 30 de junio



Rosas de los vientos del 16 de julio y 01 de agosto

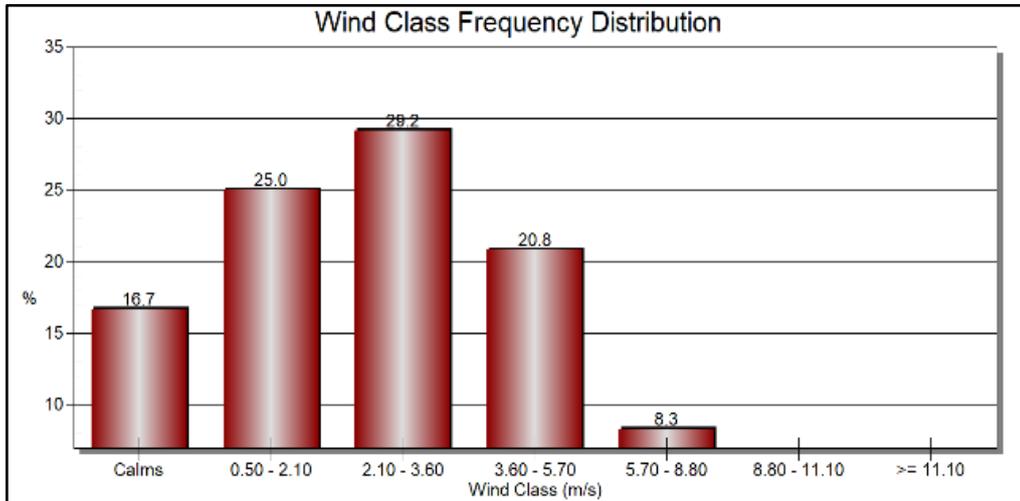


Rosas de los vientos del 17 de julio y 02 de setiembre

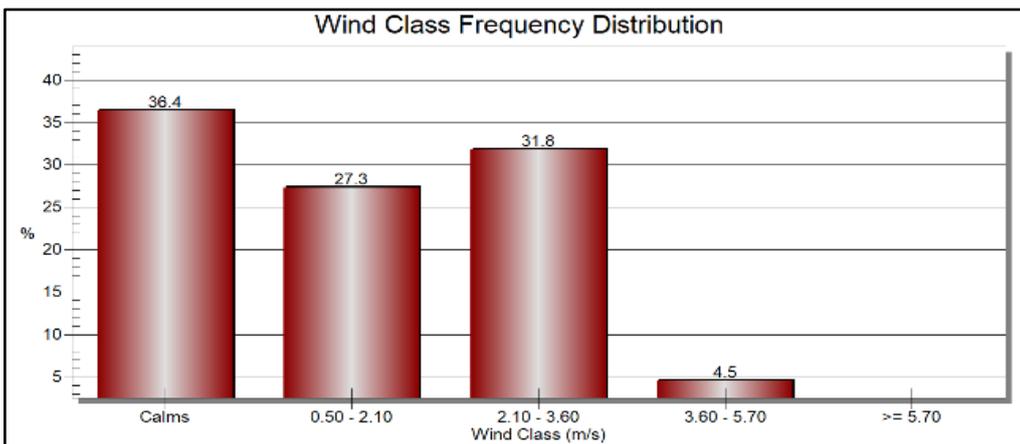


Rosas de los vientos 18 de setiembre

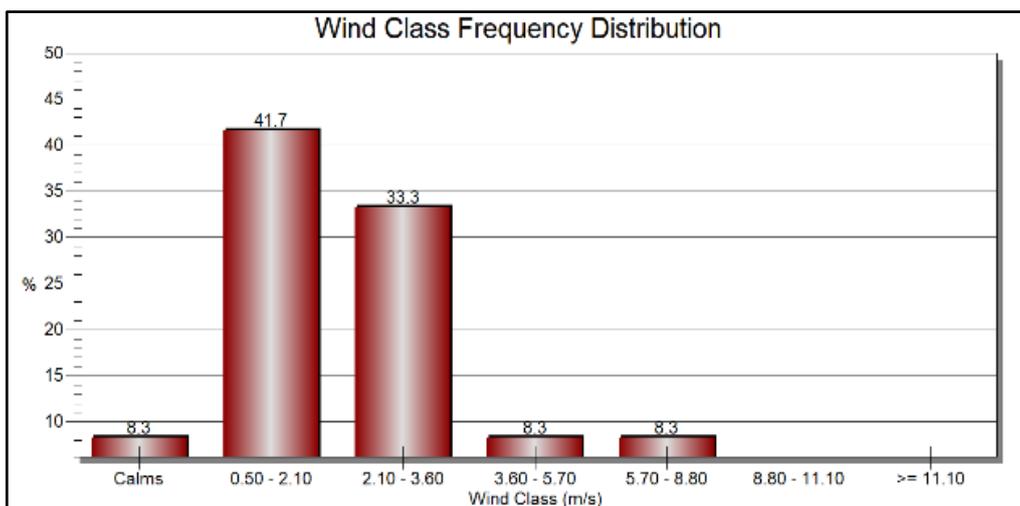
ANEXO 11: Distribución de frecuencias de la velocidad del viento



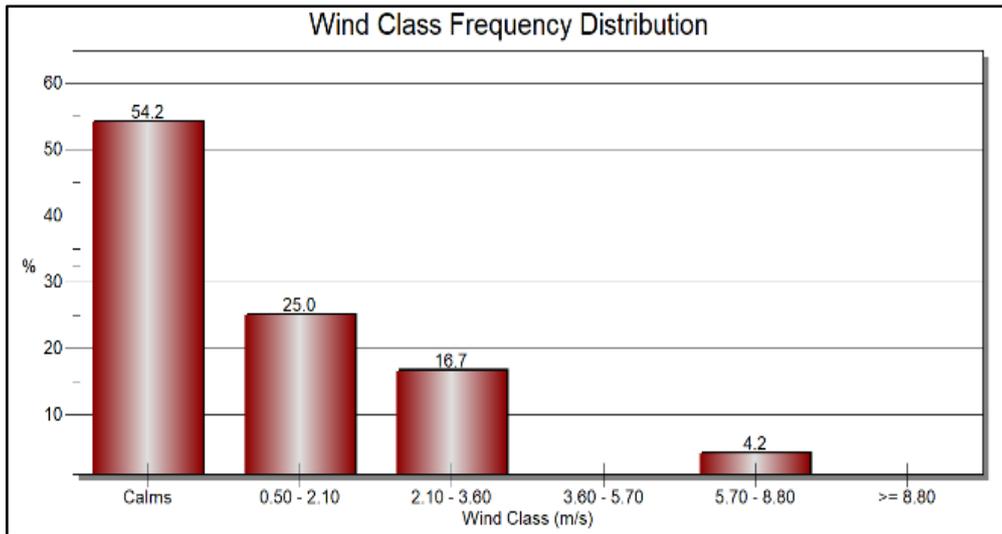
Frecuencia de la distribución del viento del 11 de abril



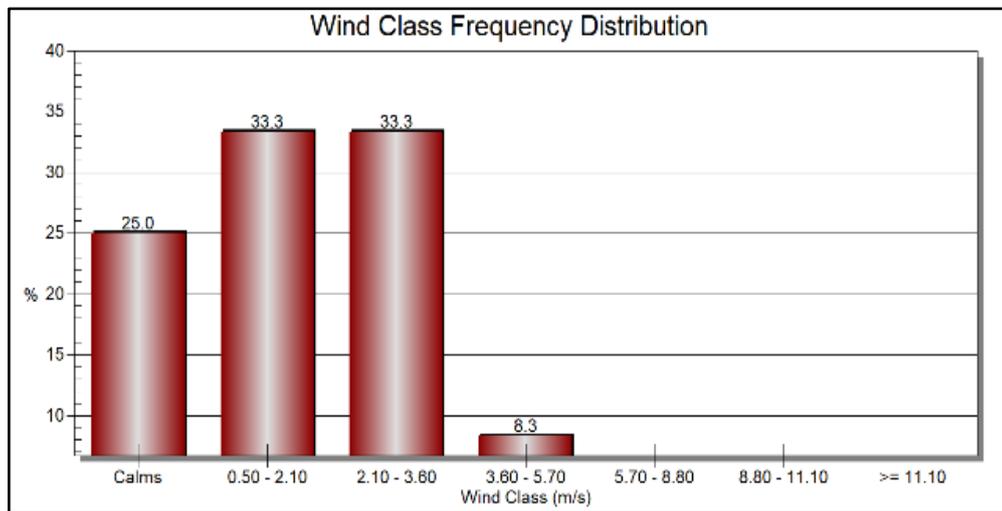
Frecuencia de la distribución del viento del 29 de mayo



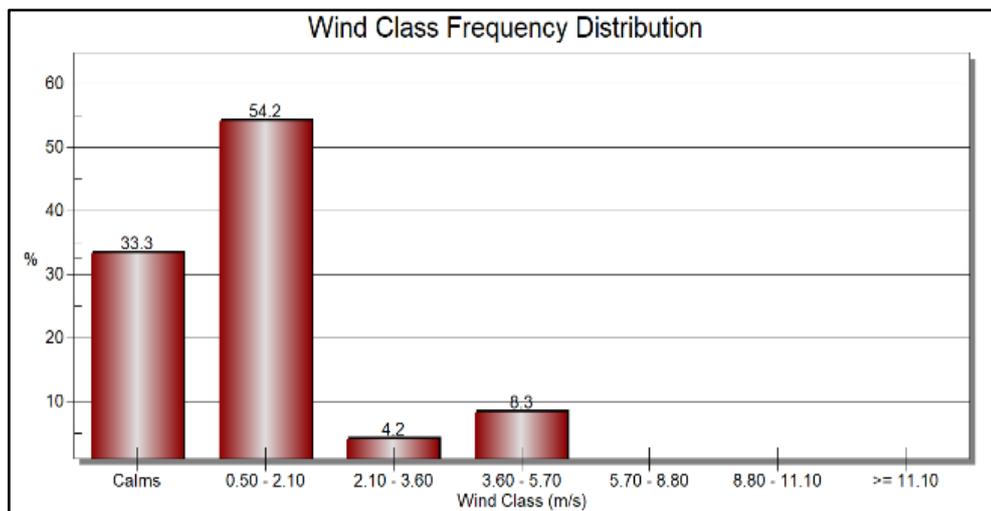
Frecuencia de la distribución del viento del 14 de junio



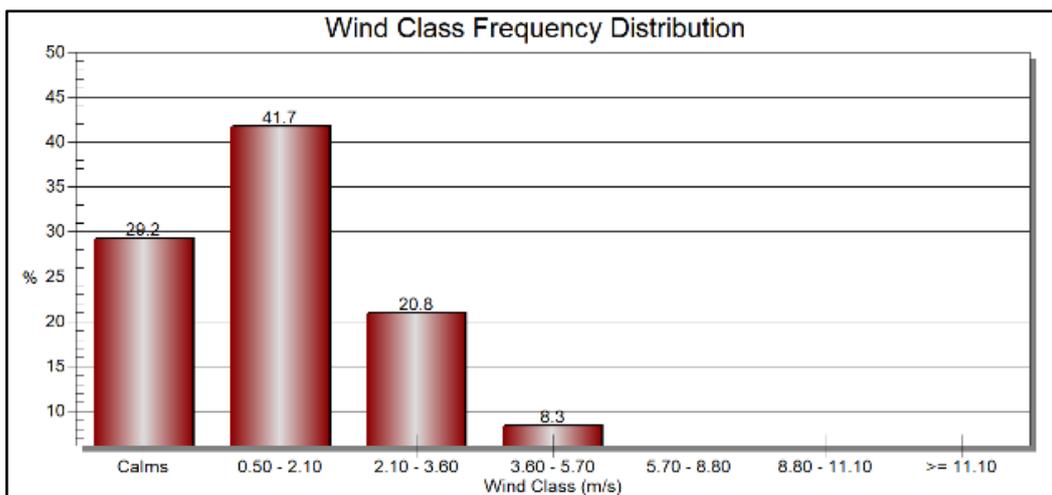
Frecuencia de la distribución del viento del 30 de junio



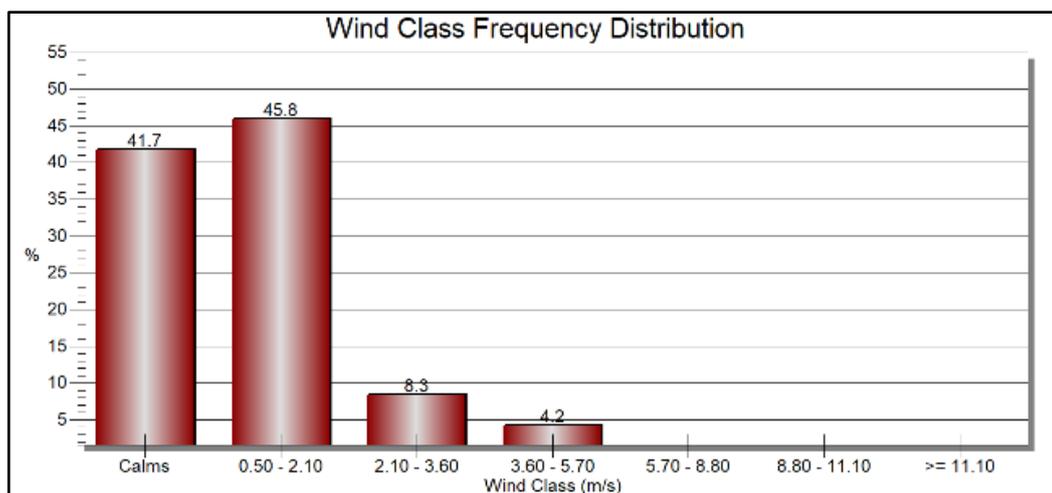
Frecuencia de la distribución del viento del 16 de julio



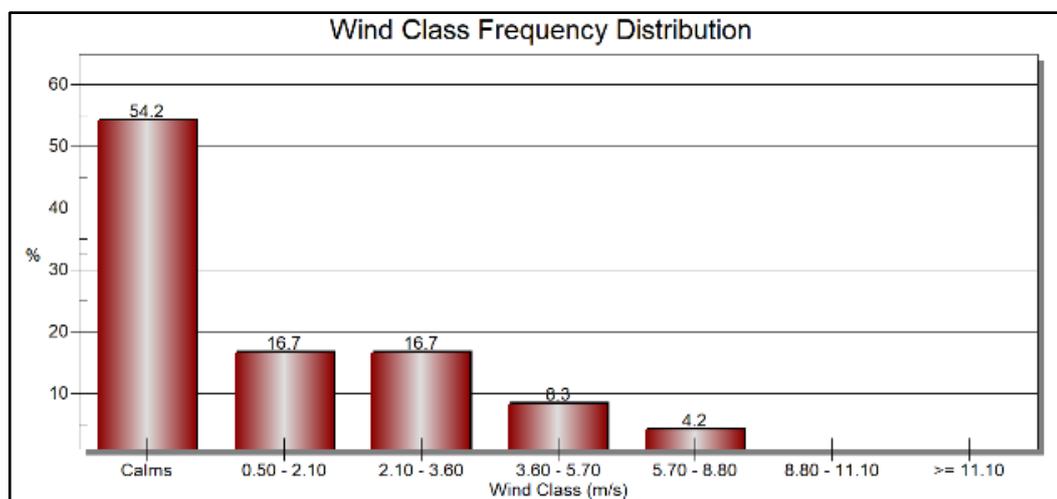
Frecuencia de la distribución del viento del 01 de agosto



Frecuencia de la distribución del viento del 17 de agosto

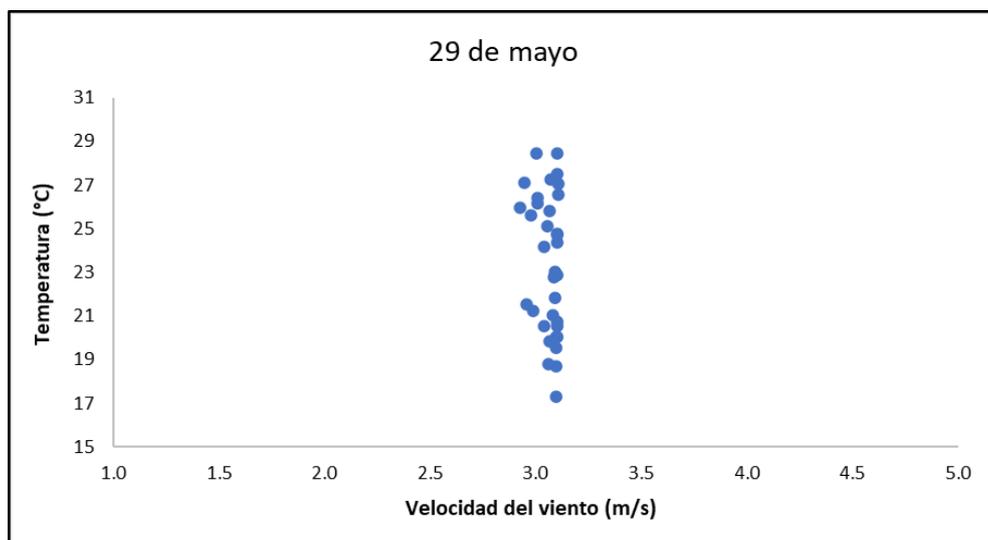
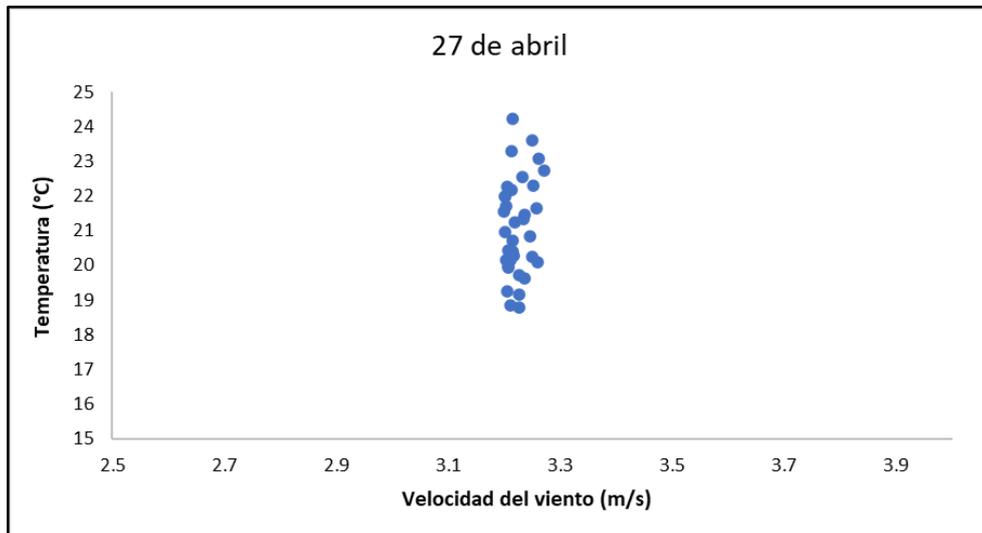
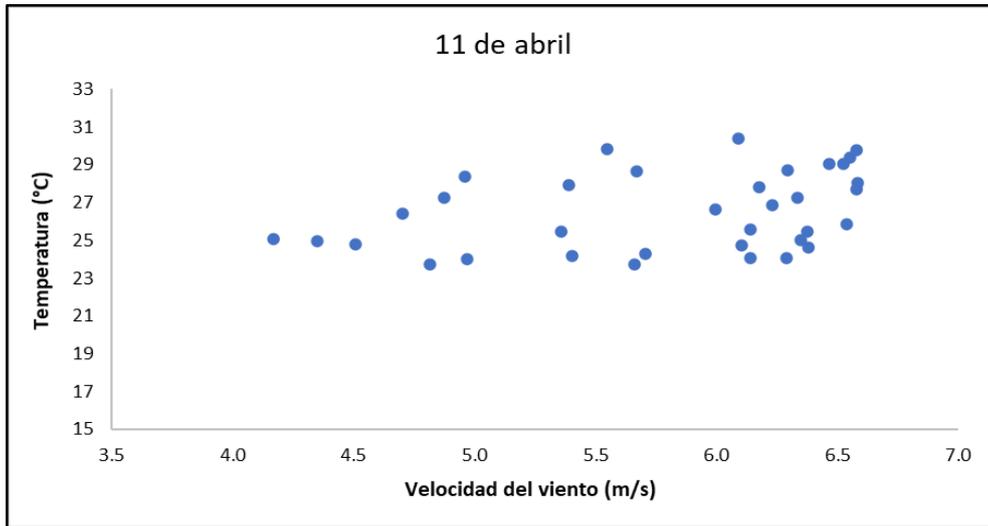


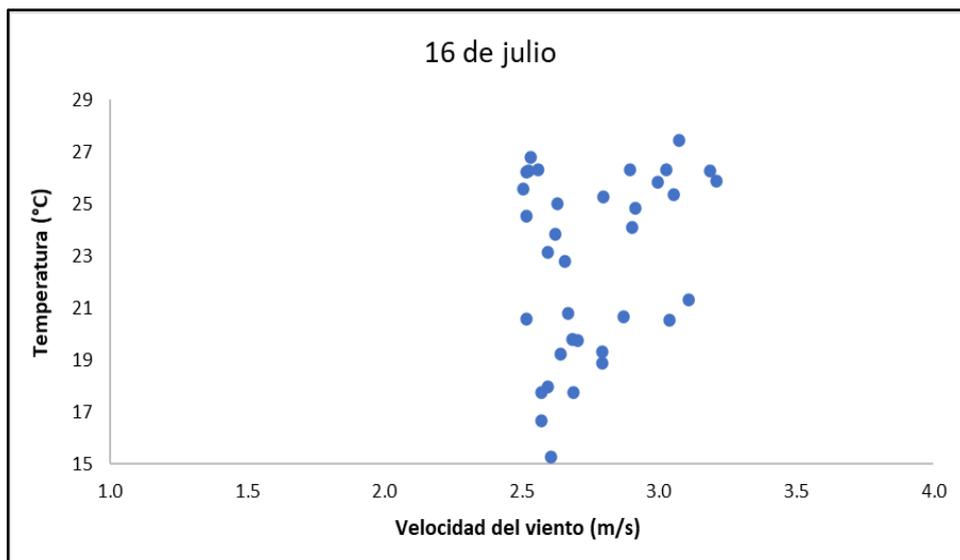
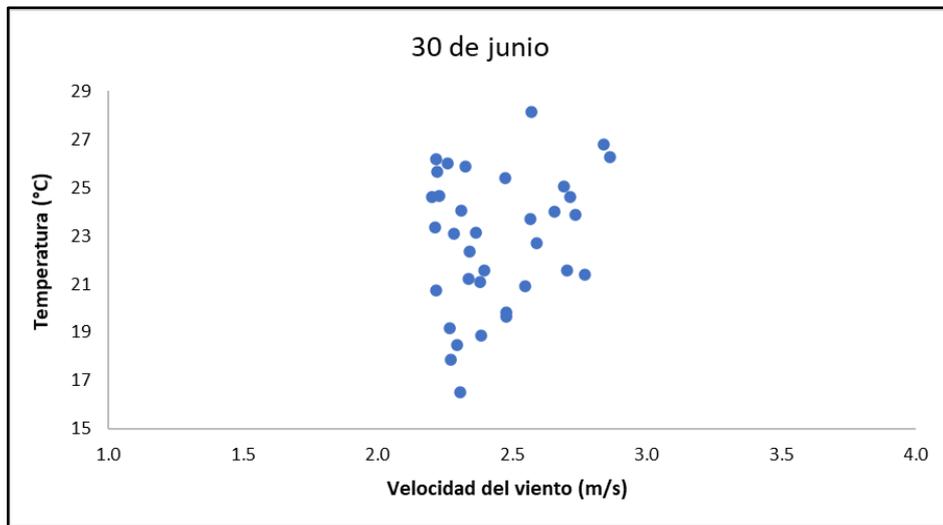
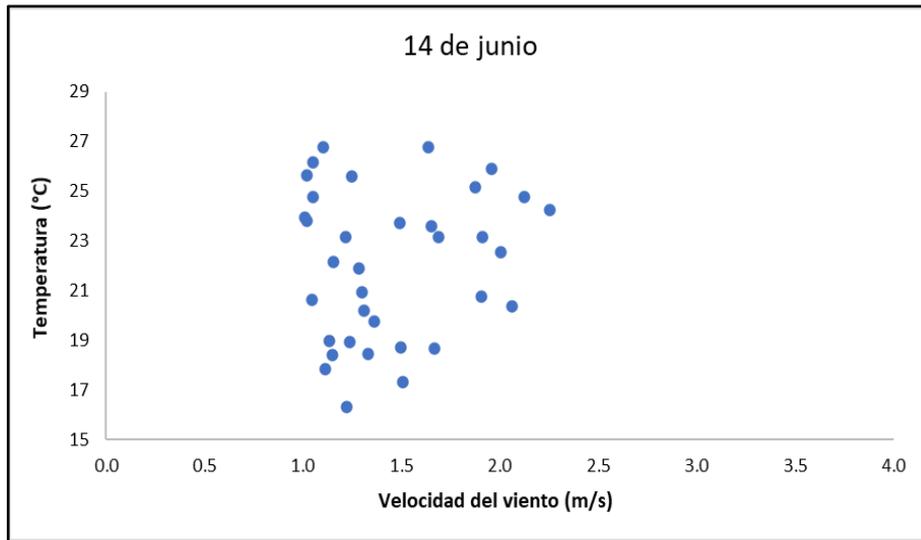
Frecuencia de la distribución del viento del 02 de setiembre

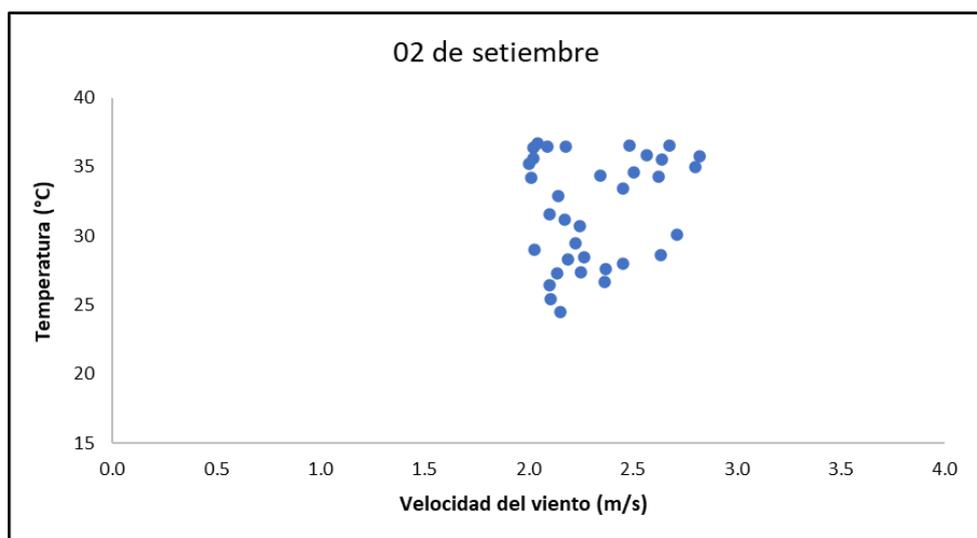
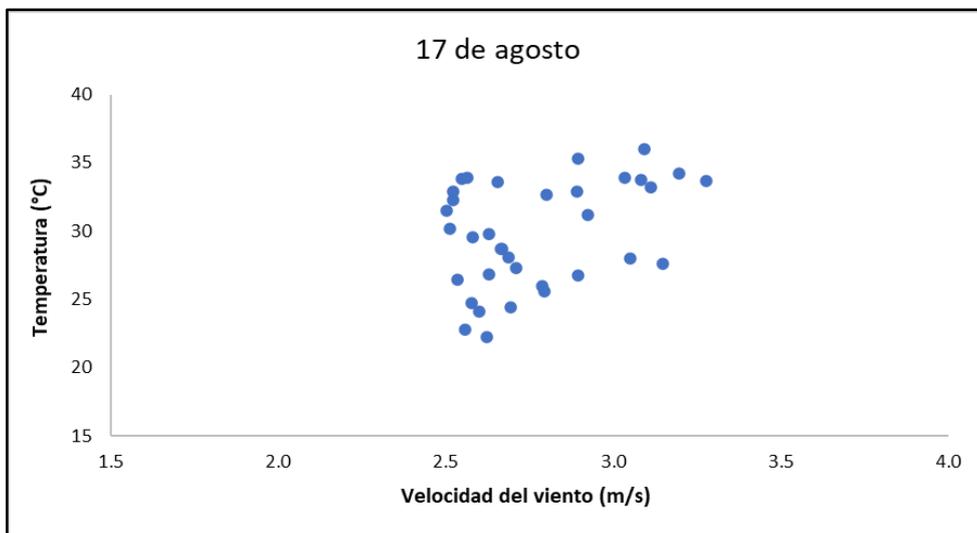
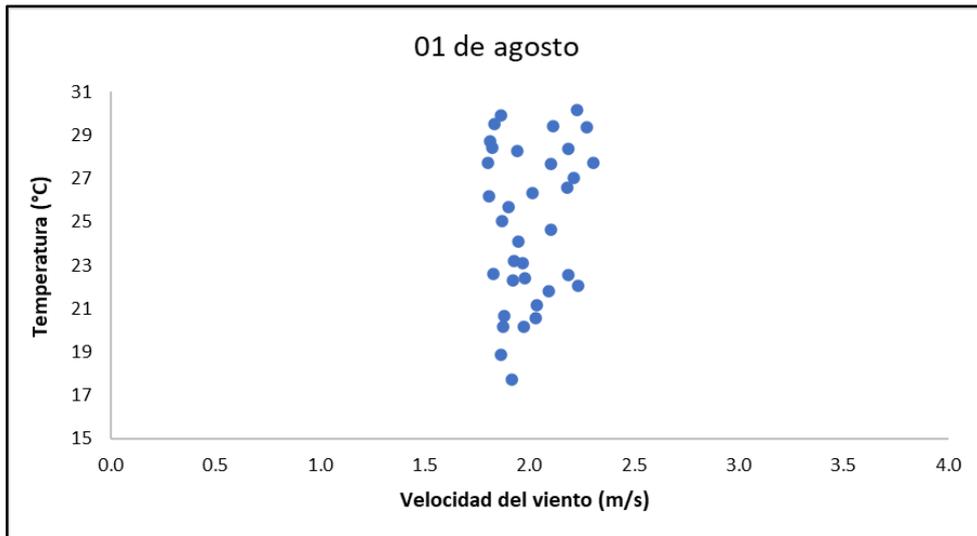


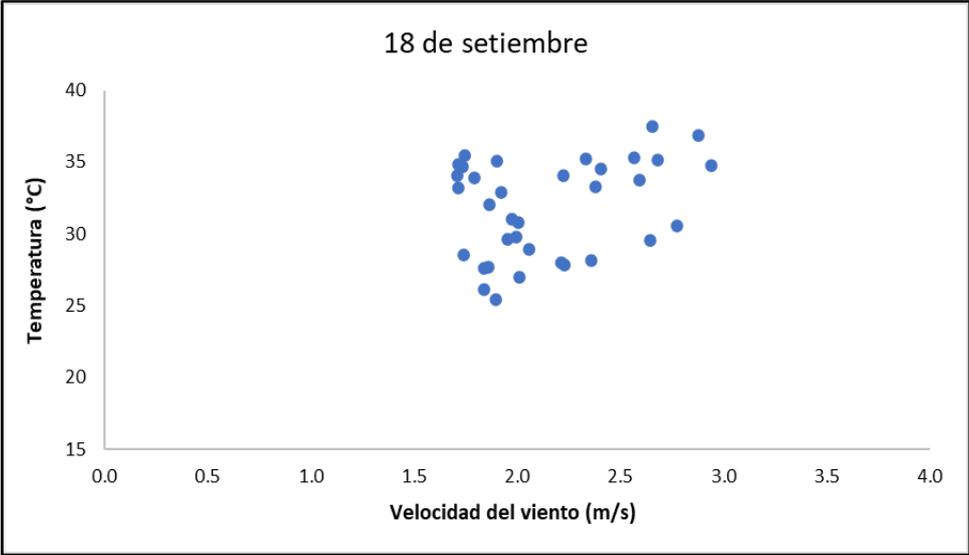
Frecuencia de la distribución del viento del 18 de setiembre

ANEXO 12: Correlación entre temperatura superficial y velocidad del viento.

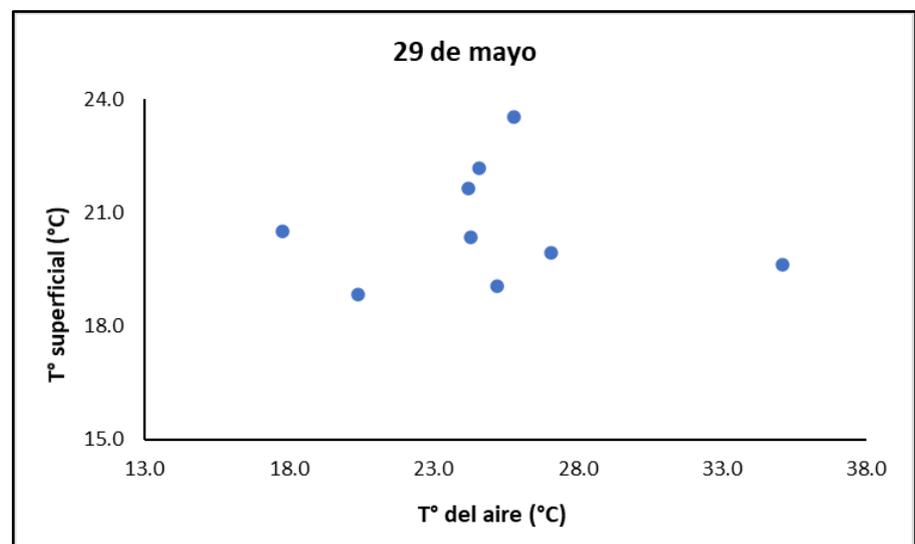
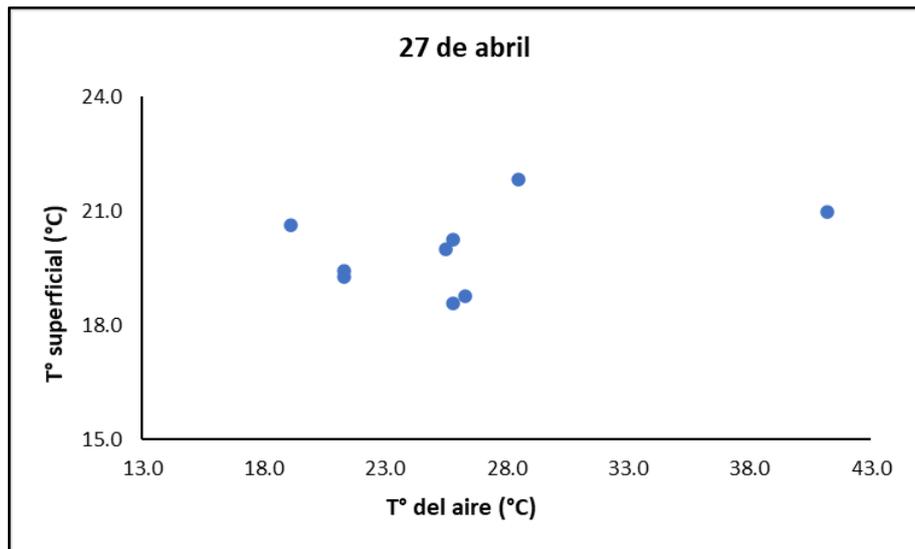
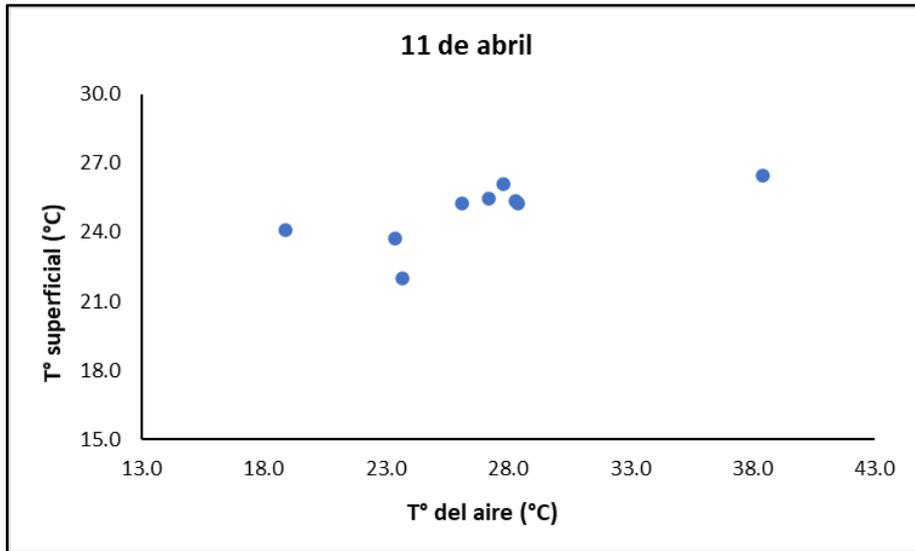


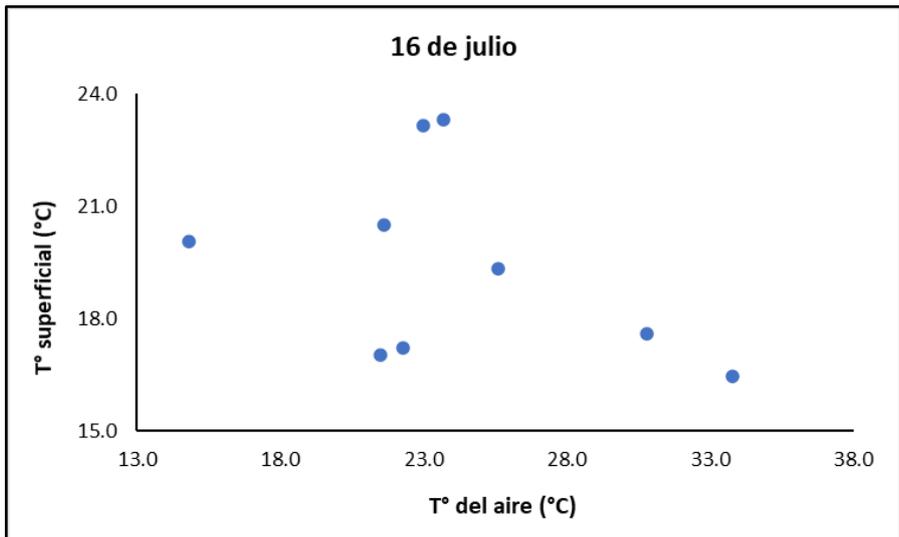
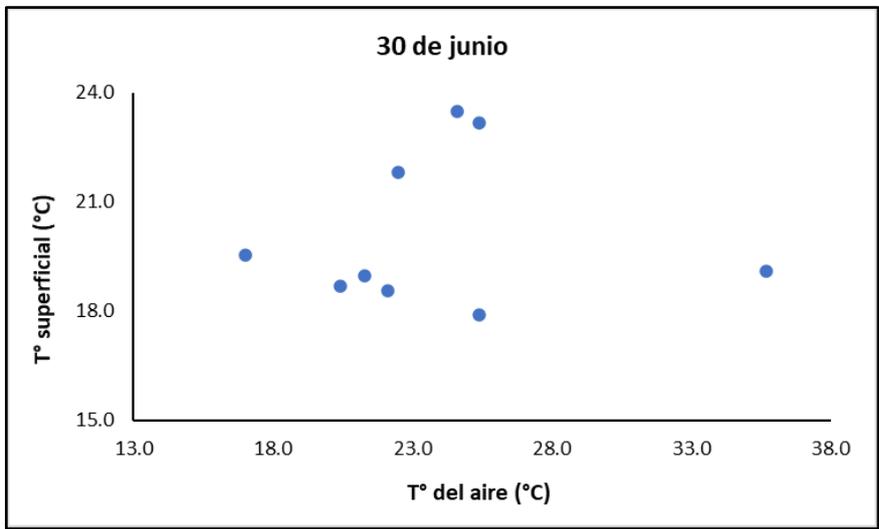
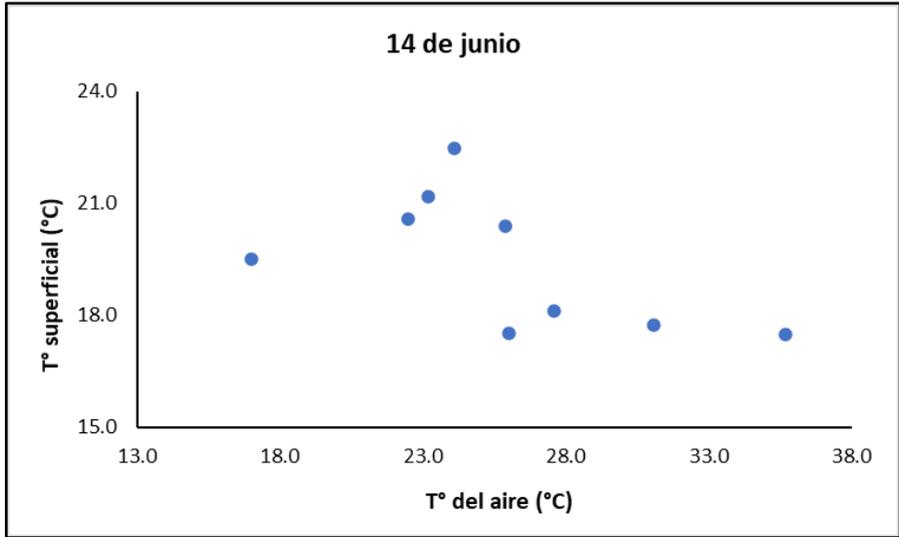


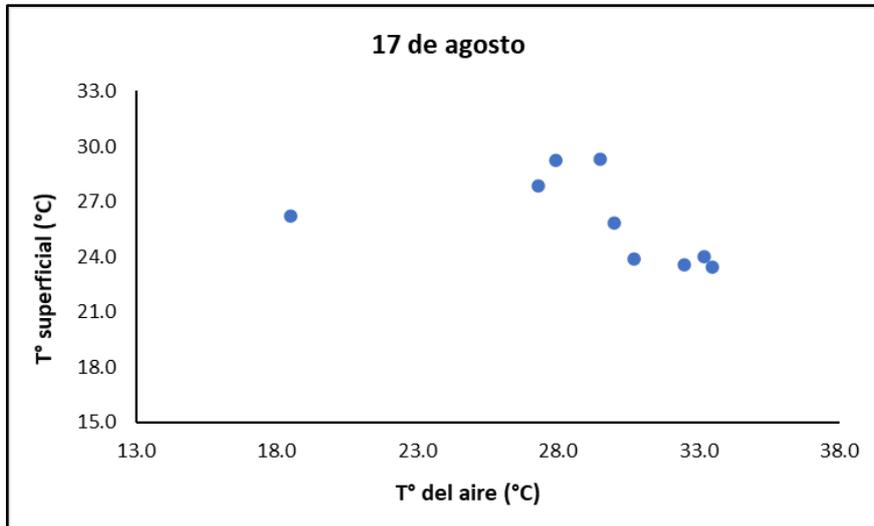
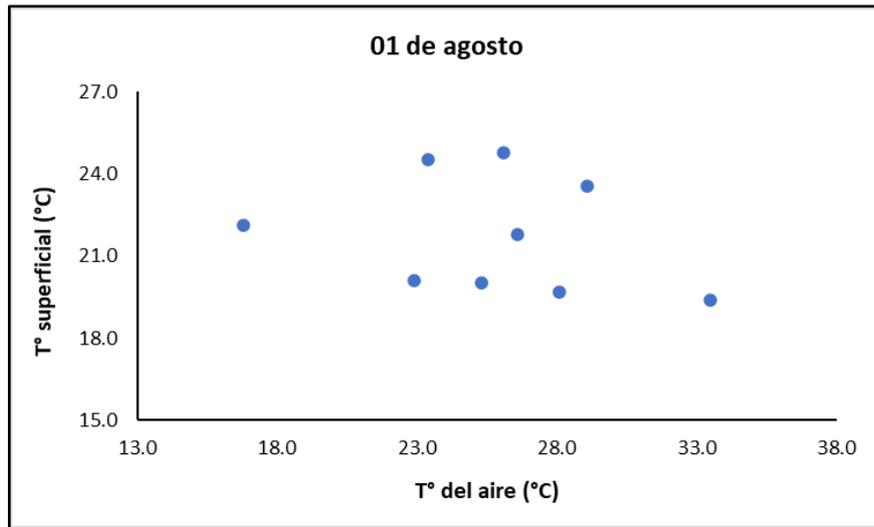




ANEXO 13: Correlación entre la temperatura de superficie y la temperatura del aire en función de las fechas de la toma de datos.







ANEXO 14: Correlación entre la temperatura de superficie y la temperatura del aire en función de la distribución espacial.

