

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y
TECNOLOGÍA

DOCTORADO EN ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO



IMPACTO EN EL CONFORT TÉRMICO EN ESPACIOS EXTERIORES POR EFECTO DE ISLA DE CALOR URBANA EN TIJUANA, BAJA CALIFORNIA.

TESIS

para obtener el grado
de Doctor en Arquitectura, Urbanismo y Diseño

Presenta

MA TERESA PÉREZ LLERENAS

Director de Tesis

Dr. Gonzalo Bojórquez Morales

Tijuana, Baja California, Diciembre 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y
TECNOLOGÍA

DOCTORADO EN ARQUITECTURA,
URBANISMO Y DISEÑO

IMPACTO EN EL CONFORT TÉRMICO EN ESPACIOS EXTERIORES POR
EFECTO DE ISLA DE CALOR URBANA EN TIJUANA, B. C.

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO
DE DOCTOR EN ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO
PRESENTA

Ma Teresa Pérez Llerenas | 1278389
Correo electrónico: teresa.perez@uabc.edu.mx
Identificador ORCID: 0000-0001-5499-0431

Director de tesis: Dr. Gonzalo Bojórquez Morales
Identificador ORCID: 0001-9303-9278

Co-Director de tesis: Dr. Osvaldo Leyva Camacho
Identificador ORCID: 0000-0001-7189-4580.

Revisor de tesis: Dr. José Francisco Armendáriz López
Identificador ORCID: 0000-0001-6705-4028

Revisor de tesis: Dr. Miguel Isaac Sahagún Valenzuela
Identificador ORCID: 0000-0001-6363-0884

Revisor de tesis: Dra. María de los Ángeles Zárate López
Identificador ORCID 0000-0002-1554-5439

Tijuana, B.C., Diciembre 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y
TECNOLOGÍA

DOCTORADO EN ARQUITECTURA,
URBANISMO Y DISEÑO

IMPACTO EN EL CONFORT TÉRMICO EN ESPACIOS EXTERIORES POR
EFECTO DE ISLA DE CALOR URBANA EN TIJUANA, B. C.

TESIS

Que para obtener el grado de Doctor en Arquitectura, Urbanismo y Diseño presenta:

Ma Teresa Pérez Llerenas

Aprobada por:



Dr. Gonzalo Bojórquez Morales
Director de tesis



Dr. Osvaldo Leyva Camacho
Co-director de tesis



Dr. José Francisco Armendáriz López
Miembro del comité tutorial



Dr. Miguel Isaac Sahagún Valenzuela
Miembro del comité tutorial



Dra. María de los Ángeles Zárate López
Miembro del comité tutorial

Tijuana, Baja California, México. 07 noviembre de 2022.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

El trabajo fue revisado con el Reglamento General Académico de la Universidad Autónoma de Baja California y el Reglamento Interno de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, y ha sido APROBADO por los siguientes sinodales:

Director de Tesis



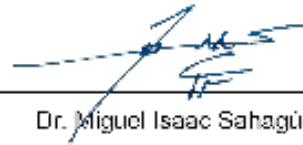
Dr. Gonzalo Bojórquez Morales.

Co-director de Tesis



Dr. Osvaldo Leyva Camacho.

Miembro del comité



Dr. Miguel Isaac Sahagún.

Miembro del comité



Dr. José Francisco Armendáriz López.

Miembro del comité



Dra. María de los Ángeles Zárate López

Tijuana, B.C., Noviembre de 2022.

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Declaro que la tesis que se presenta contiene material original que no ha sido presentado para la obtención de un grado académico o diploma en esta u otra institución de educación superior. Asimismo, declaro que hasta donde yo sé, no contiene material previamente publicado o escrito por otra persona excepto donde se reconoce como tal a través de las citas.

Tijuana, B.C. México, Diciembre de 2022.

Ma Teresa Pérez Llerenas

AVAL DE TERMINACIÓN DE TESIS

Fecha: Diciembre de 2022

Dr. Antonio Gómez Roa
Director de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología.
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
Presente. -

Para dar cumplimiento al artículo 106 del ESTATUTO ESCOLAR DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA, en su TÍTULO CUARTO DE LOS TÍTULOS PROFESIONALES, GRADOS ACADÉMICOS Y DIPLOMAS, CAPÍTULO ÚNICO, sobre los requisitos para la obtención del grado de **Doctora en Arquitectura, Urbanismo y Diseño**. Como director de tesis en la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento de Arquitectura y Medio Ambiente de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, se emite la presente acta que avala que la estudiante:

MA TERESA PÉREZ LLERENAS

ha concluido su Tesis de grado titulada:

IMPACTO EN EL CONFORT TÉRMICO EN ESPACIOS EXTERIORES POR EFECTO DE ISLA DE CALOR URBANA EN TIJUANA, B. C.

Lo anterior en virtud de que se realizaron las correcciones y recomendaciones del comité tutorial, por lo que ha sido aprobada para el proceso de presentación de examen de grado.

Director de Tesis Dr. Gonzalo Bojórquez Morales



Firma

C.c.p. Estudiante.

C.c.p. Expediente.

DEDICATORIA

*A mis padres Teresa y Miguel.
por su amor, ejemplo de esfuerzo y valores.*

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la vida y rodearme de la gente que por tanto les tengo que agradecer.

A mis Padres, que me amaron, me compartieron todo lo mejor que tenían y me dejaron sus consejos.

A mis hermanos y hermanas que me han brindado su apoyo en todo momento.

A mis amigos que se han convertido en mi familia por elección, que han estado de cerca de mí, motivándome, por hacer mas simples los momentos difíciles, a cada uno de ellos gracias.

A mis Profesores: Doctores, Investigadores y Amigos, que me han compartido sus conocimientos y experiencias, me han brindado su apoyo incondicional, todos han sido una importante guía para mí.

A mis Alumnos, que me han contagiado la alegría de su juventud y de los que mucho he aprendido.

A la Universidad Autónoma de Baja California, la FCITEC y a sus autoridades, por darme el espacio para poder desarrollar esta importante etapa de estudios.

Al Sindicato de Profesores Superación Universitaria de la U.A.B.C. por el apoyo recibido durante el todo el proceso de mis estudios.

A ti, por leer este documento.

RESUMEN

El fenómeno de Isla de calor urbana genera variaciones de temperatura al interior de las ciudades, estas diferencias térmicas provocan afectaciones directas al medio ambiente y a la población, entre otras, relacionadas al confort térmico dentro de las edificaciones y en los espacios exteriores abiertos, que implican afectaciones a la salud pública desde incomodidad, morbilidad, hasta golpes de calor que pueden provocar la muerte. El caracterizar la Isla de calor urbana que se presenta en la ciudad de Tijuana del estado de Baja California, en el Noroeste México, para conocer la magnitud, la localización geo-espacial y conocer el impacto que el fenómeno genera en los habitantes usuarios de espacios urbanos exteriores, representa la finalidad de la investigación. Para lo cuál se ha hecho una lectura y procesamiento de información, para la simplificación datos de meteorológicos registrados en un periodo de cinco años consecutivos a partir del 2015. Los registros fueron medidos y almacenados con infraestructura e instrumentación de diferentes estaciones meteorológicas existentes y en funcionamiento dentro de la ciudad y en la periferia. El proceso se complementa con el cálculo de la temperatura de la superficie de la tierra a través de imágenes satelitales, con sistemas de información geográfica para identificar la concentración de calor dentro del área urbana, delimitar las superficies de las mismas y medir la cantidad de población afectada. Con la aplicación de un modelo de confort térmico se determina la población en vulnerabilidad, en incomodidad térmica y en riesgo. Los resultados obtenidos, han permitido identificar diferencias hasta de cinco grados Celsius arriba de temperatura dentro de la zona urbana y las fechas en las que el fenómeno se presenta con mayor intensidad. El proceso de información generado permitió hacer un análisis específico para dar respuestas al cuándo y dónde se presenta el fenómeno, conocer y medir el impacto que éste causa, y posteriormente poder establecer medidas de mitigación a la problemática.

Palabras clave: Isla de calor urbana, Confort térmico, Impacto en la población, Imágenes satelitales, Espacios exteriores.

ABSTRACT

The urban heat island phenomenon generates temperature variations inside cities, these thermal differences cause direct effects on the environment and the population, among others, related to thermal comfort inside buildings and in outdoor open spaces, which involve effects on public health from discomfort, morbidity, to heat stroke that can cause death. The characterization of the urban heat island that occurs in the city of Tijuana in the state of Baja California, in northwestern Mexico, to know the magnitude, the geo-spatial location and to know the impact that the phenomenon generates in the inhabitants who use spaces. exterior urban areas, represents the purpose of the investigation. For which a reading and processing of information has been made, for the simplification of meteorological data registered in a period of five consecutive years from 2015. The records were measured and stored with infrastructure and instrumentation of different existing and operational meteorological stations. within the city and on the outskirts. The process is complemented by calculating the temperature of the earth's surface through satellite images, with geographic information systems to identify the concentration of heat within the urban area, delimit their surfaces and measure the amount of population. affected. With the application of a thermal comfort model, the population in vulnerability, in thermal discomfort and at risk is determined. The results obtained have made it possible to identify differences of up to five degrees Celsius above the temperature within the urban area and the dates on which the phenomenon occurs with greater intensity. The information process generated allowed for a specific analysis to provide answers to when and where the phenomenon occurs, to know and measure the impact it causes, and later to be able to establish mitigation measures for the problem.

KEYWORDS: Urban heat island, Thermal comfort, Impact on the population, Satellite images, Outdoor spaces.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
ÍNDICE DE CONTENIDOS	XI
ÍNDICE DE TABLAS	XV
ÍNDICE DE FIGURAS	XVIII
LISTADO DE ABREVIATURAS	XX
LISTADO DE SÍMBOLOS	XXII
LISTADO DE UNIDADES	XXIII
INTRODUCCIÓN	1
1. CAPÍTULO I. LA MOTIVACIÓN	5
1.1. PLANTEAMIENTO	5
1.2. JUSTIFICACIÓN	8
1.3. PERTINENCIA	10
1.4. RELEVANCIA	11
1.5. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	12
1.6. HIPÓTESIS	12
1.7. OBJETIVO	12
1.7.1. <i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	12
1.8. ANTECEDENTES	13
1.8.1. <i>ISLA DE CALOR UBANA</i>	13
1.8.2. <i>ESPACIO EXTERIOR PÚBLICO URBANO</i>	14
	xi

1.8.3.	<i>CONFORT TÉRMICO</i>	15
1.8.4.	<i>CASO DE ESTUDIO</i>	15
1.8.5.	<i>ESTADO DE LA CUESTIÓN Y CASOS ANÁLOGOS</i>	17
2.	CAPÍTULO II. CONTEXTO	21
2.1.	CLIMA	21
2.1.1.	<i>MICROCLIMA</i>	22
2.1.2.	<i>CAMBIO CLIMÁTICO</i>	24
2.2.	SUB-SISTEMA DE CLASIFICACIÓN LOCAL CLIMATE ZONE	26
2.3.	ISLA DE CALOR URBANA	35
2.3.1.	<i>CLASIFICACIÓN DE LAS ICU</i>	40
2.3.2.	<i>FACTORES DETONANTES DE LA ICU</i>	41
2.3.3.	<i>DINÁMICA E INTENSIDADES</i>	43
2.3.4.	<i>ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN</i>	44
2.4.	TÉCNICAS DE ESTUDIO	46
2.4.1.	<i>MODELOS FÍSICOS</i>	46
2.4.2.	<i>MODELOS NUMÉRICOS</i>	46
2.4.3.	<i>MODELOS EMPÍRICOS</i>	47
2.4.4.	<i>DATOS IN SITU CON ESTACIONES METEOROLÓGICAS</i>	47
2.4.5.	<i>TÉCNICA CON IMÁGENES SATELITALES</i>	48
2.4.6.	<i>TRANSECTOS URBANOS</i>	48
2.4.7.	<i>IMÁGENES SATELITALES</i>	49
2.5.	CONFORT TÉRMICO	53
2.5.1.	<i>ENFOQUES DE ESTUDIO DE CONFORT TÉRMICO</i>	54
2.5.1.1.	<i>ENFOQUE DE PREDICCIÓN DE CONFORT TÉRMICO</i>	54
2.5.1.2.	<i>ENFOQUE ADAPTATIVO</i>	55
2.5.2.	<i>SENSACIÓN TÉRMICA PERCIBIDA</i>	56
		xii

2.5.3.	<i>MODELOS PARA ESPACIOS EXTERIORES</i>	58
2.5.4.	<i>NORMATIVIDAD</i>	59
2.5.5.	<i>IMPACTOS DEL MEDIO AMBIENTE LOCAL EN EL CONFORT TÉRMICO</i>	60
2.5.6.	<i>CONFORT TÉRMICO E ISLA DE CALOR URBANA</i>	61
3.	ESQUEMA FORMAL	62
3.1.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN (MODELO)	63
3.2.	VARIABLES	65
3.4.1.	<i>VARIABLE 1, ISLA DE CALOR URBANA ICU</i>	65
3.2.1.1.	<i>DIMENSIÓN: DATOS METEOROLÓGICOS.</i>	66
3.2.1.2.	<i>DIMENSIÓN: USO DE SUELO.</i>	67
3.2.1.3.	<i>DIMENSIÓN: DENSIDAD DE POBLACIÓN.</i>	68
3.2.1.4.	<i>DIMENSIÓN: GEOMETRÍA URBANA</i>	68
3.4.2.	<i>VARIABLE 2, CONFORT TÉRMICO</i>	69
3.4.1.1.	<i>DIMENSIÓN: CONDICIONES AMBIENTALES</i>	70
3.4.1.2.	<i>DIMENSIÓN: CONDICIONES FISIOLÓGICAS.</i>	70
3.3.	RELACIÓN ENTRE VARIABLES	71
3.4.	TÉCNICAS DE ESTUDIOS	73
3.4.1.	<i>INFORMACIÓN METEOROLÓGICA</i>	73
3.4.1.1.	<i>ESTACIONES METEOROLÓGICA FIJAS</i>	75
3.4.1.2.	<i>REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN</i>	79
3.4.2.	<i>TÉCNICA CON IMÁGENES SATELITALES</i>	91
3.4.2.1.	<i>HERRAMIENTAS PARA IMÁGENES SATELITALES</i>	92
3.4.3.	<i>PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES</i>	92
3.4.3.1.	<i>CÁLCULO DEL TOA:</i>	98
3.4.3.2.	<i>CONVERSIÓN DE TOA A TEMPERATURA DE BRILLO (BRIGHTNESS TEMPERATURE)</i>	99
3.4.3.3.	<i>ÍNDICES DE VEGETACIÓN NORMALIZADO NDVI</i>	100

3.4.3.4.	<i>PROPORCIÓN DE VEGETACIÓN PV</i>	101
3.4.3.5.	<i>EMISIVIDAD</i>	101
3.4.3.6.	<i>TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DE LA TIERRA</i>	101
3.4.4.	<i>COEFICIENTE DE CORRELACIÓN TA - LST</i>	105
3.4.5.	<i>TRANSECTOS VIRTUALES</i>	106
3.4.6.	<i>TÉCNICA DE CÁLCULO DE CONFORT TÉRMICO EN LOS ESPACIOS EXTERIORES</i>	108
3.4.6.1.	<i>HERRAMIENTAS PARA CONFORT TÉRMICO</i>	108
4.	HALLAZGOS	123
4.1.	ANÁLISIS DE LOS VALORES DE LST	123
4.2.	TEMPERATURA REGISTRADA EN ESTACIONES METEOROLÓGICAS	125
4.3.	CORRELACIÓN TA - LST	126
4.4.	ANÁLISIS COMPARATIVO DE TEMPERATURAS	130
4.5.	TRANSECTOS	131
4.6.	VOTO DE SENSACIÓN REAL	135
4.7.	AMBIENTE TÉRMICO URBANO	138
4.8.	ANÁLISIS COMPARATIVO DE CONFORT TÉRMICO	139
5.	LA DEDUCCIÓN	151
6.	BIBLIOGRAFÍA	157
7.	ANEXOS	175

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Otras Clasificaciones de Zonas Climáticas	27
Tabla 2 Clasificación de las Zonas Climáticas Locales LCZ	29
Tabla 3 Variables de las Zonas Climáticas Locales	32
Tabla 4 Operacionalización de la Variable Isla de Calor Urbana	66
Tabla 5 Operacionalización de la Variable Confort Térmico	69
Tabla 6 Estaciones Meteorológicas en la Ciudad y su Clasificación Considerada en el Estudio	78
Tabla 7 Estado de la Calidad y Clasificación de Datos Meteorológicos Registrados por Año	79
Tabla 8 Concentrado de Modelos Generados por Mes	85
Tabla 9 Días del Mes con Mayor Diferencia de Promedio de Temperatura Entre Estaciones Meteorológicas	88
Tabla 10 Fechas Determinadas con Fuerte Presencia del Fenómeno de ICU en el Periodo de Estudio	91
Tabla 11 Listado de Imágenes Satelitales Disponibles en Fuente de Información Raster, Descargadas y Procesadas de 2015	94
Tabla 12 Listado de Imágenes Satelitales Disponibles en Fuente de Información Raster, Descargadas y Procesadas de 2016	95
Tabla 13 Listado de Imágenes Satelitales Disponibles en Fuente de Información Raster, Descargadas y Procesadas de 2017	96
Tabla 14 Listado de Imágenes Satelitales Disponibles en Fuente de Información Raster, Descargadas y Procesadas de 2018	96
Tabla 15 Listado de Imágenes Satelitales Disponibles en Fuente de Información Raster, Descargadas y Procesadas de 2019	97
Tabla 16 Información del Valor de Radiancia Indicada en la Metadata de las Imágenes Satelitales	98
Tabla 17 Información del Valor de Reflectancia Indicada en la Metadata de las Imágenes Satelitales	99

Tabla 18 Valor de la Constante de Conversión Térmica Obtenida de la Metadata de las Imágenes	
Satelitales	100
Tabla 19 Ponderación de Correlación Entre Variables de Temperatura de LST y de EM	106
Tabla 20 Comparación de Condiciones Ambientales Entre Tijuana y Atenas: Temperatura de Bulbo Seco	
	110
Tabla 21 Comparación de Condiciones Ambientales Entre Tijuana y Atenas: Temperatura de Bulbo	
Húmedo	113
Tabla 22 Comparación de Condiciones Ambientales Entre Tijuana y Atenas: Humedad Relativa	114
Tabla 23 Comparación de Condiciones Ambientales Entre Tijuana y Atenas: Velocidad del Viento	116
Tabla 24 Comparación de Condiciones Ambientales Entre Tijuana y Atenas: Radiación del Horizonte Global	
	118
Tabla 25 Comparación de Condiciones Ambientales Entre Tijuana y Atenas: Cobertura de Cielo	120
Tabla 26 Valores Calculados de Temperaturas Máximas y Mínimas de las Imágenes Satelitales Procesadas	
	124
Tabla 27 Temperatura de Estaciones Meteorológicas por Fecha y Hora de Captura de Imágenes Satelitales	
	125
Tabla 28 Valores de Correlación de Temperatura de LST y EM	127
Tabla 29 Resumen de Valores de Correlación de Temperatura LST y EM	130
Tabla 30 Transectos Virtuales en Mapa de Temperatura de la Superficie de la Tierra del 12 de Noviembre	
del 2016	133
Tabla 31 Resultados de ASV por Fecha	135
Tabla 32 Porcentaje de Personas con Percepción de Confort Térmico	137
Tabla 33 Escala de Evaluación UTCI Categorizada en Términos de Estrés térmico	139
Tabla 34 Categorización por Temperatura Para el Cálculo de Población Afectada por Presencia de ICU.	
Parte 1	141

Tabla 35 Categorización por Temperatura Para el Cálculo de Población Afectada por Presencia de ICU.

Parte 2	142
Tabla 36 Imágenes Satelitales con Categorías de Temperatura de Estrés Térmico	145
Tabla 37 Cantidad de Habitantes en Polígonos Definidos por Temperatura Presentada	146
Tabla 38 Cantidad de Habitantes en Polígonos Definidos por Temperatura Presentada	149

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Objetivos de La Agenda para el Desarrollo Sostenible	11
Figura 2 Clasificación de Tipos de Clima	17
Figura 3 Representación Gráfica del Proceso Atmosférico	22
Figura 4 Representación Gráfica del Balance de la Energía	23
Figura 5 Perfil de Temperatura de la Isla de Calor en Ambientes Urbano y Rural	36
Figura 6 Perfil de ICU e Isotermas	38
Figura 7 Estructura y Dinámica de Islas de Calor Urbanas	41
Figura 8 Representación de las Principales Fuentes de Calor Antropogénico	43
Figura 9 División del Espectro Electromagnético	49
Figura 10 Bases de Datos de Registros Meteorológicos en EMA	64
Figura 11 Representación Gráfica de la Relación Entre las Variables de Investigación	72
Figura 12 Recorrido Fotográfico de las Estaciones Meteorológicas en Tijuana	75
Figura 13 Localización de la Infraestructura Meteorológica de Protección Civil y CONAGUA en Tijuana	76
Figura 14 Formato Estadístico Para la Simplificación de Datos Meteorológicos Parte 1	81
Figura 15 Formato Estadístico Para la Simplificación de Datos Meteorológicos Parte 2	82
Figura 16 Gráfica de Promedio de Temperaturas Mínimas Anuales por EM del Mes de Marzo	83
Figura 17 Gráfica de Regresión Lineal Simple del Promedio de Temperatura Mensual	84
Figura 18 Gráfica de Sobreposición Lineal de la Temperatura Promedio Diaria de las Diferentes EMs.	87
Figura 19 Imagen Satelital de la Zona de Estudio Previo Procesamiento	93
Figura 20 Cartografía 1 de la Temperatura de la Superficie de la Tierra Calculada de la Ciudad de Tijuana	103
Figura 21 Cartografía 2 de la Temperatura de la Superficie de la Tierra Calculada de la Ciudad de Tijuana	104
Figura 22 Transectos virtuales	107
Figura 23 Nomogramas de Percepción de Confort Térmico de Nikolopoulou (2004) por Estación Año	122

Figura 24 Histogramas de Valores Mínimos de LST del 1 de Julio 2016	128
Figura 25 Histogramas de Valores Mínimos de LST del 15 de Noviembre de 2017	129
Figura 26 Correlación de Temperatura de EM Y LST Calculada	131
Figura 27 Transectos Virtuales en Mapa de Temperatura de la Superficie de la Tierra	132
Figura 28 Caracterización de la ICU y la Población Afectada en su Localización del 6 de Noviembre de 2016	144
Figura 29 Caracterización de la ICU y la Población Afectada en su Localización del 26 de Juio de 2019	147
Figura 30 Resumen de Población En Incomodidad Térmica y Afecatada por ICU Por Estación del Año.	150

LISTADO DE ABREVIATURAS

ABREVIATURA	CARACTERÍSTICA	SIGNIFICADO
AGEB	NOMENCLATURA	AREA GEOGRÁFICA ESTADÍSTICA BÁSICA
AVS	MODELO	ACTUAL SENSATION VOTE
CONAGUA	INSTITUCIÓN MEXICANA	COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA
COS	NOMENCLATURA DE EDIFICACIÓN DEL SUELO URBANO	COHEFICIENTE OCUPACIÓN DEL SUELO
CUS	NOMENCLATURA DE EDIFICACIÓN DEL SUELO URBANO	COHEFICIENTE UTILIZACIÓN DEL SUELO
EM	NOMENCLATURA	ESTACIÓN METEOROLÓGICA
EMA	NOMENCLATURA	ESTACIÓN METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA
EPW	EXTENSIÓN	ENERGYPLUS WEATHER DATA FORMAT
ETM+	NOMENCLATURA	ENHANCED THEMATIC MAPPER PLUS
INEGI	INSTITUCIÓN MEXICANA	INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA
L1T	NIVEL DE PROCESAMIENTO	LEVEL-1 TERRAIN PRECISION
LST	NOMENCLATURA DE LA TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DE LA TIERRA	LANDSAT SURFACE TEMPERATURE
MSS	NOMENCLATURA	MULTISPECTRAL SCANNER SENSOR
NASA	INSTITUCIÓN INTERNACIONAL	NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION
NIR	LONGITUD DE ONDA DEL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO	NEAR INFRA RED
OLI	NOMENCLATURA	OPERATIONAL LAND IMAGER
OMS	INSTITUCIÓN	ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD
RUROS	ESTUDIO DE CONFORT TÉRMICO	REDISCOVERING THE URBAN REALM AND OPEN SPACES

SIG	NOMENCLATURA	SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
SWIR	NOMENCLATURA	SHORTWAVE INFRARED
TM	NOMENCLATURA	THEMATIC MAPPER
TIRS	NOMENCLATURA	THERMAL INFRARED SENSORS
TOA	NOMENCLATURA	TOP OF ATMOSPHERE
USGS	INSTITUCIÓN INTERNACIONAL	UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY

LISTADO DE SÍMBOLOS

SÍMBOLO	CARACTERÍSTICA	SIGNIFICADO
E		EMISIVIDAD
H		ALTURA
Q		FOTÓN
λ		LONGITUD DE ONDA
μm	Longitud de onda	MICRÓMETROS
R		COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN
W		ANCHO DE CAÑÓN
X		EJE DE LAS ABSCISAS
Y		EJE DE LAS ORDENADAS

LISTADO DE UNIDADES

UNIDAD	ABREVIATURA
HECTÁREA	ha
HUMEDAD RELATIVA	RH_met
KILOVATIO	kW
KILÓMETROS POR HORA	km/h
METRO CUADRADO KELVIN POR VATIO	m ² K/W
METRO SOBRE SEGUNDO	m/s
VATIO POR METRO CUADRADO	W/m ²
VELOCIDAD DEL VIENTO	V_met
PORCENTAJE	%
RADIACIÓN SOLAR	Sol_met
TEMPERATURA DEL AIRE	Tair_met

INTRODUCCIÓN

Las ciudades son el ejemplo del cambio constante, inicialmente se genera con el uso de suelo, de natural a urbanizado, mismo que trae consigo una serie de transformaciones en el paisaje y también en la temperatura del aire, a esto se le conoce como isla de calor urbana (ICU), y es identificada como el aumento de temperatura al interior de las ciudades, mientras que de manera simultánea en las periferias de las mismas o en la parte rural, la temperatura se presenta sensiblemente más baja, este fenómeno es inminente de todas las ciudades y se presenta con diferentes características e intensidades entre una y otra, la isla de calor urbana fue detectada por primera vez en la ciudad de Londres por Luke Howard entre 1817 y 1833 (Oke, 1982).

Como consecuencia de la presencia de la isla de calor urbana, se despliega un listado de impactos en cadena que afectan el ambiente y la calidad de vida de los habitantes, desde el incremento en el consumo de agua y energía, el aumento de contaminantes urbanos por la aceleración de reacciones fotoquímicas, graves problemas de salud pública, y en especial, para ciertos sectores de la población, resultan ser los más vulnerables los de bajos recursos económicos; en general las ciudades experimentan un incremento importante de la huella de carbono (Santamouris, 2015), entre otras afectaciones al confort térmico.

La Norma ISO 7730 (2005) define el confort térmico como la “condición de la mente con la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico”. ASHRAE (2017), la define como “Aquella condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico y es determinada por evaluaciones subjetivas.” Según Godoy (2012) una persona que se encuentra en neutralidad térmica posee un equilibrio termofisiológico y el grado de adaptación a las condiciones meteorológicas permite presentar una aceptación por el lugar misma que infiere en la satisfacción personal.

El confort térmico representa un aspecto determinante que impacta a usuarios de los espacios públicos abiertos para el desarrollo de las actividades al aire libre como en parque y jardines, espacios de convivencia privados y públicos, puntos de transferencia, calles o senderos. Un espacio público abierto posee condiciones climatológicas de acuerdo a las características

meteorológicas locales, sí se diseña el espacio exterior con elementos enfocados al confort térmico, se puede modificar el uso y la permanencia de los usuarios en el mismo a pesar de las condiciones meteorológicas presentadas. Según Nikolopolou M. (2004) el interés del conocimiento del confort térmico que los usuarios de espacios públicos experimentan se ha incrementado, teniendo en cuenta que éstos espacios contribuyen a la mejora de la calidad de vida de los habitantes de las ciudades, aunado a la gran necesidad de espacios públicos abiertos a nivel mundial, generada a partir del 2020, que con cuidados básicos, son lugares con menor riesgo de contagio de enfermedades virales (UNICEF, 2022).

El espacio público abierto es considerado como un lugar físico donde se hace comunidad, es un lugar delimitado en el interior de la ciudad, que se reconoce como un espacio de libre acceso, sitio de concurrencia social definido por el uso y la función (González y Pérez, 2004).

De manera general, los espacios públicos exteriores presentan malas condiciones de habitabilidad, en términos de confort térmico ambiental para los usuarios, mismos que sirven a población que habita cercanamente a ellos, o dentro de su radio de servicio, como de las plazas y de los parques. Estas condiciones pueden ser desde la falta de mantenimiento, contaminación en la acústica, la luminosidad no regulada, contaminación visual, y en general, elementos que pueden ser adecuadamente diseñados.

El espacio público exterior se usa para circular o para permanecer un tiempo no prolongado, en la mayoría de los casos el tiempo de permanencia no es suficiente para resolver el problema del confort térmico. La idea de intensidad o prolongación en que la población hace uso de los espacios públicos exteriores, es principalmente, en función de las condiciones ambientales estacionarias, meteorológicas, de acuerdo a los días de la semana y al propio horario.

Este documento se integra con el desarrollo de cinco capítulos de contenido, uno de bibliografía y uno donde se concentran la información complementaria que se ha generado en los cinco primeros. En el contenido del primero se hace una descripción del planteamiento de la investigación, una exposición de la problemática a mitigar misma que marcó la pauta para

exaltar la importancia del desarrollo de este estudio. En el capítulo también se incluyen la justificación, una explicación de la pertinencia y la relevancia de tema a desarrollar, se plantean las preguntas a las que se buscará una respuesta, se emite una hipótesis, se trazan los objetivos; el principal y los específicos, y por último se relatan los antecedentes sobre ICU, cómo se articula el espacio exterior, se detalla la conceptualización del confort térmico, se describe y delimita el área de estudio, y se aborda el estado de la cuestión.

En el segundo capítulo, se narra el constructo teórico, aborda los recursos que contextualizan las variables de la investigación, se define el clima, microclima y cambio climático, y se discute acerca de los subsistemas de clasificación local. Se conceptualiza de manera explícita la isla urbana de calor en donde se incluye las clasificaciones de la misma, los factores detonantes, las dinámicas e intensidades y las estrategias de mitigación que se han aplicado en otras ciudades. También se conceptualiza el confort térmico como segunda variable, se describen los enfoques de estudio que se han empleado, se citan algunos modelos representativos, referencia la normatividad que aplica, y se ejemplifica el cruce de las variables incluidas en la investigación.

El tercer capítulo integra la narrativa completa de la forma en que sucedió el proceso de investigación, que inicia con exponer y categorizar el diseño de la investigación, introduce las variables de la investigación donde se señalan sus particularidades y la relación entre ellas. Seguidamente se explica el desarrollo y empleo de las técnicas aplicadas como la de fuentes de información meteorológica, la de imágenes satelitales. Se hace un análisis comparativo entre las dos técnicas mencionadas para dar certidumbre a los valores obtenidos, se explica la técnica para el confort térmico. También se indica cómo fueron utilizadas las herramientas, y se describen los procesos aplicados en los cálculos.

En el capítulo cuatro, se exponen los hallazgos de las técnicas aplicadas y con ellos se hace un análisis comparativo de confort térmico en los espacios exteriores en la ciudad.

En el capítulo cinco se encuentra la discusión, las conclusiones y las recomendaciones. En el capítulo seis se estructura un catálogo de las fuentes de información consultadas que respaldan, contextualizan y dan certidumbre al trabajo de investigación.

En capítulo siete corresponde al concentrado de anexos, ilustraciones que complementan la información descrita durante el desarrollo de la investigación, en él se enlistan las gráficas de temperatura promedio mensual, gráficas de dispersión de promedios de temperatura mensual, resultados para del conjunto de valores mensuales para determinar cuándo se presenta el fenómeno con mayor intensidad, gráficas de temperatura por estación meteorológica mensual, cartografía generada de la temperatura de la superficie de la tierra, perfiles de temperatura, gráficas de correlación de temperatura, y cartografía de la categorización para la poligonización de la temperatura.

1. CAPÍTULO I. LA MOTIVACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO

En todo momento es importante tener presente la problemática original que se planteo resolver con el proceso de investigación para poder dirigirse en encontrar las respuestas específicas, al mismo tiempo no deben ser considerarlas como un límite si las respuestas encontradas superan o cambian lo esperado. (Hernández et al., 2014). En este capítulo se describe un panorama con una serie de problemáticas identificadas específicamente del área de estudio pero tambien se toma como ejemplos sucesos que se han identificado en otros lugares, y que se busca dar respuestas con el desarrollo de la investigación.

La ciudad es el espacio común donde se concentran las actividades que la población desarrolla para la supervivencia y el progreso, todas las actividades de la estructura social en una superficie territorial que la convierte en un sistema. De manera genérica la ciudad requiere de un equipamiento, resultado de un proceso de edificación con el empleo múltiples materiales, que permite estructurar una distribución espacial, que requiere de la fabricación de elementos de conectividad e infraestructura; todos ellos transforman la composición física del suelo, y por ende, modifican las características ambientales, territoriales y la calidad del paisaje.

Como consecuencias de las modificaciones del territorio, se deriva la presencia de Islas de calor en las zonas urbanas, fenómeno que produce una alteración en la temperatura de bulbo seco de mayor intensidad en el núcleo de las ciudades, en comparación con la temperatura y sensación térmica percibida en la periferia de las mismas. La isla de calor urbana (ICU) a su vez, produce impactos -como un espiral- en distintos sectores, tanto en el confort térmico, en el incremento del consumo energético y como consecuencia, aumenta el costo de servicios, así también, impacta en la salud de los habitantes y en la degradación ambiental. El fenómeno de ICU se genera donde existen asentamientos con alta densidad, como consecuencia de la concentración de edificación, actividad antropogénica y elementos fabricados con materiales conductores de temperatura, ausencia vegetación, poca permeabilidad al subsuelo, obstrucción de las trayectorias de corrientes de viento, etc.

Las variables meteorológicas del ambiente térmico ocasionan una reacción sobre los seres humanos definido como bioclima. El confort térmico ha sido estudiado y puede estar resuelto para espacios interiores, para los cuales mundialmente se han desarrollado normas; a nivel nacional existe NOM-008-ENER-2001 y NOM-020-ENER-2011 e internacionales: ISO 7730:2005, ANSI/ASHRAE Standard 55, por mencionar algunas. Sin embargo, para los espacios exteriores el confort térmico resulta de mayor complejidad, ya que es multideterminado por variabilidad, temporalidad, el medio y la actividad física de los usuarios de los espacios exteriores. (Höppe, 2002).

El Banco Mundial estima que para el año 2050, el 75% de la población a nivel global se concentrará en extensiones urbanas; mayormente situadas en países en vías de desarrollo (ONU-

HABITAT, 2015). Por ello es necesario emprender acciones urgentes a nivel de clima local, lo que despliega oportunidad para desarrollar estudios que aporten conocimientos que permitan identificar el fenómeno de ICU, conocer el impacto que detona sobre la población, y con ello generar datos y herramientas para obtener resultados aplicables a la mitigación de los efectos.

Para la ciudad Tijuana el panorama tendencial se orienta hacia el incremento territorial urbano y a la construcción de edificación en un corto plazo, de tal forma que, esta ciudad se localiza en el municipio que ha tenido mayor crecimiento poblacional en el país durante la última década 2010 - 2020, con 1.922 millones, localizados en la zona urbana el 94.18% (INEGI, 2020).

Los estudios que se han desarrollado relacionados a la compleja dinámica de la ciudad y su relación con el medio ambiente en distintas facetas, se hicieron con algunas evaluaciones del desarrollo urbano, las áreas verdes y su distribución en el territorio, y en general, estudios relacionados con la reforestación como un mecanismo para reducir los riesgos naturales, (Ojeda Revah & Álvarez, 2000), sin embargo también se pueden considerar los no naturales, como el caso en cuestión.

Otro estudio tiene que ver con la climatología y su sistema sinóptico, de difusión y dilución de los contaminantes de la ciudad y de las emisiones de las fuentes locales a la atmósfera urbana. En el que también se analiza la localización de la zona industrial del Este de la ciudad, respecto a los vientos dominantes (Jauregui, 1981).

1.2. JUSTIFICACIÓN

En este capítulo se expone de manera simple los alcances que se busca, se tendrán, con el trabajo de la investigación, en la justificación se clarifica el porqué y para qué se hace la investigación, cuál es la necesidad a cubrir con el desarrollo y los resultados encontrados con ella, hace tangible la aportación y también describe a cuál sector o aspecto es al que está dirigida.

A pesar de que la ciudad de Tijuana posee un clima seco templado, con un rango de temperatura presentada durante el año, con una mínima de hasta los 5°C, y la máxima no rebasa los 35°C; los habitantes de la ciudad no están exentos de enfrentar episodios de calor, y desafiar los estragos causados por el cambio climático, en los espacios públicos abiertos, las personas no están adaptadas a esas condiciones, las cuales tienen repercusiones importantes principalmente en la salud, algunos están documentados y publicados, y los gobiernos han tenido que implementar acciones para procurar que la población se mantenga hidratada ante la presencia de altas temperaturas.

Paralelamente, existe un problema con la infraestructura básica de algunas instalaciones hospitalarias públicas, que se encuentran sin equipamiento de refrigeración artificial en las áreas de hospitalización. Así también, un mínimo porcentaje de viviendas en la ciudad cuenta con instalación de aire acondicionado como parte de la infraestructura básica doméstica.

El confort térmico en espacios abiertos puede estar afectado por la presencia de ICU, éste fenómeno se presenta con diferentes magnitudes y características en diferentes ciudades de acuerdo a la conformación propia de cada ciudad; el aumento en las temperaturas al interior de las zonas urbanas puede ser diferente, ejemplo de esto se despliegan los resultados presentados de algunos estudios, como en ciudad de México el estudio de Jauregui (1987), con un incremento de 7.8°C al interior de la ciudad; los resultados del estudio de Casillas (2012), en Mexicali, con 10.9°C de diferencia, y para la ciudad de Tampico, los resultados del estudio indican una diferencia de hasta 9.4°C (Fuentes, 2015).

Si bien, la ICU no contribuye directamente al cambio climático, si influye de manera indirecta, su presencia local está relacionada con el aumento de la huella ecológica de las urbes, debido a que provoca una disminución en el confort térmico, en la ciudades aumenta el gasto de energía para satisfacer necesidades de ambientación, entre otros diversos mecanismos colaterales que se desencadenan. Por lo anterior, representa una problemática de primordial importancia local y a su vez contribuye a dar respuesta a un problema de escala global.

En cada ciudad con una tendencia acelerada de crecimiento, la gestión de estudiar, y desarrollar un trabajo investigación que determine las principales causas que agudizan la presencia del fenómeno ICU resulta necesario. Por su parte, esta investigación sirve para contribuir a evaluar cómo sucede, cuál es su caracterización y cómo el confort térmico es impactado por el fenómeno de ICU en la ciudad de Tijuana, misma que contempla características y problemáticas especiales, de localización geográfica, de actividad fronteriza y de dinámicas de crecimiento urbano y poblacional particulares y con este trabajo se contribuye:

- Al conocimiento y caracterización del fenómeno de ICU en un periodo de estudio en la ciudad de Tijuana y cuando se presenta.
- Al conocimiento de datos en relación con los rangos de la de temperatura.
- Al conocimiento de los atributos geo-estadísticos donde el fenómeno incide.
- A la diferenciación de las sensaciones térmicas de los espacios públicos en las temporadas del año.
- A la generación información que forme parte de los antecedentes para el diseño de espacios exteriores.
- A medir parámetros de vulnerabilidad de confort térmico, para diseñar elementos que permitan experimentar estancias confortables, productivas o de ocio, prolongadas y seguras a los usuarios de los espacios abiertos.
- Como el punto más importante es que este trabajo, está enfocado a estudiar el efecto causado hacia los seres humanos en una escala de ciudad.

1.3. PERTINENCIA

Es obligación de la sociedad misma proteger a los miembros que la componen, las autoridades por su parte tienen la obligación, en los tres órdenes de gobierno de contribuir con la protección de la sociedad a través de las instituciones, programas sociales, iniciativas de ley y propuestas de mejora. Paralelamente a éstos, como investigadores es importantes aportar conocimientos para ese tipo de protección, ya sea con iniciativas o propuestas que vayan respaldadas con los resultados de la investigación científica, de manera que, más allá de analizar el efecto económico de un fenómeno, compruebe el impacto que pueda causar a las personas que conforman la comunidad, como el enfoque y objetivo que ésta investigación aborda.

La temática de la línea de investigación de este trabajo permite que se integre en el programa MyDAUD, ya que el enfoque del programa educativo es apto para la investigación multidisciplinaria de estudios del hábitat y su relación con la ciudad y con el entorno. Aspira a la formación de seres comprometidos con el medio ambiente, que sean capaces de expresar la originalidad en el desarrollo de la investigación de las distintas áreas que abarca.

Esta investigación se alinea en concretar soluciones específicas a problemas reales, con el conocimiento técnicos y científicos, y con la implementación de herramientas que abonen la efectividad de las propuestas de las temáticas de ciertas disciplinas relacionadas a la ciudad y su relación con la dinámica regional, transfronteriza e internacional del norte de México y sur de Estados Unidos de América.

En mi formación, me han orientado para no perder de vista la misión de generar, desarrollar y difundir el conocimiento, con capacidad de crítica, basada en los códigos y valores de alto compromiso social. Con el desarrollo de este trabajo he podido adquirir conocimientos, mejorar mis habilidades y mantener una actitud abierta y de búsqueda para mejorar el conocimiento de la Isla de calor urbana y el confort térmico, teniendo como herramienta principal la investigación científica.

1.4. RELEVANCIA

En esta investigación se encuentran como puntos de relevancia aquellos que contribuyan a lograr los objetivos de la Agenda para el Desarrollo Sostenible de la ONU (ONU, 2020). Es importante resaltar que, los impactos que se han detectado en los que el fenómeno de ICU tiene incidencia, son problemáticas crecientes en diferentes ámbitos, por lo que, una vez que se haya planteado la problemática y estableciendo algunas alternativas de mitigación, se estará contribuyendo a lograr con el objetivo 3, 11, 13, 15, por mencionar algunos de manera específica que coadyuven a garantizar el derecho al medio ambiente sano, sin embargo el impulso con temáticas similares a la manejada en esta investigación, podría comprender contribuir parcialmente en el total de los objetivos de manera integral y sistemática.

Figura 1
Objetivos de La Agenda para el Desarrollo Sostenible.



Fuente: (ONU, 2015)

1.5. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál es el impacto en el confort térmico en los espacios exteriores provocado por la ICU en Tijuana, B. C.?

¿Qué porcentaje de la población con base en áreas geográficas estadísticas básicas (AGEBs) es afectada en el confort térmico en los espacios exteriores por la presencia ICU en Tijuana, B.C.?

1.6. HIPÓTESIS

Se considera que con base en los episodios de calor en la temporada reciente de los años 2015 al 2019 (periodo de estudio de este documento) en Tijuana, el porcentaje de afectación en la población con base en AGEBS es de un 35% para el periodo cálido y un 15% para el periodo frío.

1.7. OBJETIVO

Calcular la población afectada en el confort térmico de espacios exteriores en las zonas impactadas por la isla de calor urbana (ICU), con procesos estadísticos y de teledetección para la caracterización y la ubicación del fenómeno.

1.7.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Establecer el área y periodo de estudio mediante el análisis de datos históricos de estaciones meteorológicas existentes.

Estimar la temperatura de la superficie de la tierra por medio de imágenes de satélite para la geo-localización de la ICU.

Categorizar la zona con presencia de ICU, con generación de cartografía.

Determinar el método de análisis para el estudio del confort térmico en espacios exteriores afectados por la ICU de acuerdo con las variables disponibles.

1.8. ANTECEDENTES

En este apartado se describen los precedentes en relación al tema de investigación, del conocimiento del tema, el propósito de establecer una fácil identificación de las variables del tema de estudio, contenido con relación directa al tema de investigación y casos análogos, y la descripción de los enfoques y métodos empleados.

1.8.1. ISLA DE CALOR UBANA

En ciertos puntos geográficos de las ciudades existen variaciones de temperatura que son percibidas y registradas mayores a la presentadas simultáneamente en las periferias de la ciudad o en el área rural circundante, como consecuencia de la transformación que ha sufrido el suelo natural a suelos urbanizados, por mencionar algunos: construcción de planchas de concreto empleadas para el equipamiento urbano y para la red vehicular, edificación y naves industriales con diversos materiales, grandes extensiones de superficies impermeables, alta concentración de actividades antropogénicas, elevado consumo de energía en sistemas de climatización que después es transformada en calor, etc., por otro lado, la falta de reforestación y de áreas verdes favorecen este fenómeno de origen térmico, conocido como Isla de calor urbana (ICU o en inglés Urban Heat Island, UHI), la cual se presenta con características distintas entre una y otra ciudad.

Este fenómeno de ICU ha sido documentado desde 1817 y 1833, en la ciudad de Londres (Oke, 1982), las investigaciones al respecto en diversas ciudades del mundo se han realizado con mayor frecuencia a partir de la década de los 80's, y a partir de este siglo con mucha mayor cuantía, incluyendo estudios en las algunas ciudades de la República Mexicana; ciudades que

han experimentado un acelerado crecimiento poblacional y geográfico, y donde además, es vulnerado el control urbanístico en cubrir la demanda de los servicios, actividades de planeación y otras necesidades de urbes en crecimiento constante.

1.8.2. ESPACIO EXTERIOR PÚBLICO URBANO

El espacio abierto urbano o espacio público, está delimitado por elementos de la ciudad como las propias edificaciones, está dispuesto al aire libre, no poseen paredes ni techo, y la accesibilidad no es limitada, podemos identificar principalmente tres diferentes tipos de espacio público, el primer tipo corresponde a la calle, el elemento de enlace y plataforma de actividades relacionadas con la movilidad en diferentes dimensiones que además, es una importante vía de comunicación. Los otros dos tipos de espacios públicos son la plaza y el parque, donde la socialización y el esparcimiento de la población forman parte de las actividades principales, pero también se pueden generar otras actividades importantes como el comercio.

La definición que Borja et al., (2003) hace del espacio público urbano, inicia con la aceptación de la falta de certeza de identificar un uso específico, puesto que éste incorpora diferentes dinámicas de usabilidad por cada residente o visitante, algunos observan y otros forman parte de paisaje y lo ilustran, la convivencia se da entre todos, algunos compran y otros venden, otros se desplazan y algunos otros se detienen a permanecer por más tiempo. Es un espacio funcional del dominio público, diseñado o no, en él se puede desempeñar distintas funciones, también es ideado como instrumento de redistribución social, cohesión comunitaria y colectiva; es un espacio de circulación permanente, donde cualquier persona tiene el derecho de hacerlo libremente.

Con base en las publicaciones de normatividad para las edificaciones a nivel nacional e internacional, es notoria la labor ejecutada para incorporar lineamientos de diseño sustentable y con ello propiciar el confort térmico al interior de las edificaciones, esto representa que las actividades cotidianas al interior de inmuebles han sido cubiertas considerablemente para desarrollarse de manera funcional, seguras, cómodas y con eficiencia energética.

Sin embargo, no todas las actividades que la sociedad desempeña en una ciudad suceden al interior de un inmueble; incluso algunos sectores productivos desarrollan sus actividades principalmente en espacios abiertos, y que además, la totalidad de la población no cuenta con una vivienda, tan solo en Tijuana la indigencia contabilizada se basa en las cifras de la Estancia Municipal de Infractores (EMI), la cual mensualmente reciben 8 mil personas en situación de calle (Tijuana, 2021). Las áreas exteriores en una ciudad también tienden a evidenciar la parte hostil de las urbes, en lo relativo a problemáticas climatológicas, el espacio abierto representa el escenario donde la mayoría de las defunciones por golpes de calor se suscitan.

1.8.3. CONFORT TÉRMICO

La combinación de las condiciones microclimáticas y de confort, junto con la estimulación ambiental, aún con micro climas extremos tanto de calor o de frío, y con la aplicación de los atributos del diseño, permiten que la comunidad pueda satisfacer la necesidad de hacer uso de los espacios abiertos, con la integración de una proporcionada medida de exposición o protección incluyendo elementos climáticos para el confort (Nikolopoulou, 2005).

1.8.4. CASO DE ESTUDIO

La ciudad de Tijuana se encuentra localizada al noroeste de la República Mexicana, colinda al norte con el estado de California de los Estados Unidos de América, al sur con el municipio de Playas de Rosarito, al este con el municipio de Tecate y al oeste con el Océano Pacífico.

Poblacionalmente se encuentra en el primer peldaño de la lista de las ciudades con mayor crecimiento población en el país, con respecto al reciente Censo de Población y Vivienda 2020,

el conteo de habitantes es de 1,922,523, localizados en su mayoría en una superficie urbana de 22,000 ha., de las 123,533 ha de extensión territorial municipal.

El clima local predominantemente en la región donde se ubica la ciudad de Tijuana, es árido, templado y seco (Figura 2), con lluvias en invierno, (García, 1988) precipitación promedio a los 223 mm. La temperatura anual promedio es de 21.5°C, los veranos con una media anual de 26°C. En invierno la temperatura promedio es de 6°C, la variación de temperatura entre el día y la noche es generalmente de 9°C.

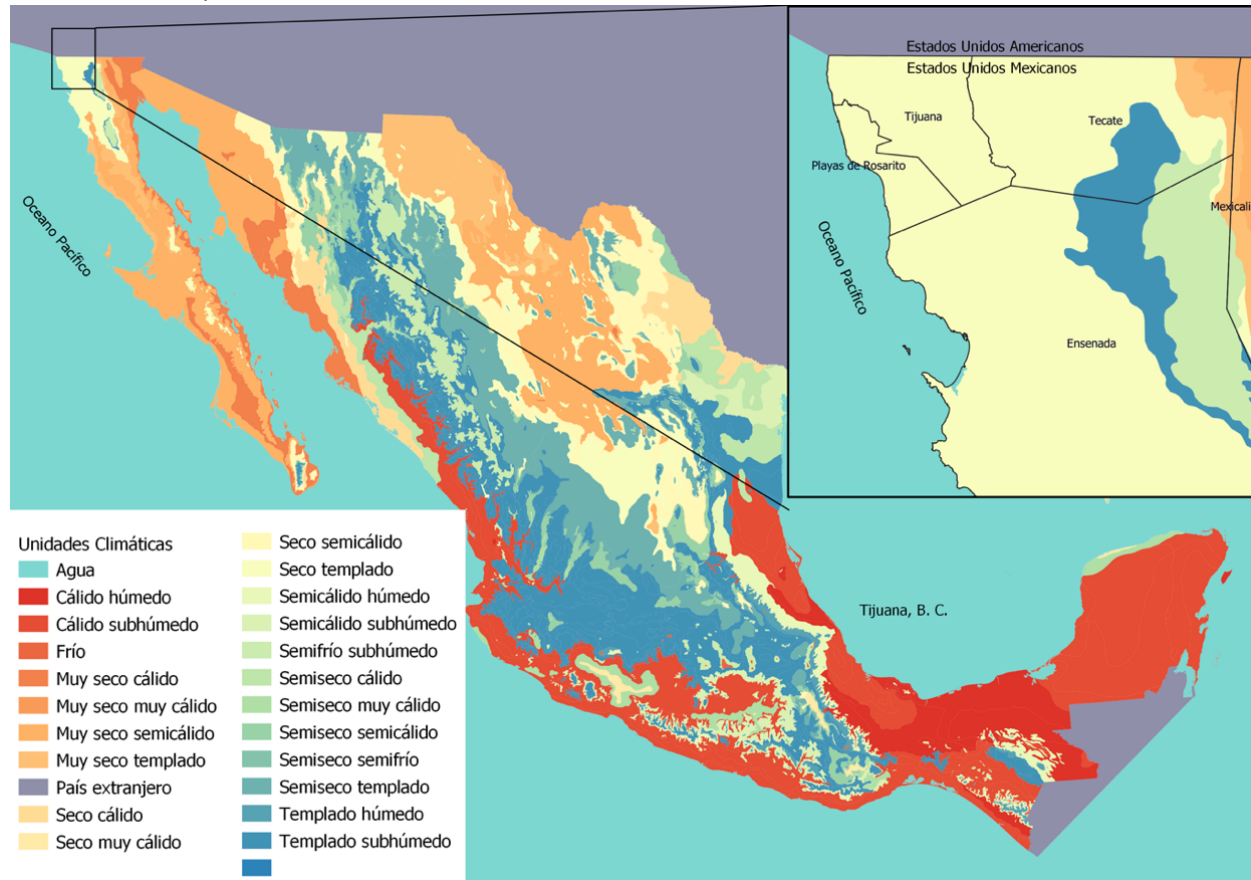
Durante las estaciones de otoño e invierno se presenta eventualmente el fenómeno meteorológico conocido como “Vientos de Santa Ana”, originados en Sierra Madre característicos por ser intensos, calientes y secos, que pueden tomar una velocidad de hasta los 140km/h.

Las variaciones más significativas del clima local, han sido provocadas principalmente por los efectos de El Niño y La Niña, sin embargo, existe una condición de fuerte vulnerabilidad a las condiciones climáticas, y de manera general la incertidumbre e incógnitas del impacto del cambio climático (IMPLAN, 2010).

En cuanto a composición física del suelo, la parte urbanizada se localiza principalmente sobre la cuenca del Río Tijuana, extensión hidrológica que abarca parte del país vecino; la variación topográfica serrana, alcanzan la cota 550 en dentro del área urbana, y las más baja hacia las playas del Océano Pacífico.

Existen otras variaciones topográficas importantes mismas que han provocado una consecuente problemática en cuestiones ambientales, territoriales y de calidad del paisaje, por efecto directo del crecimiento urbano, ya que se han ejecutado proyectos topográficos rigurosos de movimiento de tierras sin autorización y sin considerar medidas de seguridad, que han generado problemas de deslizamiento y desaparición de manzanas enteras con asentamientos habitacionales.

Figura 2
Clasificación de Tipos de Clima.



Nota. Mapa de los climas en el territorio nacional, el clima en la ciudad de Tijuana como seco templado.
Fuente: INEGI 2020.

1.8.5. ESTADO DE LA CUESTIÓN Y CASOS ANÁLOGOS

Se conoce al “Estado de la cuestión” a la historia y al análisis de la documentación e investigaciones publicadas de temas específicos, los temas que nos ocupan son la ICU y el confort térmico y están relacionados también algunos aspectos que sustentan estudios realizados como Bioclimatología, Ergonomía, Fisiología, Psicología, Arquitectura y Urbanismo. El análisis del estado de la cuestión se estructuró a partir de dos ejes conceptuales principales integrados en esta investigación, tales como las ICU y confort térmico .

Jauregui (1997), en su investigación Heat island development in Mexico City hace una descripción de la climatología y de la ICU presentada en Ciudad de México, emplea datos de dos estaciones meteorológicas, urbana y rural. Los resultados identifican la presencia de ICU principalmente las nocturnas que incidieron durante las tres cuartas partes del periodo analizado con una intensidad hasta de 7.8 °C. También fue identificada ICU diurna con una intensidad de 3°C a 5°C, durante un periodo menor y específicamente por las tardes con intensidad de 4°C a 5°C, esta última abarca dos estaciones anuales, la seca y la húmeda, con una frecuencia de 12% del periodo analizado. Paralelamente identificó que en promedio los contrastes entre las áreas urbanas – rurales son de 5°C la diferencia de temperatura.

Prats et al. (2005), analizan la configuración y localización de la ICU en la ciudad de Zaragoza España, y examina los factores detonantes, con la integración de una base de datos generada a partir de recorridos urbanos durante un periodo de 27 días, para posteriormente ser procesado con herramientas sistemas de información geográfica. Con la aplicación de métodos estadísticos para analizar la relación de la caracterización de la IUC, de la geografía urbana y la variación del máximo térmico. Como resultado identifica la influencia de los elementos que conforman el área geográfica, tales como la topografía, densidad de edificación, la reflectancia de los materiales empleados, las áreas de vegetación y el viento.

En lo referente a estudios relacionados con el confort térmico en espacios abiertos, Nikolopoulou, (2004) hace una presentación y descripción de las herramientas utilizadas y diseñadas para el estudio realizado en espacios públicos abiertos de diferentes países de la unión Europea en el proyecto nombrado Redescubriendo el ámbito urbano en los espacios abiertos (RUROS, por sus siglas en inglés) que aborda la participación de estudiantes, académicos y participantes en general. La metodología resultante del proyecto está conformada por tres metodologías base, la primera se refiere al instrumento de encuestas aplicadas a los usuarios de los espacios y de sus condiciones climáticas, seguido por el análisis estadístico de los datos recabados, desarrolló y uso de herramientas para hacer una modelación ambiental posterior de los espacios abiertos en el que se integran todos elementos y componentes. Los instrumentos fueron aplicados en 14 diferentes plazas de diferentes países de Europa, y la escalas utilizada

entre los extremos del frío y el calor registró la sensación térmica de los usuarios, variable definida como voto de sensación actual (ASV), comparados posteriormente con el índice térmico determinado Predicción voto promedio (PMV), mismo que expone una diferencia entre el conjunto de datos de ambas variables.

A partir de una iniciativa para desarrollar un índice climático térmico universal para evaluar el ambiente de manera que tuviera diversas aplicaciones, como en los servicios meteorológicos públicos, en los sistemas de salud pública, en la planificación preventiva, en el diseño urbano, el turismo y la recreación, y en la investigación con impacto climático, etc. mismos que comparados entre sí, las resultante fuese genérica. El objetivo principal fue incorporar el modelo de termorregulación como el intercambio de calor, mismo que se ha desarrollado durante un periodo prolongado comprendido en tres décadas de estudio científico. La misión implicó generar una red colaborativa de diferentes disciplinas, conocimientos y labor científica, respaldado por un programa europeo que promueve la cooperación de la ciencia tecnológica, en el que 45 científicos de diferentes países participaron auspiciados por la Comisión de Climatología de la OMM (CCI por sus siglas en inglés).

La validación del modelo UTCI implicó la estandarización en los campos de la biometeorología humana, incluye variables de temperatura del aire, la presión del vapor de agua, velocidad del viento, la temperatura radiante media con flujos de radiación de onda corta y larga de la atmósfera y coeficientes determinadas para cada una de ellas (Jendritzky, 2012).

El modelo UTCI, se vincula al enfoque predictivo en la investigación, representa un modelo biofísico que Integra actividades humanas desde pasivas, moderadas a intensas, con arropamiento en una escala de ligero a muy arropado, también es aplicable para interiores y exteriores, y a todo tipo de clima, el Índice térmico climático universal está representado por la siguiente ecuación.

$$UTCI = 0,84 \cdot Ta + 0,246 \cdot Tmrt - 2,45 \cdot v + 0,204 \cdot vp - 0,0 \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

Ta: temperatura del aire

Tmrt = temperatura radiante media (°C)

v= Velocidad del viento en m/s

vp= Presión de vapor en el ambiente (hPa)

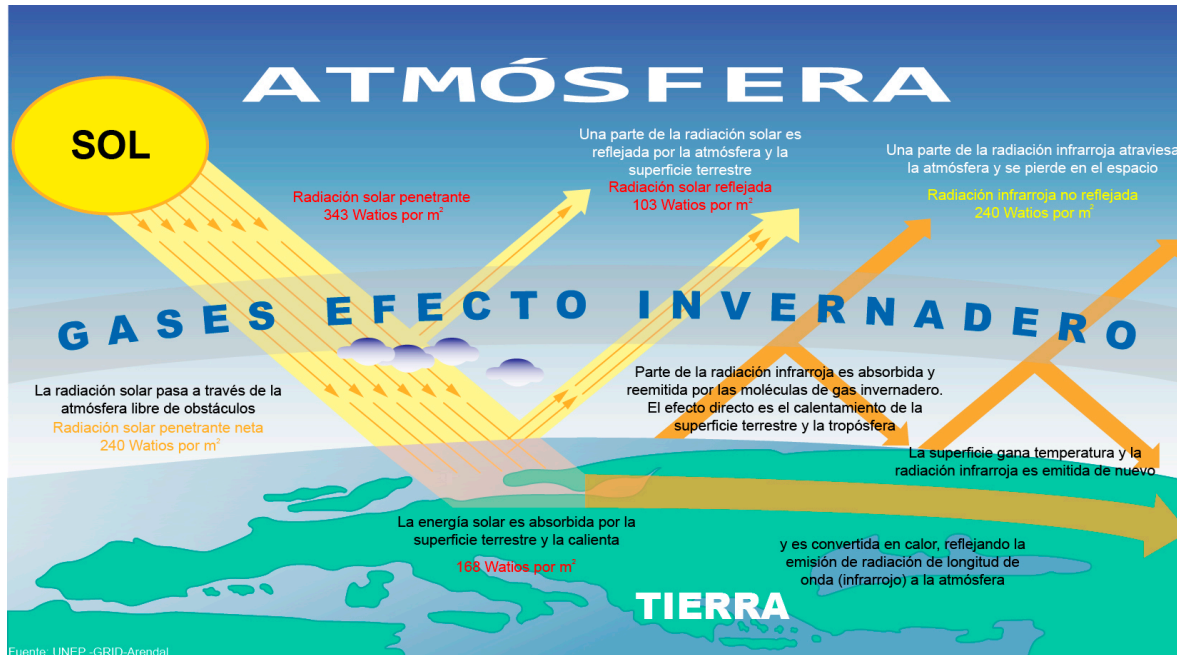
2. CAPÍTULO II. CONTEXTO

El contenido de este apartado es la recopilación de información que otros han generado relacionada con el tema principal la investigación, integra los enfoques de diferentes autores, las teorías desarrolladas, la conceptualización de términos clave que componen el tema de la investigación, relata lo que se ha investigado en relación exclusivamente al caso de estudio, y describe que métodos y técnicas han sido empleadas para los resultados obtenidos (Hernández et al., 2014).

2.1. CLIMA

El estado de la atmósfera, para un lugar y tiempo determinados, representa una definición genérica del tiempo meteorológico y en sus propiedades, clasifica tanto el tiempo como las características físicas de la atmósfera que están en constante dinamismo. El clima está compuesto por una variedad de fenómenos meteorológicos (meteoros) frecuentes, y estos figuran las propiedades de un área geográfica y su medio, (Urrea, 2017). Sin embargo, para tener una descripción de las propiedades climáticas de un sitio en específico, estos fenómenos deben ser registrados durante periodos largos de tiempo, comprendidos al menos por 10 años, pero idealmente de 30 y hasta 40 años para lograr que la caracterización sea confiable; ya que en periodos cortos pueden presentarse condiciones atípicas, en las cuales se registra fuertes diferencias que no corresponden a los presentados con mayor incidencia o normalizados.

Figura 3
Representación Gráfica del Proceso Atmosférico.



Nota. Proceso genérico del balance de la energía en la atmósfera.
Fuente: Desarrollado con base en: (UNEP, 2010).

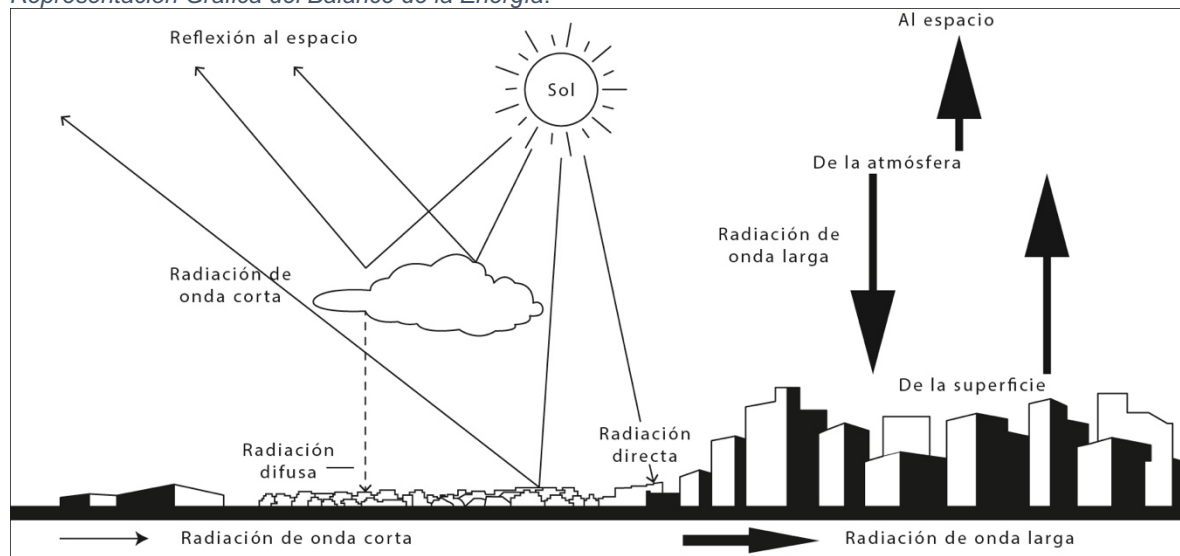
El clima local es afectado por la presencia modificadora de las condiciones térmicas naturales de un territorio, la ausencia o presencia de agentes físicos genera una clasificación del clima, una estratificación en la que el hombre tiene injerencia y es conocida como clima urbano. La ciudad integra elementos de gran capacidad modificadora de temperatura antrópica que alteran las condiciones climáticas en las áreas urbanas diferentes a las condiciones naturales, (Fuentes, 2015).

2.1.1. MICROCLIMA

Dentro de los climas locales, existe la clasificación de un clima intervenido por el hombre que se conoce como clima urbano. El proceso de urbanización agrega nuevos factores o elementos que influyen en la formación de un clima diferente, de manera radical se genera un cambio en el balance de energía que se presenta tanto en la superficie de la tierra como en la atmósfera de las ciudades. (Huang et al., 2008).

La Figura 4 Muestra esquemáticamente la transición de energía hacia la atmósfera de una ciudad, en comparación (del lado izquierdo), como se efectúa en ambientes rurales o naturales. En el transcurso del día la onda corta de radiación se absorbe en los materiales que estructuran la ciudad, y durante la noche es liberada pausadamente como radiación de onda larga, comparada con la velocidad en que la energía es liberada en el área rural (Bridgman et al., 1995), crea múltiples microclimas urbanos, esto se debe a una serie de factores complejos, como la pérdida de enfriamiento en superficies vegetadas, al aumento de la actividad humana y el almacenamiento de calor construido en entornos urbanos, así como el efecto de cañón (Levermore & Cheug, 2012).

Figura 4
Representación Gráfica del Balance de la Energía.



Nota. El esquema muestra cómo se presenta la radiación solar en una superficie urbana.
Fuente: Desarrollado con base en (UNEP et al., 2010).

La relación entre clima y ciudad es recíproca, dentro de la ciudad existen propiedades físicas capaces de generar condiciones medioambientales particulares, una combinación de características de entornos inmediatos; razón por la cual se convierte en un sistema complejo de

mosaicos de paisajes, cada uno de los cuales presenta sus particulares coeficientes de absorción, almacenaje y emisión de calor, provocando que las zonas urbanas cambien el clima local creando microclimas urbanos. Los espacios urbanos y densamente edificados con múltiples formas y configuraciones espaciales, ofrecen una mayor resistencia al flujo del viento y provocan una menor pérdida de calor sensible (Martínez Martínez, 2014).

2.1.2. CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático es considerado uno de los problemas más graves por las consecuencias que se han presentado y que se han podido identificar; esto se refiere al aumento de la temperatura promedio en superficie de la tierra provocado por los procesos de transformación del planeta con los usos de suelo, modificaciones consideradas como irreversibles a muchas de ellas. Está relacionado con el alto consumo de energía de fuentes fósiles que contaminan la atmósfera por emisiones de CO₂, mismas que provocan lluvias ácidas, afecta la capa de ozono y originan gases de efecto invernadero (Alonso, 2013).

El cambio climático hoy en día se considera una problemática global prioritaria de atender y resolver de manera local, ya que tienen afectaciones que no solo vulneran la salud y el medio ambiente, también otros ámbitos que impactan directamente en la población y se plantea como uno de los retos para el siglo XXI. El acuerdo para que los países y las ciudades tomen acciones de manera local a favor de implementar estrategias para detener el cambio climático fue convenido por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en el Reporte Brundtland en 1987. El concepto de desarrollo sustentable y los ejes de acción principales encabezan los acuerdos a ser integrados en el desarrollo de sus políticas. Derivado de esto, la Agenda para el Desarrollo Mundial, demanda que para el 2030, en la proposición de nuevas políticas y estrategias de los diferentes niveles de gobierno de los países, se incorporen medidas para frenar el cambio climático, con el diseño de planes maestros para el uso del suelo, dotación de infraestructura y la conectividad de las ciudades, entre otras, mismas que se han considerado para hacer relevante este trabajo de investigación.

El espacio urbanizado ha permitido monitorear históricamente las temperaturas de la superficie en la integración de registros a escala global, y éstos a su vez, han permitido identificar las modificaciones climáticas ocurridas durante el paso del tiempo; en las grandes ciudades en las que se han desarrollado estudio climáticos, se presentan magnitudes similares con los cambios en las proyecciones tendenciales, es así como las ciudades son empleadas como modelos de evaluación de impactos por cambio climático, y por su parte son también los modelos para proyectar estrategias de adaptación. En el cambio climático está implícito el fenómeno de ICU, problemática ambiental que representa una consecuencia del crecimiento de la población, de modo que los límites que separan la mayoría de las clases se pueden delinear en un mapa de la ciudad o una fotografía aérea.

2.2. SUB-SISTEMA DE CLASIFICACIÓN LOCAL CLIMATE ZONE

Se le denomina zonas climáticas locales (LCZ por su siglas en inglés) a la fragmentación del suelo para una clasificación climática integral donde existe un patrón uniforme del paisaje de sitios urbanos y rurales. Estos se emplean para estudios de temperatura de bulbo seco con representación a una escala local con uniformidad de modelos repetitivos de naturaleza climática, materia estructural, actividad humana, características de temperaturas que prevalecen la mayor parte del año, objetos de rugosidad, materiales en cubiertas y recubrimientos predominantes en la superficie, para los que la extensión o magnitud de la superficie puede ser hasta de kilómetros cuadrados.

Stewart y Oke, (2012) hacen una descripción de la clasificación y una revisión de clasificaciones previas a la LCZ, sin embargo establecen que al hacer uso de las clasificaciones los estudios investigativos se logra establecer compatibilidad con otros estudios de observación y de explicación energética subyacente de fenómenos climáticos o de calor urbano; representan una coherencia y precisión en los informes sobre el clima urbano para cualquier ciudad o región, con base en una descripción estandarizada de la estructura de la superficie.

El uso o aplicación es universal y resulta sencillo para estudios locales de temperatura, hace más simple el proceso en la recolección de los metadatos de un área geográfica, por otro lado representa un pre-proceso en la medición del efecto de ICU. De esta manera se podrá concebir un área geográfica con mayor precisión como área urbana o área rural, ya que se unifican en la clasificación de criterios de percepción entre ellas, que basadas en la estructura física y en las propiedades del clima, pueden ser concebidas indistintamente. El espacio urbanizado está en constante transformación y expansión como consecuencia del crecimiento poblacional y porque en zonas urbanas se facilita la accesibilidad a los servicios básicos, razón por la que los especialistas en urbanización describen con dificultad los límites de lo urbano y lo rural en ciudades horizontalmente dispersas y descentralizadas.

Tabla 1
Otras Clasificaciones de Zonas Climáticas

Autor	Ciudad	Clasificación	Medio ambiente urbano comparado con el rural
Chadler (1965)	Londres	4	Cada una distinguida por su clima, fisiografía y forma construida.
Auer (1978)	St. Louis, Missouri	12	Características de vegetación y construcción.
Ellefsen (1991)	Boston, Philadelphia, Baltimore, Pittsburgh, Cincinnati, Atlanta, Houston, Denver, Seattle, y Sacramento.	17 UTZ	Paisajes urbanos, tipos de construcción y materiales de construcción.
Oke (2004)		17	Dimensiones del edificio / calle, cobertura del suelo, materiales, metabolismo.
Loridan y grimmond (2011)	América del Norte, Europa, África y Asia	4	Por valores de umbral para las fracciones activas de vegetación y construcción.
Scherer et al. (1999)	Basilea, Suiza		Ventilación y cobertura del suelo.
Wilmers (1991)	Hannover, Alemania	9	Morfometría: la altura, la forma, el área, tridimensional y la distribución espacial de sus elementos de rugosidad (edificios y árboles).

Nota. La tabla muestra los autores que han desarrollado un tipo de clasificación de microclimas diferente para las ciudades referenciadas.

Fuente: Desarrollado con base en (Stewart & Oke, 2012).

Las características de las clasificaciones descritas en la tabla de las zonas climáticas, tienen similitud con los objetivos de observación de la isla de calor, pero son limitadas, solo algunas emplean un conjunto completo de propiedades de clima superficial. Se considera un conjunto completo aquel que incluye las propiedades físicas de la estructuración de la superficie,

esto es: cubierta, materiales y el metabolismo (Oke, 2004). Una efectiva clasificación es con nomenclatura descriptiva de acuerdo con sus características, de clases genéricas, términos simples, propiedades y relaciones.

La clasificación Oke (2004, 2008) agrupa 17 tipos principales, definidos por cubiertas y superficies; por materiales de construcción y emisiones de calor antropogénico. Los primeros tipos estándar son agrupados por las características de construcción de las cubiertas de la superficie predominantes, recubrimientos pavimentados, edificaciones de alturas variables y árboles dispersos, es considerada la cobertura de suelo, densidad arbolada o propiedades cubriendo la superficie, que pueden ser las estacionales, como la nieve, humedad u hojas secas.

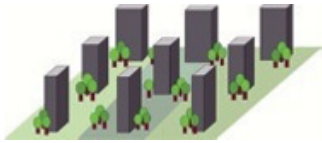
La clasificación se realizó a partir de considerar el paisaje del territorio contiguo, adaptado y modificado, la división es generada con base en las propiedades que impactan la temperatura. Cada elemento de la agrupación fue nombrada considerando la opinión de posibles usuarios para criterios de conceptualización, datos cuantitativos para ser empleados en la tipificación, algunos retomados de previas clasificaciones. La clasificación se basó en un cruce de atributos urbanos, componentes cualitativos del espacio, cruzados con los atributos numéricos de climatología urbanos, equilibradamente con escenarios de temporalidad.

Stewart y Oke, (2012) establecen que al hacer uso de las clasificaciones de LCZ los estudios investigativos pueden establecer compatibilidad con otros estudios de observación y de explicación energética subyacente de fenómenos climáticos o de calor urbano. Representan una coherencia y precisión en los informes sobre el clima urbano para cualquier ciudad o región, con base en una descripción estandarizada de la estructura de la superficie.

Tabla 2
Clasificación de las Zonas Climáticas Locales LCZ

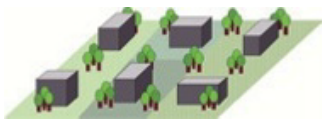
Tipos de construcción	Definición	Tipos de cobertura de suelo	Definición
1. Rascacielos compacto	Mezcla densa de edificios altos a decenas de pisos. Pocos o ningún árbol. Cubierta de tierra mayormente pavimentada. Materiales de construcción de hormigón, acero, piedra y vidrio.	A. Árboles densos	Paisaje muy arbolado de árboles de hoja caduca y/o de hoja perenne. Cubierta de tierra mayormente permeable (plantas bajas). La función de la zona es bosque natural, cultivo de árboles o parque urbano.
2. Compacta de media altura	Mezcla densa de edificios de mediana altura (3-9 pisos). Pocos o ningún árbol. Cubierta de tierra mayormente pavimentada. Materiales de construcción de piedra, ladrillo, baldosas y hormigón.	B. Arboles dispersos	Paisaje ligeramente arbolado de árboles de hoja caduca y/o de hoja perenne. La cobertura del suelo es principalmente permeable (plantas bajas). La función de zona es bosque natural, cultivo de árboles o parque urbano.
3. Compacta de poca altura	Mezcla densa de edificios de poca altura (1-3 pisos). Pocos o ningún árbol. Cubierta de tierra mayormente pavimentada. Materiales de construcción de piedra, ladrillo, baldosas y hormigón.	C. Arbusto, matorral	Arreglo abierto de arbustos, matorrales y árboles cortos y leñosos. Cubierta del suelo mayormente permeable (suelo desnudo o arena). La función de zona es matorral natural o agricultura.

4. Rascacielos abierto



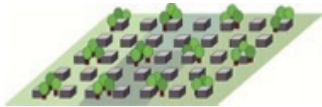
Disposición abierta de edificios altos a decenas de pisos. Abundancia de cobertura de suelo permeable (plantas bajas, árboles dispersos). Materiales de construcción de hormigón, acero, piedra y vidrio.

5. Abierto de media altura



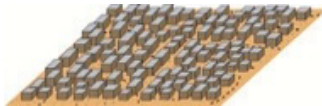
Disposición abierta de edificios de mediana altura (3-9 pisos). Abundancia de cobertura de tierra permeable (plantas bajas, árboles dispersos). Materiales de construcción de hormigón, acero, piedra y vidrio.

6. Abierto de baja altura



Disposición abierta de edificios de poca altura (1-3 pisos). Abundancia de cobertura de tierra permeable (plantas bajas, árboles dispersos). Materiales de construcción de madera, ladrillo, piedra, baldosas y hormigón.

7. Ligerero de baja altura



Densa mezcla de edificios de un solo piso. Pocos o ningún árbol. Cubierta de tierra en su mayoría compacta. Materiales de construcción livianos (por ejemplo, Madera, paja, metal corrugado).

D. Plantas bajas



Paisaje sin rasgos de hierba o plantas/cultivos herbáceos. Pocos o ningún árbol. La función de zona es pastizales naturales, agricultura o parque urbano.

E. Roca desnuda o pavimento



Paisaje sin rasgos de roca o cubierta pavimentada. Pocos o ningún árbol o planta. La función de zona es desierto natural (roca) o transporte urbano.

F. Suelo desnudo o arena



Paisaje sin rasgos de suelo o cubierta de arena. Pocos o ningún árbol o planta. La función de zona es desierto natural o agricultura.

G. Agua



Grandes cuerpos de agua abiertos como mares y lagos, o cuerpos pequeños como ríos, embalses y lagunas.

8. Gran altura baja



Disposición abierta de grandes edificios de poca altura (1-3 pisos). Pocos o ningún árbol. Cubierta de tierra mayormente pavimentada. Materiales de construcción de acero, hormigón, metal y piedra.

9. Escasamente construido



Disposición escasa de edificios pequeños o medianos en un entorno natural. Abundancia de cobertura de tierra permeable (plantas bajas, árboles dispersos).

10. Industria pesada



Estructuras industriales de baja altura y media altura (torres, tanques, pilas). Pocos o ningún árbol. Cubierta del suelo mayormente pavimentada o compacta. Materiales de construcción de metal, acero y hormigón.

PROPIEDADES VARIABLES DE CUBIERTA

Propiedades de cobertura del suelo variables o efímeras que cambian significativamente con patrones climáticos sinópticos, prácticas agrícolas y/o ciclos estacionales.

b. Árboles desnudos

Árboles caducifolios sin hojas (por ejemplo, invierno). Factor de vista del cielo aumentado. Albedo reducido.

s. Capa de nieve

Cubierta de nieve > 10 cm de profundidad. Baja admisión. Alto albedo.

d. Suelo seco

Suelo seco. Baja admisión. Gran relación de Bowen. Aumento del albedo.

w. Suelo húmedo

Suelo anegado. Alta admisión. Pequeña relación de Bowen. Albedo reducido.

Nota. La tabla muestra gráficamente el estado físico representativo y una descripción general de las características de cada clasificación.

Fuente: Corresponden a las zonas climáticas urbanas de Oke (2004) adaptada de Stewart y Oke, (2012).

Tabla 3
 Variables de las Zonas Climáticas Locales.

Local climate zone (LCZ)	Sky view factor ^a	Aspect ratio ^b	Building surface fraction ^c	Impervious surface fraction ^d	Pervious surface fraction ^e	Height of roughness elements ^f	Terrain roughness class ^g	Surface admittance ^h	Surface albedo ^b	Anthropogenic heat output ^f
LCZ 1 <i>Compact high-rise</i>	0.2–0.4	> 2	40–60	40–60	< 10	> 25	8	1,500–1,800	0.10–0.20	50–300
LCZ 2 <i>Compact midrise</i>	0.3–0.6	0.75–2	40–70	30–50	< 20	10–25	6–7	1,500–2,200	0.10–0.20	<75
LCZ 3 <i>Compact low-rise</i>	0.2–0.6	0.75–1.5	40–70	20–50	< 30	3–10	6	1,200–1,800	0.10–0.20	<75
LCZ 4 <i>Open high-rise</i>	0.5–0.7	0.75–1.25	20–40	30–40	30–40	>25	7–8	1,400–1,800	0.12–0.25	<50
LCZ 5 <i>Open midrise</i>	0.5–0.8	0.3–0.75	20–40	30–50	20–40	10–25	5–6	1,400–2,000	0.12–0.25	<25
LCZ 6 <i>Open low-rise</i>	0.6–0.9	0.3–0.75	20–40	20–50	30–60	3–10	5–6	1,200–1,800	0.12–0.25	<25
LCZ 7 <i>Lightweight low-rise</i>	0.2–0.5	1–2	60–90	< 20	<30	2–4	4–5	800–1,500	0.15–0.35	<35
LCZ 8 <i>Large low-rise</i>	>0.7	0.1–0.3	30–50	40–50	<20	3–10	5	1,200–1,800	0.15–0.25	<50
LCZ 9 <i>Sparingly built</i>	> 0.8	0.1–0.25	10–20	< 20	60–80	3–10	5–6	1,000–1,800	0.12–0.25	<10
LCZ 10 <i>Heavy industry</i>	0.6–0.9	0.2–0.5	20–30	20–40	40–50	5–15	5–6			

<i>Heavy industry</i>										
LCZ A	<0.4	>1	<10	<10	>90	3–30	8	unknown	0.10–0.20	0
<i>Dense trees</i>										
LCZ B	0.5–0.8	0.25–0.75	<10	<10	>90	3–15	5–6	1,000–1,800	0.15–0.25	0
<i>Scattered trees</i>										
LCZ C	0.7–0.9	0.25–1.0	<10	<10	>90	<2	4–5	700–1,500	0.15–0.30	0
<i>Bush, scrub</i>										
LCZ D	>0.9	<0.1	<10	<10	>90	<1	3–4	1,200–1,600	0.15–0.25	0
<i>Low plants</i>										
LCZ E	>0.9	<0.1	<10	>90	<10	<0.25	1–2	1,200–2,500	0.15–0.30	0
<i>Bare rock or paved</i>										
LCZ F	>0.9	<0.1	<10	<10	>90	<0.25	1–2	600–1,400	0.20–0.35	0
<i>Bare soil or sand</i>										
LCZ G	>0.9	<0.1	<10	<10	>90	–	1	1,500	0.02–0.10	0
<i>Water</i>										

Nota. La tabla muestra los parámetros en cada característica descritas que estructuran la clasificación.

Fuente: Oke (2004) adaptada de Stewart y Oke, (2012).

Las zonas climáticas están consideradas por los flujos de balance de energía de la superficie en la capa límite de áreas urbanas, en cuanto a densidades de flujo similares por encima de las capas del dosel con una estructura a microescala, la cobertura del suelo y clima térmico no ha sido incluida en otras clasificaciones, por lo que ésta no es equiparable. En cuanto a la dimensión mínima de las superficies se considera un promedio de entre 200 a 500 m de radio, para evitar traslape de efectos de otras LCZ contiguas. Para clasificar un área de estudio en LCZ, se requieren metadatos mínimos y caracterización de la superficie; hacer un estudio climático considerando un alcance temporal de algunos años, y decidir a criterio, si las condiciones estacionales son considerables en la clasificación.

2.3. ISLA DE CALOR URBANA

El crecimiento urbano no solo genera la transformación del paisaje natural de cierta zona geográfica, aunado al gran número de modificaciones provocadas por la urbanización, el clima es uno de los principales afectados, fenómeno observado por primera vez por Luke Howard entre 1817 y 1833, en la ciudad de Londres (Oke, 1982) y acuñado el término de Isla de Calor Urbana por Balchin y Pye en 1947 (Stewart and Oke, 2012).

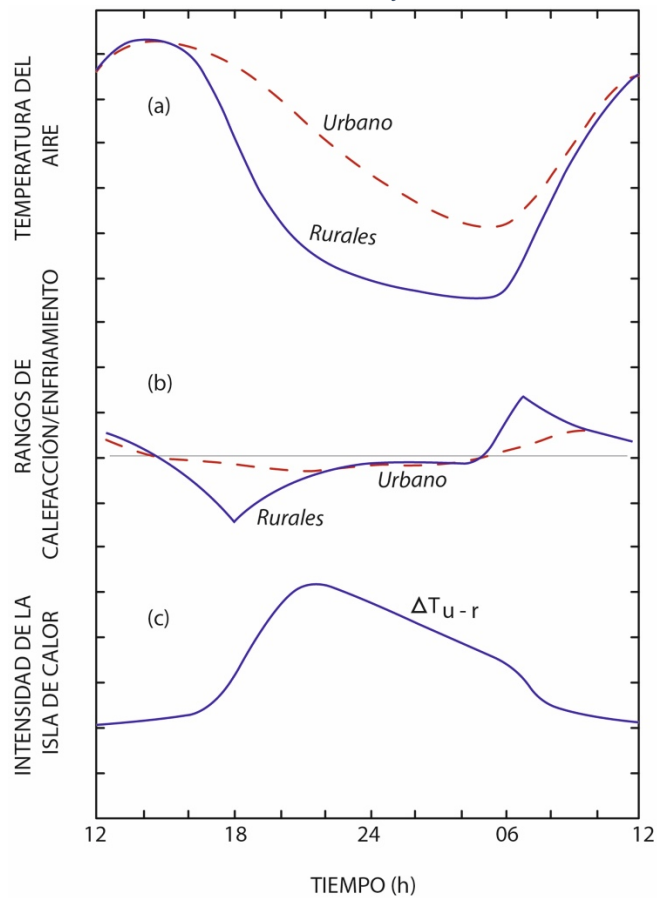
La principal fuente de calor atmosférico y en las superficies es la energía solar, sin embargo de manera directa la atmósfera no se calienta, este proceso de calentamiento atmosférico es provocado por la superficie de la tierra, donde la energía radiante se convierte en calorífica, y el calor se transfiere por convección hacia la atmósfera. Una parte menor de la energía que llega directamente a la superficie de la tierra es utilizada por las plantas en la fotosíntesis, y también provoca la evapotranspiración del suelo (Fuentes, 2015). Cada uno de los elementos físicos que integran una ciudad suman para que las condiciones originales del terreno sufran alteraciones, y por lo tanto articulen un ambiente diferente. El fenómeno de ICU es una afectación imprescindible de todas las ciudades, se presenta en las extensiones urbanas, con características diferentes entre una y otra ciudad, y ejemplifica una transformación climática no inducida, pero es provocada por el cambio de las características de la superficie y la atmósfera de la tierra por la presencia de extensiones urbanas (Voogt, 2008).

La ICU hace que las zonas urbanas experimenten una elevación de temperatura superior comparada con la temperatura de las zonas periféricas de la ciudad o las áreas rurales circunvecinas; por su parte, la magnitud de la ICU provocada por la urbanización, representa una influencia que contribuye al calentamiento global (Ruiz et al., 2015). La elevación de temperatura puede presentarse hasta de 12°C, sin embargo en condiciones atmosféricas propicias combinadas con características superficiales, la intensidad de la ICU puede presentarse en un rango de temperatura a partir de 1°C a 3°C (Casillas y García, 2009).

La ICU es el efecto que se produce mayormente después de la puesta del sol, cuando la capa superficial rural o urbana, o capa dosel, extrae el calor hacia la atmósfera, provocando un

enfriamiento relativamente alto, de entre 2° a 3°C. En tanto la noche avanza, en las zonas urbanas se reduce la temperatura superficial, proporcionalmente también disminuye la velocidad de emisión de energía y se desacelera la reducción de temperatura, por el contrario en las áreas rurales el enfriamiento es paulatino, representado por una curva descendente hasta la puesta del sol, lapso de tiempo en que la curva cambia y nuevamente es interrumpida al atardecer. La ICU generalmente alcanza su máxima intensidad en un promedio de 4 horas después de ocultarse el sol (Oke, 1982), como se muestra en el apartado (c), de la Figura 5.

Figura 5
Perfil de Temperatura de la Isla de Calor en Ambientes Urbano y Rural.



Nota. La columna vertical de la gráfica corresponde a la intensidad de temperatura para cada uno de los escenarios. Las gráficas representan la diferencia en el comportamiento de los ambientes indicados.

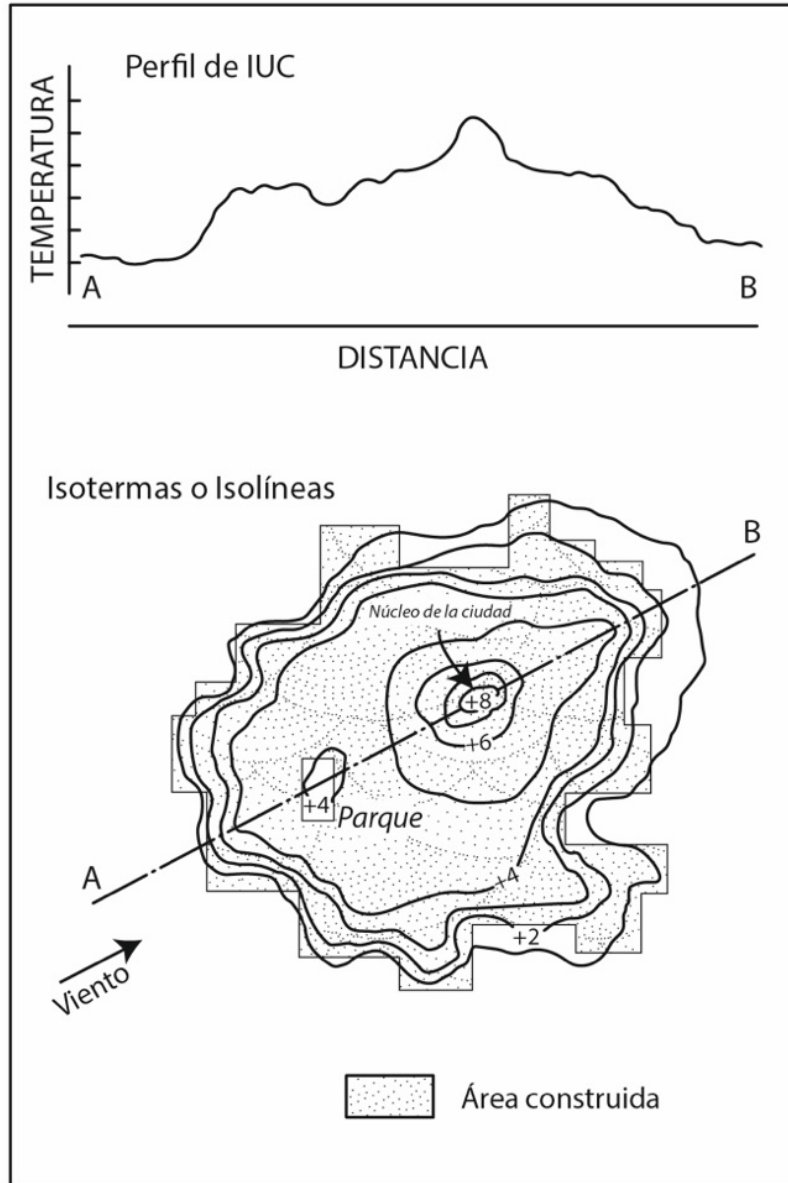
Fuente: Desarrollado con base en (Oke, 1982)

La ICU es representada en plano horizontal de una zona geográfica con isotermas o isolíneas, que son formas irregulares de curvilíneas concéntricas, cada una representa un cambio de temperatura, normalmente con temperatura más alta en los núcleos de las ciudades; estas curvas no consideran cambio de topográficos representativos de la conformación geográfica, sin embargo la representación de las isotermas indica los efectos en relación con la presencia elementos urbanos y el uso de suelo, tales como superficies vegetadas, cuerpos de agua o grandes cambios de la estructura topográfica del suelo, donde puede haber cambios de temperatura. En plano vertical, una línea perfila la intensidad de la temperatura con una forma de cúpula como se muestra en la parte superior de la (Figura 6).

Como consecuencia de la transformación del ambiente por la presencia de ICU, se despliega un listado de impactos en cadena que afectan el ambiente y la calidad de vida de los habitantes. Las afectaciones por la presencia de ICU generan un espiral de adversidades al ambiente, encabezadas por un alto consumo de agua y energía aumento de contaminantes urbanos, aceleración de reacciones fotoquímica o generación de smog, las ciudades experimentan un incremento importante de la huella de carbono (Santamouris, 2015), afectaciones al confort térmico de los usuarios del espacio, graves problemas de salud pública en los cuales la población de bajos recursos económicos es la más vulnerada, mortalidad, y en mayor escala, riesgos de olas de calor (Enrique et al., 2014).

Con el calor, el consumo de energía y agua incrementan, provocado por la necesidad de tener ambiente más frescos auxiliado también con el empleo de refrigerantes en las edificaciones de viviendas y centros de trabajo, lo que ocasiona picos en la demanda de energía de una ciudad y por consecuencia, la infraestructura de la red de distribución pueda verse colapsada. En México, el aumento de energía eléctrica a su vez, representa un incremento en el cálculo de las tarifas de suministro a la población; estratificado por límite de consumo, incremento tarifario durante la estación de verano, el cual utiliza como variable la temperatura mínima presentada en verano para el ajuste del costo del kW., simultáneamente existe una estructura de diferentes regiones tarifarias hasta en una misma ciudad (CRE, 2014).

Figura 6
Perfil de ICU e Isotermas.



Nota. La parte superior corresponde al perfil térmico de la ICU, la parte inferior corresponde a la vista en planta de la isoterma.

Fuente: Desarrollado con base en (Oke, 1982)

Al incrementarse la producción energética, la producción de contaminantes al ambiente con bióxido de carbono (CO₂) y otros químicos también aumentan; resultado de la combustión fósil utilizando en las plantas hidroeléctricas, ya que la infraestructura para la producción de energías limpias en México es insuficiente.

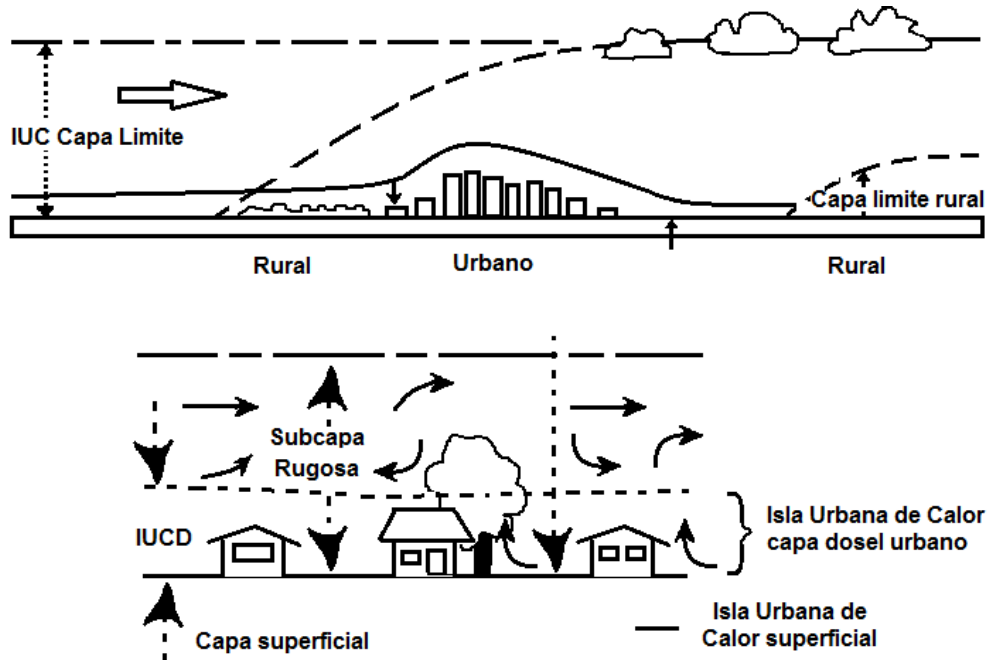
El agua además de tener una mayor demanda, tiene alta vulnerabilidad de contaminarse, ya que las temperaturas cálidas son prolíferas para la generación de bacterias, que provocan graves consecuencias a la salud humana, desde infecciones en órganos y piel, hasta la muerte. La afectación en el confort térmico también está directamente relacionada con la salud pública, desde el aumento de estrés térmico con las altas temperatura presentadas, hasta muertes por golpes de calor. Para los habitantes de ciudades que no cuentan con un equipo de aire acondicionado en sus viviendas, el efecto de la ICU en las noches puede tener un impacto mayor en la salud superior que durante el día, especialmente para adultos mayores (U.S. EPA, 2008).

2.3.1. CLASIFICACIÓN DE LAS ICU

Los estudios en el tema de ICU, han permitido identificar una clasificación de diferentes tipos de ICU determinadas por las condiciones en que se presentan (Voogt, 2008), la ICU superficial (UHIs, por sus siglas en inglés) se considera cuando se presenta la temperatura de bulbo seco en las capas superficiales de los componentes urbanos, como en los pavimentos y edificios, tiende a aumentar en el día especialmente durante la temporada de verano, específicamente cuando la exposición a los rayos solares es más prolongada e intensa y el clima de la estación es más cálido. El aumento de temperatura de la superficie es mayor que la temperatura del viento, y es percibida durante el día y la noche, aunque es incidentemente durante el día, no así en superficies húmedas o sombreadas. El incremento de temperatura en ICU superficial puede variar según la temporada del año, pues la exposición a los rayos solares es diferente para cada estación del año, así también la variación del clima de la zona y la geolocalización.

La ICU atmosférica: considerada en la capa de aire con altura variable, presenta un aumento de temperatura en la zona urbana, comparada con la capa de aire de las periferias o áreas rurales. Esta se divide en isla de calor de capa dosel ICCD (CLHI canopy layer heat island, en inglés), e Isla de calor de la capa de perímetro (ICCP) o capa límite, la primera división se considera hasta una altura donde las actividades humanas se desarrollan, desde la superficie hasta la altura de los árboles o las edificaciones; la segunda, desde la altura de las copas de los árboles, hasta una altura variable que en ocasiones puede extenderse a más de un kilómetro de altura. Con frecuencia la extensión se presenta cuando la energía de los materiales de la capa edilicia es liberada, es decir después de la puesta de sol o por la noche, y también depende de las características del clima propio de la zona.

Figura 7
Estructura y Dinámica de Islas de Calor Urbanas.



Nota. La figura muestra los perfiles de ICU en una ciudad y cómo se clasifica.
Fuente: Desarrollado con base en (Oke, 1982)

2.3.2. FACTORES DETONANTES DE LA ICU

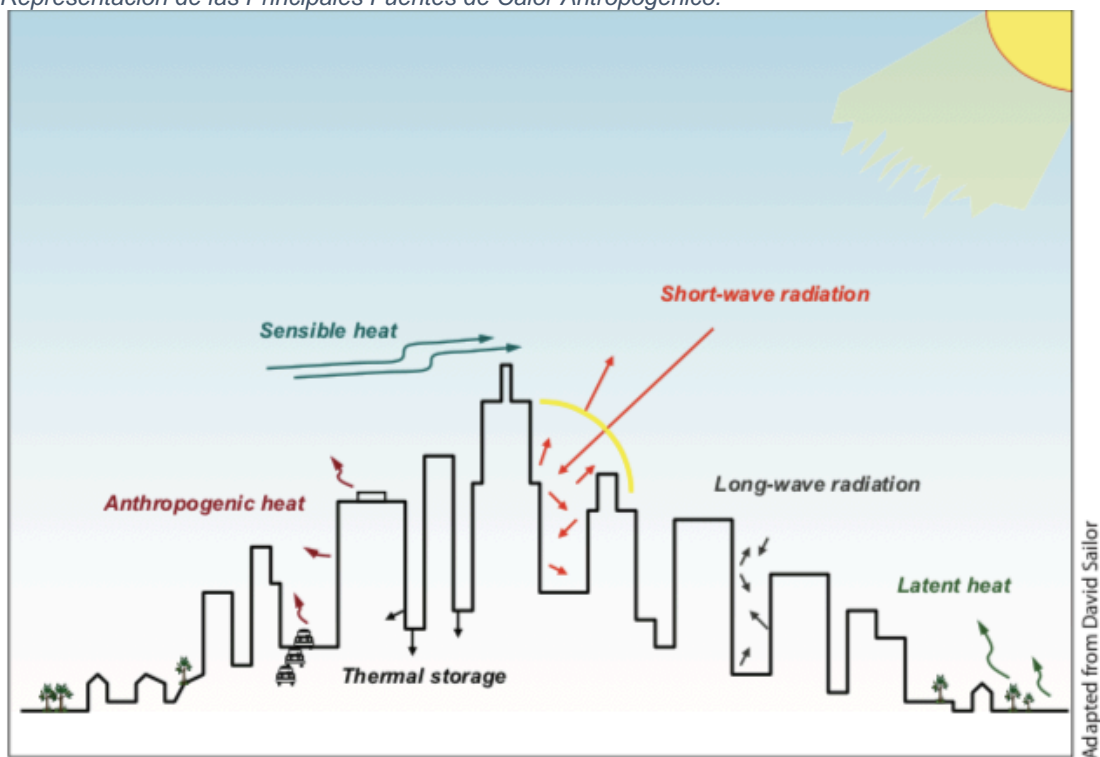
Con la urbanización son múltiples los elementos que provocan la presencia de ICU, lo primero que sucede es, el proceso de transformación del suelo natural a urbano, que es la remoción de capa vegetal y, por lo tanto, se prescinde de la sombra que generan los árboles, y con ello se evita la reducción de temperatura que se produce con el paso del aire a través de la vegetación, también la evapotranspiración del suelo es impedida (Oke, 1982), con la impermeabilización de la superficie con recubrimientos fabricados de concretos asfálticos o hidráulicos para los diferentes elementos urbanos, por lo que se induce a una elevación de temperatura del aire.

Por otro lado, la densidad edilicia y el empleo de materiales, colores y texturas contienen menor reflectancia de radiación solar, por las propiedades de los materiales y la intensidad conductiva; éstas características son el efecto que permite a los materiales absorber y almacenar el calor de la radiación solar de onda corta, y posteriormente la liberación de energía que calienta el aire.

La geometría urbana que representa la forma en que las ciudades son dispuestas espacialmente, afecta la trayectoria de las corrientes del viento provocando que el calor quede atrapado, especialmente durante las noches. Lo anterior es asociado a los espacios delimitados por altas edificaciones en algunas vialidades llamadas cañones urbanos que son espacios donde existe un bajo factor de cielo visible (SVF, por sus siglas en inglés). Debido a las características de la geometría urbana y sus componentes como la forma de las edificaciones, arroyos de calle, elementos y equipamiento urbano lineales, planos o volumétricos, el factor de visión de cielo es obstaculizado, es decir bajo, en especial por las noches, cuando la emisión de radiación de onda larga a la atmósfera es limitada Figura 8; comparada con la acción de ésta en un espacio rural, donde los obstáculos son menores y la visión de cielo es libre (Fuentes, 2015).

La lista de acciones desarrolladas cotidianamente que conforman los recursos de calor es tan amplia y variable, como la cantidad de actividades que se puedan ejecutar en una ciudad: el transporte es una de las principales fuentes de calor, está directamente relacionada a la cantidad de población (Oke, 1982), y además, a la cantidad de sistemas de aire acondicionado domésticos instalados en respuesta a la necesidad de refrigeración residencial (Santamouris, y otros, 2017), y que representan una generación de calor importante en el ambiente que, a su vez, demandan un alto consumo de energía sobre todo en verano. Con la necesidad de movilidad, se incrementa del parque vehicular; los vehículos en movimiento son generadores de calor, incluso los estacionados tiene la posibilidad de generar más calor por el reflejo generado por las cubiertas lisas laminadas, (Grajeda Rosado, 2020) la actividad industrial en general es un gran generador de calor y consumidor de energía.

Figura 8
Representación de las Principales Fuentes de Calor Antropogénico.



Nota. La figura muestra las fuentes de calor antropogénico en distintas soluciones espaciales que se pueden presentar a nivel ciudad.

Fuente: Desarrollado con base en (U.S. EPA, 2008).

2.3.3. DINÁMICA E INTENSIDADES

Según Nakata-Osaki (2018) los factores meteorológicos como el viento, la humedad del ambiente y la nubosidad, afectan la dinámica y la intensidad del fenómeno de ICU, así también como la estructuración de la ciudad y la densidad de superficies construidas relacionada con el factor de visibilidad de cielo (SVF) y el tipo de materiales predominantes usados para las edificaciones.

En la estructuración de la ciudad Oke (1987), argumenta que el enfriamiento de la ciudad se reduce, cuando la relación entre la altura y el ancho de la circulación en los cañones urbanos es mayor, en el modelo numérico se indica H/W .

La intensidad de las ICU y sus efectos, poseen una tendencia a impactar en los años consecuentes con mayor magnitud; de no tomar medidas efectivas, -en lugar de persistir con la eliminación de áreas vegetadas,- como el control de emisiones de calor antropogénico; ya que el calor producido por las actividades humanas, tiene una gran contribución a la formación de ICU (Yang et al., 2019).

Oke (1982) hace referencia a la importancia de la caracterización de las ICU presentadas en las distintas ciudades, por medio de estudios, argumentando que las características geográficas determinan en gran medida la dinámica e intensidad del fenómeno, en los que intervienen elementos contextuales existentes como cuerpos de agua y la facilidad de formación y permanencia, a la topografía de lugar y a la composición natural del suelo y la vegetación predominante.

2.3.4. ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN

En algunas de las ciudades en las que se han desarrollado estudios de ICU, se ha tenido como objetivo identificar las causas y características del fenómeno, y una vez identificadas poder establecer medidas de mitigación; estas estrategias responden a los recursos dispuestos para obtener una solución eficaz, en costos y beneficios; una estrategia de mitigación genérica recomendada a nivel mundial es el incremento de vegetación urbana, derivada de una cuidadosa selección de especies de flora que permitan potenciar la eficiencia energética y la habitabilidad del espacio urbano, ya que la vegetación contribuyen a minimizar la radiación absorbida y maximizar la radiación emitida, la evapotranspiración y la convección (Ruiz et al., 2015).

Paralelamente, se han desarrollado estudios para establecer propuestas de revestimientos para las edificaciones en las zonas urbanas, analizando la capacidad de mitigación

mediante la determinación del índice de reflectancia (SRI por sus siglas en inglés). Otras recomendaciones son con relación al diseño de la geometría urbana, con la implementación de espejos de agua y franjas de vegetación, y evitar grandes extensiones asfaltadas como lotes de estacionamiento (Fuentes, 2015).

El empleo de alternativas de alta tecnología en el grueso de la construcción de superficies urbanas, que corresponden principalmente a la pavimentación misma que contribuye al aumento de temperatura superficial y al flujo sensible hacia la atmósfera, para ese tipo de construcción existen propuestas de empleo de pavimentos fríos (Efthymiou & Santamouris, 2016), otra superficie horizontal urbana importante corresponde a las cubiertas de las edificaciones, para lo cual se propone la implementación de techos fríos y techos verdes, con esta última opción se demostró en localidades aledañas a la ciudad de Tijuana, que también “se puede obtener reducciones de temperatura del aire al interior de las edificaciones de 18.4°C con temperaturas en el aire exterior de 41.96°C, y de 14.23°C con temperaturas en el aire exterior de 32.24°C. Se observó que existe una diferencia significativa entre la temperatura del aire exterior y la temperatura del aire interior con un techo verde” (Sahagun et al., 2018). Además de la reducción de temperatura al interior de las edificaciones, como se explicó, la implementación de sistemas de techos verdes abona a la mitigación de la ICU.

La modificación en las actividades que la población ejecuta y que contribuyen a la generación de calor, despliegan otra propuesta a ser modificada, tal como la reducción del uso del vehículo en la movilidad urbana, ya sea con el uso de vehículos no motorizados o con la implementación de un sistema de transporte (BRT por sus siglas en inglés).

2.4. TÉCNICAS DE ESTUDIO

2.4.1. MODELOS FÍSICOS

Las técnicas de estudio constan de un procesos de habilidades, conocimientos, experiencia y el estudio con el fin de facilitar la investigación, en los últimos años se ha desarrollado investigación climática relacionada con los entornos urbanos en los que se han utilizado tres tipos de modelos: modelos numéricos, físicos y empíricos (Nakata-Osaki, 2018) (Oke, 1984).

Los modelos físicos están enfocados en dar solución a una problemática definida, representan una estrategia de diseño disponible en el área de climatología con el uso de artefactos para generar una simulación a escala, por ejemplo, para el flujo de viento por medio de estructuras en representación de los cañones urbanos, o para conocer la dispersión de contaminantes o de efectos térmicos en el medio ambiente urbano (Nakata-Osaki, 2018).

2.4.2. MODELOS NUMÉRICOS

Los modelos numéricos representan una herramienta rigurosa en cuestión de planeación urbana, se pueden considerar como estrategias de diseño, en general son modelos en constante actualización empleados para simulación de procesos meteorológicos, principalmente del viento y sus efectos, para simulaciones que integran condiciones específicas para cada ciudad, y previo a su aplicación es necesaria su validación o comprobar su efectividad. (Nakata-Osaki, 2018; Oke, 1984).

2.4.3. MODELOS EMPÍRICOS

Los modelos empíricos pueden estar asociados a enfoques predictivos, como ejemplo de modelo empírico se puede aplicar en la generación de cartografía en mapas climáticos de lugares específicos, que se han empleado para vincular dos áreas importantes en la planeación urbana entre expertos en climatología con los encargados del diseño, su contenido integra información del mundo real con datos recabados en levantamientos de forma física.

2.4.4. DATOS IN SITU CON ESTACIONES METEOROLÓGICAS

En esta técnica se implementa con el proceso de la información de datos históricos de redes de infraestructura meteorológica fija que pueden pertenecer a instancias gubernamentales o privadas, por lo que no es necesario adquirir equipo para el registro de datos de temperatura y velocidad del viento, tan solo gestionar y disponer de la información, en tanto el periodo de estudio haya sido monitoreado, registrado, y la calidad de información sea apropiada; así mismo se pueda disponer de más de una instalación de monitoreo, al menos de dos, para poder establecer parámetros de comparación y poder desarrollar un diagnóstico de ICU aceptable, lo anterior debido a que el área representativa por dispositivo fijo, según OMM No. 168 (1994), corresponde a cinco kilómetros de radio en terreno plano. Al no existir una infraestructura con una cobertura representativa, se ha podido incluir técnicas correlacionales que refuercen las conclusiones y resultados de las investigaciones como las explicadas a continuación.

Al incluir más de una unidad meteorológica debe establecerse una sincronía en unidades de medida y parámetros de tiempo, así también unificar la información digital a un formato común y editable.

2.4.5. TÉCNICA CON IMÁGENES SATELITALES

Las imágenes satelitales contienen información de una superficie geográfica que, con la selección adecuada de los productos o imágenes satelitales, obtenidos en las plataformas para descarga, pueden estar contenidas áreas de estudio urbanas completas debido al barrido, equipamiento y resolución de los satélites encargados de captar las imágenes. Es posible calcular la temperatura de la superficie y evidenciar la distribución térmica por medio de la estructura de píxeles de resolución espacial variable, y en combinación con las estaciones meteorológicas es posible estimar la temperatura del aire de zonas específicas sin necesidad de un monitoreo cerrado.

El proceso con las imágenes satelitales permiten generar cartografía que por la escala y resolución espacial, posibilita identificar áreas de oportunidad en la planeación urbana, además de cuestiones relacionadas con el medio ambiente y el clima. Las imágenes satelitales están disponibles de manera gratuita, empero las diferentes resoluciones puede estar limitadas, es decir, la resolución temporal está sujeta a la fecha y hora del barrido satelital, la resolución espacial o tamaño del pixel al tipo de satélite, y por último la calidad de la imagen depende de las condiciones climáticas o cobertura de nubosidad existente al momento de la captura. (Coral, 2013)

2.4.6. TRANSECTOS URBANOS

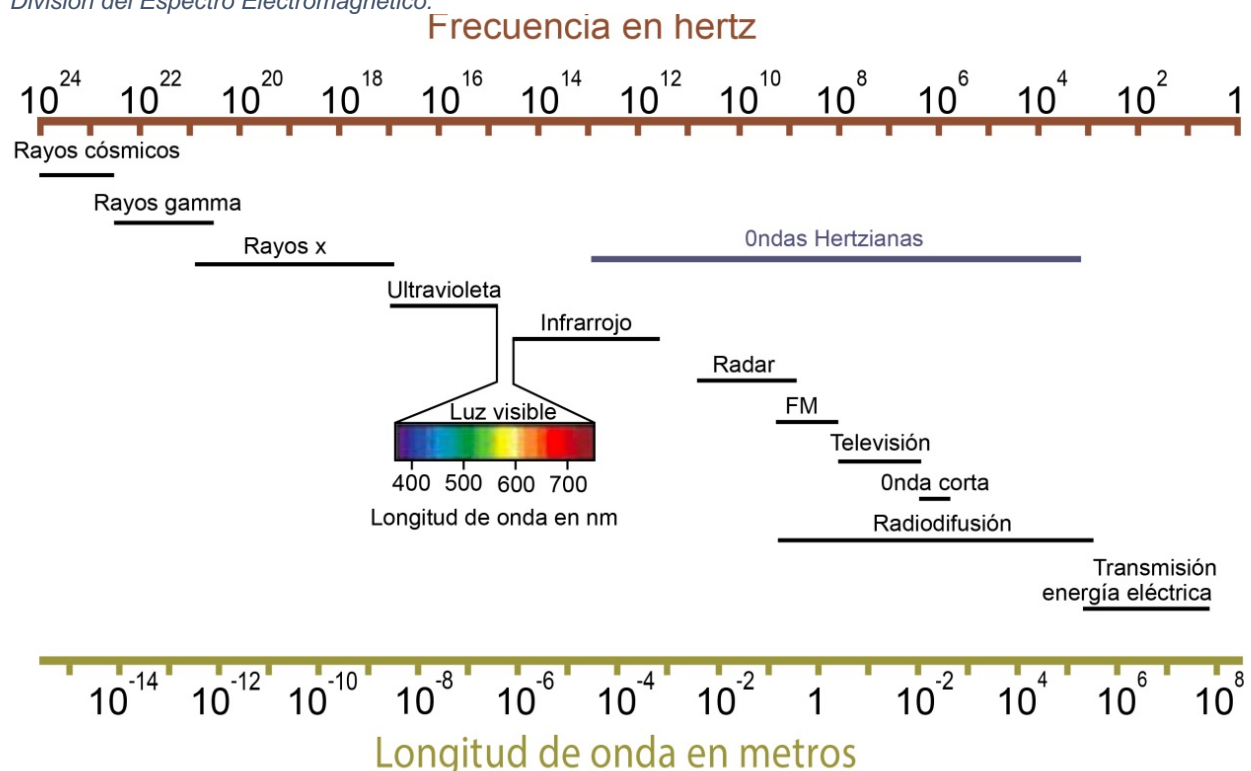
Considerados como un método empírico, es empleado para áreas específicas y representativas de la ciudad, previamente se tendrá que establecer el diseño de las trayectorias o transectos y determinar el número de las rutas y las longitud de las trayectorias, en lo que implica el conocimiento de la zona de estudio de la ciudad, se debe considerar las horas de tráfico, pesado esto último, tanto para mantener una velocidad permanente no mayor a los 40 km/h (Martínez Martínez, 2014) del transporte con la instrumentación de medición, ya sea vehículo terrestres o vehículos aéreos no tripulados, de manera que la actividad antropogénica influya mínimamente de forma irregular en las lecturas.

Es necesario contar el número de equipos correspondiente al número de transectos que se pretenda generar de manera simultánea, así mismo de brigadas de personal de apoyo destinado a participar en los transectos.

2.4.7. IMÁGENES SATELITALES

Sensores especiales instalados en los satélites pueden captar otras formas del espectro que el ojo humano no puede percibir, ya que el espectro visible es muy limitado, tan solo bajo la luz, los colores que van del violeta al rojo son perceptibles.

Figura 9
División del Espectro Electromagnético.



Nota. La figura muestra el conjunto de ondas del espectro electromagnético, presentadas de mayor a menor longitud de onda.

Fuente: (Ordóñez, 2012).

La naturaleza de la radiación electromagnética puede ser explicada a partir de dos modelos: el modelo de onda deduce que la radiación se produce en forma de ondas de oscilaciones en los campos eléctrico y magnético en el contexto de los objetos y se desplazan por el espacio a la velocidad de la luz. Las ondas se definen fundamentalmente por su longitud λ o distancia entre dos picos de onda, en 10^6 metros.

El modelo de partícula asume que la energía viaja como un flujo de elementos discretos: fotones. La energía transportada por cada fotón (Q) depende de la longitud de onda, de este modo ambos modelos se relacionan mediante la ecuación:

$$Q = \frac{hc}{\lambda} \qquad \text{Ecuación 2}$$

Por ejemplo, el infrarrojo cercano (NIR por sus siglas en inglés), es invisible para el ojo humano, pero los sensores y aparatos instalados en los satélites o en los aviones pueden captar, almacenar y transmitir esta banda espectral, ya que la vegetación también refleja el infrarrojo cercano, el NIR es uno de los cuatro tipos de infrarrojos que secuencian el espectro visible.

Cada objeto presente en la tierra tiene su propia composición química, y cada composición su firma espectral, por lo tanto para extraer las características de interés de la firma espectral se debe elegir las bandas espectrales de teledetección.

La banda aerosol costero, en el rango de $0,43-0,45\mu\text{m}$ tiene aplicaciones en la detección de población de ballenas en las franjas costeras, aplicable también para la batimetría; la banda 1 azul, de $0,45 - 0,52\mu\text{m}$, tiene aplicaciones en el mapeo de aguas costeras, para la diferenciación entre suelo y la vegetación, diferenciación entre vegetación conífera y decidua. La banda 2 verde de $0,53 - 0,59\mu\text{m}$, tiene aplicaciones para el mapeo de vegetación en general y calidad del agua. La banda 3, roja $0,64 - 0,67\mu\text{m}$ se aplica para detectar la absorción de la clorofila, la diferenciación de especies vegetales, áreas urbanas y usos de suelo, aplicaciones en suelos para la agricultura, y para verificar la calidad del agua; la banda 4, de $0,76 - 0,90\mu\text{m}$, infrarrojo cercano NIR, representa una de las formas más poderosas de clasificar la vegetación saludable. Otras tantas

aplicaciones mas para el resto de las bandas que son , la 5 amarillo en (0,58 – 0,625) μm , banda 6, borde rojo (0,705 – 0,745) μm , 7 Infrarojo cercano -NIR (0,76 – 0,98) μm , 8 Infrarojo cercano - NIR-2 (0,86 – 1,04) μm , 9 Infrarojo de onda corta 1 – SWIR-1 (1,57 – 1,65) μm , 10 Infrarojo de onda corta 2 – SWIR-2 (2,08 – 2,35) μm , 11 pancromático (0,50 – 0,68) μm , 12 Cirrus (1,36 – 1,38) μm , 13 Infrarojo térmico – TIRS-1 (10,6- 12,51) μm , sin embargo la clasificación de las bandas responde al tipo de satélite y el número de bandas contenidos en los mismos.

Las imágenes para el territorio nacional Mexicano se han generado desde 1972, capturando imágenes de 12 distintas bandas con una resolución hasta de 15 m. Estas imágenes son de utilidad para el monitoreo de la vegetación, aplicaciones geológicas, en el estudio de los recursos naturales y de cultivos.

La constelación de satélites LANDSAT fue la primera misión de los Estados Unidos para el monitoreo de los recursos terrestres, esta integrada por 8 satélites y de ellos permanecen activos el 5 y 8 a cargo de la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA por sus siglas en inglés), la producción, distribución y comercialización de imágenes está a cargo del Servicio Geológico de los Estados Unidos.

Los satélites llevan a bordo instrumentación para captar información de la superficie terrestre, con mayor precisión y detalle en base a la evoluciones radiométricas, geométricas y espaciales que ha sufrido el territorio, con la incorporación a los sensores pasivos, se componen inicialmente de Multispectral Scanner Sensor (MSS), Thematic Mapper (TM), Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) con una banda espectral (pancromática) con resolución de 15 metros. El último satélite Landsat-8 lleva a bordo dos sensores de imágenes Operational Land Imager (OLI) y Thermal Infrared Sensors /TIRS). Las resoluciones espaciales varían entre 15, 30, 60 y 120 m según el sensor y banda, con 1459 escenas disponibles en el período desde 2013 a 2018, de toda la cobertura nacional anual con el mínimo de nubosidad, con un nivel de procesamiento L1T, producto autorrectificado, radiométrica y geoméricamente corregidas con un Modelo Digital de

Elevación global, y alineadas a una proyección cartográfica UTM (Universal Transversal de Mercator) (INEGI, 2020).

En México la fuente de información de imágenes satelitales es por parte del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), que a partir del 2015 une esfuerzos con el Servicio Geológico de los Estados Unidos Americanos, (USGS por sus siglas en inglés) para ampliar la recepción de señales, que permite acceso directo a las imágenes de alta resolución del Landsat 8, propiedad del gobierno Norteamericano y enviado al espacio con fines de investigación científica, lanzado en agosto de 2012, cuenta con 11 bandas y amplias posibilidades de combinación lo que permitirá incrementar notablemente sus aplicaciones. La composición o equipamiento de los Landsat 8 esta dado al número de bandas espectrales.

El acuerdo entre los organismos de los dos países, implica que México se integra como Cooperador de la Red Internacional de Estaciones Terrenas Landsat, y se integra para participar en proyectos a escala tanto regional como global de la Misión de Continuidad de Datos Landsat (LDCM por sus siglas en inglés) creado en 1972.

La estación de recepción de Información Satelital en México esta ubicada en Chetumal, Quintana Roo, autorizada para el manejo y distribución de las imágenes satelitales a la sociedad en general, así también para facilitar el monitoreo de los recursos naturales, crecimiento de la mancha urbana y la descentricación en las ciudades mexicanas, y de esta manera contar con la ventaja de disponer en un tiempo de respuesta reducido de capturas específicas, así también como disponer del acervo histórico desde 1976, que actualmente es de acceso gratuito a través de la página de USGS (INEGI, 2020).

2.5. CONFORT TÉRMICO

El concepto de confort según Guzmán (2014) ha tenido transformaciones en su descripción y significado pasando por la asociación con aspectos de la ventilación del lugar, la intensidad de la luz, el calor sensible y temas higienistas, hasta la relación directa de eficiencia del confort y la comodidad en los espacios físicos. La comodidad térmica es una sensación de neutralidad donde no haya tendencia a la sensibilidad de frío o calor, ASHRAE define el confort como la condición de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico.

El confort térmico representa un agente que impacta a usuarios de espacios abiertos públicos en el desarrollo de las actividades, considerando como espacios abiertos los parques urbanos, espacios de convivencia privados abiertos, puntos de transferencia, calles y senderos. Un espacio público abierto exterior, a diferencia de los interiores, posee condiciones climatológicas de acuerdo a las características climatológicas locales y propias del espacio con el diseño del mismo, y estas representan condiciones determinantes para prolongar el uso y la permanencia de los usuarios. Nikolopolou M. (2004) reconoce que en los últimos años ha ido incrementando el interés del conocimiento del confort térmico de los usuarios de espacios públicos, sitios considerados para la contribución a la mejora de la calidad de vida de los habitantes de las ciudades, restando el aislamiento y la exclusión social.

Con el respaldo en bases de datos climáticos disponibles, es posible desarrollar modelos ideales para pronosticar condiciones de confort térmico en entornos abiertos considerando parámetros de temperatura, de manera que en las ciudades existan espacios al aire libre donde puedan ser implementadas actividades de interacción social y de contribución al desarrollo sostenible en las ciudades (Nikolopoulou, 2005); más aún, considerando la fuerte necesidad de espacios urbanos abiertos para el desarrollo de actividades de la población, que fue generada a partir del 2020, ya que estos pueden reducir el contagio de enfermedades virales y a la vez contribuir a la mejora de la calidad de vida de la comunidad (UNICEF, 2022).

En el éxito de un espacio abierto, está implícita la integración de elementos para dar respuesta a las condiciones microclimáticas, sin embargo es importante considerar datos que permitan evaluar las condiciones de confort térmico en diferentes escenarios del espacio público abierto, es decir, estudios que proporcionen información, previo o durante el proceso de planeación.

Un panorama general sobre la comodidad lograda en espacios abiertos urbanos se ha argumentado de manera empírica, tomada de información de campo a cerca de parámetros humanos arbitrariamente del entorno exterior, considerados fundamentales en disciplinas como la arquitectura, la geografía y la climatología, y consecuentemente, se ha despuntado un mayor número de investigaciones al respecto (Clark, 1985).

2.5.1. ENFOQUES DE ESTUDIO DE CONFORT TÉRMICO

En los estudios del confort térmico para espacios exteriores, la metodología desarrollada implica procesos novedosos, distintos que los aplicados al interior de las edificaciones. En espacios exteriores se abordan parámetros de variabilidad temporal en relación a grupos de usuarios, actividades y microclimas. Una combinación de comodidad bioclimática con la capacidad de adaptación a las transformaciones climáticas del ambiente exterior (Gómez, Rojas, e Higuera, 2010). El enfoque de estudio, se refiere a la metodología desarrollada en los estudios del confort térmico.

2.5.1.1. ENFOQUE DE PREDICCIÓN DE CONFORT TÉRMICO

Se refiere a una metodología desarrollada para la obtención de datos en relación al confort térmico, la cual mantiene un rango para las variables empleadas del confort térmico, y

características específicas de la etapa experimental de la investigación. La sensación térmica en éste enfoque es calculada, en base a un modelo matemático.

De acuerdo a la tabla de parámetros comparativos entre los enfoques hecha por Rincón (2015), los datos empleados en la investigación en este enfoque son generados y registrados con instrumentación de laboratorio, esto puede asociarse a estaciones meteorológicas fijas; es controlado el origen de las condiciones de evaluación, el entorno de prueba se considera aislado, tanto las reacciones esperadas como el nivel de análisis son fisiológicos, el sujeto de estudio es pasivo, las variables físicas analizadas por lo general son la temperatura de bulbo seco, y la humedad relativa, sin embargo esto dependerá del modelo empleado para el estudio, la duración de la evaluación es prolongada.

2.5.1.2. ENFOQUE ADAPTATIVO

La sensación térmica del enfoque adaptativo se trata de tomar la opinión directa del usuario de espacios públicos a través de un instrumento de encuesta, la sensación térmica en éste enfoque se pregunta, y según Rincón (2015) en su tabla de parámetros comparativos entre los enfoques de estudio, el origen de los datos es de campo, las condiciones de evaluación y el entorno de prueba son las naturales, la variación de las condiciones de evaluación es reducida, el entorno de prueba es el natural, los procedimientos de cada prueba son correlacionales, las reacciones esperadas del usuario son fisiológicas y psicológicas, el sujeto receptor estudiado es activo, es decir esta en busca del confort térmico, las variables físicas, son la temperatura de bulbo seco, temperatura de globo negro, humedad relativa y velocidad del viento, sin embargo, pueden depender de la instrumentación, equipo y recursos disponibles para el estudio, la duración de la evaluación es moderada respetando los parámetros tiempos y la extensión del instrumento para la aplicación de una encuesta, el nivel de análisis es fisiológico y psicológico.

La práctica para la recabación de los datos de campo para el enfoque adaptativo, es una actividad grupal, por lo que durante la pandemia del COVID-19, a partir de abril de 2020 hasta marzo de 2022 no fue posible ejecutarse.

Los estudios de confort térmico de espacios abiertos se han hecho en sitios representativos de ciudades en cuanto a sus variables tipológicas, funciones e importancia por el tipo actividades desarrolladas en los mismos. Uno de estudios, realizado ampliamente en algunas ciudades importantes de la Unión Europea, realizado para conocer las condiciones de confort que los usuarios están experimentando al momento de ser encuestados, para lo cual se hace uso de una pequeña estación meteorológica móvil con el fin de hacer un comparativo de los datos emitidos por el usuario, con las condiciones climáticas, y también tomando en cuenta el comportamiento y las características de los usuarios.

En el estudio conocido como Redescubriendo El Reino Urbano y Los Espacios Abiertos (Rediscovering The Urban Realm and Open Spaces, RUROS) empleó como voto de sensación real ASV, variable que corresponde fuertemente con la temperatura de globo, no así con las variables microclimáticas, lo que indica que para el confort térmico se deberá considerar más de una variable.

Para describir brevemente el método, se puntualiza que para las mediciones de la sensación térmica durante el registro de la opinión los usuarios, fué empleada una escala con diferentes ponderaciones.

2.5.2. SENSACIÓN TÉRMICA PERCIBIDA

Las personas experimentan diferente sensibilidad de manera individual al medio ambiente, la respuesta que los humanos generan ante un estímulo es en función a la magnitud de las condiciones climáticas, pero también la respuesta es afectada por la intervención de información ante una situación específica, es decir la psicología incide fuertemente en la sensación térmica. También la sensación térmica se puede examinar con el uso de temperaturas neutras, considerando aquellas temperaturas en las que no se percibe ni frío ni calor, término que es incluido por primera vez en los estudios de Humphreys (1975), relacionando que la temperatura neutral, se vincula directamente con la temperatura media.

El cuerpo humano genera mecanismos de adaptación relativamente rápido, especial con temperaturas fría a pesar de que existe una mayor sensibilidad a bajas temperaturas (Nikolopoulou, 2004), para el calor también sucede la adaptación del cuerpo humano, siempre y cuando la temperatura no represente un riesgo de pérdida de vida, como parámetro genérico, o que ésta supere la temperatura de la piel; la reacción fue probada por Höppe (2002) con la implementación de modelos teóricos termo fisiológicos.

La adaptación se define como una disminución paulatina de respuesta que tiene el organismo humano al experimentar una exposición repentina a un estímulo, y pueden ser todos los mecanismos para adecuarse a la supervivencia en un medio físico. Todas las actividades que las persona desempeñan con el fin de adecuarse al medio ambiente, en lo referente al confort térmico pueden agruparse tres estratos: físico, fisiológico y psicológico. Por su parte Nikolopoulou (1999) define la adaptación a los cambios que las personas hacen con el afán de adecuarse al contexto o a las transformaciones para satisfacer las necesidades, y estos cambios se agrupan en adaptación reactiva en referencia a la incorporación o despojo de ropa, a la postura corporal, entre otras acciones. La adaptación interactiva, se hace al entorno para alterar las condiciones y que permitan el confort, abrir o cerrar una ventana, propiciar sombreado o asoleamiento, etc. Las respuestas fisiológicas son la resultante ante un estímulo en una exposición.

La manera más óptima de adaptación a la variación de la temperatura es la vestimenta, o adaptación física reactiva; la temperatura del aire es el principal determinante para optar por un cargado aislamiento de ropa, ya que la velocidad del aire en bajas temperaturas es un elemento que puede alterar la sensibilidad. Sin embargo en espacios abiertos ésta adaptación puede verse beneficiada con la presencia de elementos físicos o dispositivos que provoquen sombreado o corten las corrientes del viento, esto se define como adaptación física interactiva. Otro mecanismo

de adaptación, en este caso con el calor, es el consumo de bebidas frías, ya que altera el calor metabólico del cuerpo y las personas que eligen hacer consumo se reconfortan, aún cuando el calor se reduce solo un 10%, (Baker, 1996), en conclusión no representa una respuesta a las condiciones térmicas.

2.5.3. MODELOS PARA ESPACIOS EXTERIORES

Comprender la percepción ambiental de los ciudadanos es un tema importante a considerarse en los diseños de espacios abiertos públicos y mejorar la calidad ambiental y del paisaje al aire libre; desarrollar espacios respaldados con investigación e integrar la perspectiva de los ciudadanos que viajan en condiciones del microclima locales de un punto a otro, al aire libre, y a partir de eso, poder proponer estrategias efectivas de mitigación basados en instrumentos de medición aplicados para comprender la percepción que los peatones tienen visual-térmico-acústicas que caracterizan el entorno.

Con un monitoreo continuo in situ considerando los principales parámetros ambientales, los beneficios generados por las estrategias seleccionadas de mitigación de microclima y mejora del paisaje, se puede evaluar cuantitativamente con modelos de microclima validados por medio de simulaciones que permiten confirmar la capacidad de las estrategias de mitigación de microclimas contra el calor antropogénico, estas pueden ser con el incremento de la vegetación de áreas peatonales combinado con otras soluciones para el cambio sostenible del paisaje y muestra el impacto más significativo en la mitigación del sobrecalentamiento durante el verano.

2.5.4. NORMATIVIDAD

La revisión de la normatividad vigente está enfocada al confort térmico, éstas normas permiten identificar los parámetros para la calidad y comodidad dirigida al usuario, las condiciones de desarrollo de los modelos de confort térmico en que están basadas, qué tipo de consideraciones fisiológicas y psicológicas están integradas, el nivel de arropamiento y actividad, y en el diseño, para cuáles espacios arquitectónicos serán aplicadas en normatividad nacional e internacional.

ISO 7730:2006 FANGER. Fue P.O. Fanger, (1973) es quién elaboró un procedimiento que contempla las diferentes variables que influyen en la valoración del ambiente térmico en un entorno laboral. El método de Fanger considera el nivel de actividad, las características de la ropa, la temperatura de bulbo seco, la humedad relativa, la temperatura radiante media y la velocidad del aire. Las unidades de medida utilizadas en las ecuaciones para medir el aislamiento térmico de la ropa son el clo, o índice de indumento, y el metro cuadrado kelvin por vatio (m^2K/W).

La Norma Mexicana NORMA MEXICANA NMX-AA-166/1-SCFI-2013

“establece las especificaciones técnicas que deben cumplir los materiales e instrumentos de medición de las variables meteorológicas, utilizadas en las estaciones meteorológicas automáticas y sinópticas.

Esta norma mexicana aplica para las personas físicas y/o morales que utilicen instrumentos de medición meteorológica y operen Estaciones Meteorológicas y Climatológicas de Superficie Convencionales y Automáticas en los Estados Unidos Mexicanos.

La República Mexicana por su extensión y ubicación geográfica tiene una gran variedad de condiciones atmosféricas que repercutan en el desarrollo de actividades productivas como en el bienestar de la población, no obstante, el clima y las condiciones meteorológicas se ven afectadas por oleadas de fenómenos hidrometeorológicos extremos que ponen en peligro la seguridad de las personas y sus bienes materiales, debido a los graves daños en el medio

ambiente, entre los fenómenos anteriormente mencionados que habitualmente afectan al país y ponen en riesgo a la población; se señalan por su magnitud y peligrosidad: huracanes, tormentas tropicales, nevadas, heladas, lluvias torrenciales y en otro extremo severas sequías y desertificación.”

2.5.5. IMPACTOS DEL MEDIO AMBIENTE LOCAL EN EL CONFORT TÉRMICO

El mayor impacto del medio ambiente en el confort térmico es precisamente, el fallecimiento por golpe de calor, o muerte de calor excesivo de origen natural clasificado como el Código X30, que durante la década de 2000 al 2010, fueron 393 los casos presentados en el País con esta afectación, la mayoría de ellos fueron en la poblaciones de la zona de Noroeste de México, esto provocado por la elevación de la temperatura de la superficie de la tierra, pero además la frecuencia permanente de días y noches calientes. La organización mundial de la salud (OMS), señala que los eventos de calor extremo se asocian a la reducción de posibilidades de satisfacer condiciones para conservar la salud de los habitantes, por un lado, se requiere de una cantidad mayor recursos y productos consumibles, como agua y comida en buenas condiciones; mismos recursos que pueden derivar otras situaciones relaciones a la salud (Enrique et al., 2014) o golpe de calor, alteración al sistema cardiovascular, respiratorio y neurológico, y otros como la enfermedad del dengue.

No obstante, que el impacto descrito es asociado a eventos atípicos, y de escenario de mucho riesgo para la población, también otro tipo de impacto se presenta con mayor frecuencia, referente a la incomodidad térmica que tienen afectaciones en la salud, aunque menores que los mencionados, así mismo, estrés térmico, agotamiento e insolación y afectación en el desarrollo de las actividades cotidianas de la población.

2.5.6. CONFORT TÉRMICO E ISLA DE CALOR URBANA

La relación entre las variables de isla de calor urbana y el efecto que causa en el confort térmico ha sido tema desarrollado en estudios en diferentes ciudades, especialmente durante la última década, aplicando diferentes metodologías de los cuales se obtienen aportaciones diferentes, respecto al enfoque en las dimensiones de las variables. Los resultados de los estudios presentan diferentes aportaciones, como la de definir los episodios de calor intenso en verano y presentar en cartografía del impacto térmico resultante. También de las intensidades de calor que están asociadas principalmente a zonas con uso de suelo industrial (Jauregui, 1981). Por otro lado, algunos autores han estudiado especies de vegetación con un aporte en la disminución de temperatura y aumento de humedad en las zonas urbanas donde impacta el fenómeno de ICU, y otros estudios relacionados a establecer el costo de la demanda de energía en sectores urbanos causados por la intensidad de ICU.

3. ESQUEMA FORMAL

En este capítulo se hace una reseña de los métodos para el desarrollo de esta investigación, se describen las principales características de la ciudad dónde se genera el fenómeno de ICU en Tijuana, y se definen las etapas de investigación, el proceso y análisis de los datos, y las resultantes.

Este trabajo de investigación planteó utilizar un enfoque cuantitativo en el estudio de ICU, esto se sustenta en lo presentado en las investigaciones desarrolladas por Jauregui (2004) en correlación con un enfoque de predicción para el estudio del confort térmico de Nikolopoulou (2004), Błażejczyk et al. (2013), Jendritzky (2012) de la misma forma sustentado por los resultados en las investigaciones de Bojórquez (2010); y con base en un marco teórico generado.

El objetivo al que está enfocado el trabajo de investigación, es calcular la población afectada en el confort térmico de espacios exteriores en las zonas impactadas por ICU, con procesos estadísticos y de teledetección para la caracterización y la ubicación del fenómeno; se consideró desarrollar una investigación correlacional, teniendo en cuenta el objetivo y con base en el conocimiento del fenómeno se identifican los ejes principales o variables, y entonces, puntualizar la relación que existe entre ellas.

La primera variable corresponde al fenómeno ICU y el efecto que éste causa sobre la segunda variable, el confort térmico. Es importante determinar la relación entre las dos, y a su vez, poder medir el vínculo entre ellas de manera simultánea, ya que de forma independiente, no sería posible identificar la problemática que se genera, y menos aún, medir su magnitud. El vínculo entre las variables puede ser acotado a partir de una observación, o con la aplicación de

un conjunto de determinadas técnicas, y a su vez, en el futuro estructurar propuestas y establecer acciones de solución o mitigación.

3.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN (MODELO)

Para el enfoque cuantitativo, con base en la aplicación de un modelo estadístico, mismo que es considerado como uno de los aplicados en estudios previos de climatología urbana e ICU con el fin de que los estudios sean comprobados y completos “En los últimos tiempos, la investigación climática relacionada con los entornos urbanos, ha utilizado tres tipos de modelos: modelos numéricos, físicos y empíricos” (Oke, 1984); (Svensson et al., 2002).

Para implementar el método directo, el cual se respalda en la técnica de validación de la climatología que permite determinar la intensidad ICU, la instrumentación básicas en la recopilación de datos e indicadores es la red de estaciones meteorológicas fijas, urbanas y rurales, de la CONAGUA y Protección Civil de la ciudad de Tijuana.

Figura 10
Bases de Datos de Registros Meteorológicos en EMA.

fecha	DirViento	DirRafaga	RapViento	RapRafaga	TempAire	HumRelativa	PresBarometri	Precipitacion	RadSolar	nombre_estacion
01/09/16 0:00	257	275	8.2	12	30.7	43	992.5	0	382	PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ (TIJUANA), BC
01/09/16 0:10	271	307	8.6	13.1	30.6	43	992.5	0	344	PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ (TIJUANA), BC
01/09/16 0:20	276	292	9.8	18.3	30.4	43	992.5	0	306	PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ (TIJUANA), BC
01/09/16 0:30	339	338	16.8	24.1	25.7	64	993.4	0	275	PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ (TIJUANA), BC
01/09/16 0:40	333	346	15	25.8	25.4	65	993.5	0	240	PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ (TIJUANA), BC
01/09/16 0:50	325	319	15.9	24.1	25.3	66	993.5	0	207	PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ (TIJUANA), BC
01/09/16 1:00	330	313	14.3	23.5	25.1	68	993.5	0	174	PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ (TIJUANA), BC
01/09/16 1:10	331	336	15.7	23.5	25	68	993.5	0	140	PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ (TIJUANA), BC
01/09/16 1:20	332	321	14.4	21.8	24.8	68	993.5	0	111	PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ (TIJUANA), BC
01/09/16 1:30	334	341	14.1	19.5	24.6	70	993.4	0	86	PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ (TIJUANA), BC
01/09/16 1:40	338	334	12.5	17.2	24.4	71	993.5	0	63	PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ (TIJUANA), BC
01/09/16 1:50	342	351	10.7	17.2	24.3	72	993.4	0	39	PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ (TIJUANA), BC
01/09/16 2:00	333	338	11	17.2	24.1	74	993.4	0	19	PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ (TIJUANA), BC
01/09/16 2:10	332	356	12.1	18.9	23.8	77	993.5	0	8	PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ (TIJUANA), BC
01/09/16 2:20	334	346	11.9	18.9	23.4	82	993.6	0	1	PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ (TIJUANA), BC
01/09/16 2:30	341	343	11.4	17.2	22.9	87	993.6	0	0	PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ (TIJUANA), BC
01/09/16 2:40	340	342	11.5	17.7	22.6	94	993.7	0	0	PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ (TIJUANA), BC
01/09/16 2:50	346	347	8.9	17.7	22.3	99	993.8	0	0	PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ (TIJUANA), BC
01/09/16 3:00	354	346	6.6	14.3	22.1	100	994	0	0	PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ (TIJUANA), BC
01/09/16 3:10	340	331	6.7	13.7	21.9	100	994.3	0	0	PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ (TIJUANA), BC
01/09/16 3:20	335	333	10.3	14.3	21.7	100	994.5	0	0	PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ (TIJUANA), BC
01/09/16 3:30	348	341	7.9	13.7	21.5	100	994.7	0	0	PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ (TIJUANA), BC
01/09/16 3:40	343	340	7.6	12.5	21.4	100	994.9	0	0	PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ (TIJUANA), BC
01/09/16 3:50	351	358	7	13.7	21.3	100	995	0	0	PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ (TIJUANA), BC
01/09/16 4:00	358	345	6.6	10.2	21.2	100	995	0	0	PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ (TIJUANA), BC
01/09/16 4:10	7	337	4.2	8.5	21.1	100	995	0	0	PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ (TIJUANA), BC
01/09/16 4:20	9	327	2.6	7.9	21	100	995	0	0	PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ (TIJUANA), BC
01/09/16 4:30	342	307	3.3	7.4	20.9	100	995.1	0	0	PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ (TIJUANA), BC
01/09/16 4:40	328	327	5	9.1	20.9	100	995	0	0	PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ (TIJUANA), BC
01/09/16 4:50	328	312	4.8	8.5	20.8	100	995.1	0	0	PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ (TIJUANA), BC
01/09/16 5:00	318	321	3	6.8	20.8	100	995	0	0	PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ (TIJUANA), BC

Nota. Los registros regulares de la EMA Abelardo L. Rodríguez son capturados cada 10 minutos en Horario Universal.
Fuente: (CONAGUA, 2019).

Para efectos de complementar de la investigación, en el proceso se considera aplicar el método indirecto, que corresponde al proceso geo-estadístico, éste incluye la técnica de mapeo, que permitirá delimitar la zona geográfica de afectación donde incide el fenómeno, respaldada con instrumentos de imágenes satelitales de la zona, para el cual el indicador corresponde a valores térmicos de la imagen. La fuente de consulta y descarga es la página web <https://earthexplorer.usgs.gov> en la cual se obtienen las imágenes del satélite Landsat 8, encargado de hacer el barrido y captura de imágenes.

Para correlacionar el primer segmento de la investigación con la segunda variable que es el confort térmico, se implementó el método de predicción basado en el modelo RUROS (por sus siglas en Inglés) de Nikolopoulou (2004), para validar y medir el impacto que el fenómeno de ICU ejerce en el confort térmico de la población usuaria de los espacios públicos o áreas localizadas dentro del área termo-geográfica determinada por el mapeo.

3.2. VARIABLES

Para fines del presente estudio, las variables consideradas están determinadas en el constructo teórico, en este apartado se describen las características y dimensiones de las variables, con el propósito de poder determinar la intensidad y ubicación del fenómeno ICU, que provoca una afectación directa en el confort térmico.

3.4.1. VARIABLE 1, ISLA DE CALOR URBANA ICU

Se consideró el primer eje de esta investigación, la variable de ICU, en su dimensión contempla los datos meteorológicos registrados en el periodo de estudio, identificando como subdimensión la temperatura de bulbo seco o temperatura ambiental, los indicadores se asocian a la unidad de medida de la temperatura correspondiente a los grados Celsius.

Tabla 4
Operacionalización de la Variable Isla de Calor Urbana

VARIABLE	DIMENSIÓN	SUBDIMENSIÓN	INDICADORES
ISLA DE CALOR URBANA (ICU)	Datos Meteorológicos	Temperatura	Unidad: Grados Celsius
	Uso de suelo	Uso de suelo urbano	CLASIFICACIÓN Habitacional Industrial Comercio y servicios Equipamiento Urbano Mixto Especial
	Densidad población	Densidad	Hab/ha
			Alta-Media-Baja
	Geometría Urbana	Rugosidad edilicia	Zona climática local

Nota. La tabla muestra los componentes en los que se deriva la variable de la investigación isla de calor urbana.
Fuente: Elaboración Propia.

3.2.1.1. DIMENSIÓN: DATOS METEOROLÓGICOS.

La ICU se presenta en las extensiones urbanas con diferentes afectaciones por incremento de la temperatura de bulbo seco, la cual originalmente es provocada por el cambio de las características de la superficie y la atmósfera de la tierra a extensiones urbanas (Voogt, 2008). Por lo tanto, la dimensión de datos meteorológicos mantiene una directa relación con la variable ICU; esta dimensión integra diversos campos de datos de los cuales la temperatura ambiental se identifica para este estudio, como la subdimensión principal.

La temperatura es la magnitud de energía térmica de un cuerpo y del ambiente, es considerada una variable que depende en ocasiones de la estabilidad atmosférica y la radiación solar (Bravo et al., 2000 citando a: Rao et al., 1995), es una variable meteorológica importante que ha sido incluida en los estudios bibliográficos revisados de bioclima y confort térmico, e

implícita en las normas ISO 7726 Y ANSI/ ASHRAE 55 2004, se mide con un termómetro y la unidad de medida es el grados Celsius.

Los datos han sido registrados con infraestructura de la Red Nacional de Estaciones Meteorológicas Automatizadas (EMAS) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y de la Red Municipal de Protección Civil de Tijuana.

3.2.1.2. DIMENSIÓN: USO DE SUELO.

Según la clasificación establecida en el Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Tijuana, B. C., PDUUCT (2010), la clasificación de uso de suelo en la ciudad se estratifica de la siguiente manera:

- Habitacional: el suelo de la ciudad en la que se encuentran edificados los diferentes tipos de viviendas, campestre, vivienda unifamiliar, vivienda multifamiliar horizontal y vertical.
- Otra clasificación es la turístico-habitacional y turístico campestre.
- Comercio y Servicios, en éstos se agrupan las actividades comerciales y de servicios; como son establecimientos comerciales generales, consultorios médicos, abarrotes.
- Uso de suelo de Equipamiento Urbano: Se trata de instalaciones y/o edificios y espacios de tipo público donde se realizan actividades de tipo complementario a la habitación y al trabajo.
- Uso Industrial: Involucra actividades de procesamientos de insumos para obtener un producto en particular, estas edificaciones pueden ser talleres, naves industriales, almacenes, depósitos, bodegas, plataformas, oficinas, o laboratorios.
- Uso de suelo Especial: Es el que permite alojar infraestructura e instalaciones con características especiales debido al servicio que proporcionan, estas pueden estar

asociadas con actividades primarias, áreas de conservación, derechos de vía de canalización, cuerpos de agua y preservación de cauces naturales.

El uso de suelo permite predisponer de la densidad de población, la ocupación y utilización de suelo (COS y CUS), así también como el recubrimiento de la superficie predominante, y cómo se encuentra procesado el terreno natural.

3.2.1.3. DIMENSIÓN: DENSIDAD DE POBLACIÓN.

La dimensión de densidad de población está representada por un indicador numérico, y en comparación con el contexto urbano se clasifica en densidad baja, media o alta. Los datos son registrados y actualizados periódicamente por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, (INEGI), mediante el censo de población realizado cada década, estos valores se encuentran disponibles en archivos electrónico geo-estadísticos; La dimensión de densidad de población se considera en la caracterización de la ICU, en este proyecto se indica en cantidad de población total en el polígono afectado, para las zonas donde se deduce que el fenómeno está presente, ya que es una condición que abona a la causa del fenómeno de ICU (Santamouris et al., 2018), (Kim et al., 2004).

3.2.1.4. DIMENSIÓN: GEOMETRÍA URBANA

La geometría urbana representa también una dimensión de la variable integradora, que igual que las anteriormente descritas, determinan la presencia e intensidad del fenómeno ICU, la subdimensión es considerada por la rugosidad edilicia, misma que a su vez es incluida en los indicadores de Zonas Climáticas Locales. En esta investigación solo se menciona esta dimensión considerando que las superficies donde se determina el fenómeno de ICU corresponde a una superficie urbana, sin hacer mayor énfasis en las características.

3.4.2. VARIABLE 2, CONFORT TÉRMICO

La variable de confort térmico se define como la percepción del medio ambiente circundante que se genera principalmente a través de la piel aunque en el intercambio térmico entre el cuerpo y el ambiente, los pulmones intervienen de manera importante (Fuentes, 2009). El confort térmico para espacios exteriores es el considerado en esta investigación, concepto que se describe en el constructo teórico de este trabajo.

García Gómez et al. (2011), describen los cuatro parámetros físicos de ambiente a los cuales el confort térmico está supeditado, estos son la temperatura del aire, la velocidad del viento, que puede provocar una afectación con la pérdida de calor o de humedad en un cuerpo; otro parámetro corresponde a la humedad relativa, que es perceptible en un cuerpo a través de la piel con el sudor o la resequead del órgano, y en la respiración.

Tabla 5
Operacionalización de la Variable Confort Térmico

VARIABLE	DIMENSIÓN	SUBDIMENSIÓN	INDICADORES
CONFORT TÉRMICO	Condiciones ambientales	Temperatura del aire	Grados Celsius
		Temperatura radiante media	Grados Celsius
		Velocidad relativa del aire	Km/h
	Condiciones fisiológicas	Calor metabólico producido(interno)	Temperatura superficial de la ropa
		Energía metabólica producida (trabajo externo)	Pasivo Activo
		Temperatura superficial de la piel	Grados Celsius

Nota. La tabla muestra los componentes en los que se deriva la variable de la investigación confort térmico.
Fuente: Elaboración Propia.

Otro parámetro importante, en especial en espacios exteriores es la temperatura media radiante, que considera la radiación del calor emitido de los elementos en un contexto. Paralelamente a los parámetros físicos ambientales existen otras que se integran en la definición de los cálculos del confort térmico, estos son el nivel de actividad de un cuerpo, el metabolismo

o la cantidad de energía metabólica producida, y el nivel de arropamiento que evita o facilita la pérdida o aumento de temperatura en el cuerpo según las condiciones dadas.

3.4.1.1. DIMENSIÓN: CONDICIONES AMBIENTALES

La derivación de una variable representa los componentes para medir una variable en sus dimensiones, en este caso la primera dimensión del confort térmico corresponde a las condiciones ambientales, ya que este estudio está enfocado al confort térmico de espacios públicos abiertos, la combinación de las condiciones microclimáticas y de confort, junto con la estimulación ambiental, permiten que la comunidad pueda satisfacer la necesidad de hacer uso de los espacios abiertos (Nikolopoulou, 2005). A partir de este punto, se derivan las subdimensiones, que corresponde a la temperatura del ambiente, medida en grados Celsius que representa uno de los principales indicadores del medio ambiente. La segunda subdimensión es representada por la radiación solar, la tercera es la velocidad del viento, medida en m/s, y por último la humedad relativa medida en porcentaje, las subdimensiones en conjunto despliegan las condiciones microclimáticas (Tabla 5).

3.4.1.2. DIMENSIÓN: CONDICIONES FISIOLÓGICAS.

Otra dimensión del confort térmico es referente a las condiciones fisiológicas de los usuarios, y éstas implican que las personas experimentan diferentes sensibilidad de manera individual al medio ambiente. La respuesta que los humanos generan ante un estímulo es en función a su magnitud, también es afectada por la intervención de información ante una situación y lugar específicos, ya sea en un espacio abierto o cerrado. La alteración de las condiciones fisiológicas de las personas están determinadas principalmente por las características propias, definidas por el sexo del individuo, la complejión física (peso, estatura, área de piel, volumen, índice de masa corporal) y el metabolismo (basal, global), además, otras causas psico-fisiológicas (Fanger, 1972).

El metabolismo, segunda subdimensión, es el cúmulo de reacciones químicas en el cuerpo, incorpora el metabolismo basal y global, el cual implica el consumo energético (consumo

metabólico) del cuerpo humano, que varía según la función y actividad física. Teniendo en cuenta que el proceso metabólico transforma la energía química en calor; es entonces, la energía que el cuerpo requiere para funcionar y mantenerse vivo, la energía que se requiere para realizar trabajos mecánicos externos, es decir energía que el cuerpo consume para llevar a cabo sus funciones y actividades, pero en su mayor parte se transforma en calor interno. La energía es medida en Watts por metro cuadrado, el rango en personas sedentarias es de 58 a 87 W/m², el nivel medio de 87 a 145 W/m² y la intensidad en el rango de 145 a 232 W/m². La subdimensión está implícita en el modelo de predicción RUROS de Nikolopoulou (2004) aplicado de confort térmico, por lo que no fue necesario hacer mediciones de las condiciones fisiológicas.

3.3. RELACIÓN ENTRE VARIABLES

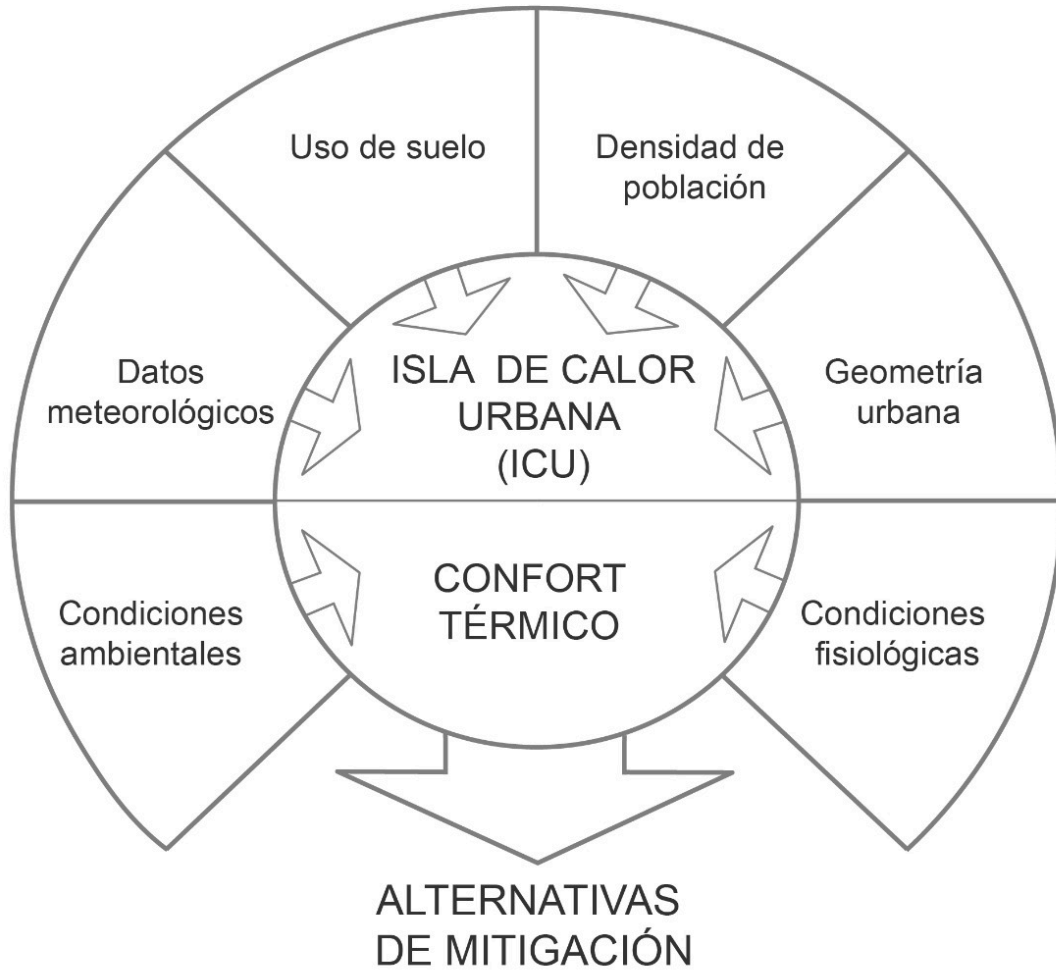
Como consecuencia de la transformación del ambiente por la presencia de ICU, se despliega un listado de impactos en cadena que afectan el ambiente y la calidad de vida de los habitantes. Las afectaciones por la presencia de ICU generan un espiral de adversidades al ambiente (Santamouris, 2015), entre ellas, las afectaciones al confort térmico de los usuarios de los espacios públicos, graves problemas de salud en los que en ciertos sectores socioeconómicos y de edad de la población se acentúa la vulnerabilidad al fenómeno.

La actividad antropogénica desarrollada en las urbes, representa una fuente significativa de calor, sin embargo la opinión y estudios de algunos autores estiman diferentes valores de intensidad del calor antropogénico, no por ello menos importante; mientras que en un estudio para la ciudad de Nueva York, Escourrou et al. (1991), expone que el calor antropogénico representaba casi el doble del calor recibido de la radiación solar, en otros estudios como el caso Barcelona de Pares et al. (1985) el calor antropogénico generado representa una quinta parte del calor causado por la radiación solar. Se ha podido estimar el flujo de calor sensible y latente para los sectores industrial, comercial, residencial y de transporte, para la ciudad de Osaka, Japón el flujo se estima entre 2 a 35 W/m² (Narumi et al., 2009).

Paralelamente, el flujo de calor por convección relacionada con la velocidad de viento y la relación con las características de la superficie de la ciudad produce un incremento de calor

sensible. La ICU ha sido estudiada en relación con otras variables o afectaciones en las que incide en la población, en esta investigación la correlación se hace a la variable del confort térmico.

Figura 11
Representación Gráfica de la Relación Entre las Variables de Investigación.



Nota. Representación esquemática de la fusión en un núcleo de las dos variables, considerando las dimensiones.
Fuente: Elaboración propia.

3.4. TÉCNICAS DE ESTUDIOS

En el presente estudio se aborda un enfoque metodológico cuantitativo, esto corresponde a examinar registros, ponderar y localizar los factores del fenómeno de ICU y el impacto que éste ejerce sobre el confort térmico de la población de cierta zona geográfica dentro de la ciudad. A continuación se describen las técnicas aplicadas que fueron desarrolladas y los resultados a los que se llegó.

3.4.1. INFORMACIÓN METEOROLÓGICA

La primera técnica consistió en la revisión de información meteorológica: exploración, descarga, unificación de referencias y proceso de bases de datos meteorológicos de fuentes oficiales que han sido generados a partir de 1999 en la localidad y se encuentran disponibles y son públicos. Las fuentes de información meteorológicas son estaciones fijas con equipo de medición para detectar y registrar las variables ambientales, las lecturas de la instrumentación en las estaciones meteorológicas (EM) son los datos incluidos en los registros monitoreados cada 10 minutos o en periodos menores, estas fuentes integran información meteorológica acontecida en la extensión territorial de Tijuana, urbana y rural. De los indicadores registrados en las bases de datos, se hizo uso de la temperatura ambiental mínima registrada en grados Celsius, de radiación solar en vatios por metro cuadrado, de velocidad del viento en m/s y de humedad relativa en porcentaje.

El periodo de estudio se determinó de acuerdo a la calidad de la información de los registros meteorológicos disponibles, quedando un periodo de tiempo, al menos de cinco años consecutivos y recientes, los criterios considerados en la revisión de la calidad de la información de datos meteorológicos, son los siguientes:

- Emplear datos de estaciones meteorológicas: al menos una rural, o localizada en el perímetro; y al menos una localizada dentro la zona urbana. En total se encontraron cuatro estaciones meteorológicas urbanas y una rural.

- Que los registros de temperatura de bulbo seco estén simultáneos en horario entre los dos tipos de estaciones meteorológicas (rurales y urbanas). Los registros de la información son diferentes en algunas, existen registros a cada minuto, a cada 10 minutos.
- Que los datos de registro de temperatura ambiental se encuentren completos en el periodo considerado, o al menos se cuente con porcentaje mínimo de datos completos de un 80% para la determinación de la temporalidad a considerar en el estudio. Considerando que puede haber causas excepcionales que provoquen alteraciones en los sensores que impida la continuidad de los registros (Coral, 2013). Las estaciones meteorológicas descartadas de las consideradas originalmente, contenían información faltante de meses completos.
- Que los datos registrados no presenten inconsistencias, con valores atípicos; y en su caso:
- Que las inconsistencias o datos faltantes puedan ser cubiertos con la implementación de una interpolación que permita un margen de error mínimo.

3.4.1.1. ESTACIONES METEOROLÓGICA FIJAS

Figura 12
Recorrido Fotográfico de las Estaciones Meteorológicas en Tijuana.



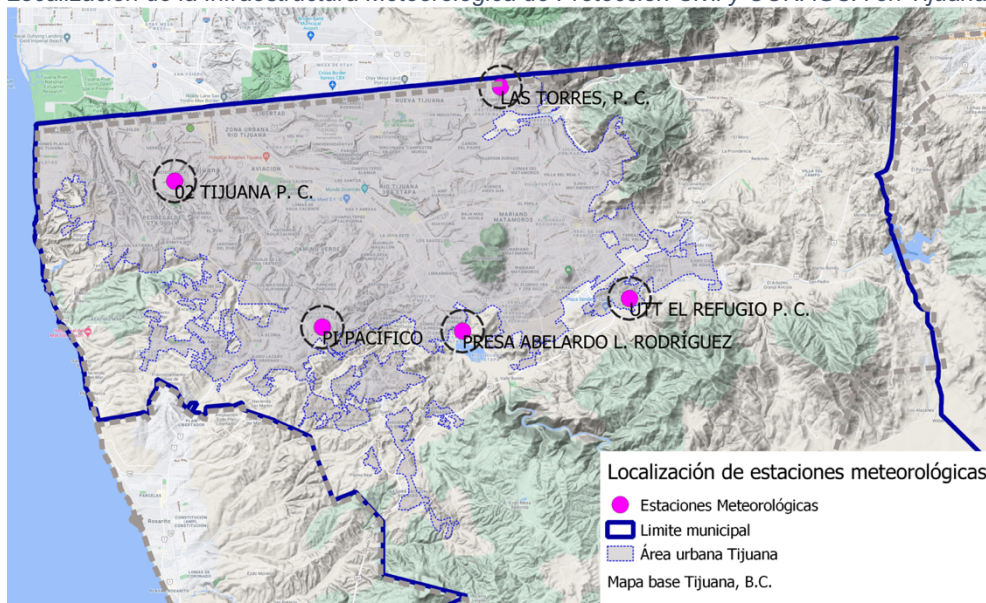
Nota. a) Estación Meteorológica 02Tijuana, localizada en la Estación de Bomberos Protección Civil b) P1 Pacífico, ubicada en el Parque Industrial Pacífico, c) Las Torres, ubicada en colonia urbana con el mismo nombre d) Presa Abelardo L. Rodríguez
Fuente: Elaboración propia.

Las fuentes de información de datos meteorológicos corresponden a la infraestructura existentes en la localidad, las instalaciones que cuentan con infraestructura ubicada en el área urbana o en la periferia de la ciudad son:

La Red nacional de Estaciones Meteorológicas de la Dirección General Adjunta de Oceanografía, Hidrografía y Meteorología, de la Secretaría de Marina, la cual no se consideró en esta investigación, la Red nacional de estaciones meteorológicas automáticas (EMAS) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), considerada en esta investigación misma que se clasifica como una unidad suburbana; por su localización en la periferia de la ciudad, la Red Municipal de Estaciones Meteorológicas de Protección Civil Tijuana, cuenta con un infraestructura de cinco unidades de las cuales solo se consideraron cuatro.

Figura 13

Localización de la Infraestructura Meteorológica de Protección Civil y CONAGUA en Tijuana.



Nota. Las EM se localizan en la zona urbana de la ciudad de Tijuana, la EM 02 Tijuana localizada en la colonia Francisco Villa, la EM de la parte norte ubicada la colonia Las Torres, la EM El Pacífico en la zona industrial del mismo nombre, la EM Abelardo L Rodríguez en la presa con el mismo nombre, y la UTT, en la colonia El Refugio.

Fuente: Elaboración propia.




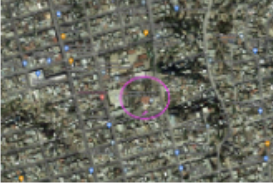

Para el acceso a la información registrada de las estación meteorológicas se requirió de una inicial gestión de la información, con solicitud anticipada de datos ante la instancia que tienen en resguardo la información; para las estaciones de la red municipal de Protección Civil, la

adquisición de la información es a través de la plataforma en línea www.weatherlink.com, sitio requiere de un registro y pago para el acceso y descarga de los datos históricos, cuenta con un conjunto de cuatro unidades Davis Vantage Pro2 Plus - Cabled instaladas dentro del área urbana, mismas que contienen registros vigentes a partir del 2012.

Otros datos para el proceso de este trabajo de investigación, corresponden a los registrados en la EMA de CONAGUA, identificada como Presa Abelardo L. Rodríguez, por el lugar donde se ubica es considerada como estación suburbana, la información de las bases de datos están disponibles de forma pública y gratuita vigente a partir del año 1999 hasta 2018.

La resolución temporal es alta, existen registros de algunas de estas unidades a cada minuto, la limitante puede ser ocasionada por cuestiones de falta de mantenimiento o causas excepcionales, otra limitante se podría asociar a la resolución espacial, ya que la Organización Mundial Meteorológica (OMM) recomienda una la instalación de un equipo de instrumentación meteorológica para un radio de 5 km, en terrenos planos (CONAGUA, 2019).

Tabla 6
Estaciones Meteorológicas en en la Ciudad y su Clasificación Considerada en el Estudio

	Estación (nombre)	Latitud	Longitud	Altura	Tipo, Características	
1	Presa Abelardo L. Rodríguez, CONAGUA	32.4472	-116.9083		Sub-urbana	
2	UTT El Refugio, Protección Civil	32.4601	-116.8258	179	Urbana	
3	PI Pacífico, Protección Civil	32.4481	-116.9801	375	Urbana	
4	02 Tijuana, Protección Civil	32.5100	-117.0541	203	Urbana	
5	Las Torres, Protección Civil	32.5500	-116.8899	62	Urbana	

Nota. Clasificación e imagen de ubicación geográfica de las fuentes de información meteorológica en el contexto urbano.

Fuente: *Elaboración Propia.*

3.4.1.2. REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN

Los datos de las fuentes meteorológicas que fueron revisados se concentran en resumen en la siguiente tabla, que de manera estratificada muestra la calidad de la información revisada por cada año considerado en el periodo de estudio, para el cual fué necesario un proceso previo de conversión a documentos editables para el facilitar el manejo de información.

Tabla 7
Estado de la Calidad y Clasificación de Datos Meteorológicos Registrados por Año.

Número	Estación (nombre)2	2015	2016	2017	2018	2019
1	Presa Abelardo L. Rodríguez, CONAGUA	OK	OK	OK	OK	OK
2	UTT El Refugio, Protección Civil	OK	OK	OK	OK	OK
3	PI Pacífico, Protección Civil	OK	OK	OK	OK	OK
4	02 Tijuana, Protección Civil	OK	OK	OK	OK	OK
5	Las Torres, Protección Civil	OK	OK	OK	OK	OK

OK	Información completa
OK	Sin información de algunos días del mes
OK	Sin información de al menos un mes completo
OK	Sin información en la mayoría de los meses del año

Descritores :

Nota. En el recuadro inferior se especifica la categorización de la información revisada.
Fuente: Elaboración Propia.

Por tratarse de dos diferentes tipos de fuentes de datos meteorológicos (red nacional y red municipal) las que han registrado la temperatura dentro del área urbana y área la rural de la ciudad de Tijuana, se requirió de una revisión de la disposición de la información para cada una de las fuentes, con el fin de hacer una homologación de los registros de manera que exista certidumbre al comparar los datos entre una y otra fuente, en gran medida se buscó que fueran semejantes en las unidades de tiempo y que la información no incluyera registros atípicos.

Los datos en la EM Presa Abelardo L. Rodríguez han sido tomados cada 10 minutos, la base de datos contiene registros ambientales de viento, temperatura, precipitación pluvial, radiación y presión barométrica. Por ser parte de una red nacional, la hora en el registro de los datos es el horario TUC ó UTC (Tiempo Universal Coordinado) con respecto al meridiano de Greenwich, el cual permite la simultaneidad en las diferentes zonas geográficas de la extensión territorial nacional. Para hacer uso de la información con respecto al horario local, se requirió ajustar el horario con un desfase de 8 horas de la hora registrada, a lo que también se consideró el cambio de horario de invierno y verano que es implementado en la localidad.

En la homologación de la información, para la EM suburbana se implementó un modelo estadístico que permitió obtener la temperatura mínima registrada por hora, obtenida a partir de registros cada 10 minutos. Posteriormente el modelo permitió identificar la temperatura mínima registrada por día, y finalmente con estos datos, obtener el promedio de temperatura mínima de cada mes del periodo comprendido de enero del 2015 a diciembre del 2018, para el caso de la EM rural.

Figura 14

Formato Estadístico Para la Simplificación de Datos Meteorológicos Parte 1.

Date: ene.-18		Mínima /hora	
Date	Time	Temp-humedad- punto de rocío	AvgTemp
1-Jan-2018	00:00	12.2	
1-Jan-2018	00:10	11.7	
1-Jan-2018	00:20	11.4	
1-Jan-2018	00:30	11.3	
1-Jan-2018	00:40	11.3	
1-Jan-2018	00:50	11.1	11.1
1-Jan-2018	01:00	11.1	
1-Jan-2018	01:10	10.6	
1-Jan-2018	01:20	10.2	
1-Jan-2018	01:30	9.9	
1-Jan-2018	01:40	10	
1-Jan-2018	01:50	10.2	9.9
1-Jan-2018	02:00	9.9	
1-Jan-2018	02:10	9.9	
1-Jan-2018	02:20	9.9	
1-Jan-2018	02:30	9.7	
1-Jan-2018	02:40	9.5	
1-Jan-2018	02:50	9.5	9.5
1-Jan-2018	03:00	9.3	
1-Jan-2018	03:10	9.1	
1-Jan-2018	03:20	8.9	
1-Jan-2018	03:30	8.7	
1-Jan-2018	03:40	8.5	
1-Jan-2018	03:50	8.7	8.5
1-Jan-2018	04:00	8.8	

Nota. Los registros de temperatura corresponden a la estación meteorológica de La Presa Abelardo L. Rodríguez, registrados cada diez minutos.

Fuente: Desarrollado con base en los registrados por CONAGUA.

Figura 15
 Formato Estadístico Para la Simplificación de Datos Meteorológicos Parte 2.

Tabla de temperatura cada hora diaria

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Hour	Hora/ Día																						
00:00-01:00	01:00	11.1	12.8	15.9	13.7	13.2	14.7	15.3	17.2	15.9	12.5	10.8	13.5	21.3	21.1	14.5	13.5	13	14.6	13.2	12.1	8.9	9.1
01:00-02:00	02:00	9.9	12.7	13.8	12	13.2	14.3	15.3	17	15.5	12.8	10.5	13.2	21.1	20.6	13.7	12.7	12.9	14.3	12.8	11.9	8.5	8.4
02:00-03:00	03:00	9.5	12.7	13.8	12.1	12.6	14.2	15.1	18.1	15.4	12.7	10.4	13	21.6	20.1	12.9	12.2	12.9	13.4	12.7	11.7	8.2	8.2
03:00-04:00	04:00	8.5	12.1	13.4	13	12.2	14.9	14.4	16.1	15.8	12.7	10.2	12.4	21.5	20.3	13.1	12.2	13	13.7	12.8	11.9	7.6	8.4
04:00-05:00	05:00	8.6	12.2	13	12.6	12.4	16.5	13.5	16	16	12.7	10.1	12	21.6	20	12.8	12.1	13.3	14.9	12.7	11.8	7.4	8.1
05:00-06:00	06:00	8.5	11.4	12.9	12.2	12.3	15.3	14.1	15.9	17.1	12.7	10	11.6	21.7	19.9	13.1	13.1	12.8	15.5	12.4	11.9	7.3	8
06:00-07:00	07:00	9	11.5	13.1	11.9	13.3	14.9	13	17	17	12.6	10.2	11.2	22	19.9	13.5	13.1	12.6	15.3	11.9	12	7	8.4
07:00-08:00	08:00	9	11.6	13.1	12.1	13.8	14	13.1	16.5	13.9	12.6	10	11.7	21.8	20	13.8	12.9	12.8	14.6	11.9	12.2	6.9	8.6
08:00-09:00	09:00	11.7	11.8	14.2	13.6	16.2	14.4	14.8	18.1	13	12.9	11.3	12.9	22.6	21	14.8	13.6	14.5	17	12.4	12.6	8.1	10.7
09:00-10:00	10:00	14.3	14.6	18.2	16.4	18.3	16.8	16.8	19.5	12.8	13.4	12.5	16.5	23.7	22.1	16.5	14.9	17.2	18.8	14.5	13	10	14.9
10:00-11:00	11:00	16.6	19.1	17.1	19.1	20.8	18.7	19.7	20.6	12.9	14.2	15.5	19.2	25	23.7	19.3	17.1	21.7	20.9	17.2	13.8	12.6	17.4
11:00-12:00	12:00	18.9	23.1	17.9	24.2	24.6	20.8	23	20.4	13.8	14.2	17.5	21.7	26.6	24.8	22.4	21.1	23.3	23	18.7	14.3	15.9	18.6
12:00-13:00	13:00	19.4	24.8	19.3	25.4	24.2	24.1	23	21.4	15.3	15.2	19.8	23	27.6	26.4	25.2	20.6	24.8	26.1	17.4	13.3	17.6	19.7
13:00-14:00	14:00	20.7	24.9	21.1	25.4	23.8	23.8	21.5	23.7	15.9	15.3	20.9	23.8	28.1	27	24	19.4	24.4	27	17.8	14.2	16.6	18.7
14:00-15:00	15:00	20.3	25	21.6	24.6	23.9	20.5	21.7	21.4	15.5	15.9	20.8	22.7	28.4	26.3	21.4	19.3	23.1	25.5	18	14.8	15.4	18.9
15:00-16:00	16:00	18.6	18.4	21.7	22.4	22.5	19.7	20.3	21.1	13.7	15.9	20.8	21.4	28.1	24.9	18.5	20.6	22.5	18.4	16	14	16.1	18.3
16:00-17:00	17:00	15.9	17	18	20	19	17.9	19.6	18.6	12.6	14	18.8	18.2	25.5	21.5	16.7	19.7	20.9	16.5	15.3	13.5	14.9	16.6
17:00-18:00	18:00	14.7	18.8	17.7	18.5	17.1	15.3	18.4	19.1	12.4	13.3	16.1	16.6	23.1	20.2	15.5	17.7	18.4	14.7	13.9	12.5	13.4	14.6
18:00-19:00	19:00	13.8	17.9	16.7	17.7	15	14.9	18.3	16.7	12.3	13.1	15.2	15.4	21.9	18.1	14.8	16.8	16.9	14.3	13.8	11.7	12.7	13.2
19:00-20:00	20:00	13.5	17.6	16.3	16.6	15.1	14.7	17.7	16.5	12.1	12.8	14.3	15.1	21.4	16.9	14.7	15.9	16.3	14.1	14.2	10.8	11.7	11.7
20:00-21:00	21:00	13.5	15.7	15.5	16	14.7	14.6	17.8	16.7	12.3	12.3	14.4	15.1	21.4	16	14.8	14.9	16.4	14	13.5	10.4	10.8	10.8
21:00-22:00	22:00	13.4	14.8	15.4	15.2	14.4	14.6	17.7	17.9	12.8	11.8	14.4	19.5	21.8	16.2	15.1	14.3	19.4	14	13.4	9.9	10.1	10.2
22:00-23:00	23:00	13.2	14.4	15.1	14.7	14.6	15	17	17.1	12.8	11.2	13.9	21.3	21.4	14.9	15.1	14.1	19.1	14.4	12.4	9.8	10	9.5
23:00-24:00	00:00	12.9	14	14.2	13.1	14.9	15.5	17.1	16.7	12.9	11	13.4	21.6	21.2	14.9	14.9	13.3	16.4	13.9	12.6	9.2	9.5	9.2
PROMEDIO DIARIO ME		13.56	16.2	16.2	16.8	16.8	16.7	17.4	18.3	14.2	13.2	14.2	16.8	23.4	20.7	16.3	15.6	17.4	17.0	14.2	12.2	11.1	12.5

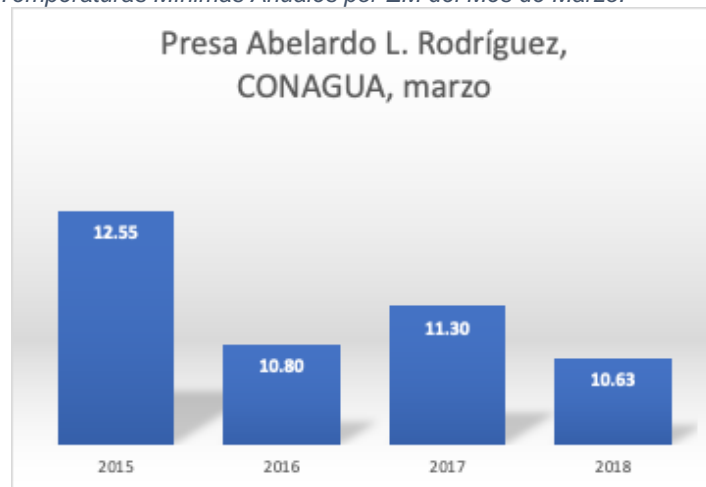
Nota. De la estación meteorológica de La Presa Abelardo L. Rodríguez, la tabla muestra los promedios de temperatura por cada hora del día, por cada día del mes, y en la fila inferior aparece el promedio de temperatura por día del mes.

Fuente: Desarrollado con base en los registrados por CONAGUA.

Para este estudio, todos los procesos se generaron considerando la temperatura mínima registrada por día, con los valores promedios de las temperaturas mensuales, se generaron gráficas de comparación por mes de cada uno de los 60 meses comprendidos en el periodo de estudio, por estación (Anexo 1).

Figura 16

Gráfica de Promedio de Temperaturas Mínimas Anuales por EM del Mes de Marzo.

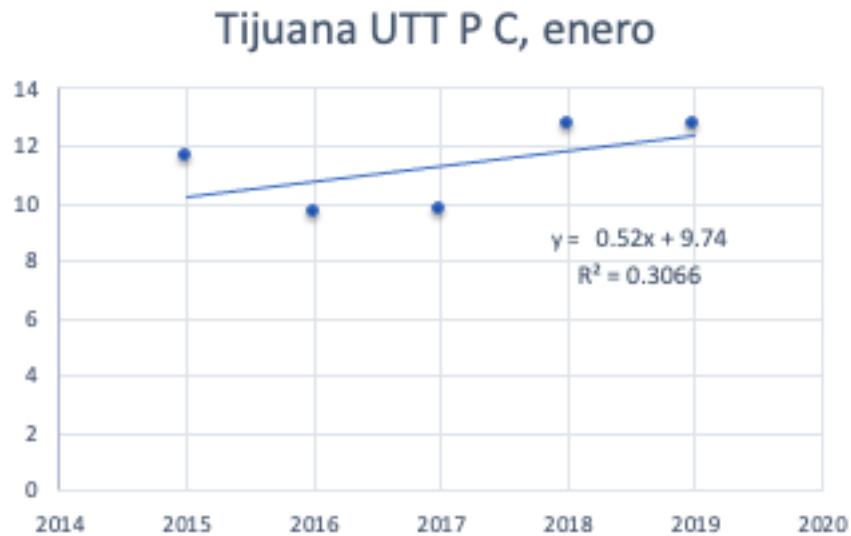


Nota. Los promedio de temperatura mínima se han hecho por cada estación meteorológica considerada en este estudio.
Fuente: Elaboración propia.

El mismo procedimiento se ejecutó para las estaciones meteorológicas urbanas de la red municipal de Protección Civil Tijuana, con el objeto de generar gráficas de comparación de temperatura por mes (Anexo 2). A partir de obtener los promedios mínimos mensuales, el proceso estadístico consistió en elaborar gráficas de regresión lineal simple (Figura 17), de cada una de las estaciones meteorológicas, para representar el estado tendencial de la variable de temperatura con los valores registrados durante el periodo de estudio.

Figura 17

Gráfica de Regresión Lineal Simple del Promedio de Temperatura Mensual.



Nota. La gráfica incluye el conjunto de valores del mismo mes considerando los cinco años del periodo de estudio, para la estación meteorológica de Tijuana UTT, de Protección Civil.

Fuente: Elaboración propia.

La línea de tendencia en la gráfica indica la disposición de incremento o disminución de la temperatura promedio del mes durante el paso del tiempo, indicada con la línea en dirección de izquierda a derecha, y con la orientación, positiva o negativa en x. La ecuación indica el valor de la variable dependiente “y”, y se incluye también el valor de R cuadrática, éste representa la correlación entre las variables cuantitativas de temperatura y tiempo.

Para tener un comparativo con todas EM consideradas, se generó un concentrado (Tabla 8) con resultados de las ecuaciones obtenidos en las gráficas de dispersión, por cada uno de los meses de estudio (Anexo 3), lo que permitió el análisis del conjunto de valores mensuales, de los cuales se identificaron los meses con tendencia al incremento de temperatura, es decir el valor mayor de coeficiente de la variable explicativa “x”, o B1.

Tabla 8
Concentrado de Resultados Para el Análisis del Conjunto de Valores Mensuales.

INVIERNO		Enero		
ESTACIÓN METEOROLÓGICA	MODELO	BI	R ²	
1 Presa Abelardo L. Rodríguez, CONAGUA	$1.5496x + 7.349$	1.550	0.0686	
2 UTT El Refugio, Protección Civil	$0.52x + 9.74$	0.520	0.3066	
3 PI Pacífico, Protección Civil	$0.01x + 10.95$	0.010	0.0001	
4 02 Tijuana, Protección Civil	$-0.0963x + 12.023$	-0.096	0.0162	
5 Las Torres, Protección Civil	$-0.04x + 10.3$	-0.040	0.0030	
6 Natura, Protección Civil	$-0.1126x + 7.0603$	-0.113	0.002	

PRIMAVERA		Mayo		
ESTACIÓN METEOROLÓGICA	MODELO	BI	R ²	
1 Presa Abelardo L. Rodríguez, CONAGUA	$0.132x + 16.385$	0.132	0.203	
2 UTT El Refugio, Protección Civil	$-0.1927x + 14.146$	-0.19	0.638	
3 PI Pacífico, Protección Civil	$-0.11x + 12.29$	-0.11	0.142	
4 02 Tijuana, Protección Civil	$-0.0968x + 13.755$	-0.1	0.603	
5 Las Torres, Protección Civil	$1.21x + 6.81$	1.210	0.107	
6 Natura, Protección Civil	$-1.39x + 11.61$	-1.39	0.104	

VERANO		Julio		
ESTACIÓN METEOROLÓGICA	MODELO	BI	R ²	
1 Presa Abelardo L. Rodríguez, CONAGUA	$0.929x + 20.23$	0.929	0.909	
2 UTT El Refugio, Protección Civil	$-0.0842x + 18.917$	-0.08	0.024	
3 PI Pacífico, Protección Civil	$-0.42x + 17.8$	-0.42	0.213	
4 02 Tijuana, Protección Civil	$0.7516x + 17.603$	0.752	0.069	
5 Las Torres, Protección Civil	$-0.16x + 18.26$	-0.16	0.111	
6 Natura, Protección Civil	$-2.06x + 16.34$	-2.06	0.123	

OTOÑO		Noviembre		
ESTACIÓN METEOROLÓGICA	MODELO	BI	R ²	
1 Presa Abelardo L. Rodríguez, CONAGUA				
2 UTT El Refugio, Protección Civil	$0.2x + 12.88$	0.200	0.099	
3 PI Pacífico, Protección Civil	$-0.42x + 14.58$	-0.42	0.184	
4 02 Tijuana, Protección Civil	$2.4833x + 3.89$	2.483	0.377	
5 Las Torres, Protección Civil	$-0.11x + 13.11$	-0.11	0.061	
6 Natura, Protección Civil	$-2.12x + 13.94$	-2.12	0.229	

Nota. Los resultados con mayores valores en la tabla, indican los meses con fuerte presencia de ICU.
Fuente: Elaboración propia.

A partir del análisis se identificaron los meses con valor mayor de R, los cuales indican la fuerte presencia de ICU, estos se asociaron representativamente a las estaciones del año, de esta manera se establece el mes de enero para invierno, mayo para la primavera, julio para el verano y noviembre para el otoño.

Posteriormente se analizaron los datos por cada día de los meses indicados, (Anexo 4) a razón de confrontar los valores de las EM. Con el promedio de la temperatura mínima registrada por cada día del mes, -incluyendo los valores del mismo día de forma transversal del periodo de estudio-, para cada una de las estaciones, se estructuró una gráfica de sobreposición lineal por EM, esto permitió identificar la mayor diferencia entre el conjunto de valores de temperatura presentada en las EM de un mismo día. Lo anterior indica en cuáles días del mes el fenómeno de ICU se presenta con mayor intensidad.

En la (Figura 18) se distinguen los días con la mayor diferencia de temperatura mínima registrada, representada con la máxima separación lineal. En los resultados obtenidos en las gráficas se identificaron los días con mayor diferencia de temperatura como se muestra en la (Tabla 8). Durante enero, mes que representa la temporada de invierno, los días con mayor diferencia fueron el 13, con una temperatura máxima de 12.75°C registrada en la EM de 02 Tijuana, la mínima temperatura registrada de 9.35°C, en la EM de la UTT con una diferencia de 3.40°C entre ambas.

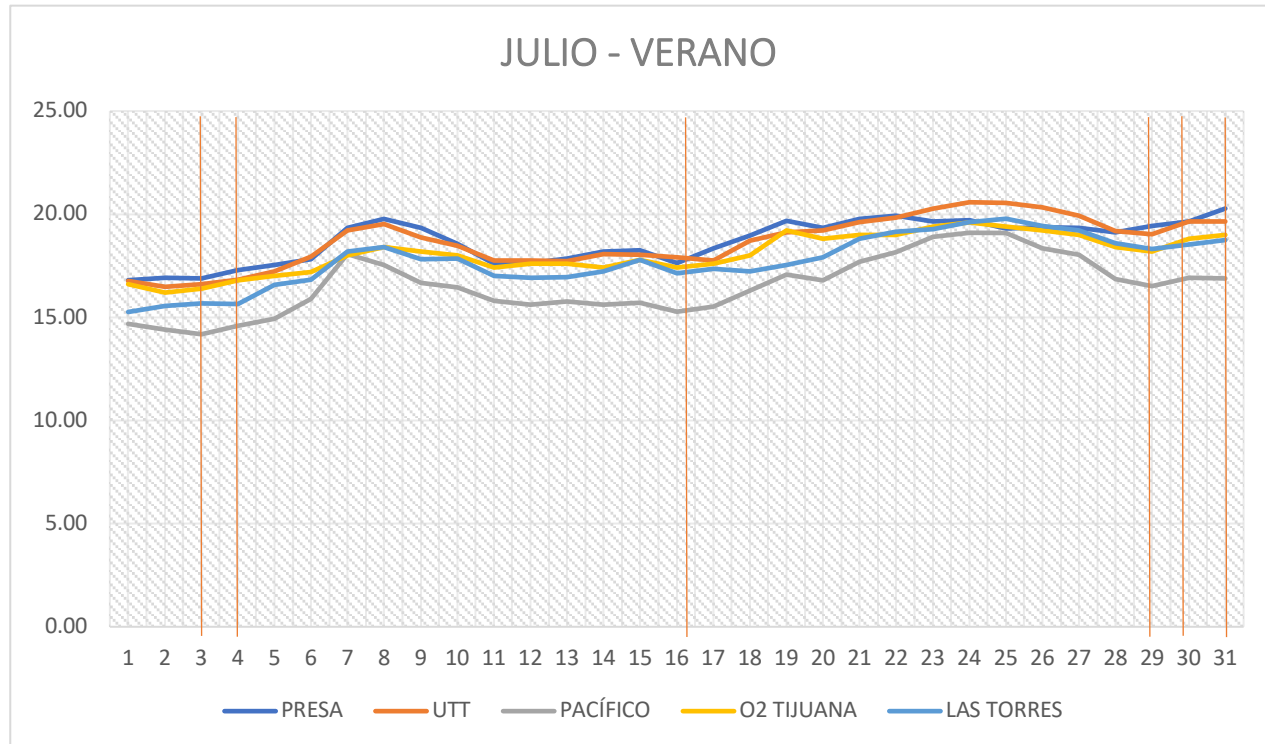
En el día 14 con una temperatura máxima de 12°C presentada en la EM de 02 Tijuana, y la temperatura mínima presentada de 8.95°C, en la EM de la UTT con una diferencia de 3.05°C entre ambas.

En el día 19 con una temperatura máxima de 12.80°C registrada en la EM de 02 Tijuana, la temperatura mínima registrada fue de 10°C, en la EM de la las Torres con una diferencia de 2.80 °C entre ambas.

El día 27 con una temperatura máxima de 12.92°C registrada en la EM de UTT, la temperatura mínima registrada fue de 10.08°C, en la EM de la las Torres con una diferencia de 2.84 °C entre ambas.

Figura 18

Gráfica de Sobreposición Lineal de la Temperatura Promedio Diaria de las Diferentes EMs.



Nota. La diferencia de temperatura para el mes de julio, comparece en los días de 3, 4, 16, 29, 30 y 31, con una diferencia hasta de 3° grados Celsius.

Fuente: Elaboración propia.

En los resultados obtenidos en las gráficas se identificó que durante el mes de mayo, que representa la temporada de primavera, los días con mayor diferencia fueron el día 10 con una temperatura máxima de 14.1°C registrada en la EM de UTT, la mínima temperatura presentada de 11.82°C, en la EM de la Pacífico con una diferencia de 2.3 °C entre ambas.

El día 12 con una temperatura máxima de 14.6°C registrada en la EM de UTT, la temperatura mínima registrada fue de 11.96°C, en la EM del Pacífico con una diferencia de 2.6°C entre ambas.

Tabla 9

Días del Mes con Mayor Diferencia de Promedio de Temperatura Entre Estaciones Meteorológicas

Día del Mes	Temperatura mayor	EM	Temperatura menor	EM	Diferencia de temperatura
Enero 13	12.75 °C	02 Tijuana	9.35°C	UTT	3.40 °C
Enero 14	12 °C	02 Tijuana	8.95°C	UTT	3.05 °C
Enero 19	12.80 °C	02 Tijuana	10.00 °C	LAS TORRES	2.80 °C
Enero 27	12.92 °C	UTT	10.08 °C	LAS TORRES	2.84 °C
Mayo 10	14.1 °C	UTT	11.82°C	Pacífico	2.3 °C
Mayo 12	14.6 °C	UTT	11.96°C	Pacífico	2.6 °C
Mayo 31	15.55 °C	UTT	12.8°C	Pacífico	2.8 °C
Julio 3	16.88 °C	PALR	14.18°C	Pacífico	2.70 °C
Julio 4	17.28°C	PALR	14.58°C	Pacífico	2.70 °C
Julio 17	18.35°C	PALR	15.52°C	Pacífico	2.83 °C
Julio 29	19.43 °C	PALR	16.5 °C	Pacífico	2.93°C
Julio 30	19.65 °C	PALR	16.92 °C	Pacífico	2.73 °C
Julio 31	20.28 °C	PALR	16.88 °C	Pacífico	3.40 °C
Noviembre 8	16.64 °C	Pacífico	13.58 °C	Las Torres	3.06 °C
Noviembre 11	14.25 °C	02 Tijuana	11.7 °C	Las Torres	2.55 °C
Noviembre 17	14.25 °C	02 Tijuana	11.56 °C	Las Torres	2.69 °C

Nota. La abreviación PALR de la tabla corresponde a la EM de la "Presa Abelardo L. Rodríguez"

Fuente: Elaboración Propia.

El día 31 con una temperatura máxima de 15.55°C registrada en la EM de UTT, la temperatura mínima registrada fue de 12.80°C, en la EM de El Pacífico con una diferencia de 2.8°C entre ambas.

Se identificó que durante Julio, mes que representa la temporada de verano, los días con mayor diferencia fueron el día 3 con una temperatura máxima de 16.88°C registrada en la EM de la Presa Abelardo L. Rodríguez, la temperatura mínima registrada fue de 14.18°C, en la EM del Pacífico con una diferencia de 2.70°C entre ambas.

En el día 4 con una temperatura máxima de 17.28°C registrada en la EM de la Presa Abelardo L. Rodríguez, la temperatura mínima registrada fue de 14.58°C, en la EM del Pacífico con una diferencia de 2.70°C entre ambas.

El día 17 con una temperatura máxima de 18.35°C registrada en la EM de la Presa Abelardo L. Rodríguez, la temperatura mínima registrada fue de 15.52°C, en la EM del Pacífico con una diferencia de 2.83°C entre ambas EM.

El día 29 con una temperatura máxima de 19.43°C registrada en la EM de la Presa Abelardo L. Rodríguez, la temperatura mínima registrada fue de 16.5°C, en la EM del Pacífico con una diferencia de 2.93°C entre ambas.

El día 30 con una temperatura máxima de 19.65°C registrada en la EM de la Presa Abelardo L. Rodríguez, la temperatura mínima registrada fue de 16.92°C, en la EM del Pacífico con una diferencia de 2.73°C entre ambas.

El día 31 con una temperatura máxima de 20.28°C registrada en la EM de la Presa Abelardo L. Rodríguez, la temperatura mínima registrada fue de 16.88°C, en la EM del Pacífico con una diferencia de 3.40°C entre ambas.

En los resultados obtenidos en las gráficas se identificó que durante noviembre, mes que representa la temporada de otoño, los días con mayor diferencia fueron el día 8 con una temperatura máxima de 16.64°C registrada en la EM de Pacífico, la temperatura mínima registrada de 13.58°C, en la EM de Las Torres con una diferencia de 3.06 °C entre ambas.

En el día 11 con una temperatura máxima de 14.25°C registrada en la EM 02 Tijuana, la temperatura mínima registrada fue de 11.7°C, en la EM de Las Torres con una diferencia de 2.55°C entre ambas.

En el día 17 con una temperatura máxima de 14.25°C registrada en la EM 02 Tijuana, la temperatura mínima registrada fue de 11.56°C, en la EM de Las Torres con una diferencia de 2.69°C entre ambas.

Para efectos de comprobar la presencia y localización de ICU, se establecen los días en los que la diferencia de temperaturas registradas en las EM resulta mayor (Tabla 10), para proceder al análisis con imágenes satelitales para esas fechas específicas.

Tabla 10

Fechas Determinadas con Fuerte Presencia del Fenómeno de ICU en el Periodo de Estudio.

	2015	2016	2017	2018	2019
Invierno	13-ene	13-ene	13-ene	13-ene	13-ene
	14-ene	14-ene	14-ene	14-ene	14-ene
	19-ene	19-ene	19-ene	19-ene	19-ene
	27-ene	27-ene	27-ene	27-ene	27-ene
Primavera	10-may	10-may	10-may	10-may	10-may
	12-may	12-may	12-may	12-may	12-may
	31-may	31-may	31-may	31-may	31-may
Verano	03-jul	03-jul	03-jul	03-jul	03-jul
	04-jul	04-jul	04-jul	04-jul	04-jul
	17-jul	17-jul	17-jul	17-jul	17-jul
	29-jul	29-jul	29-jul	29-jul	29-jul
	30-jul	30-jul	30-jul	30-jul	30-jul
	31-jul	31-jul	31-jul	31-jul	31-jul
Otoño	08-nov	08-nov	08-nov	08-nov	08-nov
	11-nov	11-nov	11-nov	11-nov	11-nov
	17-nov	17-nov	17-nov	17-nov	17-nov

Nota. Las fechas determinadas con mayor diferencia se generalizan para cada uno de los años del periodo de estudio, con el objeto de contar con un mayor espectro en la búsqueda de imágenes satelitales.

Fuente: Elaboración Propia.

3.4.2. TÉCNICA CON IMÁGENES SATELITALES

La segunda técnica consistió en tecnologías de percepción remota satelital, es una ciencia que, de manera remota obtiene información por medio de imágenes de satélites que han sido capturadas de toda la superficie de la tierra, el proceso está compuesto por una serie de actividades, inicialmente parte de la captura de la imagen para medir la energía del espectro electromagnético de la superficie, respaldado por un complejo equipo de sensores o infraestructura satelital. La aplicación de la información recabada con la teledetección apoya estudios relacionados con el medio ambiente, ecología del paisaje, aspectos hidrológicos y

meteorológicos, por mencionar algunos (Veneros et al., 2015). La fuente para acceder a las imágenes satelitales es por medio del sitio web del Servicio Geológico de los Estados Unidos Americanos, (USGS por sus siglas en inglés) que permite acceso directo y gratuito de las imágenes de alta resolución del Landsat 8, mismo que está equipado con una resolución espectral integrado por 11 bandas.

De las imágenes satelitales descargadas, fueron consideradas para el proceso la información las bandas 4, 5 y banda 10, por medio de las cuales se calculó la temperatura de la superficie de la tierra como se aborda en el punto (3.4.3.6), la resultante de los cálculos representa un acercamiento en la identificación del fenómeno ICU.

LC08_L1GT_138207_20170601_20200903_02_T2_B9

3.4.2.1. HERRAMIENTAS PARA IMÁGENES SATELITALES

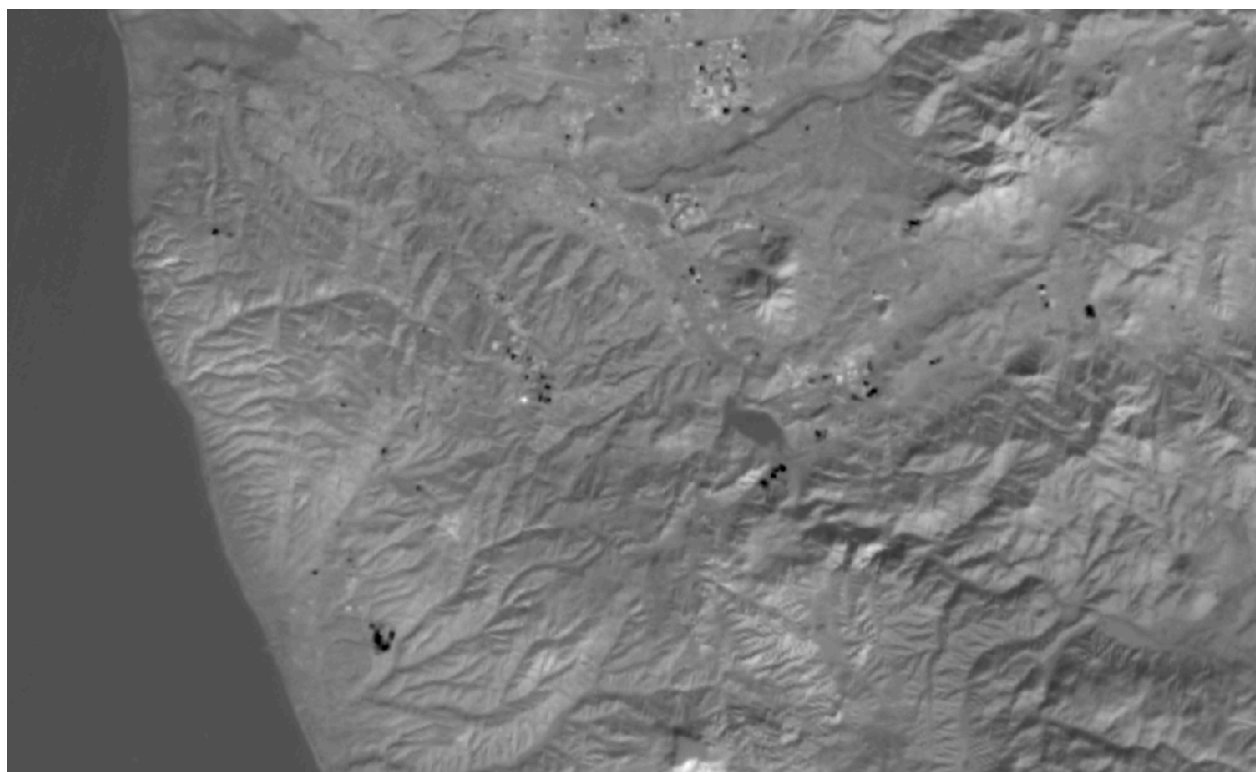
Las herramientas para el proceso de la información de las técnica descrita fueron el software de hoja cálculo EXCEL de Microsoft, la plataforma de sistemas de información geográfica Quantum GIS y equipo de cómputo. El conjunto de herramientas fue empleado tanto para la revisión de información, como para determinación de la intensidad del fenómeno, en la ejecución de técnicas de generación de mapas térmicos que puntualizan la geolocalización del fenómeno la ICU en el área de estudio.

3.4.3. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES

En este apartado se describe cómo se desarrolló la técnica de teledetección satelital o percepción remota, la obtención y descarga de las imágenes satelitales se realizó a través de la página web earthexplorer.usgs.gov, que ofrece información de la superficie terrestre, es libre acceso y representa también una fuentes de de información de imágenes captadas con los diferentes satélites existentes en órbita que están equipados con las bandas anteriormente descritas, para la captación de imágenes con diferentes tipos de resolución.

Para la descarga de las imágenes satelitales (Figura 19) es necesario hacer algunas precisiones en los filtros de búsqueda tales como la localización geográfica de la zona que se requiere la imagen satelital, la fecha o el rango de las fechas de las tomas, especificar el satélite proveedor, Landsat 8 en este caso y, como información adicional, porcentaje de nubosidad mínimo contenido en las imágenes. Esto último no resulta una condicionante relevante para poder trabajar con imágenes existentes con presencia mayúscula de nubosidad, ya que la presencia de nubes en el ambiente representan un efecto térmico en la superficie de la tierra, y es importante su consideración.

Figura 19
Imagen Satelital de la Zona de Estudio Previo Procesamiento.



*Nota. La imagen abarca la zona de estudio y corresponde a una de las bandas utilizadas para la obtención de la temperatura de la superficie.
Fuente: Elaboración propia.*

Del listado original de fechas en las cuales la presencia del fenómeno ICU se percibe con mayor intensidad, se encontraron disponibles para su descarga las incluidas en las siguientes (Tabla 11) a la (Tabla 15). Para las imágenes satelitales de fechas no disponibles se optó por descargar algunas con fecha inmediata anterior o posterior, o la más próxima a la fecha indicada.

Tabla 11

Listado de Imágenes Satelitales Disponibles en Fuente de Información Raster, Descargadas y Procesadas de 2015.

Año 2015	Temporada del año	Fecha de búsqueda	Fecha disponible	Hora de captura del satélite	Nombre de imagen Satelital
1	Invierno	12-ene	10-ene	5:41:53	LC08_L1GT_139206_20150110_20200910_02_T2_B10
2	Invierno	19-ene	20-ene	18:22:31	LC08_L1TP_040037_20150120_20200910_02_T1_B10
3	Primavera	12-may	12-may	18:21:35	LC08_L1TP_040037_20150512_20200909_02_T1_B10
4	Primavera	27-may	28-may	18:21:37	LC08_L1TP_040037_20150528_20200909_02_T1_B10
5	Verano	16-jul	15-jul	18:22:06	LC08_L1TP_040037_20150715_20200908_02_T1_B10
6	Verano	30-jul	30-jul	5:35:40	LC08_L1GT_138207_20150730_20200908_02_T2_B10
7	Otoño	11-nov	10-nov	5:41:56	LC08_L1GT_139206_20151110_20200908_02_T2_B10
8	Otoño	17-nov	19-nov	5:36:11	LC08_L1GT_138207_20151119_20200908_02_T2_B10

Nota. Conjunto de datos raster Landsat 8 2015 descargados y procesados.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 12

Listado de Imágenes Satelitales Disponibles en Fuente de Información Raster, Descargadas y Procesadas de 2016.

Año 2016	Temporada del año	Fecha de búsqueda	Fecha disponible	Hora de captura del satélite	Nombre de imagen Satelital
1	Primavera	12-may	13-may	5:35:35	LC08_L1GT_138207_20160513_20200907_02_T2_B10
2	Primavera	27-may	29-may	5:35:42	LC08_L1GT_138207_20160529_20200906_02_T2_B10
3	Primavera	31-may	30-may	18:22:12	LC08_L1TP_040037_20160530_20200906_02_T1_B10
4	Verano	03-jul	01-jul	18:22:24	LC08_L1TP_040037_20160701_20200906_02_T1_B10
5	Verano	04-jul	07-jul	5:41:44	LC08_L1GT_139206_20160707_20200906_02_T2_B10
6	Verano	16-jul	16-jul	5:36:01	LC08_L1GT_138207_20160716_20200906_02_T2_B10
7	Verano	31-jul	01-ago	5:36:04	LC08_L1GT_138207_20160801_20200906_02_T2_B10
8	Otoño	08-ene	06-ene	18:22:53	LC08_L1TP_040037_20161106_20200905_02_T1_B10
9	Otoño	11-nov	12-nov	5:42:10	LC08_L1GT_139206_20161112_20200905_02_T2_B10

Nota. Conjunto de datos raster Landsat 8 2016 descargados y procesados.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 13

Listado de Imágenes Satelitales Disponibles en Fuente de Información Raster, Descargadas y Procesadas de 2017.

Año 2017	Temporada del año	Fecha de búsqueda	Fecha disponible	Hora de captura del satélite	Nombre de imagen Satelital
1	Invierno	19-ene	31-ene	5:41:53	LC08_L1GT_139206_20170131_20200905_02_T2_B10
2	Primavera	24-may	23-may	5:41:21	LC08_L1GT_139206_20170523_20200903_02_T2_B10
3	Primavera	31-may	01-jun	5:35:39	LC08_L1GT_138207_20170601_20200903_02_T2_B9
4	Verano	03-jul	03-jul	5:35:50	LC08_L1GT_138207_20170703_20200903_02_T2_B5
5	Verano	16-jul	19-jul	5:35:55	LC08_L1GT_138207_20170719_20200903_02_T2_B10
6	Verano	29-jul	26-jul	5:41:45	LC08_L1GT_139206_20170726_20200903_02_T2_B10
7	Verano	08-nov	08-nov	5:36:20	LC08_L1GT_138207_20171108_20200902_02_T2_B10
8	Otoño	11-nov	09-nov	18:22:49	LC08_L1TP_040037_20171109_20200902_02_T1_B10
9	Otoño	17-nov	15-nov	5:42:05	LC08_L1GT_139206_20171115_20200902_02_T2_B10

Nota. Conjunto de datos raster Landsat 8 2017 descargados y procesados.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 14

Listado de Imágenes Satelitales Disponibles en Fuente de Información Raster, Descargadas y Procesadas de 2018.

Año 2018	Temporada del año	Fecha de búsqueda	Fecha disponible	Hora de captura del satélite	Nombre de imagen Satelital
1	Invierno	13-ene	12-ene	18:22:37	LC08_L1TP_040037_20180112_20200902_02_T1_B10
2	Invierno	19-ene	28-ene	18:22:28	LC08_L1TP_040037_20180128_20200902_02_T1_B10
3	Primavera	10-may	10-may	5:40:54	LC08_L1GT_139206_20180510_20200901_02_T2_B10
4	Primavera	27-may	26-may	5:40:42	LC08_L1GT_139206_20180526_20200901_02_T2_B10
5	Verano	04-jul	06-jul	5:35:09	LC08_L1GT_138207_20180706_20200831_02_T2_B10

Nota. Conjunto de datos raster Landsat 8 2018 descargados y procesados.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 15

Listado de Imágenes Satelitales Disponibles en Fuente de Información Raster, Descargadas y Procesadas de 2019.

Año 2019	Temporada del año	Fecha de búsqueda	Fecha disponible	Hora de captura del satélite	Nombre de imagen Satelital
1	Invierno	12-may	13-may	5:41:23	LC08_L1GT_139206_20190513_20200828_02_T2_B10
2	Primavera	24-may	23-may	18:22:12	LC08_L1TP_040037_20190523_20200828_02_T1_B10
3	Primavera	27-may	29-may	5:41:32	LC08_L1GT_139206_20190529_20200828_02_T2_B10
4	Verano	16-jul	16-jul	5:41:47	LC08_L1GT_139206_20190716_20200827_02_T2_B10
5	Verano	29-jul	26-jul	18:22:33	LC08_L1TP_040037_20190726_20200827_02_T1_B10
6	Verano	08-nov	05-nov	5:42:13	LC08_L1GT_139206_20191105_20200825_02_T2_B10
7	Verano	11-nov	14-nov	5:36:24	LC08_L1GT_138207_20191114_20200825_02_T2_B10
8	Otoño	17-nov	15-nov	18:22:53	LC08_L1TP_040037_20191115_20200825_02_T1_B10

Nota. Conjunto de datos raster Landsat 8 2019 descargados y procesados.

Fuente: Elaboración Propia.

A partir de la información recabada (imágenes satelitales descargadas) se da inicio al procesamiento con la corrección de las imágenes raster, estos pasos consisten en analizar los patrones de reflectividad, NDVI índice de vegetación, E emisividad, y LST temperatura de la superficie terrestre en donde se emplean el conjunto de datos (metadatos) que se disponen como archivos complementarios descargados. Los datos de las bandas OLI y TIRS son empleadas para ejecutar el cálculo de reflectancia (TOA por sus siglas en inglés) que básicamente es la recuperación de la parte superior de la radiación espectral atmosférica o tope de atmósfera, haciendo uso de factores en escala de radiancia, que se incluyen en los metadatos.

Para el proceso de la calibración y corrección de los datos se requiere de una secuencia de pasos que se describen a continuación, el proceso inicial es la transformación la energía radiante capturada por el satélite en una imagen de radiancia, que posteriormente es

transformada en imagen de reflectividad, seguida de los procesos de transformación a vegetación y emisividad, y temperatura, en las que son aplicadas ecuaciones establecidas tales como:

3.4.3.1. CÁLCULO DEL TOA:

$$L_{\lambda} = M_L * Q_{cal} + A_L$$

Ecuación 3

Donde: L_{λ} = Reflectancia (Reflectividad espectral) o TOA (planetary reflectance), sin corrección del ángulo solar.

M_L = Factor multiplicador de escala especificado para cada banda, se obtiene de los metadatos de la imagen (Tabla 16) o conjunto de imágenes que se está trabajando: (RADIANCE_MULT_BAND_x, donde x es el número de banda), en este caso la banda térmica 10.

Tabla 16

Información del Valor de Radiancia Indicada en la Metadata de las Imágenes Satelitales.

```
GROUP = LEVEL1_RADIOMETRIC_RESCALING
RADIANCE_MULT_BAND_1 = 1.2769E-02
RADIANCE_MULT_BAND_2 = 1.3076E-02
RADIANCE_MULT_BAND_3 = 1.2049E-02
RADIANCE_MULT_BAND_4 = 1.0160E-02
RADIANCE_MULT_BAND_5 = 6.2177E-03
RADIANCE_MULT_BAND_6 = 1.5463E-03
RADIANCE_MULT_BAND_7 = 5.2118E-04
RADIANCE_MULT_BAND_8 = 1.1499E-02
RADIANCE_MULT_BAND_9 = 2.4300E-03
RADIANCE_MULT_BAND_10 = 3.3420E-04
RADIANCE_MULT_BAND_11 = 3.3420E-04
```

Nota. Los metadatos están integrados en el conjunto descargado de las fuentes de imágenes satelitales.

Fuente: *Elaboración Propia.*

A_L = Factor aditivo específico para cada banda que se obtiene de los metadatos de la imagen (Tabla 17) o conjunto de imágenes con la que se está trabajando: (REFLECTANCE_ADD_BAND_x, donde x es el número de banda)

Q_{cal} = Valor del pixel cuantificado y calibrado (DN).

Tabla 17

Información del Valor de Reflectancia Indicada en la Metadata de las Imágenes Satelitales.

```
REFLECTANCE_ADD_BAND_1 = -0.100000  
REFLECTANCE_ADD_BAND_2 = -0.100000  
REFLECTANCE_ADD_BAND_3 = -0.100000  
REFLECTANCE_ADD_BAND_4 = -0.100000  
REFLECTANCE_ADD_BAND_5 = -0.100000  
REFLECTANCE_ADD_BAND_6 = -0.100000  
REFLECTANCE_ADD_BAND_7 = -0.100000  
REFLECTANCE_ADD_BAND_8 = -0.100000  
REFLECTANCE_ADD_BAND_9 = -0.100000
```

Nota. Los metadatos están integrados en el conjunto descargado de las fuentes de imágenes satelitales.

Fuente: *Elaboración Propia*.

3.4.3.2. CONVERSIÓN DE TOA A TEMPERATURA DE BRILLO (BRIGHTNESS TEMPERATURE)

Los datos del sensor térmico infrarrojo (TIRS por sus siglas en inglés) son convertibles de la radiación espectral a la temperatura de brillo de la parte superior de la atmósfera utilizando las constantes térmicas proporcionadas en el archivo de metadatos, a partir del cálculo anterior de TOA se emplea la siguiente ecuación:

$$BT = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda} + 1\right)} \quad \text{Ecuación 4}$$

Transformación de grados Kelvin (K) a grados Celsius (°C):

$$BT = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda} + 1\right)} - 273.15 \quad \text{Ecuación 5}$$

Dónde:

BT: Temperatura de brillo de la parte superior de la atmósfera (K)

Lλ: TOA radiancia espectral

K1: Constante de conversión térmica específica de la banda (K1_CONSTANT_BAND) dato incluido en la metadata de la imagen satelital.

K2: Constante de conversión térmica específica de la banda (K2_CONSTANT_BAND) dato incluido en la metadata de la imagen satelital.

In: Logaritmo natural

Tabla 18

Valor de la Constante de Conversión Térmica Obtenida de la Metadata de las Imágenes Satelitales.

```
GROUP = LEVEL1_THERMAL_CONSTANTS  
K1_CONSTANT_BAND_10 = 774.8853  
K2_CONSTANT_BAND_10 = 1321.0789  
K1_CONSTANT_BAND_11 = 480.8883  
K2_CONSTANT_BAND_11 = 1201.1442  
END_GROUP = LEVEL1_THERMAL_CONSTANTS
```

Nota. Valor de la constante de K1 y K2.

Fuente: Elaboración Propia.

3.4.3.3. ÍNDICES DE VEGETACIÓN NORMALIZADO NDVI

Es uno de los índices más representativos para medir el rigor de la vegetación, es un índice la cobertura de la vegetación, está en función de la reflectancia visible e infrarrojo cercano correspondiente a las bandas las bandas individuales Banda 5 y Banda 4, en la ecuación:

$$NDVI = \frac{Band\ 5 - Band\ 4}{Band\ 5 + Band\ 4}$$

Ecuación 6

Donde: las bandas 4 y 5 para el satélite LANDSAT 8 son las asignadas al rojo visible (Banda 4) y NIR infrarrojo cercano (Banda 5).

3.4.3.4. PROPORCIÓN DE VEGETACIÓN PV

Los niveles digitales de una imagen no contienen tipo de vegetación o tipo de suelo, en este sentido el NDVI proporciona el resultado de una firma espectral compuesta de cubierta vegetal y de suelo desnudo, para este cálculo se requieren los valores máximo y mínimo del NDVI.

Para el cálculo de Pv se utiliza la siguiente ecuación:

$$Pv = \frac{NDVI - NDVI_{\text{mín}}}{NDVI_{\text{máx}} + NDVI_{\text{mín}}}$$

Ecuación 7

3.4.3.5. EMISIVIDAD

El cálculo de emisividad E de la superficie, permite conocer la proporción de la radiación térmica emitida, esta depende de los elementos como humedad, composición química, estructura y rugosidad de la superficie; el valor resultante, a su vez, permite integrarse como un factor en la ecuación para el cálculo de la temperatura superficial. La ecuación es la siguiente:

$$E = 0.004 * Pv + 0.986$$

Ecuación 8

Dónde:

E: Emisividad de la superficie

0.004: Constante de corrección de la ecuación

Pv = Proporción de la vegetación

3.4.3.6. TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DE LA TIERRA

Finalmente, el cálculo que permite conocer la temperatura de la superficie de la tierra LST (Por sus siglas en inglés) aplicando la siguiente ecuación:

$$LST = \frac{BT}{1 + \left(\lambda \frac{BT}{\rho}\right) * \ln(E)}$$

Ecuación 9

Donde:

LST: Temperatura de superficie de la tierra.

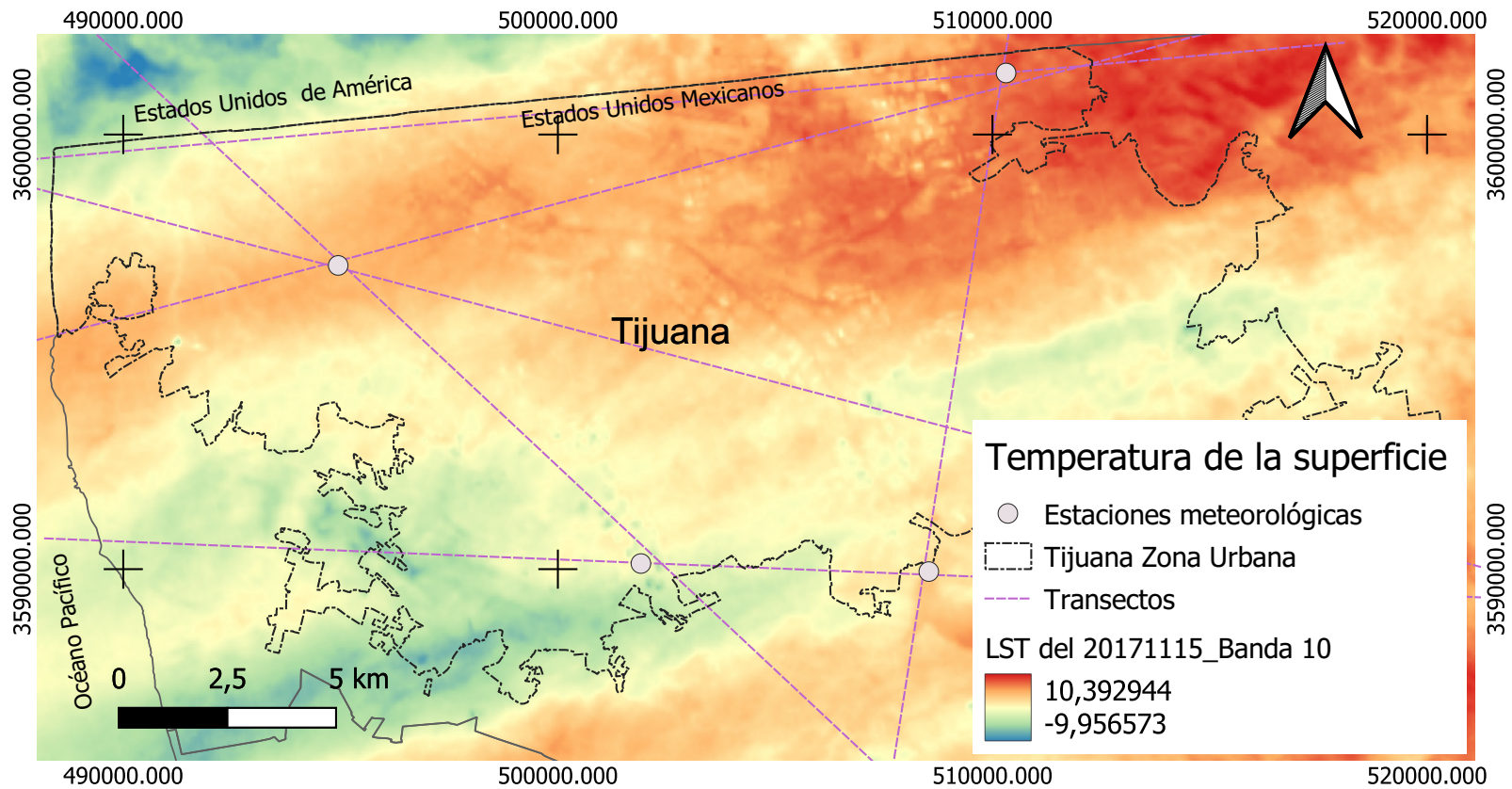
BT: Temperatura de brillo superficial.

λ : Centro de longitud de onda (μm), se empleó el valor de 11.5 μm .

ρ : 14380 $\mu\text{m}\cdot\text{K}$ ($\rho = h \cdot c / \sigma$).

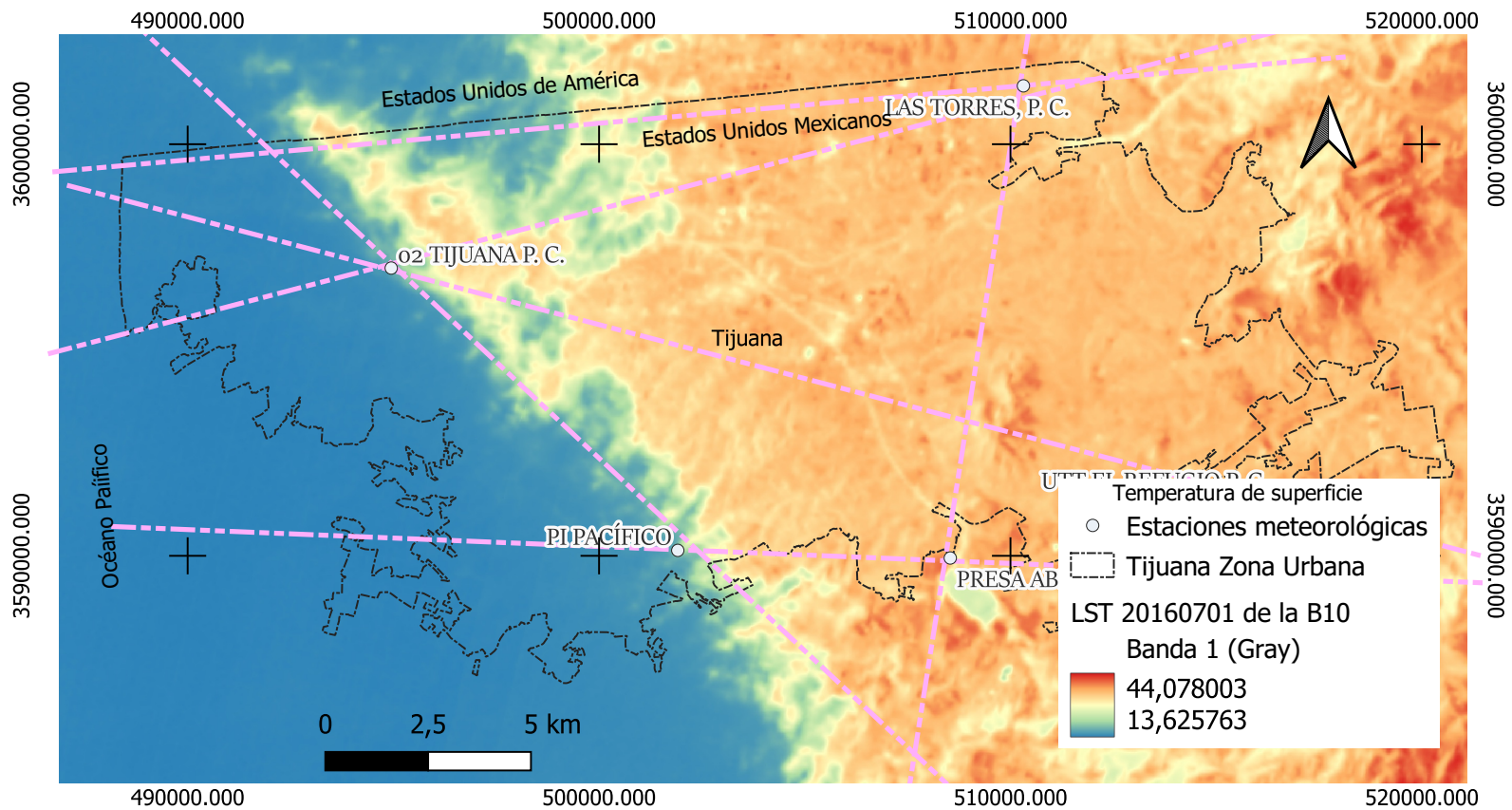
El resultado del proceso de imágenes satelitales Landsat 8 para obtener la temperatura de la superficie se representa en las siguientes Figura 20 y Figura 21, el resto de las imágenes para las fechas listadas en la Tabla 11 a la Tabla 15, se muestran en el Anexo 5. El cálculo de temperatura de superficie de la tierra con imágenes satelitales Landsat 8 de acuerdo con las fechas descargadas y procesadas indicadas, el proceso se realizó con el software QGIS y aplicaciones del mismo que simplifican el proceso en la aplicación de las ecuaciones para las bandas 4 (Roja), 5 (infrarroja cercana) y 10 (térmica de alta ganancia).

Figura 20
Cartografía 1 de la Temperatura de la Superficie de la Tierra Calculada de la Ciudad de Tijuana.



Nota. La Temperatura presentada en la imagen corresponde al día 15 de noviembre del 2017.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 21
 Cartografía 2 de la Temperatura de la Superficie de la Tierra Calculada de la Ciudad de Tijuana.



Nota. La Temperatura presentada en la imagen corresponde al día 1 de julio del 2016.
 Fuente: Elaboración propia.

3.4.4. COEFICIENTE DE CORRELACIÓN TA - LST

El coeficiente de correlación permite medir la magnitud de relación lineal asociada a dos variables cuantitativas, para este caso las variables corresponden a la temperatura de superficie de la tierra calculada en las imágenes satelitales, en correlación con la temperatura registrada en las EM, aplicando la siguiente ecuación:

$$r = \frac{S_{xy}}{S_x * S_y}$$

Ecuación 10

Donde:

r = Coeficiente de correlación

S_{xy} : Covarianza entre variables

S_x : Desviación estándar de la variable x

S_y : Desviación estándar de la variable y.

El rango de correlación se encuentra entre 1 y -1 para lo que se despliegan las siguientes ponderaciones y sus categorías.

Si la correlación es > 0 , esta es positiva.

Si la correlación es < 0 , esta es negativa.

Si la correlación es $= 0$, esta no existe.

Tabla 19

Ponderación de Correlación Entre Variables de Temperatura de LST y de EM.

Rango	Ponderación de relación	Relación
-1	Correlación negativa perfecta	Indirecta
-0,9 a -0,99	Correlación negativa muy alta	Indirecta
-0,7 a -0,89	Correlación negativa alta	Indirecta
-0,4 a -0,69	Correlación negativa moderada	Indirecta
-0,2 a -0,39	Correlación negativa baja	Indirecta
-0,01 a -0,19	Correlación negativa muy baja	Indirecta
0	Correlación nula	Independencia estadística
0,01 a 0,19	Correlación positiva muy baja	Directa
0,2 a 0,39	Correlación positiva baja	Directa
0,4 a 0,69	Correlación positiva moderada	Directa
0,7 a 0,89	Correlación positiva alta	Directa
0,9 a 0,99	Correlación positiva muy alta	Directa
1	Correlación positiva perfecta	Directa

Nota. En la tabla se muestran los valores positivos en la parte inferior.

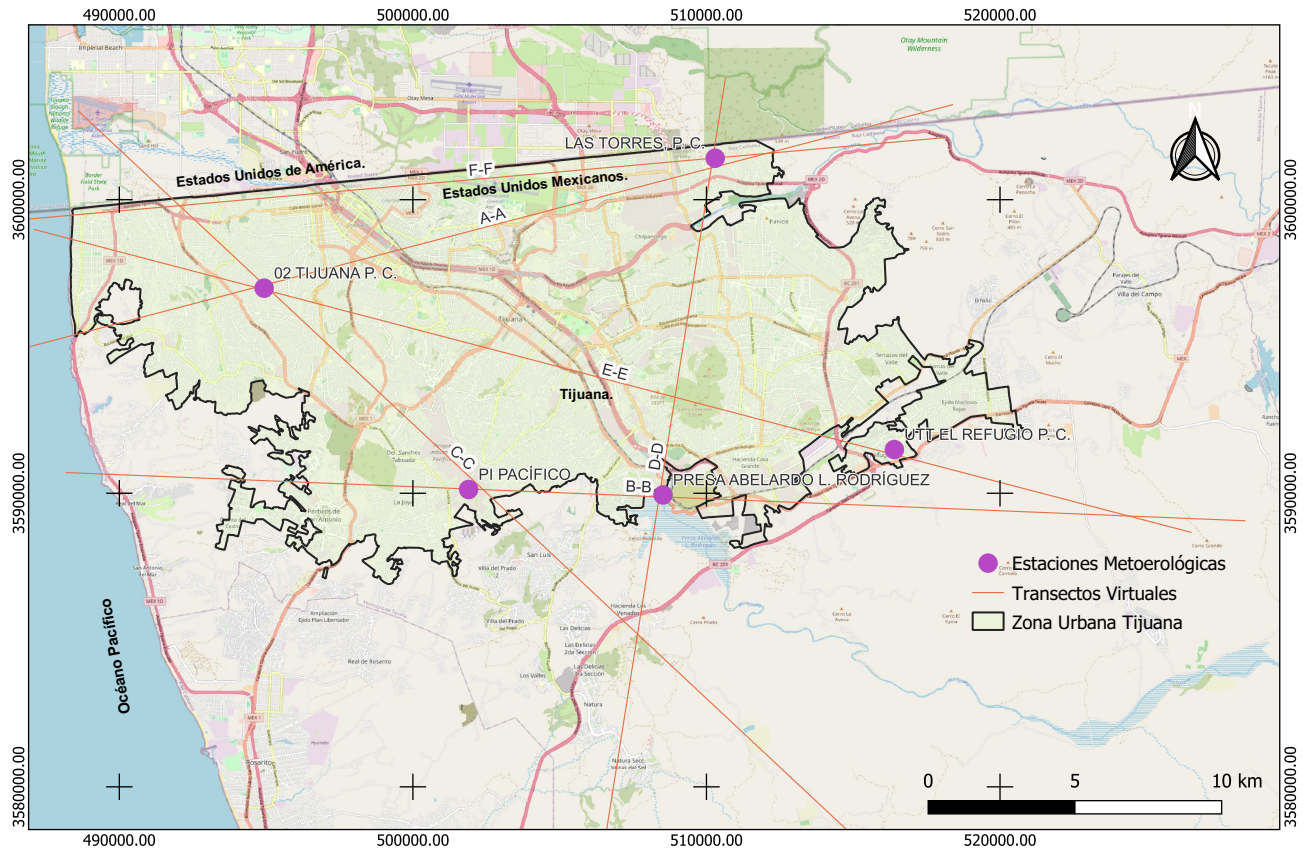
Fuente: Elaboración Propia.

3.4.5. TRANSECTOS VIRTUALES

Como se describe en el apartado (2.4.6) de este documento, los transectos corresponden a varios desplazamientos dentro de la ciudad con el fin de registrar información meteorológica de manera simultánea, y poder ver las diferencias de temperatura que se registran dentro del área urbana y poder identificar la ICU. Para este trabajo, los transectos se establecen de manera virtual, de forma lineal y haciendo coincidir las trayectorias en los puntos donde se localizan las estaciones meteorológicas consideradas para el estudio. En la nomenclatura de los transectos se identifica el sentido del perfil. Los datos a exponer son los de temperatura de la superficie de la tierra y se generan con una herramienta de SIG, misma que permite generar perfiles lineales de imágenes raster con la variable de temperatura, las imágenes generadas son gráficas de la trayectoria o longitud indicada con unidad de medida en metros en el eje X, y en el eje de las Y se especifica el rango de temperatura que contiene el transecto, para poder apreciar el cambio

de temperatura que se presenta en el área urbana, considerando los elementos como de cuerpo de agua, zonas consolidadas, áreas con cubierta vegetal.

Figura 22
Transectos virtuales.



Nota. La cartografía muestra los seis transectos virtuales considerados para la generación de perfiles de temperatura.
Fuente: Elaboración propia.

3.4.6. TÉCNICA DE CÁLCULO DE CONFORT TÉRMICO EN LOS ESPACIOS EXTERIORES

La técnica de procesamiento de datos se desarrolló aplicando el modelo de RUROS, de Nikolopoulou (2004) para Athenas, Grecia. La ecuación calcula el voto de sensación real, ASV aplicando la siguiente ecuación.

$ASV = 0.34 T_{air} + 0.0001 Sol - 0.086 V - 0.00 RH - 0.412 (r = 0.27)$	Ecuación 11
--	-------------

Donde:

T_{air} = Temperatura del ambiente

Sol = Radiación solar

v = Velocidad del viento

RH = % de humedad relativa

En la ecuación de ASV se integran las variables de temperatura, radiación solar, velocidad de viento y humedad relativa, los datos para la sustitución de variables son tomados de los registros históricos de las estaciones meteorológicas, de las fechas establecidas en la técnica del proceso estadístico de datos; las bases de datos de las estaciones meteorológicas representan las fuentes para ese tipo de variables para las fechas en las que se establece una presencia inminente del fenómeno ICU.

3.4.6.1. HERRAMIENTAS PARA CONFORT TÉRMICO

Para el cálculo de la ecuación de ASV la herramienta empleada fue la hoja de cálculo de Microsoft Excel, versión 16.48; se procesaron los datos de la información histórica disponible, las 24 horas de todas las fechas especificadas en la (Tabla 26), fechas que corresponden a las de imágenes satelitales que fueron procesadas para la obtención de la LST.

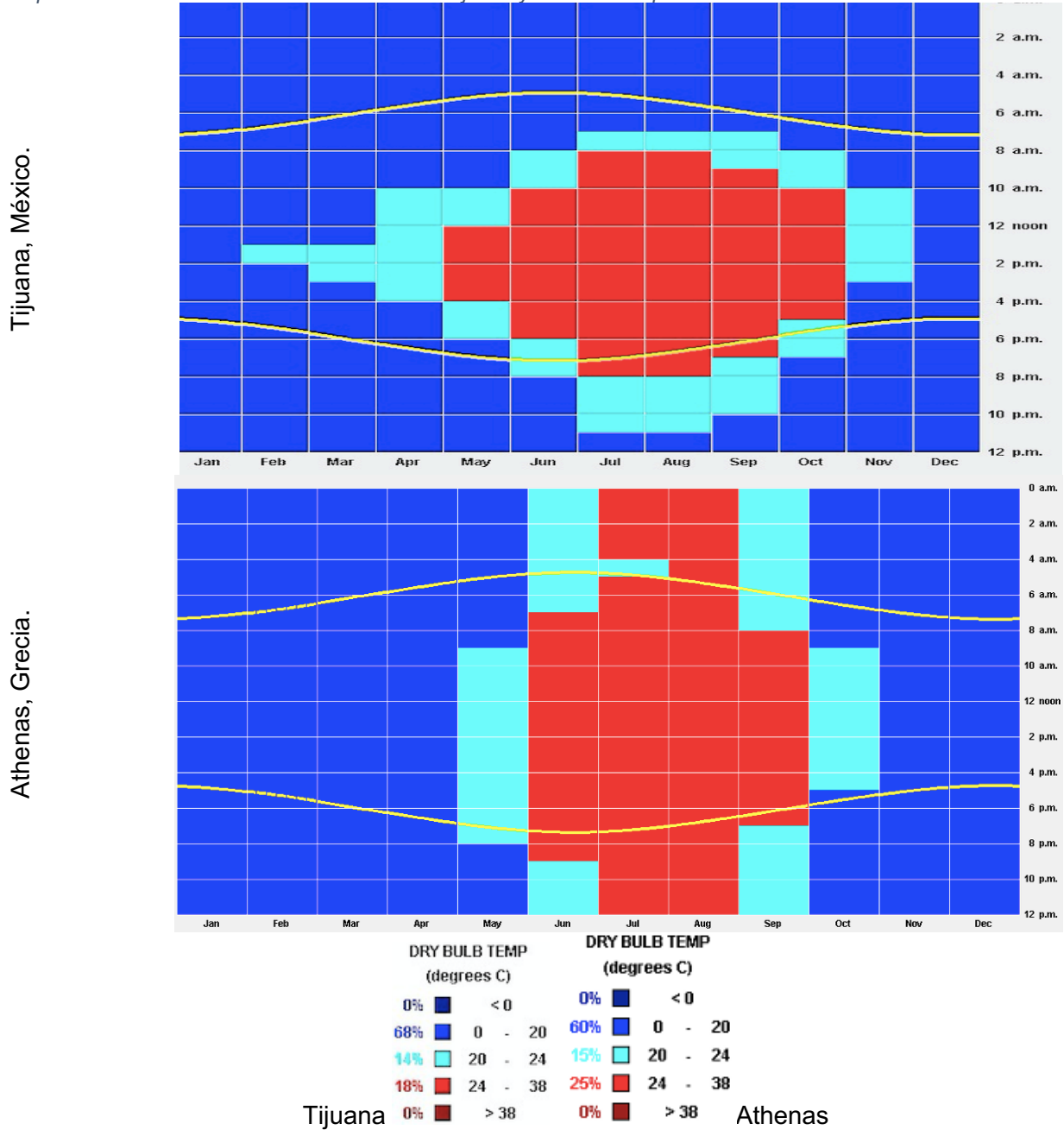
El instrumento empleado para definir parte del proceso del confort térmico son los nomogramas, que son las resultantes en el estudio de confort térmico para las diferentes zonas climáticas analizadas del trabajo RUROS, que establece una gráfica para cada estación del año, considerando los parámetros meteorológicos. Está conformado por una curva, con base en el valor ASV, proporciona una resultante en porcentaje de personas en confort térmico, o porcentaje de personas con percepción de confort.

Los nomogramas estacionales considerados en este trabajo corresponden a las resultantes del estudio de la ciudad de Atenas, Grecia, lugar que las posee condiciones climáticas y características geográficas similares a las propias de la ciudad de Tijuana.

La comparación de las condiciones climáticas se hace con datos obtenidos del programa de cómputo de Climate Consult, de los archivos EPW (EnergyPlus Weather Data Format), como se muestra en las siguientes tablas comparativas.

Tabla 20

Comparación de Condiciones Ambientales Entre Tijuana y Atenas: Temperatura de Bulbo Seco.



Nota. En la tabla se muestran las gráficas anuales del comportamiento general de la temperatura de bulbo seco en Tijuana y Atenas, Grecia.

Fuente: Climate Consult.

La ciudad de Tijuana se ubica en 38.88° Norte, 117.27° Oeste, la gráfica de temperatura bulbo seco anual describe de manera general, el porcentaje de temperatura en los rangos de 0°C a 20°C, de 20°C a 24°C, de 24°C a 38°C y mayores de 38°C, presentadas durante en el año. Los rangos además están diferenciados por un color de acuerdo a rangos de sensación térmica, es decir los azules asociados a temperaturas bajas, y los rojos a cálidas.

El climate consult indica en una gráfica dividida por meses en el sentido horizontal y horas del día en el sentido vertical, unidades conforman una trama de celdas, las cuales en conjunto representan la unidad de medida de un año. El par de líneas curvas que se desplazan a lo largo de la trama representan la hora del amanecer y la hora de la puesta del sol por cada uno de los meses del año.

Para Tijuana la temperatura de bulbo seco presentado en el año corresponde a el 68% en el rango de 0°C a 20°C, el 14% en el rango de los 20°C a 24°C, el 18% en el rango de los 24°C a 38°C. La concentración de temperatura superior a los 24°C se presenta entre los meses de junio a septiembre, y del rango de los 0 °C a 20 °C en su totalidad se concentra en los meses desde noviembre hasta el mes de abril.

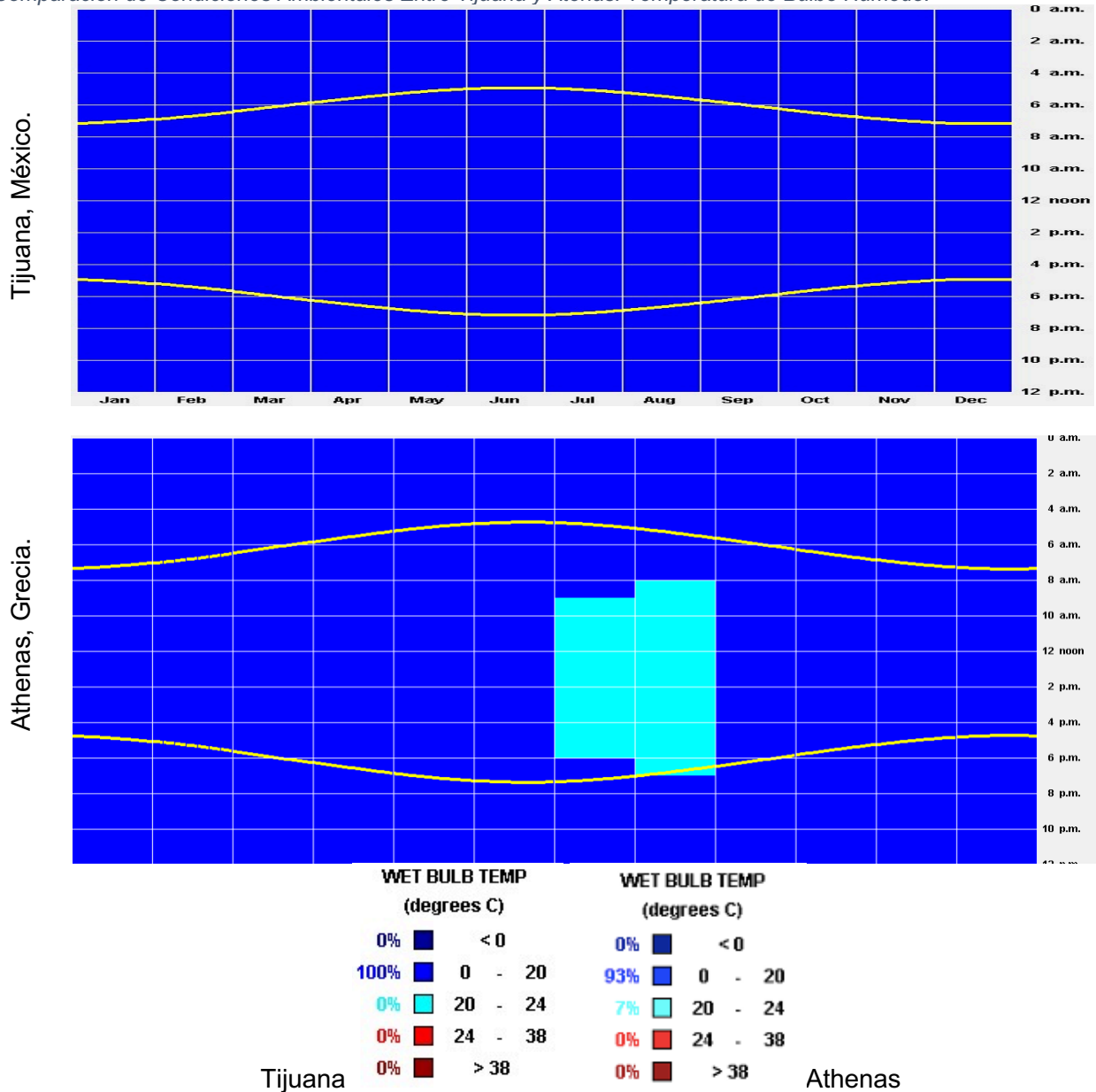
La ciudad de Atenas, Grecia se ubica en 37.9° Norte, 23.73° Este, la gráfica de temperatura bulbo seco anual describe de manera general que durante el año el 60% la temperatura presentadas está entre el rango de 0°C a 20°C, el 15% del año entre el rango de temperatura de 20°C a 24°C, el 25% entre el rango de los 24°C a 38°C.

Por localización las dos zonas en cuestión están en el hemisferio norte aunque no en el mismo paralelo, y meridionalmente se hace la referencia de acuerdo al meridiano de Greenwich. En la temperatura, se identifica que en las categorías que el Climate Consult agrupa, los porcentajes de presencia durante el año son muy similares y las temporadas en las se presentan también comparten similitud.

Las gráficas temperatura de bulbo húmedo están representadas por rangos de colores de 0°C a 20°C, de 20°C a 24°C, de 24°C a 38°C y mayores de 38°C. Para Tijuana, el rango llanamente predominante durante todo el año es en la categoría de 0°C a 20°C, la ciudad de Atenas tiene similitud a Tijuana, sin embargo el rango de los 20°C a 24°C tiene presencia durante los meses de julio y agosto entre las 9:00hrs y 17:00 hrs. del día.

Tabla 21

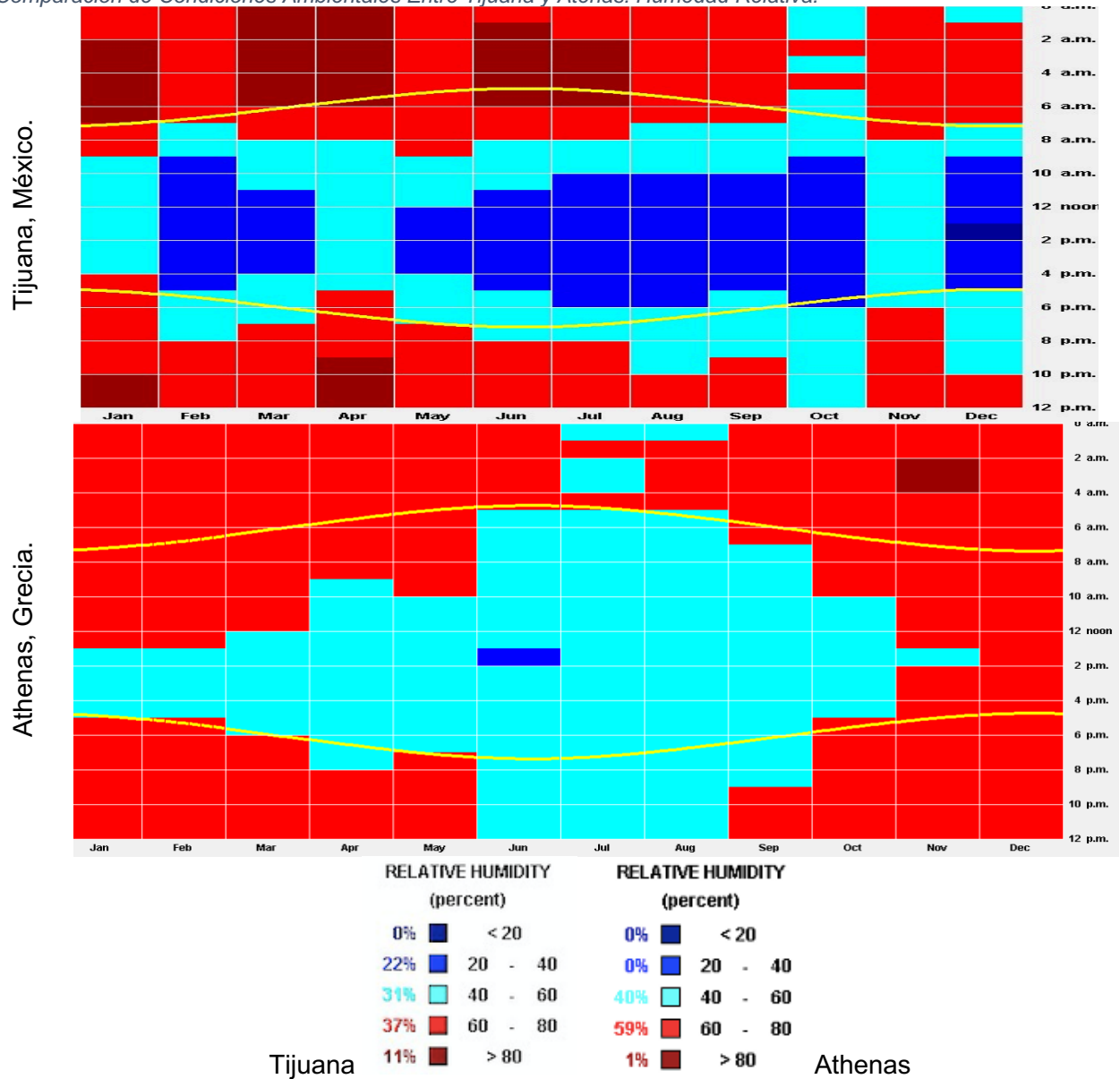
Comparación de Condiciones Ambientales Entre Tijuana y Atenas: Temperatura de Bulbo Húmedo.



Nota. En la tabla se muestran las gráficas anuales del comportamiento general de la temperatura de bulbo húmedo en Tijuana y Atenas, Grecia.

Fuente: Climate Consult.

Tabla 22
 Comparación de Condiciones Ambientales Entre Tijuana y Atenas: Humedad Relativa.



Nota. En la tabla se muestran las gráficas anuales del comportamiento general de la humedad relativa en Tijuana y Atenas, Grecia.
 Fuente: Climate Consult.

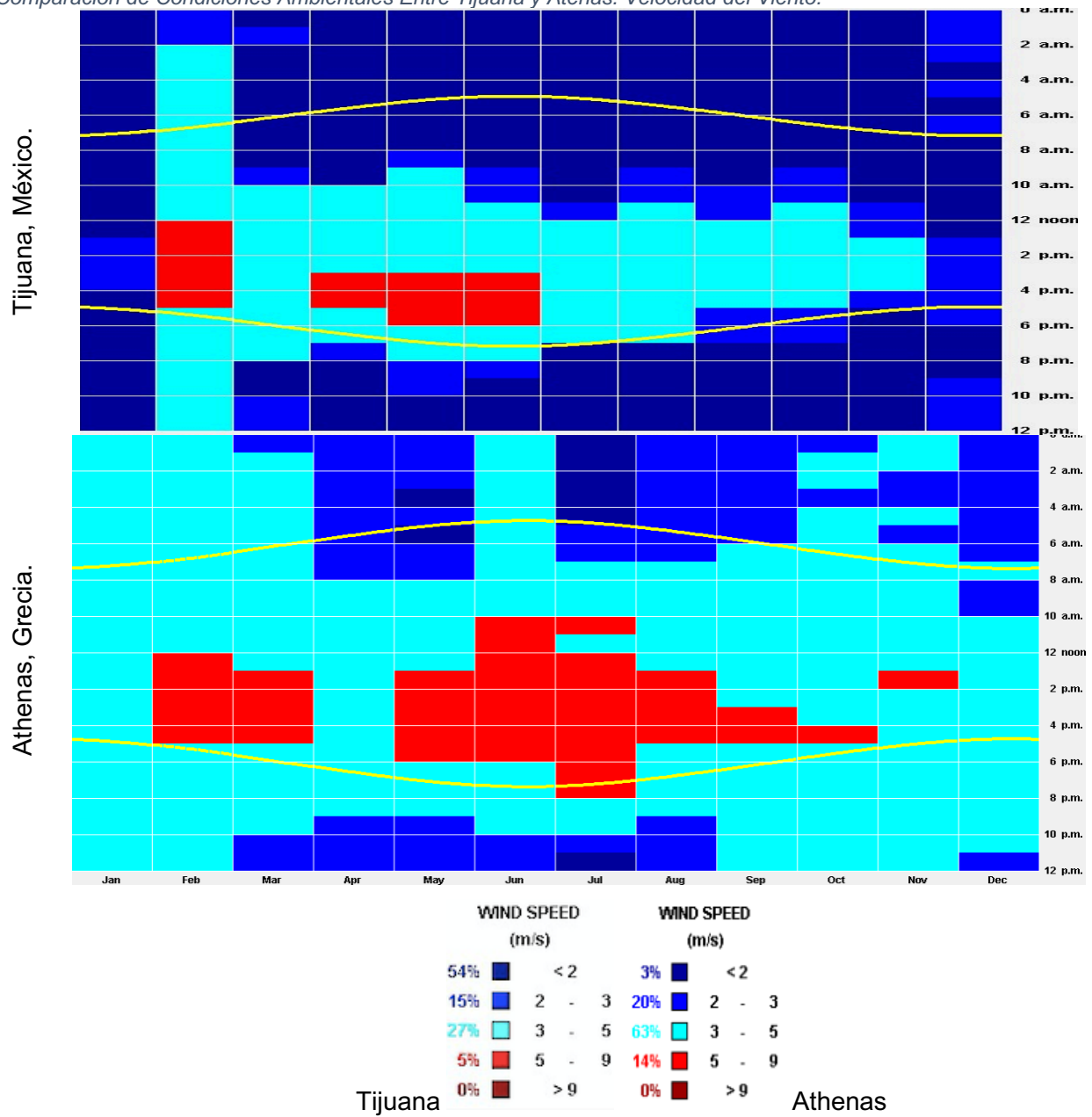
Los rangos de humedad relativa son 5 estratos que se estructuran por cada 20 unidades porcentuales, el primer rango es, menor al 20%, el segundo entre el 20% al 40%, el tercero de 40% a 60%, el cuarto de 60% a 80%, y por último, el rango de mayor al 80%.

De esta manera se muestra que en la Ciudad de Tijuana la humedad relativa cambia durante las horas del día, en el horario nocturno, a excepción de las noches del mes de octubre, la humedad relativa se presenta en rango del 60% a 80% y mayor, con un 37% y 11% respectivamente.

Durante el día con la presencia del sol, la humedad relativa disminuye, se presenta en el rango del 40% al 60% con un 31% del periodo del año, y aún menor, con un 22% del tiempo, en el rango del 20% al 40% alrededor del mediodía, con el mismo comportamiento durante el año.

En la Ciudad de Atenas presenta mayor estabilidad en las condiciones de la humedad relativa, ésta por las noches de todo el año se presenta entre el 60% y el 80% en un 59% del tiempo, el 1% del tiempo, corresponde al rango de humedad mayor al 80%, específicamente en el mes de noviembre cerca de la media noche. En las horas del día se presenta la humedad relativa en el rango del 40% al 60% con un 40% del tiempo. Y una ligera disminución en el rango del 20% al 40% durante el mes de junio.

Tabla 23
 Comparación de Condiciones Ambientales Entre Tijuana y Atenas: Velocidad del Viento.



Nota. En la tabla se muestran las gráficas anuales del comportamiento general de la velocidad del viento en Tijuana y Atenas, Grecia.
 Fuente: Climate Consult.

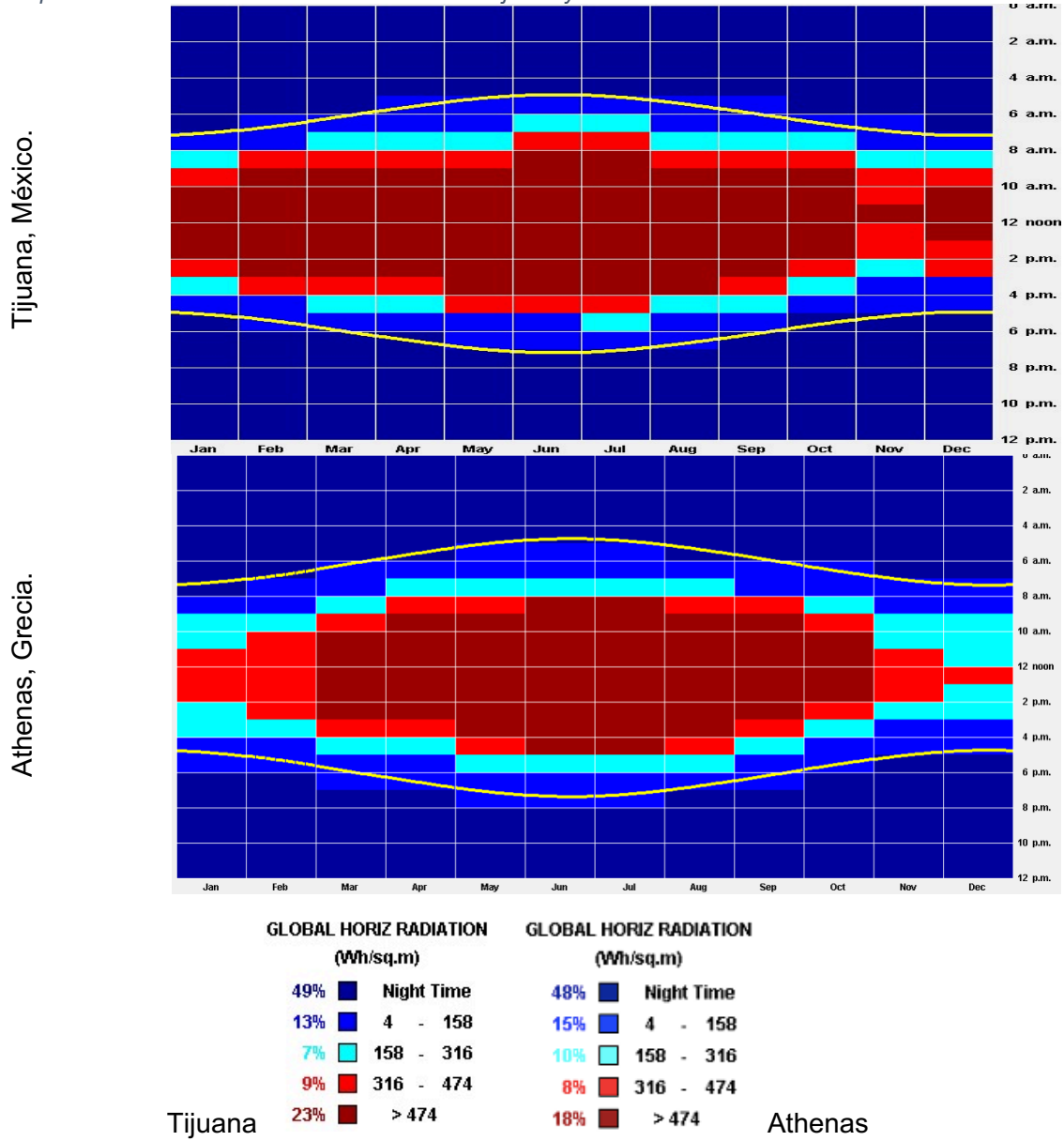
Los rangos establecidos para la velocidad del viento son menor que 2 m/s, de 2 a 3 m/s, de 3 a 5 m/s de 5 a 9 m/s y mayor que 9 m/s.

En Tijuana la velocidad del viento es muy cambiante a lo largo del año y del horario del día, según la gráfica, a excepción del mes de febrero, en el horario nocturno la velocidad del viento es menor de 2 m/s con un 54%, cercano al horario del amanecer y de la puesta del sol tiene un incremento en el rango del 2 a 3 m/s con un 15% del tiempo anual. En el horario diurno la velocidad predominante es del rango de 3 a 5 m/s, especialmente en el mes de febrero hasta noviembre con un 27% del tiempo. Durante el mes de febrero también hay presencia de velocidad del viento de 5 a 9 m/s, incluyendo los medios días de los meses de abril a junio, con un 5 % del tiempo anual.

Para Atenas la velocidad del viento es mayor, es decir de la categoría de 5 a 9 m/s es el 14% y se presenta en horas diurnas durante los meses de febrero hasta noviembre, el 63% de los vientos en la categoría de 3 a 5 m/s se presenta en todos los meses durante el día y la noche y llega a disminuir por las noches, especialmente durante los meses de abril a diciembre con el 20% del tiempo con vientos en la categoría de 2 a 3 m/s.

Tabla 24

Comparación de Condiciones Ambientales Entre Tijuana y Atenas: Radiación del Horizonte Global.



Nota. En la tabla se muestran las gráficas anuales del comportamiento general de la radiación del horizonte global en Tijuana y Atenas, Grecia.
 Fuente: Climate Consult.

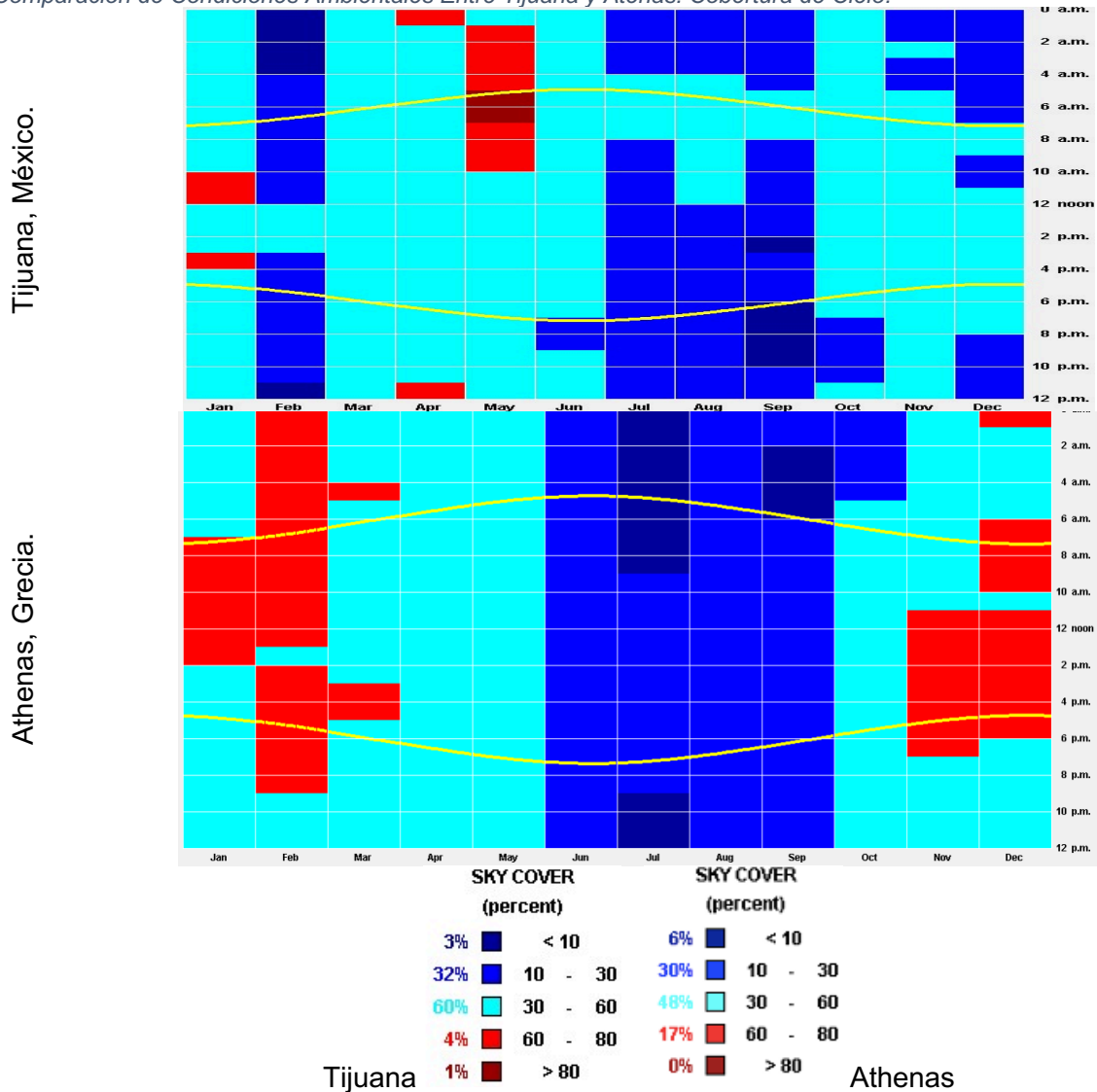
La radiación solar es en relación a la horas de luz solar, la unidad para medir la radiación es en watts por metro cuadrado, las categorías se componen de la siguiente manera, la primera es el horario nocturno, la segunda abarca un rango de 4 a 158 wh/sq.m la tercera el rango es de 158 a 316 wh/sq.m, la cuarta en el rango de los 4 a 158 wh/sq.m y la última categoría es mayor a los 474 wh/sq.m.

Tijuana la radiación solar menor se da el mes de noviembre, con una radiación mayor a los 474 wh/sq.m momentánea concentrada en el medio día durante ese mes, en total la radiación de la mayor categoría es un 23% del tiempo. A partir del mes de diciembre, se genera un efecto paulatino creciente hasta la máxima radiación diurna presentada en los meses de junio y julio, y nuevamente vuelve a descender.

La radiación de las categorías de 4 a 158 wh/sq.m, de 158 a 316 wh/sq.m y de 316 a 474 wh/sq.m, se da en los horarios de transición cercano al amanecer y puesta del sol, con 13%, 7%y 9% respectivamente.

En Atenas se presenta un efecto similar al de Tijuana, con la diferencia que el mes que presenta menor radiación es diciembre. El efecto de incremento de radiación se concentra en los meses de medio año, el incremento también se da de forma paulatina con respecto al horario del amanecer y puesta del sol. El horario nocturno es de un 48% del tiempo del año. El porcentaje del resto de las categorías es parecido a la distribución de radiación de la ciudad de Tijuana.

Tabla 25
 Comparación de Condiciones Ambientales Entre Tijuana y Atenas: Cobertura de Cielo.



Nota. En la tabla se muestran las gráficas anuales del comportamiento general de la cobertura del cielo en Tijuana y Atenas, Grecia.
 Fuente: Climate Consult.

La cobertura solar corresponde a la nubosidad presentada durante el año y se mide en porcentaje. Se conforman cinco categorías en la representación de las gráficas, la primera es con una cobertura menor del 10%, la segunda del 10% al 30% , la tercera del 30% al 60%, la cuarta del 60% al 80%, y la quinta categoría mayor al 80%.

En Tijuana la cobertura nubosa del 10% al 30% se presenta más concentrada en los meses de julio a septiembre y en febrero con un 32%. Durante el 60% del año, en especial durante los meses de marzo a junio la categoría de nubosidad es del 30% al 60%. Las mayores coberturas de las categorías cuatro y cinco, se presentan en un 4% y 1% respectivamente durante el año.

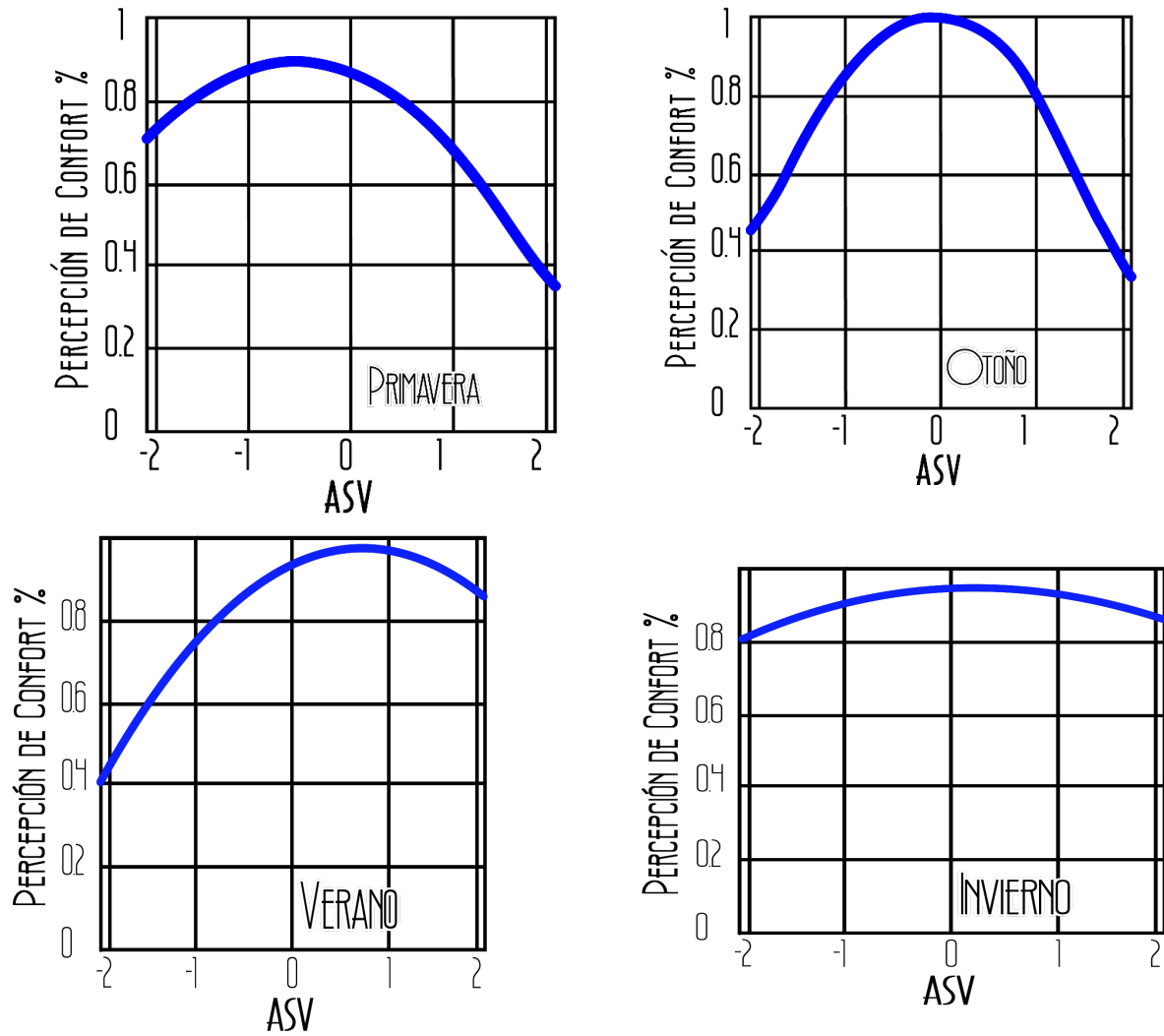
En Atenas es muy marcada la temporada de nubosidad, siendo los meses de junio a septiembre cuando existe una cobertura predominante del 30% de la categoría dos del 10% a 30%.

Lo anterior entre formación de nubes durante los meses de octubre a mayo con 48% en la categoría tres de 30% al 60%, y con presencia de una nubosidad más densa en los meses de noviembre a marzo con un 17% en la categoría cuatro de 60% a 80%. La similitud entre ambas ciudades es que los días más claros se presentan durante los mismos meses. Por las condiciones descritas en las gráficas presentadas, como en las características planteadas para la ciudad de Atenas, Grecia se determina aplicar el modelo de confort térmico en espacios exteriores de los resultados del estudio RUROS de Nikolopoulou (2004).

Para las fechas de las imágenes satelitales calculadas en las que se presenta temperatura mayor a los 26°C, según la fecha y estación del año, el resultado de la ecuación de ASV se ubica en el eje de las abscisas, de nomograma correspondiente de la Figura 23, y de forma vertical se traza una guía hasta tocar la curva de la gráfica para encontrar el valor del porcentaje con una guía perpendicular, el valor en el eje de las Y indica el porcentaje de personas con percepción de confort térmico, indicado en el eje de las ordenadas.

Figura 23

Nomogramas de Percepción de Confort Térmico de Nikolopoulou (2004) Por Estación del Año.



Nota. Los nomogramas están establecidos por los resultados del instrumento aplicado en los espacios urbanos de Atenas, Grecia.

Fuente: Elaboración propia, adecuado de Nikolopoulou (2004).

4. HALLAZGOS

Los resultados de una investigación deben ser comunicados mediante la elaboración de un reporte, dependiendo del tipo de investigación se debe describir lo desarrollado y los resultados, hallazgos o descubrimientos con los que se culmina la ejecución del trabajo de investigación. Es necesario también, definir el tipo de reporte por elaborar, de manera que es necesario considerar las razones que dieron origen a la investigación, definir a qué tipo de usuarios va dirigido, y en qué contexto se habrá de presentar la investigación (Hernández et al., 2014).

En esta sección se muestran los resultados de procesos en los que se emplearon datos e información recabada, que han sido procesados con herramientas de software, se presentan de manera resumida en tablas, gráficas y cartografía.

4.1. ANÁLISIS DE LOS VALORES DE LST

Los valores obtenidos con base en el procesamiento de las imágenes satelitales para la obtención de la temperatura de la superficie, se identificaron los valores máximo y mínimo contenidos en el periodo de estudio, los cuales corresponden a una temperatura de 47.41°C presentado en la fecha del 1 de julio de 2016 para el valor máximo, y la temperatura de -9.95°C en la fecha del 15 de noviembre de 2017 para el valor mínimo. Los resultados de los rangos de temperatura obtenidos para cada una de las imágenes satelitales se muestran en la siguiente (Tabla 26).

Tabla 26

Procesadas

Valores Calculados de Temperaturas Máximas y Mínimas de las Imágenes Satelitales Procesadas.

	AÑO	MES	DIA	MÍNIMA	MÁXIMA
1	2015	ENERO	10	2.93°C	15.14°C
2	2015	ENERO	20	-1.16°C	24.63°C
3	2015	MAYO	12	13.98°C	41.30°C
4	2015	MAYO	28	11.31°C	38.61°C
5	2015	JULIO	15	17.91°C	47.41°C
6	2015	JULIO	30	-6.75°C	19.54°C
7	2015	NOVIEMBRE	10	-2.12°C	16.26°C
8	2015	NOVIEMBRE	19	2.26°C	17.41°C
9	2016	MAYO	13	6.79°C	19.76°C
10	2016	MAYO	29	7.94°C	9.44°C
11	2016	MAYO	30	9.99°C	38.33°C
12	2016	JULIO	1	13.62°C	44.07°C
13	2016	JULIO	7	44.20°C	21.95°C
14	2016	JULIO	16	13.85°C	21.79°C
15	2016	AGO	1	14.77°C	21.49°C
16	2016	NOVIEMBRE	6	12.71°C	37.88°C
17	2016	NOVIEMBRE	12	3.06°C	17.35°C
18	2017	ENERO	31	-4.11°C	13.16°C
19	2017	MAYO	23	8.84°C	20.84°C
20	2017	JUN	1	0.27°C	13.48°C
21	2017	JULIO	3	10.88°C	22.42°C
22	2017	JULIO	19	-9.87°C	17.81°C
23	2017	JULIO	26	14.94°C	21.93°C
24	2017	NOVIEMBRE	8	9.61°C	15.78°C
25	2017	NOVIEMBRE	9	10.18°C	27.72°C
26	2017	NOVIEMBRE	15	-9.95°C	10.39°C
27	2018	ENERO	12	3.59°C	26.36°C
28	2018	ENERO	28	8.50°C	34.58°C
29	2018	MAYO	10	4.64°C	19.76°C
30	2018	MAYO	26	2.93°C	17.49°C
31	2018	JULIO	6	11.49°C	23.63°C
32	2019	MAYO	13	7.66°C	17.42°C
33	2019	MAYO	23	-1.49°C	32.17°C
34	2019	MAYO	29	6.41°C	15.41°C
35	2019	JULIO	16	12.43°C	24.93°C
36	2019	JULIO	26	17.60°C	45.56°C
37	2019	NOVIEMBRE	5	3.86°C	16.14°C
38	2019	NOVIEMBRE	14	0.78°C	15.46°C
39	2019	NOVIEMBRE	15	13.16°C	36.01°C

Nota. Los valores del rango de temperatura, comprende los resultados obtenidos en la extensión de la imagen procesada, misma que se corta ortogonalmente, para cubrir la extensión de la superficie del área de estudio, esto implica que los extremos térmicos puedan no estar contenidos en la zona urbana.

Fuente: Elaboración Propia.

4.2. TEMPERATURA REGISTRADA EN ESTACIONES METEOROLÓGICAS

La información de la temperatura registrada en las estaciones meteorológicas con las fechas de las imágenes satelitales descargadas y procesadas (Tabla 26) contenidas en el periodo de estudio, fué tomada de los resultados estadísticos de los registros históricos de cada una de las estaciones meteorológicas justo en el horario en que las imágenes satelitales fueron capturadas por el satélite, en cada una de las fechas correspondientes, con el fin de poder hacer las correlaciones con los datos calculados de las imágenes satelitales.

Tabla 27

Temperatura de Estaciones Meteorológicas por Fecha y Hora de Captura de Imágenes Satelitales.

	FECHA	HORA	02 TIJUANA P. C.	LAS TORRES, P. C.	UTT EL REFUGIO P. C.	PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ	PI PACÍFICO
1	20150110	5:41:53					12°C
2	20150120	18:22:31	13°C	12°C	14°C	17°C	11°C
3	20150512	18:21:35	16°C	18°C	18°C	16°C	14°C
4	20150528	18:21:37	18°C	19°C	20°C	19°C	18°C
5	20150715	18:22:06	21°C	21°C	24°C	21°C	19°C
6	20150730	5:35:40	22°C	25°C	20°C	20°C	18°C
7	20151110	5:41:56	12°C	13°C	13°C	13°C	12°C
8	20151119	5:36:11	18°C	19°C	19°C	18°C	18°C
9	20160513	5:35:35	15°C	16°C	15°C	15°C	15°C
10	20160529	5:35:42	14°C	15°C	14°C	15°C	13°C
11	20160530	18:22:12	18°C	20°C	20°C	18°C	17°C
12	20160701	18:22:24	20°C	21°C	24°C	21°C	18°C
13	20160707	5:41:44	17°C	16°C	17°C	17°C	15°C
14	20160716	5:36:01	18°C	18°C	19°C	19°C	16°C
15	20160801	5:36:04	20°C	19°C	20°C	20°C	18°C
16	20161106	18:22:53	17°C	17°C	18°C	17°C	16°C
17	20161112	5:42:10	21°C	18°C	17°C	18°C	19°C
18	20170131	5:41:53	11°C	11°C	11°C	12°C	14°C
19	20170523	5:41:21	14°C	14°C	14°C	15°C	13°C
20	20170601	5:35:39	15°C	15°C	16°C	16°C	13°C
21	20170703	5:35:50	15°C	15°C	15°C	16°C	14°C

22	20170719	5:35:55	20°C	20°C	21°C	20°C	18°C
23	20170726	5:41:45	21°C	20°C	26°C	20°C	18°C
24	20171108	5:36:20	15°C	14°C	15°C	15°C	15°C
25	20171109	18:22:49	17°C	16°C	17°C	19°C	16°C
26	20171115	5:42:05	15°C	15°C	14°C	15°C	19°C
27	20180112	18:22:37	18°C	12°C	18°C	22°C	18°C
28	20180128	18:22:28	15°C	22°C	23°C	24°C	22°C
29	20180510	5:40:54	14°C	13°C	14°C	14°C	13°C
30	20180526	5:40:42	14°C	13°C	14°C	14°C	13°C
31	20180706	5:35:09	21°C	20°C	21°C	22°C	25°C
32	20190513	5:41:23	16°C	15°C	16°C		17°C
33	20190523	18:22:12	17°C	17°C	17°C		16°C
34	20190529	5:41:32	13°C	13°C	13°C		11°C
35	20190716	5:41:47	19°C	17°C	19°C		22°C
36	20190726	18:22:33	27°C	26°C	28°C		27°C
37	20191105	5:42:13	13°C	13°C	12°C		17°C
38	20191114	5:36:24	12°C	12°C	12°C		11°C
39	20191115	18:22:53	15°C	15°C	16°C		11°C

Nota. Los valores de las tablas corresponden a la temperatura de la EM, en la hora indicada.

Fuente: Elaboración Propia.

4.3. CORRELACIÓN TA - LST

Los resultados de correlación entre los registrados en las bases de datos históricos de las estaciones meteorológicas con los valores de la temperatura calculados en las imágenes satelitales procesadas, y en cada una de las fechas se muestran en la (Tabla 28), en estos resultados se indica que en su totalidad permanece una ponderación de correlación positiva, desde una muy baja, hasta muy alta, por lo que se determina que existe una relación directa y que existe certidumbre en la información obtenida en los datos meteorológicos históricos y la calculada en las operaciones descritas.

Tabla 28
Valores de Correlación de Temperatura de LST y EM.

AÑO	MES	DIA	VALOR R	INTERPRETACIÓN
2015	ENERO	10	*	
2015	ENERO	20	0.86	Correlación positiva alta
2015	MAYO	12	0.28	Correlación positiva baja
2015	MAYO	28	0.77	Correlación positiva alta
2015	JULIO	15	0.36	Correlación positiva baja
2015	JULIO	30	0.09	Correlación positiva muy baja
2015	NOVIEMBRE	10	0.20	Correlación positiva baja
2015	NOVIEMBRE	19	0.42	Correlación positiva moderada
2016	MAYO	13	0.26	Correlación positiva baja
2016	MAYO	29	0.62	Correlación positiva moderada
2016	MAYO	30	0.64	Correlación positiva moderada
2016	JULIO	1	0.72	Correlación positiva alta
2016	JULIO	7	0.85	Correlación positiva alta
2016	JULIO	16	0.72	Correlación positiva alta
2016	AGO	1	0.82	Correlación positiva alta
2016	NOVIEMBRE	6	0.49	Correlación positiva moderada
2016	NOVIEMBRE	12	0.26	Correlación positiva baja
2017	ENERO	31	0.90	Correlación positiva muy alta
2017	MAYO	23	0.56	Correlación positiva moderada
2017	JUN	1	0.04	Correlación positiva muy baja
2017	JULIO	3	0.86	Correlación positiva alta
2017	JULIO	19	0.19	Correlación positiva muy baja
2017	JULIO	26	0.68	Correlación positiva moderada
2017	NOVIEMBRE	8	0.25	Correlación positiva baja
2017	NOVIEMBRE	9	0.91	Correlación positiva muy alta
2017	NOVIEMBRE	15	0.74	Correlación positiva alta
2018	ENERO	12	0.06	Correlación positiva muy baja
2018	ENERO	28	0.03	Correlación positiva muy baja
2018	MAYO	10	0.58	Correlación positiva moderada
2018	MAYO	26	0.49	Correlación positiva moderada
2018	JULIO	6	0.82	Correlación positiva alta
2019	MAYO	13	0.51	Correlación positiva moderada
2019	MAYO	23	0.03	Correlación positiva muy baja
2019	MAYO	29	0.26	Correlación positiva baja
2019	JULIO	16	0.51	Correlación positiva moderada
2019	JULIO	26	0.51	Correlación positiva moderada
2019	NOVIEMBRE	5	0.63	Correlación positiva moderada
2019	NOVIEMBRE	14	0.98	Correlación positiva muy alta
2019	NOVIEMBRE	15	0.62	Correlación positiva moderada

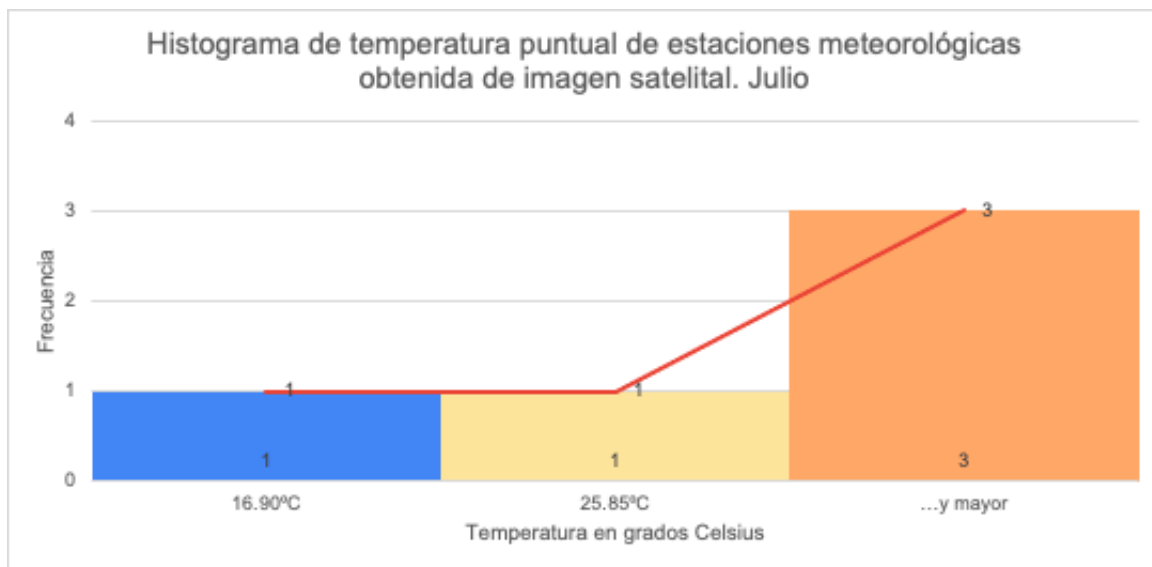
Nota. En el listado , solo se incluyen las fechas en las que se registraron en el periodo de estudio.
Fuente: Elaboración Propia.

Para reiterar que la comparación es positiva entre los valores de los registros y los obtenidos en cálculos de LST, se integra una tabla de valores de temperatura calculados en las imágenes satelitales justo del píxel de la localización de cada estación meteorológica que fue considerada en el estudio ubicadas en la zona urbana (Tabla 6), y de los datos fueron que empleados para la generación de un histograma de valores calculados.

Figura 24
 Histogramas de Valores Mínimos de LST del 1 de Julio 2016.

Año	Mes	Fecha	02 TIJUANA	LAS TORRES	UTT EL REFUGIO	A. L. RODRÍGUEZ	PI PACÍFICO
2016	JULIO	20160701	16.90°C	34.14°C	34.79°C	34.48°C	21.71°C

Máxima	34.79°C	Frecuencia	Porcentaje de frecuencia
Mínima	16.90°C	1	20 %
Marca	25.85°C	1	20 %
...y mayor	...y mayor	3	60 %
		5	100



Nota. La Temperatura de cada estación meteorológica, es la obtenida puntualmente en la imagen satelital de la fecha indicada.

Fuente: Elaboración propia.

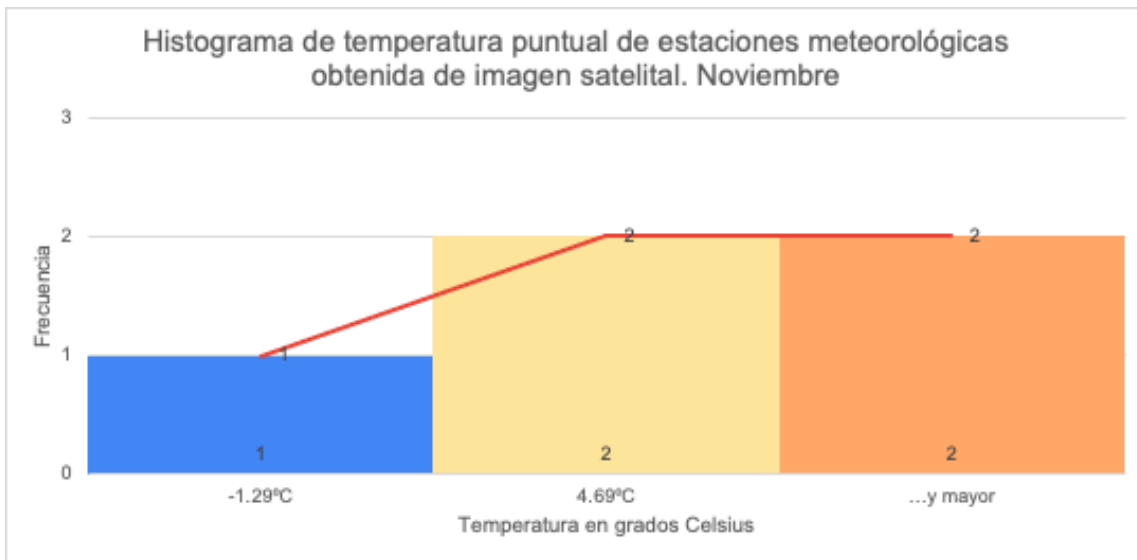
La gráfica del histograma representa para la fecha en específico, cuál de las cinco estaciones meteorológicas consideradas resulta con la temperatura menor, cuántas de ellas resultan con temperatura por debajo del promedio (marca), y cuántas de ellas resultan con cantidades mayores a la marca. En las tablas que acompañan el histograma, también se muestra el número de estaciones meteorológicas en porcentaje por rangos de valores.

Figura 25
 Histogramas de Valores Mínimos de LST del 15 de noviembre de 2017.

Año	Mes	Fecha	02 TIJUANA	LAS TORRES	UTT EL REFUGIO	A. L. RODRÍGUEZ	PI PACÍFICO
2017	NOVIEMBRE	20171115	4.98°C	8.08°C	3.48°C	2.95°C	-1.29°C

Máxima	8.08°C
Mínima	-1.29°C
Marca	4.69°C
...y mayor	...y mayor

Frecuencia	Porcentaje de frecuencia
1	20 %
2	40 %
2	40 %
5	100



Nota. La Temperatura de cada estación meteorológica, es la obtenida puntualmente en la imagen satelital de la fecha indicada.

Fuente: Elaboración propia.

La frecuencia de los datos de la gráfica permite identificar que hay una tendencia no uniforme en el comportamiento de la temperatura calculada en la ubicación de las EM.

4.4. ANÁLISIS COMPARATIVO DE TEMPERATURAS

Los resultados del cálculo de las temperaturas de las imágenes satelitales en relación con los datos históricos registrados con el equipo de las estaciones meteorológicas fijas fueron procesados con el coeficiente de correlación de Pearson, con el fin de tener certidumbre en la comparación de estos dos grupos de datos. La ponderación de la correlación es positiva como se muestra en la (Tabla 29), los valores que oscilan entre “positiva muy baja” con un 16% del total, hasta una correlación “positiva muy alta”, aunque el mayor porcentaje de los resultado se concentra en la ponderación “positiva moderada” con un 32% de los resultados que representan un rango de ponderación de entre 0.4 a 0.69, con 12 resultados en esa categoría de un total de 38. Se ha ejecutado una correlación para cada fecha como se muestra en la (Figura 25), el resto de las correlaciones entre LST y EM, descritas en la (Tabla 28) se exponen en el anexo 6.

Tabla 29
Resumen de Valores de Correlación de Temperatura LST y EM.

Ponderación obtenida	Rango de ponderación - valor r		Número de correlaciones	Porcentaje	
Correlación positiva muy baja	0.1	a 0.19	6	16	%
Correlación positiva baja	0.2	a 0.39	7	18	%
Correlación positiva moderada	0.4	a 0.69	12	32	%
Correlación positiva alta	0.7	a 0.89	10	26	%
Correlación positiva muy alta	0.9	a 0.99	3	8	%
			38	100	%

Nota. La tabla muestra en cantidad y porcentaje los resultados obtenidos de la correlaciones hechas
Fuente: Elaboración Propia.

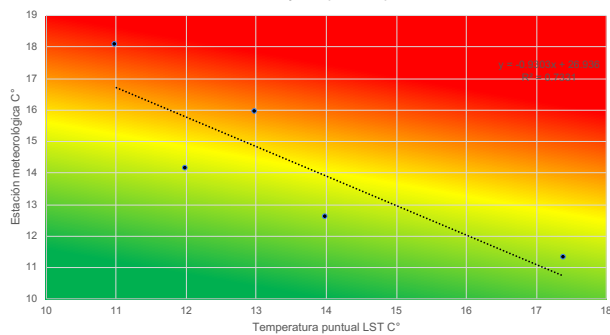
Figura 26
Correlación de Temperatura de EM Y LST Calculada.

Nombre de estación meteorológica	Temperatura registrada por estación meteorológica en C°. 20/01/2015 18:22:31	Temperatura de imagen satelital puntual por EM, C°
02 TIJUANA P. C.	13	15.91
LAS TORRES, P. C.	12	14.14
UTT EL REFUGIO P. C.	14	12.60
PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ	17.40	11.29
PI PACÍFICO	11	18.05

R2: 0.7331
R: 0.8562

Interpretación de correlación: Correlación positiva alta

Correlación entre LST y temperatura por estaciones.



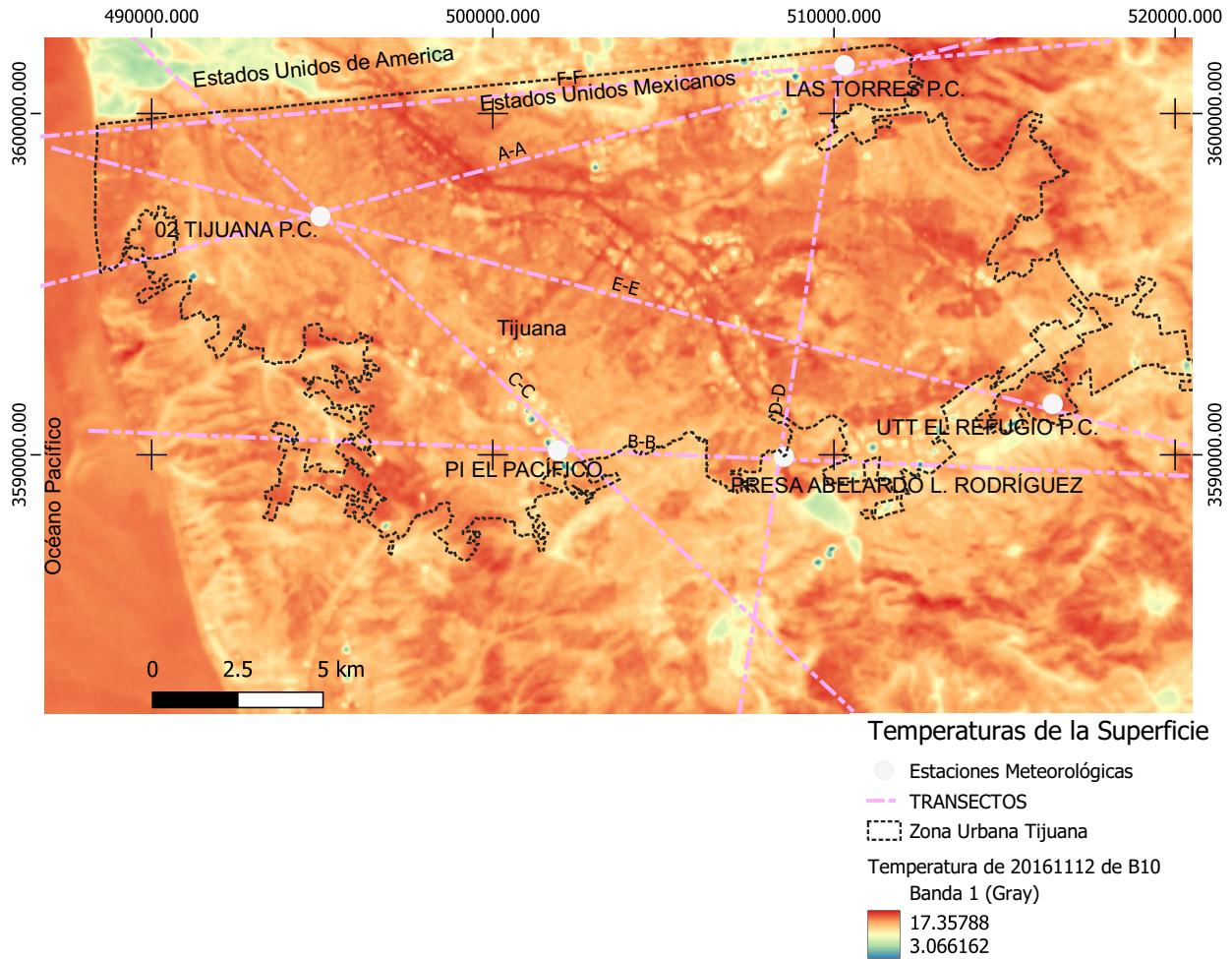
Nota. La Temperatura presentada en la imagen corresponde al día 1 de julio del 2016.
Fuente: Elaboración propia.

4.5. TRANSECTOS

Como resultado de la técnica de la teledetección es posible obtener información térmica de manera puntual en relación con la resolución espacial de las imágenes satelitales misma que corresponde a una trama de 30 m x 30 m por pixel. Para conocer los cambios de temperatura presentada en la extensión territorial analizada, se generaron transectos virtuales trazados de manera que incluyen el cruce por la extensión del área urbana y el cruce por las ubicaciones de las estaciones meteorológicas (Figura 27), éstos corresponden a trayectorias lineales rectas con

base en éstas, se generaron perfiles de temperatura presentada por fecha de imagen satelital (Anexo 7), de los elementos contenidos en la (Tabla 30).

Figura 27
Transectos Virtuales en Mapa de Temperatura de la Superficie de la Tierra.



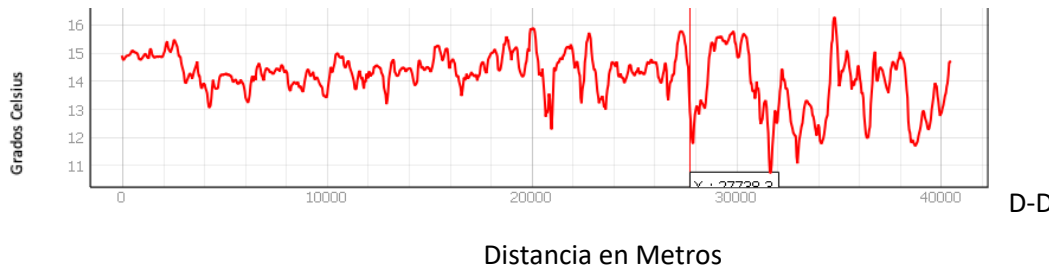
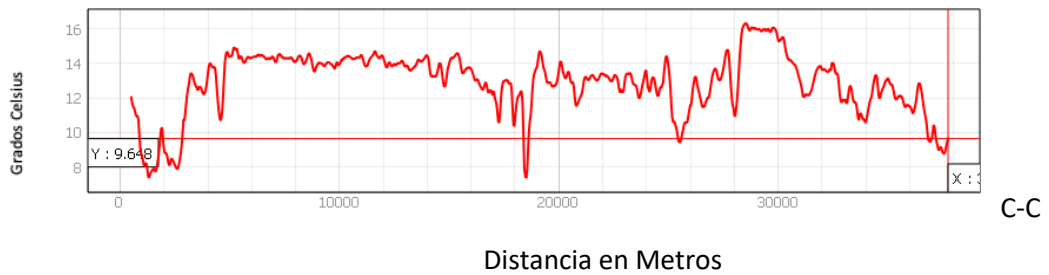
Nota. Los transectos en diferentes direcciones inician desde el exterior del área urbana, pasando por los puntos donde se ubican las estaciones meteorológicas. Mapa de LST del 12 de Noviembre del 2016.

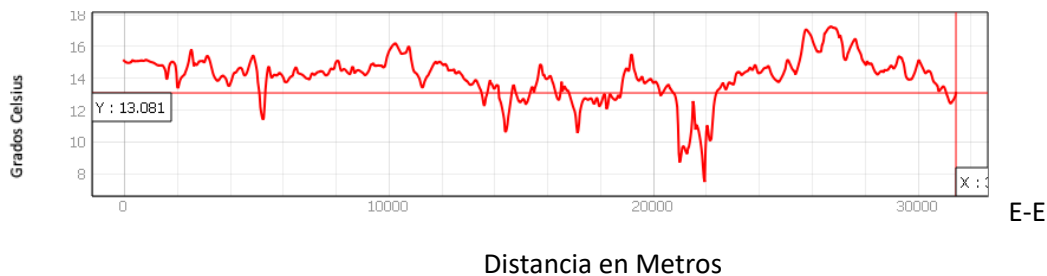
Fuente: Elaboración propia.

Los transectos transectos virtuales son para la imagen satelital del día 12 de noviembre del 2016, día que corresponde a la estación de otoño por lo que el rango de temperatura que se presenta en la superficie y durante la captura de la imagen satelital matutina, fue de entre 3°C y 17°C, todos responden a una trayectoria lineal recta, en los perfiles generados los picos invertidos

indican el cruce por algún parque, zona con una alta concentración de vegetación o cuerpo de agua, el tipo de material predominante en la superficie.

Tabla 30
Transectos Virtuales en Mapa de Temperatura de la Superficie de la Tierra del 12 de Noviembre del 2016.





Nota. Los transectos virtuales abarcan toda la extensión del área urbana, pero su trazo se hace como se muestra en la Figura 27, por lo que los inicio y finales del perfil, pueden no estar contenidos dentro del área urbana.

Fuente: Elaboración Propia.

El transecto virtual A-A' se presenta con un rango de temperatura de 6°C a 17°C, el trazo de la trayectoria es de Este a Oeste, y abarca toda la parte longitudinal de la ciudad, inicia en el océano Pacífico y termina en la parte desértica hacia el municipio de Tecate, cruza dos estaciones meteorológicas, la EM 02 Tijuana en el lado oeste de la Ciudad y la EM Las Torres en el lado este, con una trayectoria de 3000 mts.

El transecto virtual B-B' se presenta un rango de temperatura de 3°C a 15°C, el trazo de la trayectoria es de Este a Oeste, es paralelo al límite sur de la zona urbana, inicia en el Océano Pacífico y termina en la parte rural desértica Oeste del municipio, cruza la EM de El Pacífico y la EM la presa Aberlardo L Rodríguez, con una trayectoria de 3000 mts.

El transecto virtual C-C' Se presenta un rango de temperatura de 7°C a 17°C, el trazo de la trayectoria es de noroeste a suroeste, abarca la parte oeste de la ciudad, inicia en el extremo noroeste desde el otro lado de la frontera en Los Estados Unidos de América, hasta la zona rural del municipio de Tijuana, cruza dos estaciones meteorológicas, la EM 02 Tijuana en el lado oeste de la ciudad y EM El Pacífico, con una trayectoria de 4000 mts.

El transecto virtual D-D' se presenta un rango de temperatura de 10°C a 17°C, el trazo de la trayectoria es de Sur a Norte, abarca el extremo Este de la ciudad, inicia en la parte rural cercana a la presa Abelardo L Rodríguez, hasta el extremo Norte al otro lado de la frontera del país vecino, cruza dos estaciones meteorológicas, la EM la Presa Abelardo L Rodríguez en el lado Sur de la ciudad y EM de Las Torres del lado Norte, con una trayectoria de 4000 mts.

4.6. VOTO DE SENSACIÓN REAL

El valor del voto de sensación real que se obtiene del cálculo del modelo RUROS de Nikolopoulou (2004), es un dato utilizado en distintos nomogramas a razón de la temporada o estación del año (Figura 23). Los nomogramas son las resultantes para las diferentes zonas climáticas analizadas en el estudio de la autora, con el propósito de que tengan aplicaciones para diseños arquitectónicos de espacios abiertos empleando los parámetros meteorológicos.

Considerando que los registros meteorológicos están unificados a lecturas por cada hora, y que las variables involucradas en la ecuación tienen un valor cambiante temporalmente, se tendrán veinticuatro valores para cada fecha aplicando la ecuación, entonces, de todos estos veinticuatro valores por día, se consideró el resultado de ASV mayor por fecha (Tabla 31).

Tabla 31
Resultados de ASV por Fecha.

Identificación de imagen satelital				Temperatura LST en °C		Resultado
Número	Año	Mes	Fecha	Mínima	Máxima	ASV
1	2015	ENERO	20150110	2.93	15.14	
2	2015	ENERO	20150120	-1.16	24.63	0.20028
3	2015	MAYO	20150512	13.98	41.3	0.20705
4	2015	MAYO	20150528	11.31	38.61	0.30156
5	2015	JULIO	20150715	17.91	47.41	0.44976
6	2015	JULIO	20150730	-6.75	19.54	
7	2015	NOVIEMBRE	20151110	-2.12	16.26	
8	2015	NOVIEMBRE	20151119	2.26	17.41	0.55106
9	2016	MAYO	20160513	6.79	19.76	0.31350
10	2016	MAYO	20160529	7.94	9.44	
11	2016	MAYO	20160530	9.99	38.33	
12	2016	JULIO	20160701	13.62	44.07	0.35007
13	2016	JULIO	20160707	44.20	21.95	
14	2016	JULIO	20160716	13.85	21.79	0.47994
15	2016	AGO	20160801	14.77	21.49	0.55546

16	2016	NOVIEMBRE	20161106	12.71	37.88	0.446
17	2016	NOVIEMBRE	20161112	3.06	17.35	
18	2017	ENERO	20170131	-4.11	13.16	
19	2017	MAYO	20170523	8.84	20.84	0.58304
20	2017	JUN	20170601	0.27	13.48	
21	2017	JULIO	20170703	10.88	22.42	0.55546
22	2017	JULIO	20170719	-9.87	17.81	
23	2017	JULIO	20170726	14.94	21.93	0.41625
24	2017	NOVIEMBRE	20171108	9.61	15.78	
25	2017	NOVIEMBRE	20171109	10.18	27.72	0.28104
26	2017	NOVIEMBRE	20171115	-9.95	10.39	
27	2018	ENERO	20180112	3.59	26.36	0.26818
28	2018	ENERO	20180128	8.5	34.58	0.40034
29	2018	MAYO	20180510	4.64	19.76	0.38169
30	2018	MAYO	20180526	2.93	17.49	0.16338
31	2018	JULIO	20180706	11.49	23.63	0.870815
32	2019	MAYO	20190513	7.66	17.42	0.35442
33	2019	MAYO	20190523	-1.49	32.17	0.21716
34	2019	MAYO	20190529	6.41	15.41	0.32537
35	2019	JULIO	20190716	12.43	24.93	0.5908
36	2019	JULIO	20190726	17.6	45.56	0.7193
37	2019	NOVIEMBRE	20191105	3.86	16.14	0.40698
38	2019	NOVIEMBRE	20191114	0.78	15.46	0.3785
39	2019	NOVIEMBRE	20191115	13.16	36.01	0.29045

Nota. Los resultados ASV faltantes en la tabla corresponden a datos meteorológicos no disponibles o a valor ASV negativo.

Fuente: Elaboración Propia.

Para el resultado del porcentaje de personas en confort térmico se emplean los datos de AVS en el nomograma, como se muestra en la siguiente Tabla 32, de manera que el valor del porcentaje permite calcular la cantidad de habitantes que se encuentra en incomodidad térmica.

Tabla 32

Porcentaje de Personas con Percepción de Confort Térmico.

Identificación de imagen satelital				Temperatura LST (°C)		Resultado	% Percepción	
Núm	Año	Mes	Fecha	Mínima	Máxima	ASV	en Confort	no Confort
1	2015	ENERO	20150120	-1.16	24.63	0.2003	96%	4%
2	2018	ENERO	20180112	3.59	26.36	0.2682	97%	3%
3	2018	ENERO	20180128	8.5	34.58	0.4003	96%	4%
4	2015	MAYO	20150512	13.98	41.3	0.2071	82%	18%
5	2015	MAYO	20150528	11.31	38.61	0.3016	84%	16%
6	2016	MAYO	20160513	6.79	19.76	0.3135	84%	16%
7	2017	MAYO	20170523	8.84	20.84	0.5830	80%	20%
8	2018	MAYO	20180510	4.64	19.76	0.3817	83%	17%
9	2018	MAYO	20180526	2.93	17.49	0.1634	86%	14%
10	2019	MAYO	20190513	7.66	17.42	0.3544	84%	16%
11	2019	MAYO	20190523	-1.49	32.17	0.2172	87%	13%
12	2019	MAYO	20190529	6.41	15.41	0.3254	85%	15%
13	2015	JULIO	20150715	17.91	47.41	0.4498	94.5%	5.5%
14	2016	JULIO	20160701	13.62	44.07	0.3501	94%	6%
15	2016	JULIO	20160716	13.85	21.79	0.4799	94.6%	5.4%
16	2016	AGO	20160801	14.77	21.49	0.5555	95%	5%
17	2017	JULIO	20170703	10.88	22.42	0.5555	95%	5%
18	2017	JULIO	20170726	14.94	21.93	0.4163	94%	6%
19	2018	JULIO	20180706	11.49	23.63	0.8708	95%	5%
20	2019	JULIO	20190716	12.43	24.93	0.5908	95.8%	4.2%
21	2019	JULIO	20190726	17.6	45.56	0.7193	95.5%	4.5%
22	2015	NOVIEMBRE	20151119	2.26	17.41	0.5511	96%	4%
23	2016	NOVIEMBRE	20161106	12.71	37.88	0.4460	97%	3%
24	2017	NOVIEMBRE	20171109	10.18	27.72	0.2810	99%	1%
25	2019	NOVIEMBRE	20191105	3.86	16.14	0.4070	98%	2%
26	2019	NOVIEMBRE	20191114	0.78	15.46	0.3785	97%	3%
27	2019	NOVIEMBRE	20191115	13.16	36.01	0.2905	99%	1%

Nota. De esta tabla se eliminaron las imágenes satelitales que en la tabla anterior no tiene valor ASV (Tabla 31).

Fuente: Elaboración propia.

4.7. AMBIENTE TÉRMICO URBANO

De acuerdo a los resultados de la metodología de teledetección aplicada, la LST se presenta por rangos entre mínimos y máximos (Tabla 26) para cada fecha, es decir, en relación con el concepto de ICU, la temperatura presentada en unas áreas territoriales es diferente que en otras. Para caracterizar la ICU que se presenta en la ciudad de Tijuana, conocer la zona en la que incide, la superficie que ésta abarca y cuantificar el impacto que genera, se desarrolló una cartografía empleando sistemas de información geográfica para generar una clasificación de las áreas con respecto a las temperaturas presentadas con base en los de rangos de estrés térmico UTCI (Tabla 33).

Tabla 33
Escala de Evaluación UTCI Categorizada en Términos de Estrés térmico.

UTCI (°C) range		Stress Category
6	above +46	Estrés por calor extremo
5	+38 to +46	Estrés por calor muy fuerte
4	+32 to +38	Fuerte estrés por calor
3	+26 to +32	Estrés por calor moderado
2	+9 to +26	Sin estrés térmico
1	0 to +9	Ligero estrés por frío
	0 to -13	Estrés por frío moderado
	-13 to -27	Fuerte estrés por frío
	-27 to -40	Estrés por frío muy fuerte
	below -40	Estrés por frío extremo

Nota. Modelo (UTCI), las categorías consideradas en este estudio son las superiores a los cero grados.
Fuente: Desarrollado con base en (Błażejczyk et al., 2018).

4.8. ANÁLISIS COMPARATIVO DE CONFORT TÉRMICO

La clasificación de las categorías térmicas para cada una de las imágenes satelitales permite definir y localizar las zonas dentro del área urbana en las que se considera un estrés térmico, desde moderado a extremo. Por las condiciones meteorológicas del área de estudio, son 6 categorías que representan los rangos térmicos, pero son las categorías 3, 4, 5 y 6 las que definen zonas con estrés térmico dentro del área de estudio, con respecto a las condiciones

climatológicas de la zona, según el modelo UTCI. Derivado de lo anterior, no todas las imágenes satelitales procesadas arrojan resultados de temperatura en categorías de estrés térmico (Tabla 34).

Tabla 34

Categorización por Temperatura Para el Cálculo de Población Afectada por Presencia de ICU. Parte 1.

Número	Año	Mes	Día	Temperatura LST C		Categorías por rango de temperatura											
				Mínima	Máxima	1 0 a 9		2 9.1 a 26		3 26.1 a 32		4 32.1 a 38		5 38.1 a 46		6 46.1 a 55	
1	2015	ENERO	10	2.93	15.14	2.93	9	9.1	15.14	-	-	-	-	-	-	-	-
2	2015	ENERO	20	-1.16	24.63	0	9	9.1	24.63	-	-	-	-	-	-	-	-
3	2017	ENERO	31	-4.11	13.16	0	9	9.1	13.16	-	-	-	-	-	-	-	-
4	2018	ENERO	12	3.59	26.36	3.59	9	9.1	26	26.1	26.36	-	-	-	-	-	-
5	2018	ENERO	28	8.5	34.58	8.5	9	9.1	26	26.1	32	32.1	34.58	-	-	-	-
6	2015	MAYO	12	13.98	41.3	-	-	13.98	26	26.1	32	32.1	38	38.1	41.3	-	-
7	2015	MAYO	28	11.31	38.61	-	-	11.31	26	26.1	32	32.1	38	38.1	38.61	-	-
8	2016	MAYO	13	6.79	19.76	6.79	9	9.1	19.76	-	-	-	-	-	-	-	-
9	2016	MAYO	29	7.94	9.44	7.94	9	9.1	9.44	-	-	-	-	-	-	-	-
10	2016	MAYO	30	9.99	38.33	-	-	9.99	26	26.1	32	32.1	38	38.1	38.33	-	-
11	2017	MAYO	23	8.84	20.84	8.84	9	9.1	20.84	-	-	-	-	-	-	-	-
12	2017	JUN	1	0.27	13.48	0.27	9	9.1	13.48	-	-	-	-	-	-	-	-
13	2018	MAYO	10	4.64	19.76	4.64	9	9.1	19.76	-	-	-	-	-	-	-	-
14	2018	MAYO	26	2.93	17.49	2.93	9	9.1	17.49	-	-	-	-	-	-	-	-
15	2019	MAYO	13	7.66	17.42	7.66	9	9.1	17.42	-	-	-	-	-	-	-	-
16	2019	MAYO	23	-1.49	32.17	0	9	9.1	26	26.1	32	32.1	32.17	-	-	-	-
17	2019	MAYO	29	6.41	15.41	6.41	9	9.1	15.41	-	-	-	-	-	-	-	-
18	2015	JULIO	15	17.91	47.41	-	-	17.91	26	26.1	32	32.1	38	38.1	46	46.1	47.41
19	2015	JULIO	30	-6.75	19.54	0	9	9.1	19.54	-	-	-	-	-	-	-	-

Estrés por calor moderado

Fuerte estrés por calor

Estrés por calor muy fuerte

Estrés por calor extremo

Tabla 35

Categorización por Temperatura Para el Cálculo de Población Afectada por Presencia de ICU Parte 2.

Número	Año	Mes	Día	Temperatura LST C Mínima Máxima		Categorías por rango de temperatura											
						1 0 a 9		2 9.1 a 26		3 26.1 a 32		4 32.1 a 38		5 38.1 a 46		6 46.1 a 55	
20	2016	JULIO	1	13.62	44.07	-	-	13.62	26	26.1	32	32.1	38	38.1	44.07	-	-
21	2016	JULIO	7	11.01	21.95	-	-	11.01	21.95	-	-	-	-	-	-	-	-
22	2016	JULIO	16	13.85	21.79	-	-	13.85	21.79	-	-	-	-	-	-	-	-
23	2016	AGO	1	14.77	21.49	-	-	14.77	21.49	-	-	-	-	-	-	-	-
24	2017	JULIO	3	10.88	22.42	-	-	10.88	22.42	-	-	-	-	-	-	-	-
25	2017	JULIO	19	-9.87	17.81	0	9	9.1	17.81	-	-	-	-	-	-	-	-
26	2017	JULIO	26	14.94	21.93	-	-	14.94	21.93	-	-	-	-	-	-	-	-
27	2018	JULIO	6	11.49	23.63	-	-	11.49	23.63	-	-	-	-	-	-	-	-
28	2019	JULIO	16	12.43	24.93	-	-	12.43	24.93	-	-	-	-	-	-	-	-
29	2019	JULIO	26	17.6	45.56	-	-	17.6	26	26.1	32	32.1	38	38.1	45.56	-	-
30	2015	NOVIEMBRE	10	-2.12	16.26	0	9	9.1	16.26	-	-	-	-	-	-	-	-
31	2015	NOVIEMBRE	19	2.26	17.41	2.26	9	9.1	17.41	-	-	-	-	-	-	-	-
32	2016	NOVIEMBRE	6	12.71	37.88	-	-	12.71	26	26.1	32	32.1	37.88	-	-	-	-
33	2016	NOVIEMBRE	12	3.06	17.35	3.06	9	9.1	17.35	-	-	-	-	-	-	-	-
34	2017	NOVIEMBRE	8	9.61	15.78	-	-	9.61	15.78	-	-	-	-	-	-	-	-
35	2017	NOVIEMBRE	9	10.18	27.72	-	-	10.18	26	26.1	27.72	-	-	-	-	-	-
36	2017	NOVIEMBRE	15	-9.95	10.39	0	9	9.1	10.39	-	-	-	-	-	-	-	-
37	2019	NOVIEMBRE	5	3.86	16.14	3.86	9	9.1	16.14	-	-	-	-	-	-	-	-
38	2019	NOVIEMBRE	14	0.78	15.46	0.78	9	9.1	15.46	-	-	-	-	-	-	-	-
39	2019	NOVIEMBRE	15	13.16	36.01	-	-	13.16	26	26.1	32	32.1	36.01	-	-	-	-

Estrés por calor moderado

Fuente estrés por calor

Estrés por calor muy fuerte

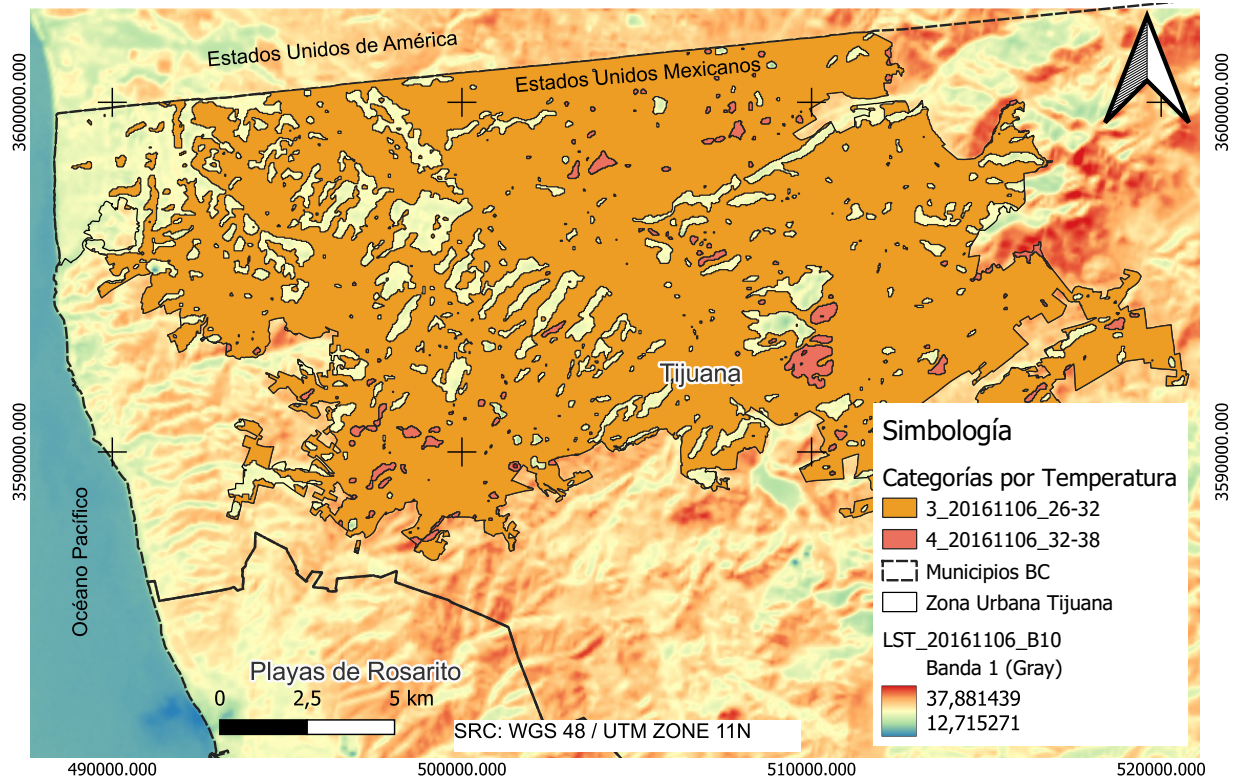
Estrés por calor extremo

Nota. Los valores no anotados corresponden a imágenes satelitales con valores de temperatura de la superficie no mayores del rango de la categoría 2.
Fuente: Elaboración propia.

Las imágenes satelitales contenidas en la (Tabla 34) y (Tabla 35), de la 4 a la 7, 10, 16, 18, 20, 29, 32, 35 y 39 representan las fechas en las que la temperatura se presenta arriba de los 26.1°C, por lo tanto abarcan superficies dónde, según la clasificación UTCI, existe estrés térmico, en resumen la siguiente (Tabla 36), muestra la clasificación de las categorías, según el rango de temperaturas para representar la superficie física en las que éstos rangos de temperatura abarcan, se estructura un archivo vectorial de polígonos en SIG para definir las superficies, y poder hacer el cálculo de población habitante. Como resultado de todas las imágenes satelitales procesadas, con polígonos con temperatura mayor a los 26°C, corresponden a imágenes capturadas en horario vespertino, capturadas después de las 6:00 p.m. por el satélite LANDSAT 8.

Figura 28

Caracterización de la ICU y la Población Afectada en su Localización del 6 de Noviembre de 2016.



Nota. En este mapa se incluyen los polígonos (vectores) con temperatura superior a los 26°C.
Fuente: Elaboración propia.

Las imágenes térmicas se componen de las imágenes satelitales raster procesadas para la obtención de la LST, misma que aparece en una gama espectral de colores que van desde los azules para la temperatura más baja, pasando por el naranja, rojo, hasta rojo intenso para la temperatura mas cálida. En sobreposición se encuentran la capa vectorial de polígonos clasificados por rangos de temperatura especificada, representados también en colores cálidos, por categoría como se indican en la simbología de la figura.

Para algunas fechas, la LST aparece en escalas de gris, ya que los polígonos sobre puestos de categorías de temperatura en estrés térmico, abarcan una superficie reducida y el contraste permite resaltar su apariencia, dada la escala de la imagen.

Tabla 36
Imágenes Satelitales con Categorías de Temperatura de Estrés Térmico.

No.	Año	Mes	Día	Hora de captura del Satélite	Nombre de imagen satelital	Temperatura de LST en°C		Categorías por rango de temperatura						
						Mínima	Máxima	1 0 a 9	2 9.1 a #	3 26.1 a 32	4 32.1 a 38	5 38.1 a 46	6 46.1 a 55	
4	2018	ENERO	12	18:22:37	LC08_L1TP_040037_20180112_20200902_02_T	3.59	26.36	*	*	*				
5	2018	ENERO	28	18:22:28	LC08_L1TP_040037_20180128_20200902_02_T	8.5	34.58	*	*	*	*			
6	2015	MAYO	12	18:21:35	LC08_L1TP_040037_20150512_20200909_02_T	13.98	41.3		*	*	*	*		
7	2015	MAYO	28	18:21:37	LC08_L1TP_040037_20150528_20200909_02_T	11.31	38.61		*	*	*	*		
16	2019	MAYO	23	18:22:12	LC08_L1TP_040037_20190523_20200828_02_T	-1.49	32.17	*	*	*	*			
18	2015	JULIO	15	18:22:06	LC08_L1TP_040037_20150715_20200908_02_T	17.91	47.41		*	*	*	*	*	*
20	2016	JULIO	1	18:22:24	LC08_L1TP_040037_20160701_20200906_02_T	13.62	44.07		*	*	*	*	*	
29	2019	JULIO	26	18:22:33	LC08_L1TP_040037_20190726_20200827_02_T	17.6	45.56		*	*	*	*	*	
32	2016	NOVIEMBRE	6	18:22:53	LC08_L1TP_040037_20161106_20200905_02_T	12.71	37.88		*	*	*			
34	2017	NOVIEMBRE	9	18:22:49	LC08_L1TP_040037_20171109_20200902_02_T	10.18	27.72		*	*				
39	2019	NOVIEMBRE	15	18:22:53	LC08_L1TP_040037_20191115_20200825_02_T	13.16	36.01		*	*	*			

Nota. En esta tabla se incluyen las imágenes satelitales que contienen temperatura superior a los 26°C, y además se tienen el valor AVS de la fecha correspondiente.
Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente tabla se muestra la cantidad de población en proporción a las unidades AGEBS, que se ubica en cada superficie según su clasificación, el resultado de la población en las distintas categorías de temperatura se encuentra en la columna de la derecha.

Tabla 37
Cantidad de Habitantes en Polígonos Definidos por Temperatura Presentada.



No.	Año	Mes	Día	Hora de captura del Satélite	Nombre de imagen satelital	Temperatura de LST en°C		Cantidad de habitantes en polígonos por categoría						Suma de habitantes vulnerables		
						Mínima	Máxima	1 0 a 9.9	2 10.1 a 26	3 26.1 a 32	4 32.1 a 38	5 38.1 a 46	6 46.1 a 55			
4	2018	ENERO	12	18:22:37	LC08_L1TP_040037_20180112_20200902_02_T1_B	3.59	26.36	*	*	120						120
5	2018	ENERO	28	18:22:28	LC08_L1TP_040037_20180128_20200902_02_T1_B	8.5	34.58	*	*	55,322						55,322
6	2015	MAYO	12	18:21:35	LC08_L1TP_040037_20150512_20200909_02_T1_B	13.98	41.3		*	785,927	841,093		109			1,627,129
7	2015	MAYO	28	18:21:37	LC08_L1TP_040037_20150528_20200909_02_T1_B	11.31	38.61		*	383,748	34,640		58			418,446
16	2019	MAYO	23	18:22:12	LC08_L1TP_040037_20190523_20200828_02_T1_B	-1.49	32.17	*	*	55,394		19				55,413
18	2015	JULIO	15	18:22:06	LC08_L1TP_040037_20150715_20200908_02_T1_B	17.91	47.41		*	6,210	701,698		935,972	22		1,643,880
20	2016	JULIO	1	18:22:24	LC08_L1TP_040037_20160701_20200906_02_T1_B	13.62	44.07		*	118,026	1,033,543		2,757			1,154,326
29	2019	JULIO	26	18:22:33	LC08_L1TP_040037_20190726_20200827_02_T1_B	17.6	45.56		*	26,845	1,523,132		78,243			1,628,220
32	2016	NOVIEMBRE	6	18:22:53	LC08_L1TP_040037_20161106_20200905_02_T1_B	12.71	37.88		*	1,320,743	13,986					1,334,729
34	2017	NOVIEMBRE	9	18:22:49	LC08_L1TP_040037_20171109_20200902_02_T1_B	10.18	27.72		*	215						215
39	2019	NOVIEMBRE	15	18:22:53	LC08_L1TP_040037_20191115_20200825_02_T1_B	13.16	36.01		*	15,593		201				15,794

Nota. La cantidad de personas calculadas es en proporción a la superficie con los datos estadísticos de los AGEBs.

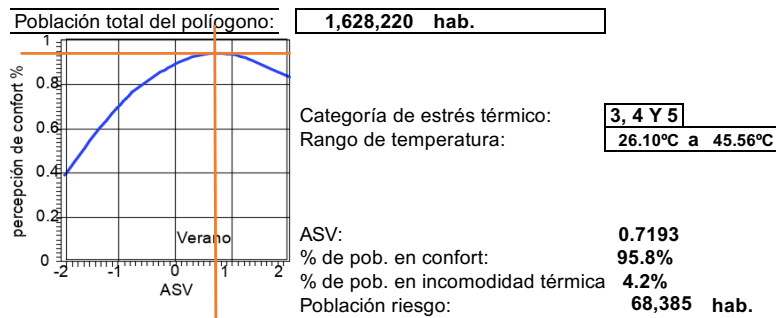
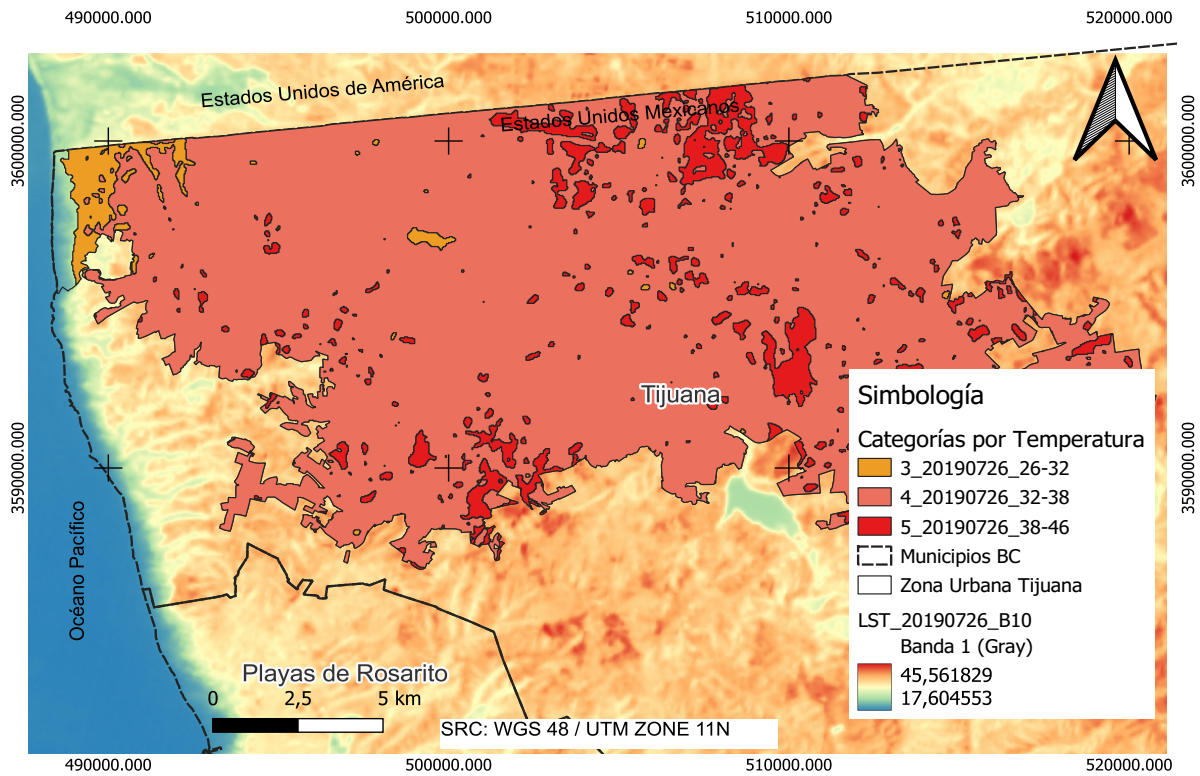
Fuente: Elaboración propia.

A partir de tener cuantificada la población que habita en los polígonos y, que a su vez, representa la cantidad de personas usuarias de los espacios público abiertos, se determina la cantidad de “Población afectada por ICU” y en “incomodidad Térmica”, la dualidad de estas condiciones podría entonces definirse como “población en riesgo”, ya que la afectación en el confort térmico puede concluir en una amenaza a la salud pública.

Figura 29

Caracterización de la ICU y la Población Afectada en su Localización del 26 de Julio de 2019.

Año: 2019 20190726
 Mes: Julio Verano



Nota. Los polígonos de afectación se indican de acuerdo a la categoría de temperatura, el nomograma indica el porcentaje de población en incomodidad térmica.

Fuente: Elaboración propia.

La población total que habita el área afectada por la ICU en la (Figura 29) está representada con los polígonos en tonalidad de naranjas a rojo, según su clasificación, la imagen satelital corresponde al 26 de julio de 2016, la número 29 de la (Tabla 37) la población total de habitantes en los polígonos de afectación térmica es de 1,628,220, de ellos 26,845 concentrados en el polígono de categoría tres, 1,523,132 concentrados en el polígono de categoría cuatro y 78,243 concentrados en el polígono de categoría cinco como la más crítica, ya que representa la superficie con una temperatura de entre 38°C a 46 °C. El resto de las imágenes satelitales con categorías de temperatura en estrés térmico en representación de las ICU, se encuentran en el anexo 8.

De acuerdo al nomograma, con un ASV 0.7193 el porcentaje de población en confort térmico es de 95.8%, por lo tanto, el porcentaje restante representa la población en incomodidad térmica y, según el modelo UTCI, la temperatura presentada abarca las categorías desde “estrés por calor moderado” a “estrés por calor muy fuerte”, por lo tanto, como resultado son 68,385 habitantes en riesgo.

Es importante recalcar que el confort o incomodidad térmica puede estar presente durante el episodio de cualquier temperatura para ciertos individuos, sin embargo en el modelo hace una referencia generalizada, a partir de los resultados del estudio aplicado por la autora del modelo.

Tabla 38
Cantidad de Habitantes en Polígonos Definidos por Temperatura Presentada.

No.	Año	Mes	Día	Hora de captura del Satélite	Temperatura de LST en°C		ASV	%	POBLACIÓN TOTAL	POBLACIÓN VUNERABLES
					Mínim a	Máxim a				
4	2018	enero	12	18:22:37	26.1 a	26.36	0.268	5 %	120	2
5	2018	ENERO	28	18:22:28	26.1 a	34.58	0.4	4 %	55,322	2,213
6	2015	MAYO	12	18:21:35	26.1 a	41.3	0.207	18 %	785,927	141,467
7	2015	MAYO	28	18:21:37	26.1 a	38.61	0.302	16 %	383,748	61,400
16	2019	MAYO	23	18:22:12	26.1 a	32.17	0.217	13 %	55,394	7,201
18	2015	JULIO	15	18:22:06	26.1 a	47.41	0.45	6 %	6,210	373
20	2016	JULIO	1	18:22:24	26.1 a	44.07	0.35	6 %	118,026	7,082
29	2019	JULIO	26	18:22:33	26.1 a	45.56	0.719	4 %	26,845	1,127
32	2016	NOVIEMBRE	6	18:22:53	26.1 a	37.88	0.446	3 %	1,320,743	39,622
34	2017	NOVIEMBRE	9	18:22:49	26.1 a	27.72	0.281	1 %	215	2
39	2019	NOVIEMBRE	15	18:22:53	26.1 a	36.01	0.29	1 %	15,593	156

Nota. Listado de imágenes satelitales que contienen temperatura superior a los 26°C y cantidad de población por categoría.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 30

Resumen de Población En Incomodidad Térmica y Afectada por ICU por Estación del Año.



Nota. Los extremos de la temporada anual marcan un mayor número de población en confort térmico, La incomodidad térmica se identifica en las temporadas de transición.

Fuente: Elaboración propia.

5. LA DEDUCCIÓN

El objetivo principal de esta investigación es medir la afectación al confort térmico de los habitantes usuarios de los espacios públicos de la ciudad, que es provocada por el fenómeno de isla de calor urbana, para lo cual se implementaron procesos estadísticos de datos históricos que permitieron definir el periodo de estudio de acuerdo a especificaciones en la calidad de los datos meteorológicos históricos disponibles, que acotan la presencia del fenómeno a lo largo de un periodo de tiempo determinado.

La caracterización inicial fue el demostrar cuando se genera el fenómeno con mayor intensidad, de acuerdo a las condiciones climáticas locales; posteriormente con base en un proceso de teledetección, se caracteriza el fenómeno de forma, es decir, es plasmada la extensión territorial de la zona urbana donde impacta el fenómeno, el área geográfica se puede medir, y también permite identificar cuáles son las zonas y los elementos característicos contenidos en ellas. La extensión y la localización son atributos que permiten cuantificar la cantidad de habitantes y cuántos de ellos se encuentran en incomodidad térmica y vulnerables de padecer afectaciones en su salud, por mencionar algunas de las afectaciones identificadas.

Los objetivos específicos apuntalaron el cumplimiento del objetivo principal, la búsqueda de fuentes de información meteorológica y el análisis de la misma permitieron verificar la calidad de la información para justificar y establecer el periodo de estudio a cinco años, que posibilitó una referencia importante del comportamiento del fenómeno. Los resultados del proceso estadístico de la información determinaron la búsqueda de imágenes satelitales en las cuales se calculó la temperatura de la superficie de la tierra representadas en cartografía, los parámetros de temperatura establecidos para el modelo de UTCI de Jendritzky (2012) dieron la pauta para agrupar los píxeles del raster por rangos, y posteriormente ser convertidos en vectores de polígonos para poder evidenciar el fenómeno y su intensidad, y medirlo con base en la cantidad de población habitante. Con el número de habitantes, aplicando un enfoque predictivo de confort

térmico, se aplicó el modelo establecido de Nikolopoulou (2004) del cual da como resultante el porcentaje de personas en confort térmico de acuerdo a la estación del año.

Además de haberse cumplido la totalidad de los objetivos trazados de origen, los resultados permitieron responder a las preguntas planteadas desde la etapa inicial de la investigación, cuando se conceptualizaba el fenómeno, ya que definir cuál es el impacto en el confort térmico provocado por la ICU en esta ciudad representa una respuesta genérica, es decir, el impacto es semejante a las afectaciones que fueron registradas en estudios previos del fenómeno en otras ciudades en las que se han identificado diversos tipos de impacto, principalmente el de salud.

Como parte del desarrollo y la obtención de los resultados se da respuesta al segundo cuestionamiento de esta investigación, la cual demanda datos tangibles de manera que la respuesta se establece con el cálculo de la cantidad de habitantes, la unidad de medida referenciada es con base en AGEBS, que es la forma como se disponen los datos geo estadísticos de la fuente oficial INEGI.

La cantidad de personas en porcentaje referido en la hipótesis, resultó distinto en comparación con los resultados obtenidos, como consecuencia del periodo de estudio el cual amplió el espectro de análisis, y permitió obtener una cantidad precisa en los escenarios críticos en los que el fenómeno se presenta. Por un lado no se obtuvieron los resultados previstos, sin embargo, los resultados obtenidos representaron una respuesta muy definida.

Los resultados indican que el cantidad en porcentaje de personas con afectación en confort térmico y efectivamente en riesgo, representan una cantidad menor a la señalada en la hipótesis, se tiene conocimiento también que la afectación en el confort térmico depende de distintos aspectos como disciplinas que se consideran en los estudios para determinar el nivel de confort o incomodidad de los usuarios de espacios exteriores, tales como condiciones físicas y metabólicas, capacidad de adaptación, Bioclimatología, Climatología, Ergonomía, Fisiología,

Psicología, Psicofísica, Arquitectura, el nivel de arropamiento, la actividad y la postura, entre otras.

En relación a lo anterior, la cantidad de personas afectadas es un valor cambiante, es importante considerar en los escenarios más críticos puedan ayudar a preveer otro tipo de problemáticas, sin embargo, el resultado obtenido en cada una de las imágenes satelitales procesadas nos permitió dar respuesta a la pregunta de la investigación, ya que la afectación del fenómeno de ICU se puede representar de manera física en la cartografía elaborada y la cantidad de población en riesgo determinada, respuesta dirigida al segundo cuestionamiento.

Este tipo de temas se han analizado en zonas, donde efectivamente los extremos térmicos son agobiantes para los cuales se busca dar soluciones desesperadas a la concentración de temperatura en las áreas urbanas. Según los resultados obtenidos en este trabajo , la ciudad de Tijuana representa un caso diferente; si bien, no es una problemática agobiante que las medidas de mitigación sean apremiantes en este momento, gracias a la regulación térmica que provee la masa oceánica del oeste de la ciudad; ésas pequeñas variaciones identificadas en el proceso, pueden incrementarse con el paso del tiempo y tener implicaciones tanto en el confort térmico, como en las condiciones de habitabilidad en mayor población; mismas que pueden provocar condiciones de incomodidad o morbilidad, con impacto directo en zonas residenciales y zonas de uso de carácter público, considerando la tendencia de crecimiento poblacional que se ha manifestado en los últimos 10 años.

Si bien, el resultado en esta investigación pueden representar un dato alarmante, también representa información precisa para el análisis de la cantidad y las condiciones del equipamiento de salud disponible en la ciudad, ya sea público o privado; que sin duda, podría estructurar la justificación de investigaciones por desarrollar y con ello, facilitar la modificación de las coberturas de servicio de las clínicas y hospitales.

Otra aplicación que tiene la información, una vez conocidas las condiciones y elementos en la zona que provocan la presencia del fenómeno es; evitar que en el crecimiento futuro de la ciudad incidan los mismas condiciones, y de esta manera procurar la mitigación de las ICU. El disminuir las coberturas territoriales con alta concentración de temperatura en escenarios críticos representa reducir el número de personas en riesgo por incomodidad térmica y lo que esta afectación conlleva.

En la planeación del crecimiento urbano es importante que para los desarrollos de nueva creación se establezca un parámetro de superficies para espacios públicos abiertos, con el fin de priorizar el destino de las áreas de donación para parques o áreas de esparcimiento, que la finalidad del recurso del suelo sea garantizado para tal uso, y seguidamente la procuración de que los espacios estén cubiertos con vegetación que proporcione un efecto térmicos positivo, generadores de sombra principalmente en verano, y con un mínimo requerimiento de mantenimiento y mínimo consumo de agua, retomado la propuesta hecha por Ojeda Revah & Álvarez, (2000) que, con el objeto de disminuir otro tipo de riesgos a los que la población de la ciudad de Tijuana está expuesta como inundaciones, deslaves, derrumbes, y reducir el déficit de áreas verdes, plantean una estrategia de forestación urbana en las laderas de los cerros, y crear una red de áreas verdes.

Si bien el uso de los espacios públicos no ha decrecido en la ciudad de Tijuana, -quizá por el déficit existente de parques y jardines en la ciudad con respecto al número de habitantes;- se antoja necesario que para el diseño en los futuros parques y plazas, también sea considerado el aspecto de confort térmico, y reforzar el uso, la permanencia y la pertenencia de los espacios públicos, con la integración de elementos que permitan prolongar la temporalidad de los usuarios.

Con respecto a los impactos del medio ambiente local en el confort térmico, se han identificado y documentado los casos que han presentado incidencia en mortalidad relaciona con

episodios de calor natural excesivo en otras ciudades del país, sin embargo a nivel local, es importante tener identificadas las incidencias y generar éstos registros de forma sencilla, como con la implementación de una técnica de mapeo similar a la que el Dr. John Snow (1813 -1858) se le acuñó como pionero del mapeo en enfermedades, y padre de los Sistemas de Información Geográfica, (Stanwell-Smith, 2003); con el fin de ubicar un registro histórico de los casos presentados considerando características que formulen un compendio descriptivo como lugar, fecha, hora del día y otros atributos como las condiciones climáticas presentadas, que estructuren históricos de salud, pero que además, puedan tener una aplicación de pronósticos en riesgos en salud pública y plantear un esquema de prevención y previsión.

La urbanización del suelo, elemento que se asocia al fenómeno de la concentración térmica, la acción que se ha implementado para la mitigación de la ICU, es el aumento de la superficie arbolada para amortiguar los efectos. Una clave importante en esta ciudad es pensar en áreas verdes adaptadas a las condiciones climáticas, para encontrar un punto de equilibrio entre la necesidad de reforestar las áreas urbanas utilizando la mejor selección de especies de flora posible y alternativas de forestación.

El generar las áreas de paisaje desértico, si bien, no representa un alto consumo de agua, tampoco representan un regulador térmico efectivo, el diseño de paisaje adecuado puede ser una alternativa que no hay que perder de vista, para tener ciudades mucho más habitables en términos de confort térmico.

El argumento principal que se encuentra detrás de una investigación como ésta, es evidenciar que la concentración de altas temperaturas de áreas urbanas, especialmente en las ciudades mexicanas del norte; y paralelamente, reflexionar que es necesario avanzar hacia un esquema de mitigación incorporado el diseño urbano en los espacios abiertos para controlar los efectos negativos. Las investigaciones de concentración térmica en una ciudad con clima árido,

templado y seco, y con una constante al crecimiento poblacional y urbano, permiten advertir la necesidad de establecer políticas de planificación adecuadas. Sí bien es importante el impulso económico por el que está atravesando la ciudad de Tijuana, también es oportuno prever mejores condiciones urbanas que, a su vez, representan uno de los atractivos para la inversión, el crecimiento, la construcción y la redensificación. Esto implica una responsabilidad para las autoridades locales en términos de planificación urbana, ya que puede haber riesgos que se generan cuando se permite que únicamente sea el mercado el que controle la pauta del crecimiento de una ciudad.

6. BIBLIOGRAFÍA

Alchapar, N. L., Correa, E. N., & Cantón, M. A. (2012). *Índice de reflectancia solar de revestimientos verticales: potencial para la mitigación de la isla de calor urbana*. *Ambiente construido*, 12, 107-123.

Alonso, J. A. (2013). *El Planeta Tierra en peligro: Calentamiento Global, Cambio Climático, Soluciones*. Editorial Club Universitario.

Auer Jr, A. H. (1978). *Correlation of land use and cover with meteorological anomalies*. *Journal of Applied Meteorology*, 17(5), 636-643.

American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (2010). *ANSI/ASHRAE 55: 2010. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, Atlanta.

Baker, N., & Standeven, M. (1996). *Thermal comfort for free-running buildings*. *Energy and Buildings*, 23(3), 175-182.

Błażejczyk, K., Jendritzky, G., Bröde, P., Fiala, D., Havenith, G., Epstein, Y., ... & Kampmann, B. (2013). An introduction to the universal thermal climate index (UTCI). *Geographia Polonica*, 86(1), 5-10.

Błażejczyk, A., Błażejczyk, K., Baranowski, J., & Kuchcik, M. (2018). Heat stress mortality and desired adaptation responses of healthcare system in Poland. *International journal of biometeorology*, 62(3), 307-318.

Bojórquez, G. (2010). *Confort Térmico en Exteriores: Actividades en Espacios Recreativos, en Clima Cálido Seco Extremo*, Tesis de Doctorado, Universidad de Colima, Facultad de Arquitectura y Diseño, Colima, México [on-line]. Disponible en: http://digeset.ucol.mx/tesis_posgrado/Pdf/BOJORQUEZ_MORALES_GONZALO.pdf [consultada el 27 de septiembre de 2012].

Bojorquez Morales, G., & Garcia Cueto, O. R. (2017). Medidas de adaptación al cambio climático para espacios urbanos con base en la percepción térmica del usuario. Mexicali, B. C.: UABC.

Borja, J., Drnda, M., Fiori, M., Iglesias, M., & Muxí, Z. (2003). *La ciudad conquistada* (pp. pp-111). Madrid: Alianza.

Bravo, J. L., Nava, M. M., & Muhlia, A. (2000). *Relaciones entre la magnitud del valor máximo de ozono, la radiación solar y la temperatura ambiente en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México*. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 16(2), 45-54.

Bridgman, Warner and Dobson (1995). *URBAN BYOPHISICAL ENVIRIOMENTS*, Oxford university press Australia, pp. 151

Carvajal León, A. (2021). Impacto del efecto de isla de calor urbana (UHI) sobre la demanda energética y el confort térmico de los edificios de la avenida de la Cruz Roja de Sevilla.

Casillas A. y García R., 2009. *Identificación de la Isla Urbana de calor en Mexicali, B.C. Mediante Imágenes de Satélite y el uso de Sistemas de Información Geográfica*. *Sociedad Latinoamericana de Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial Capítulo México Selper – Capítulo – México Reunión Nacional*.

Casillas Higuera A., García Cueto O. R. y Leiva Camacho O. 2012. *Detección de la Isla Urbana de Calor mediante Modelación Dinámica: Caso Mexicali, México*. *Información Tecnológica*, en revisión.

Chandler, T. J. (1965). *The climate of London*. London: Hutchinson, 292 pp. Progress in Physical Geography first published on July, 27, 2009.

Clark, R. P., & Edholm, O. G. (1985). *Man and his thermal environment*. London: Arnold.

CONAGUA, C. N. (9 de Enero de 2019). *Plataforma de Información Climática*. Obtenido de Estación Sinóptica Meteorológica Automática (ESMA): <https://smn.conagua.gob.mx/es/observando-el-tiempo/estaciones-meteorologicas-automaticas-ema-s>

Coral, D. S. (2013). *Metodología de evaluación de la isla de calor urbana y su utilización para identificar problemáticas energéticas y de planificación urbana*. Universidad de Zaragoza, Zaragoza.

Congedo, Luca, (2021). Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. *Journal of Open Source Software*, 6(64), 3172, <https://doi.org/10.21105/joss.03172>

(CRE), C. R. (2014). *Comisión Reguladora de Energía (CRE)*. (G. d. México, Productor)
Obtenido de Comisión Reguladora de Energía: <https://www.gob.mx/cre/que-hacemos>

Efthymiou, C., Santamouris, M., Kolokotsa, D., & Koras, A. (2016). Development and testing of photovoltaic pavement for heat island mitigation. *Solar Energy*, 130, 148-160.

Ellefsen, R. (1991). Mapping and measuring buildings in the canopy boundary layer in ten US cities. *Energy and Buildings*, 16(3-4), 1025-1049.

Enrique, R., Lucía, A., & ARANDA, P. (2014). Mortalidad por calor natural excesivo en el noroeste de México: Condicionantes sociales asociados a esta causa de muerte¹. *Frontera Norte*, 26(52), 155-177.

Eliasson, I., & Svensson, M. K. (2003). Spatial air temperature variations and urban land use-a statistical approach. *Meteorological Applications*, 10(2), 135-149.

Escourrou, G., & Le Climat et la Ville, N. (1991). University Editions. *Paris, France*.

Epa, U. S. (2008). *National Secondary Drinking Water Regulations*. USEP Agency (Ed.). Washington.

Fanger, P. O. (1972). *Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering*. New York: McGraw-Hill Book Company, 244.

Fanger, P. O. (1973). Assessment of man's thermal comfort in practice. *Occupational and Environmental Medicine*, 30(4), 313-324.

Fuentes Freixanet, V. A. (2009). Modelo de análisis climático y definición de estrategias de diseño bioclimático para diferentes regiones de la República Mexicana.

Fuentes Pérez, C. A. (2015). Islas de calor urbano en Tampico, México: Impacto del microclima a la calidad del hábitat. *Nova scientia*, 7(13), 495-515.

García Gomez, C., Bojórquez Morales, G., & Ruiz Torres, P. (2011). Sensación térmica percibida en vivienda económica y auto-producida, en periodo cálido, para clima cálido húmedo. *Ambiente Construido*, 11, 099-111.

García, E. (1988). *Apuntes de climatología*. Mexico, D. F.: *Talleres Larios*.

Godoy Muñoz, A. D. J. (2012). El confort térmico adaptativo. *Aplicación en la edificación en España* (Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).

Gómez, N., Rojas, A., & Higuera, E. (2010). Parámetros (PS) Sostenibles en el planeamiento y diseño Ambiental del espacio microurbano (Venezuela). Pluris 2010. 4to Congreso Luso-Brasileiro para o Planeamento Urbano, Regional, Integrado. Sustentavel, Universidad de Algarve, Faro, Portugal.

González, D. y Pérez M. (2004). Espacio público y ciudad: imagen e identidad en conflicto. En: Gonzalez, D. y Olivares, A. (Ed). *Ciudad, Arquitectura y Medio Ambiente: aportaciones para el debate*. (75-94). Guadalajara: Universidad de Guadalajara.

Gonzalez-Trevizo, M. E., Martinez-Torres, K. E., Armendariz-Lopez, J. F., Santamouris, M., Bojorquez-Morales, G., & Luna-Leon, A. (2021). Research trends on environmental, energy and vulnerability impacts of Urban Heat Islands: An overview. *Energy and Buildings*, 246, 111051.

Glossary of Terms for Thermal Physiology (2003). *Journal of Thermal Biology* 28, 75-106

Grajeda Rosado, R. M. (2020). Calor antropogénico vehicular en los parámetros físicos de un cañón urbano para un clima cálido húmedo.

Griffiths, J. F. (1985). Climatología aplicada. 1a. Edición en Español. Publicaciones Cultural. México, DF.

Grigg, D. (1965). *The logic of regional systems. Annals of the Association of American Geographers*, 55(3), 465-491.

Guía de prácticas hidrológicas “Gestión de recursos hídricos y aplicación de prácticas hidrológicas”, Organización Meteorológica Mundial (OMM), OMM-N°168, 5 ta edición (1994), pp. 273-303

Guzmán, J. R. J. (2014). El frío y la ausencia de calor. *Ciencia y sociedad*, 39(1), 101-120.

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista M. (2014). *Metodología de la investigación*. México: *Mc Graw Hill*.

Höppe, P. (2002). Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort. *Energy and Building*, 34, 661-665.

Huang L., Zhao D., Wang J., Zhu J., Li J., 2008. Scale Impacts Of Land Cover And Vegetation Corridors On Urban Thermal Behavior In Nanjing, China, *Theoretical and applied Climatology*. Vol. 94: 241– 257.

Humphreys M. A. (1975) Field studies of thermal comfort compared and applied, *Building Research Establishment, Current Paper* 76-75.

INEGI, I. N. (31 de 10 de 2019). *Red Nacional de Metadatos (RNM)*. Obtenido de CENSO DE POBLACIÓN Y VIVIENDA 2020: <https://www.inegi.org.mx/rnm/index.php/catalog/632/data-dictionary>

Instituto Metropolitano de Planeación, (2020). Planes y Programas: Plan Municipal de desarrollo Urbano de Tijuana, Baja California 2008-2030, Tijuana, México: IMPLAN, recuperado de <https://implan.tijuana.gob.mx/>

International Organization for Standardization (2005). *ISO 7730: 2005 (E). Ergonomics of the Thermal Environment - Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort Using*

Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria, Third edition, Ginebra.

Jáuregui Ostos, E. (1981). Climatología de difusión de la ciudad de Tijuana, BC. *Investigaciones geográficas*, (11), 55-91.

Jáuregui, E., 1997. *Heat island development in Mexico city*. *Atm. Env.*, 31, 22, 3821-3831.

Jauregui E, 1997. Heat Island Development in México city. *Atmospheric Environment*, Vol 31. No. 22.

Jáuregui, E. (2004). Impacto del uso del suelo en el clima de la Ciudad de México. *Investigaciones geográficas*, (55), 46-60.

Jauregui, E. (1987). Urban heat island development in medium and large urban areas in Mexico. *Erdkunde*, 48-51.

Jendritzky, G., de Dear, R., & Havenith, G. (2012). UTCI—Why another thermal index?. *International journal of biometeorology*, 56(3), 421-428.

Jendritzky, G., Havenith, G., Weihs, P., Batchvarova, E., & DeDear, R. (2007). The universal thermal climate index UTCI goal and state of COST action 730. *Environmental ergonomics XII. Biomed, Ljubljana*, 509-512

Levermore, G. J., & Cheung, H. K. W. (2012). A low-order canyon model to estimate the influence of canyon shape on the maximum urban heat island effect. *Building Services Engineering Research and Technology*, 33(4), 371-385.

Loridan, T., Grimmond, C. S. B., Offerle, B. D., Young, D. T., Smith, T. E., Järvi, L., & Lindberg, F. (2011). Local-scale urban meteorological parameterization scheme (LUMPS): longwave radiation parameterization and seasonality-related developments. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 50(1), 185-202.

Loridan, T., & Grimmond, C. S. B. (2012). Characterization of energy flux partitioning in urban environments: links with surface seasonal properties. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 51(2), 219-241.

Martínez Martínez, J. (2014). *Estudio de la isla de calor de la ciudad de Alicante*.

Naciones Unidas. (20 de Abril de 2018). Objetivos del Desarrollo Sostenible. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Nakata-Osaki, C. M., Souza, L. C. L., & Rodrigues, D. S. (2018). THIS–Tool for Heat Island Simulation: A GIS extension model to calculate urban heat island intensity based on urban geometry. *Computers, Environment and Urban Systems*, 67, 157-168.

Narumi, D., Kondo, A., & Shimoda, Y. (2009). Effects of anthropogenic heat release upon the urban climate in a Japanese megacity. *Environmental research*, 109(4), 421-431.

National Research Council. (2008). *Evaluating research efficiency in the US Environmental Protection Agency*. National Academies Press.

Nikolopoulou, M., Baker, N., & Steemers, K. (1999). Improvements to the globe thermometer for outdoor use. *Architectural Science Review*, 42(1), 27-34.

Nikolopoulou, M., Lykoudis, S., & Kikira, M. (2004). Thermal comfort models for open urban spaces. *In Designing open spaces in the urban environment: A bioclimatic approach* (pp. 2-6). Centre for Renewable Energy Sources, EESD, FP5.

Nikolopoulou, M., & Lykoudis, S. (2006). Thermal comfort in outdoor urban spaces: analysis across different European countries. *Building and environment*, 41(11), 1455-1470.

Nikolopoulou, M., & Lykoudis, S. (2007). Use of outdoor spaces and microclimate in a Mediterranean urban area. *Building and environment*, 42(10), 3691-3707.

Ojeda Revah, L., & Álvarez, G. (2000). La reforestación de Tijuana, Baja California como un mecanismo de reducción de riesgos naturales. *Estudios fronterizos*, 1(2), 9-31.

Oke, T. R. *Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. Instruments and observing methods Report (81)*. 2004. WMO.

Oke, T.R. (1982), *The energetic basis of the urban heat island*. Q.J.R. Meteorol. Soc., 108: 1-24.
doi:10.1002/qj.49710845502

Oke, T. R. (1984). *Towards a prescription for the greater use of climatic principles in settlement planning*. *Energy and buildings*, 7(1), 1-10.

Oke, T.R. 1987. *Boundary Layer Climates*. Methuen, London. 435pp.

Oke, T. R. (2004). *Initial guidance to obtain representative meteorological observation sites*. Instruments and Methods of Observation Programme (No. 81, pp. 6-8). IOM Report.

Oke, T. R. (2008). *Urban observations. Guide to meteorological instruments and methods of observation, Part II of Observing Systems*, WMO-No. 8. World Meteorological Organization, II-11-1-II-11-25.

ONU, O. d. (2015). 17 objetivos para transformar nuestro mundo. *Obtenido de Objetivos de Desarrollo Sostenible*: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Ordóñez, J. L. (2012). *Espectro electromagnético y espectro radioeléctrico*. Manual formativo de ACTA, (62), 17-31.

Pares, M., Pou, G., & Terradas, J. (1985). *Descobrir el Medí Urba; Ecología d'una ciutat*: Barcelona. *Centre del Medi Urba, Barcelona*.

Prats, J. M. C., Vicente-Serrano, S. M., & Sánchez, M. A. S. (2005). *Los efectos de la urbanización en el clima de Zaragoza (España): La isla de calor y sus factores condicionantes*. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (40).

Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población Tijuana, B.C. 2010-2030. 2010. Instituto Metropolitano de Planeación Tijuana. Tijuana.

Rincón, J. (2015). *Confort térmico en bioclima semi-frío: Estimación a partir de los enfoques de estudio adaptativo y predictivo*. Tesis Doctoral. Ciudad de México.

Ruiz, M. A., Correa Cantaloube, E. N., & Cantón, M. A. (2015). *Incidencia de la selección de la especie forestal en el confort térmico de cañones urbanos de zonas áridas: El caso de Mendoza, Argentina*.

Ruiz, M. A., Correa, É. N., & Cantón, M. A. (2011). *Contrastación entre la evaluación objetiva y subjetiva del confort térmico en espacios abiertos urbanos en zonas áridas*. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 15.

Sahagun, M.I., Camacho, I., González, M., Armendáriz, J. (2018) *Techo verde como elemento reductor de transferencia de calor en clima cálido seco extremo*, Revista de Ingeniería Biomédica y Biotecnología, 2, 6, pp 1-10, Ecorfan

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.

Santamouris, M., Haddad, S., Saliari, M., Vasilakopoulou, K., Synnefa, A., Paolini, R., ... & Fiorito, F. (2018). *On the energy impact of urban heat island in Sydney: Climate and energy potential of mitigation technologies*. Energy and Buildings, 166, 154-164.

Santamouris, M., Haddad, S., Fiorito, F., Osmond, P., Ding, L., Prasad, D., ... & Wang, R. (2017). *Urban heat island and overheating characteristics in Sydney, Australia. An analysis of multiyear measurements*. Sustainability, 9(5), 712.

Scherer, D., Fehrenbach, U., Beha, H. D., & Parlow, E. (1999). *Improved concepts and methods in analysis and evaluation of the urban climate for optimizing urban planning processes*. Atmospheric Environment, 33(24-25), 4185-4193.

Svensson, M. K., Eliasson, I., & Holmer, B. (2002). A GIS based empirical model to simulate air temperature variations in the Göteborg urban area during the night. *Climate Research*, 22(3), 215-226.

Stanwell-Smith, R. (2003). Book of the Month Cholera, Chloroform, and the Science of Medicine: A Life of John Snow.

Stewart, I. D., & Oke, T. R. (2012). *Local climate zones for urban temperature studies. Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(12), 1879-1900.

Thorsson, S., Lindberg, F., Eliasson, I., & Holmer, B. (2006, June). *Measurements of mean radiant temperature in different urban structures. In 6th International Conference on Urban Climate (Vol. 8677870)*. Urban Climate Group, Department of Geosciences, Göteborg University: Sweden.

Tijuana, A. d. (10 de enero de 2021). Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana Municipal. Obtenido de <https://policia.tijuana.gob.mx/index.aspx>

UNEP, E., & Arendal, U. G. (2010). *Vital Climate Change Graphics for Latin America and the Caribbean*.

UNICEF. (3 de Julio de 2022). *Pasar tiempo al aire libre sin peligro durante la COVID-19*. Obtenido de unicef Para Cada Infancia: <https://www.unicef.org/es/coronavirus/pasar-tiempo-al-aire-libre-sin-peligro-durante-covid19>

Urrea, V., Ochoa, A., & Mesa, O. (2017). *Variabilidad espacial y temporal del ciclo anual de lluvia en Colombia*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín.

U.S. Environmental Protection Agency. 2008. *"Urban Heat Island Basics."* In: *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies*. Draft. <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>.

Veneros, J., García, L., Morales, E., Gómez, V., Torres, M., & López-Morales, F. (2020). Aplicación de sensores remotos para el análisis de cobertura vegetal y cuerpos de agua. *Idesia* (Arica), 38(4), 99-107.

Voogt, J. A. (2008). Islas de calor en zonas urbanas: Ciudades más calientes. *EEUU: American Institute of Biological Sciences*

Wilmers, F. (1990). *Effects of vegetation on urban climate and buildings*. *Energy and buildings*, 15(3-4), 507-514.

Yang, J., Tan, K. K., Santamouris, M., & Lee, S. E. (2019). Building energy consumption raw data forecasting using data cleaning and deep recurrent neural networks. *Buildings*, 9(9), 204.

Zhou, Y., & Gurney, K. (2010). A new methodology for quantifying on-site residential and commercial fossil fuel CO₂ emissions at the building spatial scale and hourly time scale. *Carbon Management*, 1(1), 45-56.

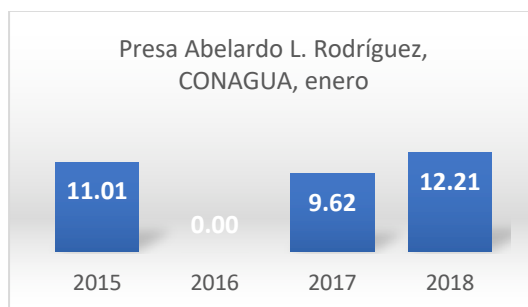
7. ANEXOS

7 Anexo 1

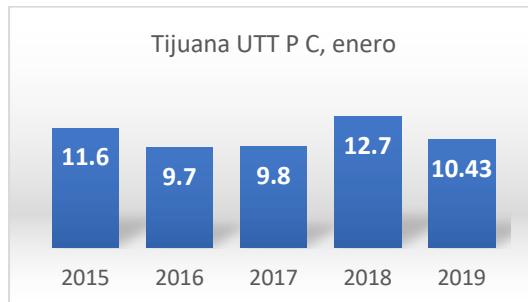
7.1 TEMPERATURA MÍNIMA MENSUAL POR ESTACIÓN METEOROLÓGICA

7.1.1 GRÁFICAS DE TEMPERATURA MÍNIMA MENSUAL ENERO

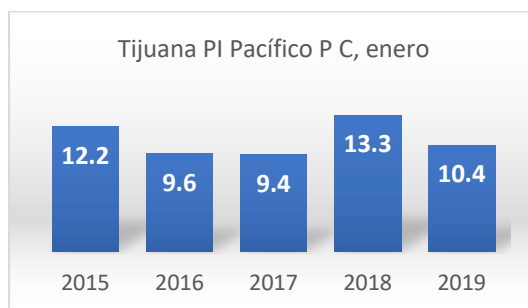
ENERO	
Presa Abelardo L. Rodríguez, CONAGUA	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	11.01
2016	N/A
2017	9.62
2018	12.21



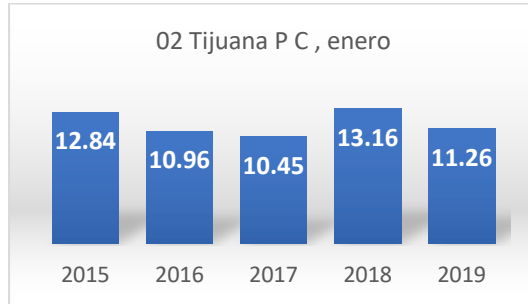
ENERO	
UTT El Refugio, Protección Civil	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	11.6
2016	9.7
2017	9.8
2018	12.7
2019	10.43



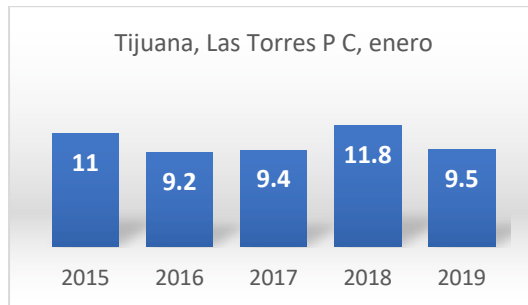
ENERO	
PI PACÍFICO	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	12.20
2016	9.60
2017	9.40
2018	13.30
2019	10.40



ENERO	
02 Tijuana	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	12.84
2016	10.96
2017	10.45
2018	13.16
2019	11.26

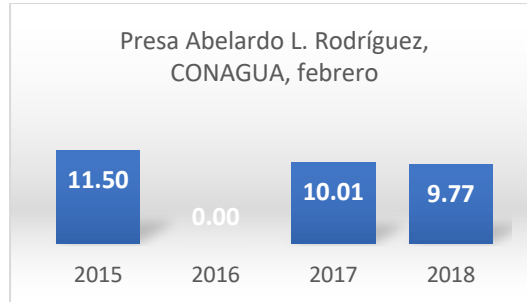


ENERO	
Las Torres P C	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE
2015	11
2016	9.2
2017	9.4
2018	11.8
2019	9.5

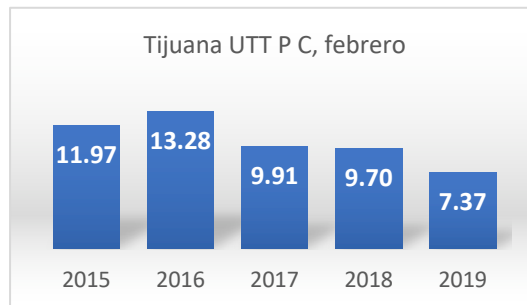


7.1.2 TEMPERATURA MÍNIMA MENSUAL FEBRERO

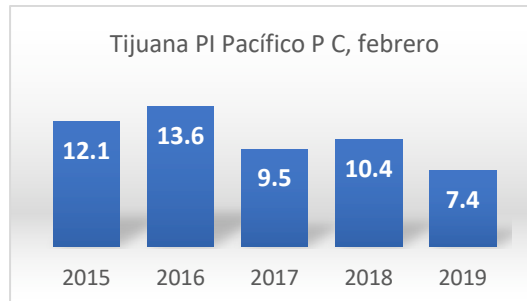
FEBRERO	
Presa Abelardo L. Rodríguez, CONAGUA	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	11.50
2016	N/A
2017	10.01
2018	9.77



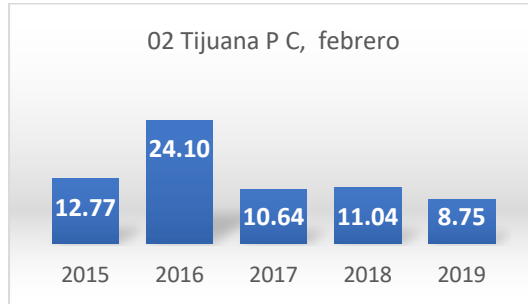
FEBRERO	
UTT El Refugio, Protección Civil	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	11.97
2016	13.28
2017	9.91
2018	9.70
2019	7.37



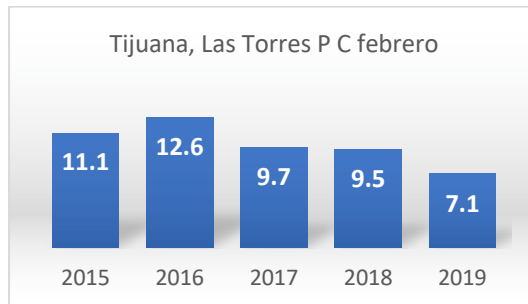
FEBRERO	
PI PACÍFICO	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	12.10
2016	13.60
2017	9.50
2018	10.40
2019	7.40



FEBRERO	
02 Tijuana	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	12.77
2016	24.10
2017	10.64
2018	11.04
2019	8.75



FEBRERO	
Las Torres P C	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	11.1
2016	12.6
2017	9.7
2018	9.5
2019	7.1

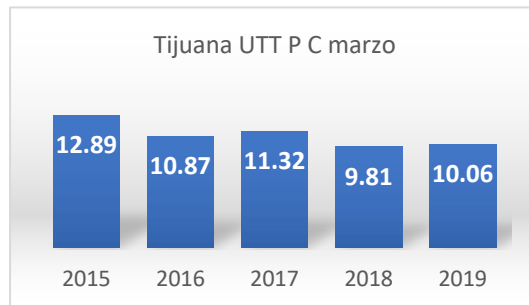


7.1.3 TEMPERATURA MÍNIMA MENSUAL MARZO

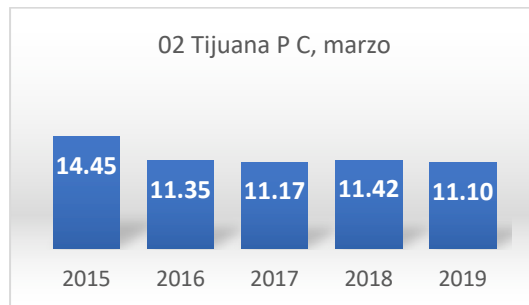
MARZO	
Presa Abelardo L. Rodríguez, CONAGUA	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	12.55
2016	10.80
2017	11.30
2018	10.63



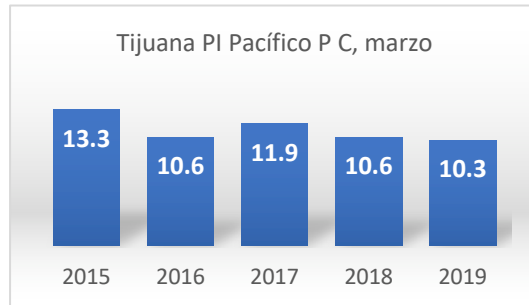
MARZO	
UTT El Refugio, Protección Civil	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	12.89
2016	10.87
2017	11.32
2018	9.81
2019	10.06



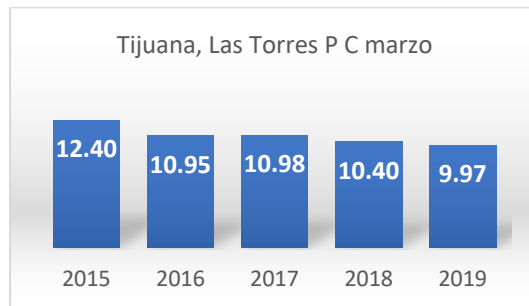
MARZO	
02 Tijuana	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	14.45
2016	11.35
2017	11.17
2018	11.42
2019	11.10



MARZO	
PI PACÍFICO	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	13.30
2016	10.60
2017	11.90
2018	10.60
2019	10.30

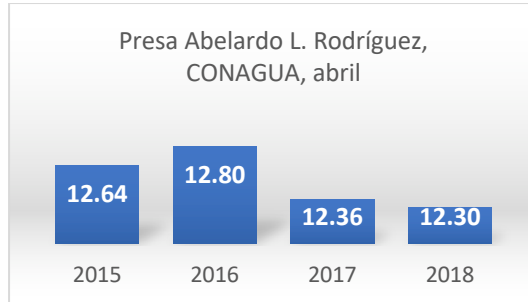


MARZO	
Las Torres P C	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	12.40
2016	10.95
2017	10.98
2018	10.40
2019	9.97

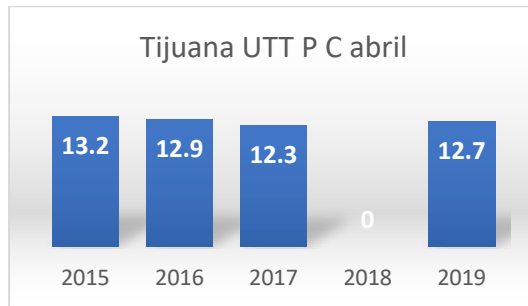


7.1.4 TEMPERATURA MÍNIMA MENSUAL ABRIL

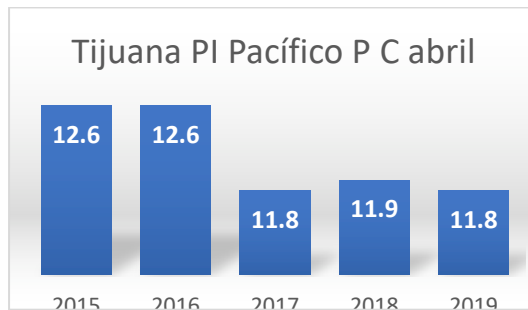
ABRIL	
Presa Abelardo L. Rodríguez, CONAGUA	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	12.64
2016	12.80
2017	12.36
2018	12.30



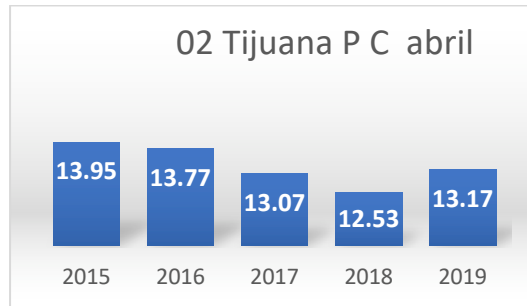
ABRIL	
UTT El Refugio, Protección Civil	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	13.20
2016	12.90
2017	12.30
2018	N/A
2019	12.70



ABRIL	
PI PACÍFICO	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	12.60
2016	12.60
2017	11.80
2018	11.90
2019	11.80



ABRIL	
02 Tijuana	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	13.95
2016	13.77
2017	13.07
2018	12.53
2019	13.17

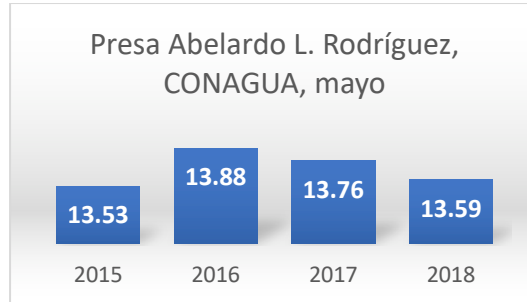


ABRIL	
Las Torres P C	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	12.2
2016	n/a
2017	12.1
2018	11.9
2019	12.4

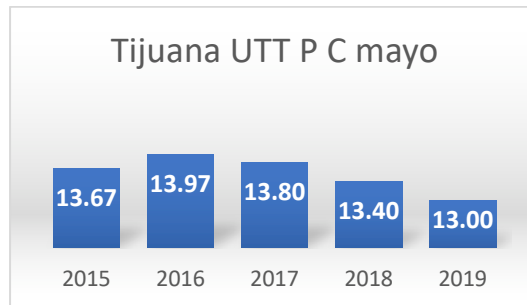


7.1.5 TEMPERATURA MÍNIMA MENSUAL MAYO

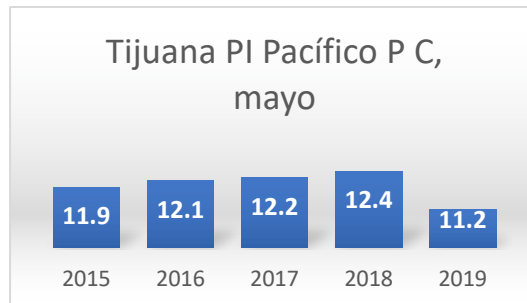
MAYO	
Presa Abelardo L. Rodríguez, CONAGUA	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	13.53
2016	13.88
2017	13.76
2018	13.59



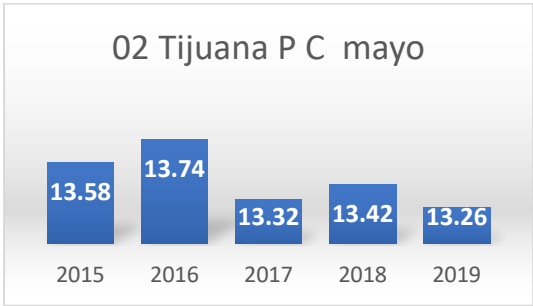
MAYO	
UTT El Refugio, Protección Civil	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	13.67
2016	13.97
2017	13.80
2018	13.40
2019	13.00



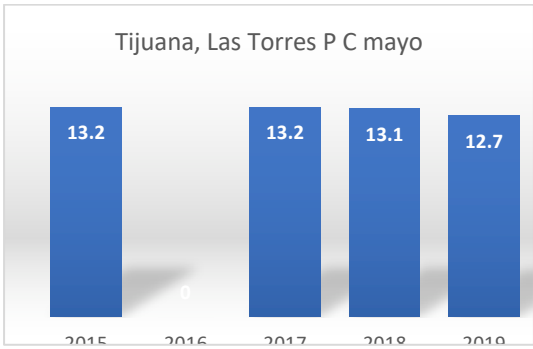
MAYO	
PI PACÍFICO	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	11.90
2016	12.10
2017	12.20
2018	12.40
2019	11.20



MAYO	
02 Tijuana	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	13.58
2016	13.74
2017	13.32
2018	13.42
2019	13.26

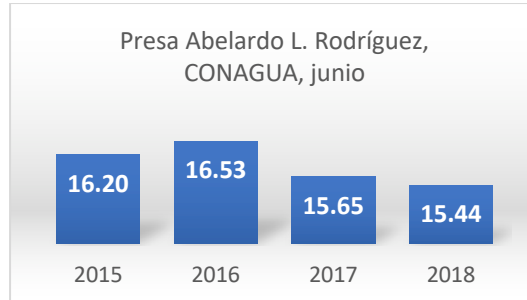


MAYO	
Las Torres P C	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	13.2
2016	n/a
2017	13.2
2018	13.1
2019	12.7

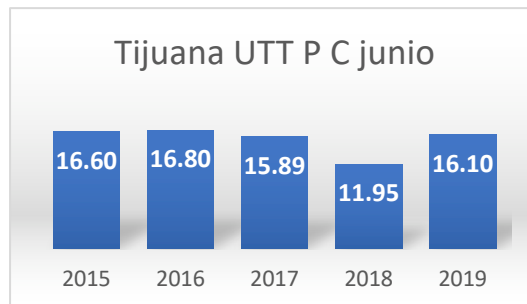


7.1.6 TEMPERATURA MÍNIMA MENSUAL JUNIO

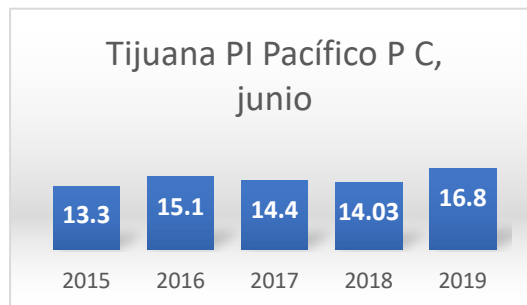
JUNIO	
Presa Abelardo L. Rodríguez, CONAGUA	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	16.20
2016	16.53
2017	15.65
2018	15.44



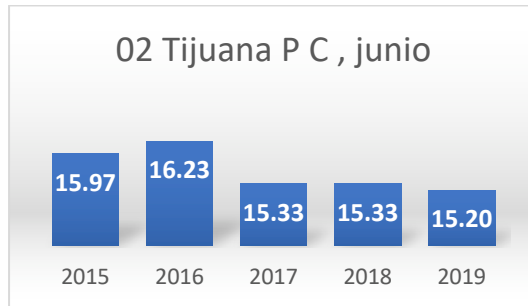
JUNIO	
UTT El Refugio, Protección Civil	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	16.60
2016	16.80
2017	15.89
2018	11.95
2019	16.10



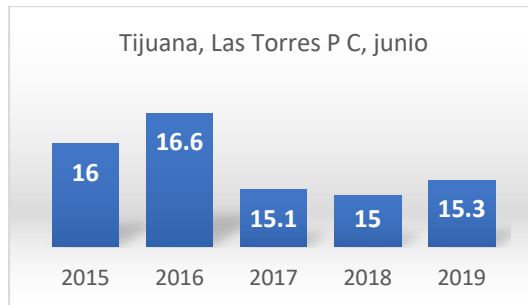
JUNIO	
PI PACÍFICO	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	13.30
2016	15.10
2017	14.40
2018	14.03
2019	16.80



JUNIO	
02 Tijuana	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	15.97
2016	16.23
2017	15.33
2018	15.33
2019	15.20

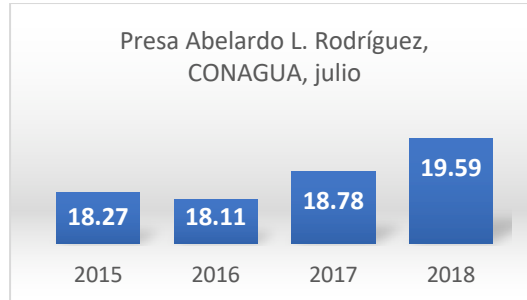


JUNIO	
Las Torres P C	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	16
2016	16.6
2017	15.1
2018	15
2019	15.3

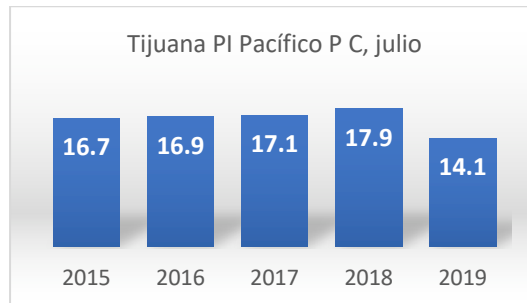


7.1.7 TEMPERATURA MÍNIMA MENSUAL JULIO

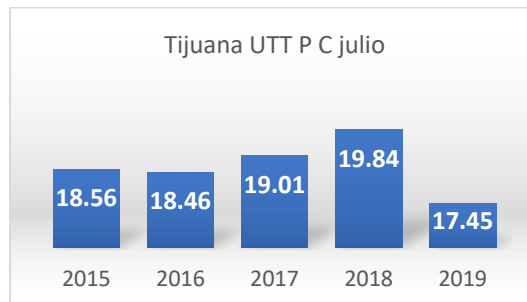
JULIO	
Presa Abelardo L. Rodríguez, CONAGUA	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	18.27
2016	18.11
2017	18.78
2018	19.59



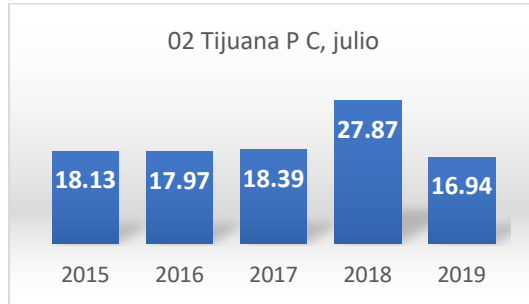
JULIO	
PI PACÍFICO	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	16.70
2016	16.90
2017	17.10
2018	17.90
2019	14.10



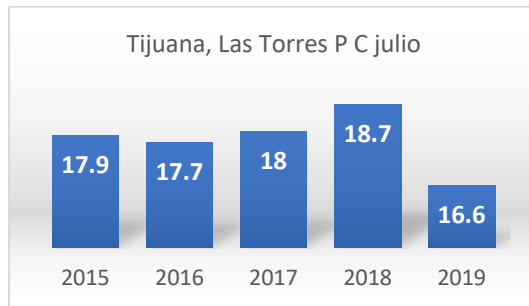
JULIO	
UTT El Refugio, Protección Civil	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	18.56
2016	18.46
2017	19.01
2018	19.84
2019	17.45



JULIO	
02 Tijuana	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	18.13
2016	17.97
2017	18.39
2018	19.00
2019	16.94

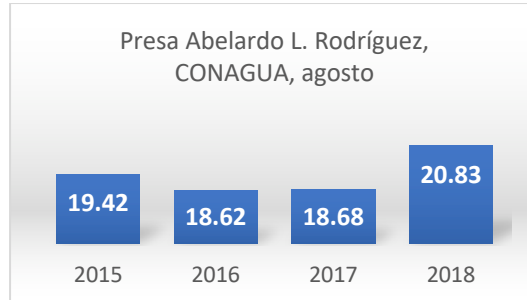


JULIO	
Las Torres P C	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	17.9
2016	17.7
2017	18
2018	18.7
2019	16.6

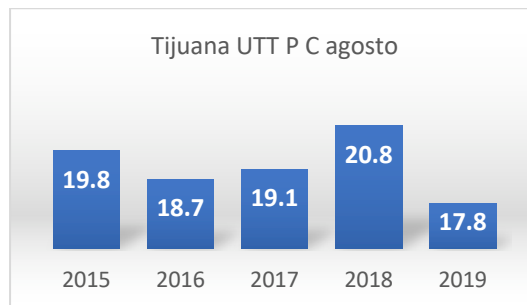


7.1.8 TEMPERATURA MÍNIMA MENSUAL AGOSTO

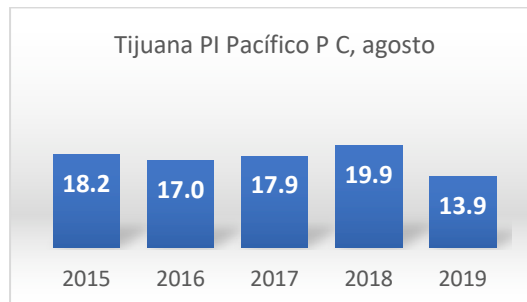
AGOSTO	
Presa Abelardo L. Rodríguez, CONAGUA	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	19.42
2016	18.62
2017	18.68
2018	20.83



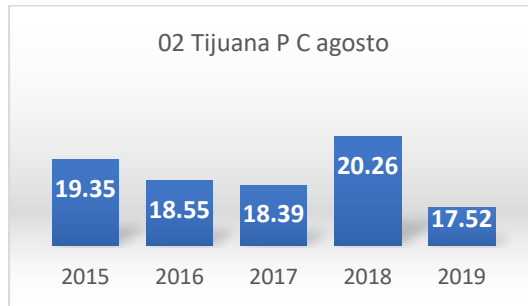
AGOSTO	
UTT El Refugio, Protección Civil	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	19.80
2016	18.70
2017	19.10
2018	20.80
2019	17.80



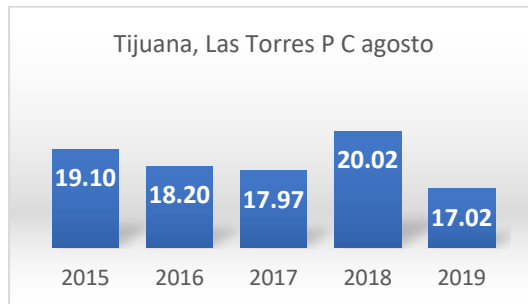
AGOSTO	
PI PACÍFICO	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	18.20
2016	16.97
2017	17.90
2018	19.90
2019	13.90



AGOSTO	
02 Tijuana	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	19.35
2016	18.55
2017	18.39
2018	20.26
2019	17.52

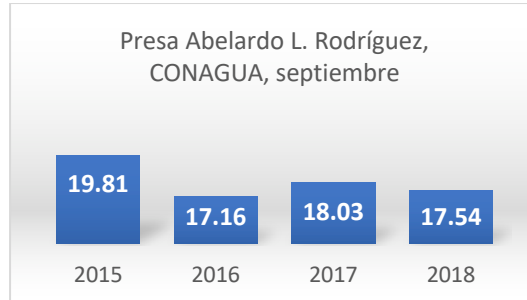


AGOSTO	
Las Torres P C	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	19.10
2016	18.20
2017	17.97
2018	20.02
2019	17.02

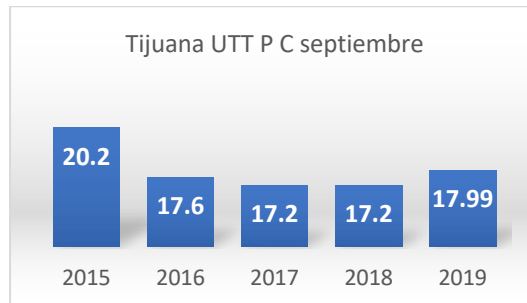


7.1.9 TEMPERATURA MÍNIMA MENSUAL SEPTIEMBRE

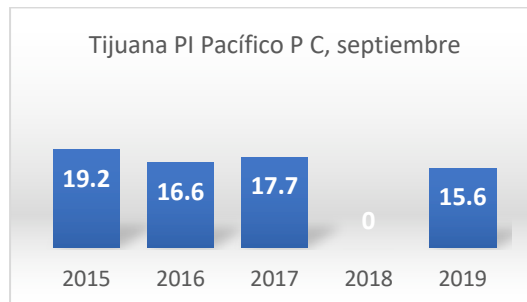
SEPTIEMBRE	
Presa Abelardo L. Rodríguez, CONAGUA	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	19.81
2016	17.16
2017	18.03
2018	17.54



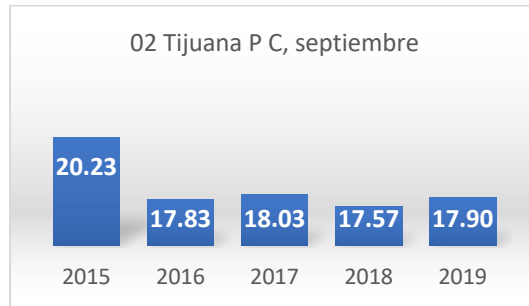
SEPTIEMBRE	
UTT El Refugio, Protección Civil	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	20.20
2016	17.60
2017	17.20
2018	17.20
2019	17.99



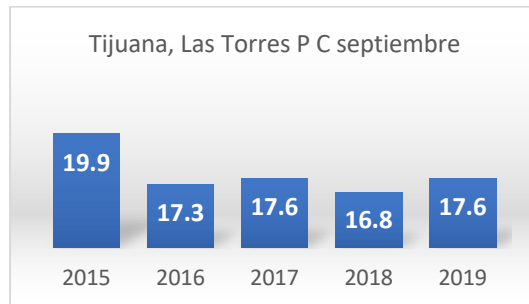
SEPTIEMBRE	
PI PACÍFICO	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	19.20
2016	16.60
2017	17.70
2018	n/a
2019	15.60



SEPTIEMBRE	
02 Tijuana	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	20.23
2016	17.83
2017	18.03
2018	17.57
2019	17.90



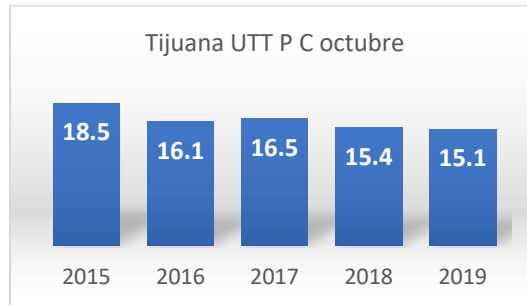
SEPTIEMBRE	
Las Torres P C	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	19.90
2016	17.30
2017	17.60
2018	16.80
2019	17.60



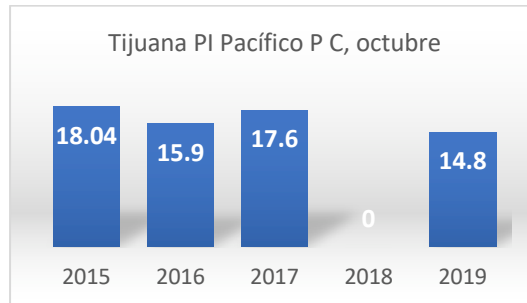
7.1.10 TEMPERATURA MÍNIMA MENSUAL OCTUBRE

OCTUBRE	
Presa Abelardo L. Rodríguez, CONAGUA	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	N/A
2016	15.73
2017	16.28
2018	N/A

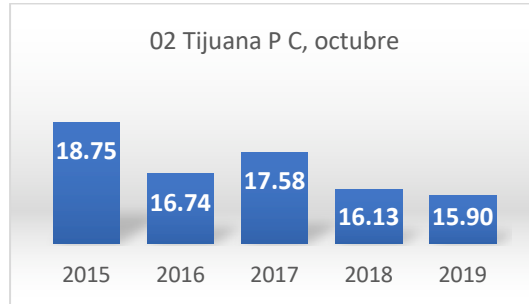
OCTUBRE	
UTT El Refugio, Protección Civil	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	18.50
2016	16.10
2017	16.50
2018	15.40
2019	15.10



OCTUBRE	
PI PACÍFICO	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	18.04
2016	15.90
2017	17.60
2018	n/a
2019	14.80



OCTUBRE	
02 Tijuana	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	18.75
2016	16.74
2017	17.58
2018	16.13
2019	15.90



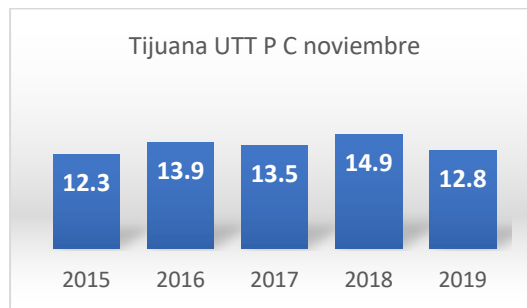
OCTUBRE	
Las Torres P C	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	18.03
2016	15.96
2017	16.50
2018	15.10
2019	14.70



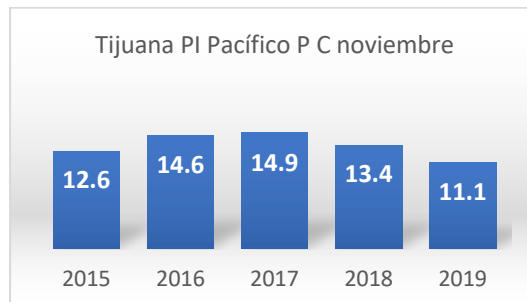
7.1.11 TEMPERATURA MÍNIMA MENSUAL NOVIEMBRE

NOVIEMBRE	
Presa Abelardo L. Rodríguez, CONAGUA	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	N/A
2016	13.26
2017	13.37
2018	N/A

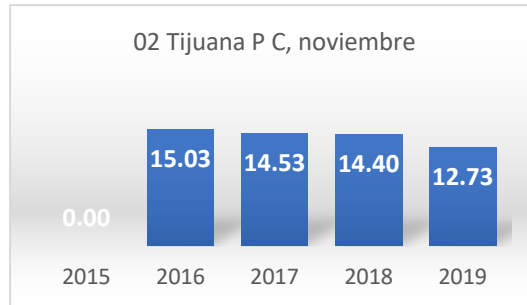
NOVIEMBRE	
UTT El Refugio, Protección Civil	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	12.30
2016	13.90
2017	13.50
2018	14.90
2019	12.80



NOVIEMBRE	
PI PACÍFICO	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	12.60
2016	14.60
2017	14.90
2018	13.40
2019	11.10



NOVIEMBRE	
02 Tijuana	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	na
2016	15.03
2017	14.53
2018	14.40
2019	12.73



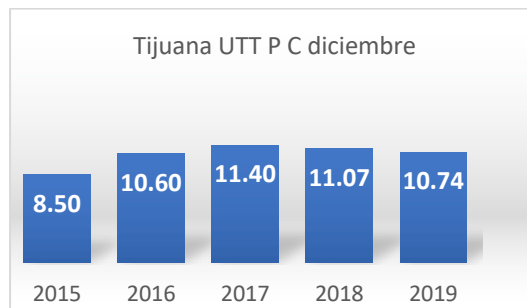
NOVIEMBRE	
Las Torres P C	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	12.2
2016	13.6
2017	13.1
2018	13.1
2019	11.9



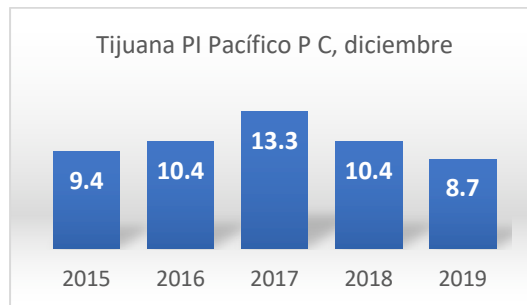
7.1.12 TEMPERATURA MÍNIMA MENSUAL DICIEMBRE

DICIEMBRE	
Presa Abelardo L. Rodríguez, CONAGUA	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	N/A
2016	10.53
2017	11.17
2018	N/A

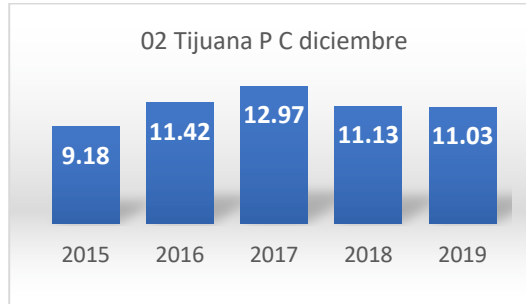
DICIEMBRE	
UTT El Refugio, Protección Civil	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	8.50
2016	10.60
2017	11.40
2018	N/A
2019	10.74



DICIEMBRE	
PI PACÍFICO	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	9.40
2016	10.40
2017	13.30
2018	10.40
2019	8.70



DICIEMBRE	
02 Tijuana	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	9.18
2016	11.42
2017	12.97
2018	11.13
2019	11.03

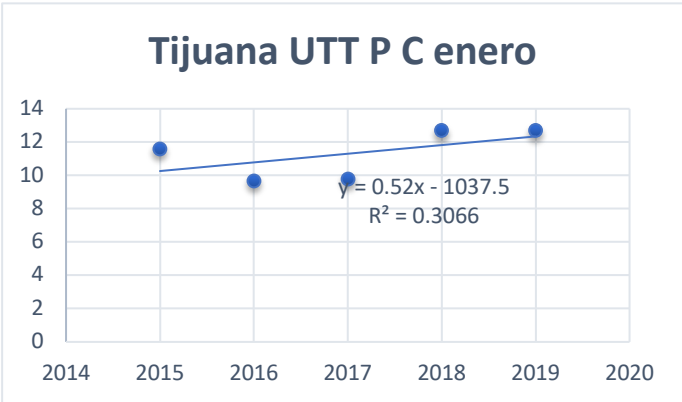
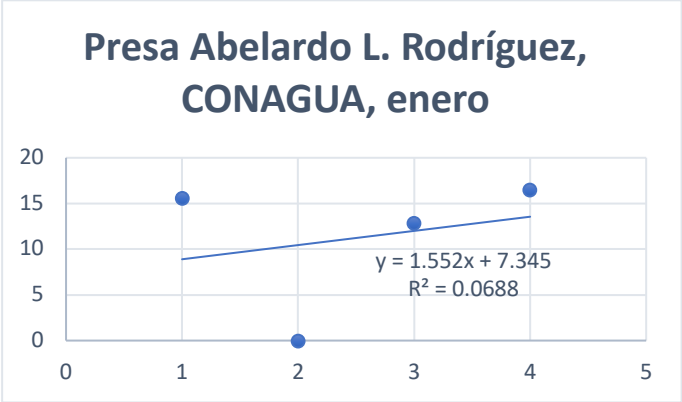


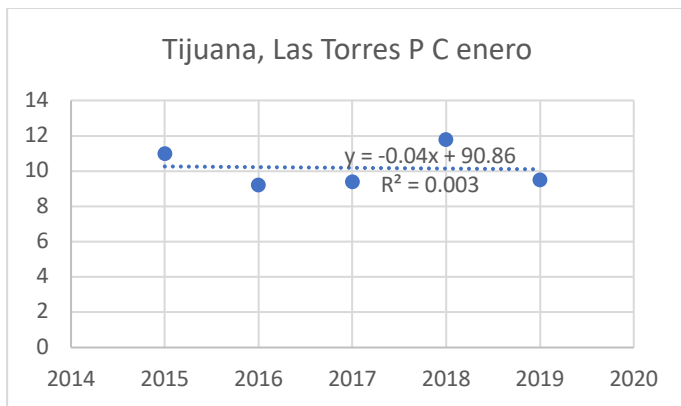
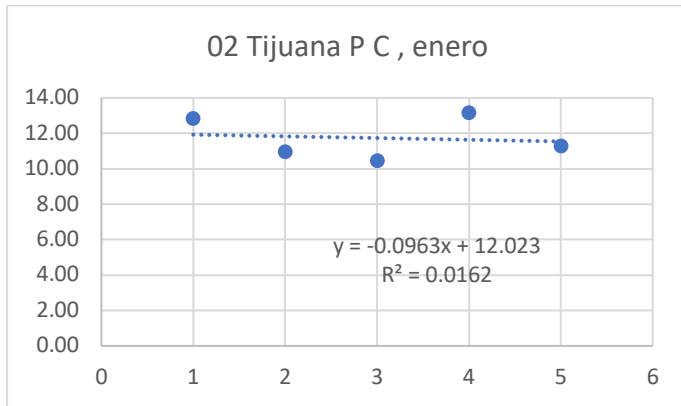
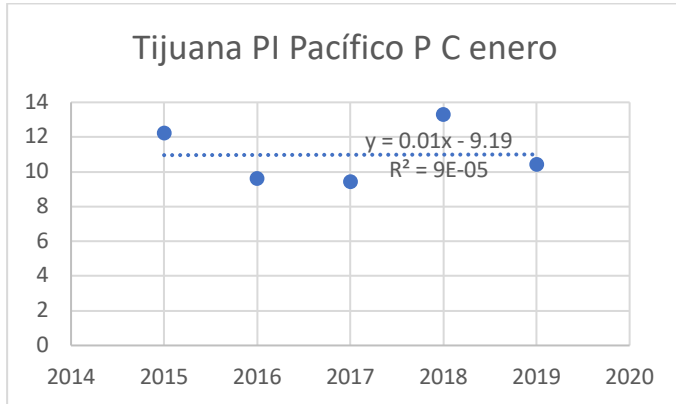
DICIEMBRE	
Las Torres P C	
AÑO	PROMEDIO MÍNIMA DE TEMPERATURA
2015	8.30
2016	10.50
2017	11.10
2018	9.60
2019	9.90

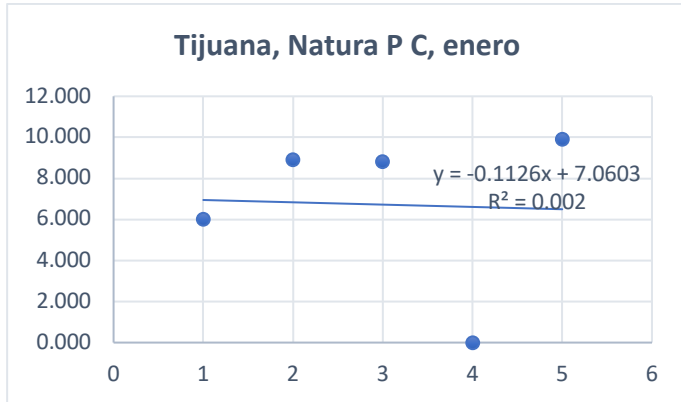


7.2 GRÁFICAS DE DISPERSIÓN CON LÍNEA DE TENDENCIA MENSUAL POR EM

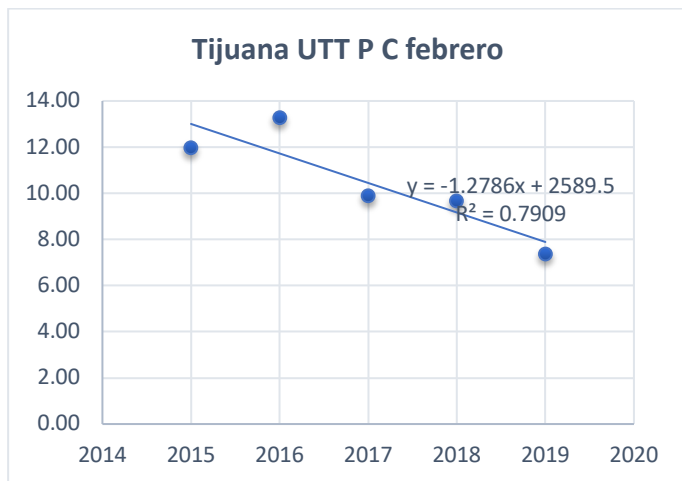
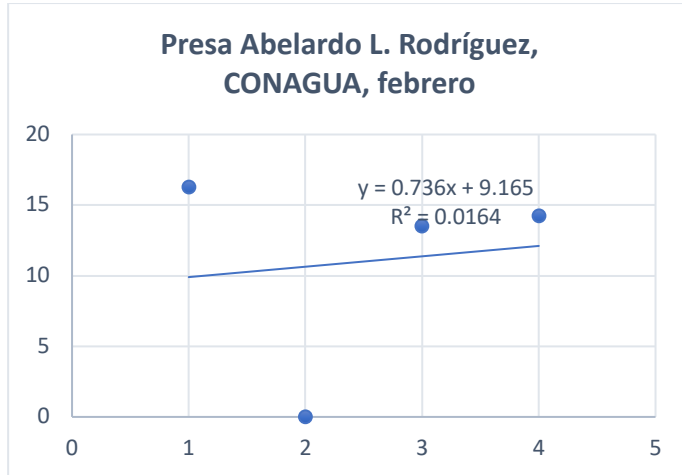
7.2.1. GRÁFICAS DE DISPERSIÓN DE TEMPERATURA ENERO.

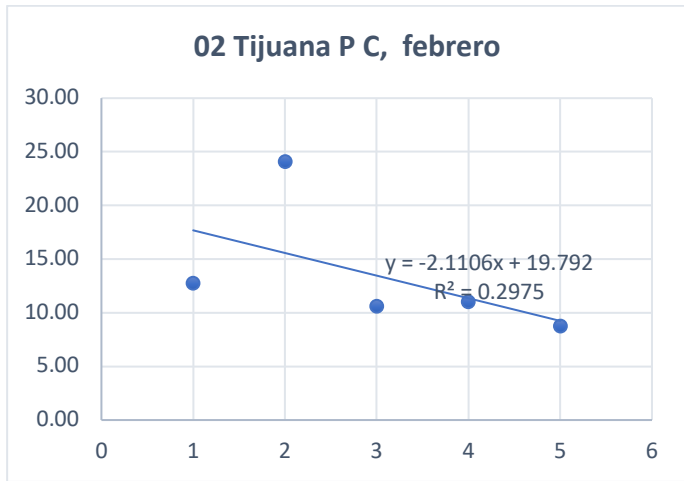
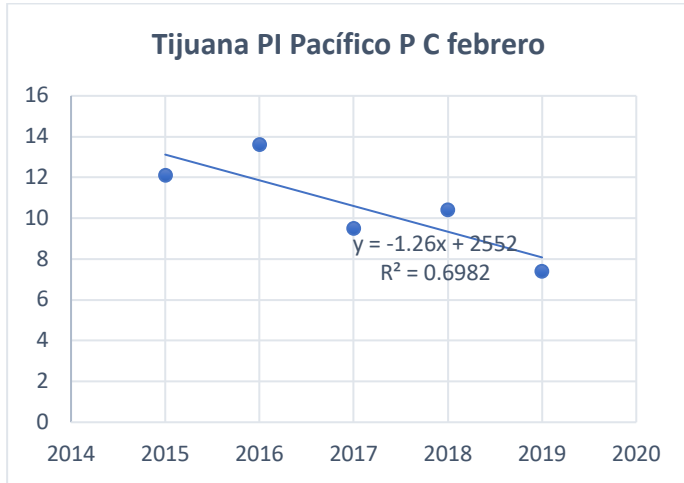


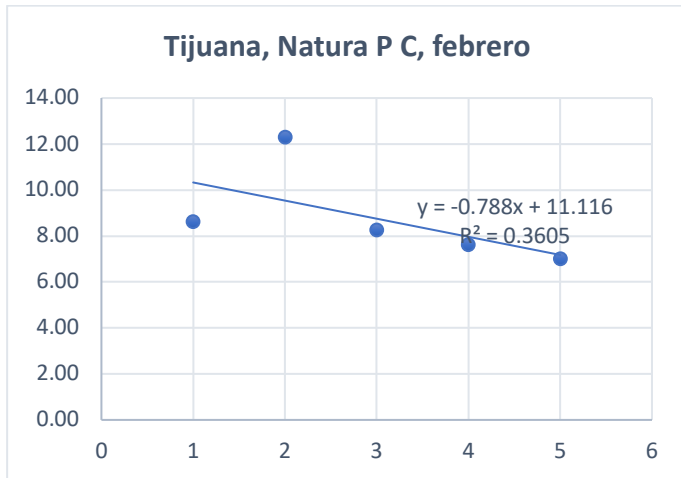
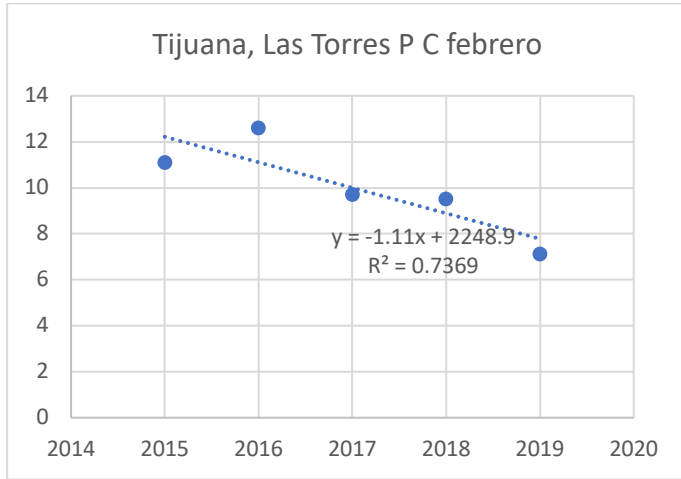




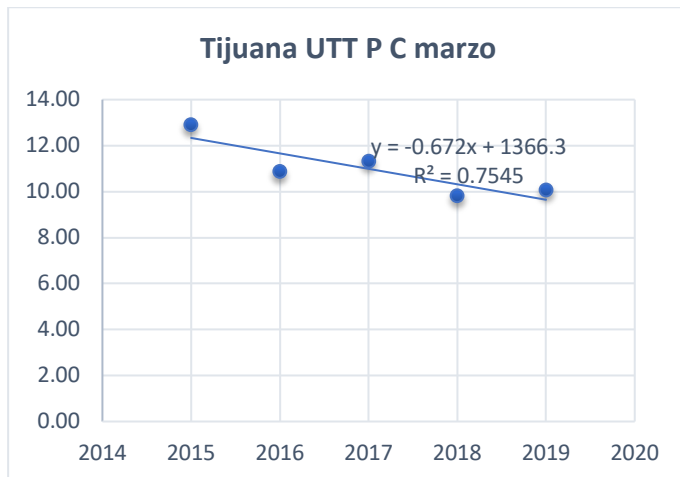
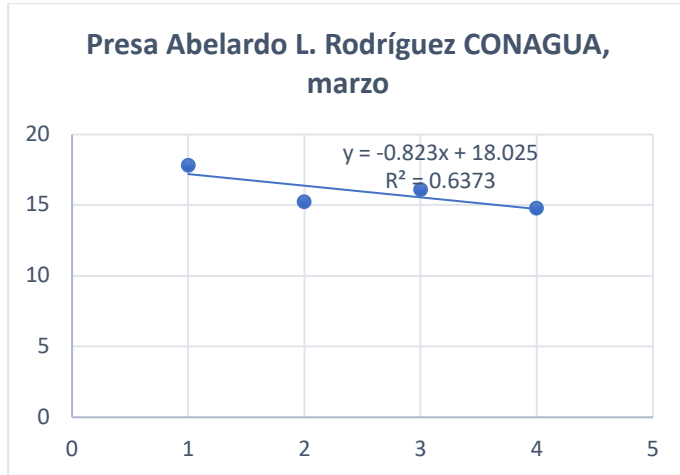
7.2.2. GRÁFICAS DE DISPERSIÓN DE TEMPERATURA FEBRERO.

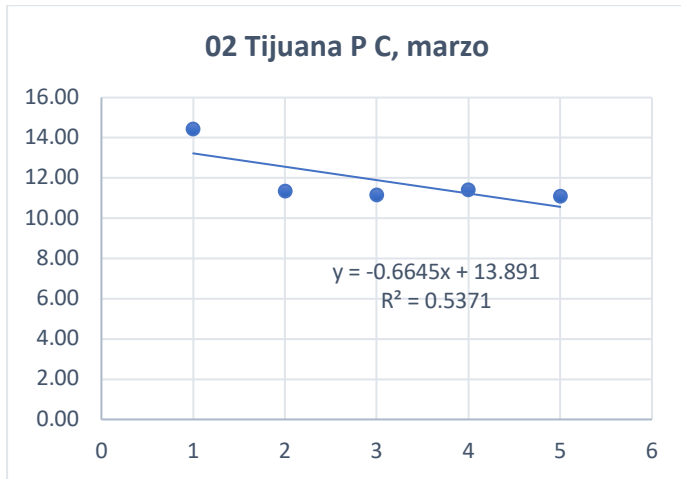
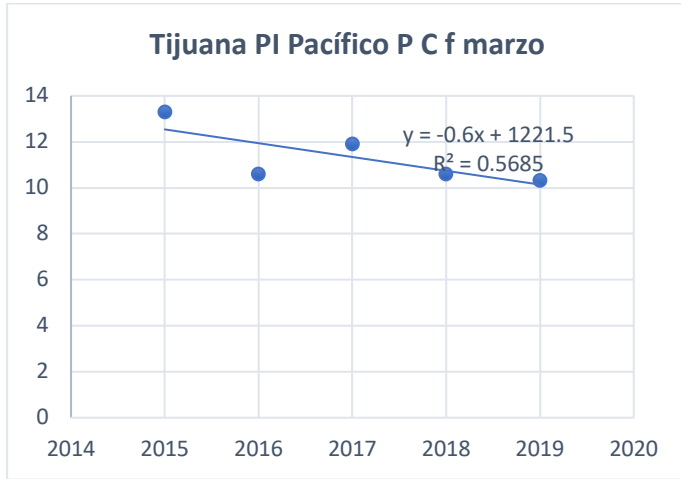


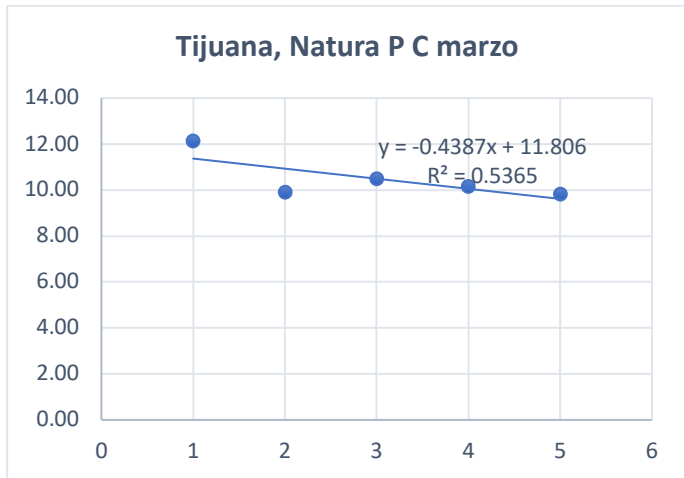
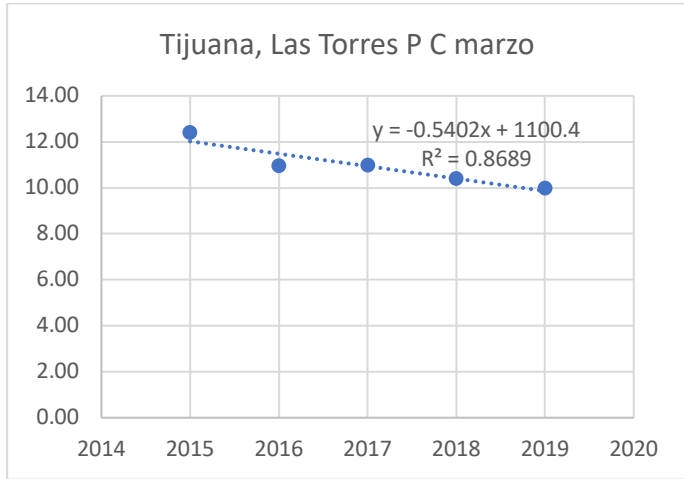




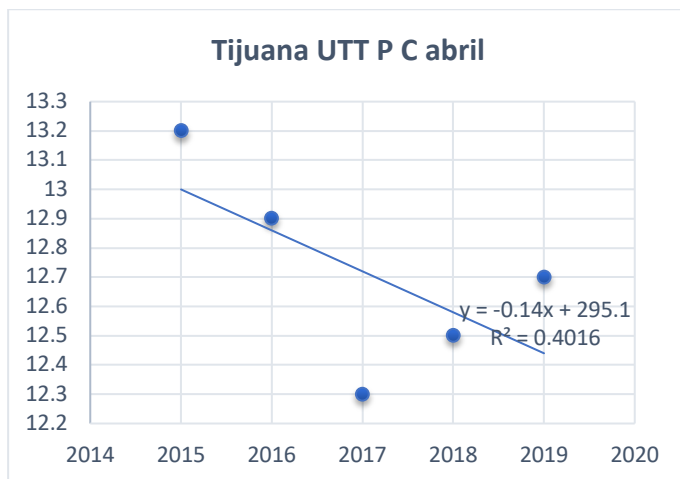
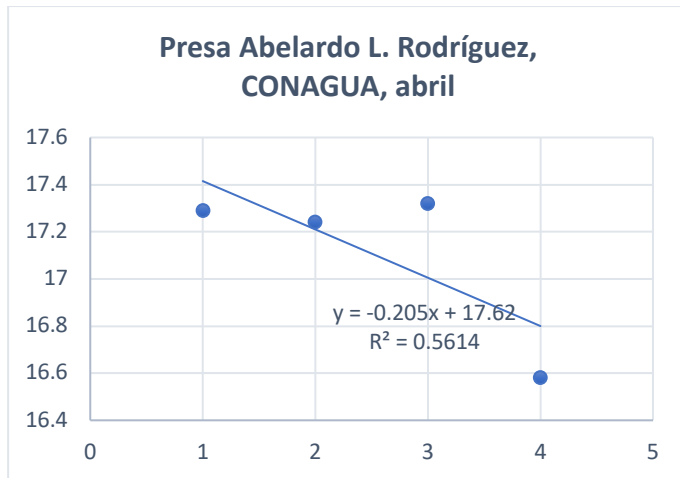
7.2.3. GRÁFICAS DE DISPERSIÓN DE TEMPERATURA MARZO.

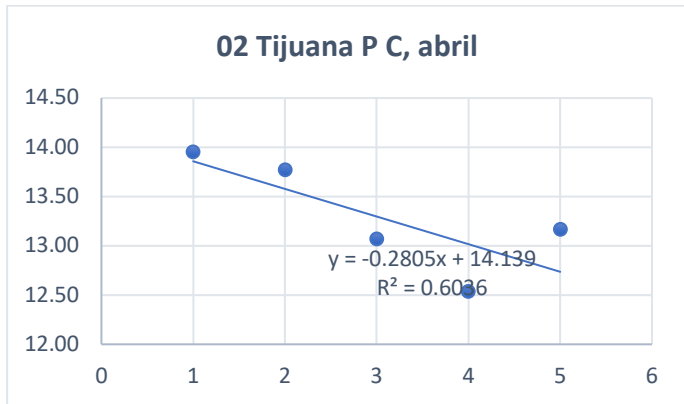
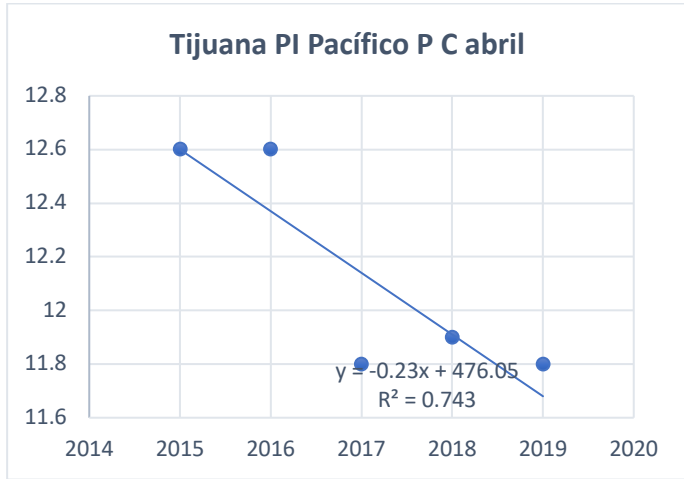


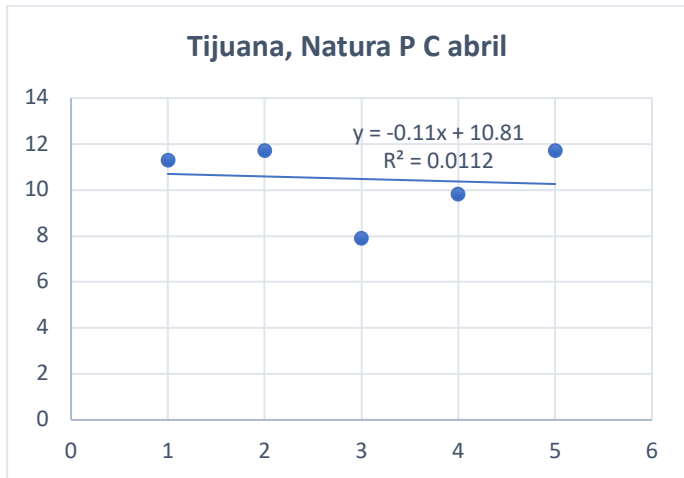
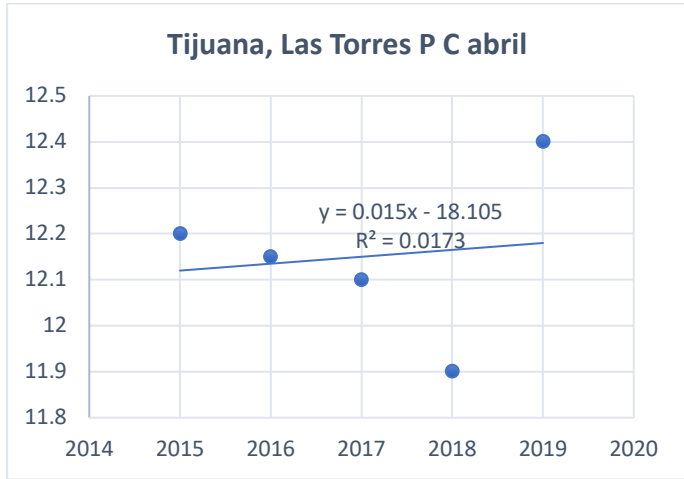




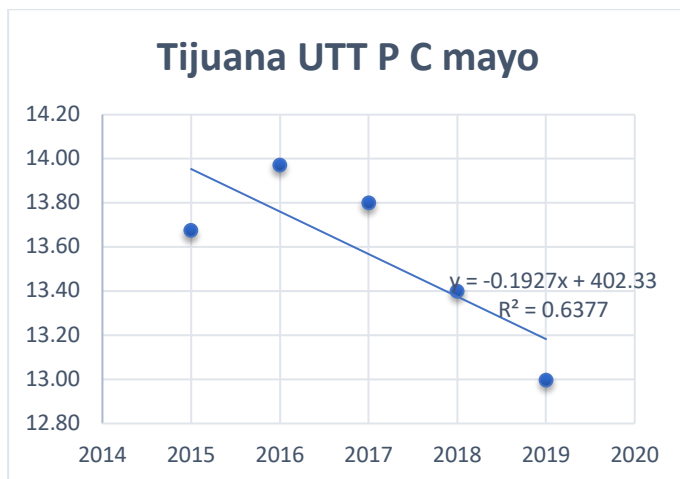
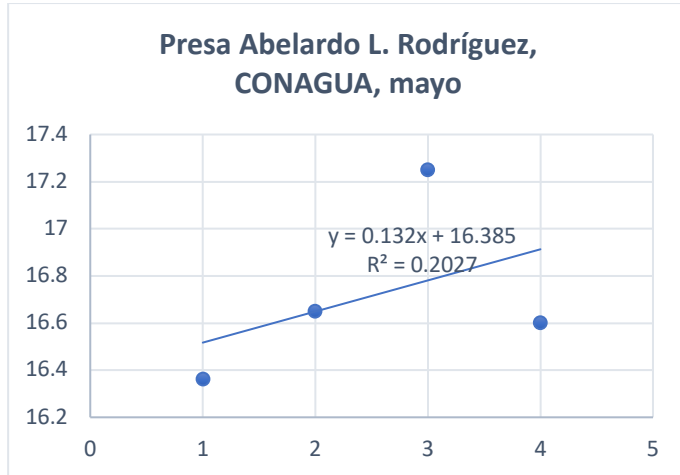
7.2.4. GRÁFICAS DE DISPERSIÓN DE TEMPERATURA ABRIL.

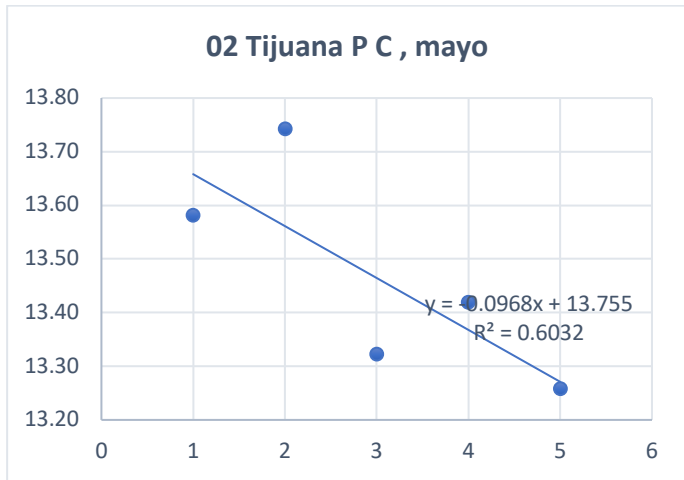
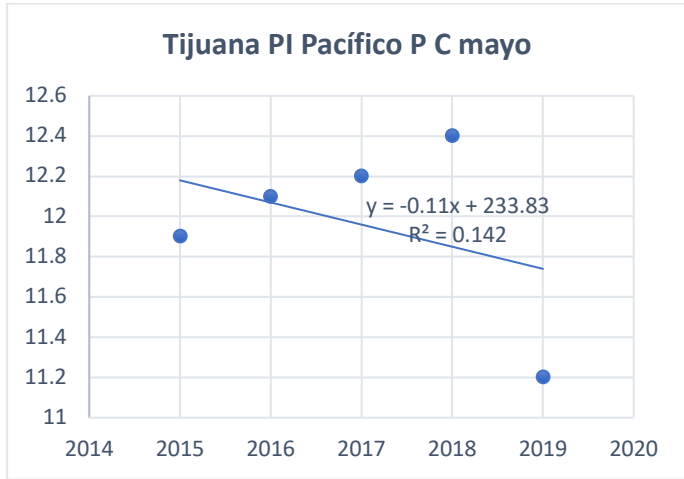


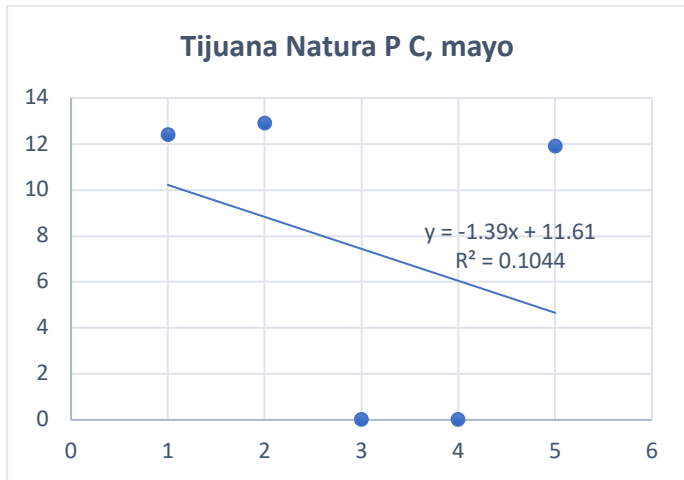
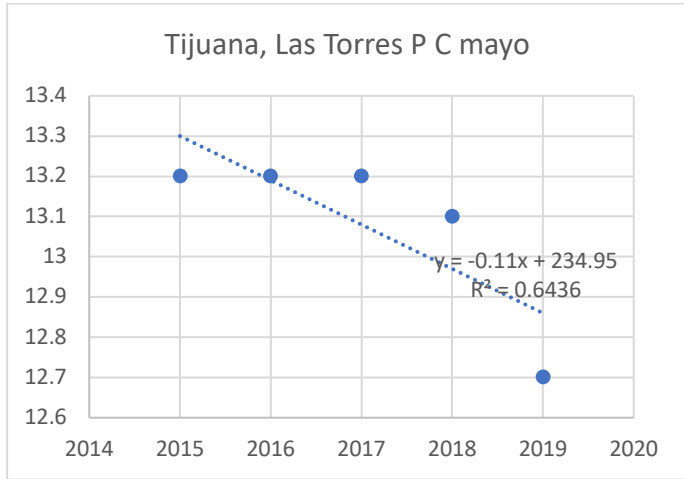




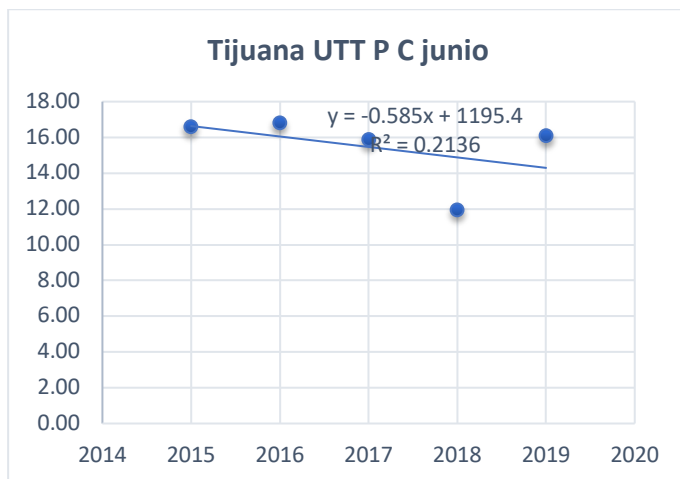
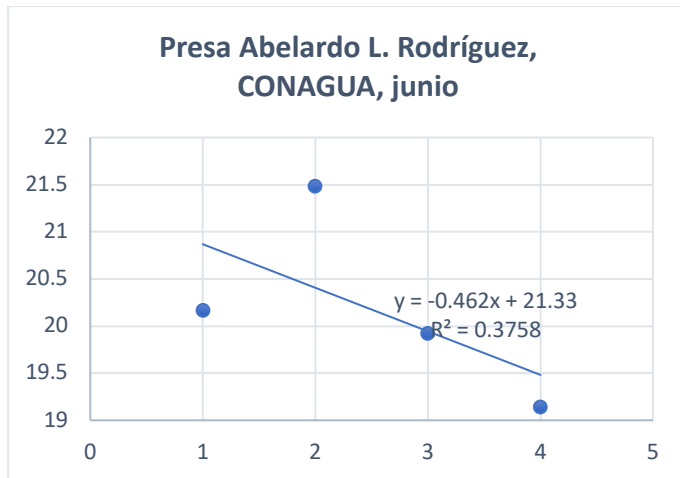
7.2.5. GRÁFICAS DE DISPERSIÓN DE TEMPERATURA MAYO.

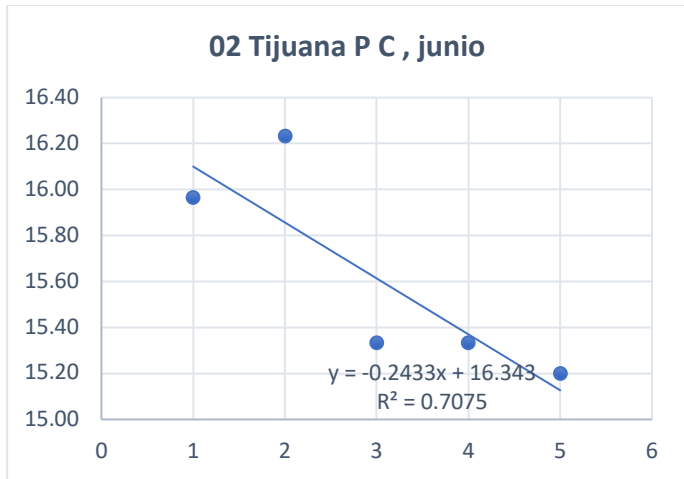
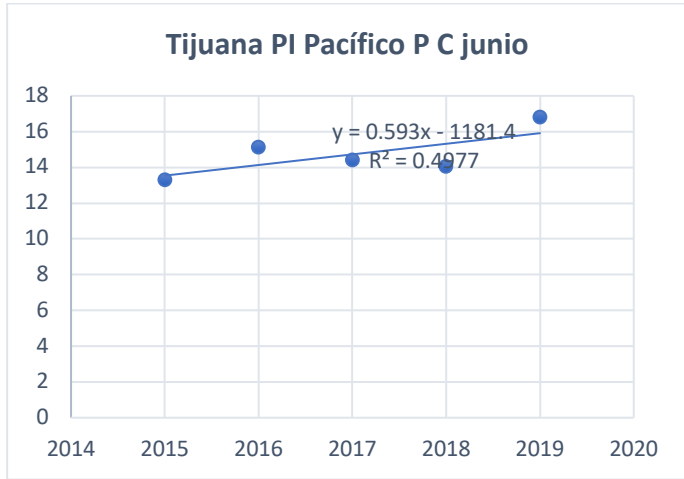


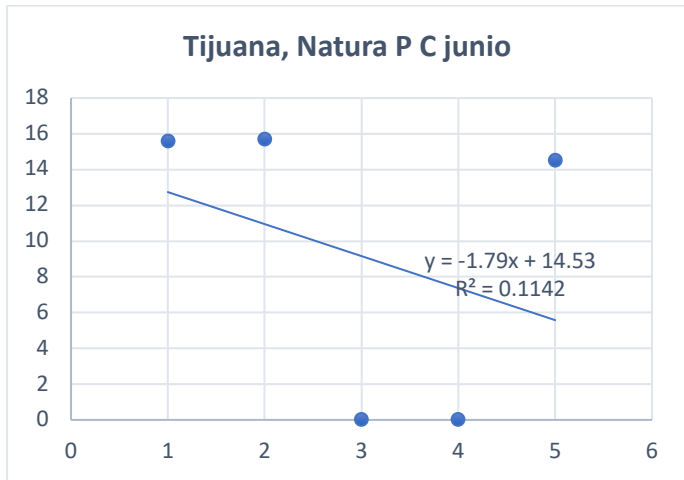
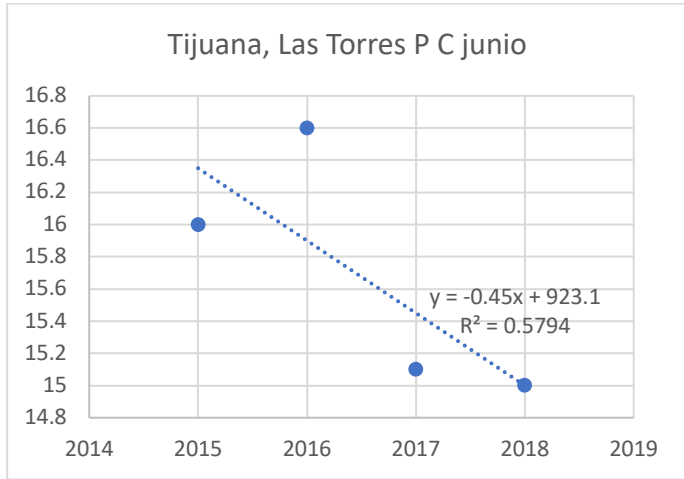




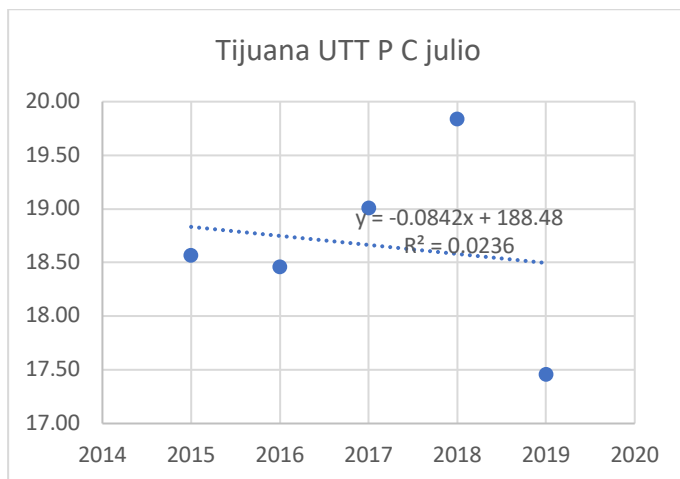
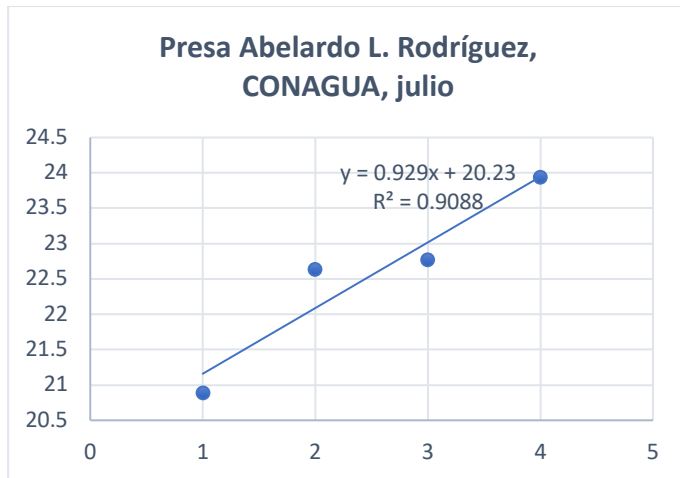
7.2.6. GRÁFICAS DE DISPERSIÓN DE TEMPERATURA JUNIO.

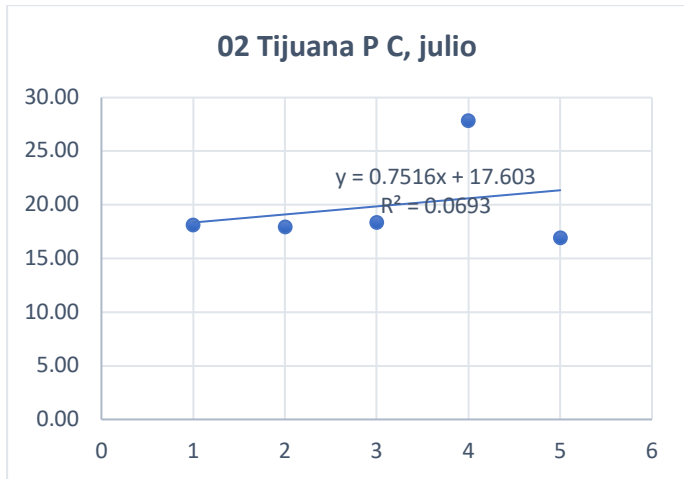
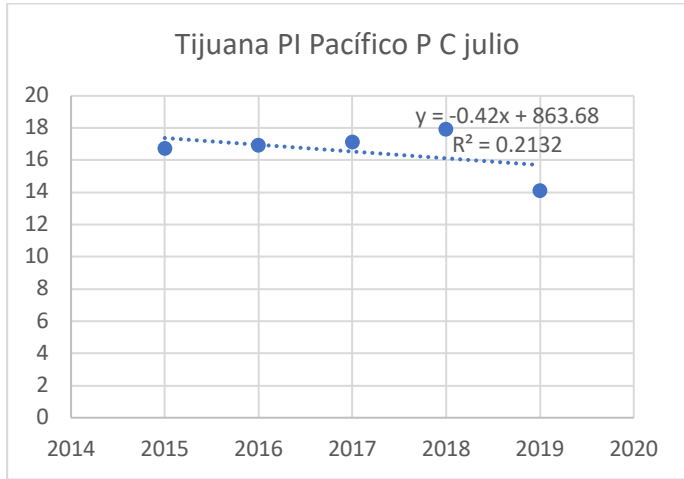


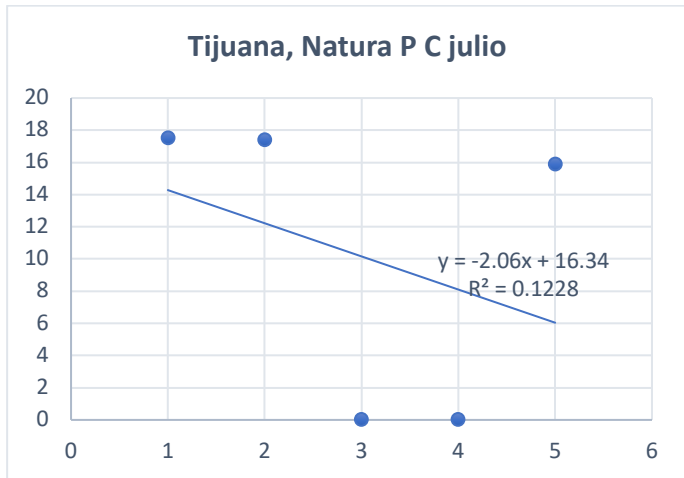
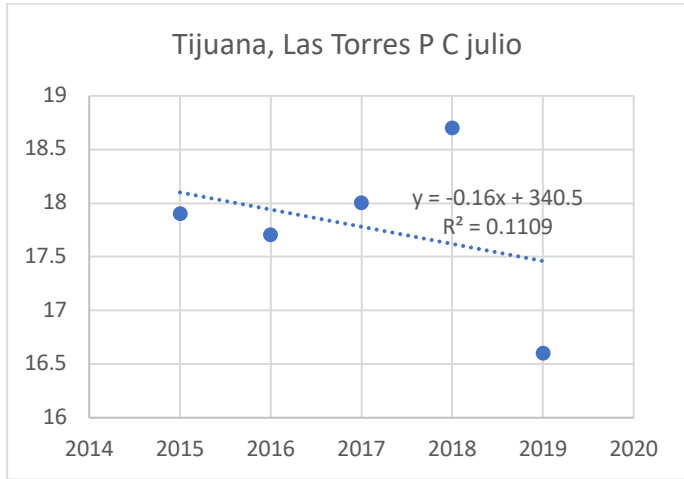




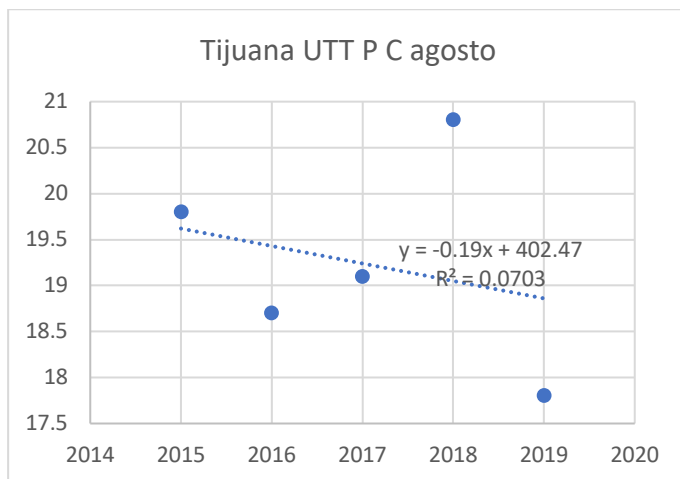
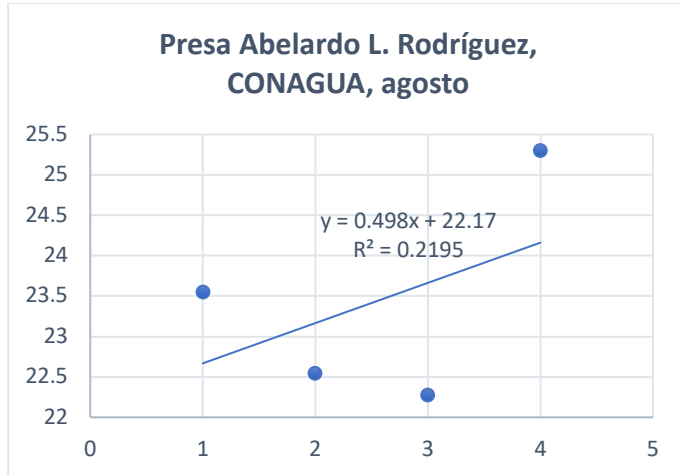
7.2.7. GRÁFICAS DE DISPERSIÓN DE TEMPERATURA JULIO.

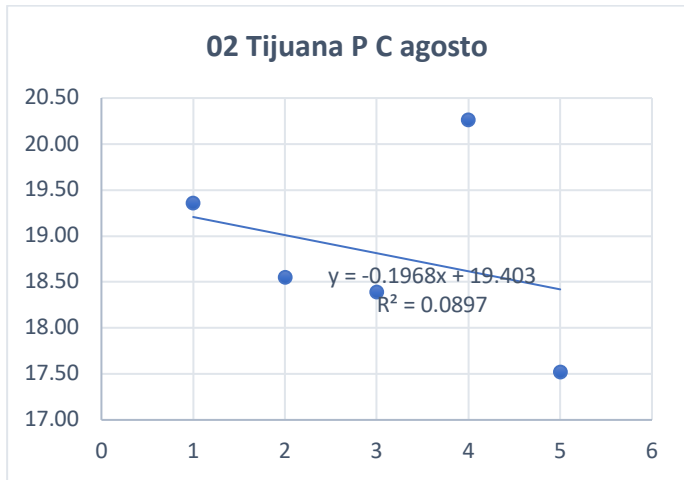
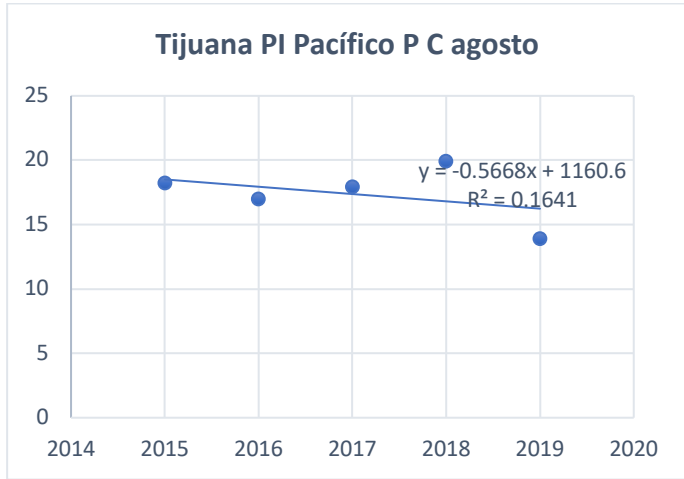


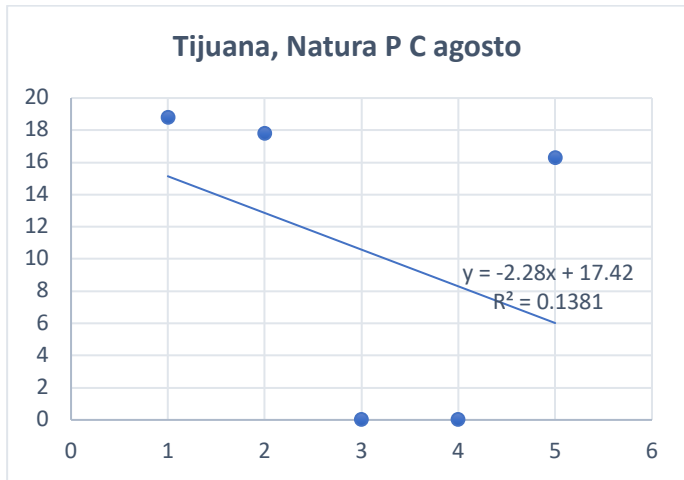
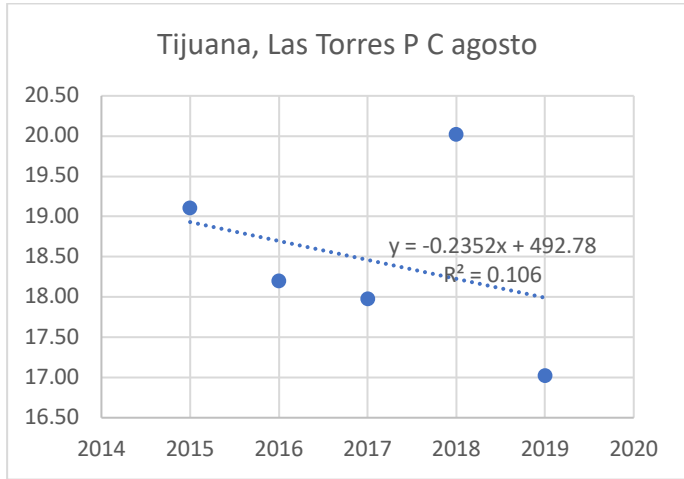




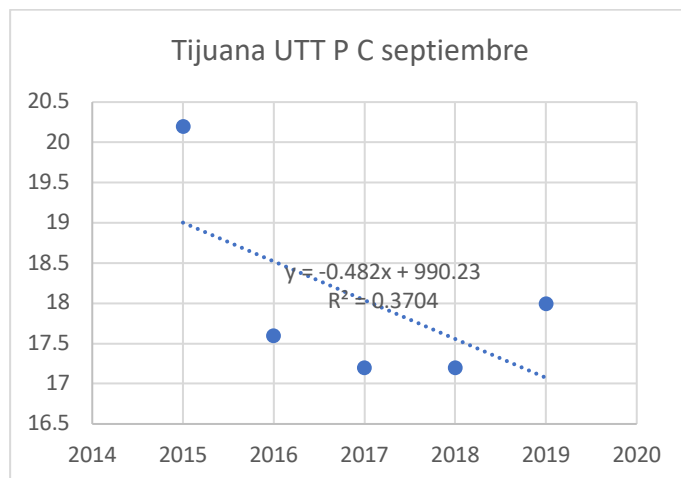
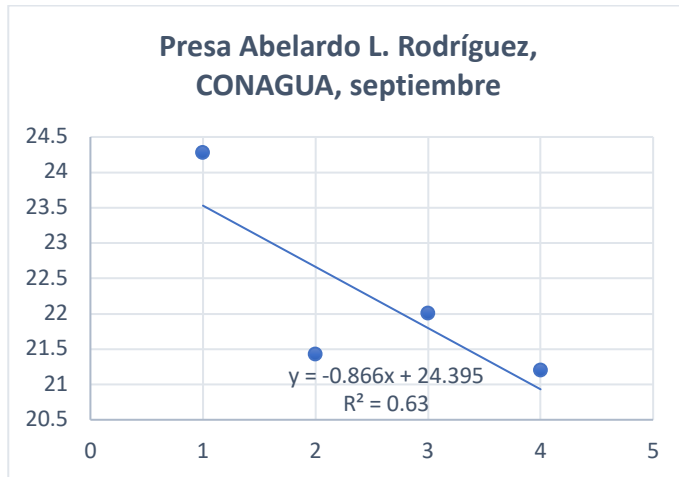
7.2.8. GRÁFICAS DE DISPERSIÓN DE TEMPERATURA AGOSTO.

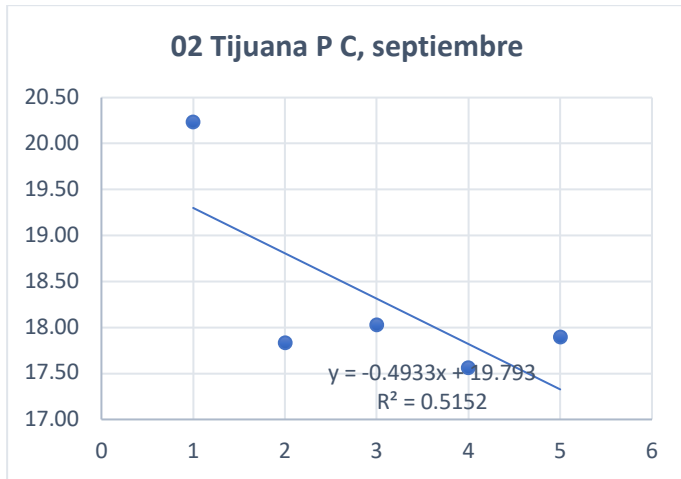
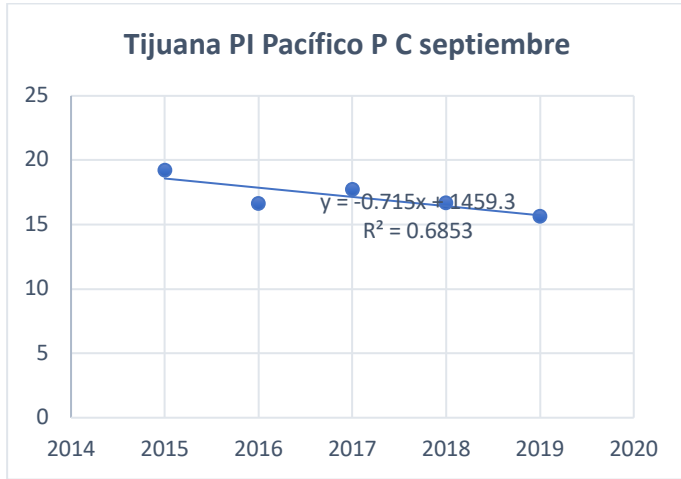


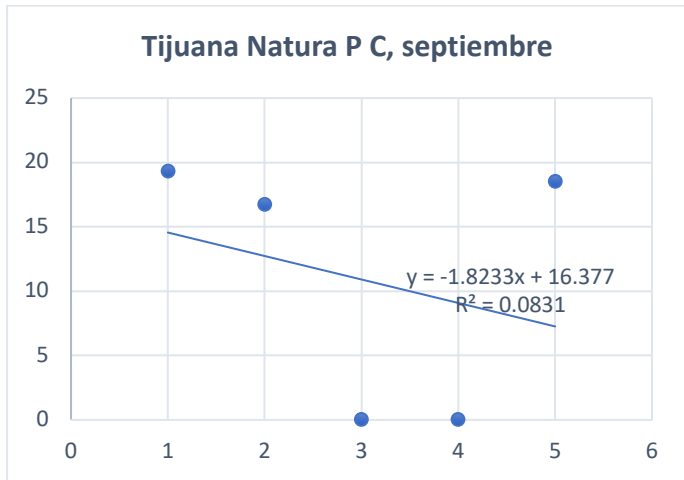
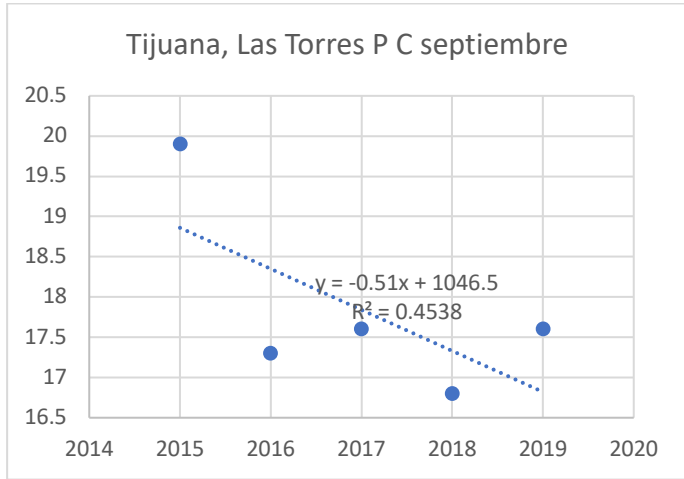




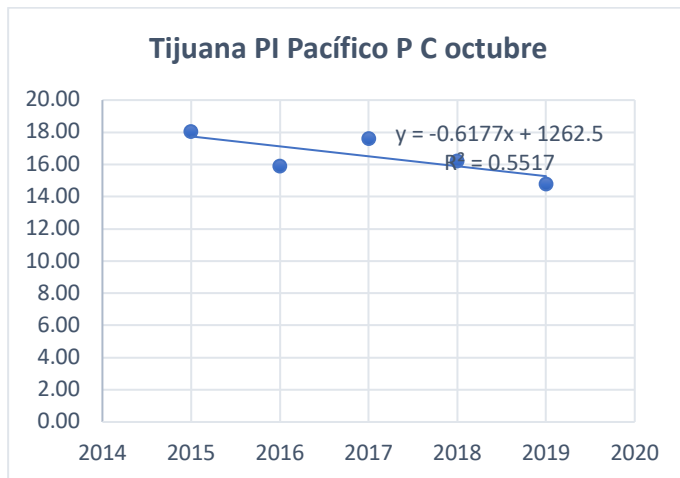
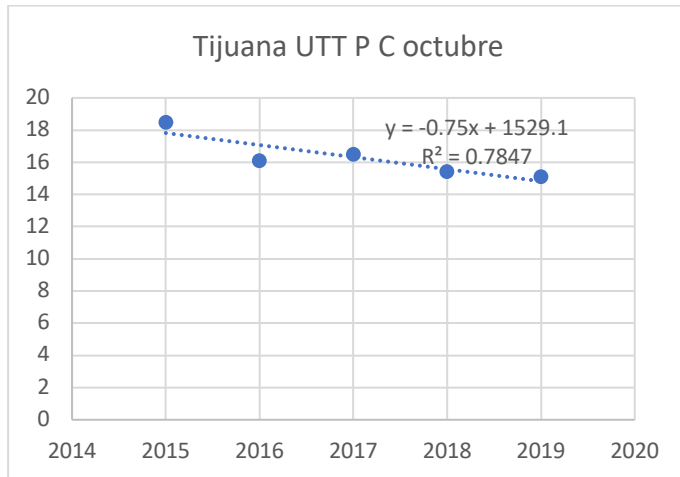
7.2.9. GRÁFICAS DE DISPERSIÓN DE TEMPERATURA SEPTIEMBRE.

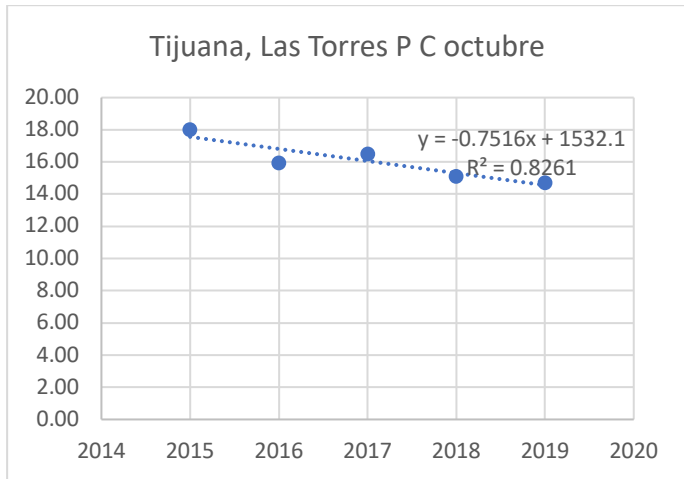
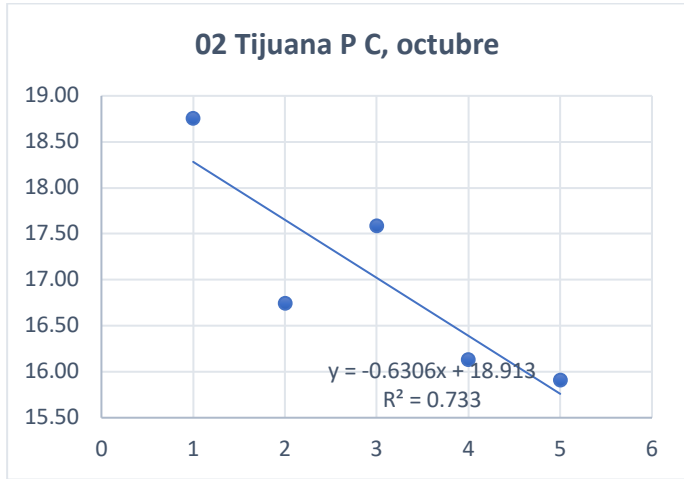


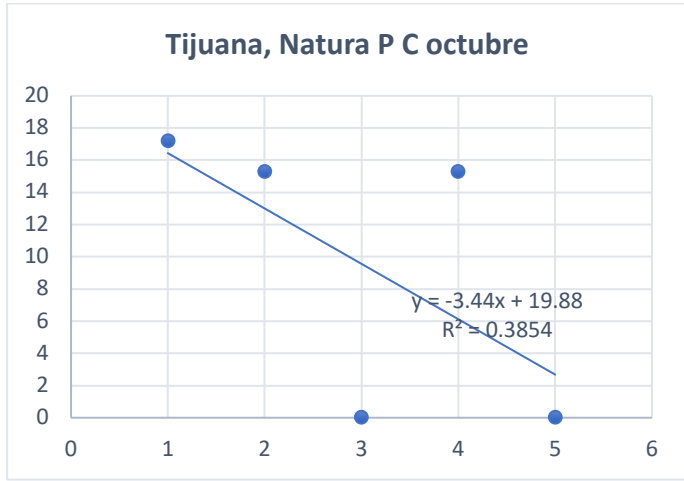




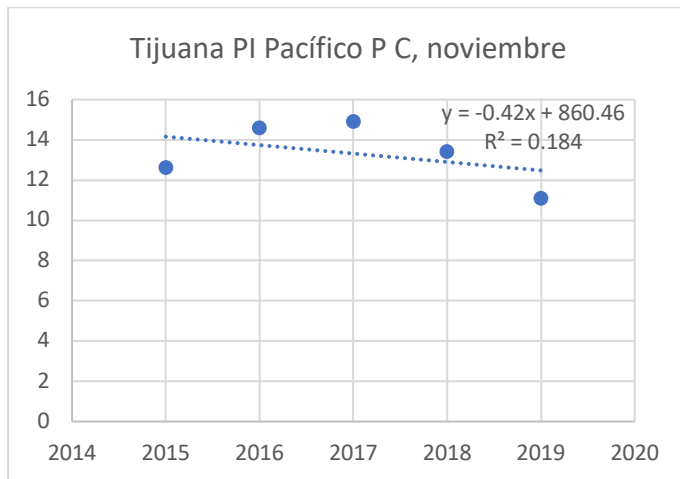
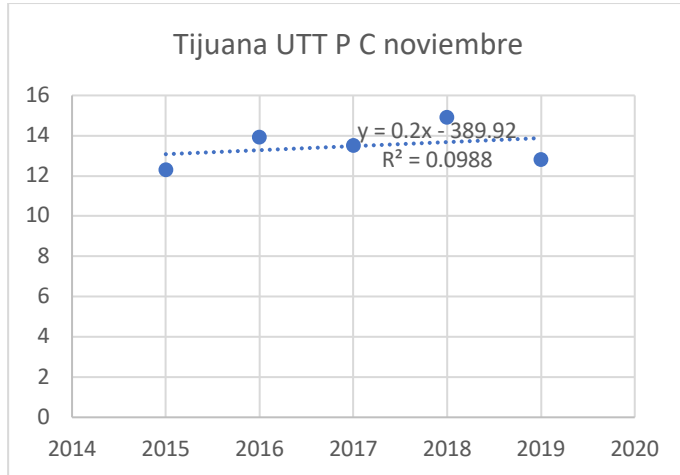
7.2.10. GRÁFICAS DE DISPERSIÓN DE TEMPERATURA OCTUBRE.

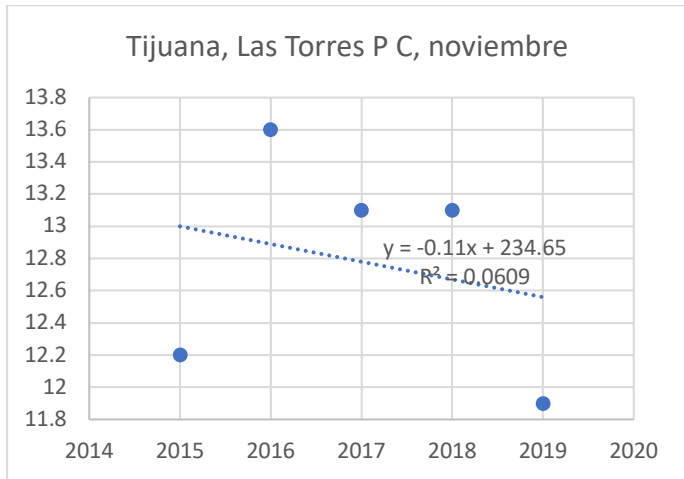
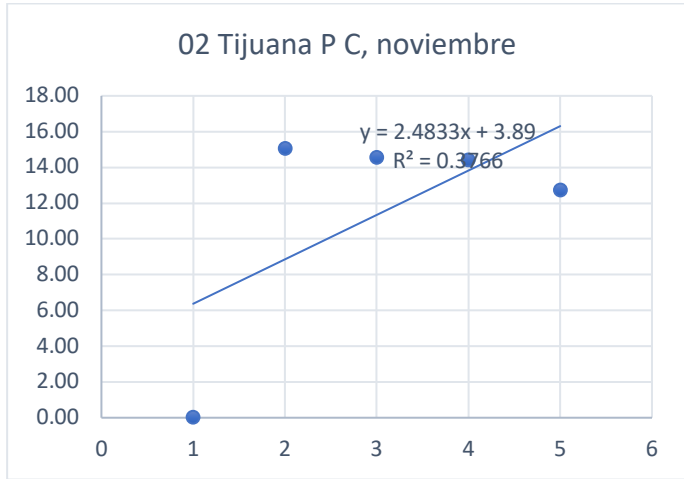


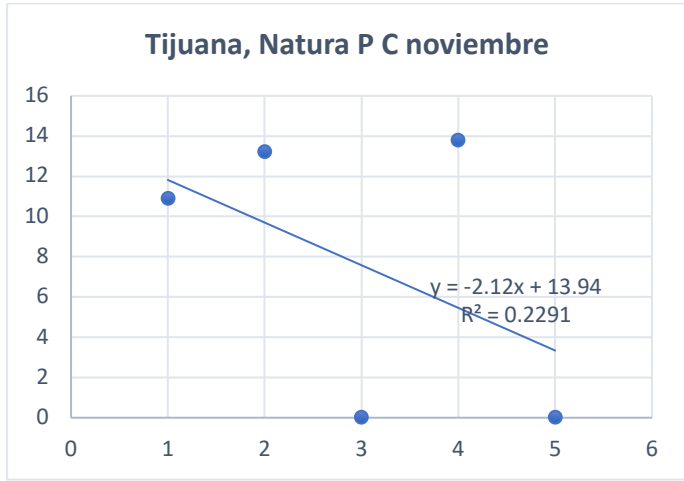




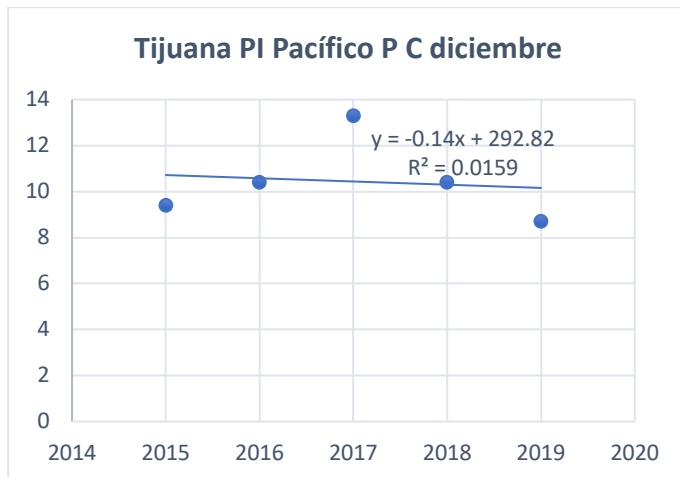
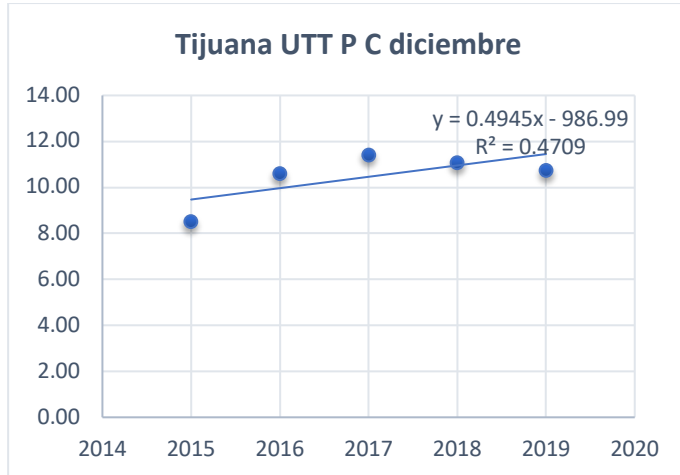
7.2.11. GRÁFICAS DE DISPERSIÓN DE TEMPERATURA NOVIEMBRE.



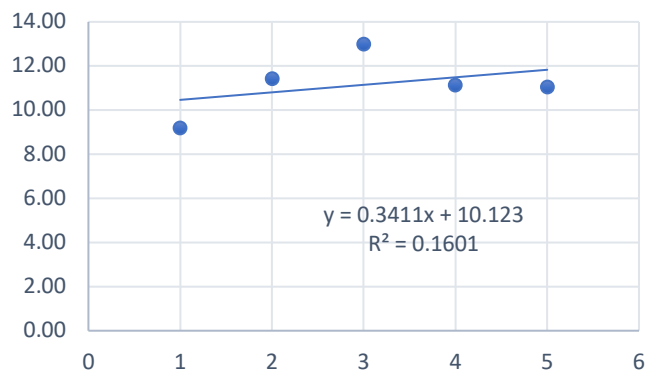




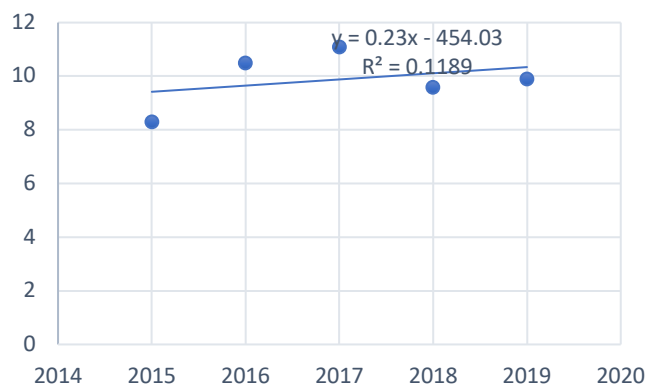
7.2.12. GRÁFICAS DE DISPERSIÓN DE TEMPERATURA DICIEMBRE.

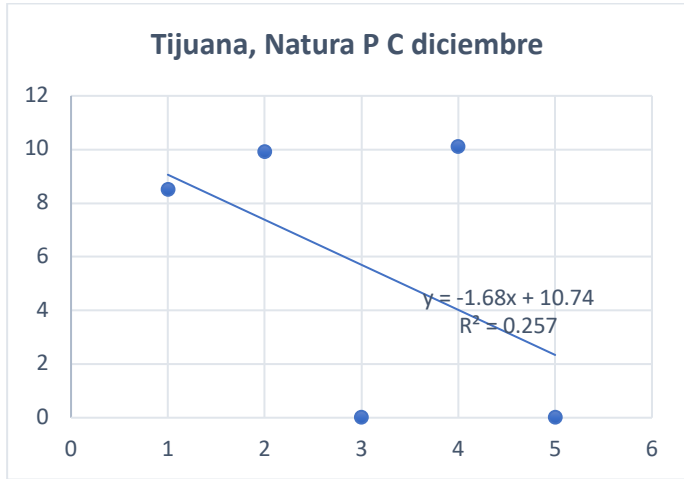


02 Tijuana P C diciembre



Tijuana, Las Torres P C diciembre





7.3 CONJUNTO DE VALORES DE LOS MODELOS DE LA GRÁFICA DE REGRESIÓN LINEAL SIMPLE DEL PROMEDIO DE TEMPERATURA MENSUAL.

7.3.1 RESULTADOS PARA EL ANÁLISIS DEL CONJUNTO DE VALORES MENSUALES.

INVIerno				ESTACIÓN METEOROLÓGICA			
Enero				Febrero			
ESTACIÓN METEOROLÓGICA	MODELO	B1	R ²	ESTACIÓN METEOROLÓGICA	MODELO	B1	R ²
Presa Abelardo L. Rodríguez, CON	1.3226x + 4.9016	1.323	0.0938	Presa Abelardo L. Rodríguez, CONAGUA	0.4814x + 6.6179	0.481	0.0139
UTT El Refugio, Protección Civil	0.0664x + 10.647	0.066	0.0067	UTT El Refugio, Protección Civil	-1.2786x + 14.283	-1.2786	0.7909
PI Pacífico, Protección Civil	0.01x + 10.95	0.01	0.00009	PI Pacífico, Protección Civil	-1.26x + 14.38	-1.26	0.6982
02 Tijuana, Protección Civil	-0.0963x + 12.023	-0.0963	0.0162	02 Tijuana, Protección Civil	-2.1106x + 19.792	-2.1106	0.2975
Las Torres, Protección Civil	-0.04x + 10.3	-0.04	0.003	Las Torres, Protección Civil	-1.11x + 13.33	-1.11	0.7369

ESTACIÓN METEOROLÓGICA				ESTACIÓN METEOROLÓGICA			
Abril				PRIMAVERA			
Mayo				ESTACIÓN METEOROLÓGICA			
ESTACIÓN METEOROLÓGICA	MODELO	B1	R ²	ESTACIÓN METEOROLÓGICA	MODELO	B1	R ²
Presa Abelardo L. Rodríguez, CON	-0.147x + 12.895	-0.147	0.6423	Presa Abelardo L. Rodríguez, CONAGUA	0.0048x + 13.679	0.005	0.0015
UTT El Refugio, Protección Civil	-1.39x + 14.39	-1.39	0.1475	UTT El Refugio, Protección Civil	-0.1927x + 14.146	-0.1927	0.6377
PI Pacífico, Protección Civil	-0.23x + 12.83	-0.23	0.743	PI Pacífico, Protección Civil	-0.11x + 12.29	-0.11	0.142
02 Tijuana, Protección Civil	-0.2805x + 14.139	-0.2805	0.6036	02 Tijuana, Protección Civil	-0.0968x + 13.755	-0.0968	0.6032
Las Torres, Protección Civil	1.23x + 6.03	1.230	0.128	Las Torres, Protección Civil	1.21x + 6.81	1.210	0.1073

ESTACIÓN METEOROLÓGICA				ESTACIÓN METEOROLÓGICA			
Junio				ESTACIÓN METEOROLÓGICA			
ESTACIÓN METEOROLÓGICA	MODELO	B1	R ²	ESTACIÓN METEOROLÓGICA	MODELO	B1	R ²
Presa Abelardo L. Rodríguez, CON	-0.3162x + 16.747	-0.3162	0.672	Presa Abelardo L. Rodríguez, CON	-0.595x + 19.625	-0.595	0.4291
UTT El Refugio, Protección Civil	-0.585x + 17.221	-0.585	0.2136	UTT El Refugio, Protección Civil	-0.482x + 19.484	-0.482	0.3704
PI Pacífico, Protección Civil	0.593x + 12.947	0.593	0.4977	PI Pacífico, Protección Civil	-2.38x + 20.96	-2.38	0.2304
02 Tijuana, Protección Civil	-0.2433x + 16.343	-0.2433	0.7075	02 Tijuana, Protección Civil	-0.4933x + 19.793	-0.4933	0.5152
Las Torres, Protección Civil	-0.3x + 16.5	-0.3	0.4839	Las Torres, Protección Civil	-0.51x + 19.37	-0.51	0.4538

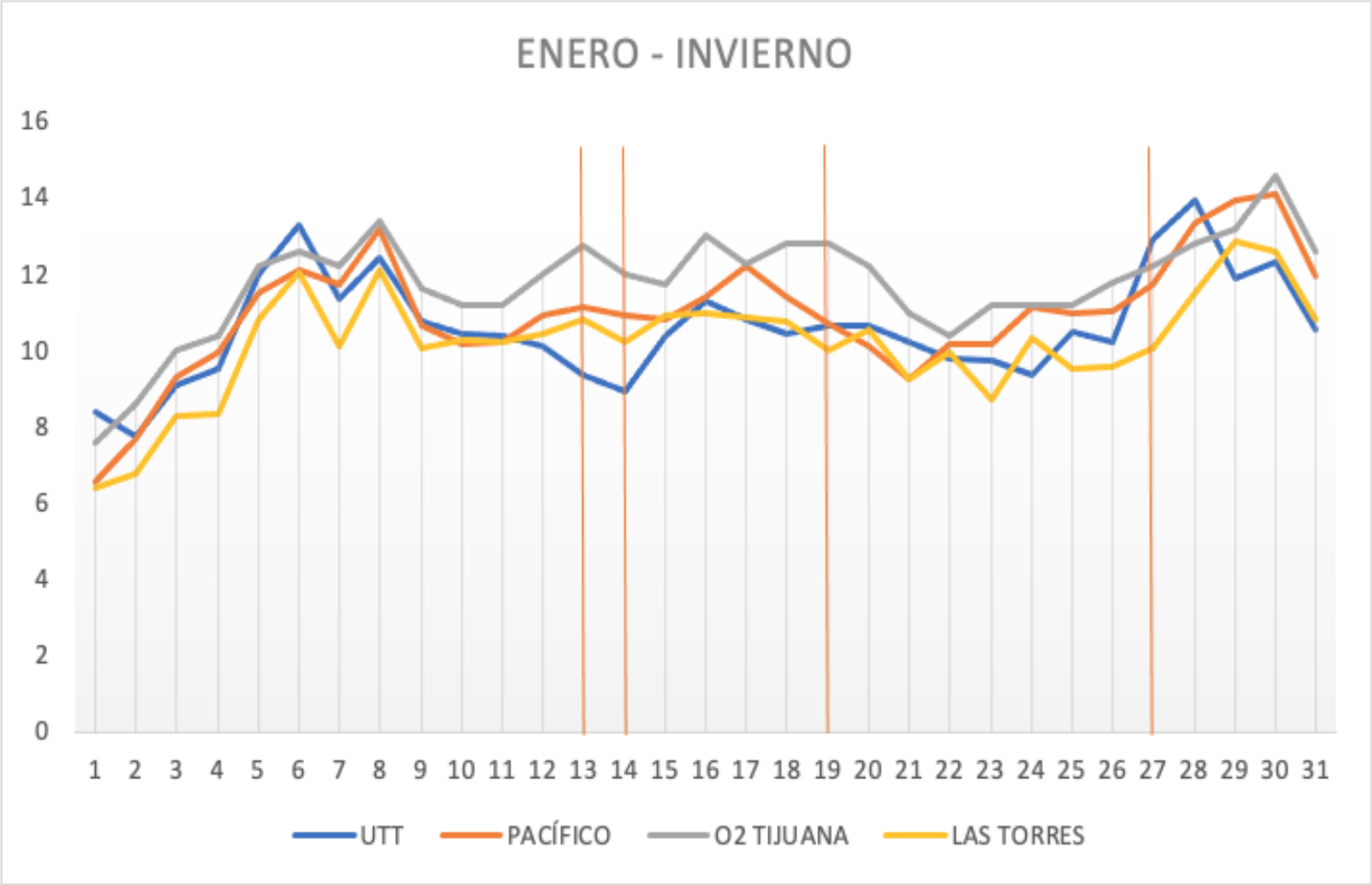
VERANO				ESTACIÓN METEOROLÓGICA			
Julio				Agosto			
ESTACIÓN METEOROLÓGICA	MODELO	B1	R ²	ESTACIÓN METEOROLÓGICA	MODELO	B1	R ²
Presa Abelardo L. Rodríguez, CON	0.4613x + 17.534	0.461	0.8054	Presa Abelardo L. Rodríguez, CONAGUA	0.4293x + 18.314	0.429	0.2923
UTT El Refugio, Protección Civil	-0.0842x + 18.917	-0.0842	0.0236	UTT El Refugio, Protección Civil	-0.19x + 19.81	-0.19	0.0703
PI Pacífico, Protección Civil	-0.42x + 17.8	-0.42	0.2132	PI Pacífico, Protección Civil	-0.5668x + 19.074	-0.5668	0.1641
02 Tijuana, Protección Civil	-0.1355x + 18.49	-0.1355	0.081	02 Tijuana, Protección Civil	-0.1968x + 19.403	-0.1968	0.0897
Las Torres, Protección Civil	-0.16x + 18.26	-0.16	0.1109	Las Torres, Protección Civil	-0.2352x + 19.167	-0.2352	0.106

ESTACIÓN METEOROLÓGICA				ESTACIÓN METEOROLÓGICA			
Septiembre				OTOÑO			
Noviembre				ESTACIÓN METEOROLÓGICA			
ESTACIÓN METEOROLÓGICA	MODELO	B1	R ²	ESTACIÓN METEOROLÓGICA	MODELO	B1	R ²
Presa Abelardo L. Rodríguez, CON	-0.595x + 19.625	-0.595	0.4291	Presa Abelardo L. Rodríguez, CONAGUA	N/A		
UTT El Refugio, Protección Civil	-0.482x + 19.484	-0.482	0.3704	UTT El Refugio, Protección Civil	0.2x + 12.88	0.200	0.0988
PI Pacífico, Protección Civil	-2.38x + 20.96	-2.38	0.2304	PI Pacífico, Protección Civil	-0.42x + 14.58	-0.42	0.184
02 Tijuana, Protección Civil	-0.4933x + 19.793	-0.4933	0.5152	02 Tijuana, Protección Civil	2.4833x + 3.89	2.483	0.3766
Las Torres, Protección Civil	-0.51x + 19.37	-0.51	0.4538	Las Torres, Protección Civil	-0.11x + 13.11	-0.11	0.0609

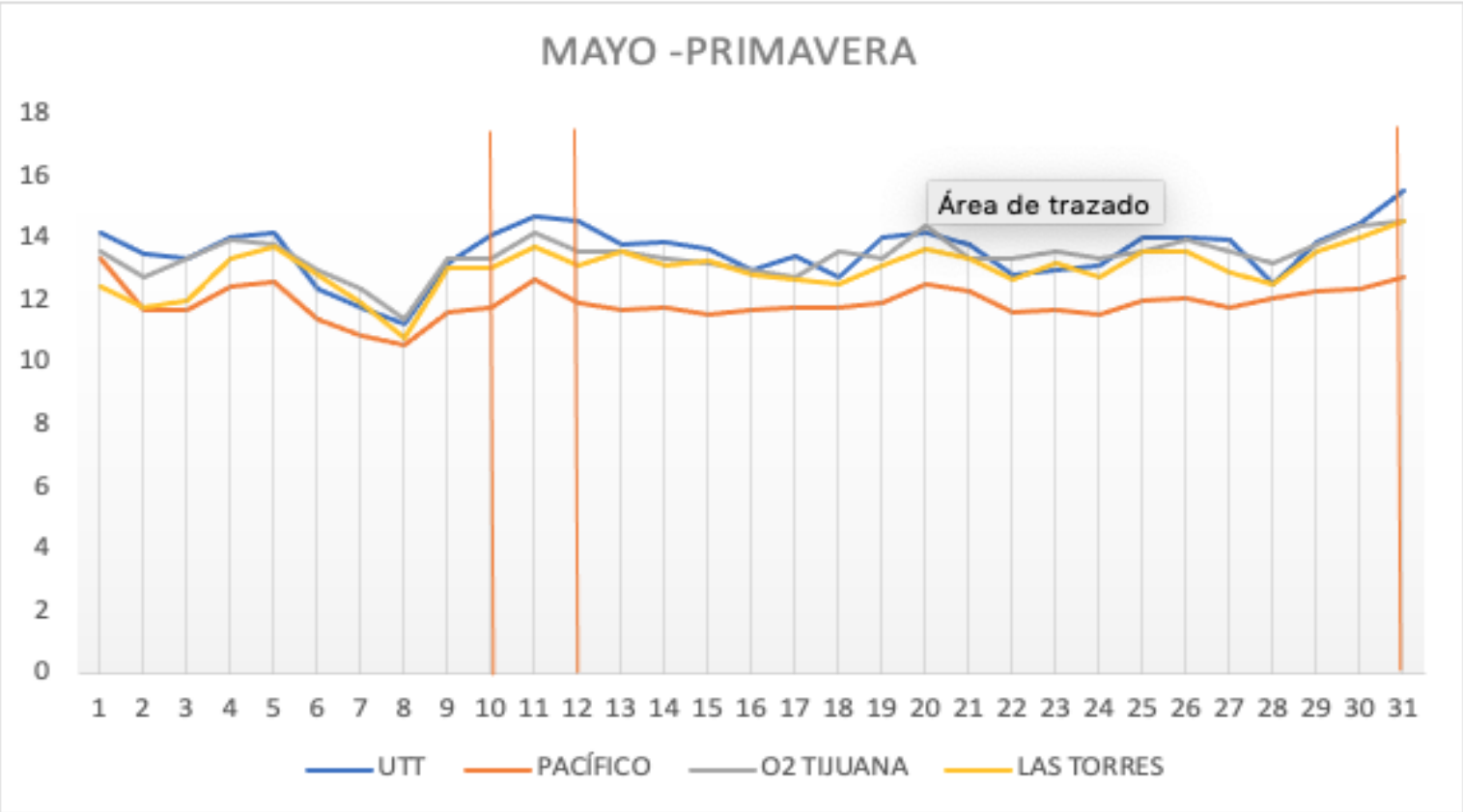
ESTACIÓN METEOROLÓGICA				ESTACIÓN METEOROLÓGICA			
Octubre				Diciembre			
ESTACIÓN METEOROLÓGICA	MODELO	B1	R ²	ESTACIÓN METEOROLÓGICA	MODELO	B1	R ²
Presa Abelardo L. Rodríguez, CON	N/A			Presa Abelardo L. Rodríguez, CON	N/A		
UTT El Refugio, Protección Civil	0.75x + 18.57	0.750	0.7847	UTT El Refugio, Protección Civil	-0.6124x + 10.085	-0.6124	0.0418
PI Pacífico, Protección Civil	-2.2377x + 19.981	-2.2377	0.2207	PI Pacífico, Protección Civil	-0.14x + 10.86	-0.14	0.0159
02 Tijuana, Protección Civil	-0.6306x + 18.913	-0.6306	0.733	02 Tijuana, Protección Civil	0.3411x + 10.123	0.341	0.1601
Las Torres, Protección Civil	-0.7516x + 18.313	-0.7516	0.8261	Las Torres, Protección Civil	0.23x + 9.19	0.230	0.1189

7.4 GRÁFICA DE SOBREPOSICIÓN LINEAL DE LA TEMPERATURA PROMEDIO DIARIA DE LAS DIFERENTES EMS.

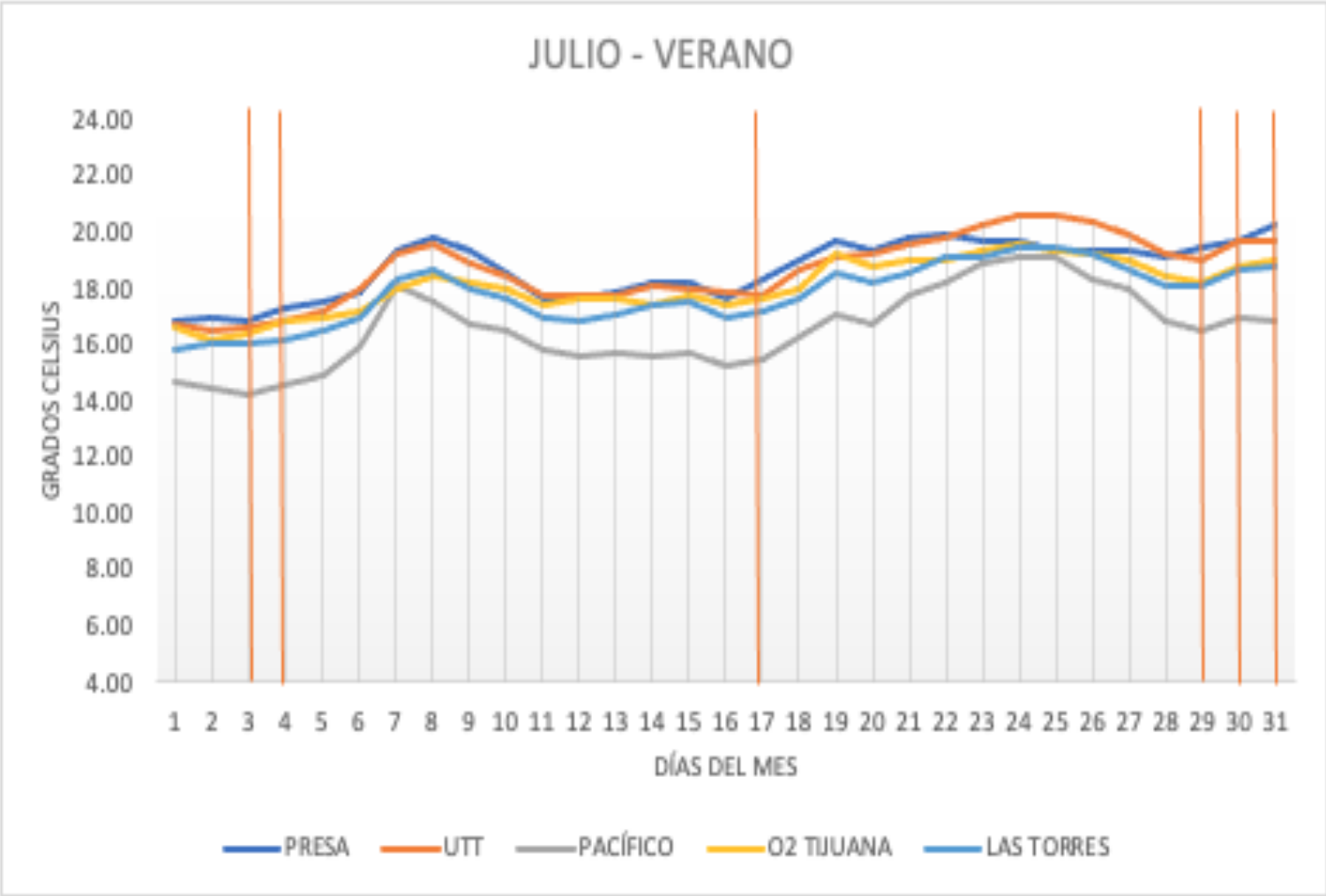
7.4.1 GRÁFICA DE SOBREPOSICIÓN LINEAL DE LA TEMPERATURA PROMEDIO DIARIA DE ENERO.



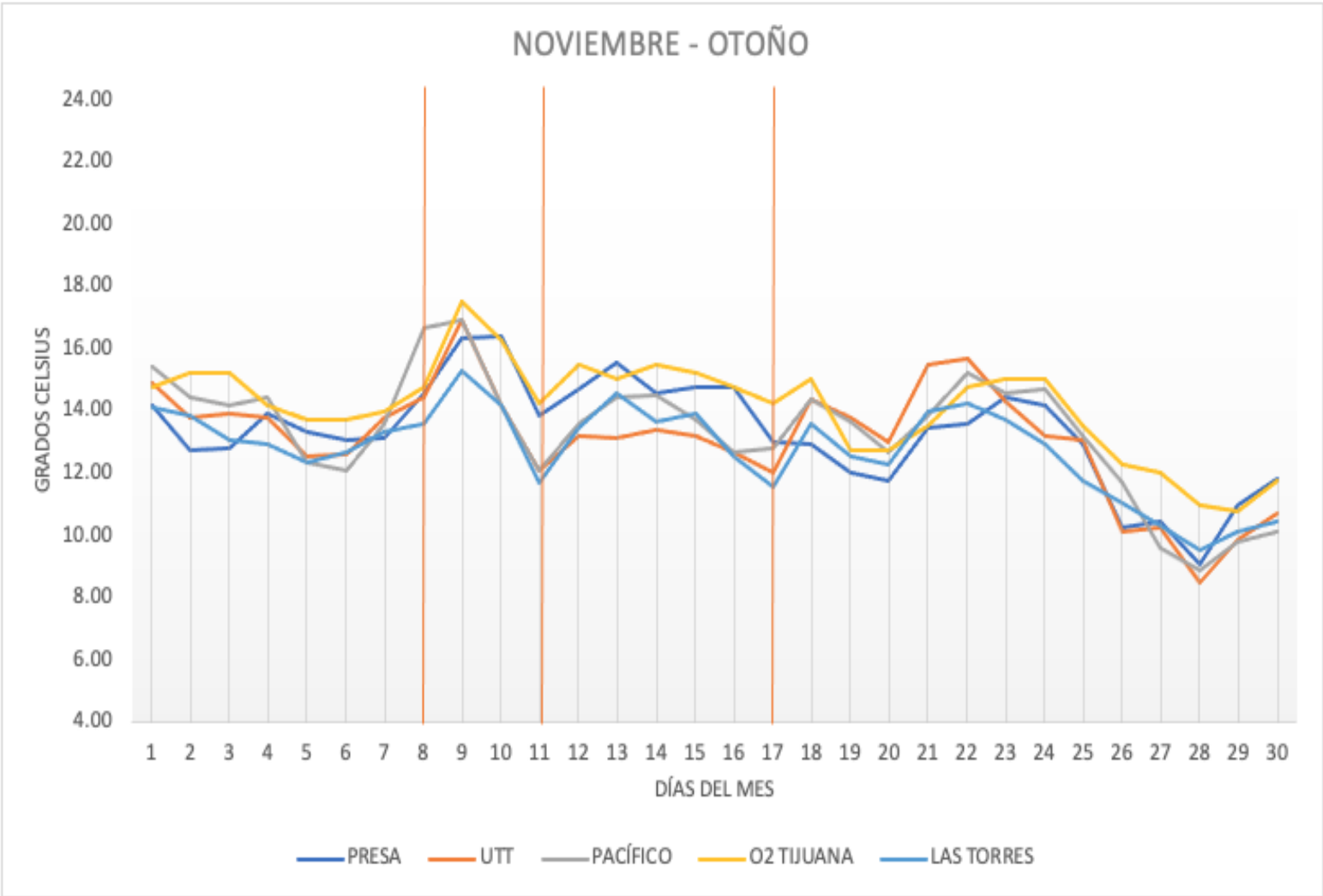
7.4.2 GRÁFICA DE SOBREPOSICIÓN LINEAL DE LA TEMPERATURA PROMEDIO DIARIA DE MAYO.



7.4.3 GRÁFICA DE SOBREPOSICIÓN LINEAL DE LA TEMPERATURA PROMEDIO DIARIA DE JULIO.

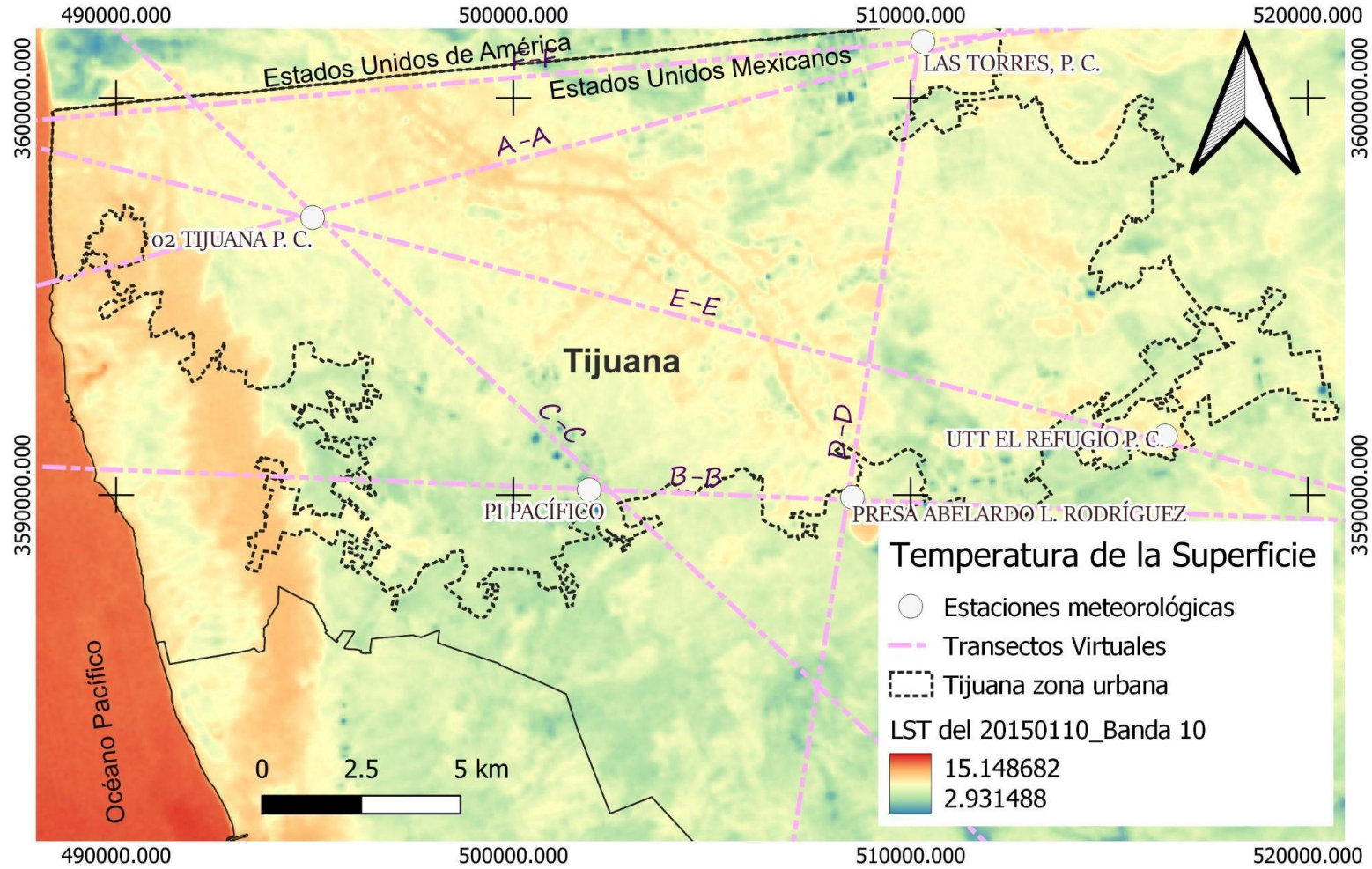


7.4.4 GRÁFICA DE SOBREPOSICIÓN LINEAL DE LA TEMPERATURA PROMEDIO DIARIA DE NOVIEMBRE.

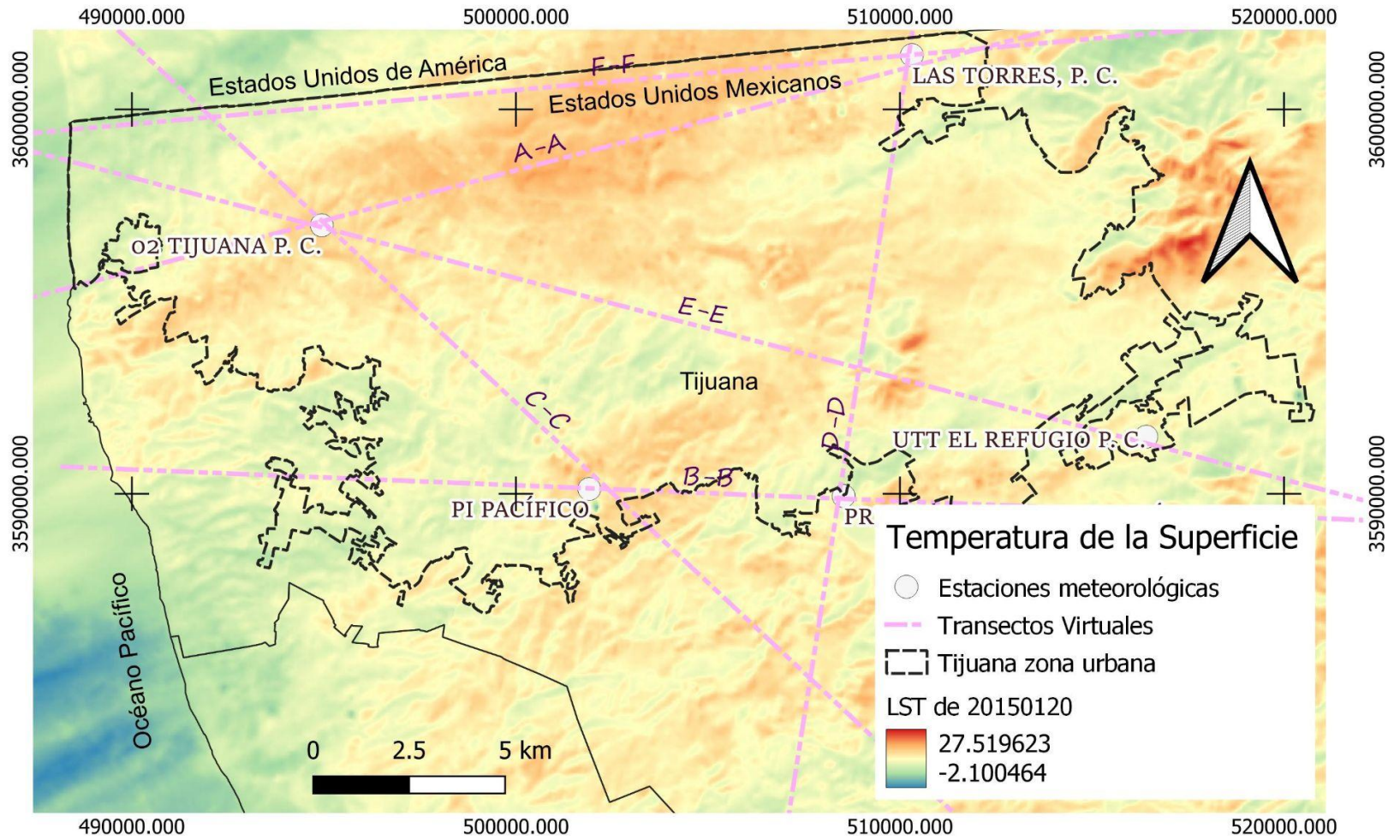


7.5 TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DE LA TIERRA LST

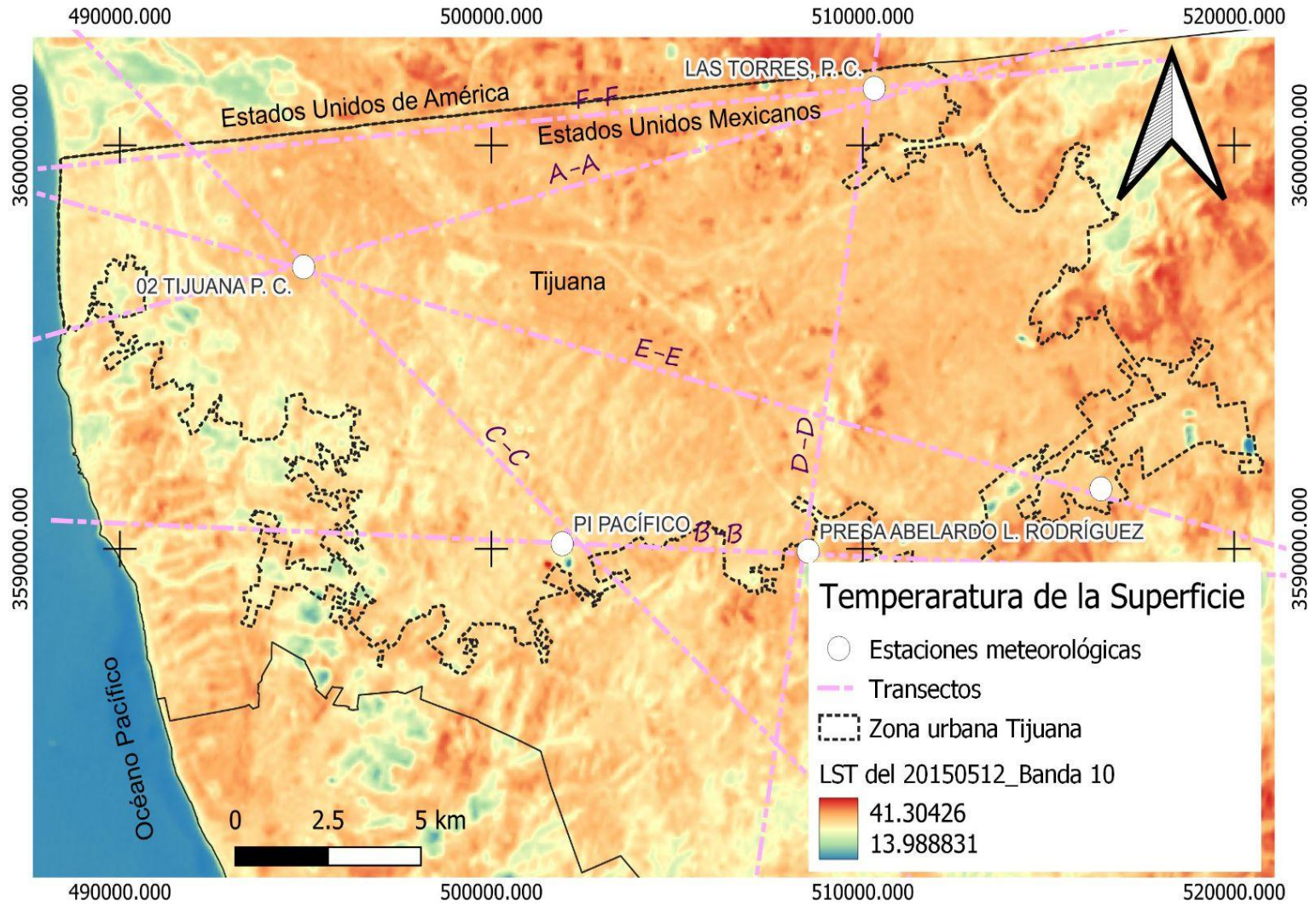
7.5.1 LST DEL 20150110



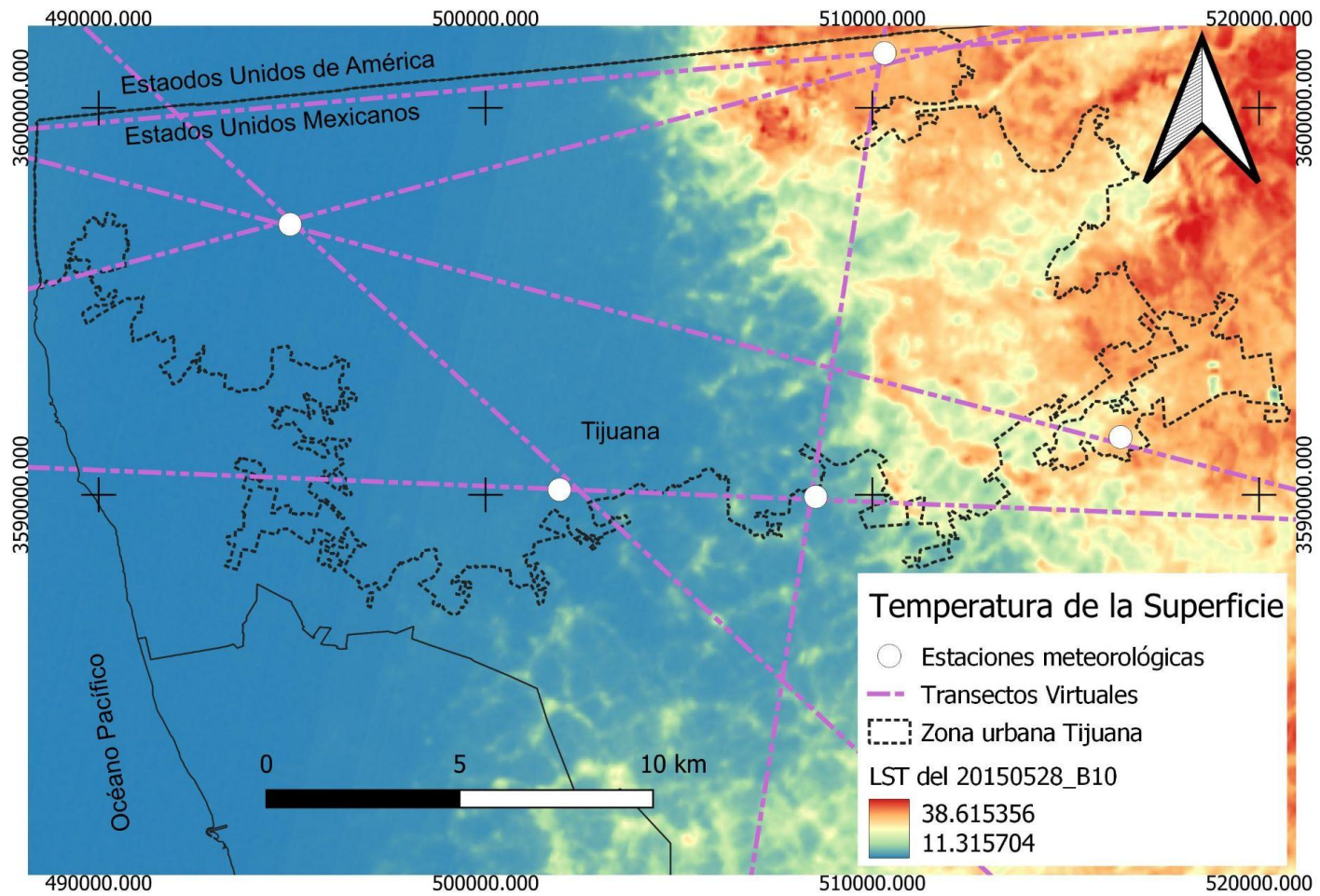
7.5.2 LST DEL 20150120



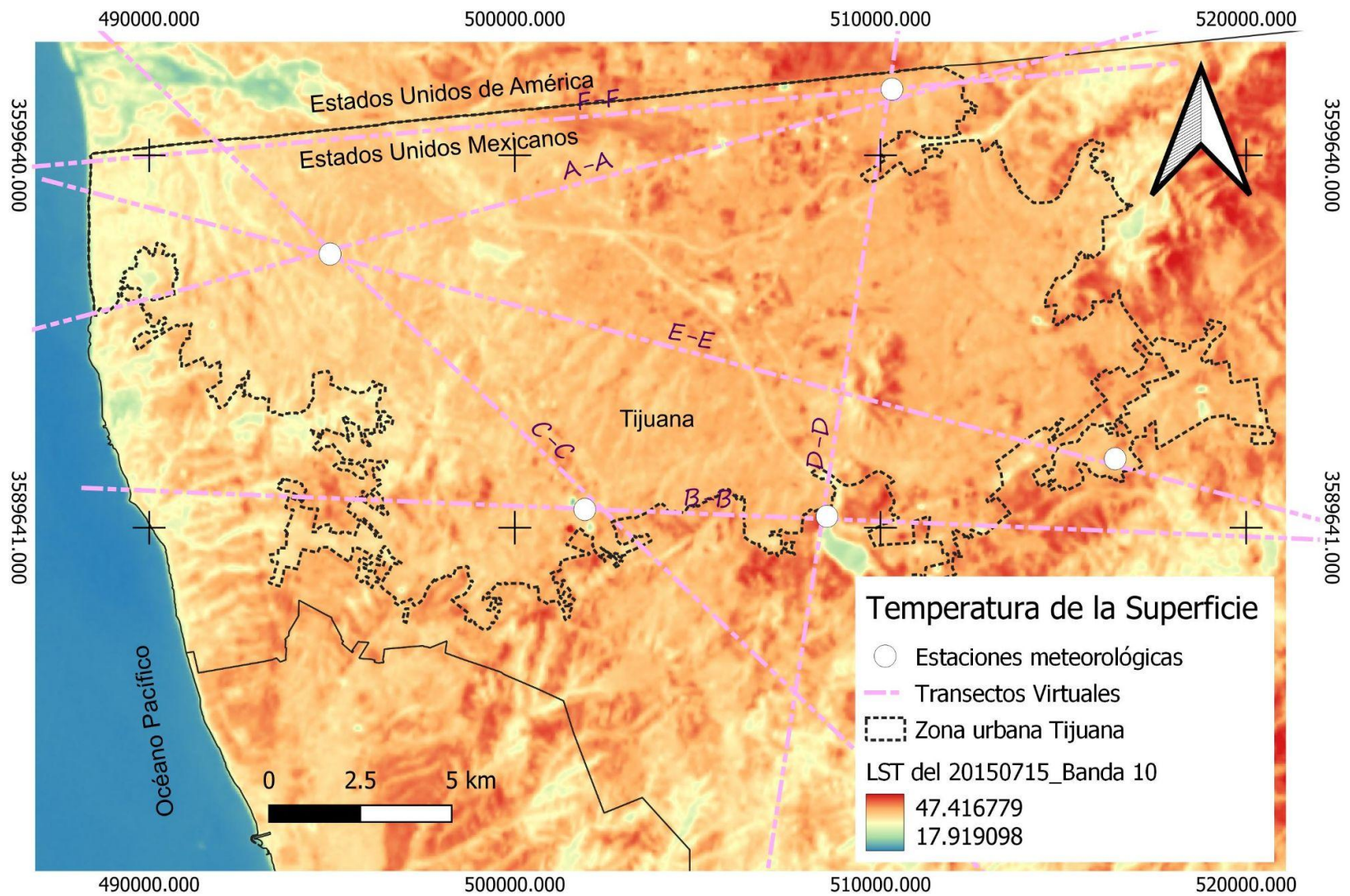
7.5.3 LST DEL 20150512



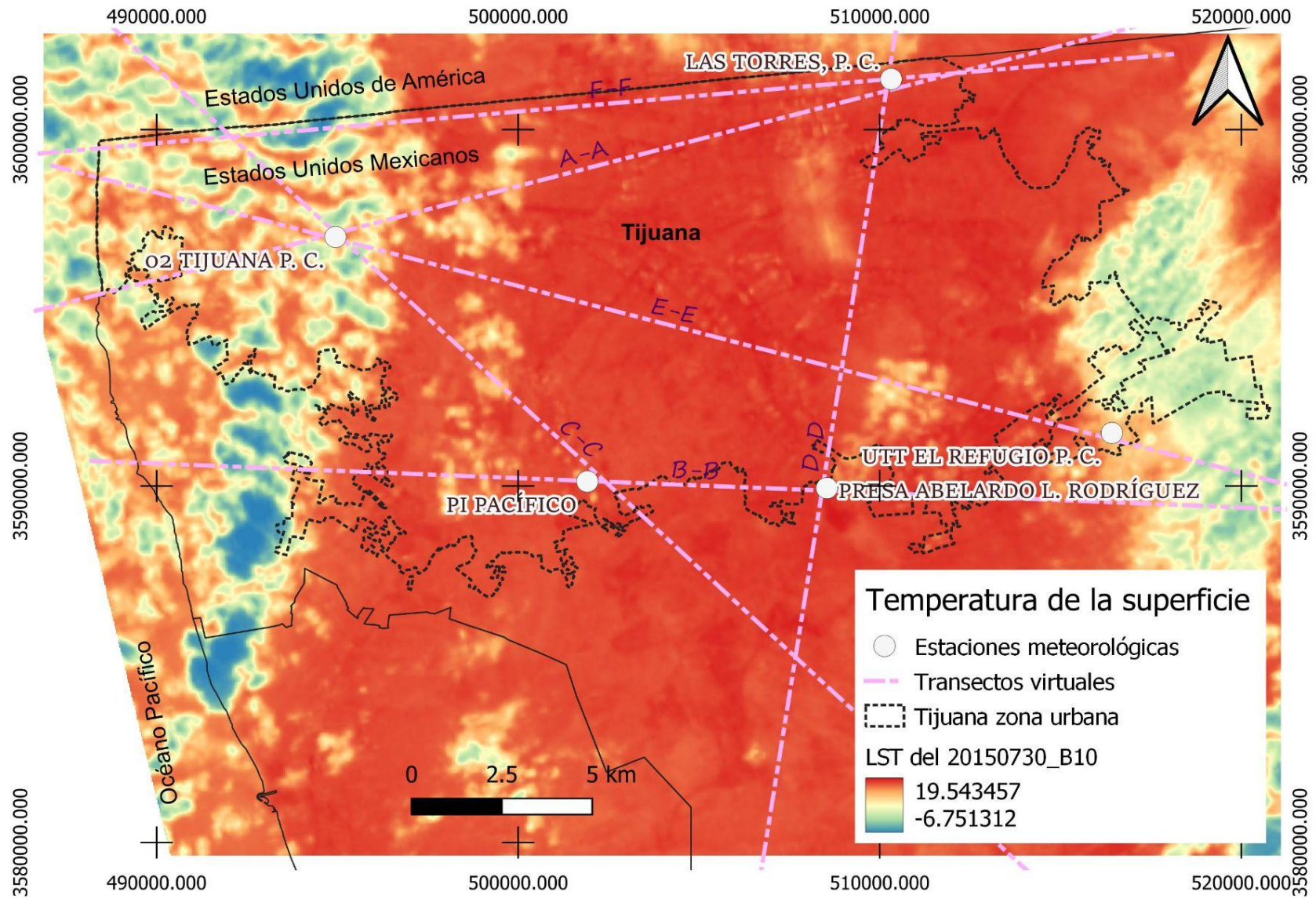
7.5.4 LST DEL 20150528



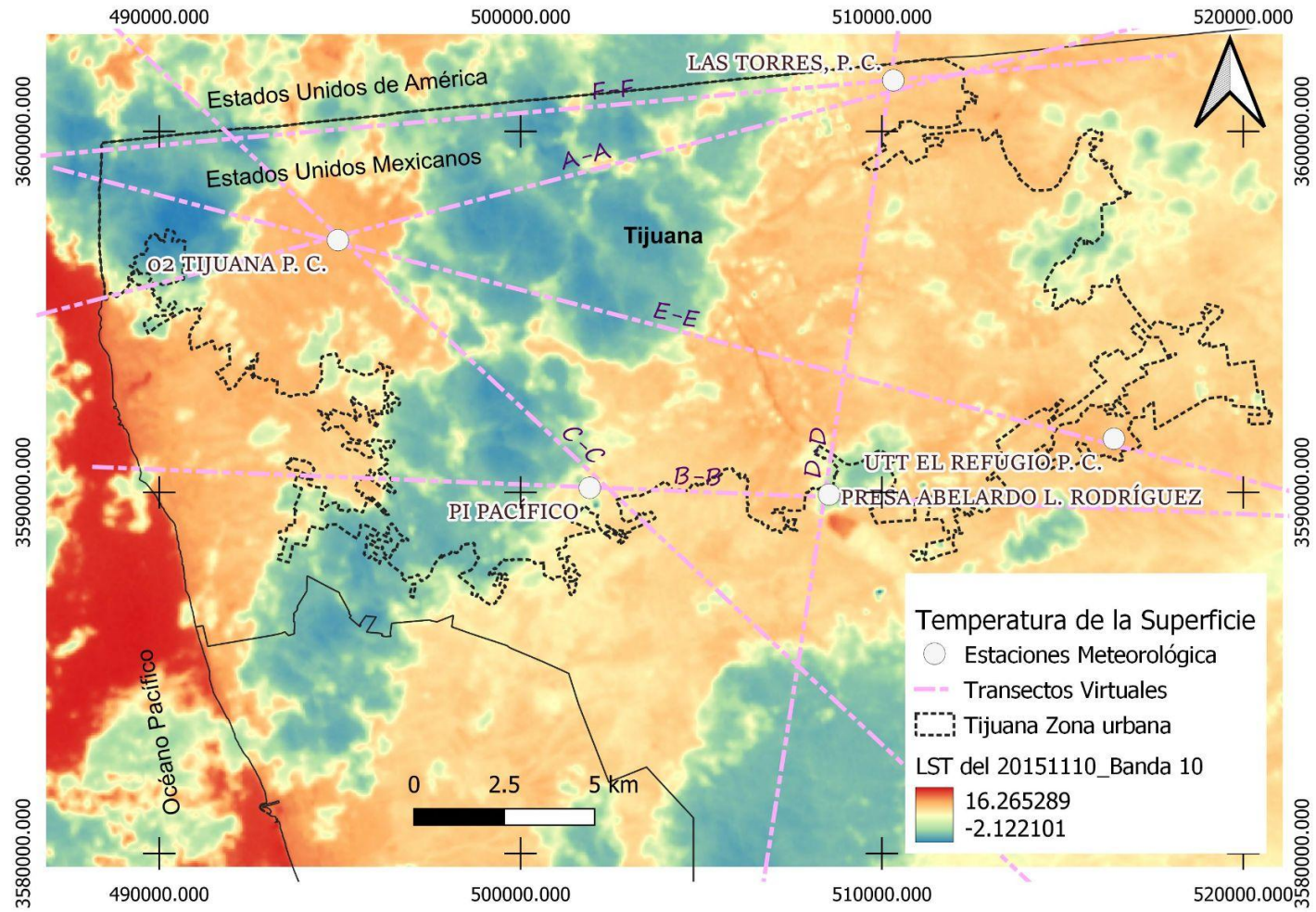
7.5.5 LST DEL 20150715



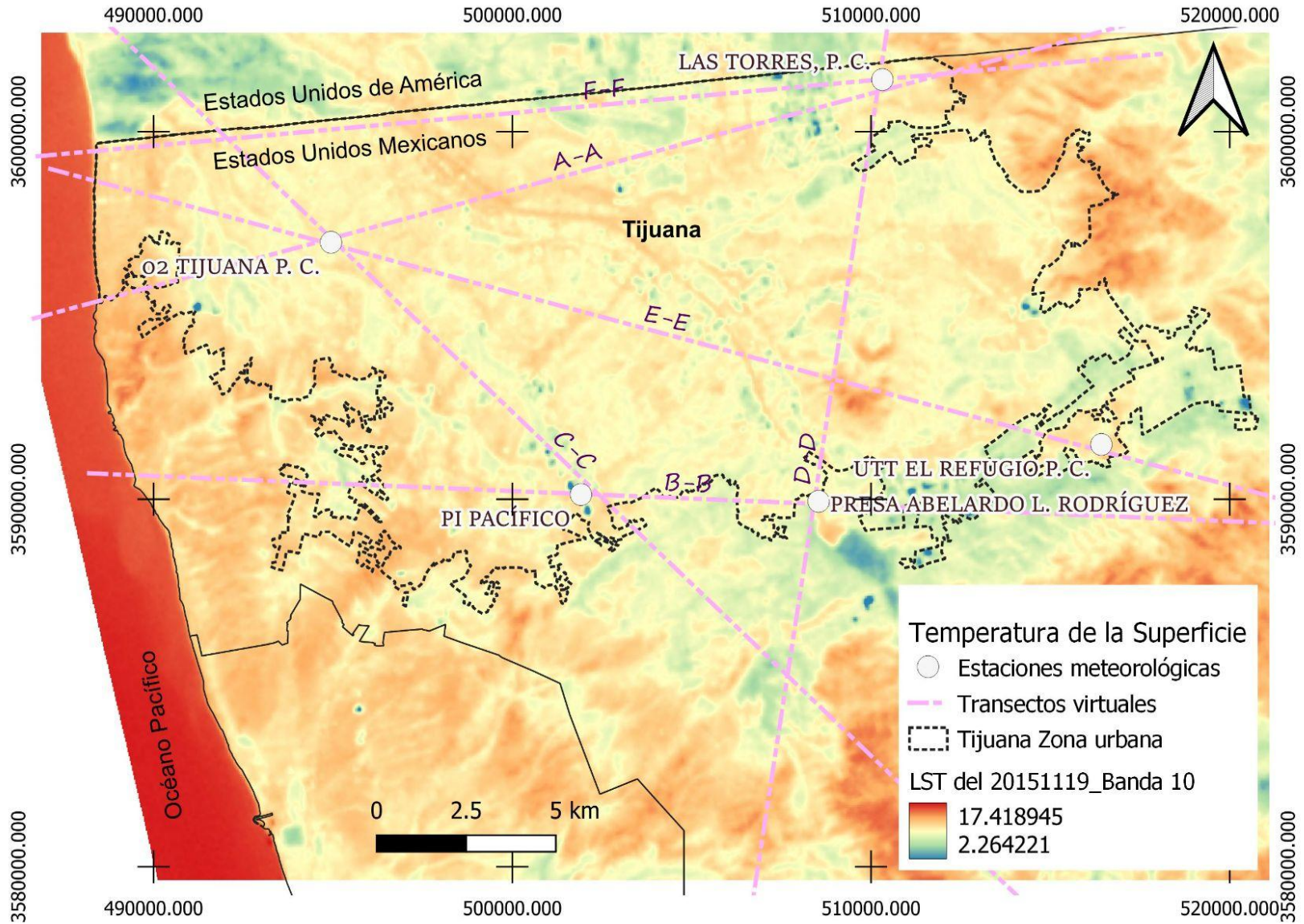
7.5.6 LST DEL 20150730



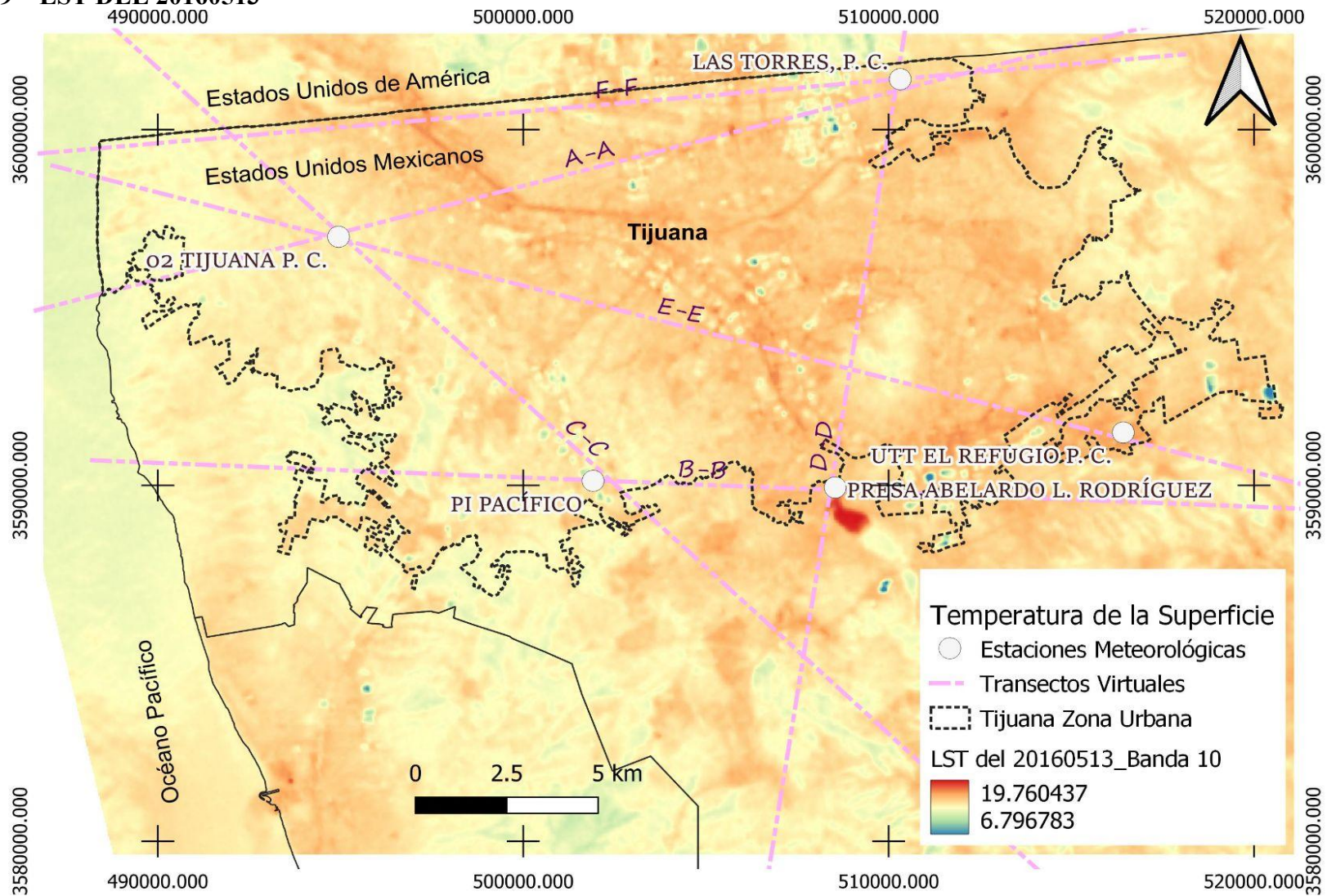
7.5.7 LST DEL 20151110



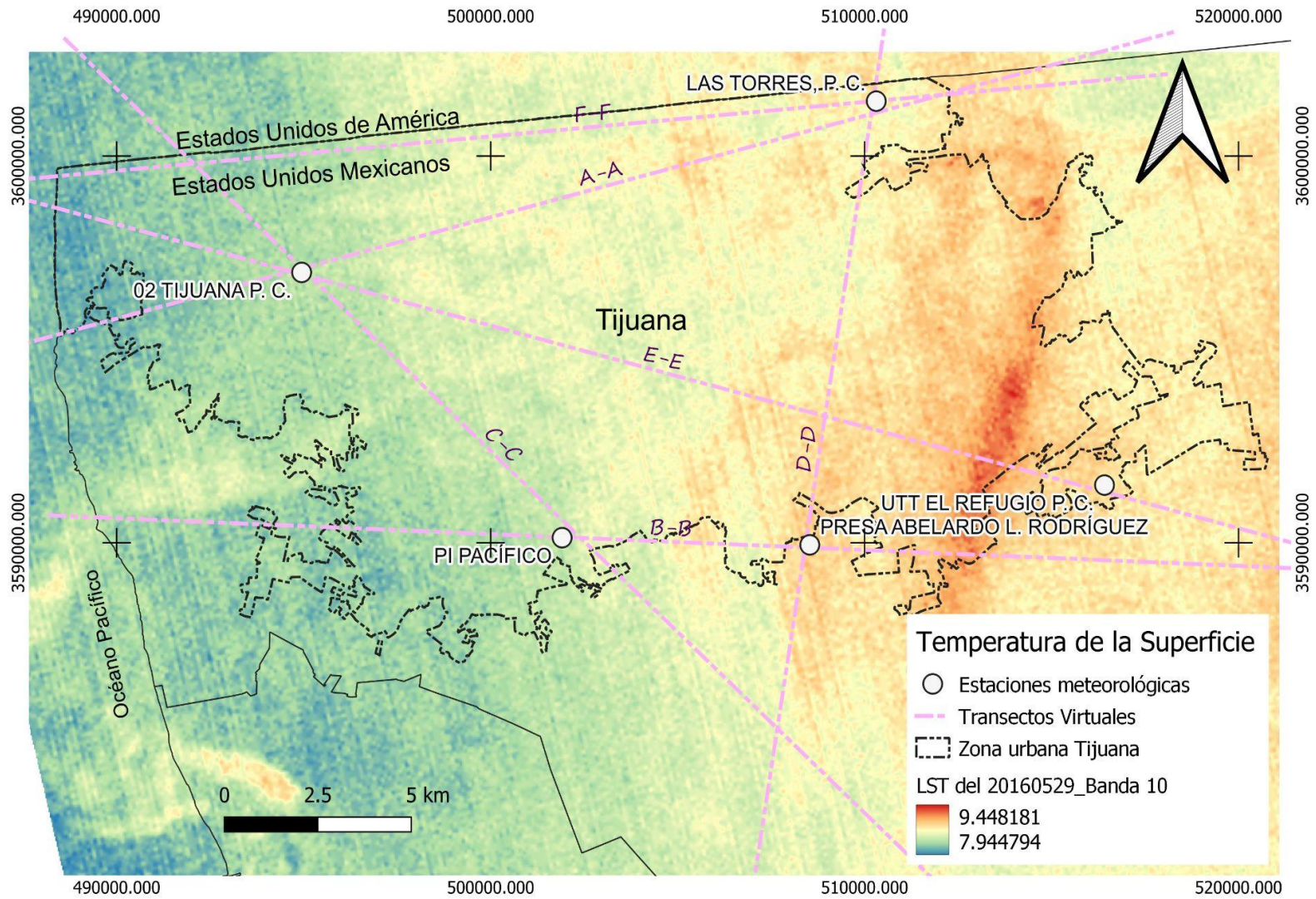
7.5.8 LST DEL 20151119



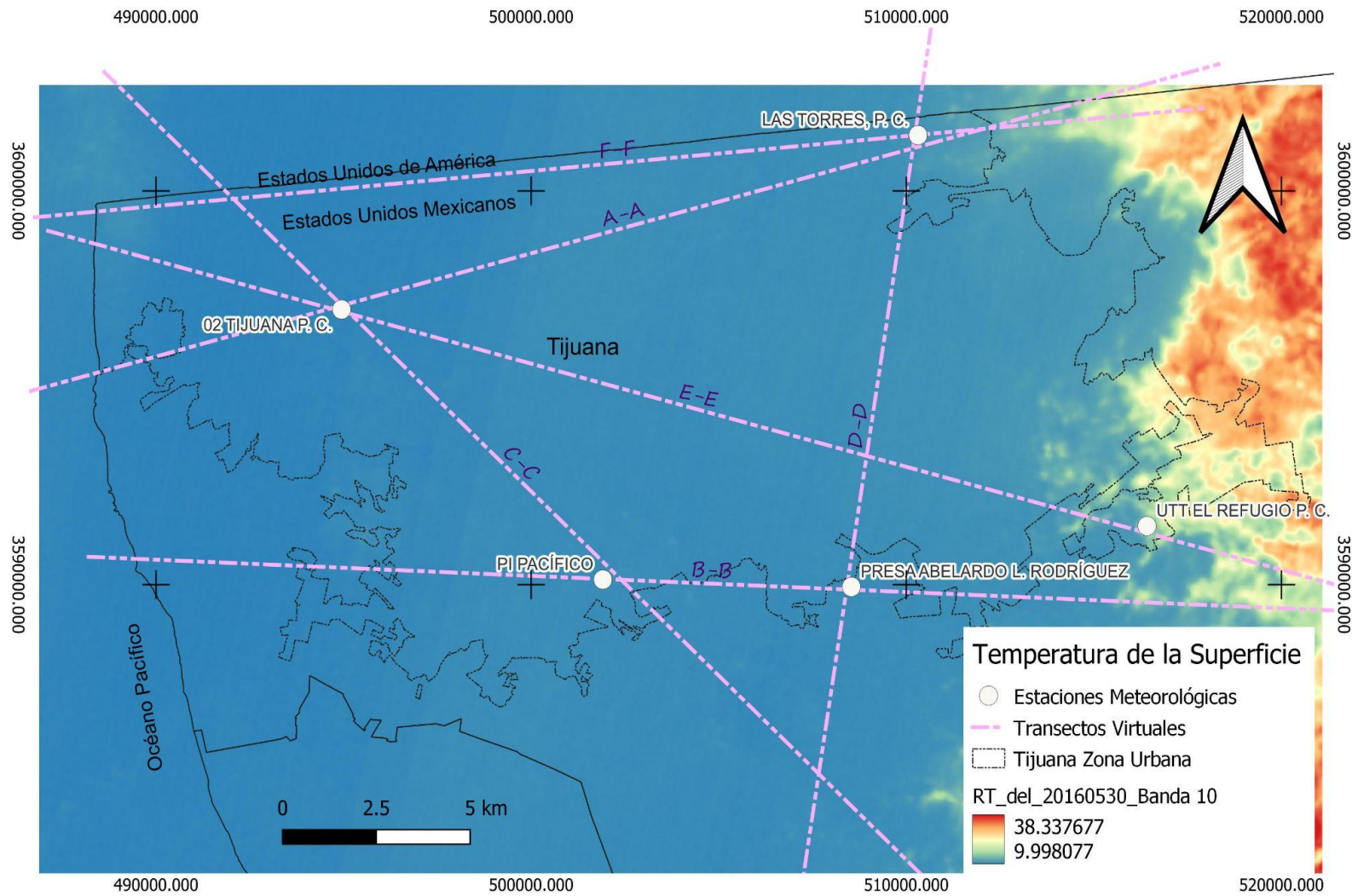
7.5.9 LST DEL 20160513



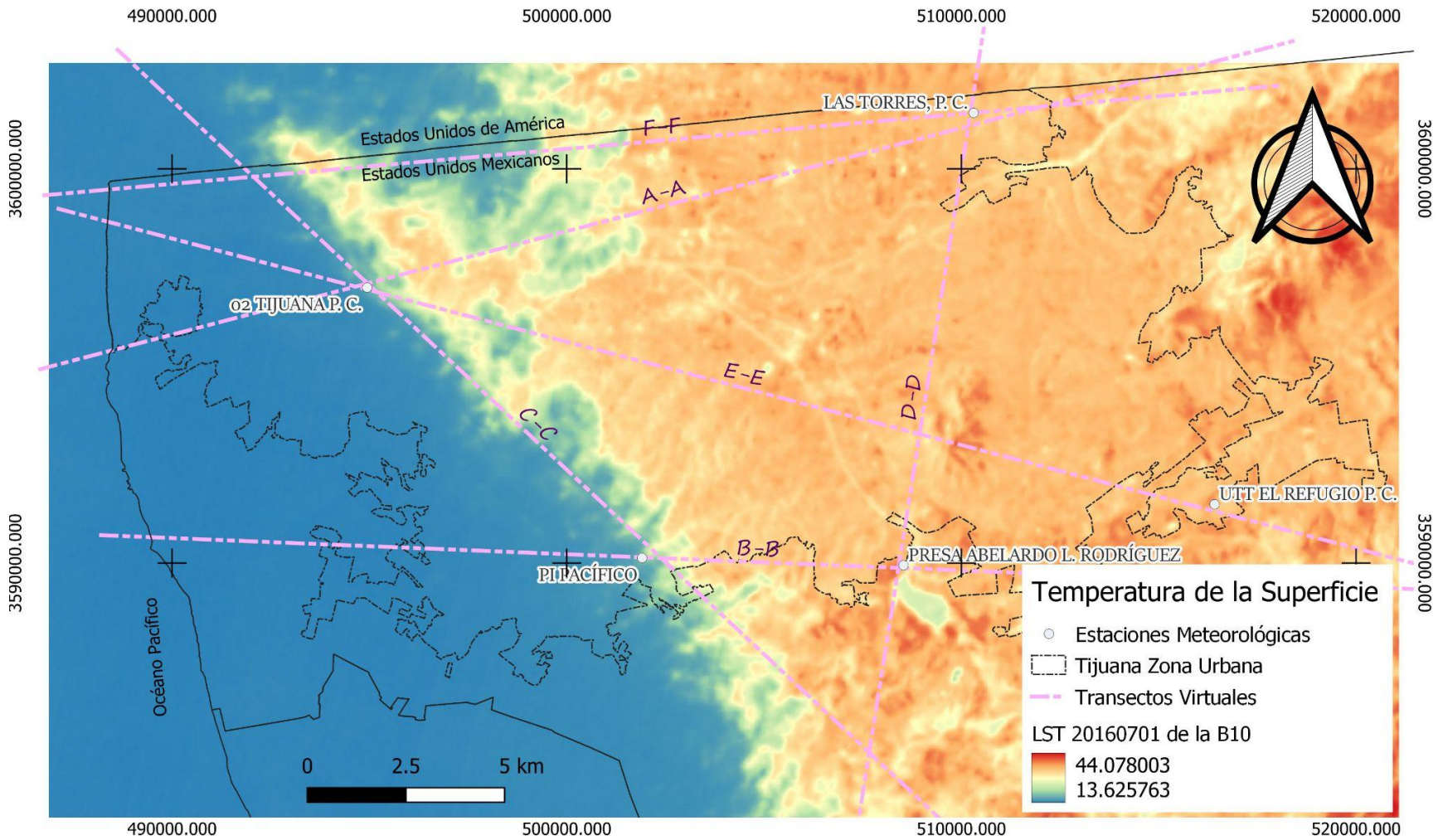
7.5.10 LST DEL 20160529



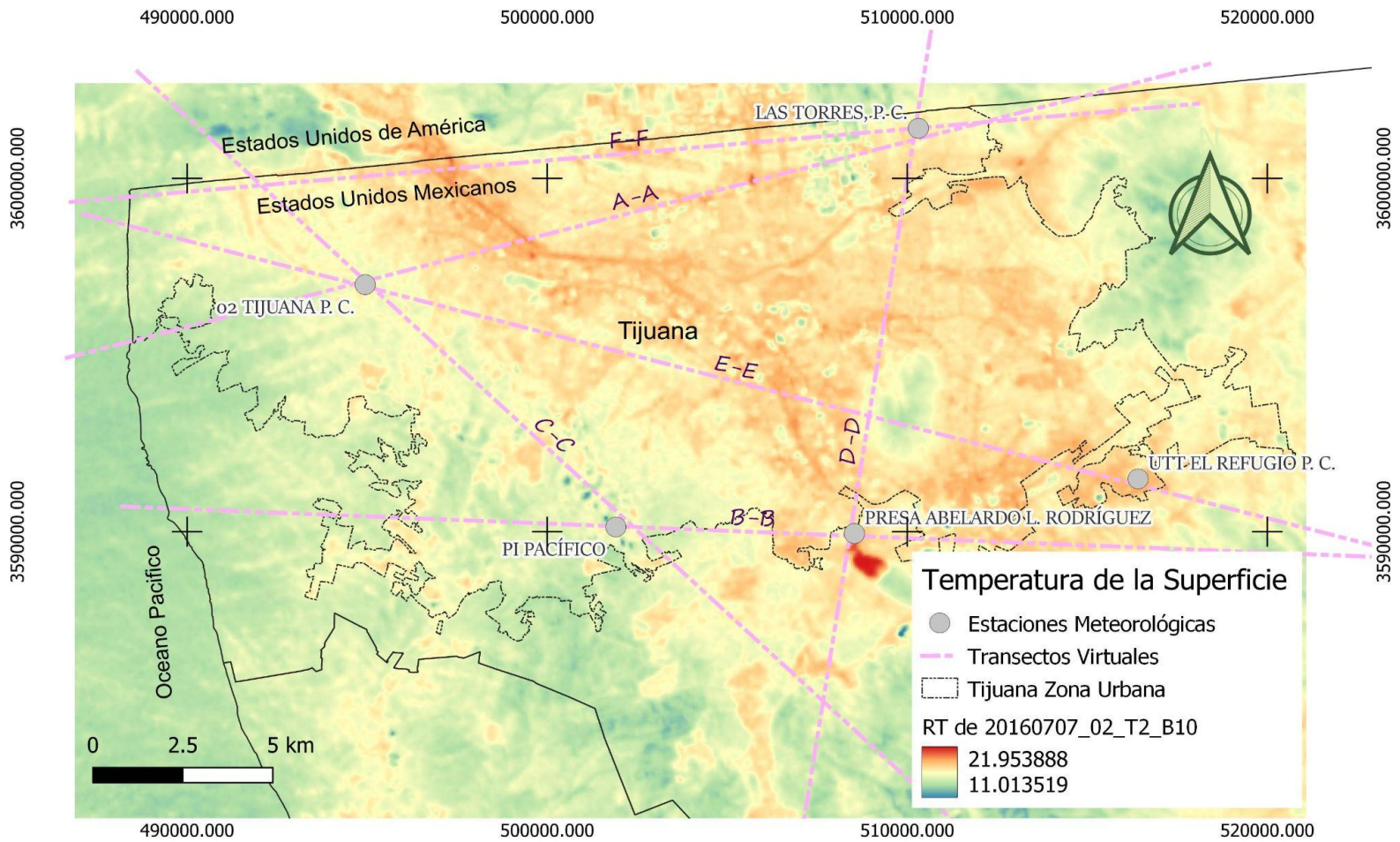
7.5.11 LST DEL 20160530



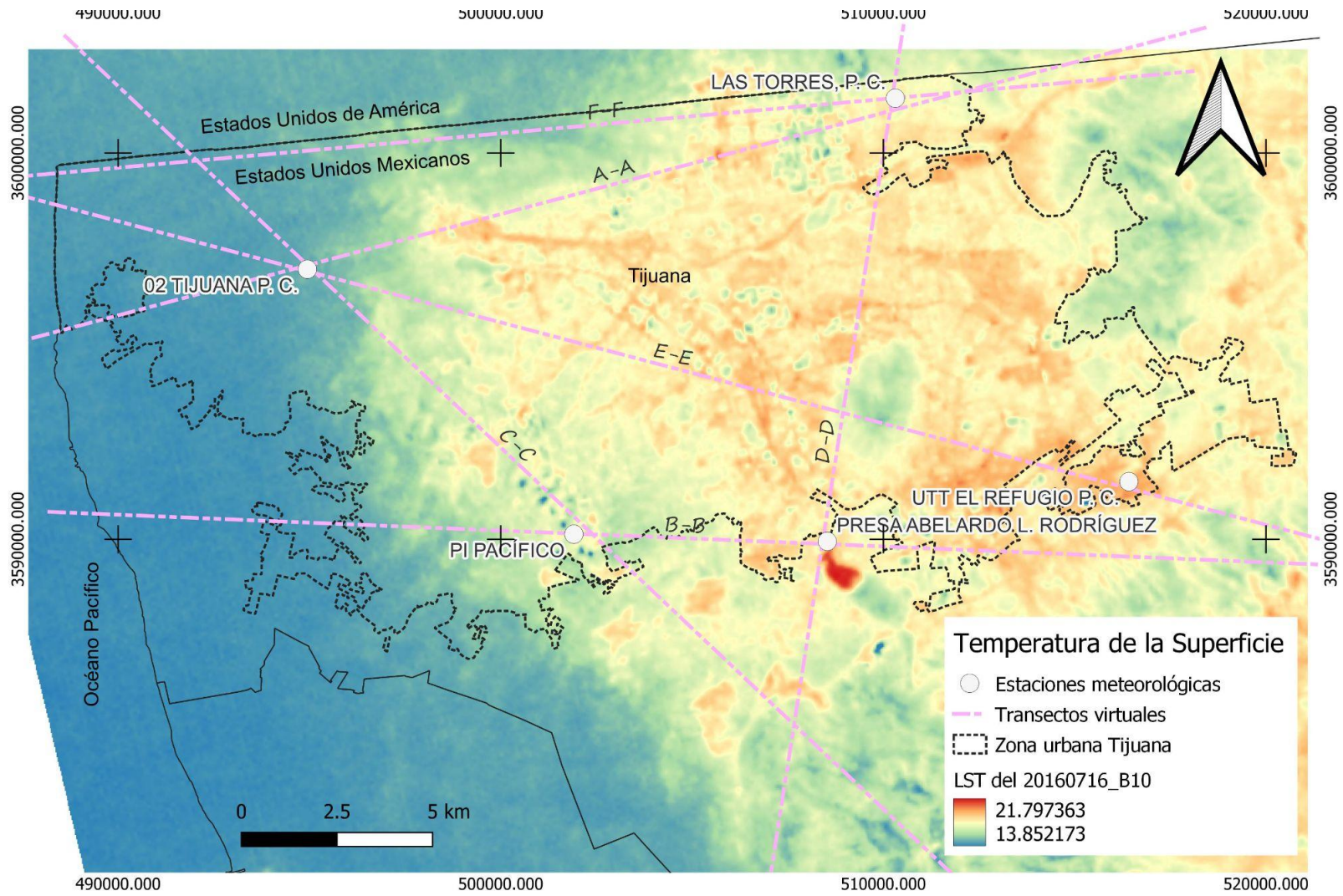
7.5.12 LST DEL 20160701



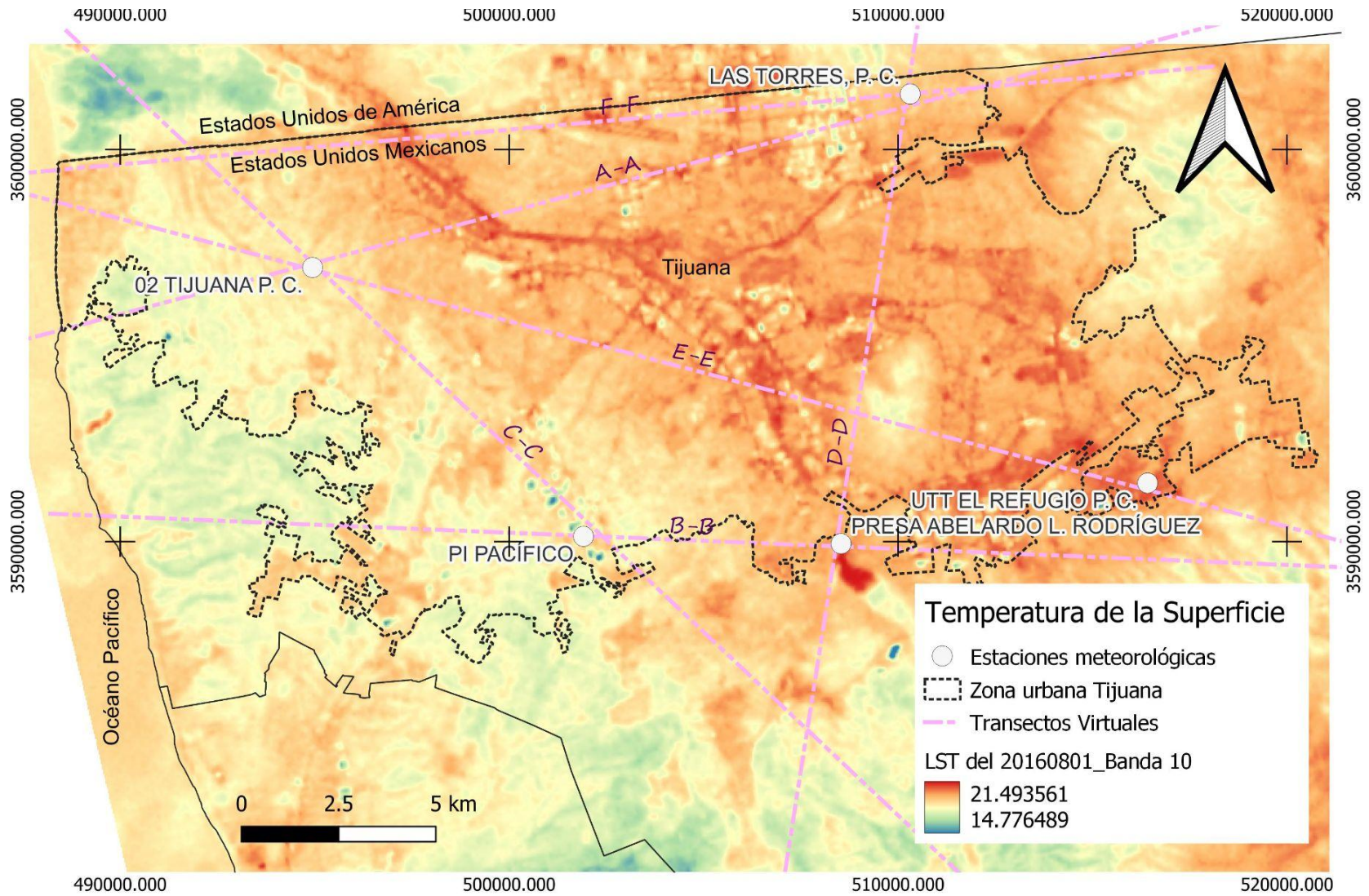
7.5.13 LST DEL 20160707



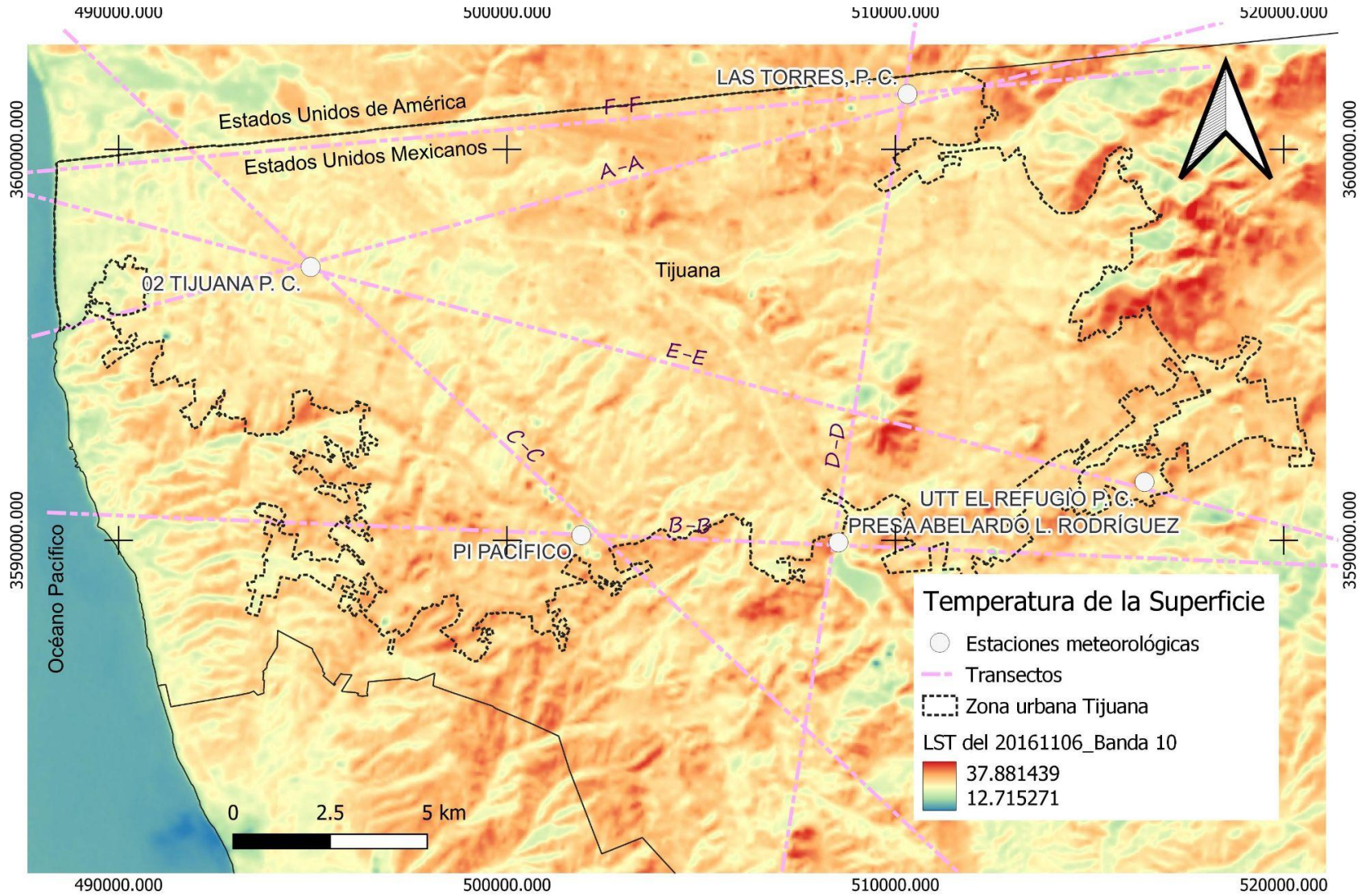
7.5.14 LST DEL 20160716



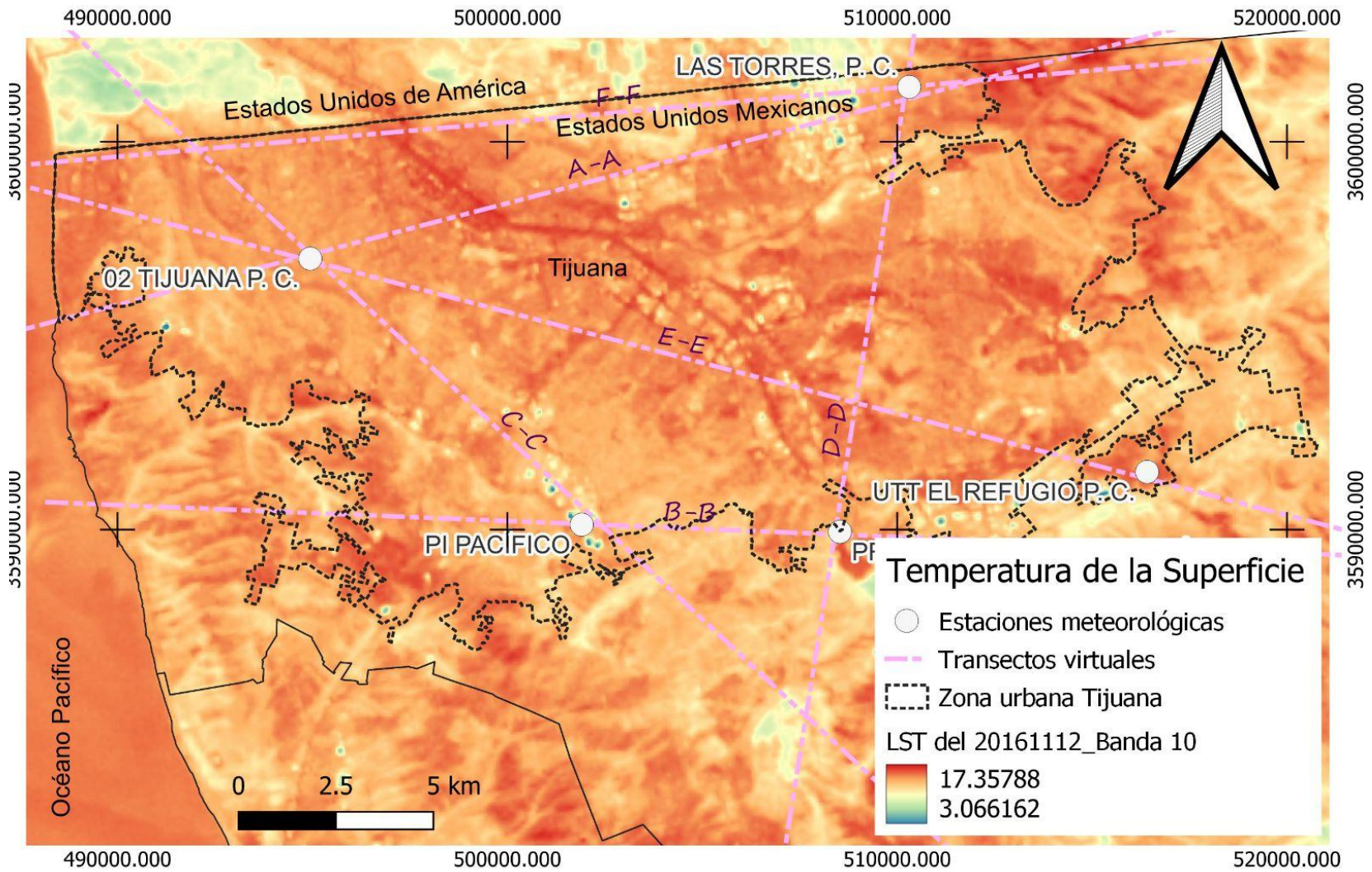
7.5.15 LST DEL 20160801



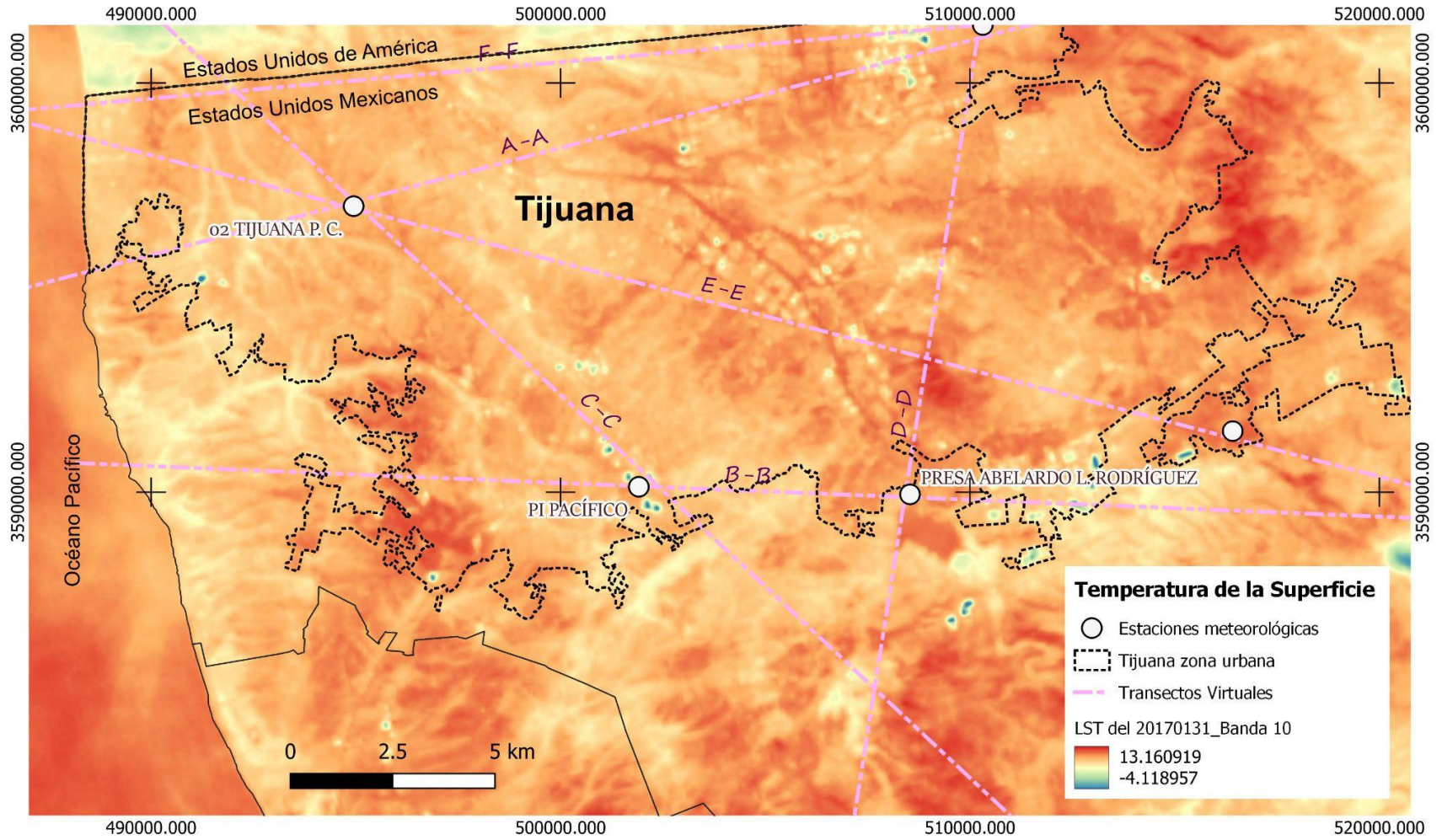
7.5.16 LST DEL 20161106



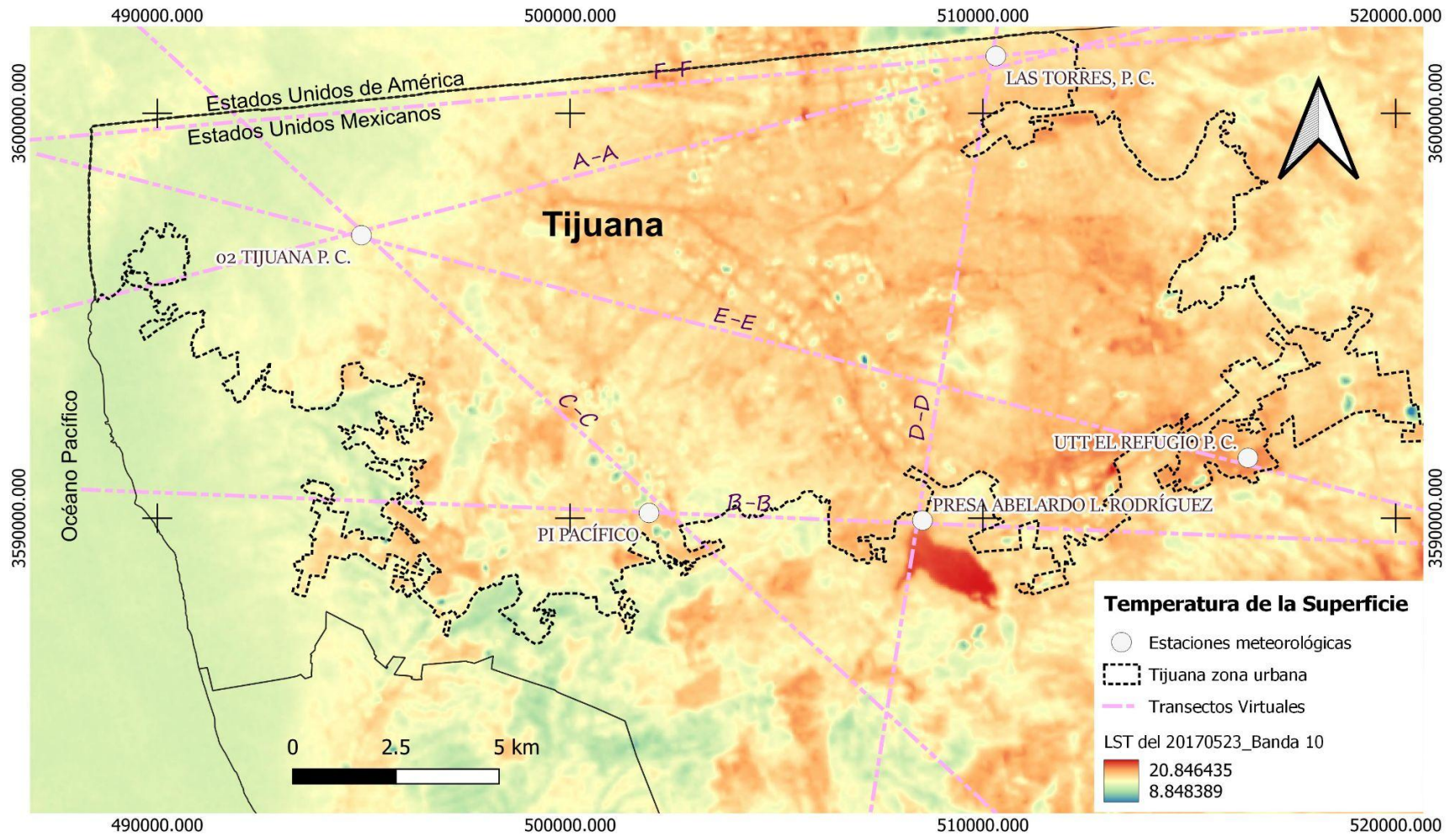
7.5.17 LST DEL 20161112



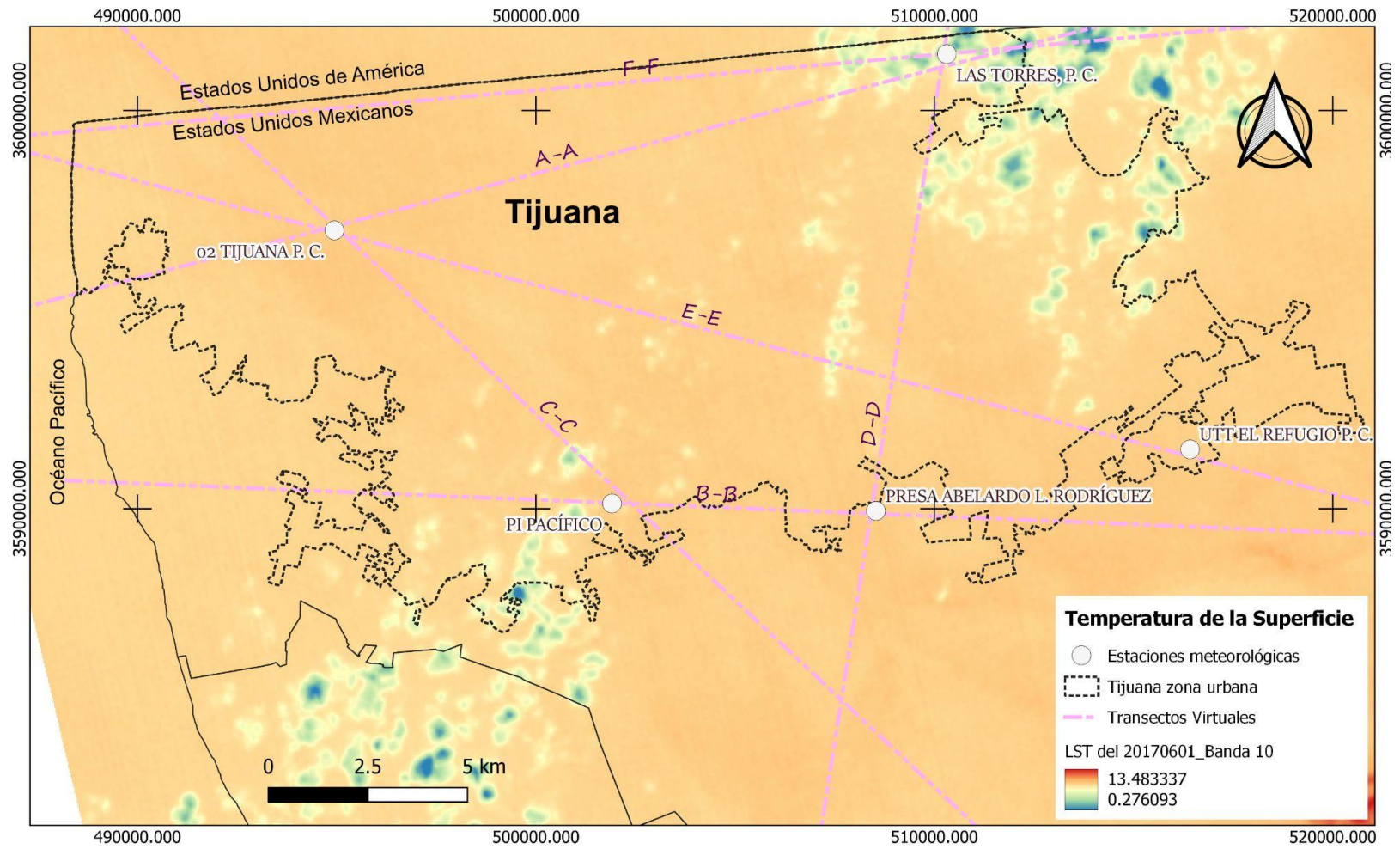
7.5.18 LST DEL 20170131



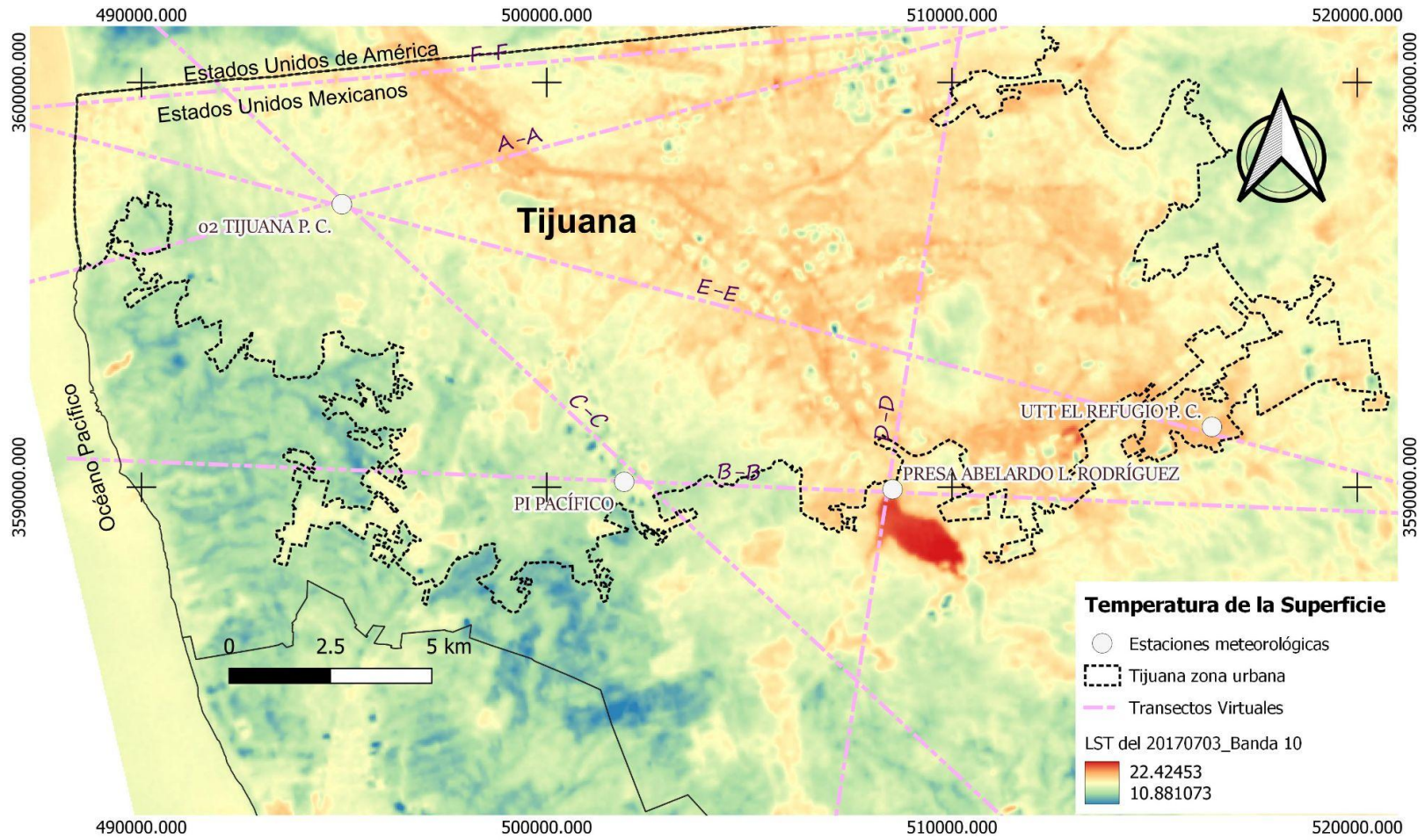
7.5.19 LST DEL 20170523



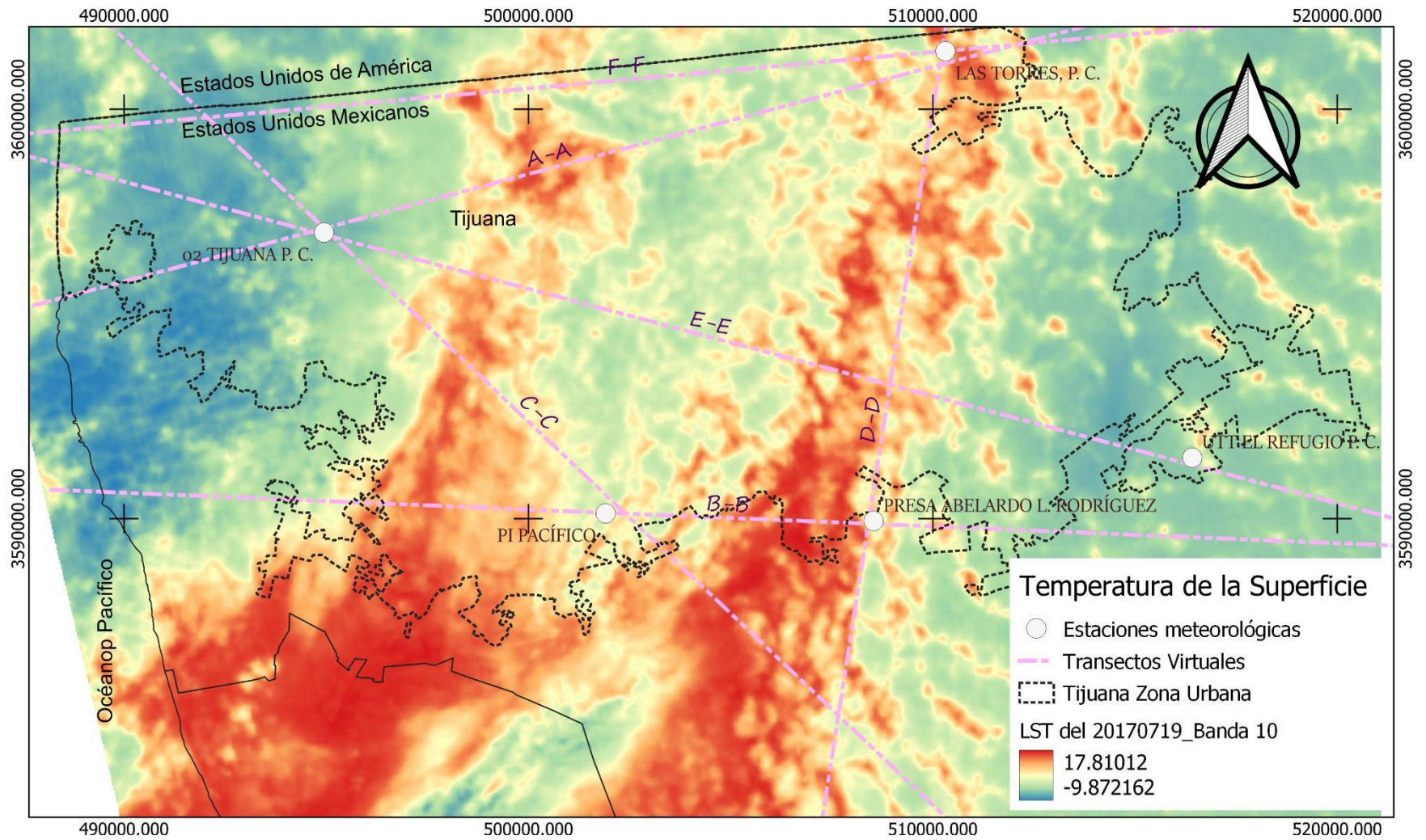
7.5.20 LST DEL 20170601



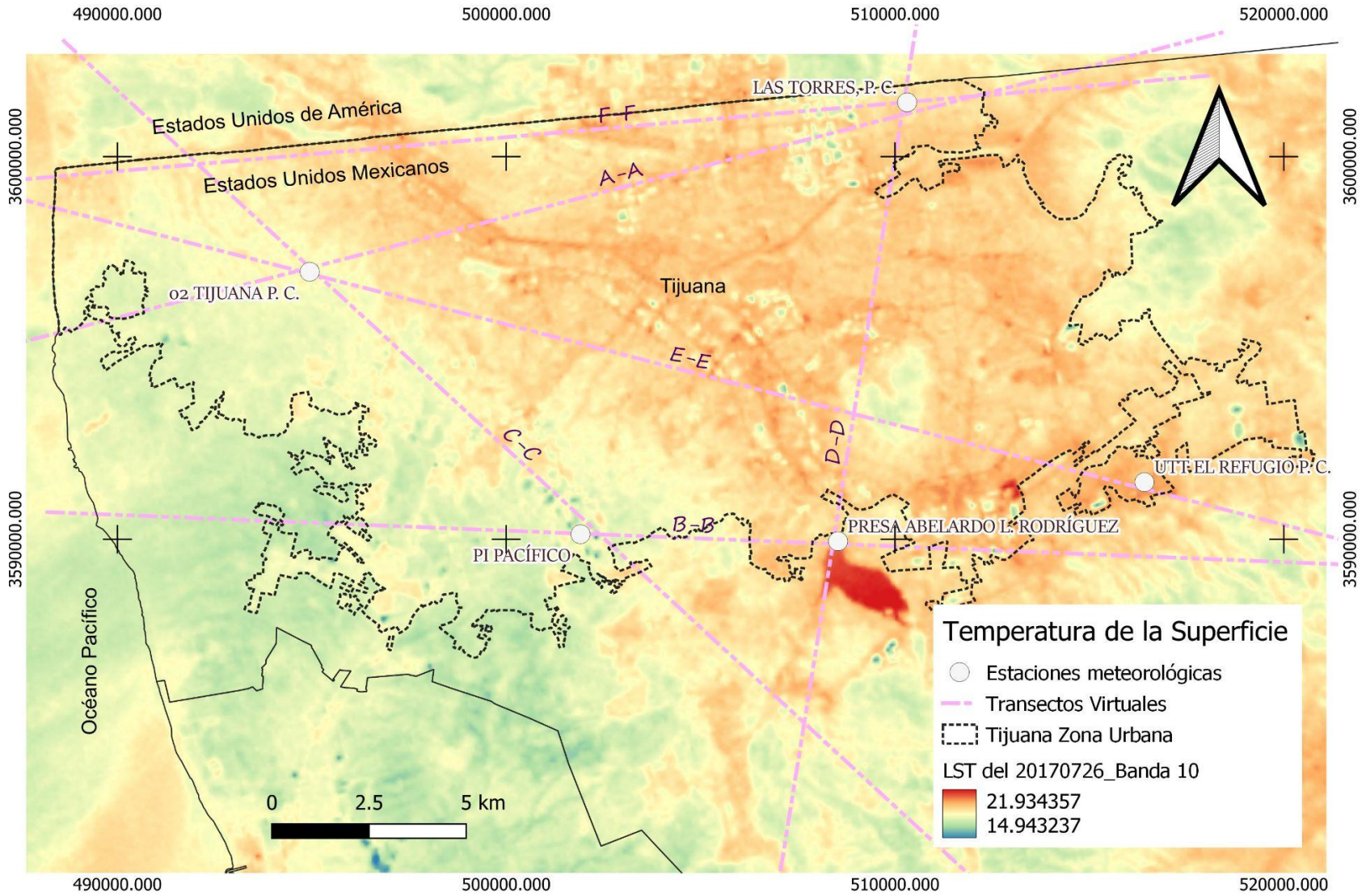
7.5.21 LST DEL 20170703



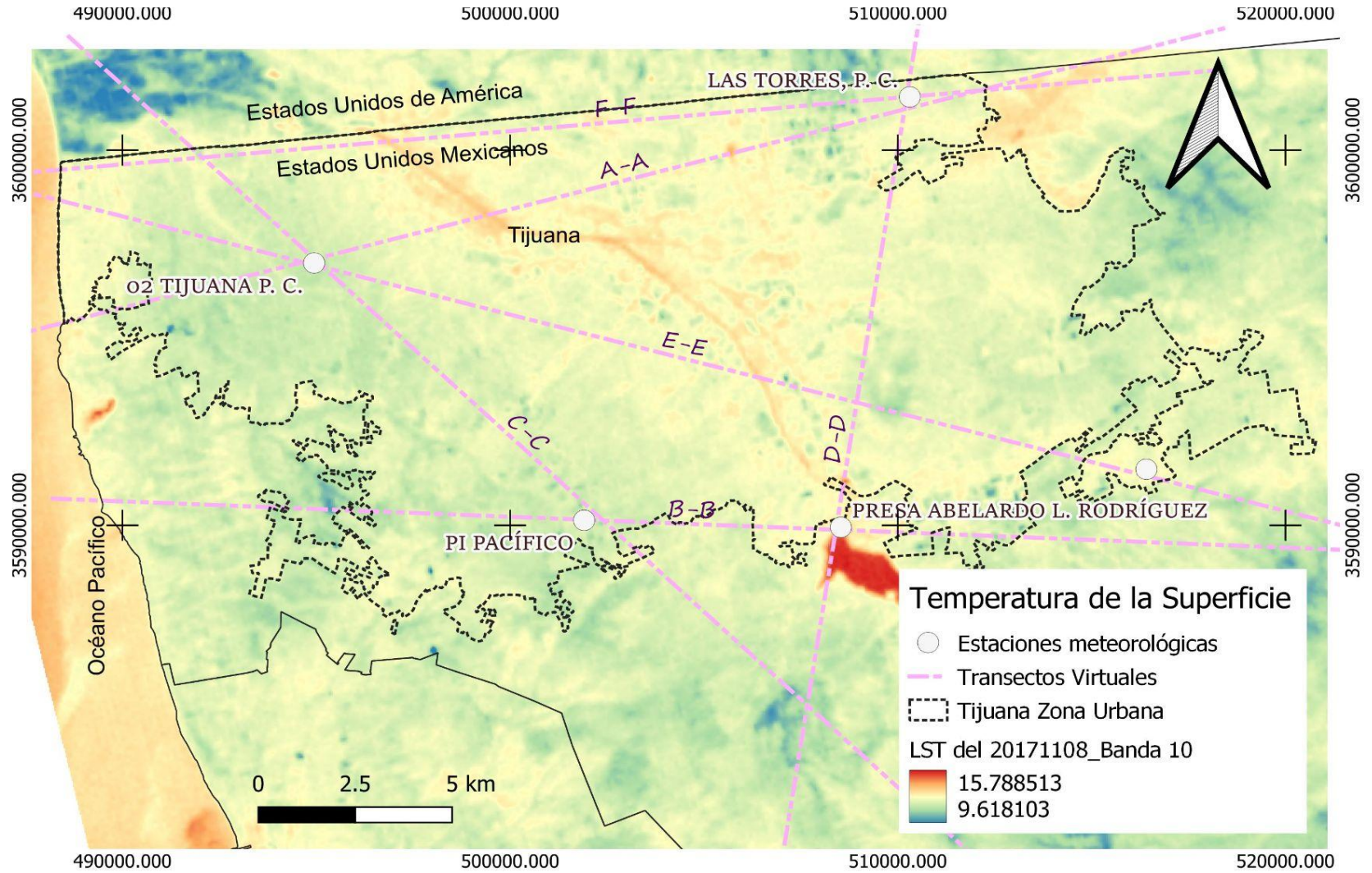
7.5.22 LST DEL 20170719



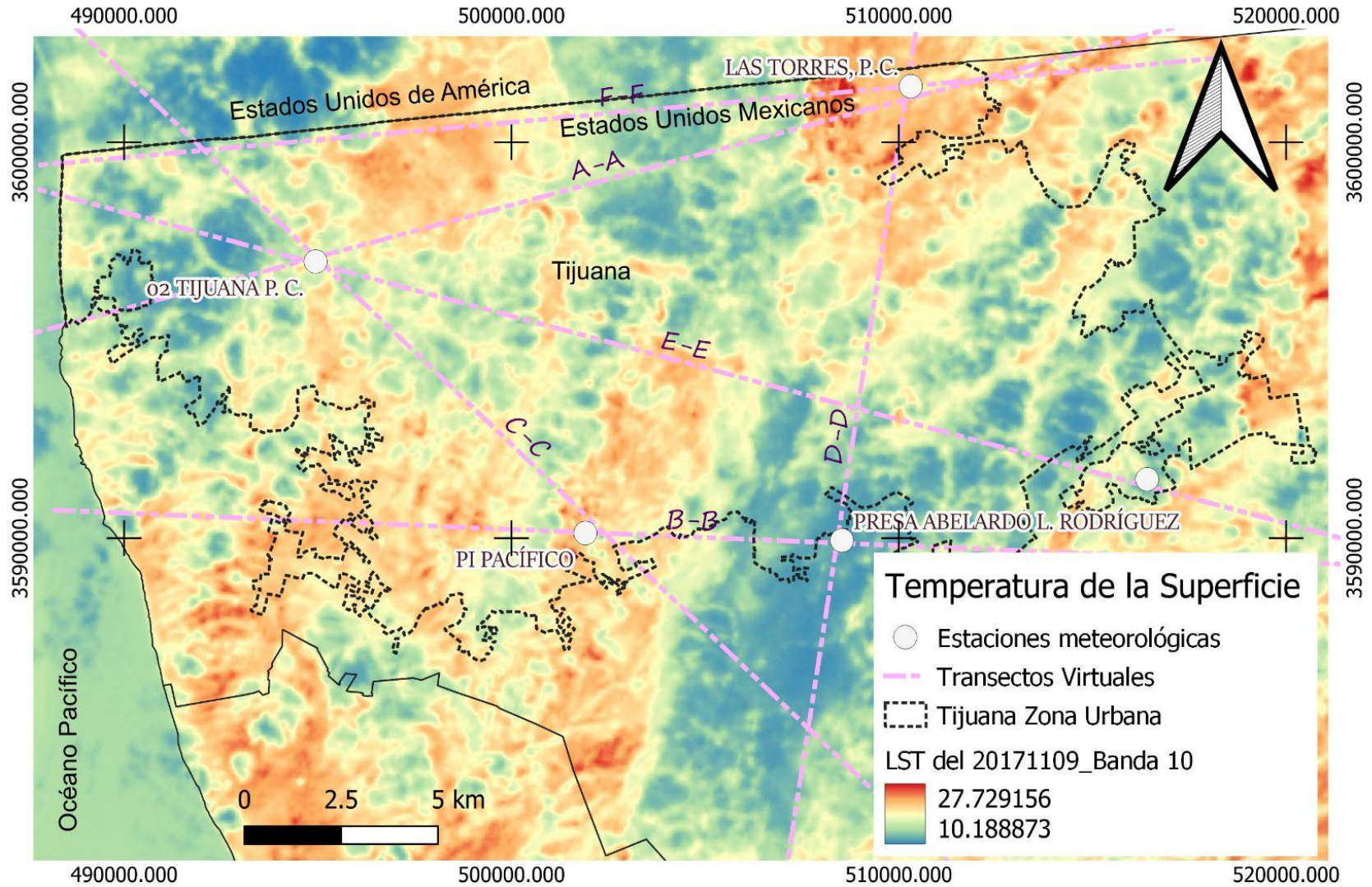
7.5.23 LST DEL 20170726



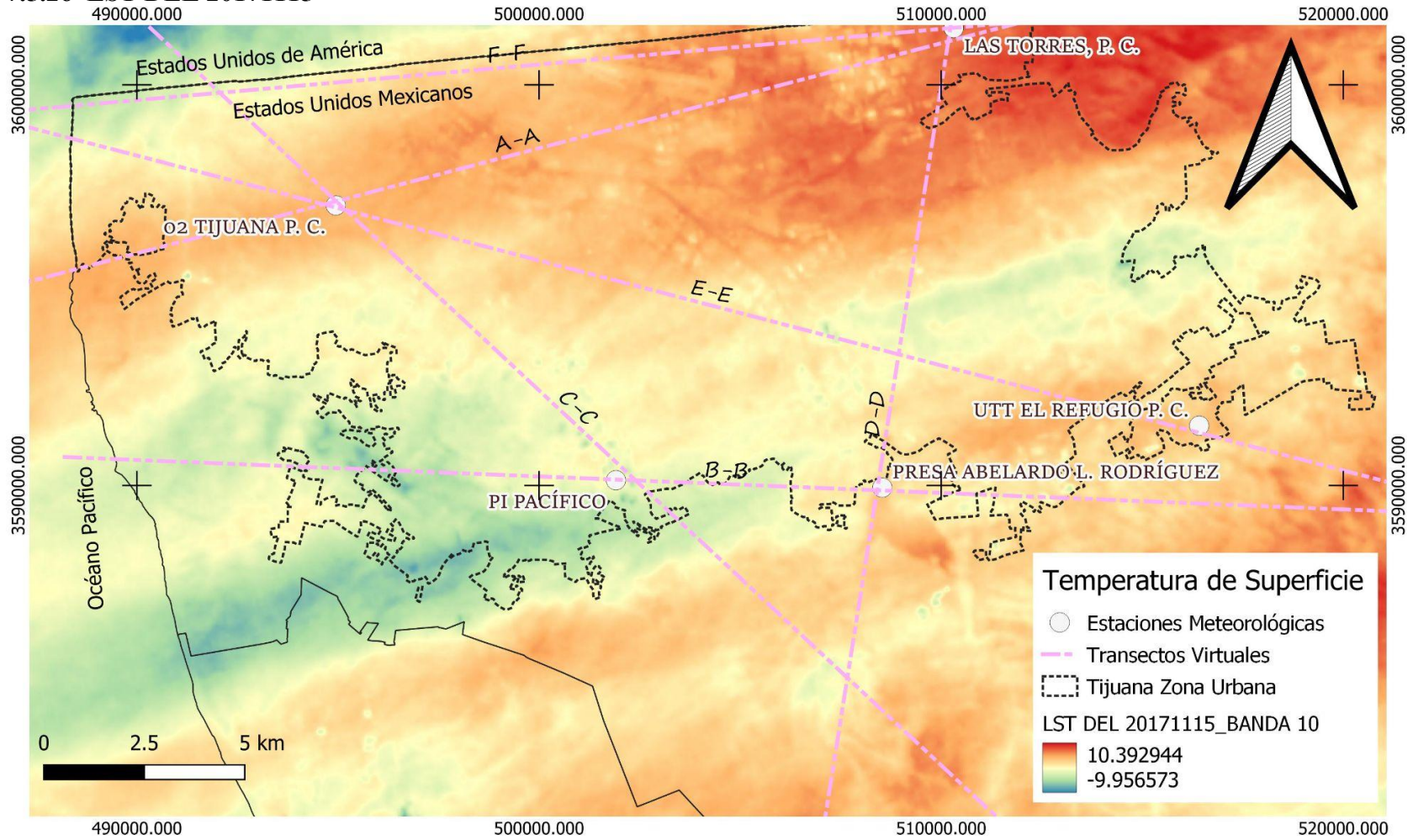
7.5.24 LST DEL 20171108



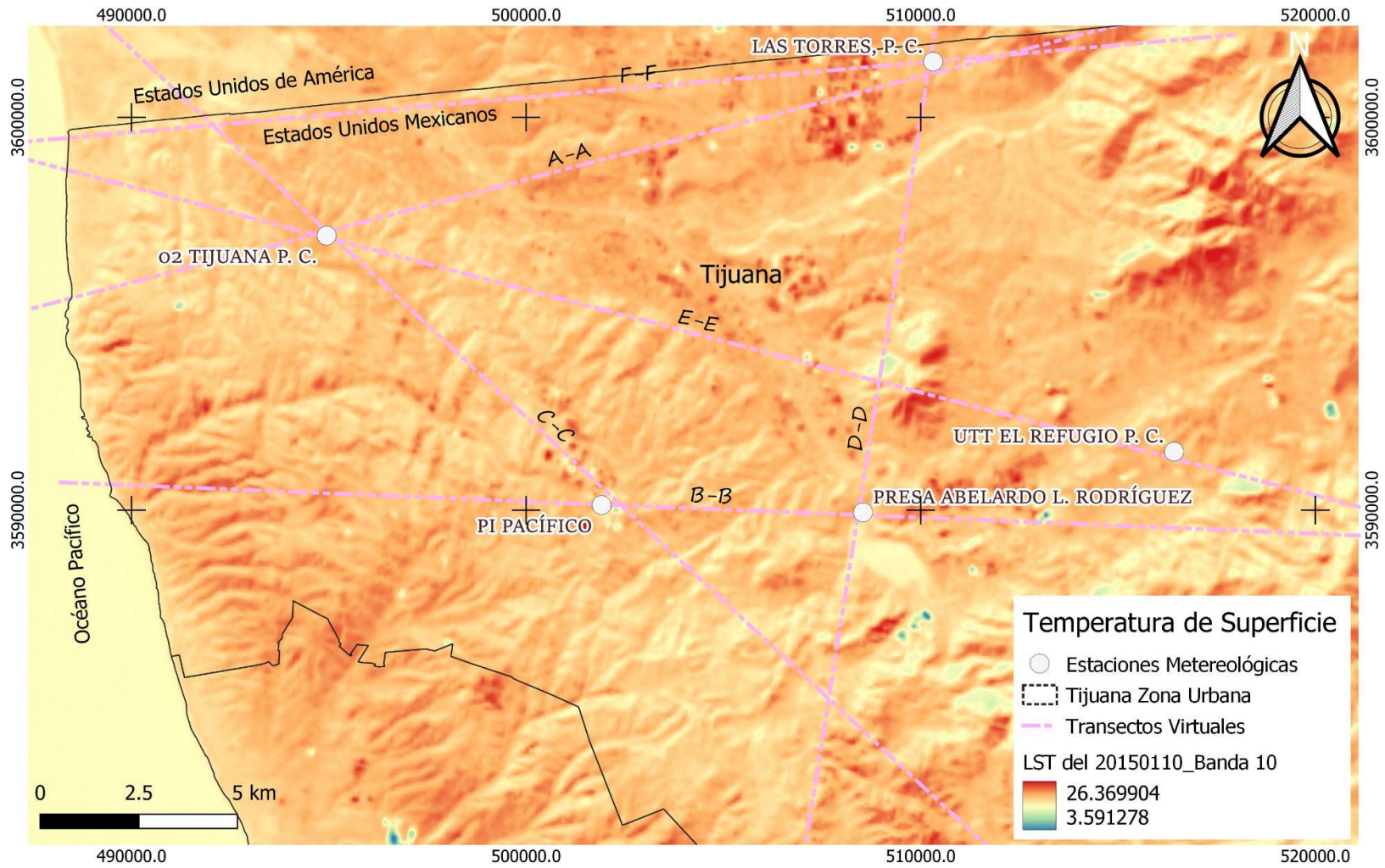
7.5.25 LST DEL 20171109



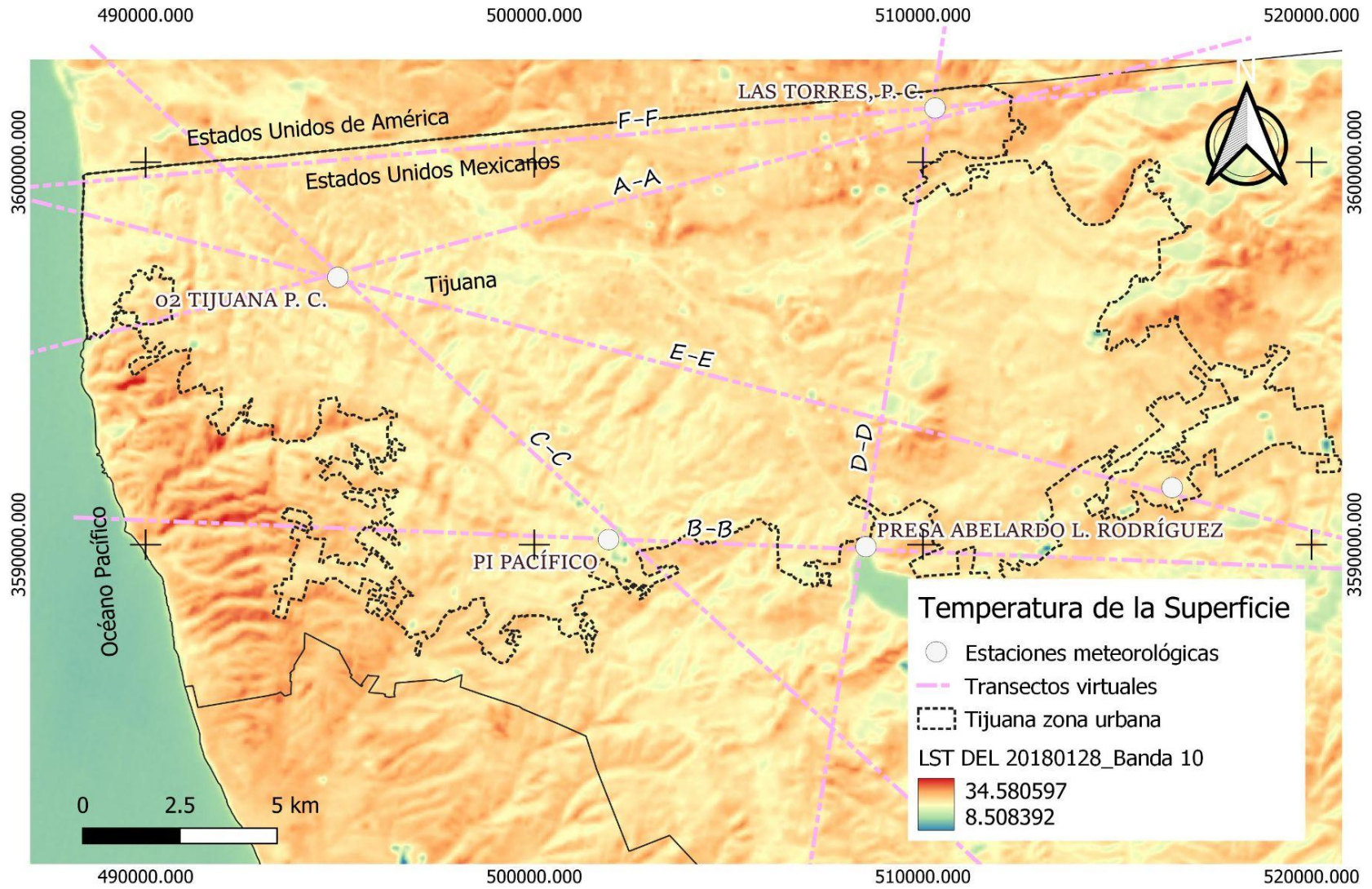
7.5.26 LST DEL 20171115



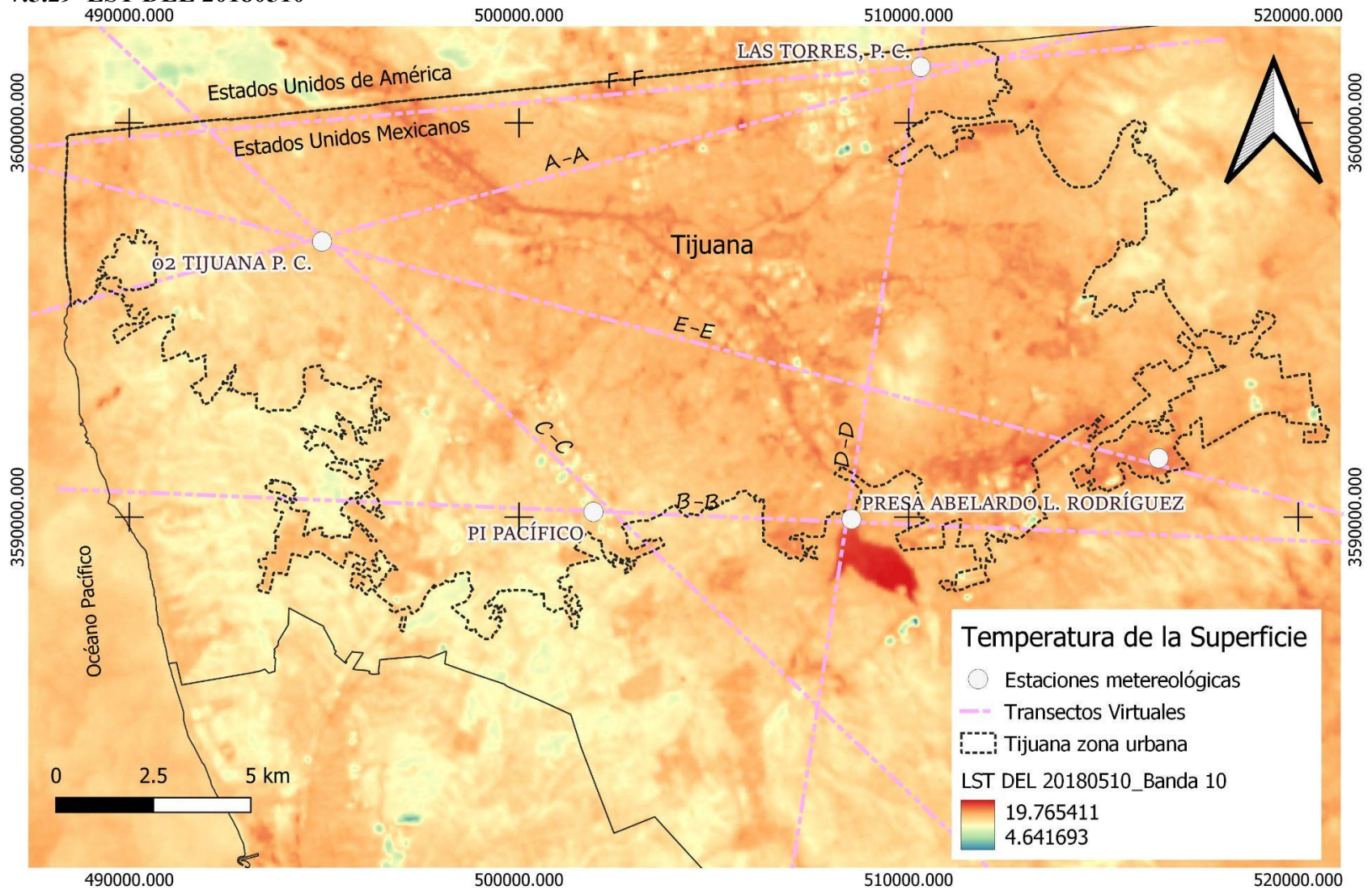
7.5.27 LST DEL 20180112



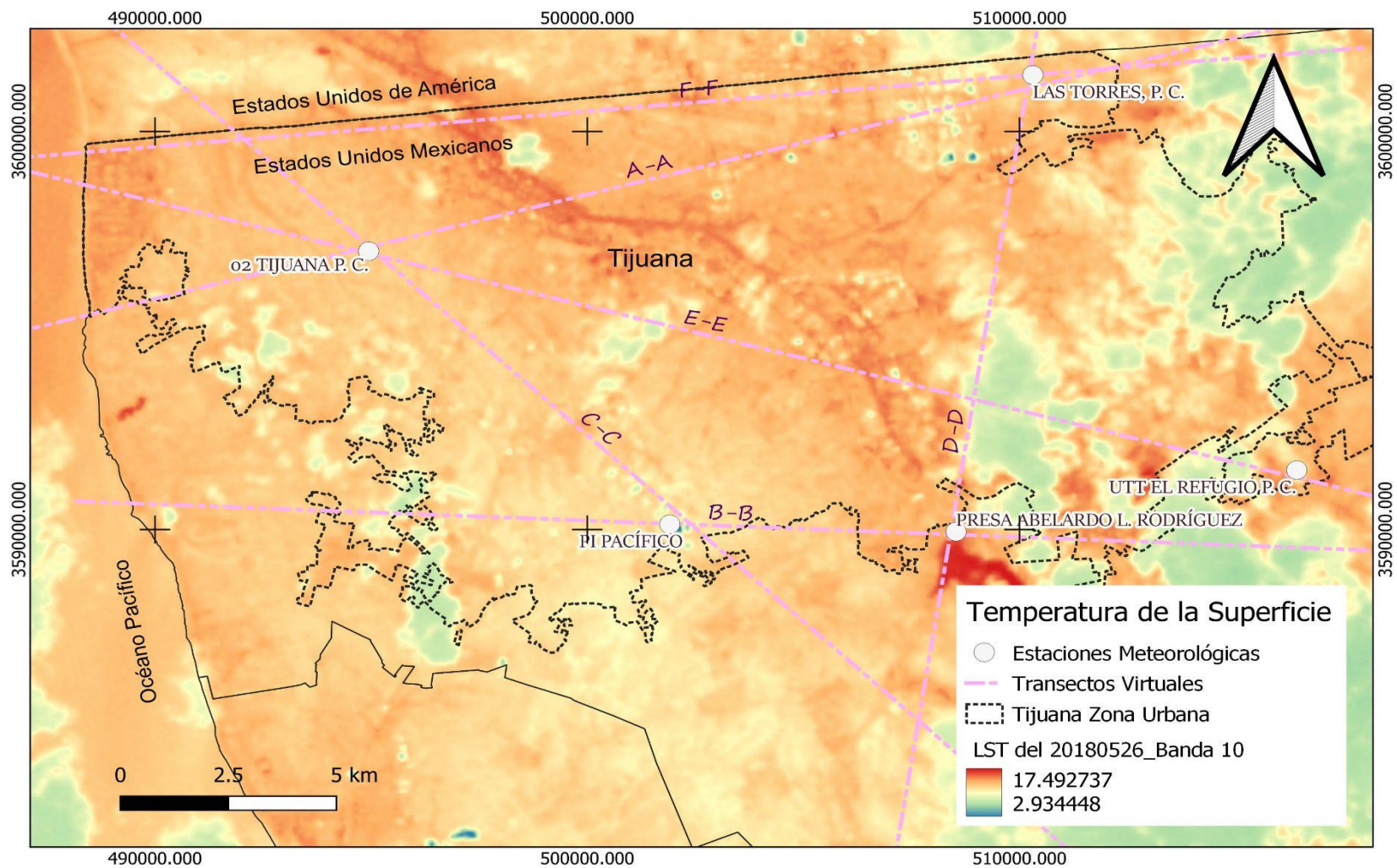
7.5.28 LST DEL 20180128



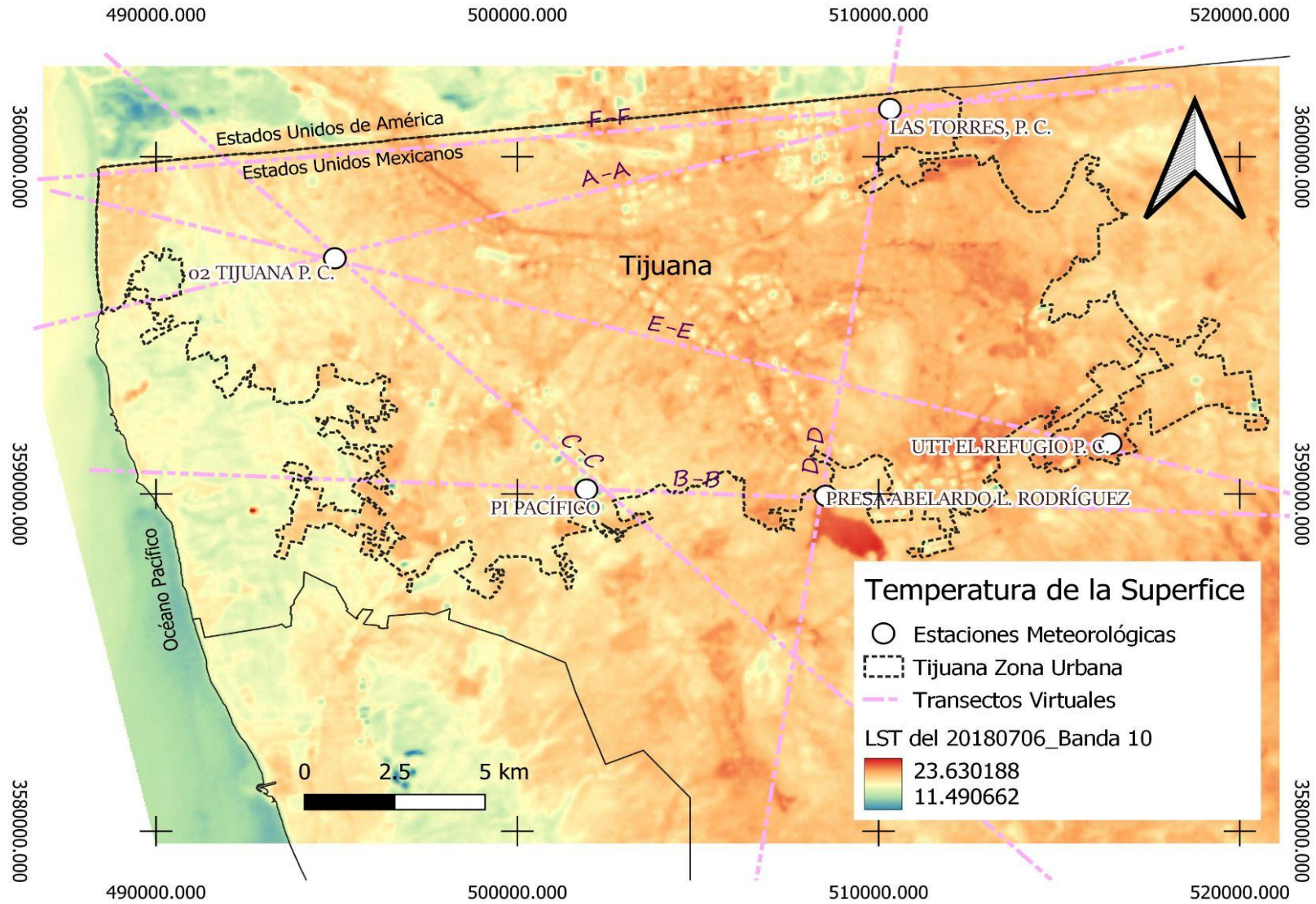
7.5.29 LST DEL 20180510



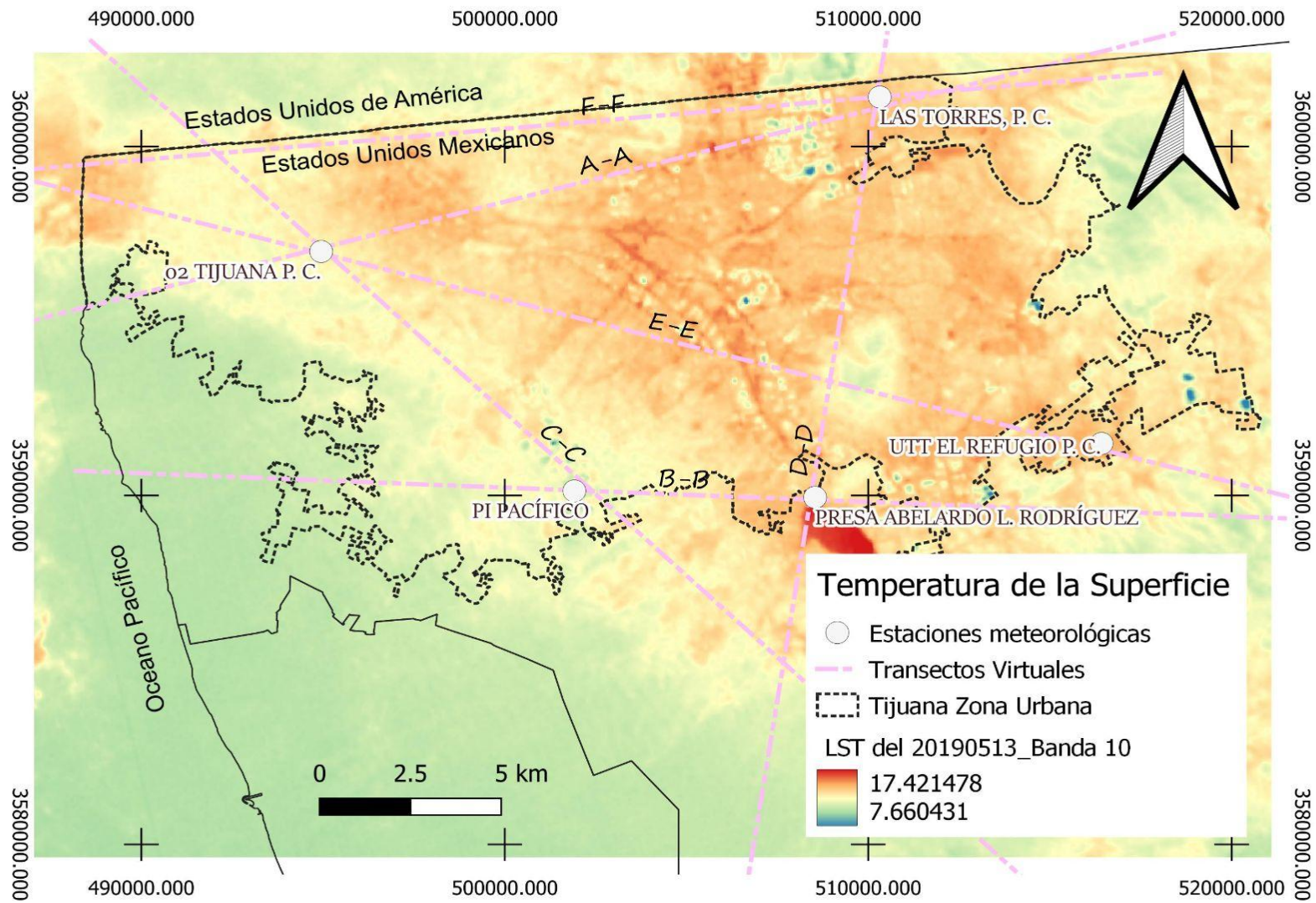
7.5.30 LST DEL 20180526



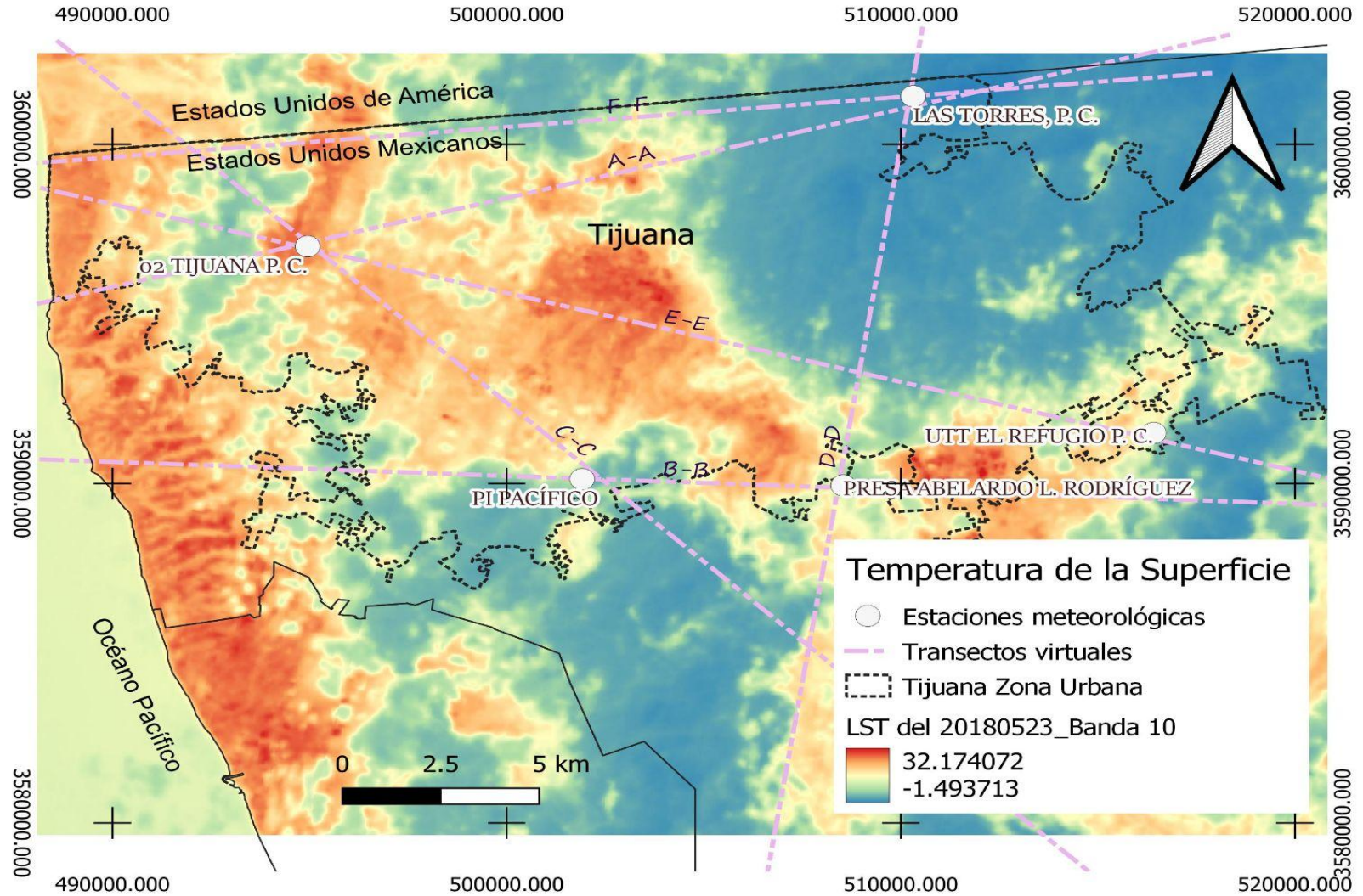
7.5.31 LST DEL 20180706



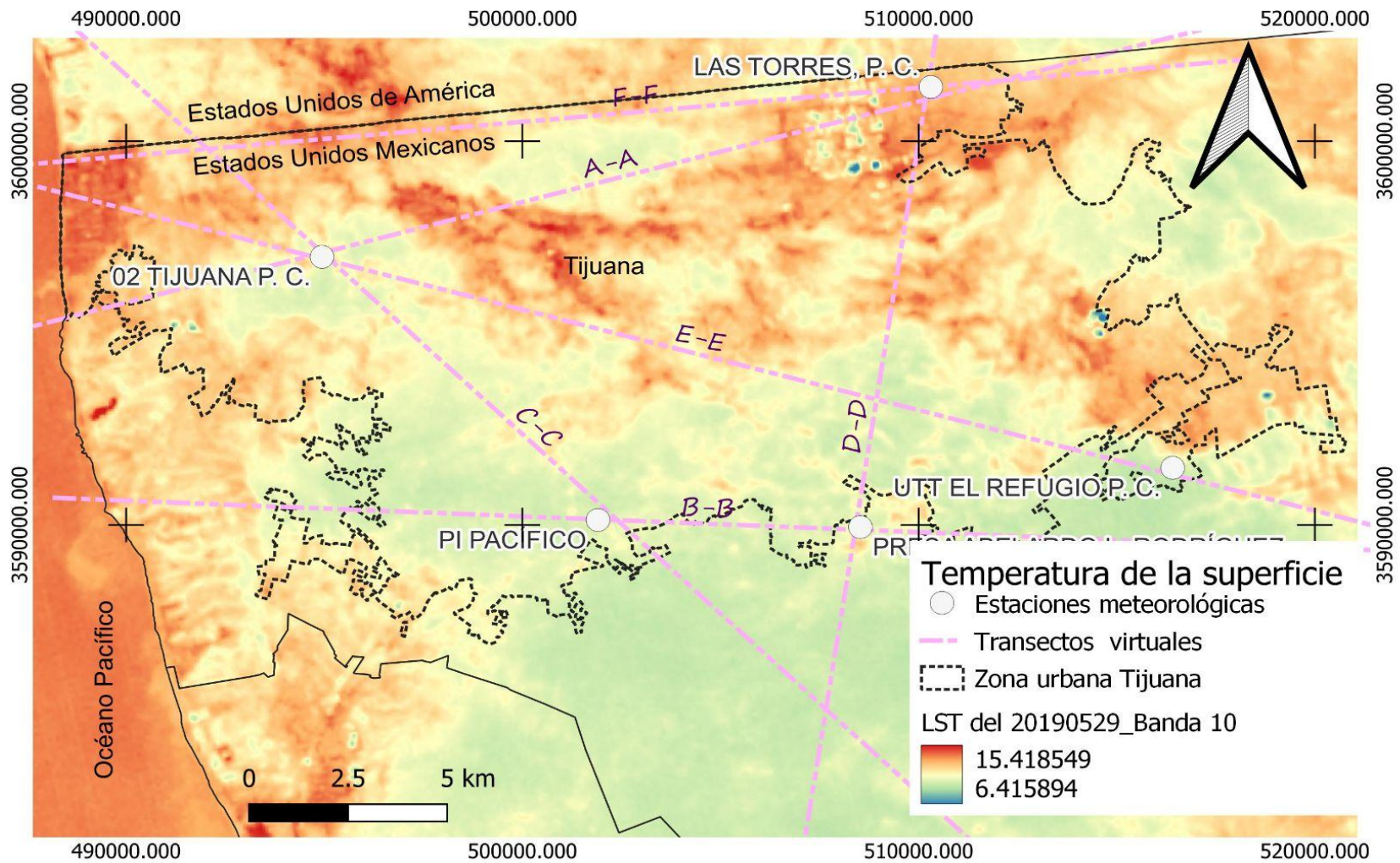
7.5.32 LST DEL 20190513



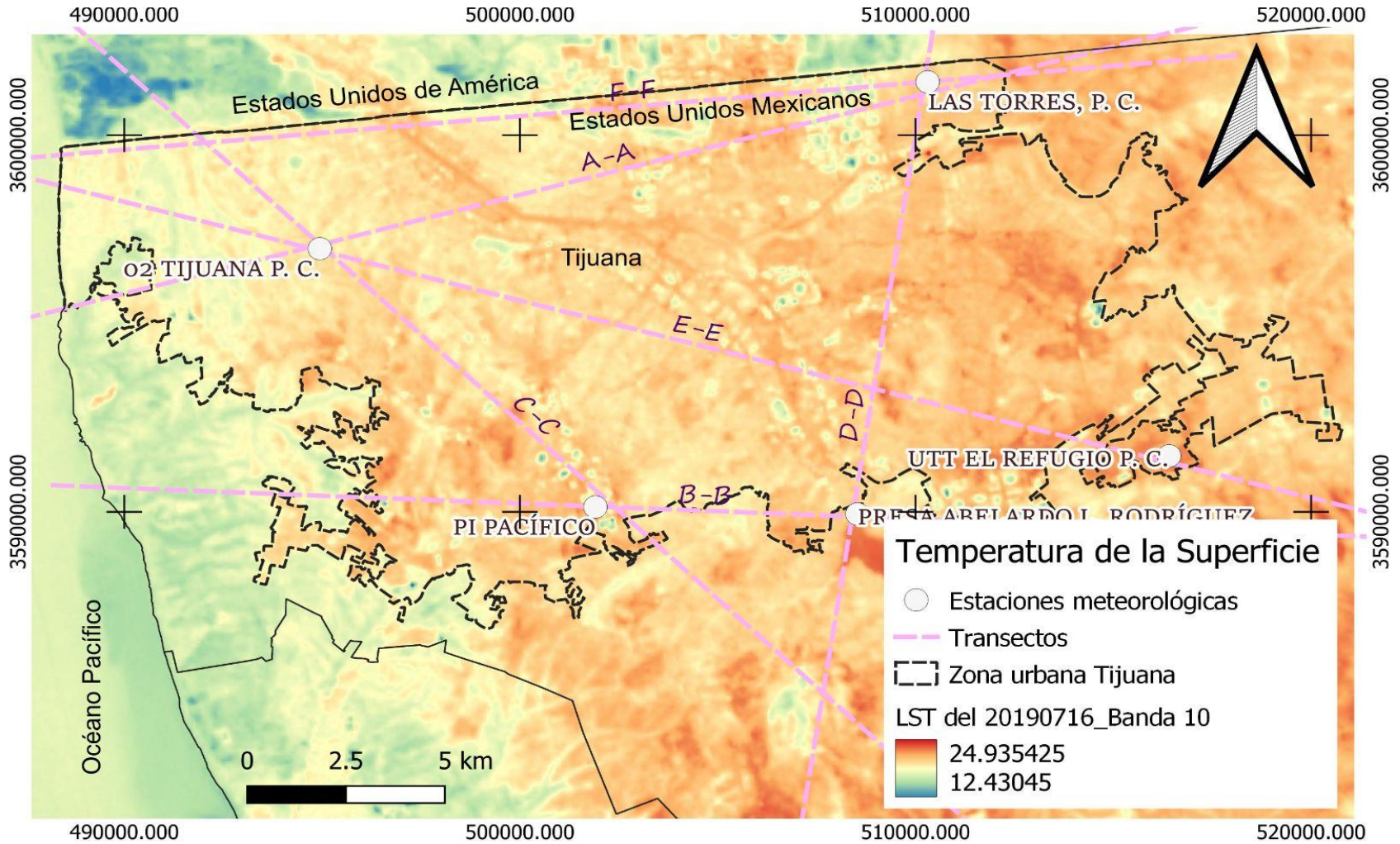
7.5.33 LST DEL 20190523



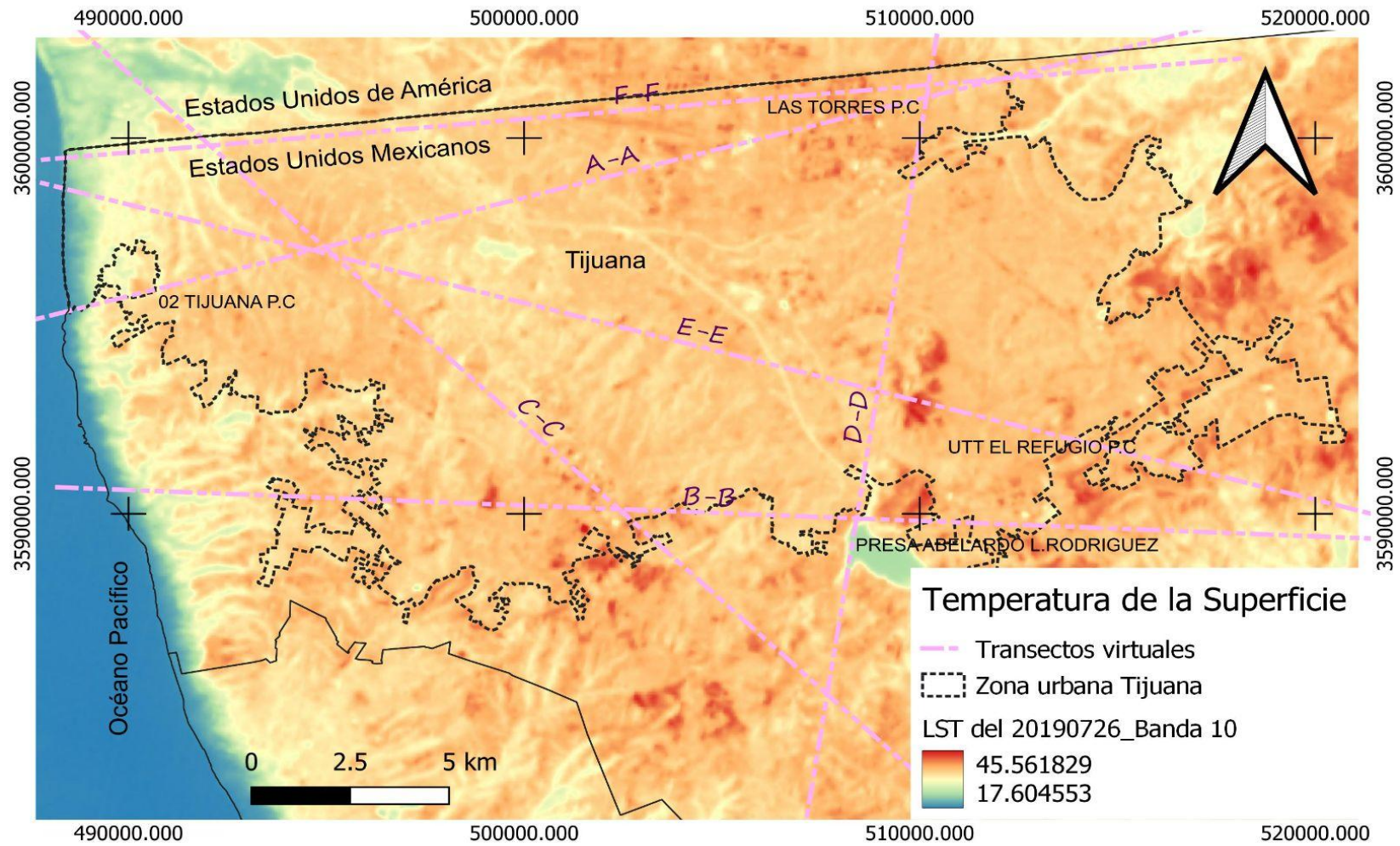
7.5.34 LST DEL 20190529



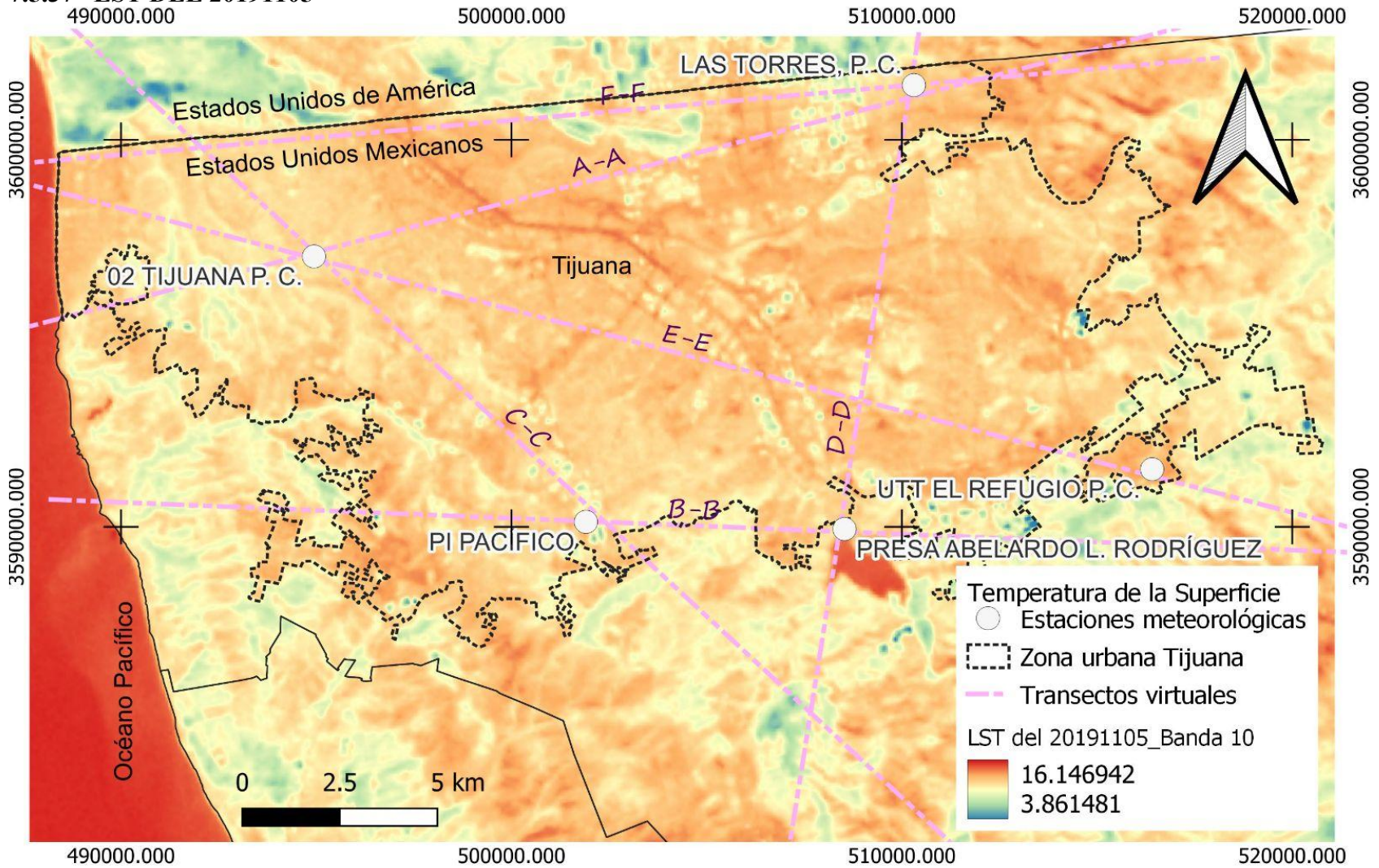
7.5.35 LST DEL 20190716



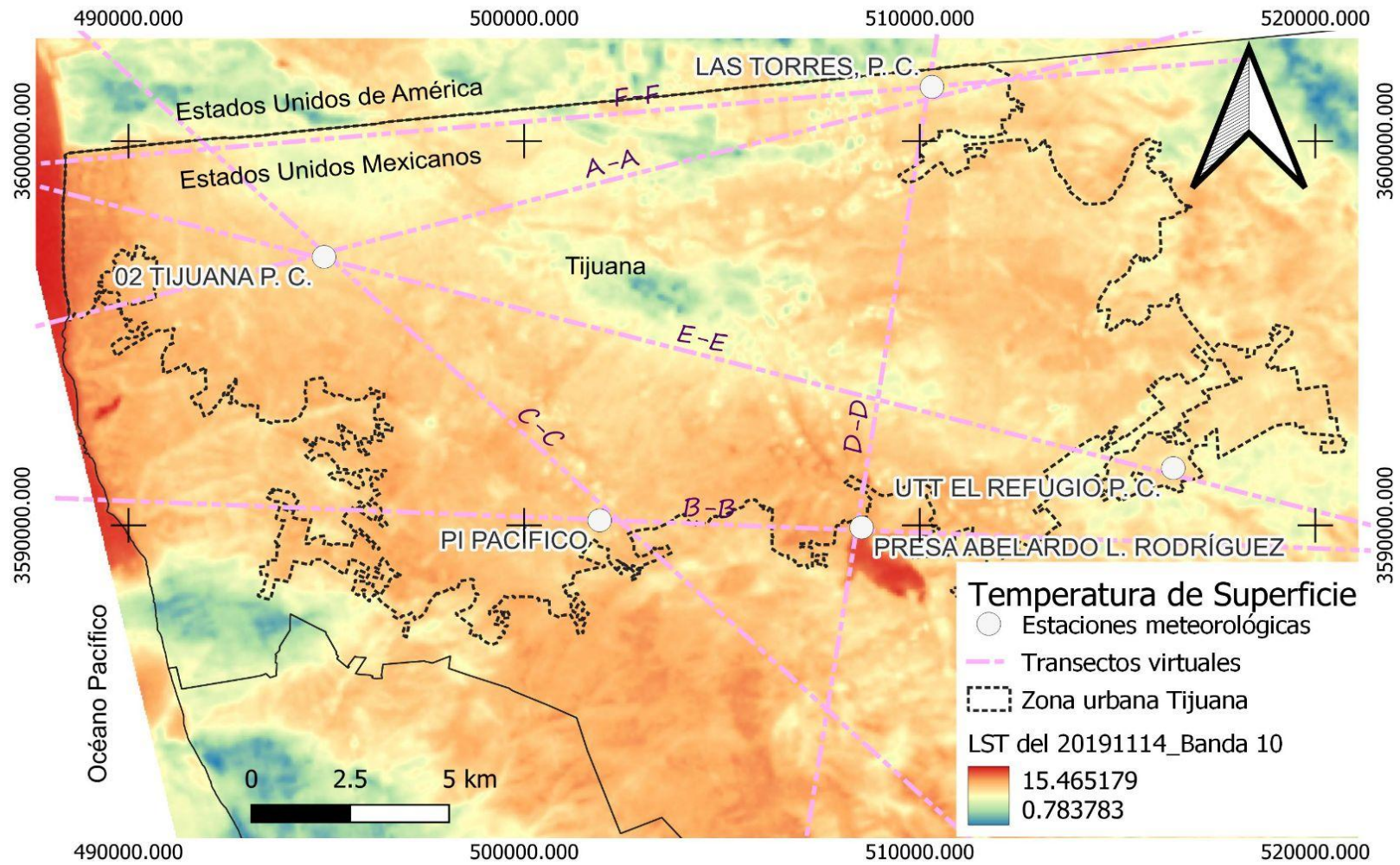
7.5.36 LST DEL 20190726



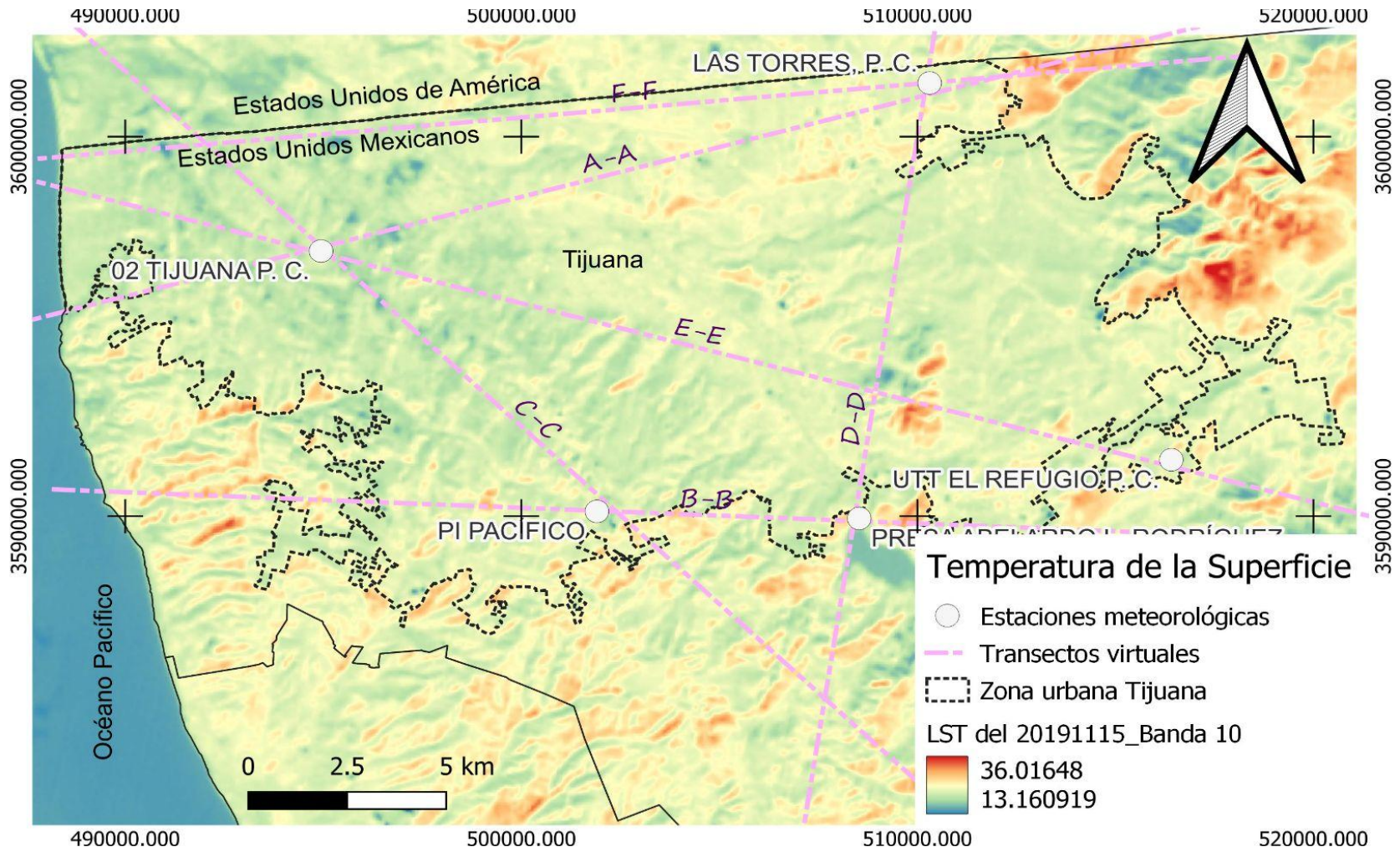
7.5.37 LST DEL 20191105



7.5.38 LST DEL 20191114



7.5.39 LST DEL 20191115



7.6 GRÁFICAS DE CORRELACIÓN CALCULADA ENTRE LA TEMPERATURA DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS CON LA TEMPERATURA CALCULADA LST

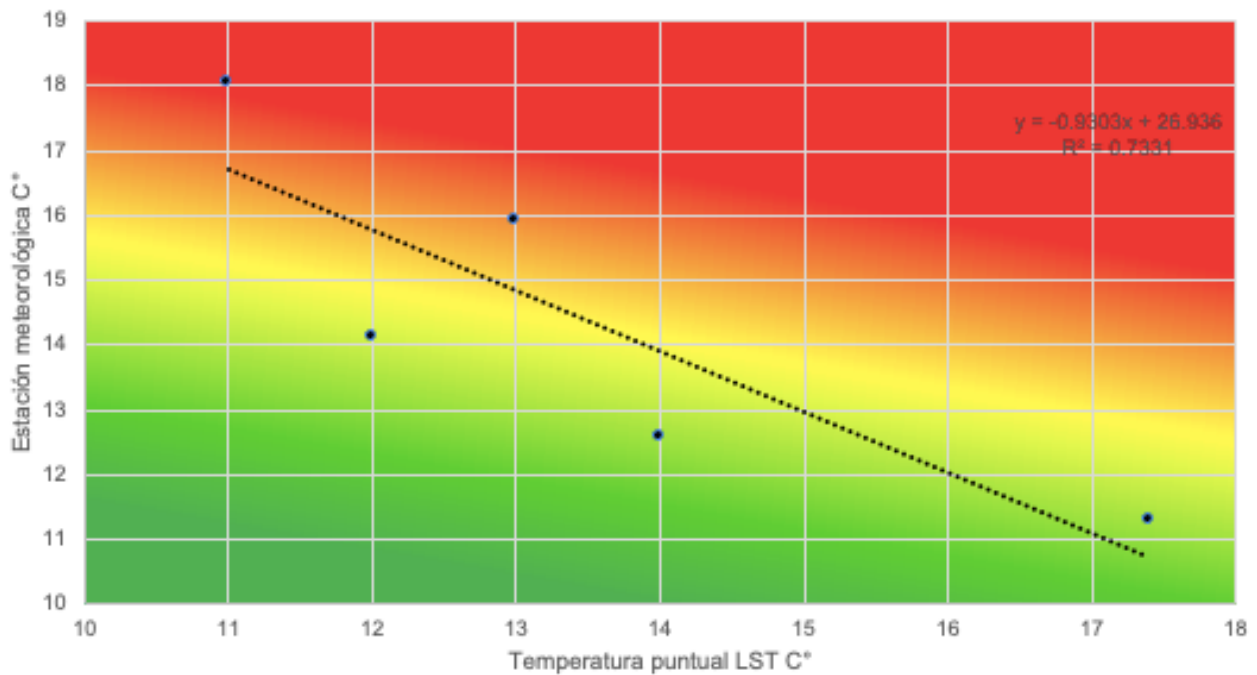
7.6.1 GRÁFICA DE CORRELACIÓN DEL 20150110

Nombre de estación meteorológica	Temperatura registrada por estación meteorológica en C°. 20/01/2015 18:22:31	Temperatura de imagen satelital puntual por EM, C°
02 TIJUANA P. C.	13	15.91
LAS TORRES, P. C.	12	14.14
UTT EL REFUGIO P. C.	14	12.60
PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ	17.40	11.29
PI PACÍFICO	11	18.05

R2: 0.7331

R: 0.8562

Interpretación de correlación: Correlación positiva alta
Correlación entre LST y temperatura por estaciones.



7.6.2 GRÁFICA DE CORRELACIÓN DEL 20150120

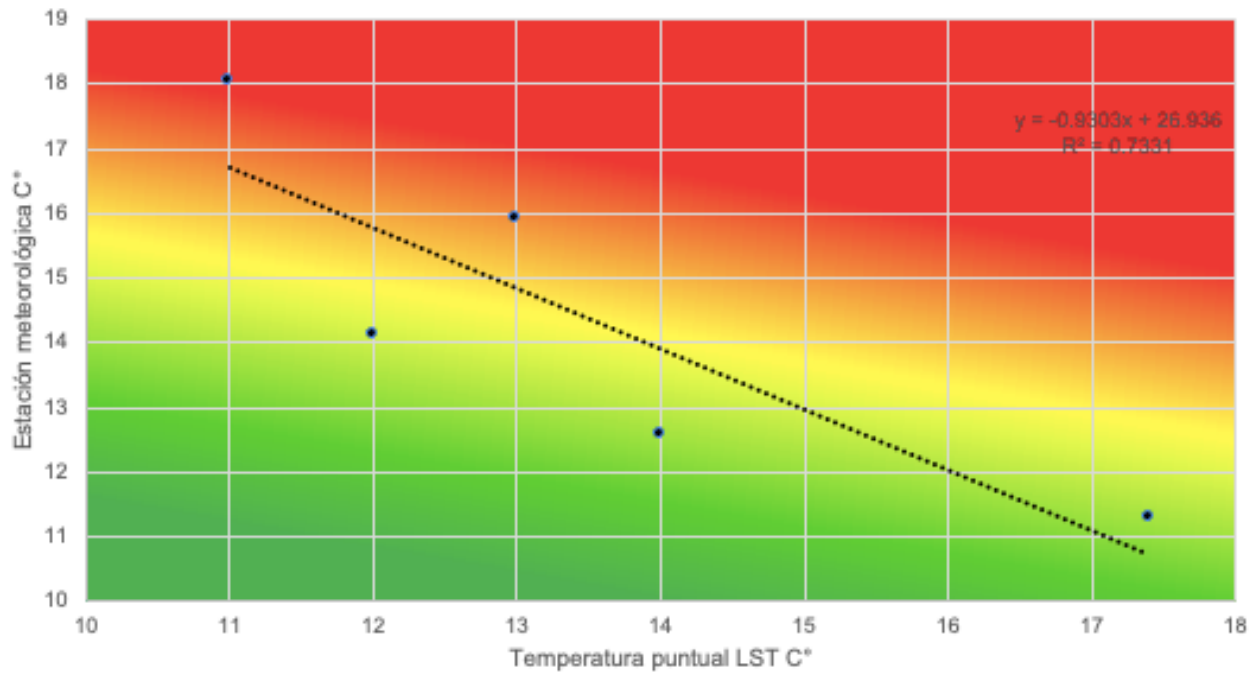
Nombre de estación meteorológica	Temperatura registrada por estación meteorológica en C°. 20/01/2015 18:22:31	Temperatura de imagen satelital puntual por EM, C°
02 TIJUANA P. C.	13	15.91
LAS TORRES, P. C.	12	14.14
UTT EL REFUGIO P. C.	14	12.60
PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ	17.40	11.29
PI PACÍFICO	11	18.05

R2: 0.7331

R: 0.8562

Interpretación de correlación: Correlación positiva alta

Correlación entre LST y temperatura por estaciones.



7.6.3 GRÁFICA DE CORRELACIÓN DEL 20150512

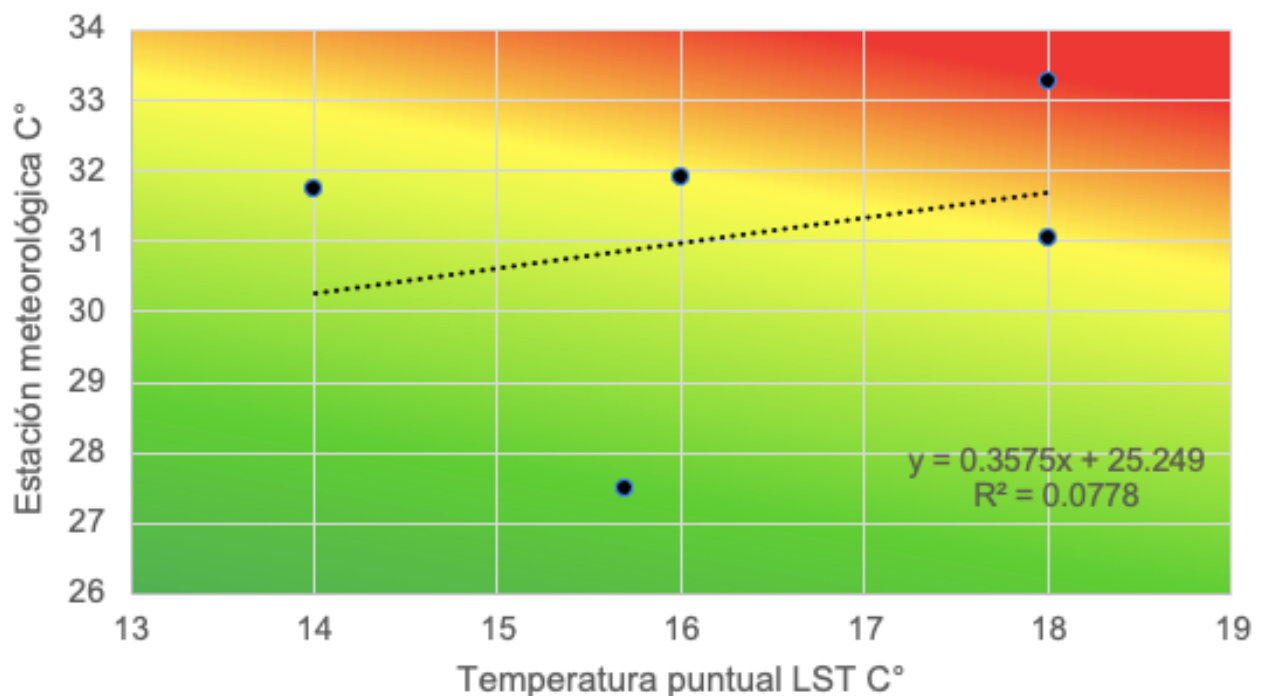
Nombre de estación meteorológica	Temperatura registrada por estación meteorológica en C°. 12/05/2015 18:21:35	Temperatura de imagen satelital puntual por EM, C°
02 TIJUANA P. C.	16	32
LAS TORRES, P. C.	18	33
UTT EL REFUGIO P. C.	18	31
PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ	15.7	27
PI PACÍFICO	14	32

R2: 0.0778

R: 0.2789

Interpretación de correlación: Correlación positiva baja

Correlación entre LST y temperatura por estaciones.



7.6.4 GRÁFICA DE CORRELACIÓN DEL 20150528

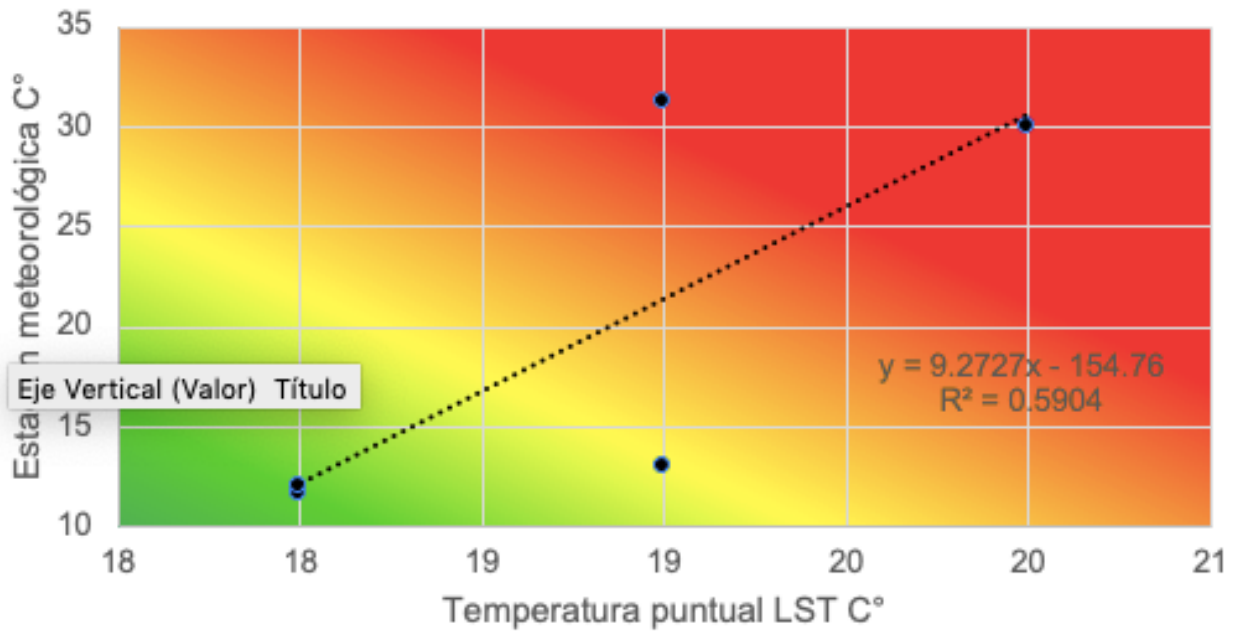
Nombre de estación meteorológica	Temperatura registrada por estación meteorológica en C°. 28/05/2015 18:21:37	Temperatura de imagen satelital puntual por EM,
02 TIJUANA P. C.	18	12
LAS TORRES, P. C.	19	31
UTT EL REFUGIO P. C.	20	30
PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ	19	13
PI PACÍFICO	18	12

R2: 0.5904

R: 0.7684

Interpretación de correlación: Correlación positiva alta

Correlación entre LST y temperatura por estaciones.



7.6.5 GRÁFICA DE CORRELACIÓN DEL 20150715

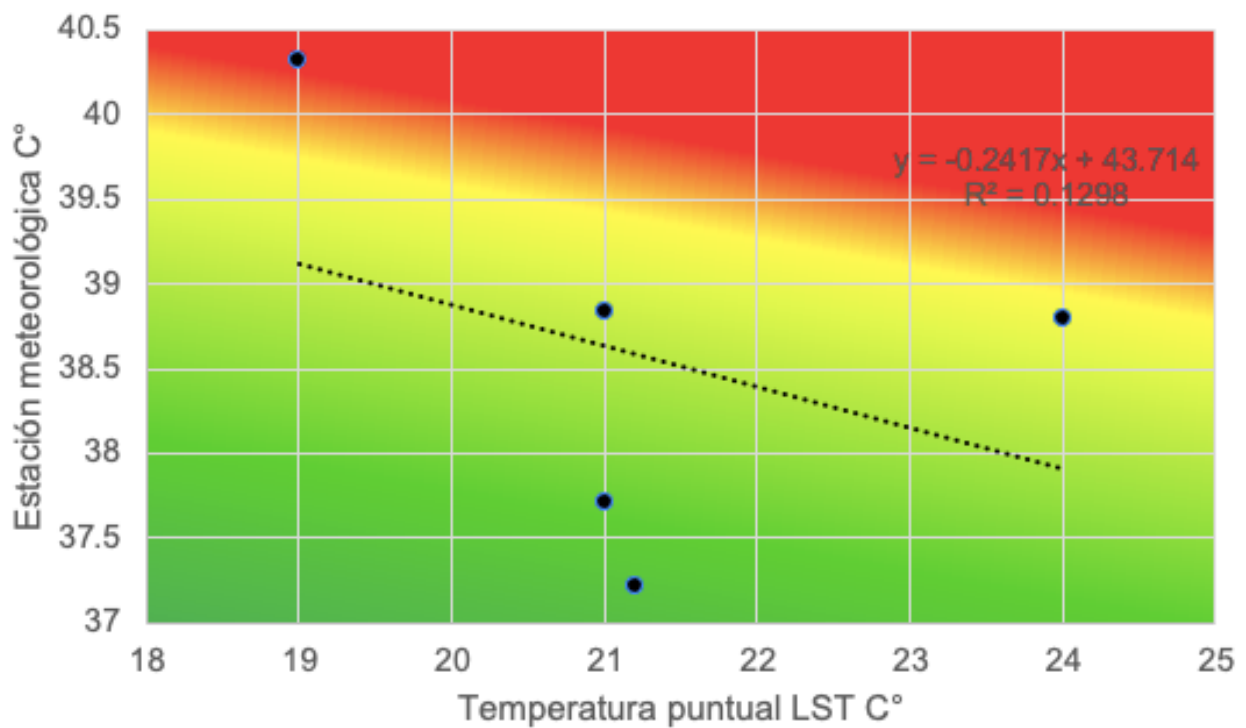
Nombre de estación meteorológica	Temperatura registrada por estación meteorológica en C°. 15/07/2015 18:22:06	Temperatura de imagen satelital puntual por EM, C°
02 TIJUANA P. C.	21	38
LAS TORRES, P. C.	21	39
UTT EL REFUGIO P. C.	24	39
PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ	21	37
PI PACÍFICO	19	40

R2: 0.1298

R: 0.3603

Interpretación de correlación: Correlación positiva baja

Correlación entre LST y temperatura por estaciones



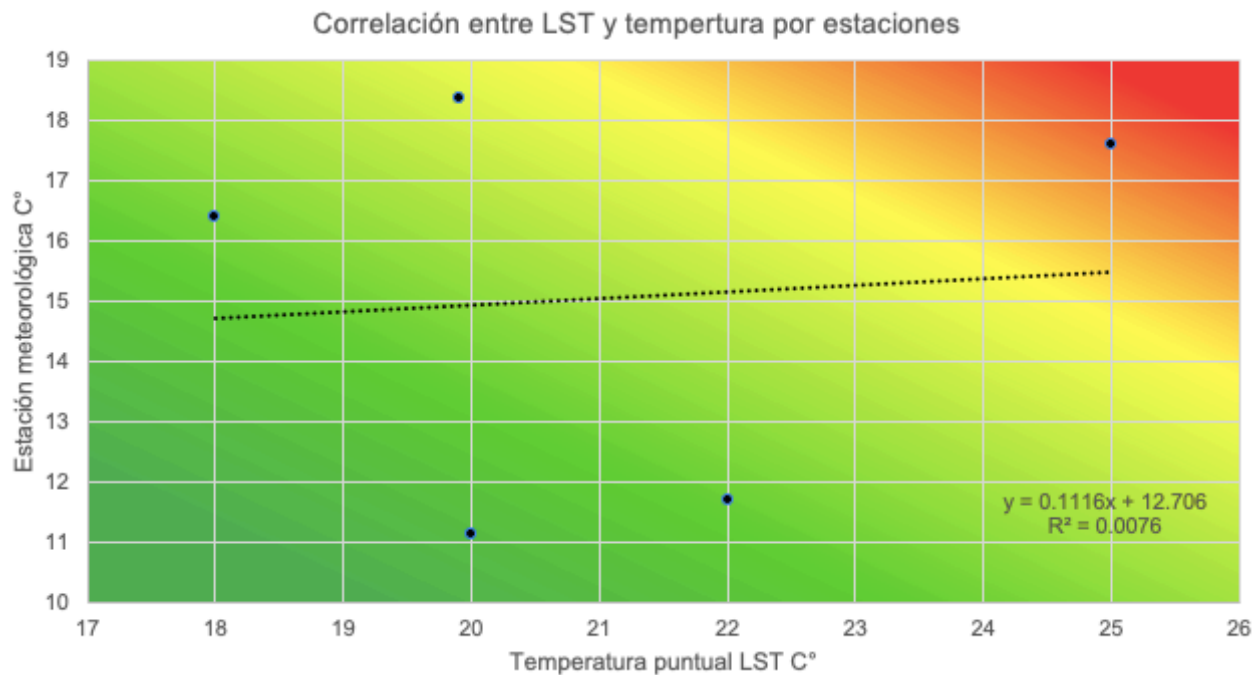
7.6.6 GRÁFICA DE CORRELACIÓN DEL 20150730

Nombre de estación meteorológica	Temperatura registrada por estación meteorológica en C°. 30/07/2015 05:35:40	Temperatura de imagen satelital puntual por EM, C°
02 TIJUANA P. C.	22	12
LAS TORRES, P. C.	25	18
UTT EL REFUGIO P. C.	20	11
PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ	19.9	18
PI PACÍFICO	18	16

R2: 0.0076

R: 0.0872

Interpretación de correlación: Correlación positiva muy baja



7.6.7 GRÁFICA DE CORRELACIÓN DEL 20151110

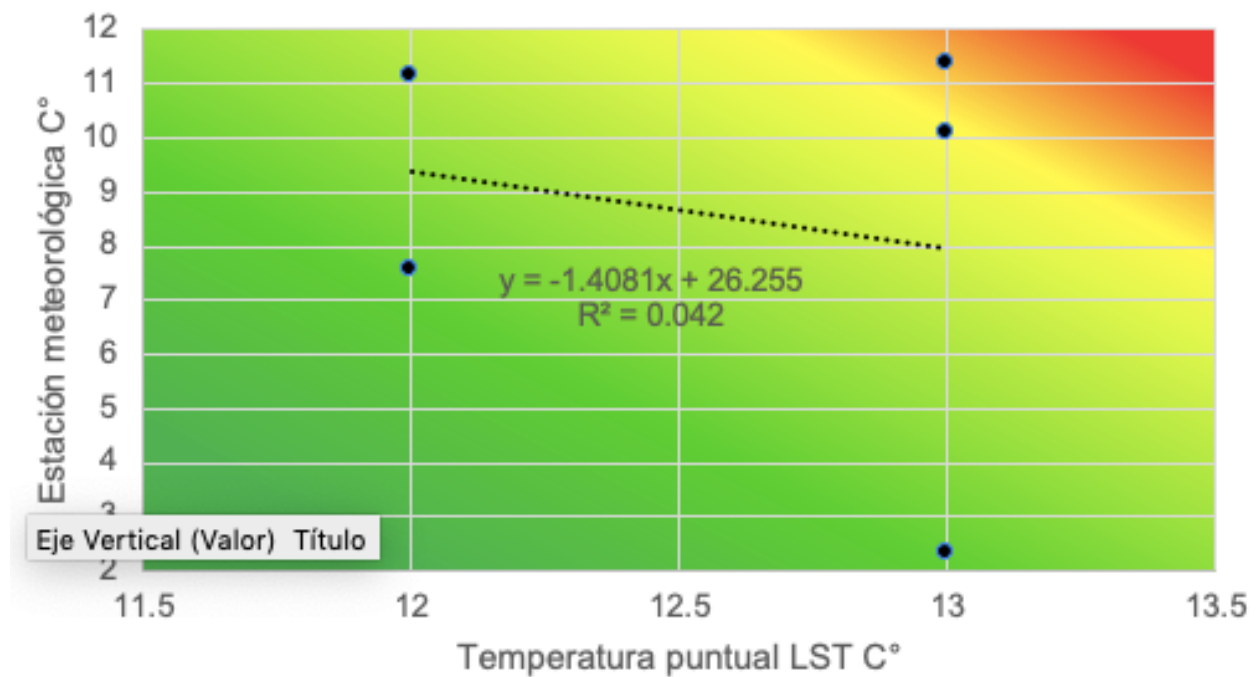
Nombre de estación meteorológica	Temperatura registrada por estación meteorológica en C°. 10/11/2015 05:41:56	Temperatura de imagen satelital puntual por EM, C°
02 TIJUANA P. C.	12	11
LAS TORRES, P. C.	13	10
UTT EL REFUGIO P. C.	13	11
PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ	13.0	2
PI PACÍFICO	12	8

R2: 0.042

R: 0.205

Interpretación de correlación: Correlación positiva baja

Correlación entre LST y temperatura por estaciones



7.6.8 GRÁFICA DE CORRELACIÓN DEL 20151119

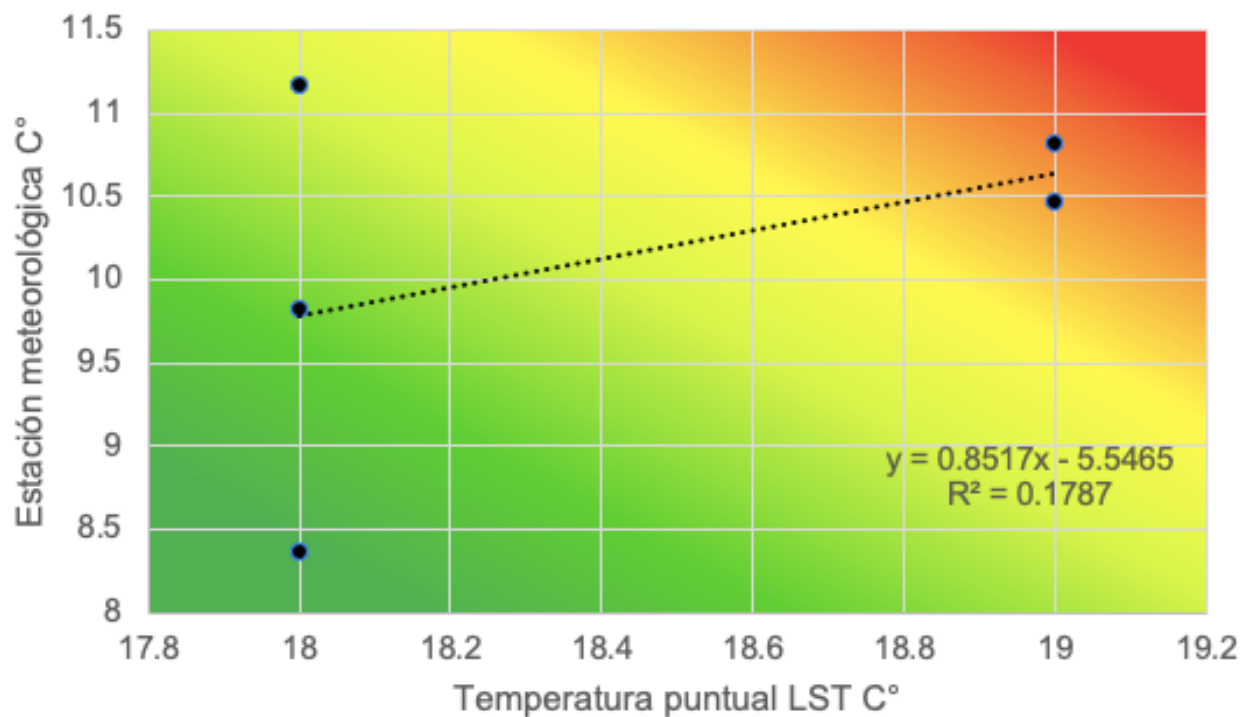
Nombre de estación meteorológica	Temperatura registrada por estación meteorológica en C°. 19/11/2015 05:36:11	Temperatura de imagen satelital puntual por EM, C°
02 TIJUANA P. C.	18	10
LAS TORRES, P. C.	19	10
UTT EL REFUGIO P. C.	19	11
PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ	18	11
PI PACÍFICO	18	8

R2: 0.1787

R: 0.4227

Interpretación de correlación: Correlación positiva moderada

Correlación entre LST y tempertura por estaciones



7.6.9 GRÁFICA DE CORRELACIÓN DEL 20160513

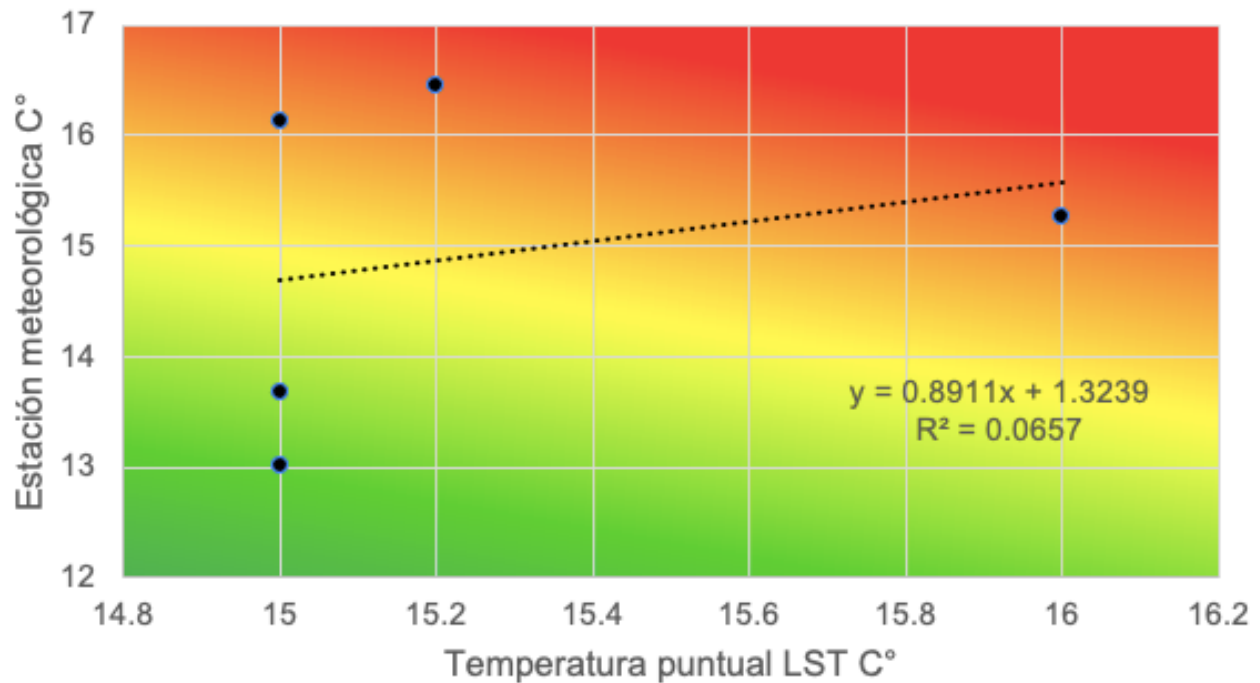
Nombre de estación meteorológica	Temperatura registrada por estación meteorológica en C°.13/05/2016 05:35:35	Temperatura de imagen satelital puntual por EM, en C°
02 TIJUANA P. C.	15	14
LAS TORRES, P. C.	16	15
UTT EL REFUGIO P. C.	15	16
PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ	15.2	16
PI PACÍFICO	15	13

R2: 0.0657

R: 0.2563

Interpretación de correlación: Correlación positiva baja

Correlación entre LST y tempertura por estaciones



7.6.10 GRÁFICA DE CORRELACIÓN DEL 20160529

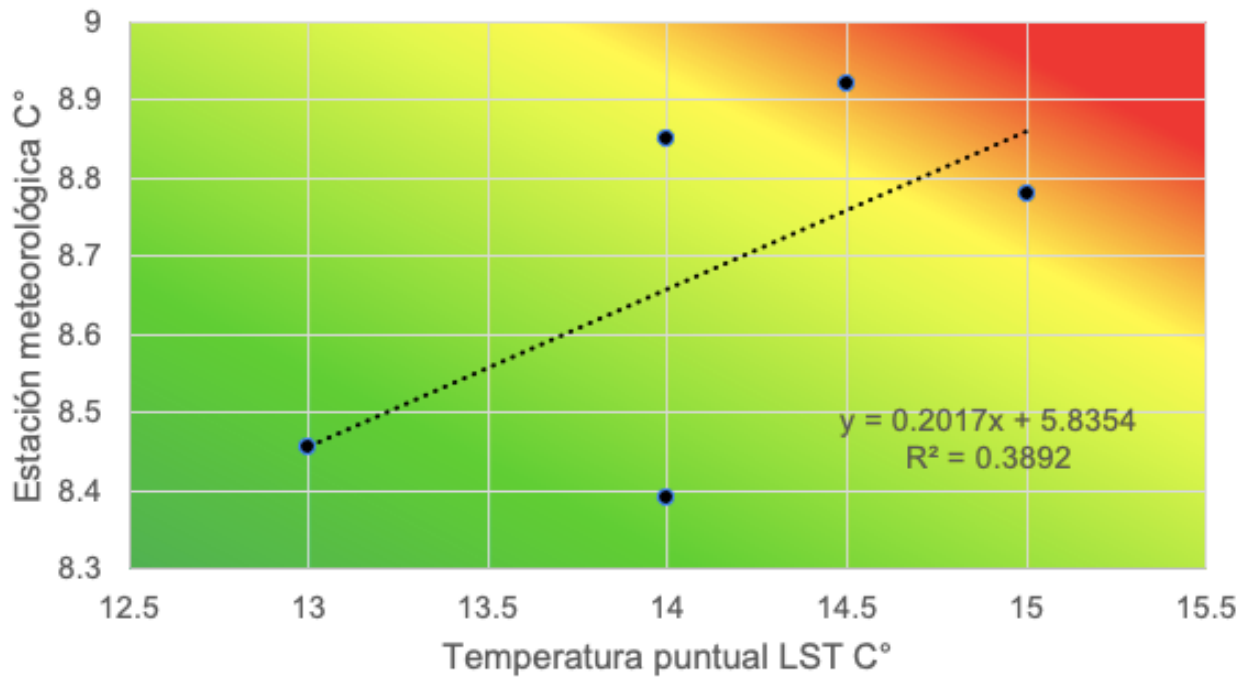
Nombre de estación meteorológica	Temperatura registrada por estación meteorológica en C°. 29/05/2016 05:35:42	Temperatura de imagen satelital puntual por EM, en C°
02 TIJUANA P. C.	14	8.392059
LAS TORRES, P. C.	15	8.779358
UTT EL REFUGIO P. C.	14	8.851135
PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ	14.5	8.920105
PI PACÍFICO	13	8.45578

R2: 0.3892

R: 0.6239

Interpretación de correlación: Correlación positiva moderada

Correlación entre LST y temperatura por estaciones



7.6.11 GRÁFICA DE CORRELACIÓN DEL 20160530

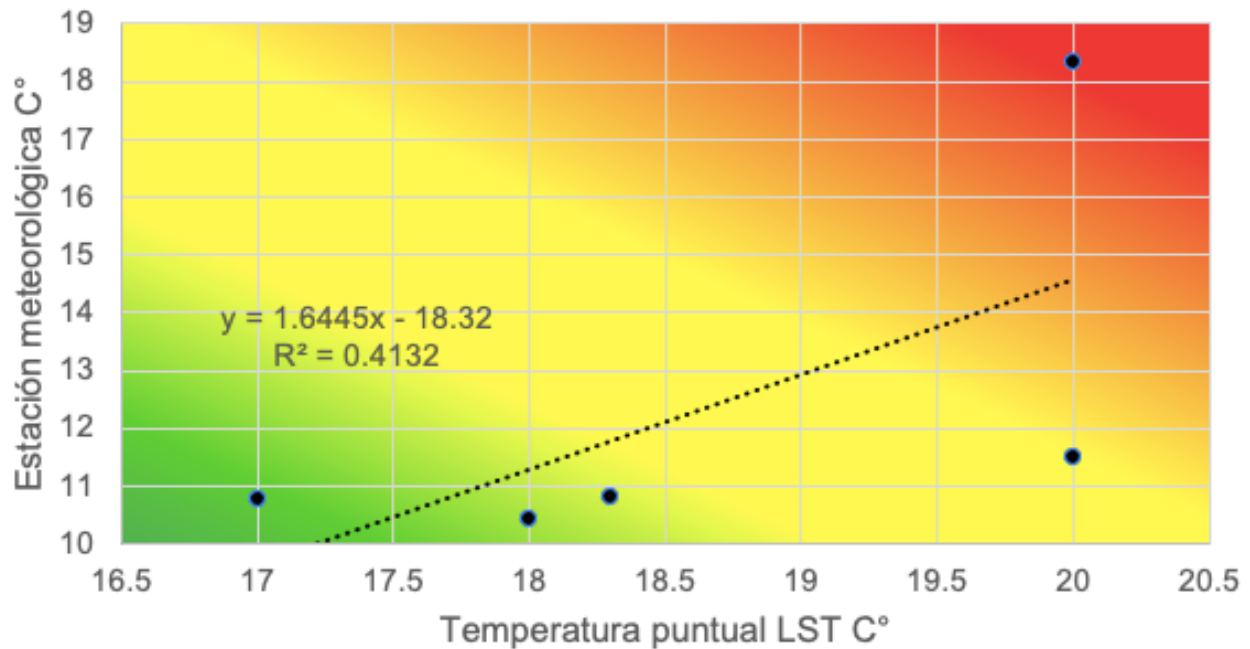
Nombre de estación meteorológica	Temperatura registrada por estación meteorológica en C°. 30/05/2016 18:22:12	Temperatura de imagen satelital puntual por EM,
02 TIJUANA P. C.	18	10.41
LAS TORRES, P. C.	20	11.51
UTT EL REFUGIO P. C.	20	18.34
PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ	18.3	10.81
PI PACÍFICO	17	10.76

R2: 0.4132

R: 0.6428

Interpretación de correlación: Correlación positiva moderada

Correlación entre LST y tempertura por estaciones



7.6.12 GRÁFICA DE CORRELACIÓN DEL 20160701

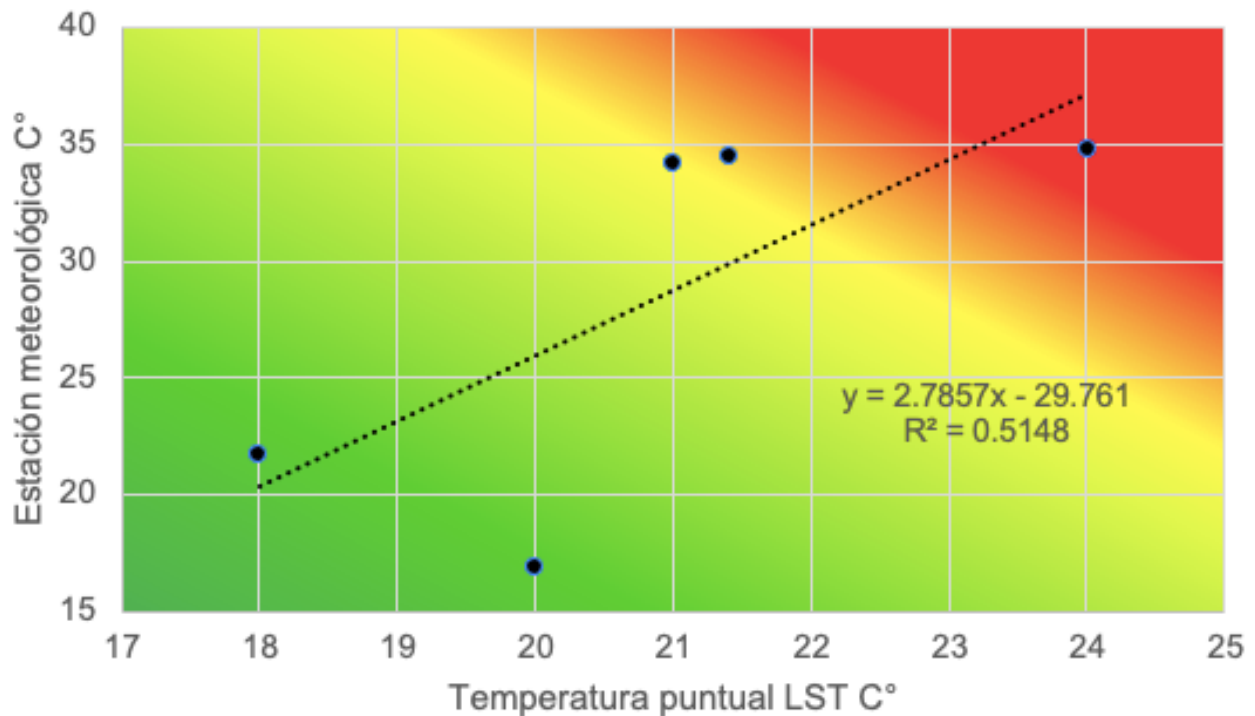
Nombre de estación meteorológica	Temperatura registrada por estación meteorológica en C°. 01/07/2016 18:22:24	Temperatura de imagen satelital puntual por EM, C°
02 TIJUANA P. C.	20	16.90
LAS TORRES, P. C.	21	34.14
UTT EL REFUGIO P. C.	24	34.79
PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ	21.4	34.48
PI PACÍFICO	18	21.71

R2: 0.51480

R: 0.7175

Interpretación de correlación: Correlación positiva alta

Correlación entre LST y temperatura por estaciones



7.6.13 GRÁFICA D DE CORRELACIÓN EL 20160707

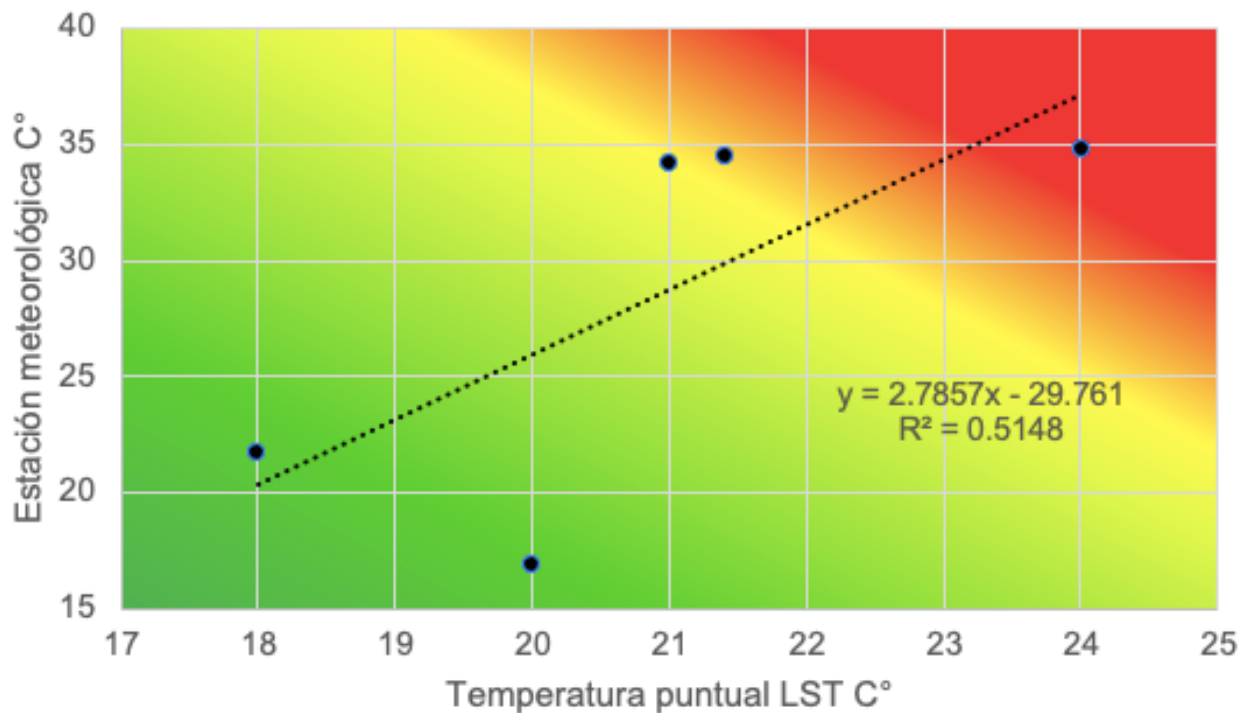
Nombre de estación meteorológica	Temperatura registrada por estación meteorológica en C°. 01/07/2016 18:22:24	Temperatura de imagen satelital puntual por EM, C°
02 TIJUANA P. C.	20	16.90
LAS TORRES, P. C.	21	34.14
UTT EL REFUGIO P. C.	24	34.79
PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ	21.4	34.48
PI PACÍFICO	18	21.71

R2: 0.51480

R: 0.7175

Interpretación de correlación: Correlación positiva alta

Correlación entre LST y tempertura por estaciones



7.6.14 GRÁFICA DE CORRELACIÓN DEL 20160716

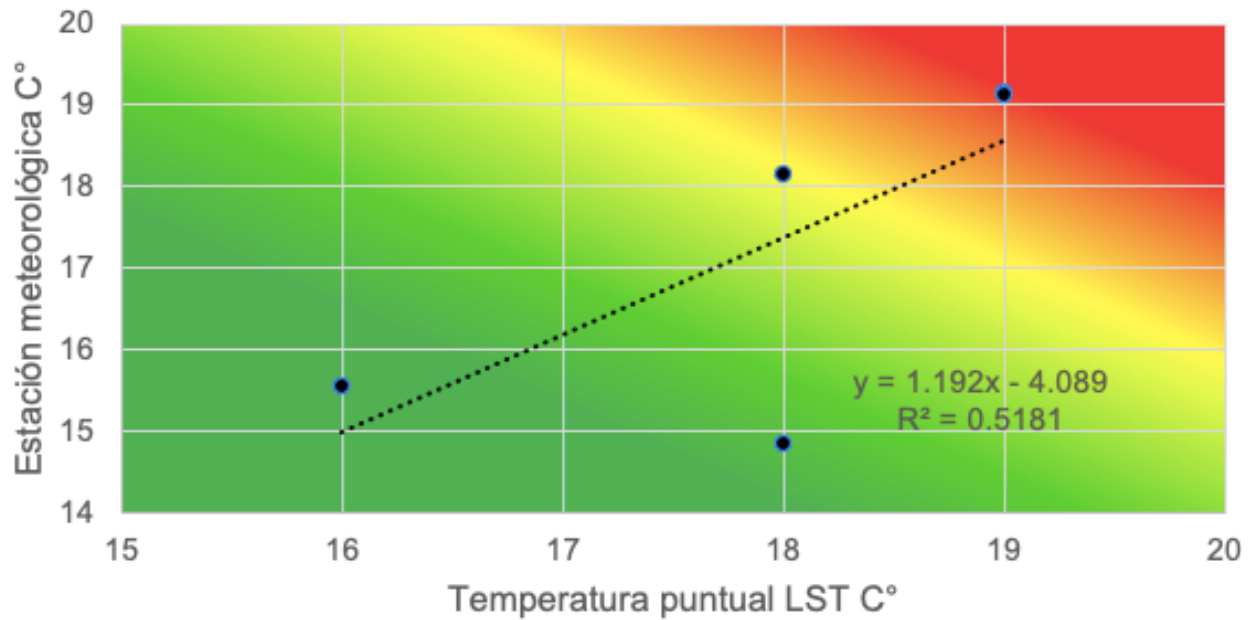
Nombre de estación meteorológica	Temperatura registrada por estación meteorológica en C°. 16/07/2016 05:36:01	Temperatura de imagen satelital puntual por EM, C°
02 TIJUANA P. C.	18	14.85
LAS TORRES, P. C.	18	18.16
UTT EL REFUGIO P. C.	19	19.16
PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ	19	19.11
PI PACÍFICO	16	15.56

R2: 0.5181

R: 0.7198

Interpretación de correlación: Correlación positiva alta

Correlación entre LST y tempertura por estaciones



7.6.15 GRÁFICA DE CORRELACIÓN DEL 20160801

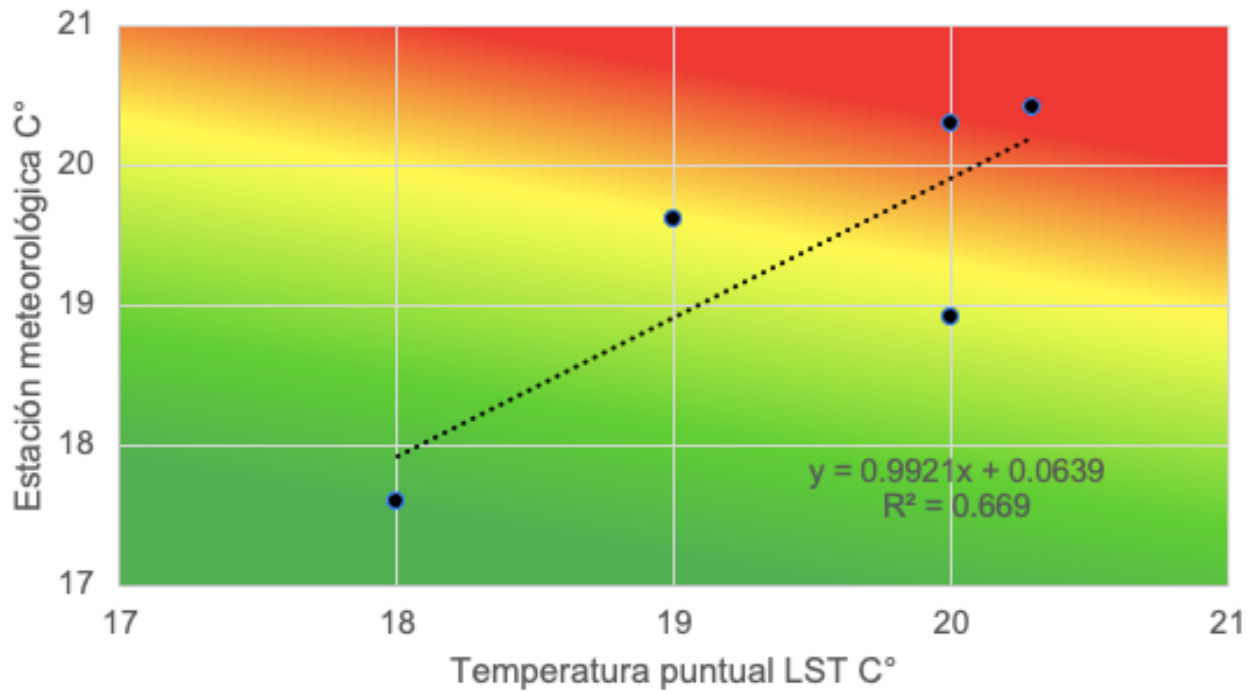
Nombre de estación meteorológica	Temperatura registrada por estación meteorológica en C°. 01/08/2016 05:36:04	Temperatura de imagen satelital puntual por EM, C°
02 TIJUANA P. C.	20	18.92
LAS TORRES, P. C.	19	19.61
UTT EL REFUGIO P. C.	20	20.30
PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ	20.3	20.41
PI PACÍFICO	18	17.60

R2: 0.669

R: 0.8179

Interpretación de correlación: Correlación positiva alta

Correlación entre LST y tempertura por estaciones



7.6.16 GRÁFICA DE CORRELACIÓN DEL 20161106

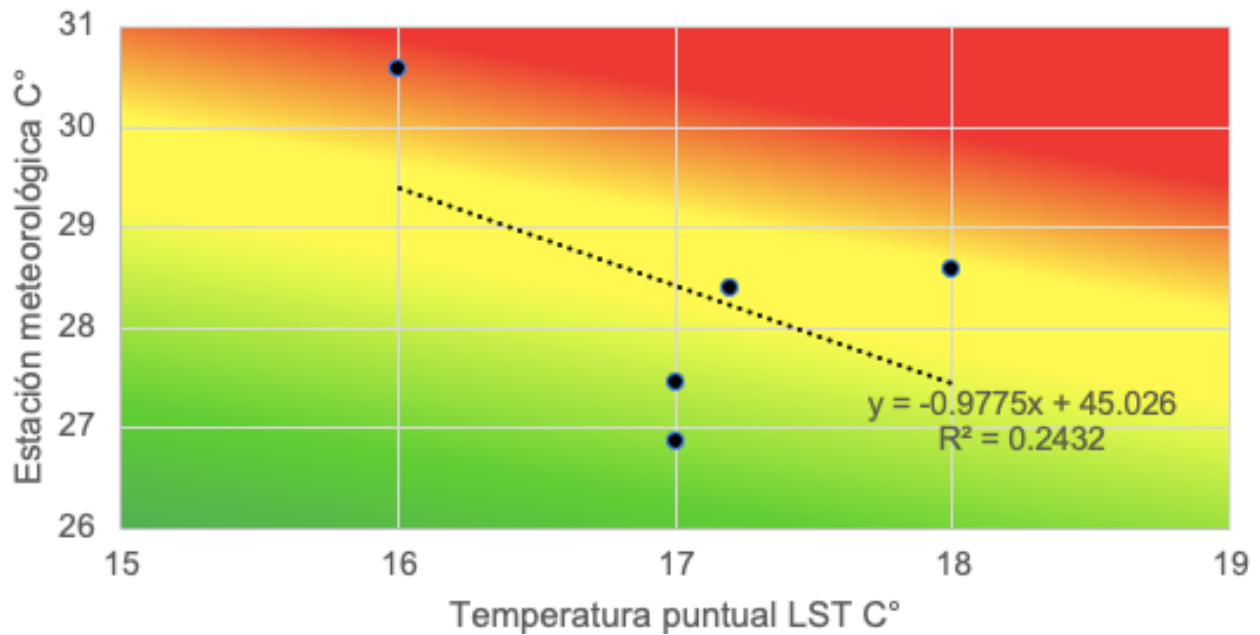
Nombre de estación meteorológica	Temperatura registrada por estación meteorológica en C°. 06/11/2016 16:22:53	Temperatura de imagen satelital puntual por EM, C°
02 TIJUANA P. C.	17	26.86
LAS TORRES, P. C.	17	27.45
UTT EL REFUGIO P. C.	18	28.58
PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ	17.2	28.39
PI PACÍFICO	16	30.57

R2: 0.2432

R: 0.4932

Interpretación de correlación: Correlación positiva moderada

Correlación entre LST y tempertura por estaciones



7.6.17 GRÁFICA DE CORRELACIÓN DEL 20161112

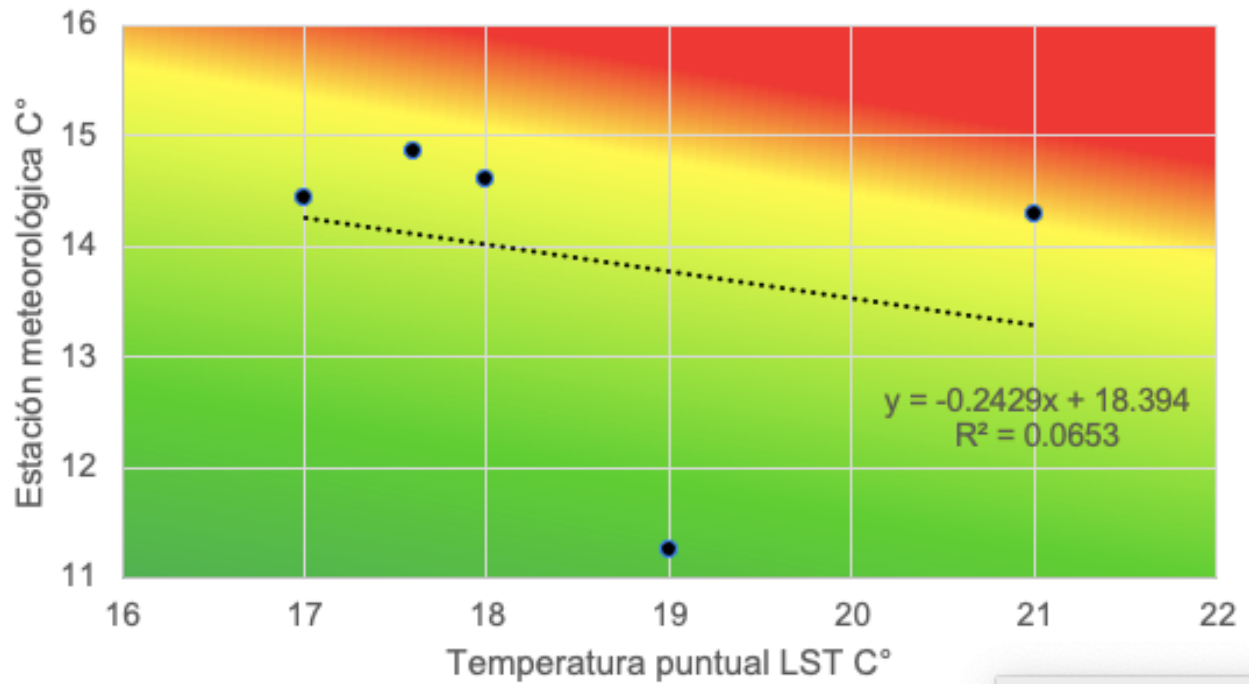
Nombre de estación meteorológica	Temperatura registrada por estación meteorológica en C°. 12/11/2016 05:42:10	Temperatura de imagen satelital puntual por EM, C°
02 TIJUANA P. C.	21	14.29
LAS TORRES, P. C.	18	14.61
UTT EL REFUGIO P. C.	17	14.45
PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ	17.6	14.87
PI PACÍFICO	19	11.26

R2: 0.0653

R: 0.2555

Interpretación de correlación: Correlación positiva baja

Correlación entre LST y tempertura por estaciones



7.6.18 GRÁFICA DE CORRELACIÓN DEL 20170131

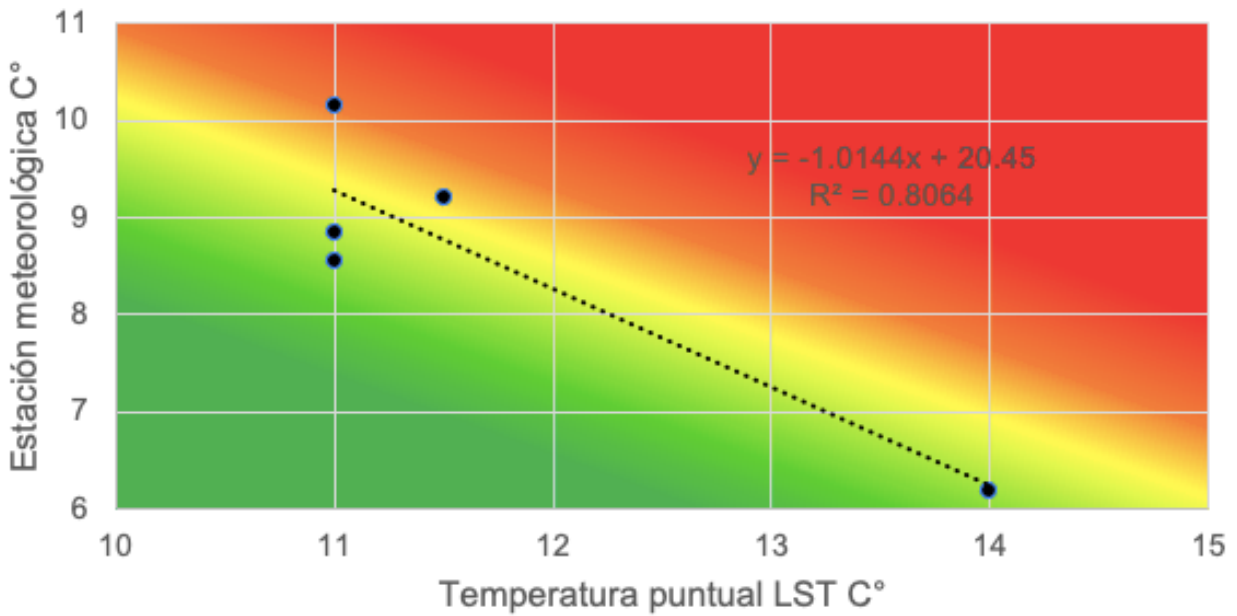
Nombre de estación meteorológica	Temperatura registrada por estación meteorológica en C°. 31/01/2017 05:41:53	Temperatura de imagen satelital puntual por EM, C°
02 TIJUANA P. C.	11	8.54
LAS TORRES, P. C.	11	8.84
UTT EL REFUGIO P. C.	11	10.15
PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ	11.5	9.20
PI PACÍFICO	14	6.18

R2: 0.8064

R: 0.8980

Interpretación de correlación: Correlación positiva muy alta

Correlación entre LST y tempertura por estaciones



7.6.19 GRÁFICA DE CORRELACIÓN DEL 20170523

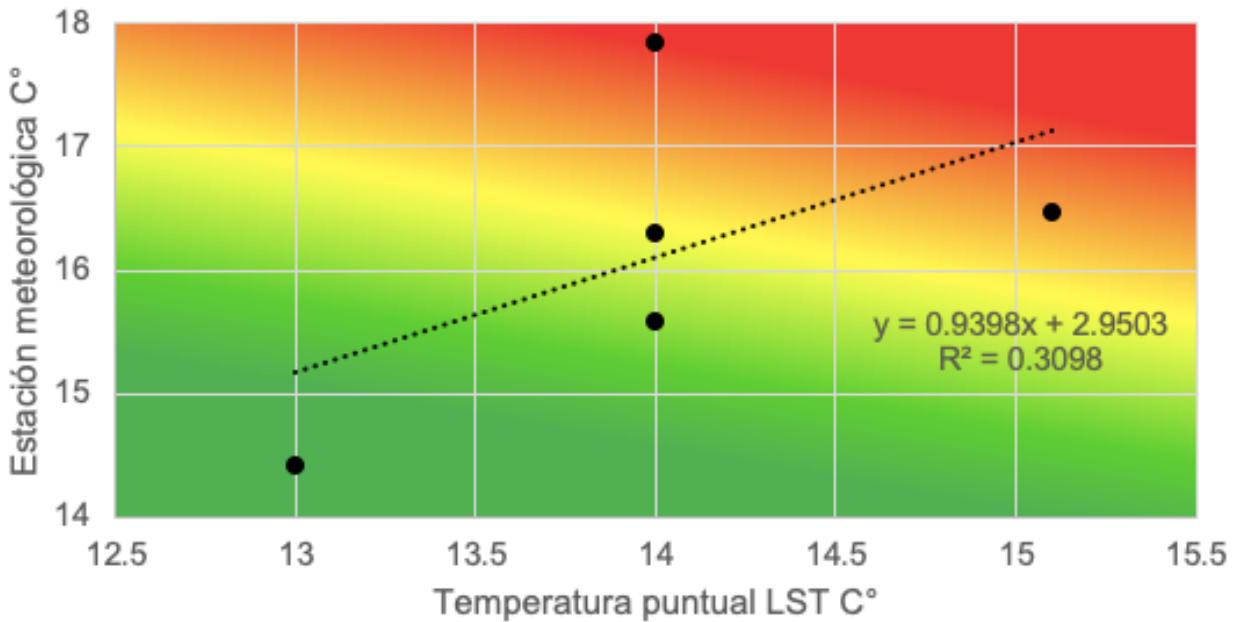
Nombre de estación meteorológica	Temperatura registrada por estación meteorológica en C°. 23/05/2017 05:41:21	Temperatura de imagen satelital puntual por EM,
02 TIJUANA P. C.	14	15.58
LAS TORRES, P. C.	14	16.30
UTT EL REFUGIO P. C.	14	17.85
PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ	15.1	16.47
PI PACÍFICO	13	14.43

R2: 0.3098

R: 0.5566

Interpretación de correlación: Correlación positiva moderada

Correlación entre LST y tempertura por estaciones



7.6.20 GRÁFICA DE CORRELACIÓN DEL 20170601

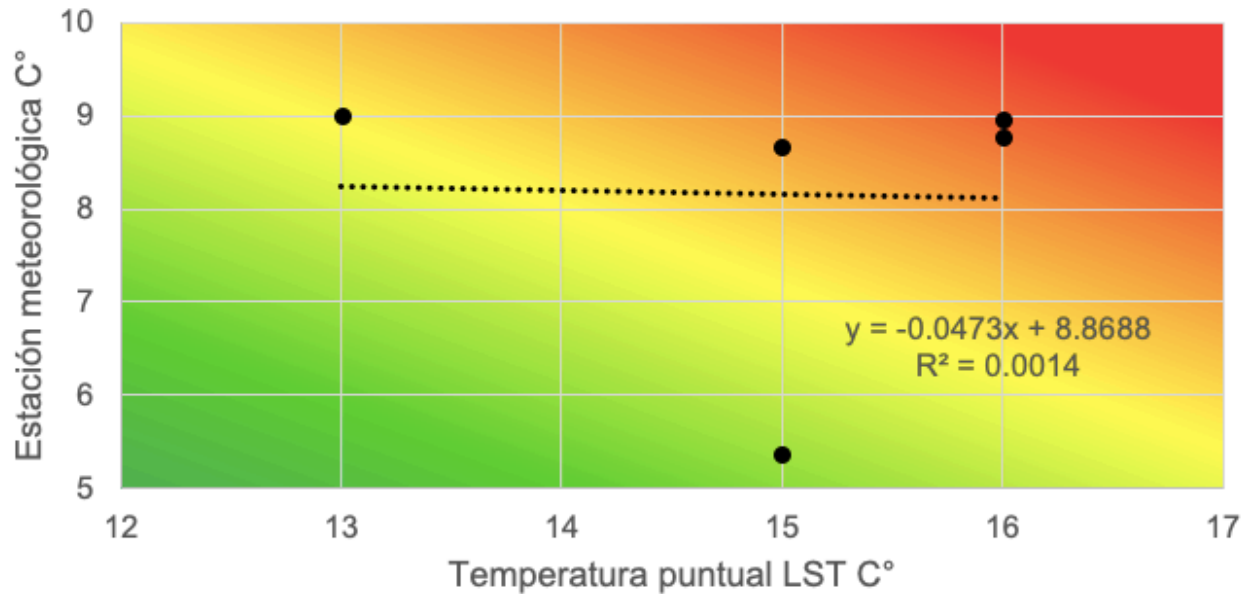
Nombre de estación meteorológica	Temperatura registrada por estación meteorológica en C°. 01/06/2017 05:35:39	Temperatura de imagen satelital puntual por EM, C°
02 TIJUANA P. C.	15	8.67
LAS TORRES, P. C.	15	5.37
UTT EL REFUGIO P. C.	16	8.77
PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ	16	8.97
PI PACÍFICO	13	9.01

R2: 0.0014

R: 0.0374

Interpretación de correlación: Correlación positiva muy baja

Correlación entre LST y tempertura por estaciones



7.6.21 GRÁFICA DE CORRELACIÓN DEL 20170703

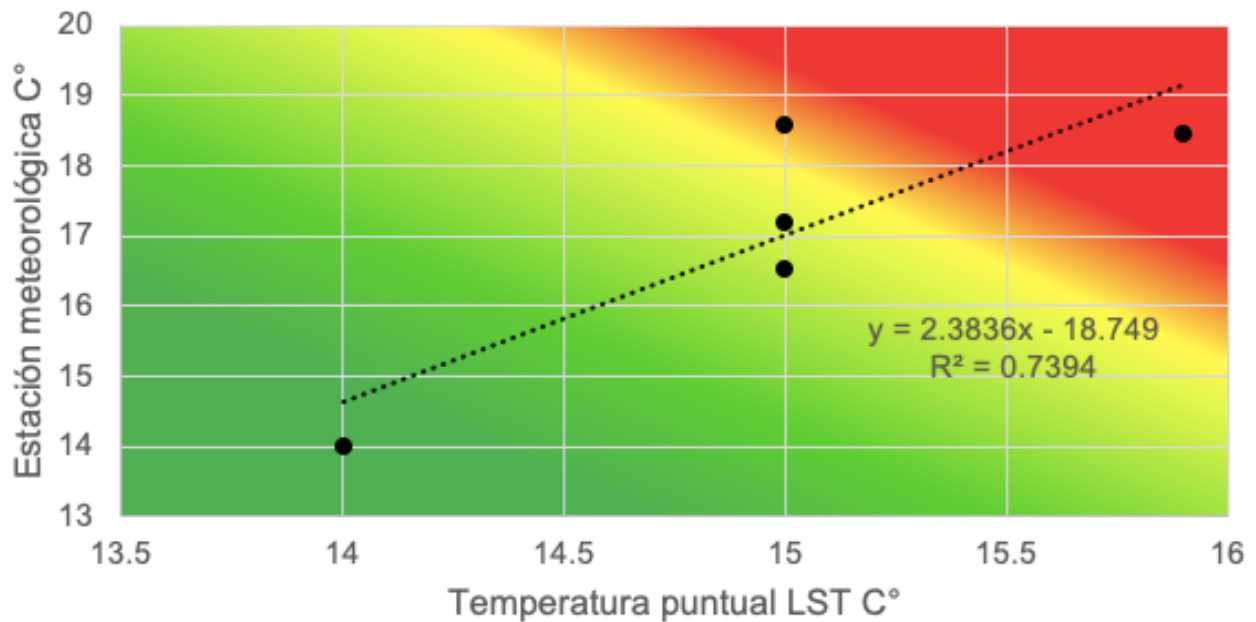
Nombre de estación meteorológica	Temperatura registrada por estación meteorológica en C°. 03/07/2017 05:35:50	Temperatura de imagen satelital puntual por EM, C°
02 TIJUANA P. C.	15	16.52
LAS TORRES, P. C.	15	17.20
UTT EL REFUGIO P. C.	15	18.59
PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ	15.9	18.46
PI PACÍFICO	14	14.00

R2: 0.73940

R: 0.8599

Interpretación de correlación: Correlación positiva alta

Correlación entre LST y tempertura por estaciones



7.6.22 GRÁFICA DE CORRELACIÓN DEL 20170719

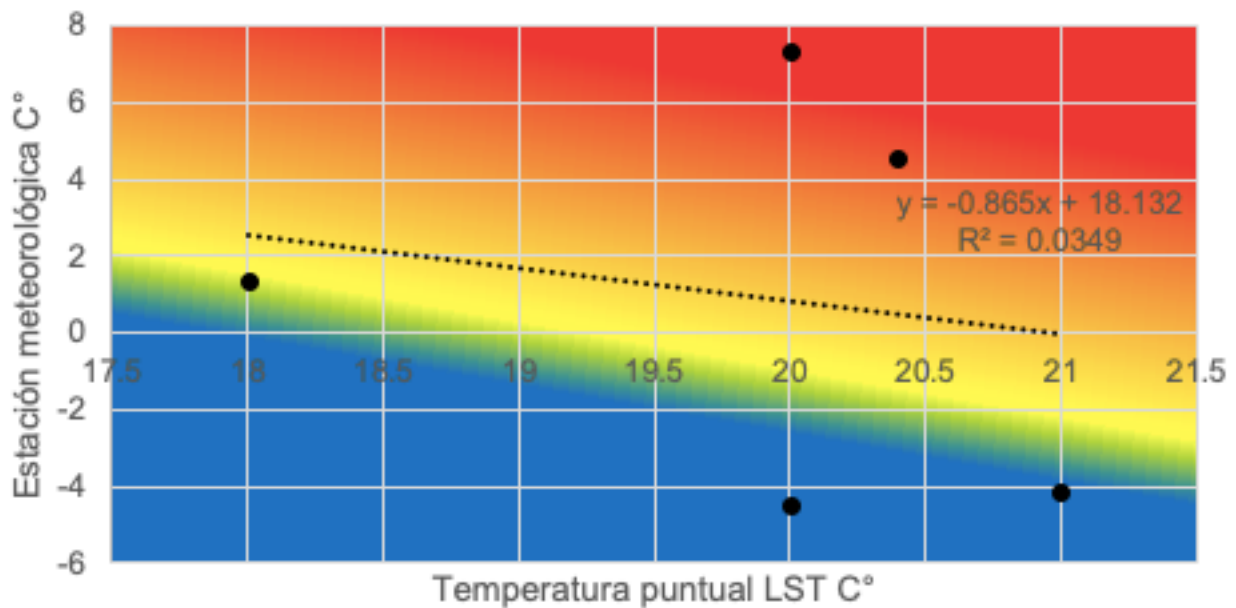
Nombre de estación meteorológica	Temperatura registrada por estación meteorológica en C°.19/07/2017 05:35:55	Temperatura de imagen satelital puntual por EM, C°
02 TIJUANA P. C.	20	-4.45
LAS TORRES, P. C.	20	7.36
UTT EL REFUGIO P. C.	21	-4.11
PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ	20.4	4.55
PI PACÍFICO	18	1.34

R2: 0.0349

R: 0.1868

Interpretación de correlación: Correlación positiva muy baja

Correlación entre LST y tempertura por estaciones



7.6.23 GRÁFICA DE CORRELACIÓN DEL 20170726

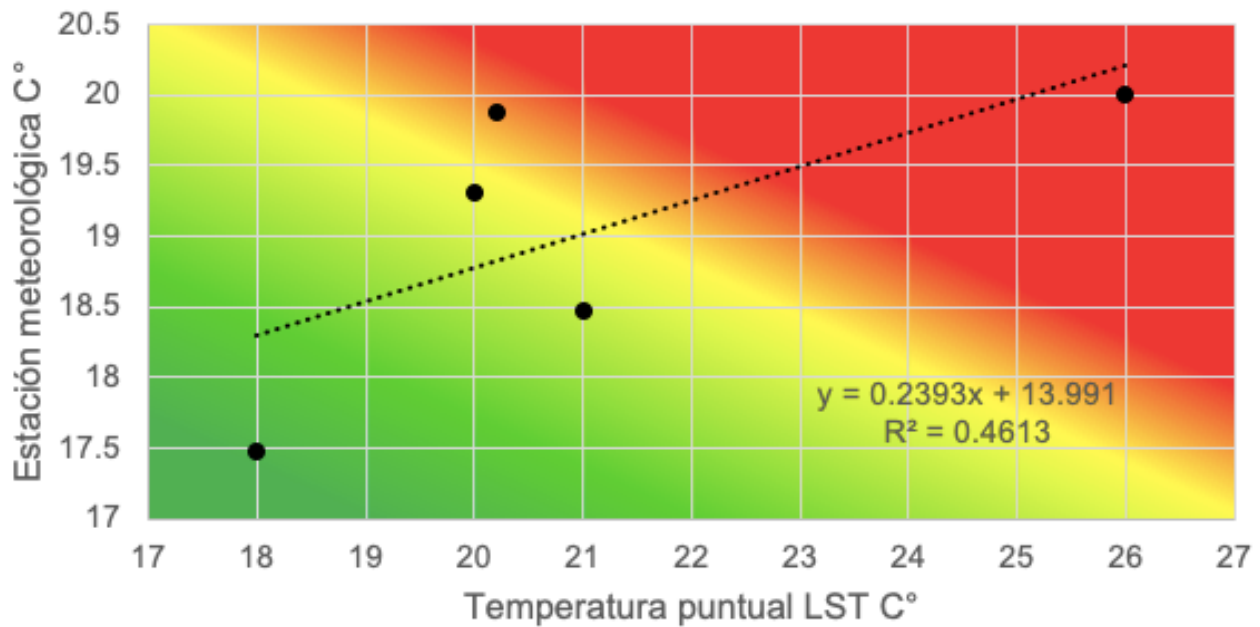
Nombre de estación meteorológica	Temperatura registrada por estación meteorológica en C°.26/07/2017 05:41:45	Temperatura de imagen satelital puntual por EM, C°
02 TIJUANA P. C.	21	18.47
LAS TORRES, P. C.	20	19.31
UTT EL REFUGIO P. C.	26	20.00
PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ	20.2	19.87
PI PACÍFICO	18	17.48

R2: 0.4613

R: 0.6792

Interpretación de correlación: Correlación positiva moderada

Correlación entre LST y temperatura por estaciones



7.6.24 GRÁFICA DE CORRELACIÓN DEL 20171108

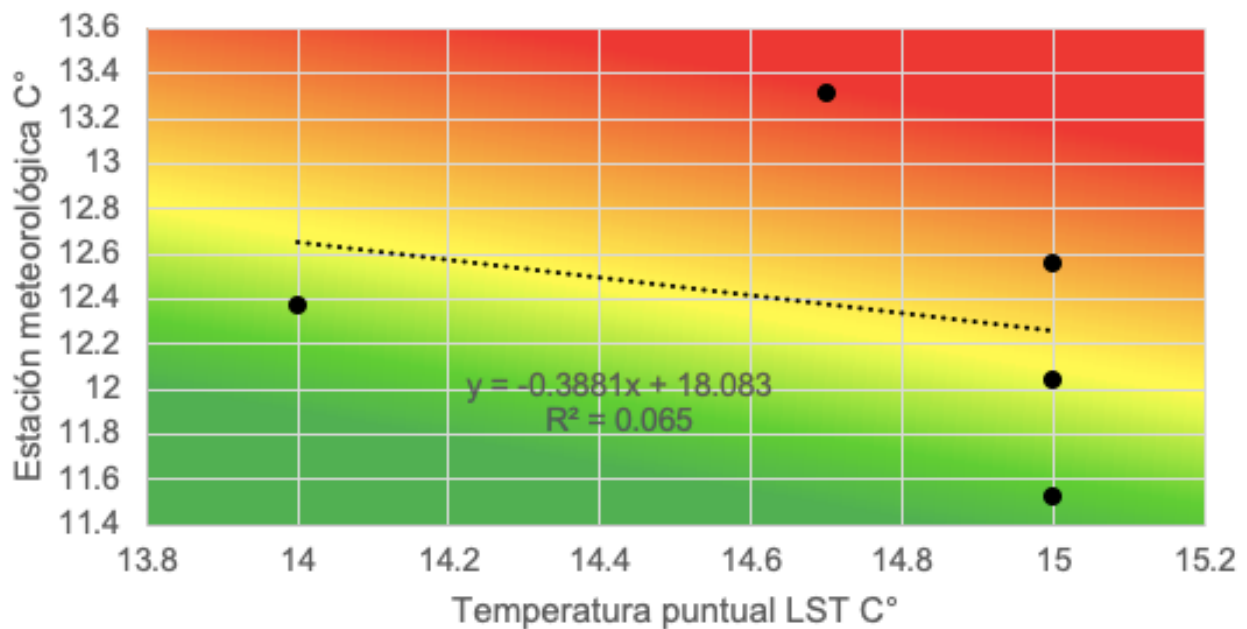
Nombre de estación meteorológica	Temperatura registrada por estación meteorológica en C°.08/11/2017 05:36:20	Temperatura de imagen satelital puntual por EM, C°
02 TIJUANA P. C.	15	12.04
LAS TORRES, P. C.	14	12.37
UTT EL REFUGIO P. C.	15	12.56
PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ	14.7	13.31
PI PACÍFICO	15	11.53

R2: 0.065

R: 0.2550

Interpretación de correlación: Correlación positiva baja

Correlación entre LST y temperatura por estaciones



7.6.25 GRÁFICA DE CORRELACIÓN DEL 20171109

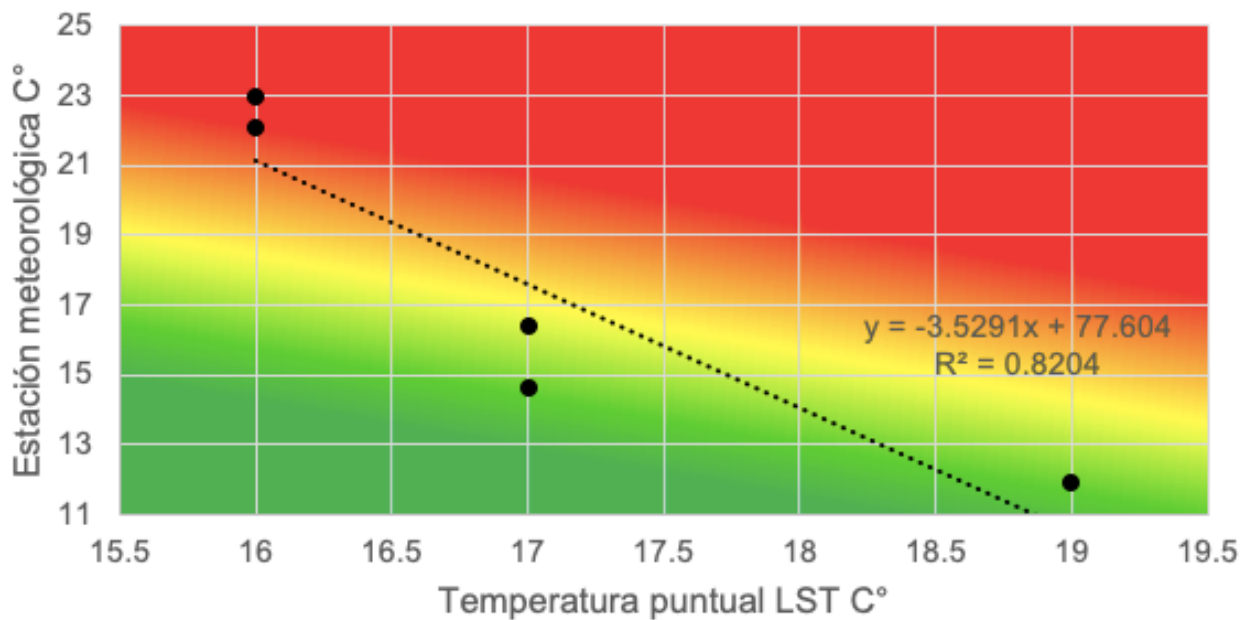
Nombre de estación meteorológica	Temperatura registrada por estación meteorológica en C°.09/11/2017 18:22:49	Temperatura de imagen satelital puntual por EM, C°
02 TIJUANA P. C.	17	16.42
LAS TORRES, P. C.	16	22.06
UTT EL REFUGIO P. C.	17	14.65
PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ	19.0	11.94
PI PACÍFICO	16	22.98

R2: 0.8204

R: 0.9058

Interpretación de correlación: Correlación positiva muy alta

Correlación entre LST y tempertura por estaciones

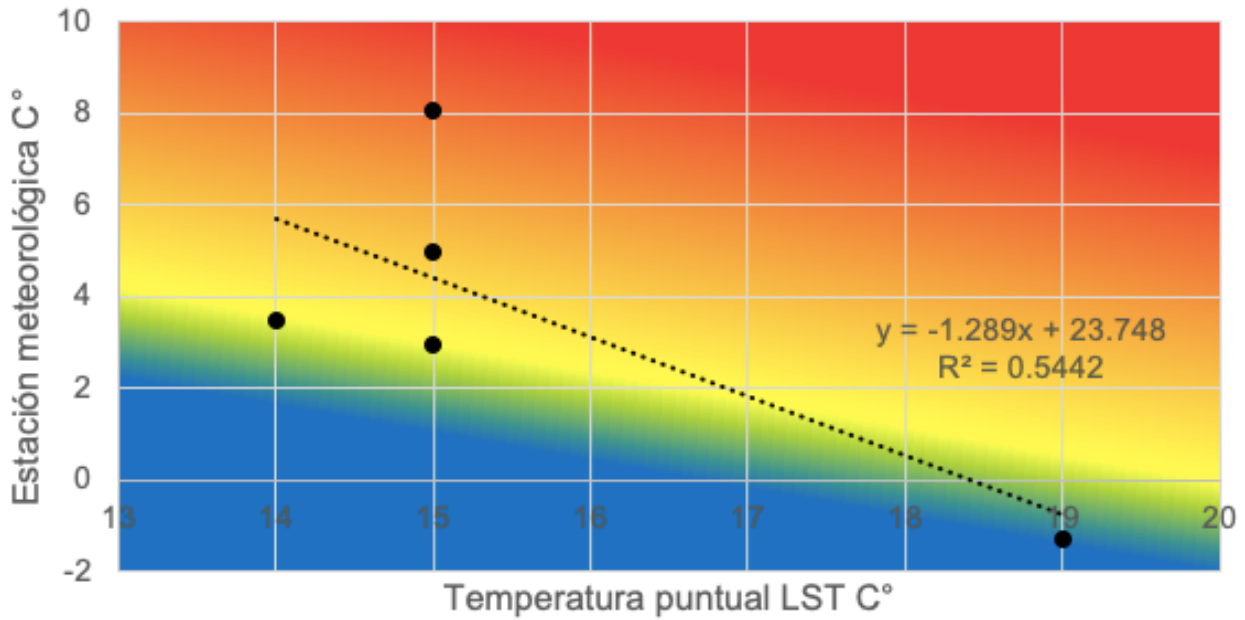


7.6.26 GRÁFICA DE CORRELACIÓN DEL 20171115

Nombre de estación meteorológica	Temperatura registrada por estación meteorológica en C°. 15/11/2017 05:42:05	Temperatura de imagen satelital puntual por EM, C°
02 TIJUANA P. C.	15	4.983612
LAS TORRES, P. C.	15	8.081146
UTT EL REFUGIO P. C.	14	3.480652
PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ	15	2.954926
PI PACÍFICO	19	-1.297424

R2: 0.5442
R: 0.0872

Interpretación de correlación: Correlación positiva alta
Correlación entre LST y temperatura por estaciones



7.6.27 GRÁFICA DE CORRELACIÓN DEL 20180112

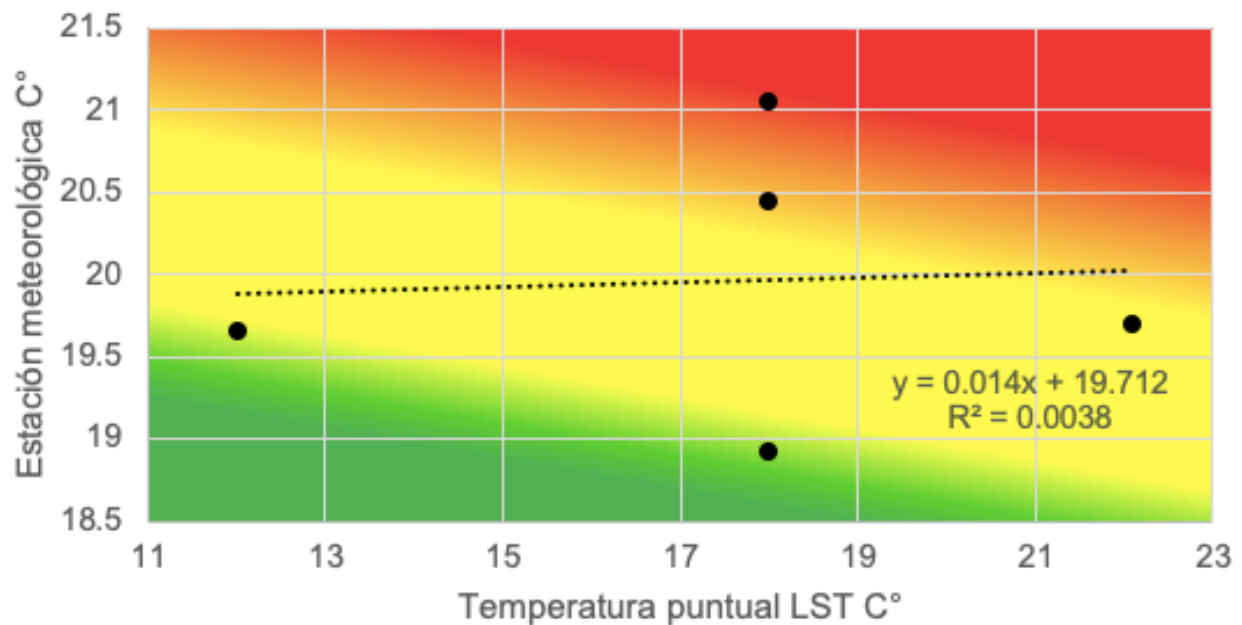
Nombre de estación meteorológica	Temperatura registrada por estación meteorológica en C°. 12/01/2018 18:22:37	Temperatura de imagen satelital puntual por EM, C°
02 TIJUANA P. C.	18	18.93
LAS TORRES, P. C.	12	19.66
UTT EL REFUGIO P. C.	18	20.45
PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ	22.1	19.70
PI PACÍFICO	18	21.06

R2: 0.0038

R: 0.0872

Interpretación de correlación: Correlación positiva muy baja

Correlación entre LST y temperatura por estaciones



7.6.28 GRÁFICA DE CORRELACIÓN DEL 20180128

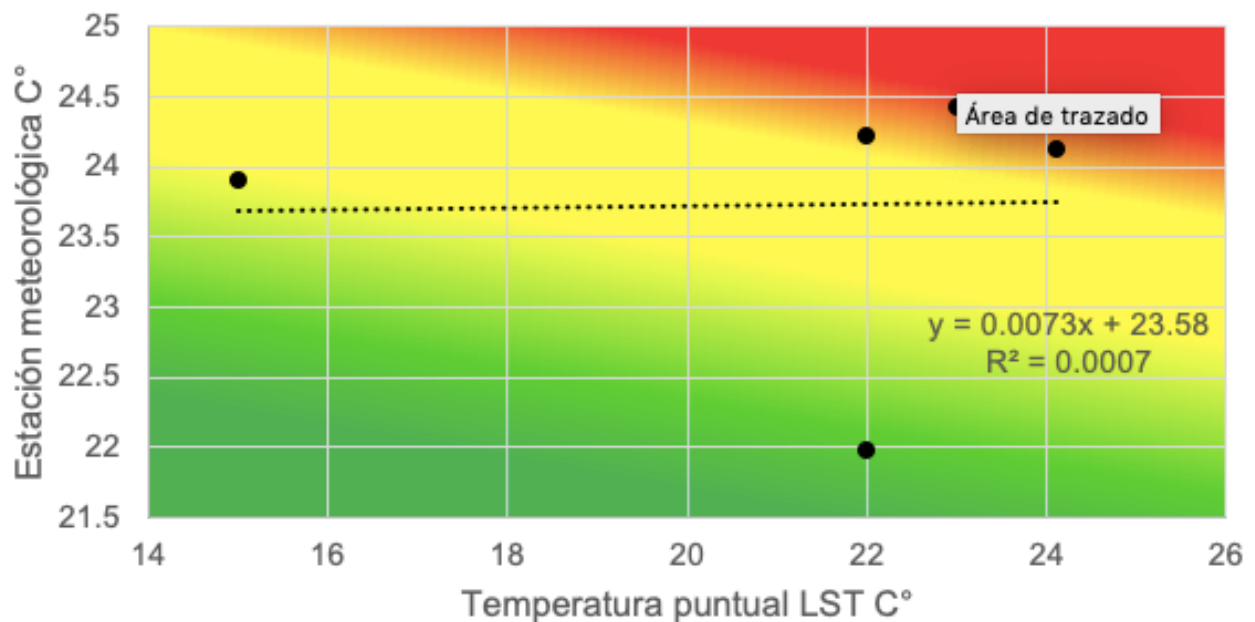
Nombre de estación meteorológica	Temperatura registrada por estación meteorológica en C°. 28/01/2018 18:22:28	Temperatura de imagen satelital puntual por EM, C°
02 TIJUANA P. C.	15	23.90
LAS TORRES, P. C.	22	24.22
UTT EL REFUGIO P. C.	23	24.43
PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ	24.1	24.14
PI PACÍFICO	22	21.98

R2: 0.0007

R: 0.0872

Interpretación de correlación: Correlación positiva muy baja

Correlación entre LST y tempertura por estaciones



7.6.29 GRÁFICA DE CORRELACIÓN DEL 20180510

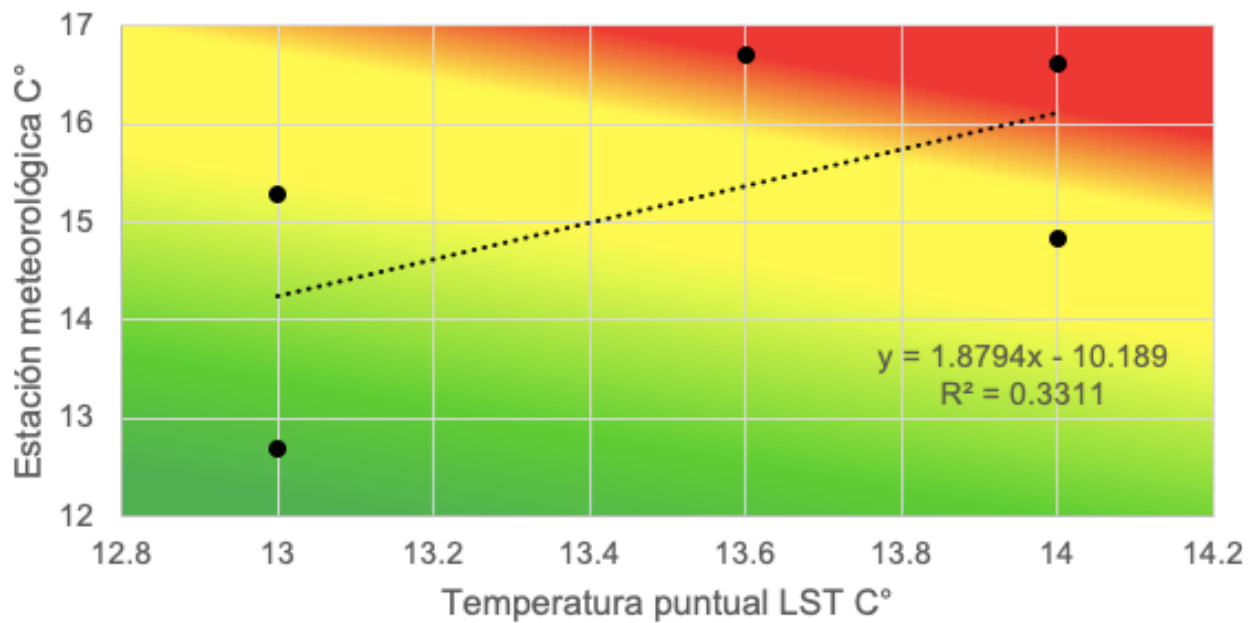
Nombre de estación meteorológica	Temperatura registrada por estación meteorológica en C°. 10/05/2018 05:40:54	Temperatura de imagen satelital puntual por EM, C°
02 TIJUANA P. C.	14	14.83
LAS TORRES, P. C.	13	15.28
UTT EL REFUGIO P. C.	14	16.62
PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ	13.6	16.69
PI PACÍFICO	13	12.68

R2: 0.3311

R: 0.0872

Interpretación de correlación: Correlación positiva moderada

Correlación entre LST y tempertura por estaciones



7.6.30 GRÁFICA DE CORRELACIÓN DEL 20180526

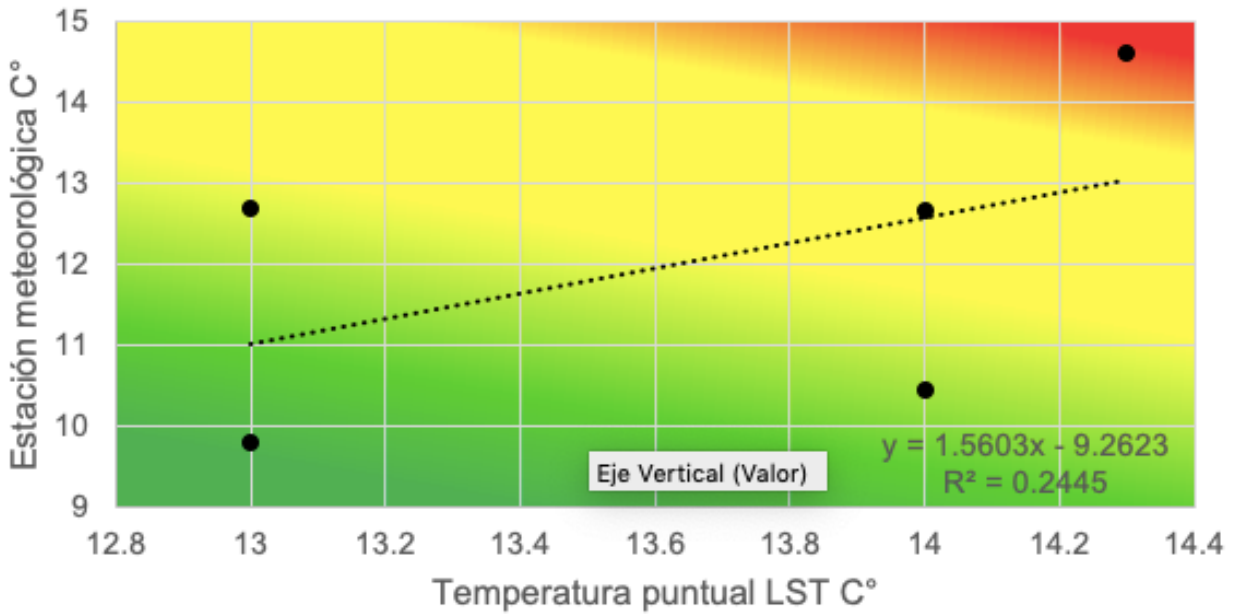
Nombre de estación meteorológica	Temperatura registrada por estación meteorológica en C°. 26/05/2018 05:40:42	Temperatura de imagen satelital puntual por EM, C°
02 TIJUANA P. C.	14	12.68
LAS TORRES, P. C.	13	12.71
UTT EL REFUGIO P. C.	14	10.44
PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ	14.3	14.62
PI PACÍFICO	13	9.80

R2: 0.2445

R: 0.0872

Interpretación de correlación: Correlación positiva moderada

Correlación entre LST y tempertura por estaciones



7.6.31 GRÁFICA DE CORRELACIÓN DEL 20180706

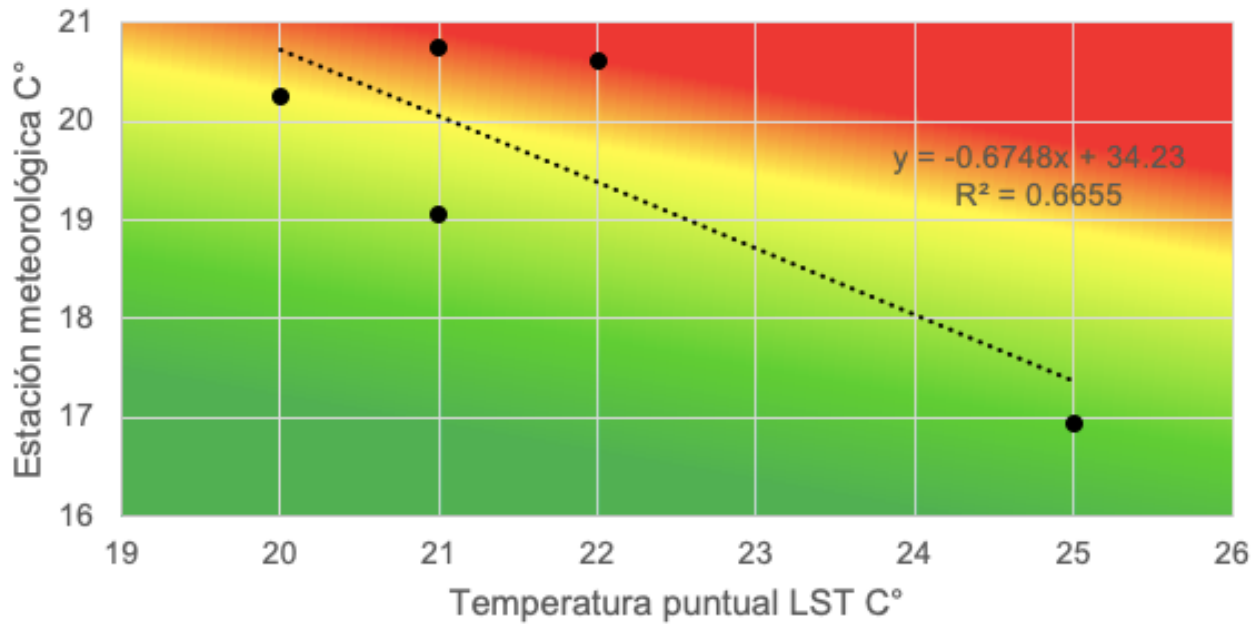
Nombre de estación meteorológica	Temperatura registrada por estación meteorológica en C°. 06/07/2018 05:35:09	Temperatura de imagen satelital puntual por EM, C°
02 TIJUANA P. C.	21	19.07
LAS TORRES, P. C.	20	20.24
UTT EL REFUGIO P. C.	21	20.74
PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ	22	20.61
PI PACÍFICO	25	16.93

R2: 0.6655

R: 0.0872

Interpretación de correlación: Correlación positiva alta

Correlación entre LST y temperatura por estaciones



7.6.32 GRÁFICA DE CORRELACIÓN DEL 20190513

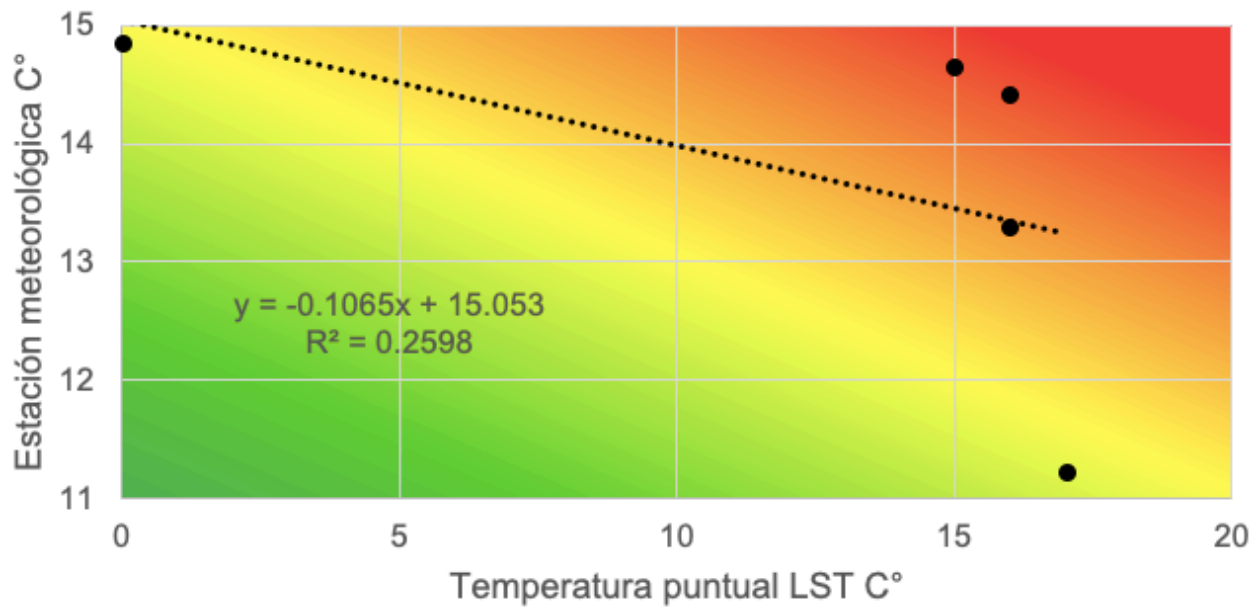
Nombre de estación meteorológica	Temperatura registrada por estación meteorológica en C°. 13/05/2019 05:41:23	Temperatura de imagen satelital puntual por EM, C°
02 TIJUANA P. C.	16	13.30
LAS TORRES, P. C.	15	14.65
UTT EL REFUGIO P. C.	16	14.42
PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ		14.85
PI PACÍFICO	17	11.23

R2: 0.2598

R: 0.0872

Interpretación de correlación: Correlación positiva moderada

Correlación entre LST y temperatura por estaciones



7.6.33 GRÁFICA D DE CORRELACIÓN EL 20190523

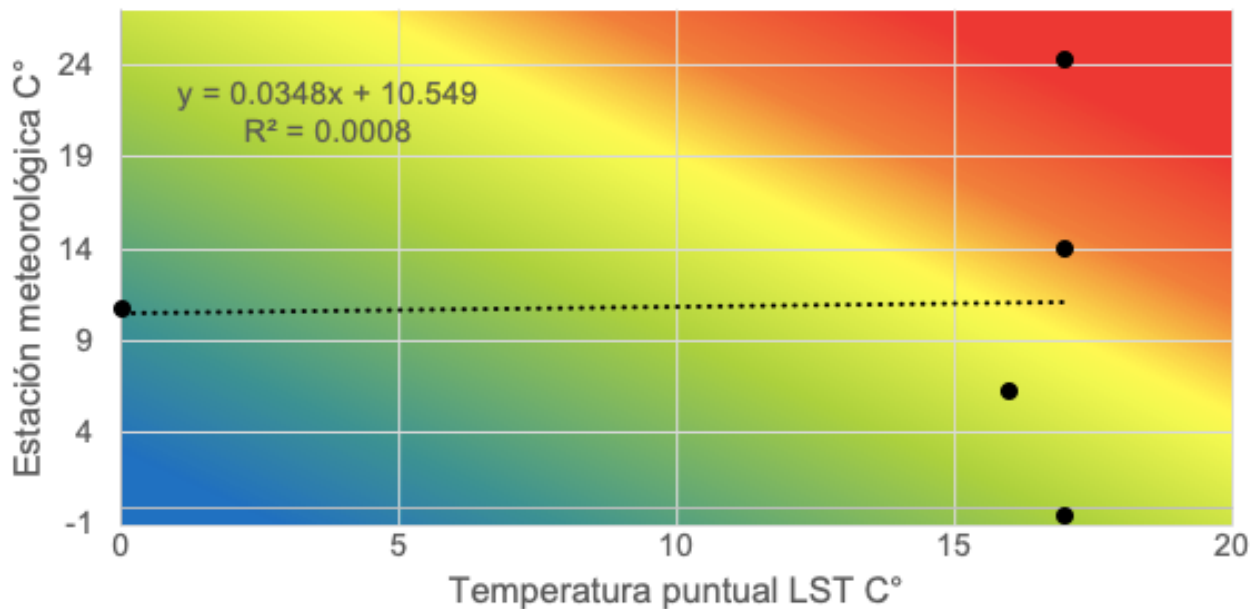
Nombre de estación meteorológica	Estación meteorologica C° 23/05/2019 18:22:12	Temperatura de imagen satelital puntual por EM, C°
02 TIJUANA P. C.	17	24.36
LAS TORRES, P. C.	17	-0.42
UTT EL REFUGIO P. C.	17	13.98
PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ		10.83
PI PACÍFICO	16	6.33

R2: 0.0008

R: 0.0872

Interpretación de correlación: Correlación positiva muy baja

Correlación entre LST y tempertura por estaciones



7.6.34 GRÁFICA DE CORRELACIÓN DEL 20190529

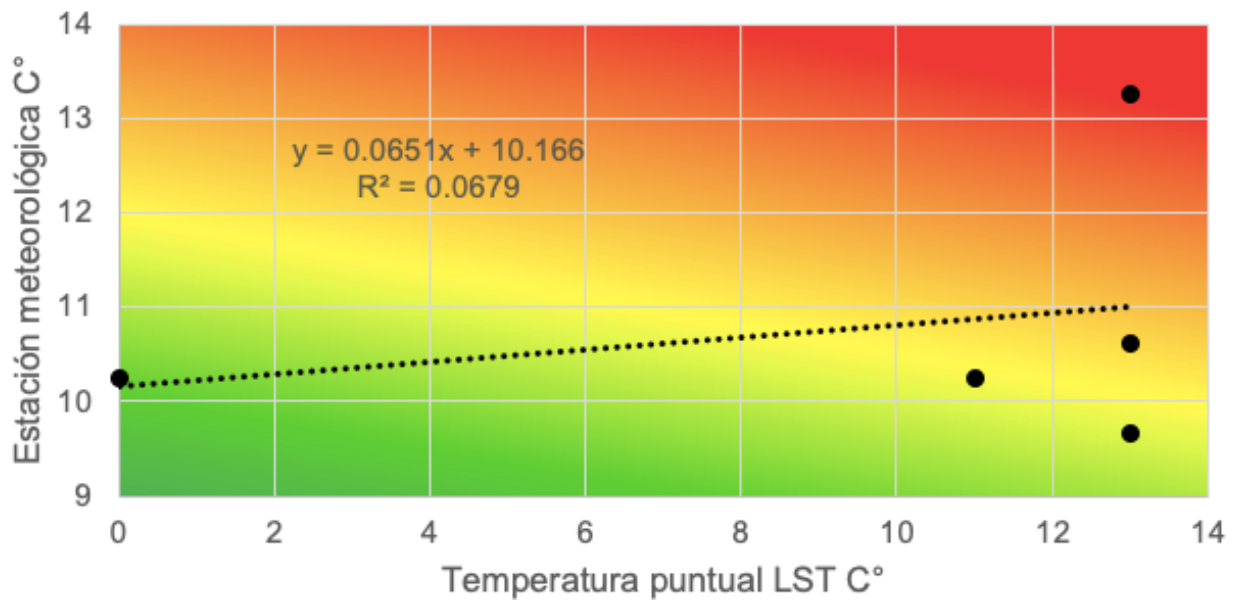
Nombre de estación meteorológica	Estación meteorologica C° 29/05/2019 05:41:32	Temperatura de imagen satelital puntual por EM, C°
02 TIJUANA P. C.	13	10.62
LAS TORRES, P. C.	13	13.27
UTT EL REFUGIO P. C.	13	9.68
PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ		10.26
PI PACÍFICO	11	10.25

R2: 0.0679

R: 0.0872

Interpretación de correlación: Correlación positiva baja

Correlación entre LST y temperatura por estaciones



7.6.35 GRÁFICA DE CORRELACIÓN DEL 20190716

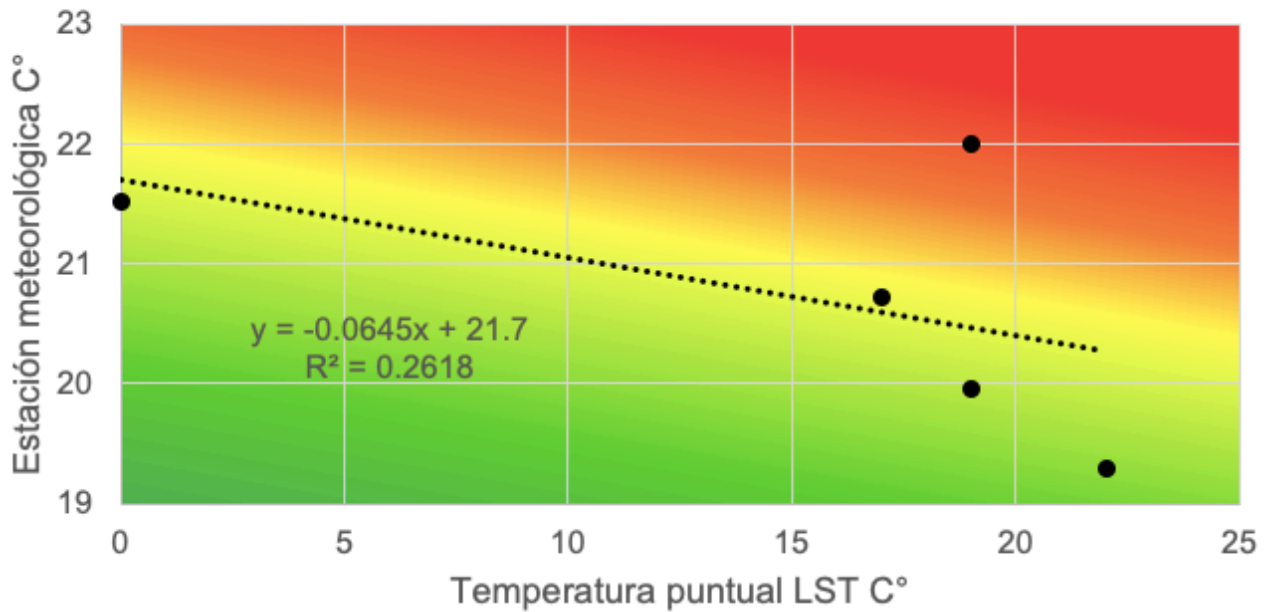
Nombre de estación meteorológica	Estación meteorologica C° 16/07/2019 05:41:47	Temperatura de imagen satelital puntual por EM, C°
02 TIJUANA P. C.	19	19.96
LAS TORRES, P. C.	17	20.72
UTT EL REFUGIO P. C.	19	22.01
PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ		21.53
PI PACÍFICO	22	19.30

R2: 0.2618

R: 0.0872

Interpretación de correlación: Correlación positiva moderada

Correlación entre LST y tempertura por estaciones



7.6.36 GRÁFICA DE CORRELACIÓN DEL 20190726

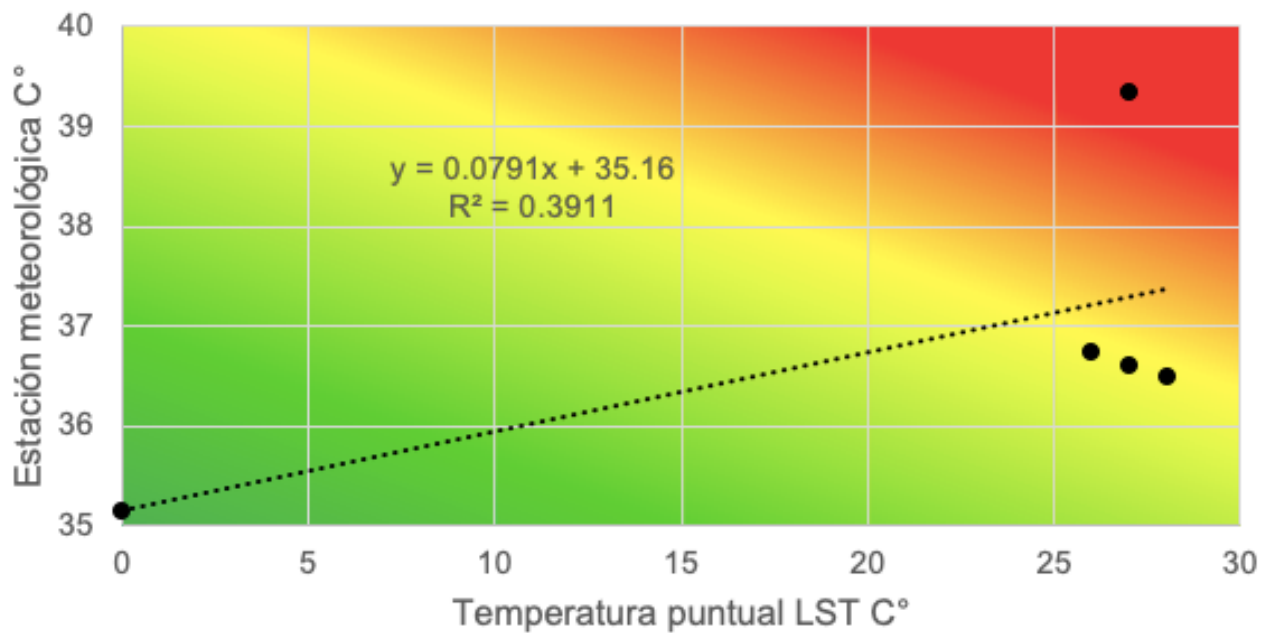
Nombre de estación meteorológica	Estación meteorologica C° 26/07/2019 18:22:33	Temperatura de imagen satelital puntual por EM, C°
02 TIJUANA P. C.	27	36.60
LAS TORRES, P. C.	26	36.75
UTT EL REFUGIO P. C.	28	36.49
PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ		35.15
PI PACÍFICO	27	39.35

R2: 0.3911

R: 0.0872

Interpretación de correlación: Correlación positiva moderada

Correlación entre LST y tempertura por estaciones



7.6.37 GRÁFICA DE CORRELACIÓN DEL 20191105

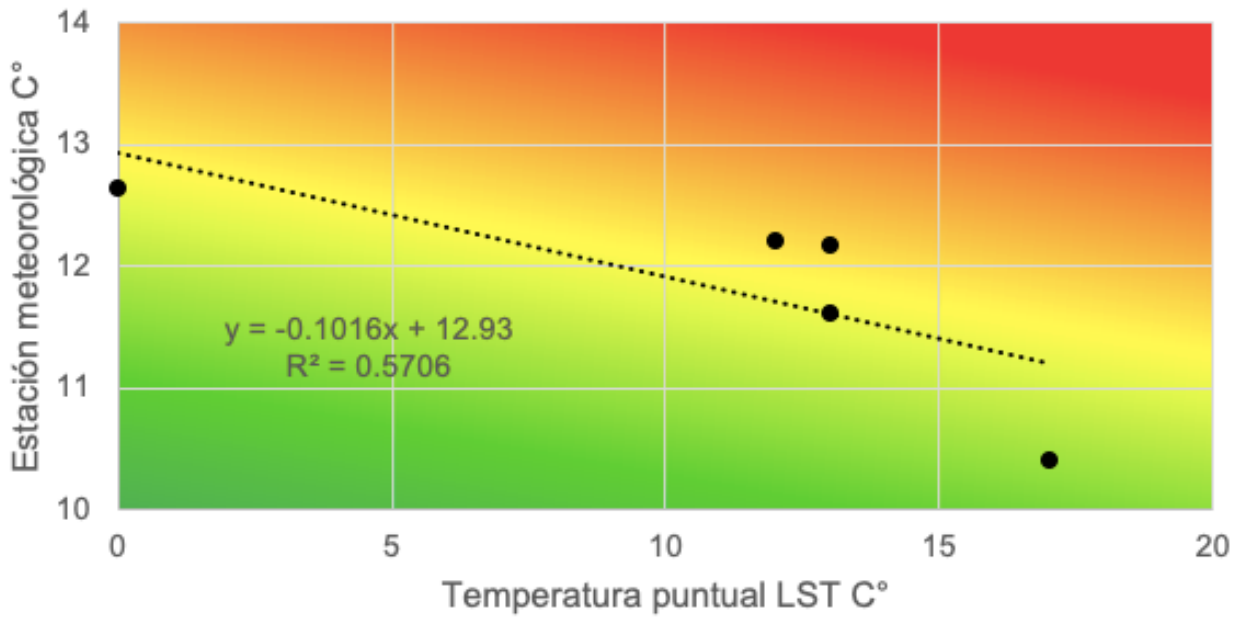
Nombre de estación meteorológica	Estación meteorologica C° 05/11/2019 05:42:13	Temperatura de imagen satelital puntual por EM, C°
02 TIJUANA P. C.	13	11.61
LAS TORRES, P. C.	13	12.18
UTT EL REFUGIO P. C.	12	12.21
PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ		12.65
PI PACÍFICO	17	10.41

R2: 0.3911

R: 0.0872

Interpretación de correlación: Correlación positiva moderada

Correlación entre LST y tempertura por estaciones



7.6.38 GRÁFICA DE CORRELACIÓN DEL 20191114

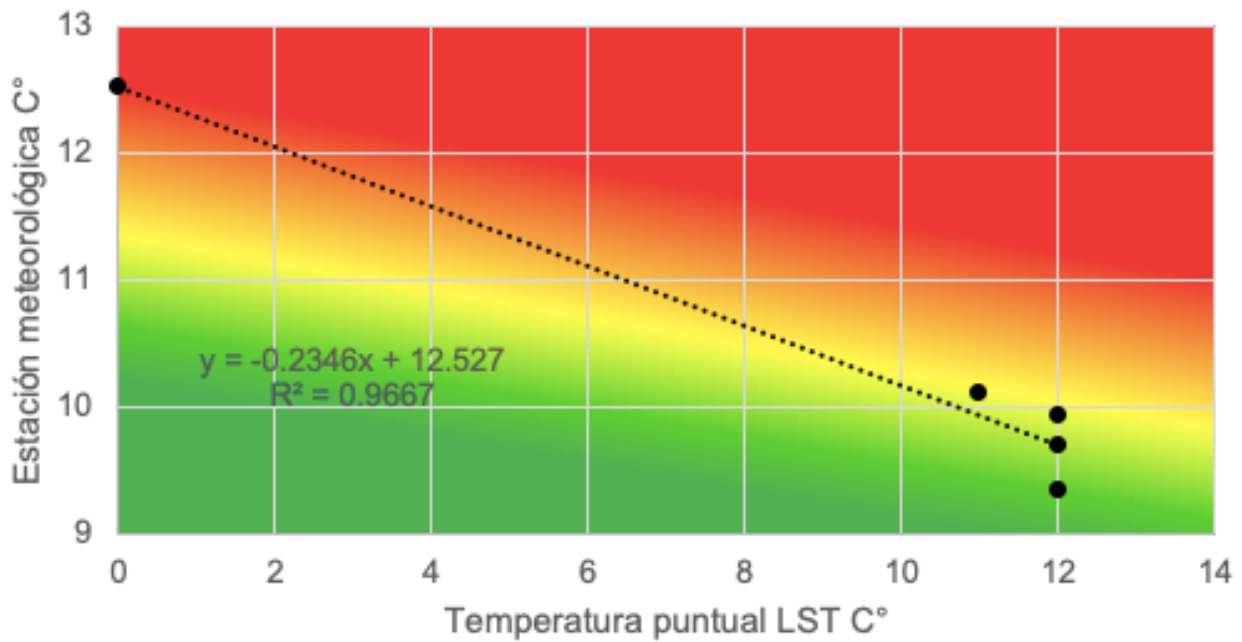
Nombre de estación meteorológica	Estación meteorologica C° 14/11/2019 05:36:24	Temperatura de imagen satelital puntual por EM, C°
02 TIJUANA P. C.	12	9.93
LAS TORRES, P. C.	12	9.70
UTT EL REFUGIO P. C.	12	9.35
PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ		12.51
PI PACÍFICO	11	10.12

R2: 0.9667

R: 0.0872

Interpretación de correlación: Correlación positiva muy alta

Correlación entre LST y temperatura por estaciones



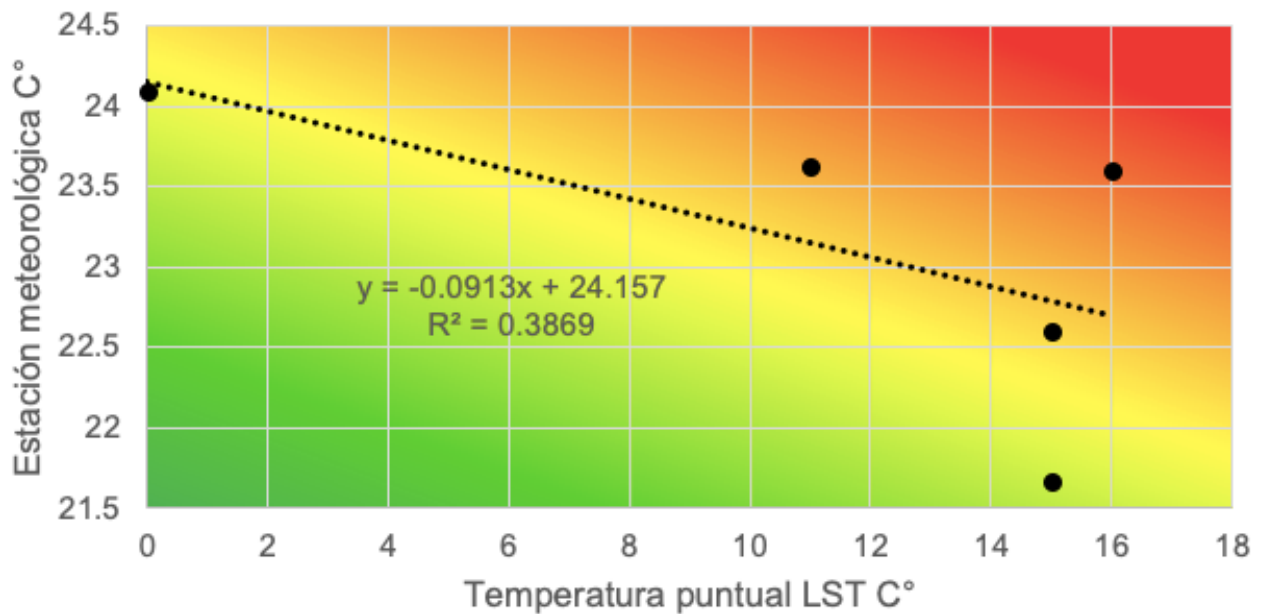
7.6.39 GRÁFICA DE CORRELACIÓN DEL 20191115

Nombre de estación meteorológica	Estación meteorologica C° 15/11/2019 18:22:53	Temperatura de imagen satelital puntual por EM, C°
02 TIJUANA P. C.	15	21.67
LAS TORRES, P. C.	15	22.60
UTT EL REFUGIO P. C.	16	23.60
PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ		24.09
PI PACÍFICO	11	23.62

R2: 0.3860

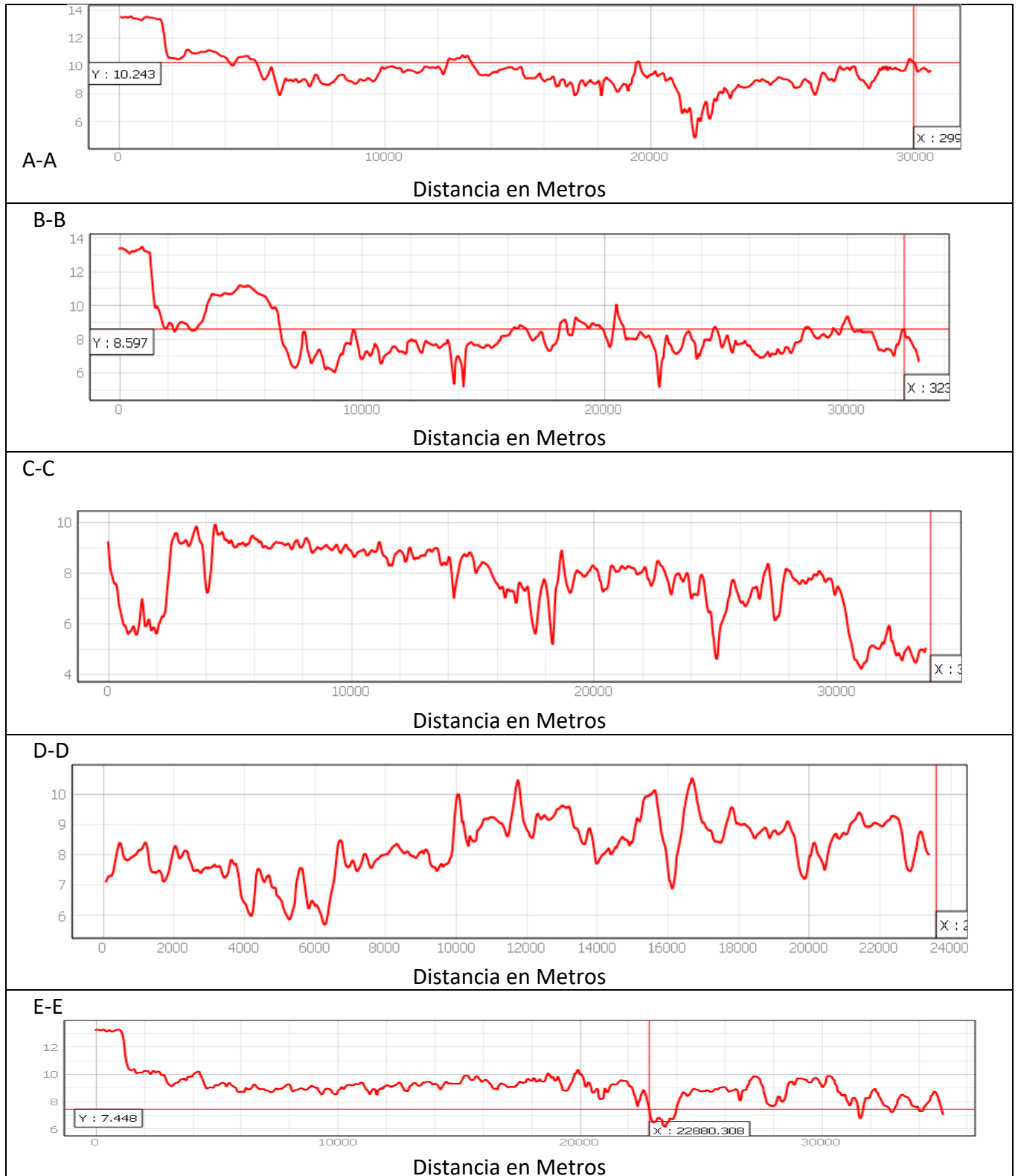
R: 0.0872

Interpretación de correlación: Correlación positiva moderada
Correlación entre LST y temperatura por estaciones

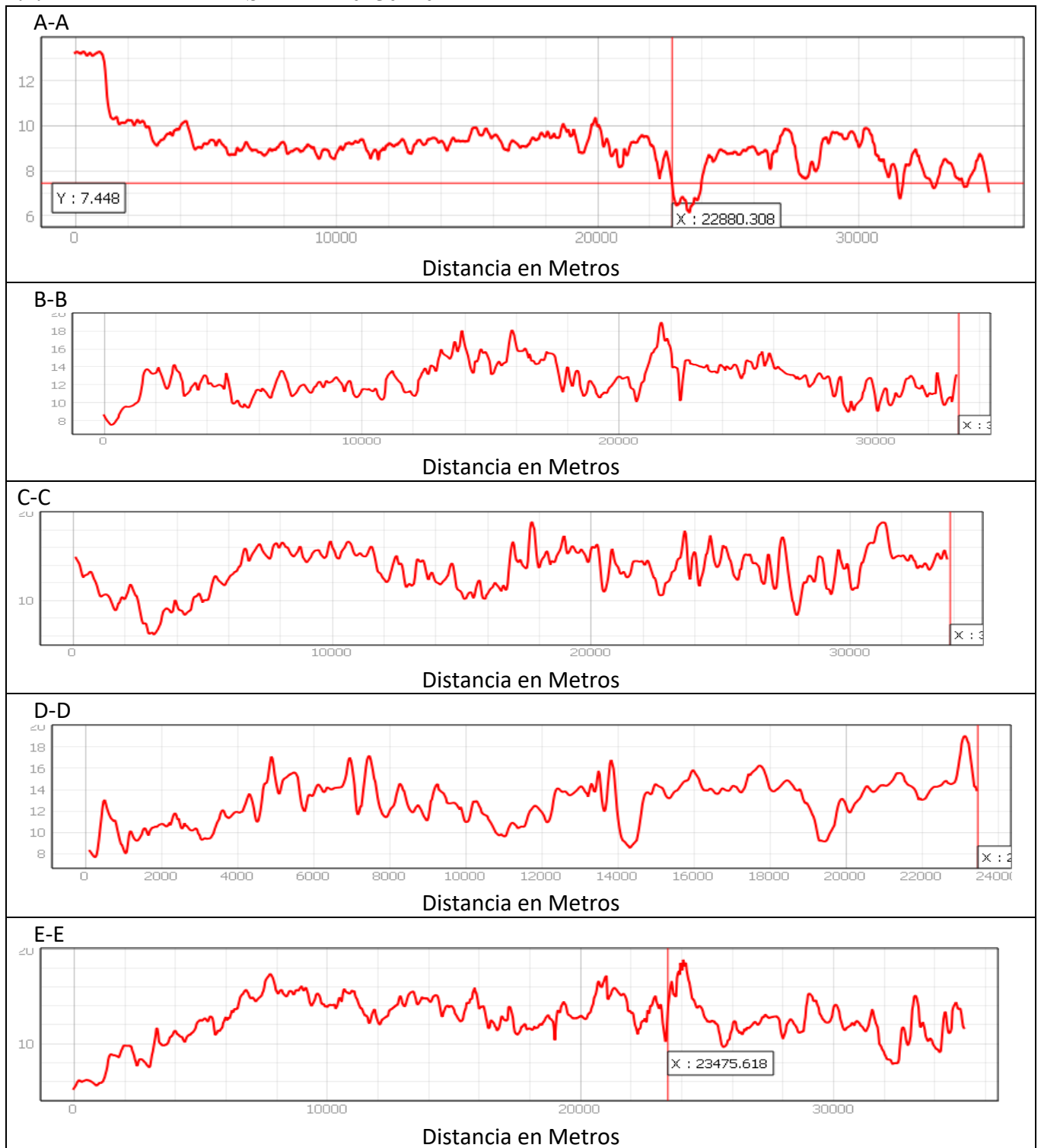


7.7 PERFILES DE LA TEMPERATURA DE LA SUPEFICIE DE LA TIERRA LST

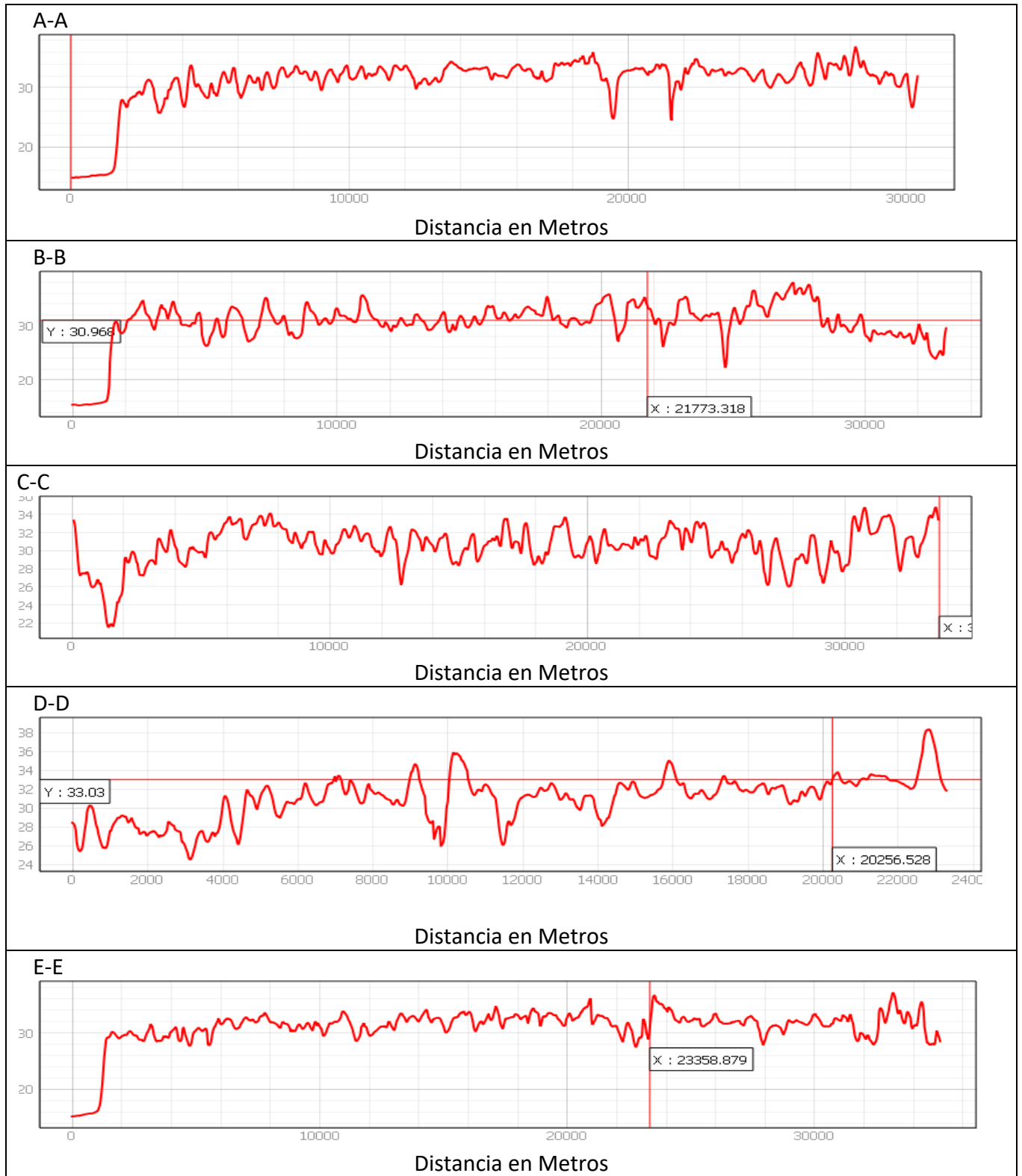
7.7.1 PERFIL DE LST DEL 20150110



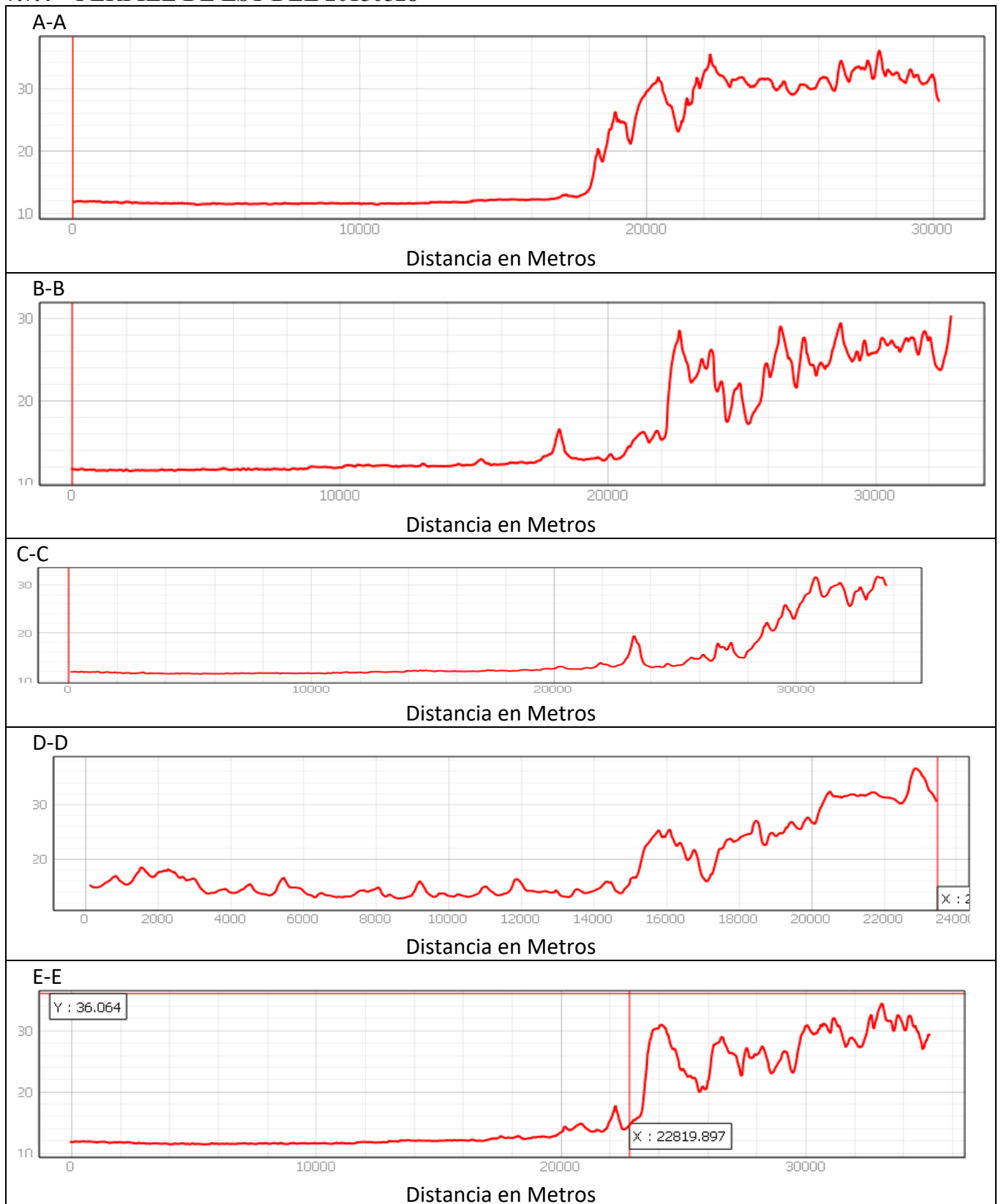
7.7.2 PERFIL DE LST DEL 20150120



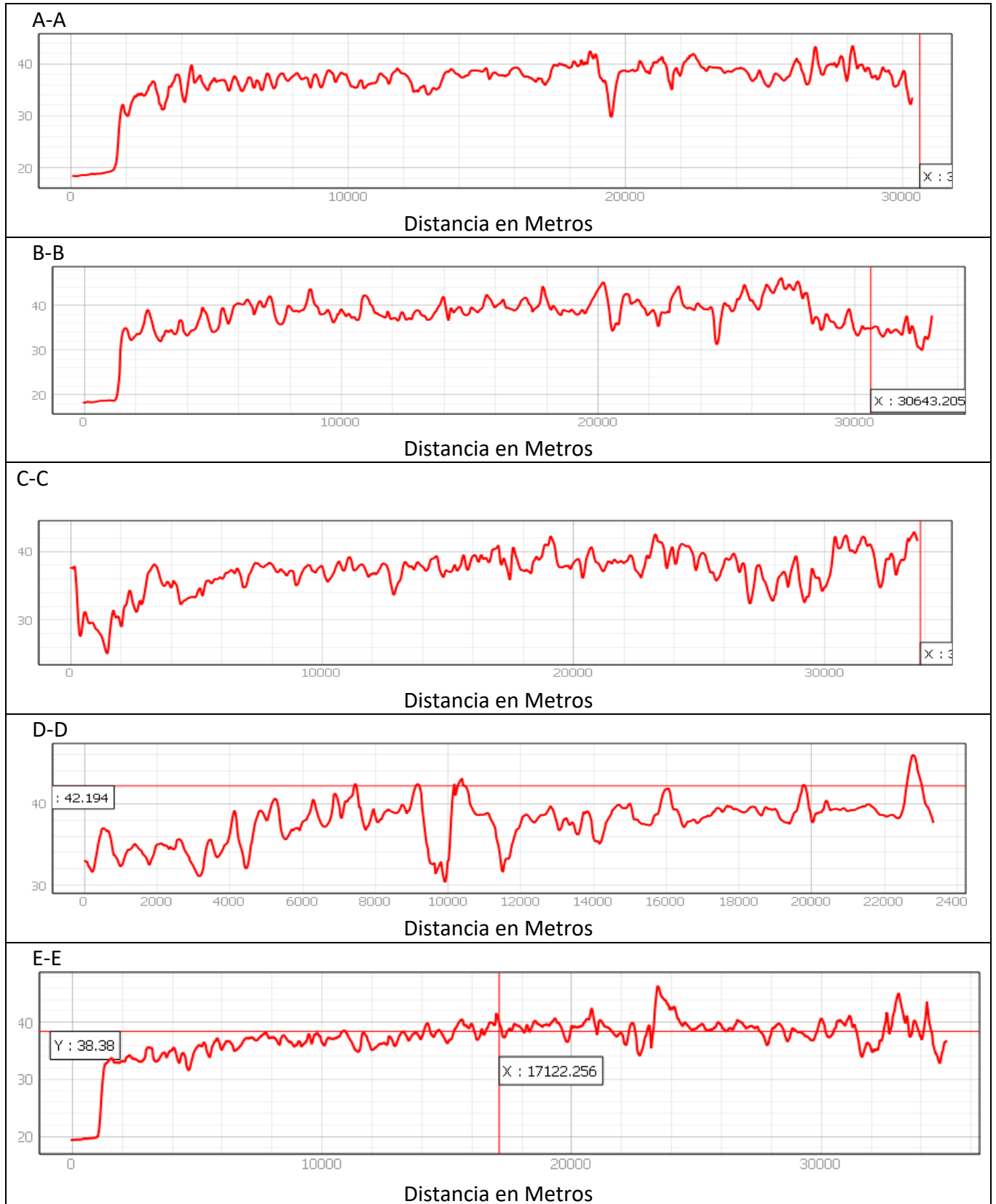
7.7.3 PERFIL DE LST DEL 20150512



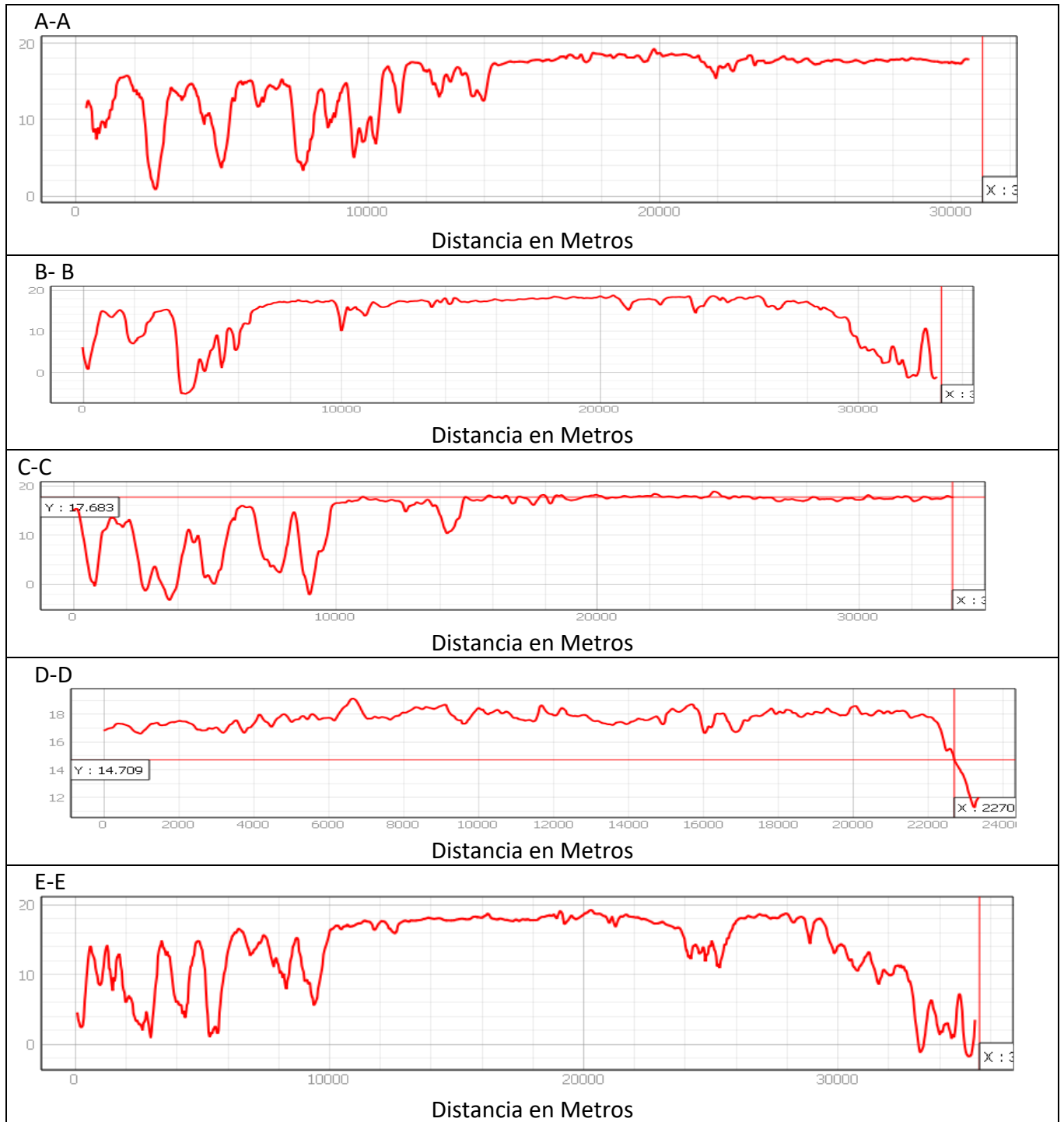
7.7.4 PERFILE DE LST DEL 20150528



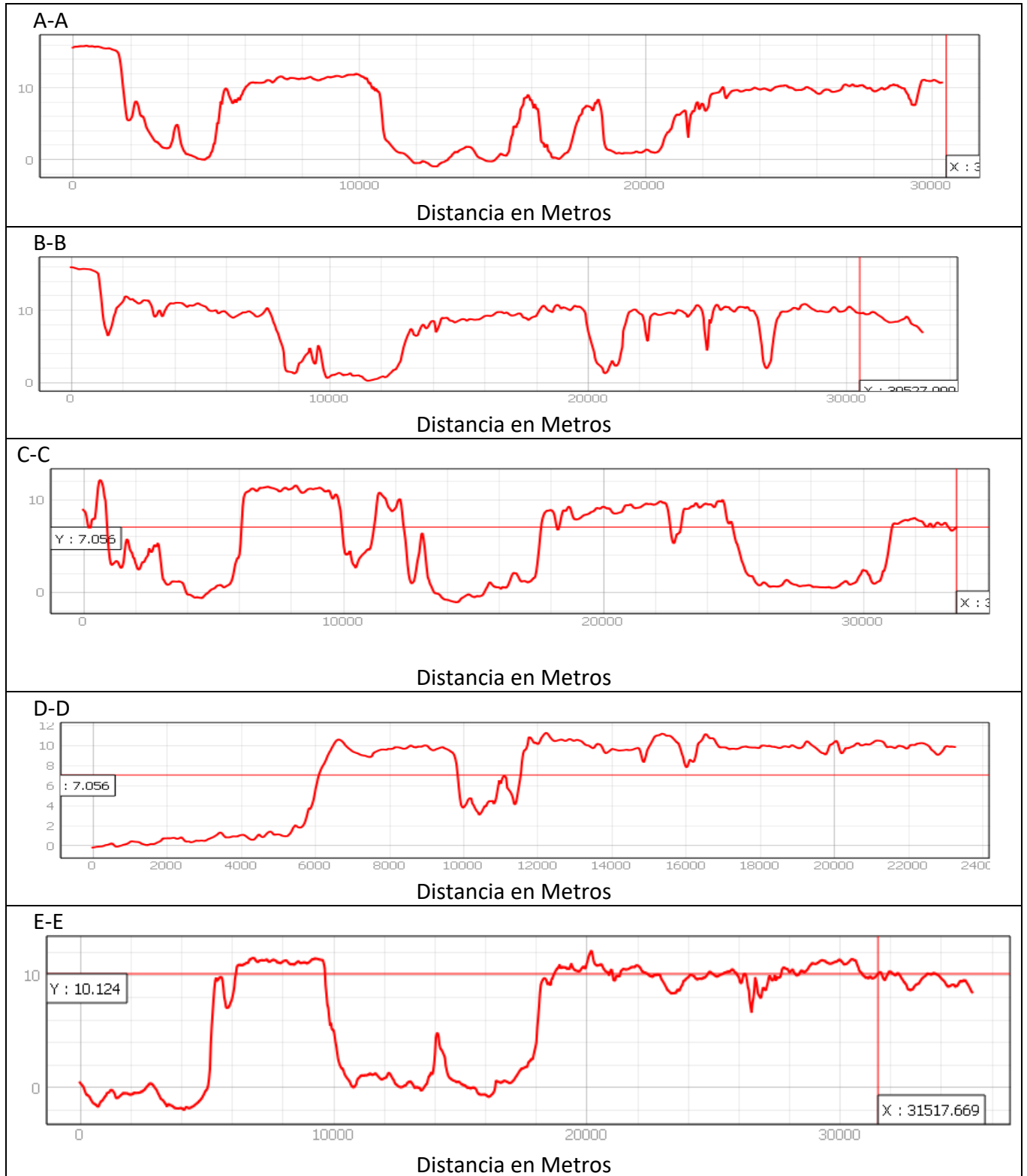
7.7.5 PERFILE DE LST DEL 20150715



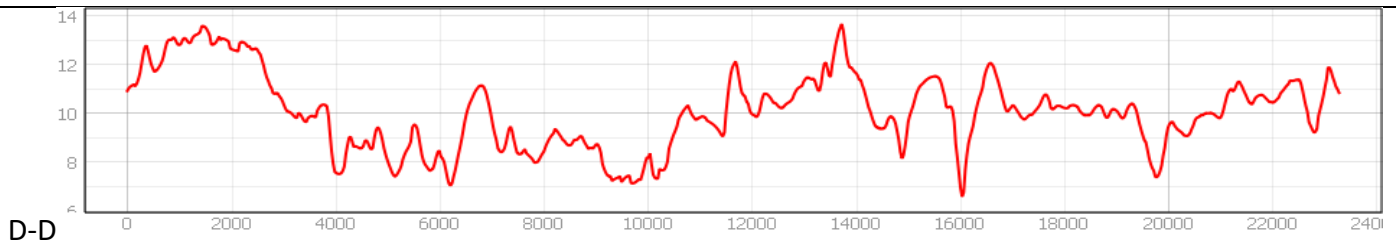
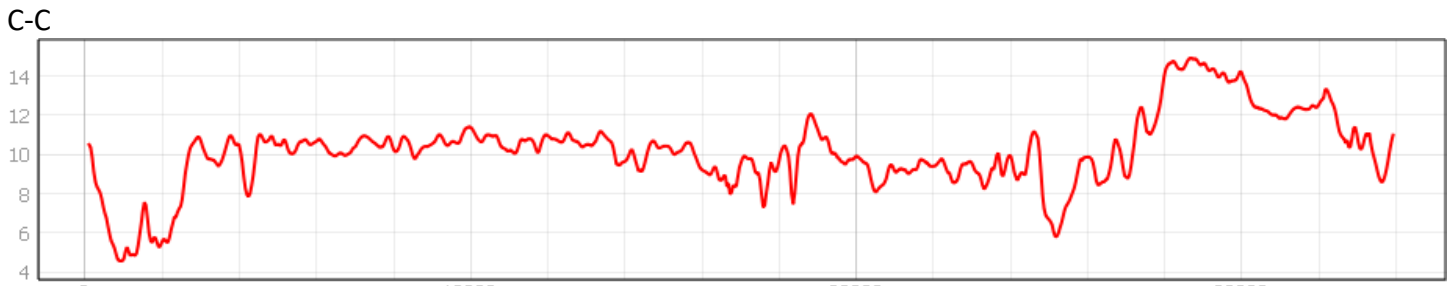
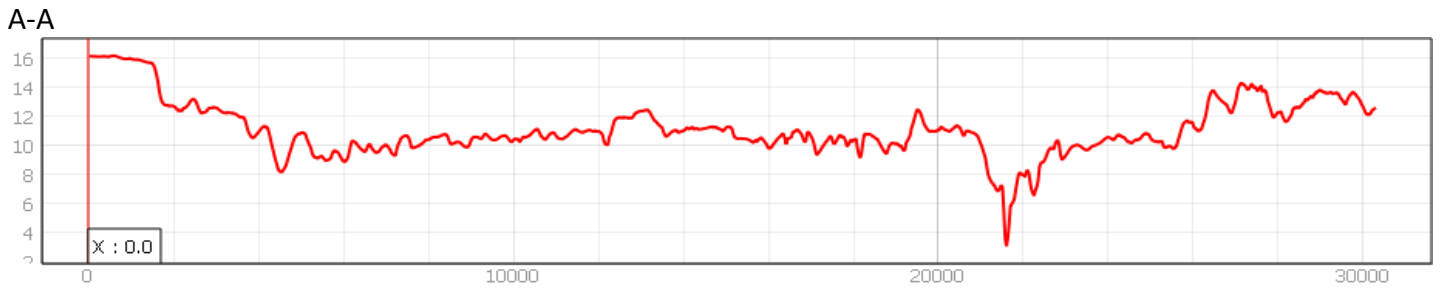
7.7.6 PERFILE DE LST DEL 20150730
20150730



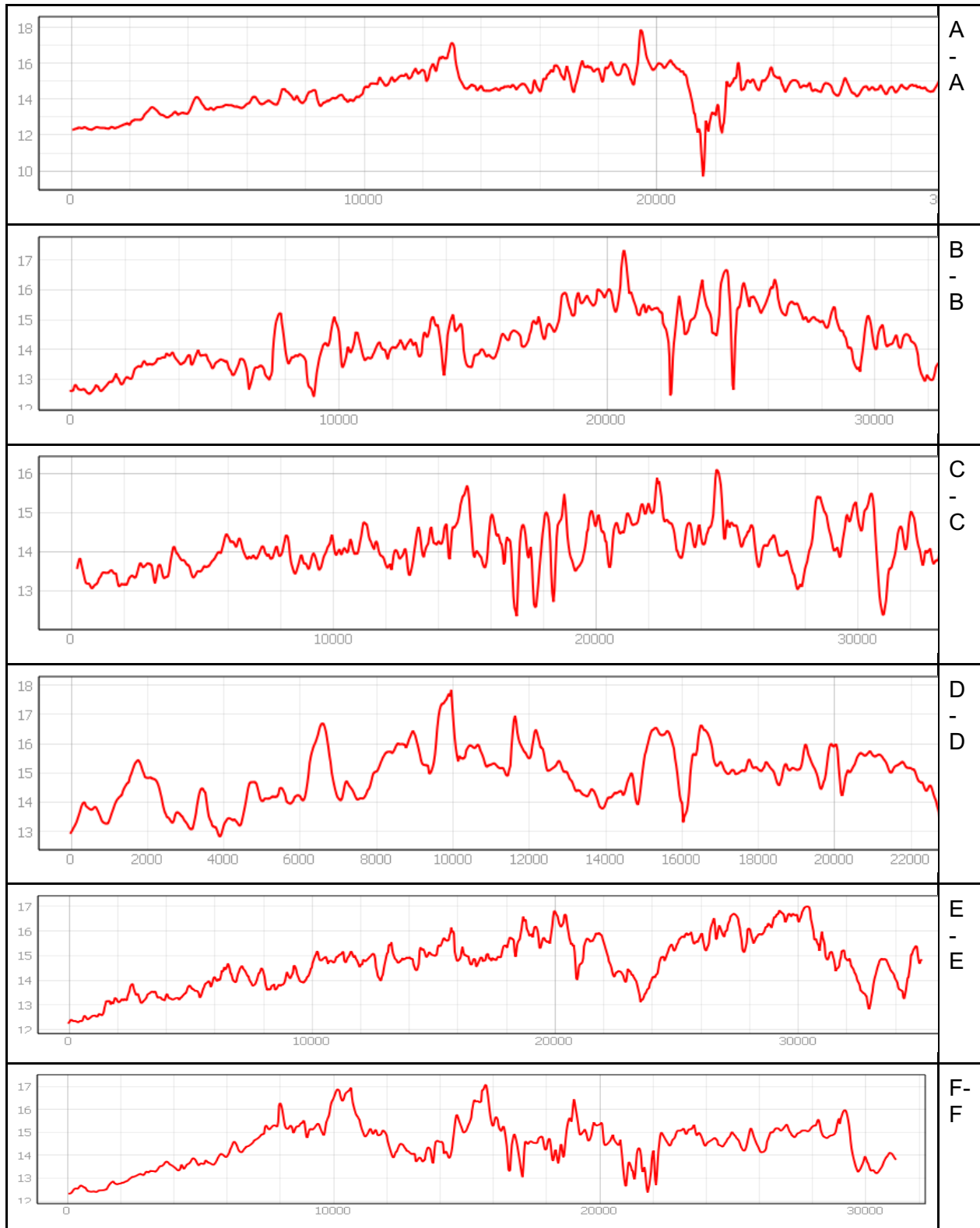
7.7.7 PERFILE DE LST DEL 20151110



7.7.8 PERFILE DE LST DEL 20151119

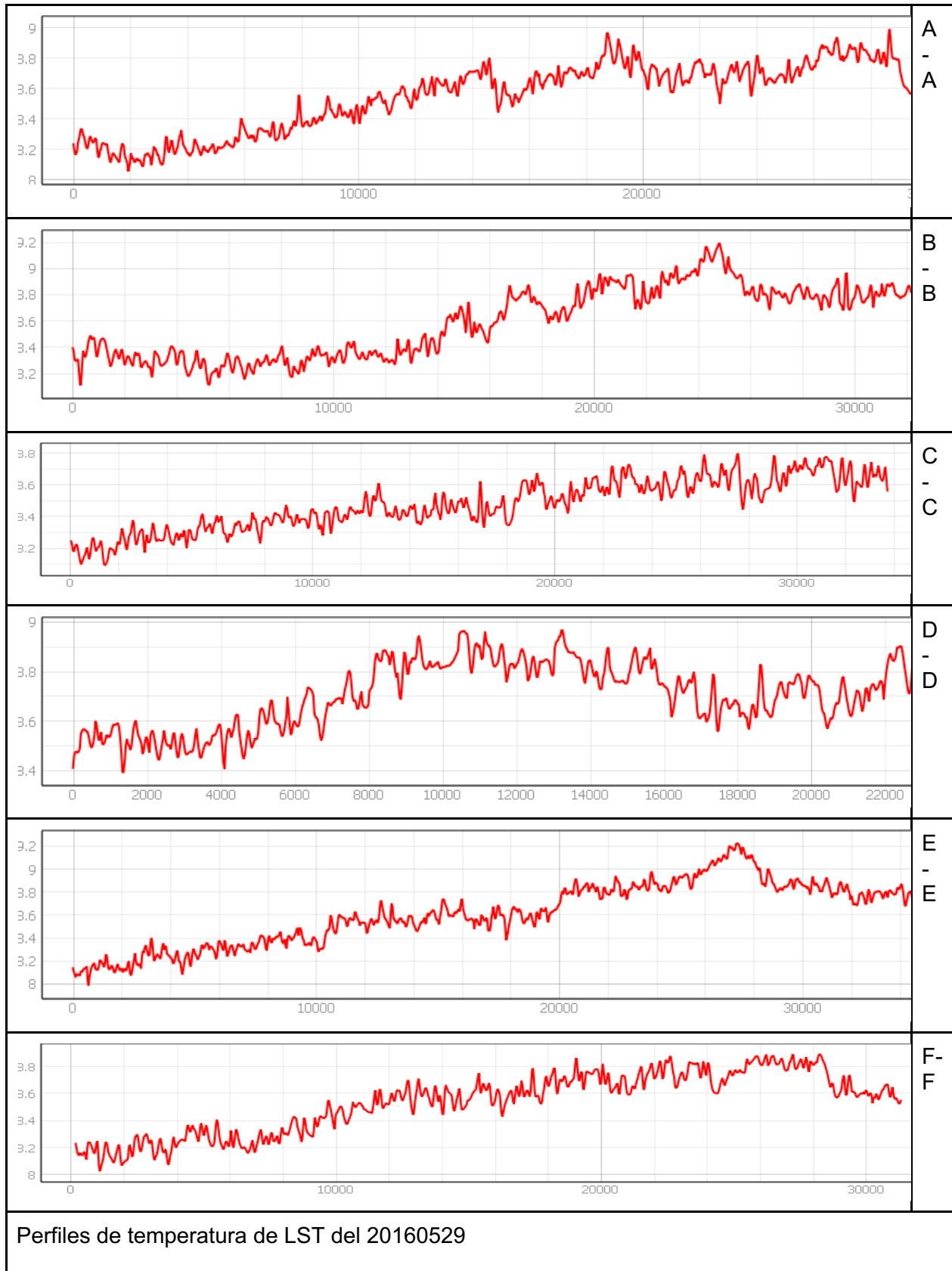


7.7.9 PERFILE DE LST DEL 20160513

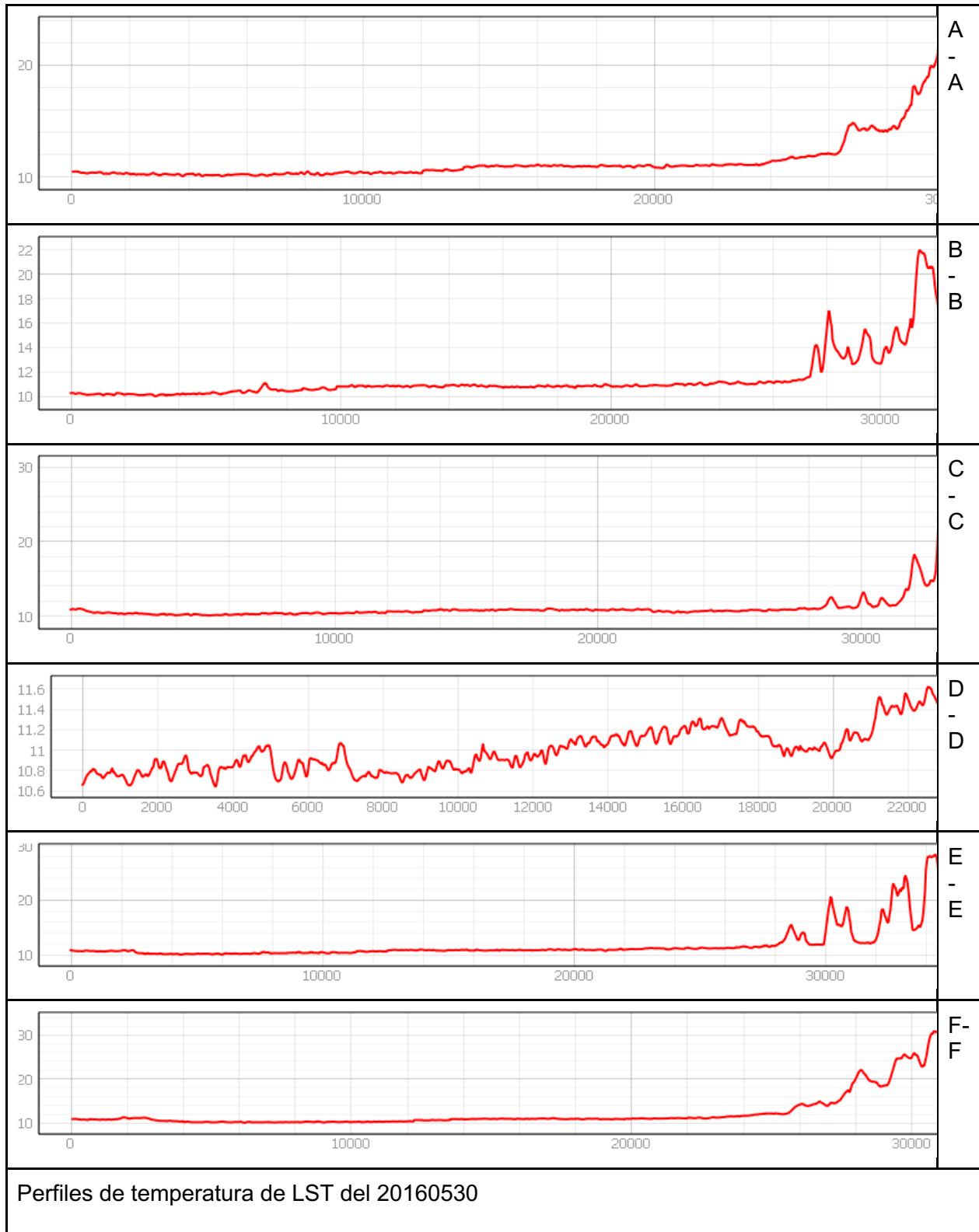


Perfiles de temperatura de LST del 20160513

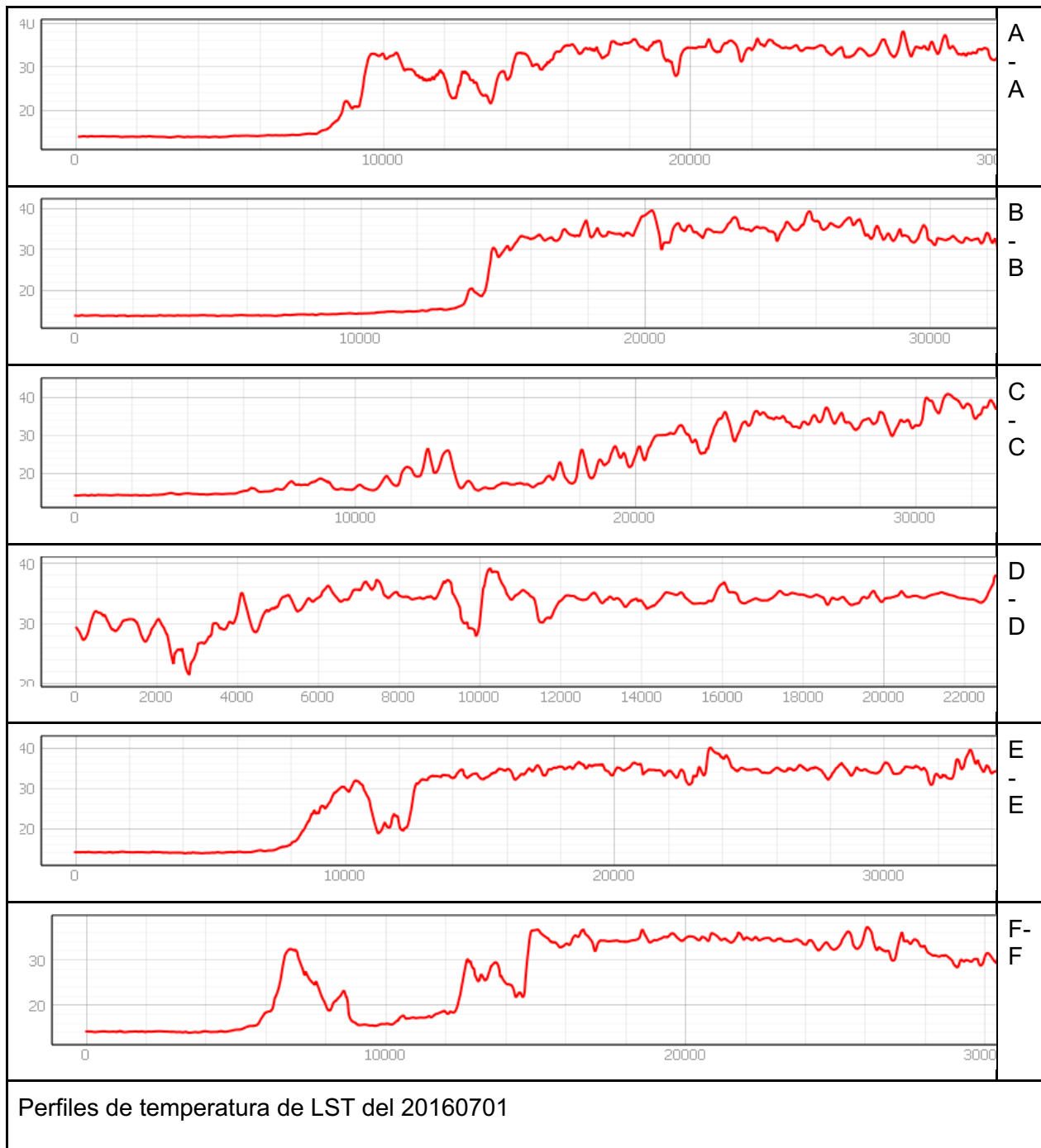
7.7.10 PERFILE DE LST DEL 20160529



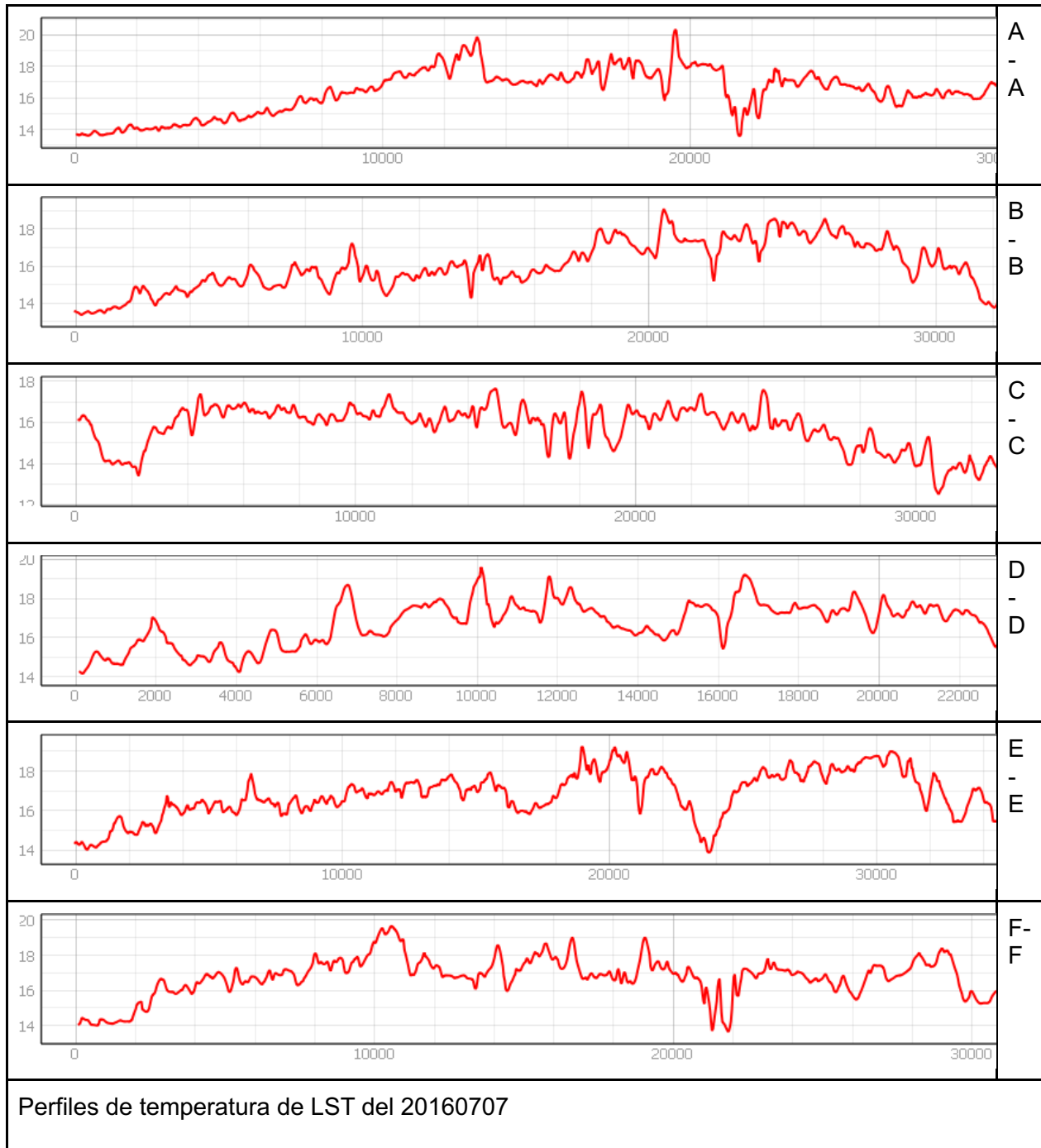
7.7.11 PERFIL DE LST DEL 20160530



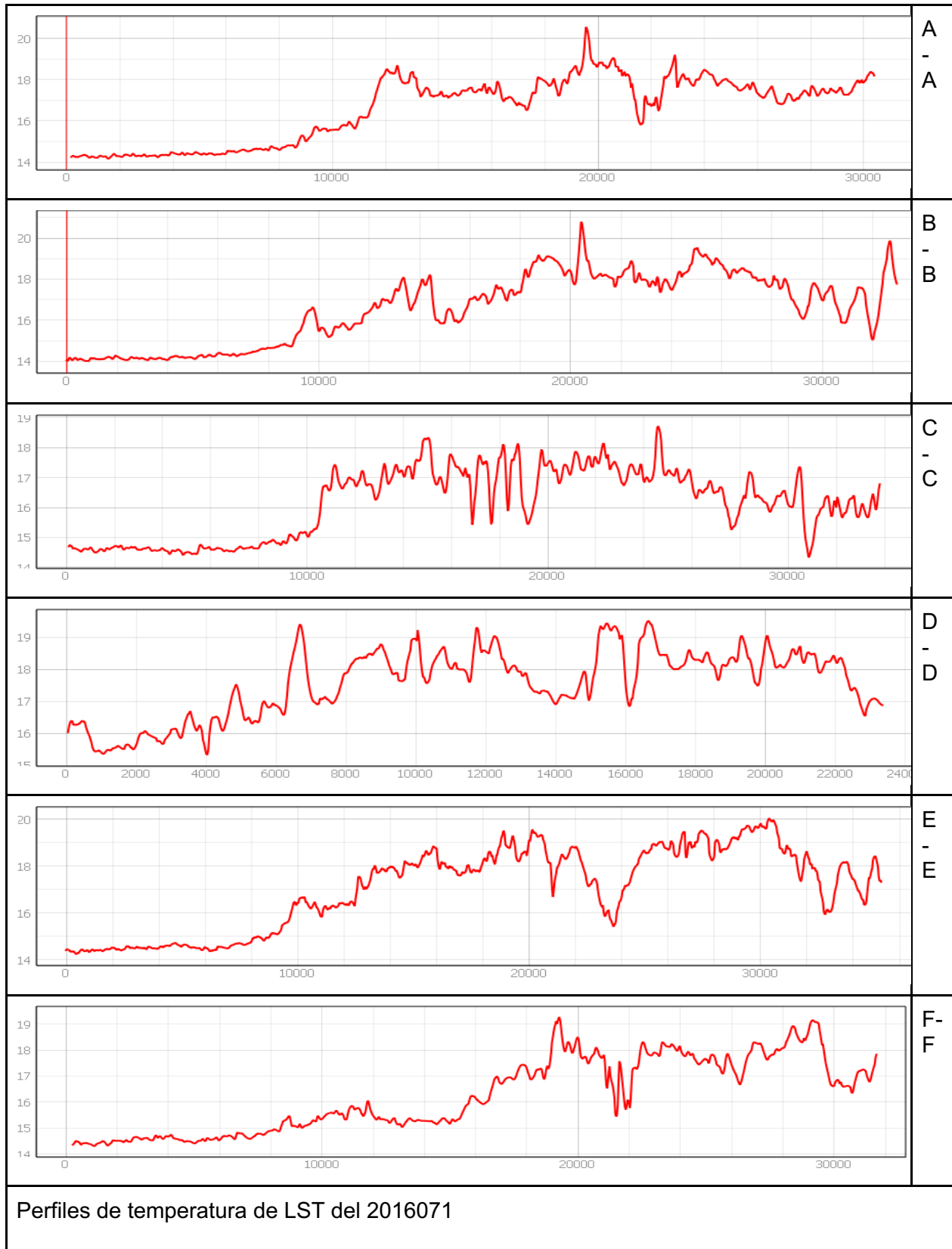
7.7.12 PERFIL DE LST DEL 20160701



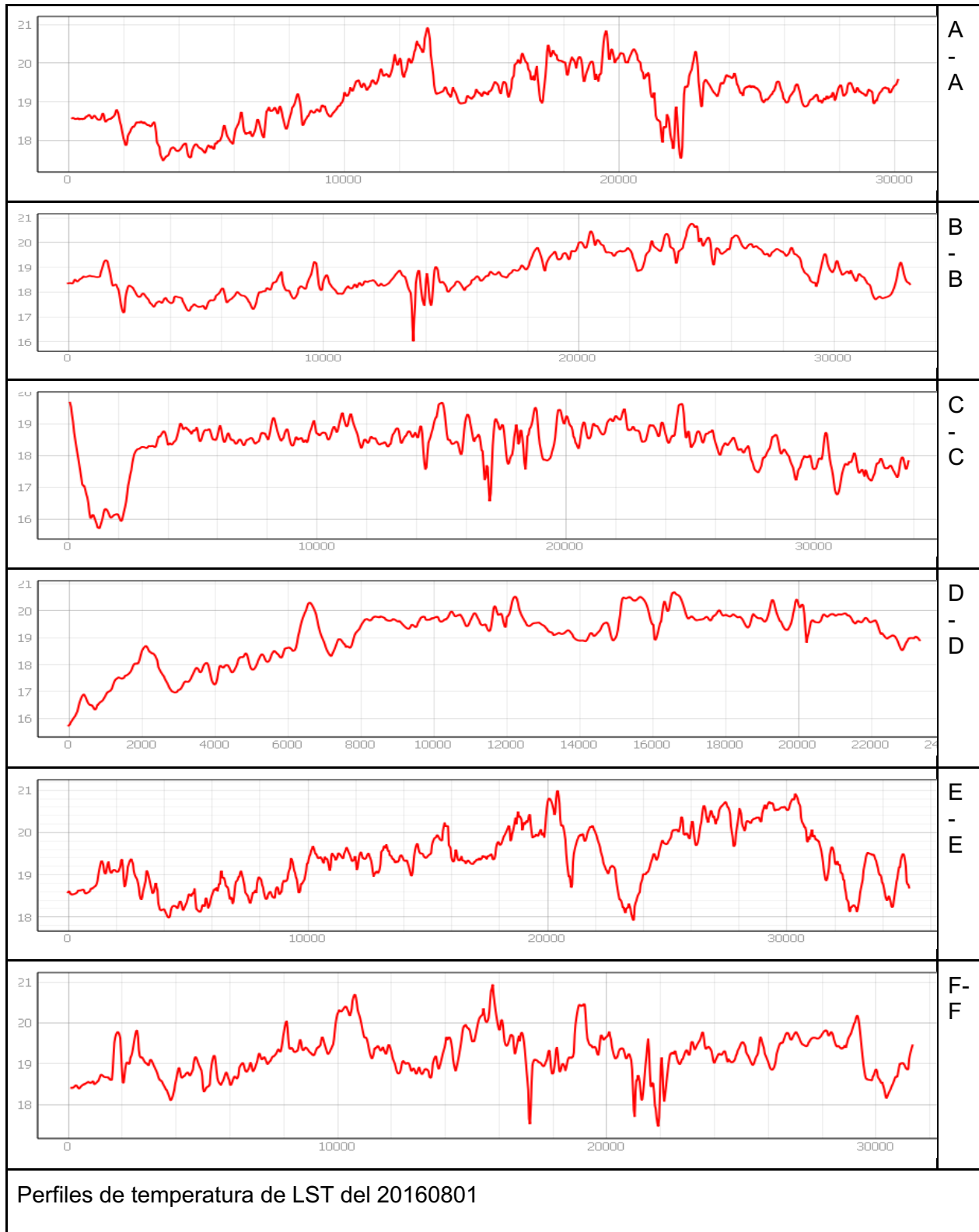
7.7.13 PERFILE DE LST DEL 20160707



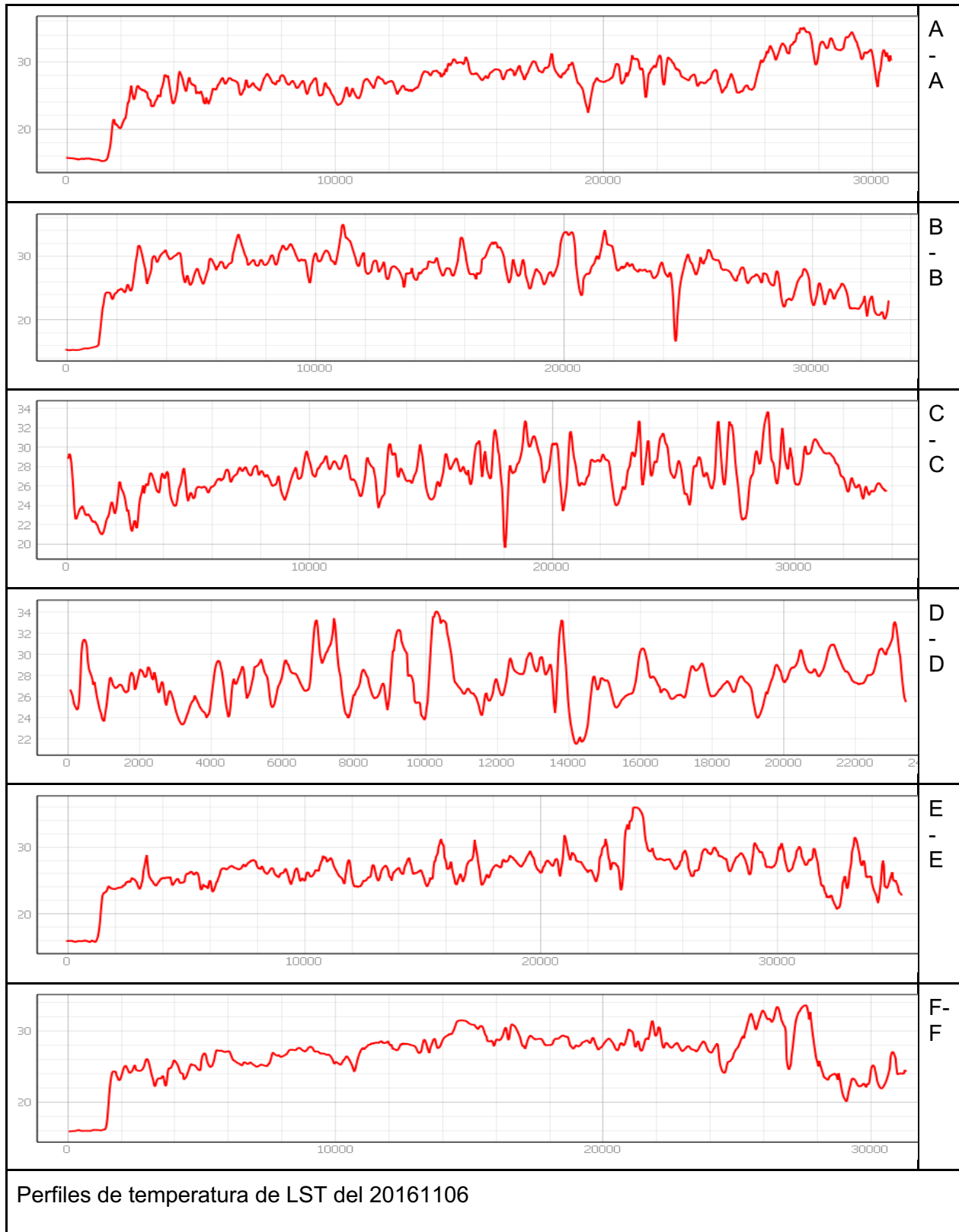
7.7.14 PERFILE DE LST DEL 20160716



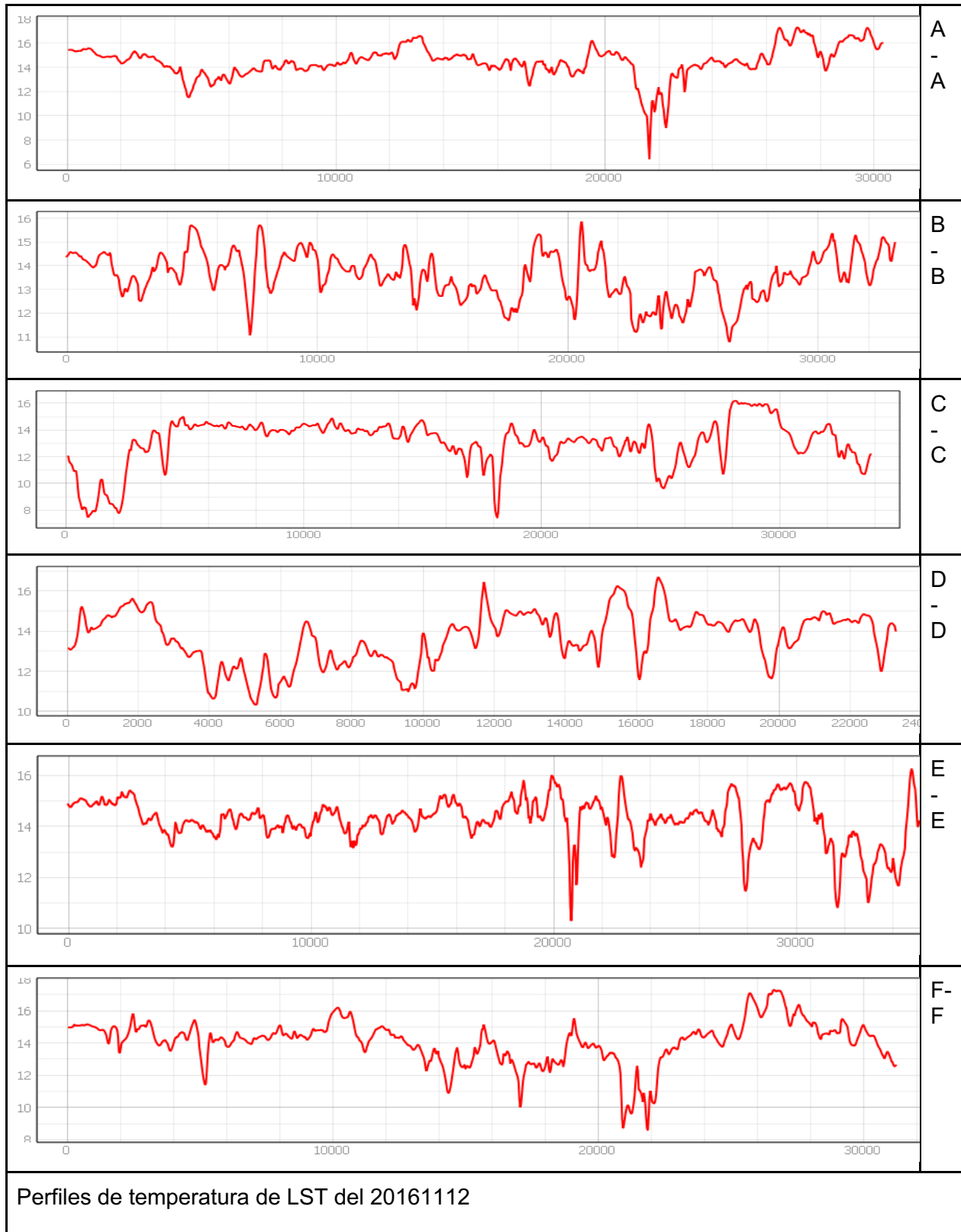
7.7.15 PERFIL DE LST DEL 20160801



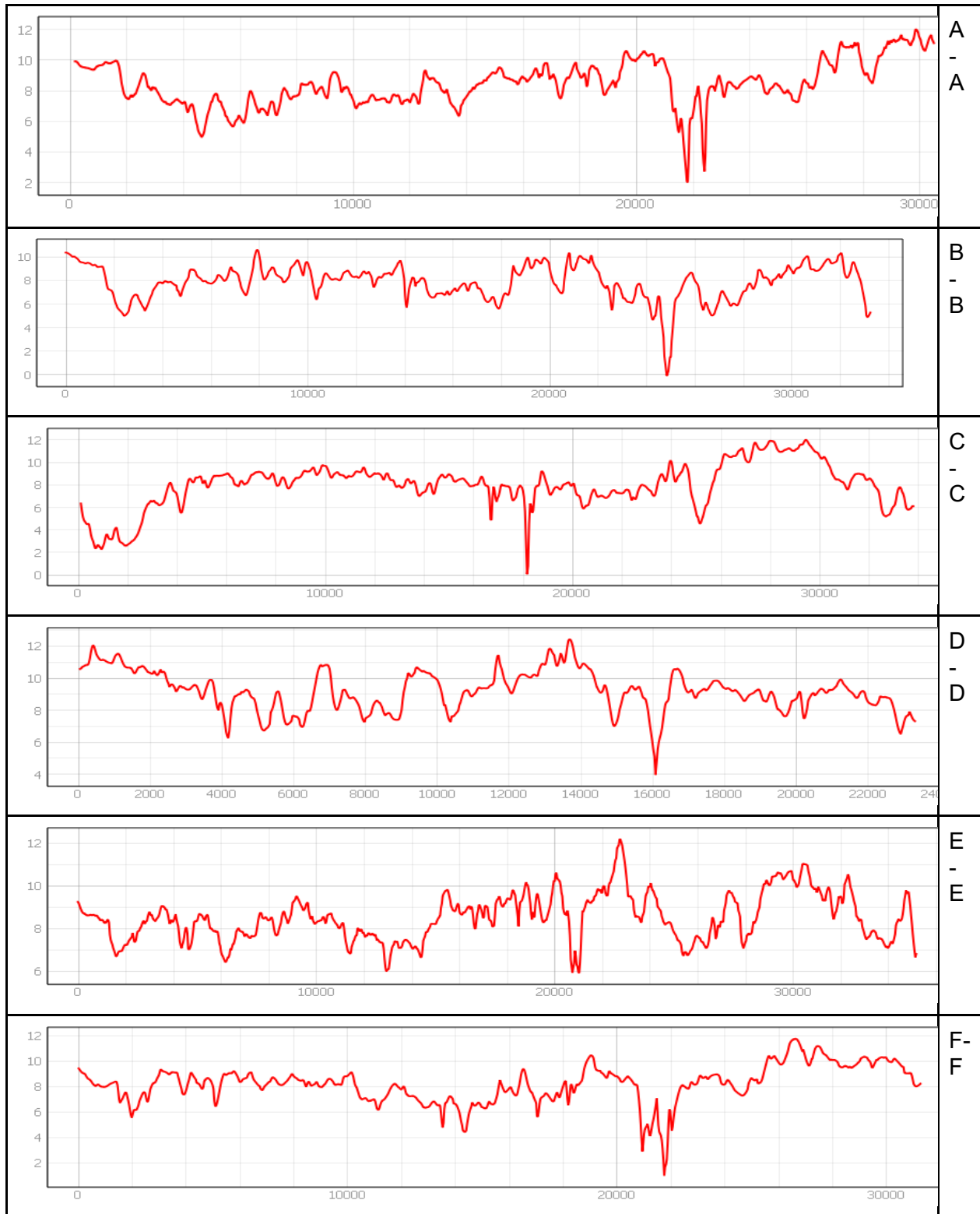
7.7.16 PERFIL DE LST DEL 20161106



7.7.17 PERFILE DE LST DEL 20161112

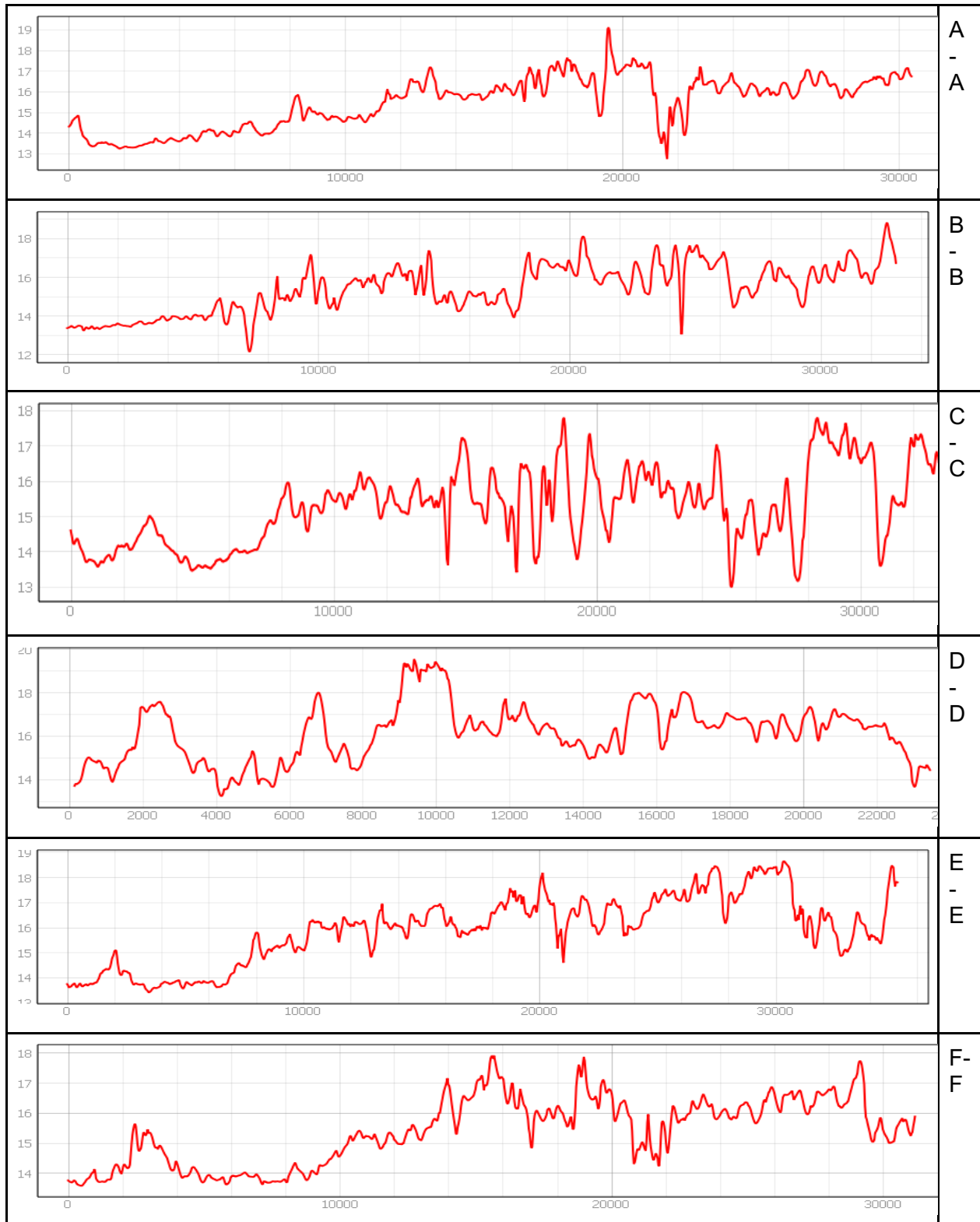


7.7.18 PERFILE DE LST DEL 20170131



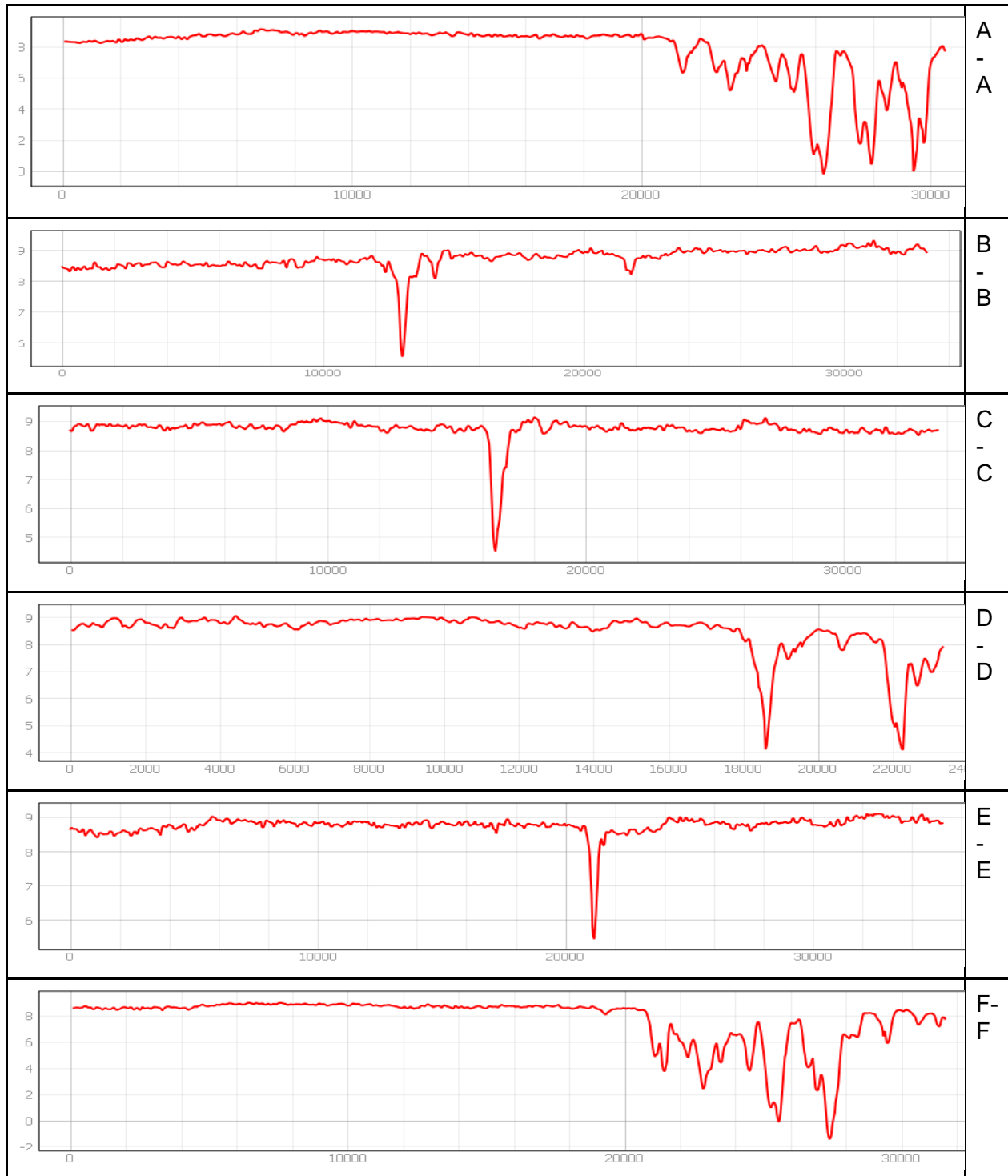
Perfiles de temperatura de LST del 20170131

7.7.19 PERFILE DE LST DEL 20170523



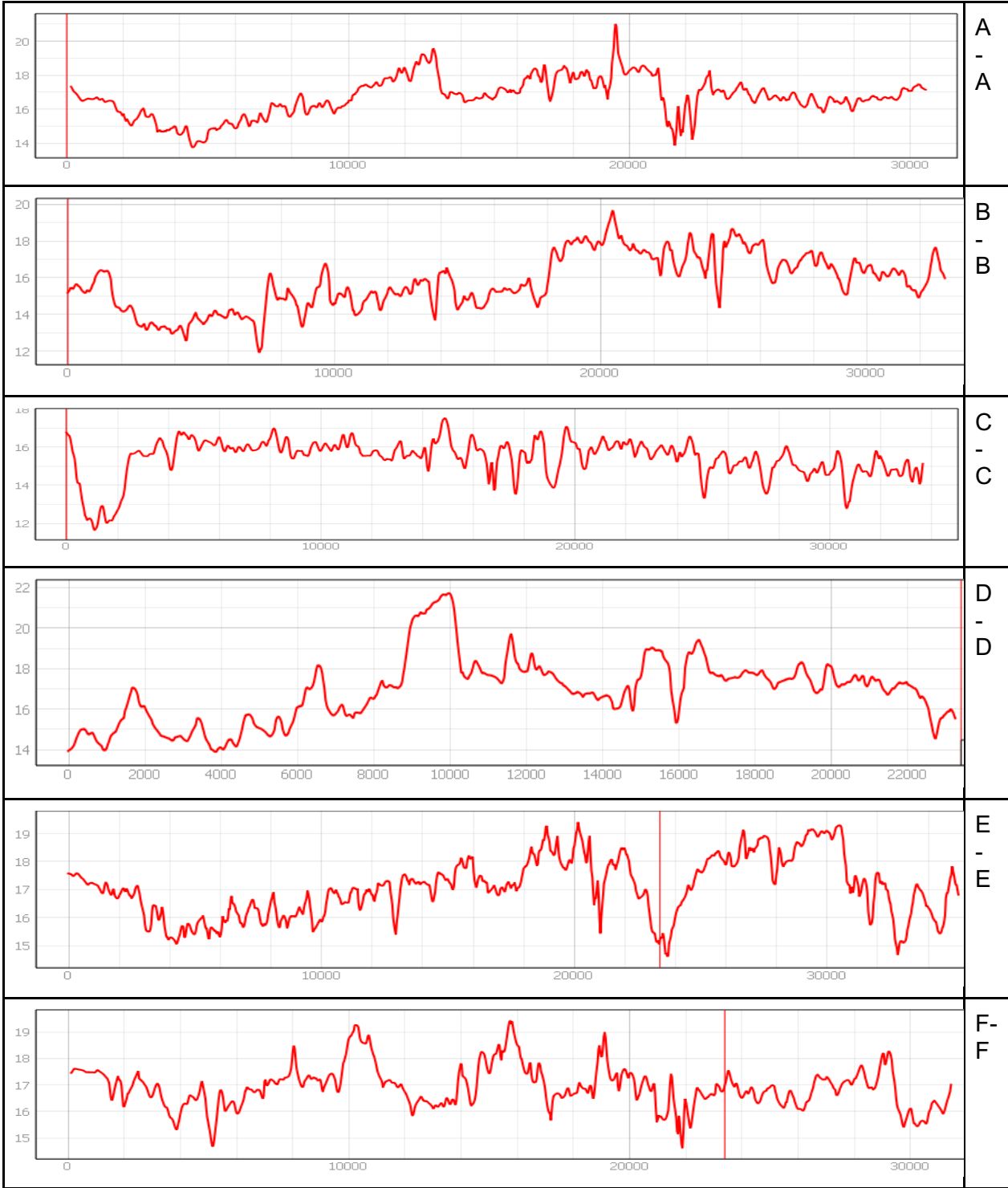
Perfiles de temperatura de LST del 20170523

7.7.20 PERFILE DE LST DEL 20170601



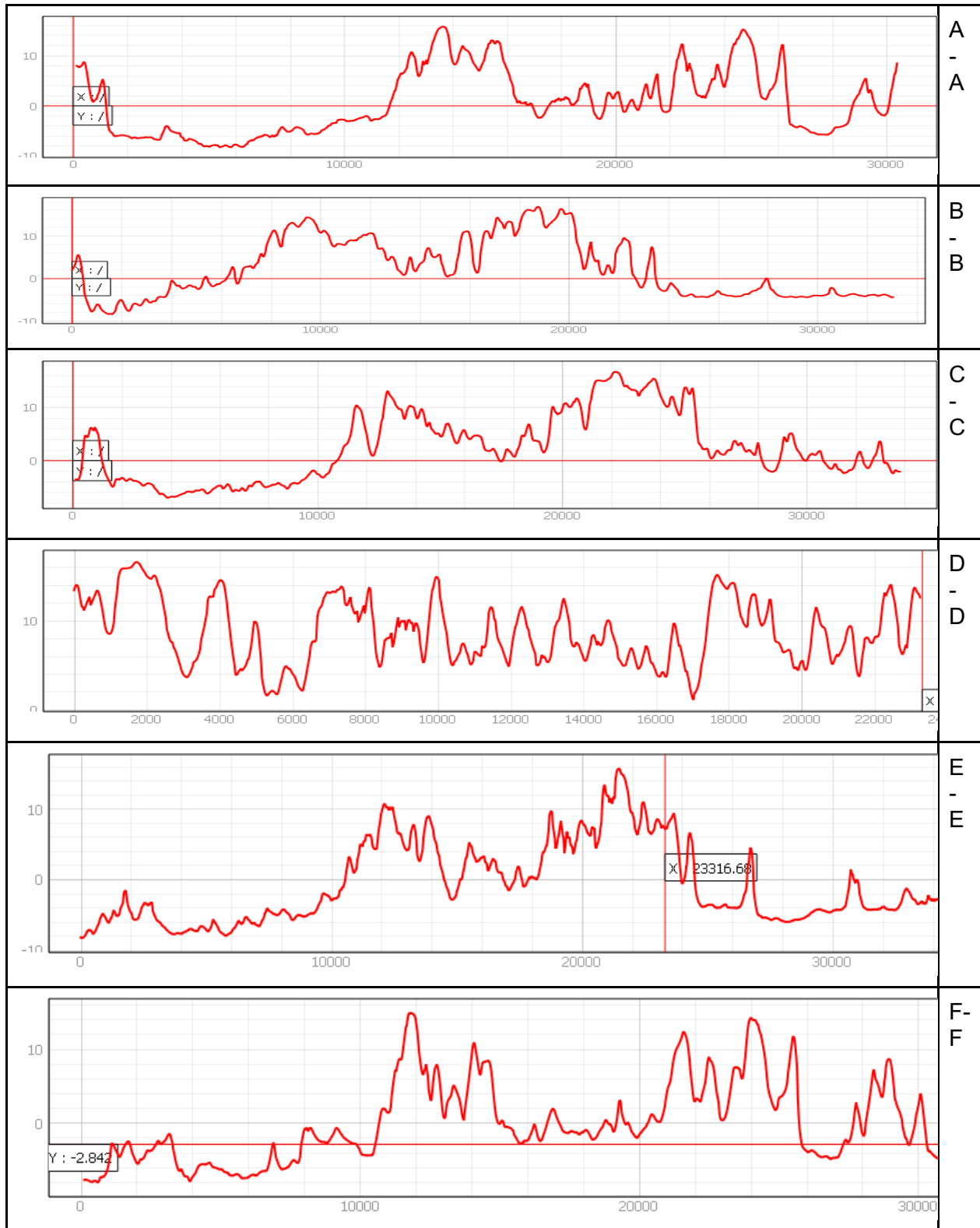
Perfiles de temperatura de LST del 20170601

7.7.21 PERFIL DE LST DEL 20170703



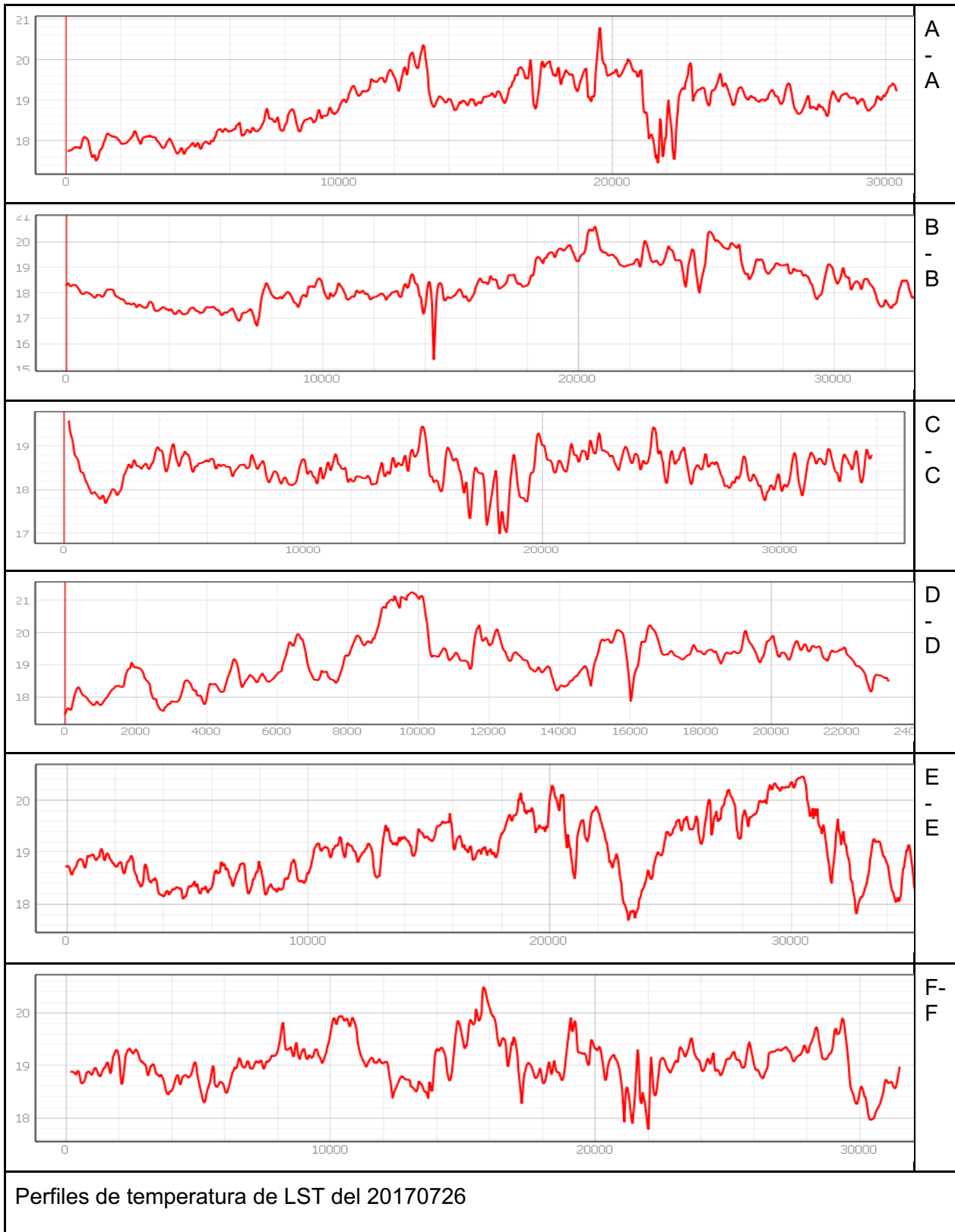
Perfiles de temperatura de LST del 20170703

7.7.22 PERFIL DE LST DEL 20170719

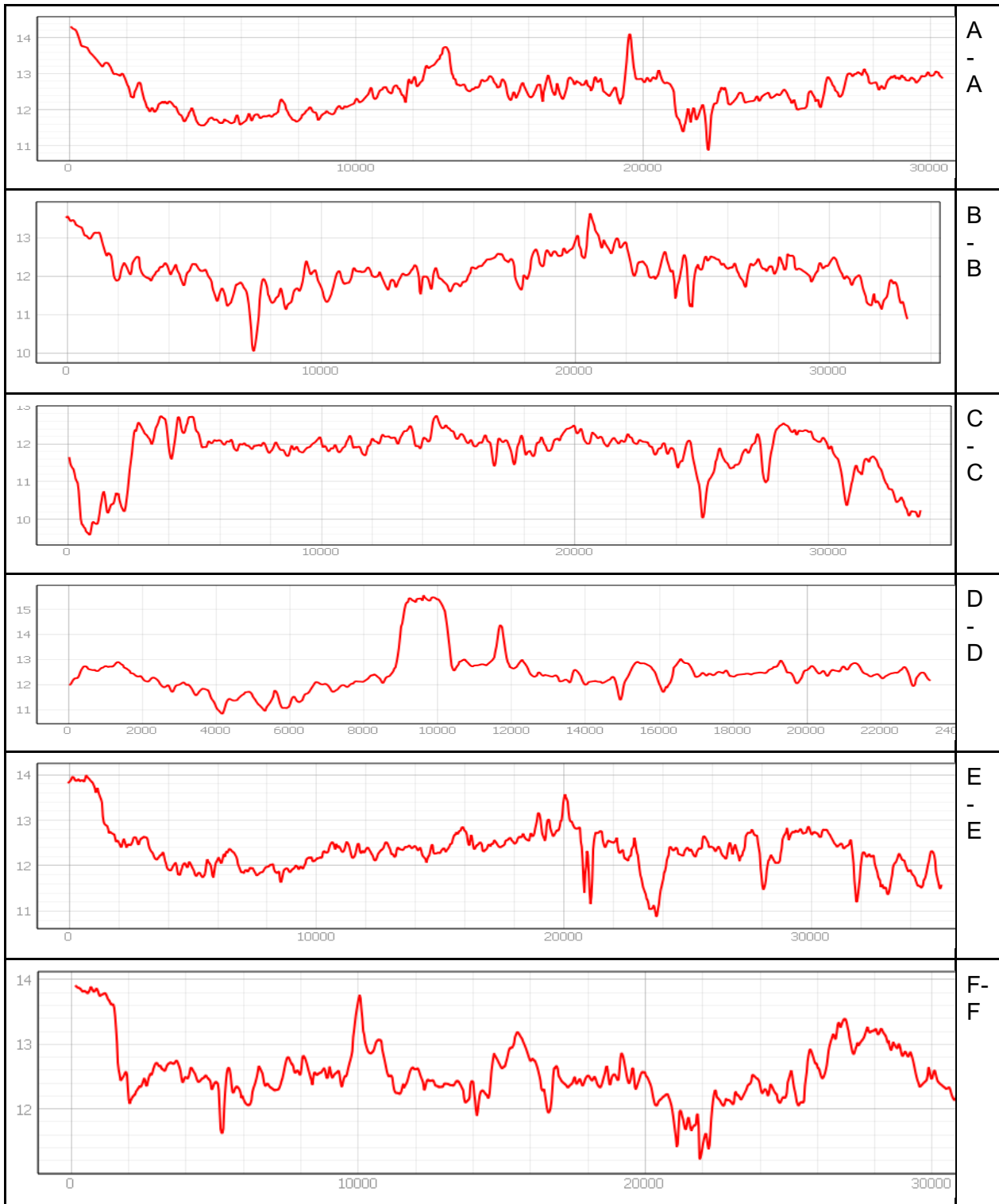


Perfiles de temperatura de LST del 20170719

7.7.23 PERFIL DE LST DEL 20170726.

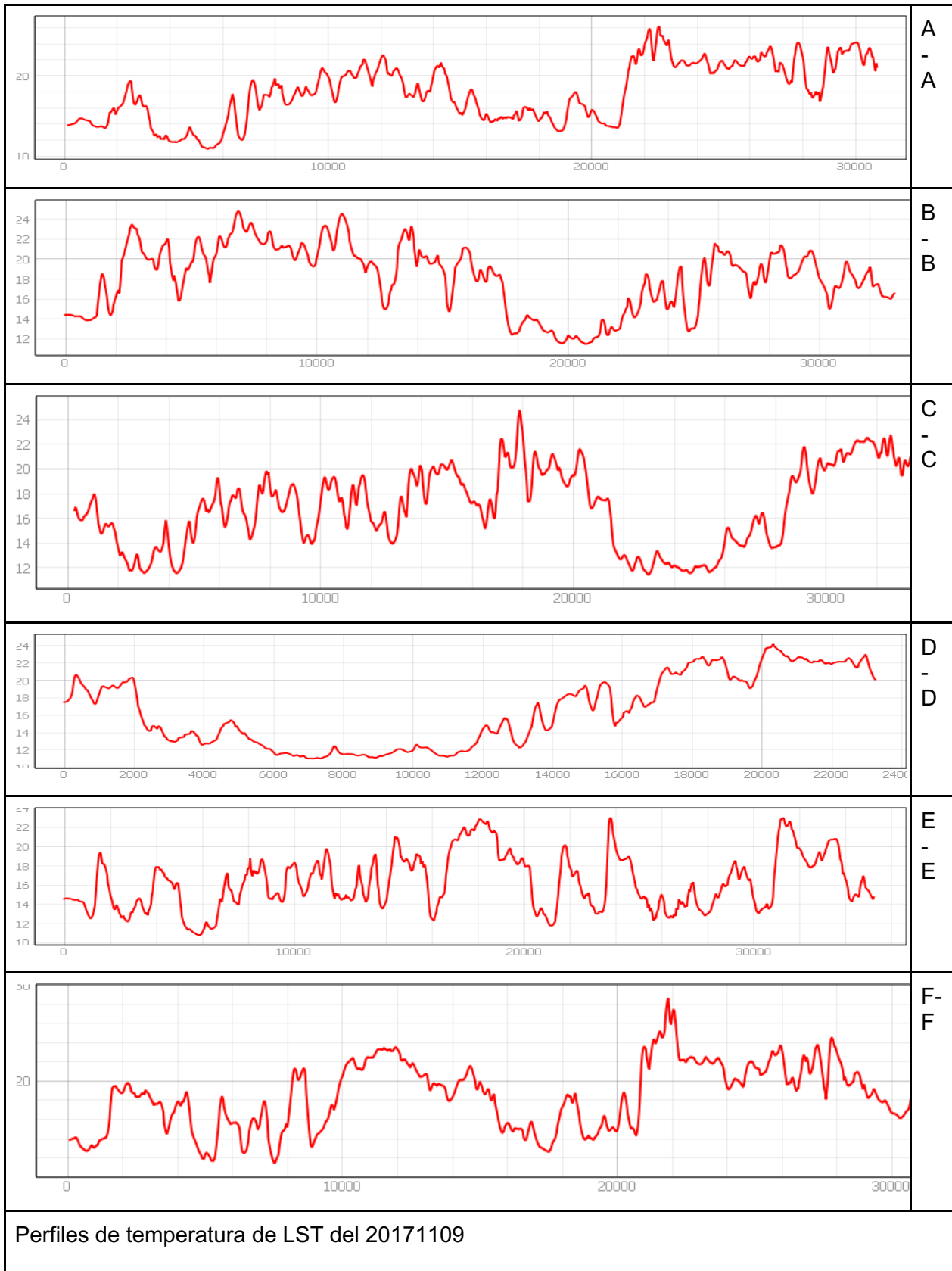


7.7.24 PERFILE DE LST DEL 20171108

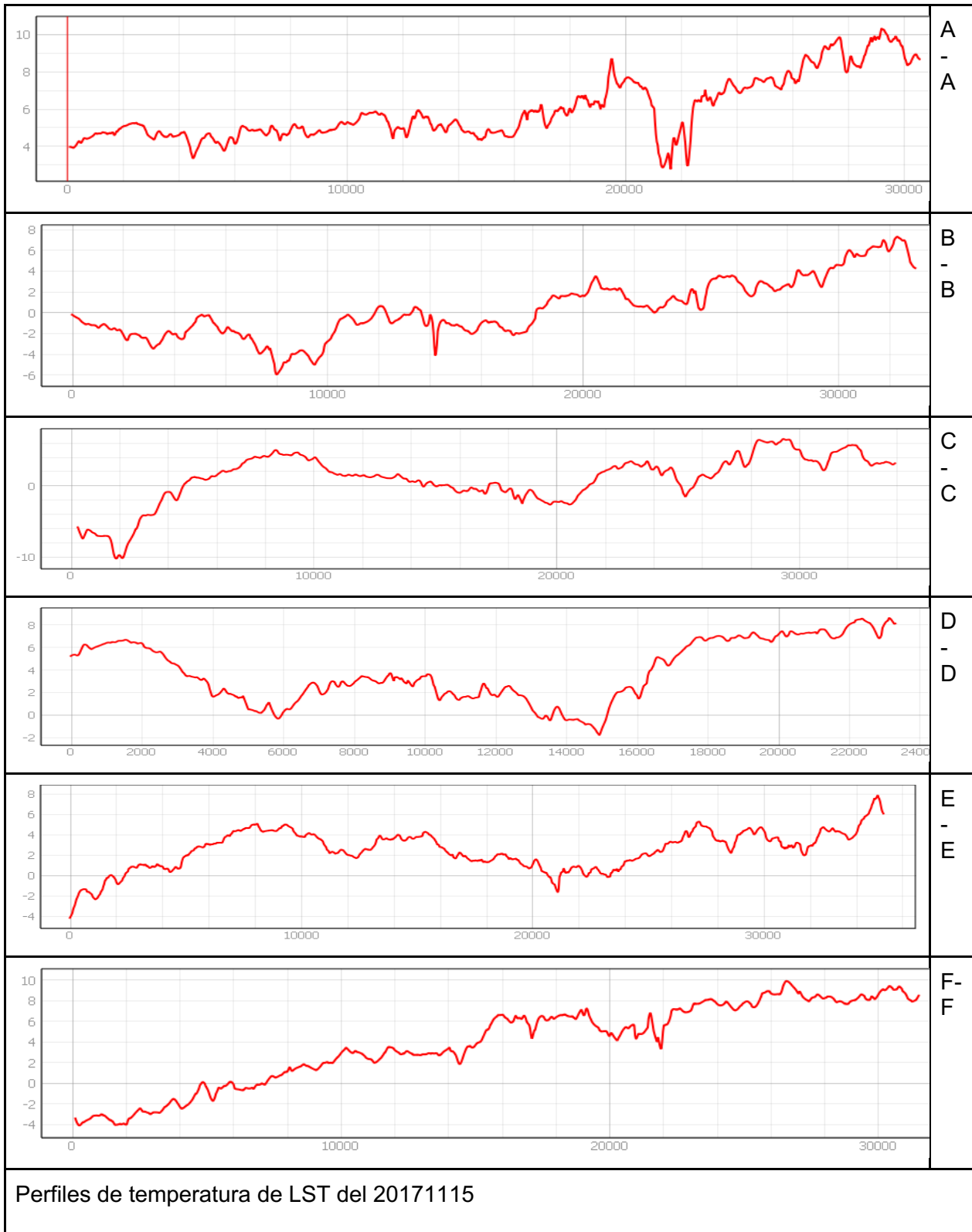


Perfiles de temperatura de LST del 20171108

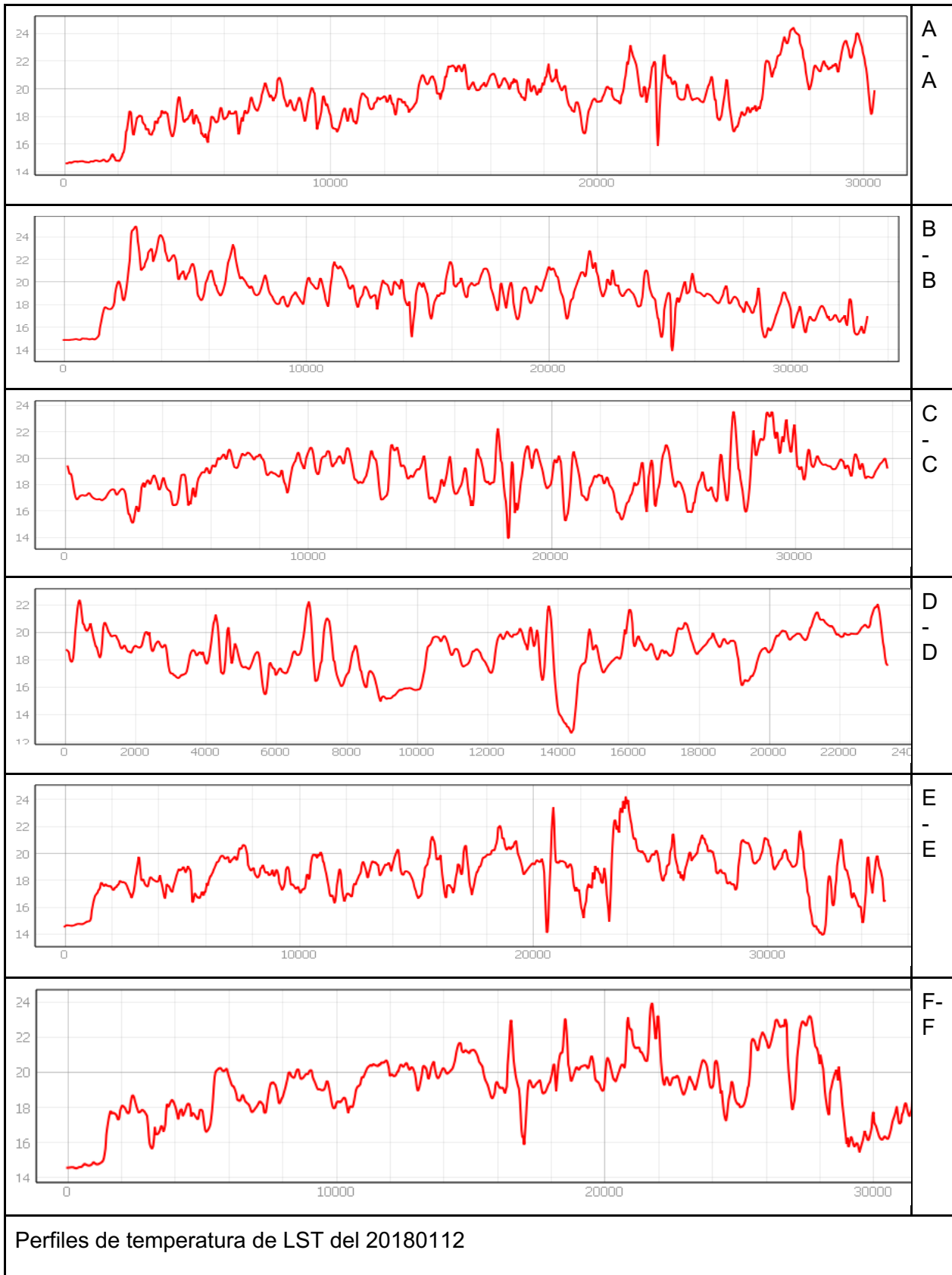
7.7.25 PERFILE DE LST DEL 20171109



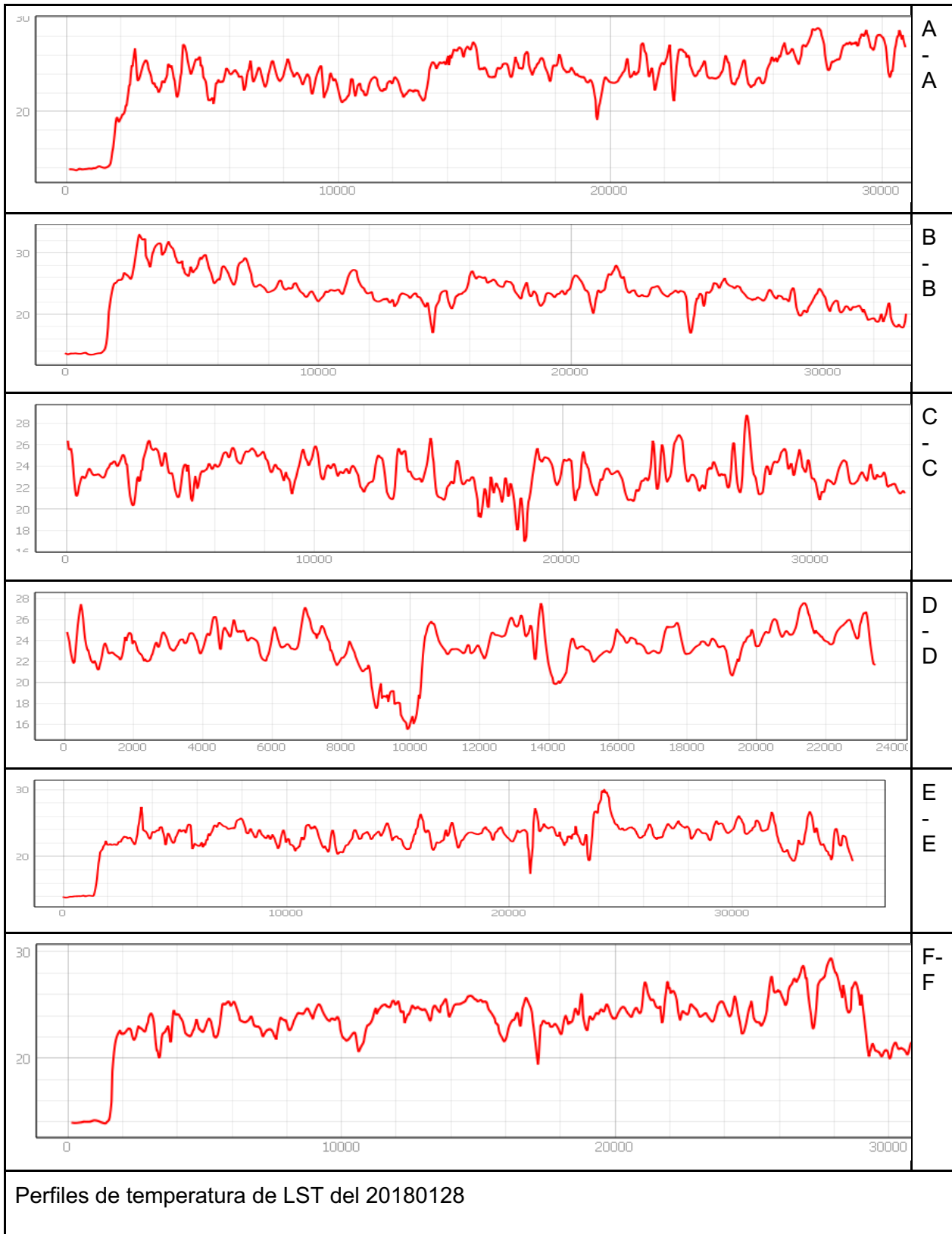
7.7.26 PERFILE DE LST DEL 20171115



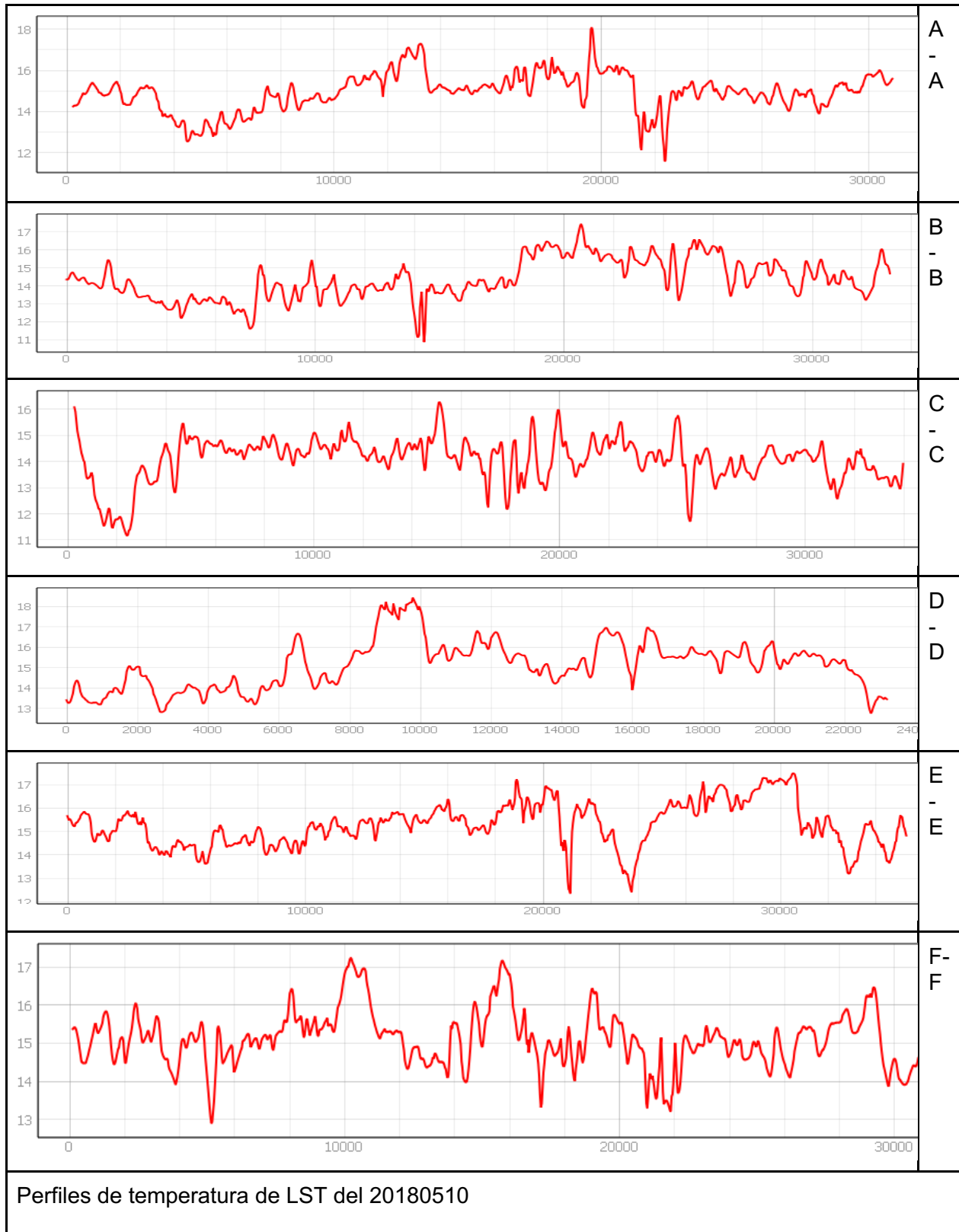
7.7.27 PERFIL DE LST DEL 20180112



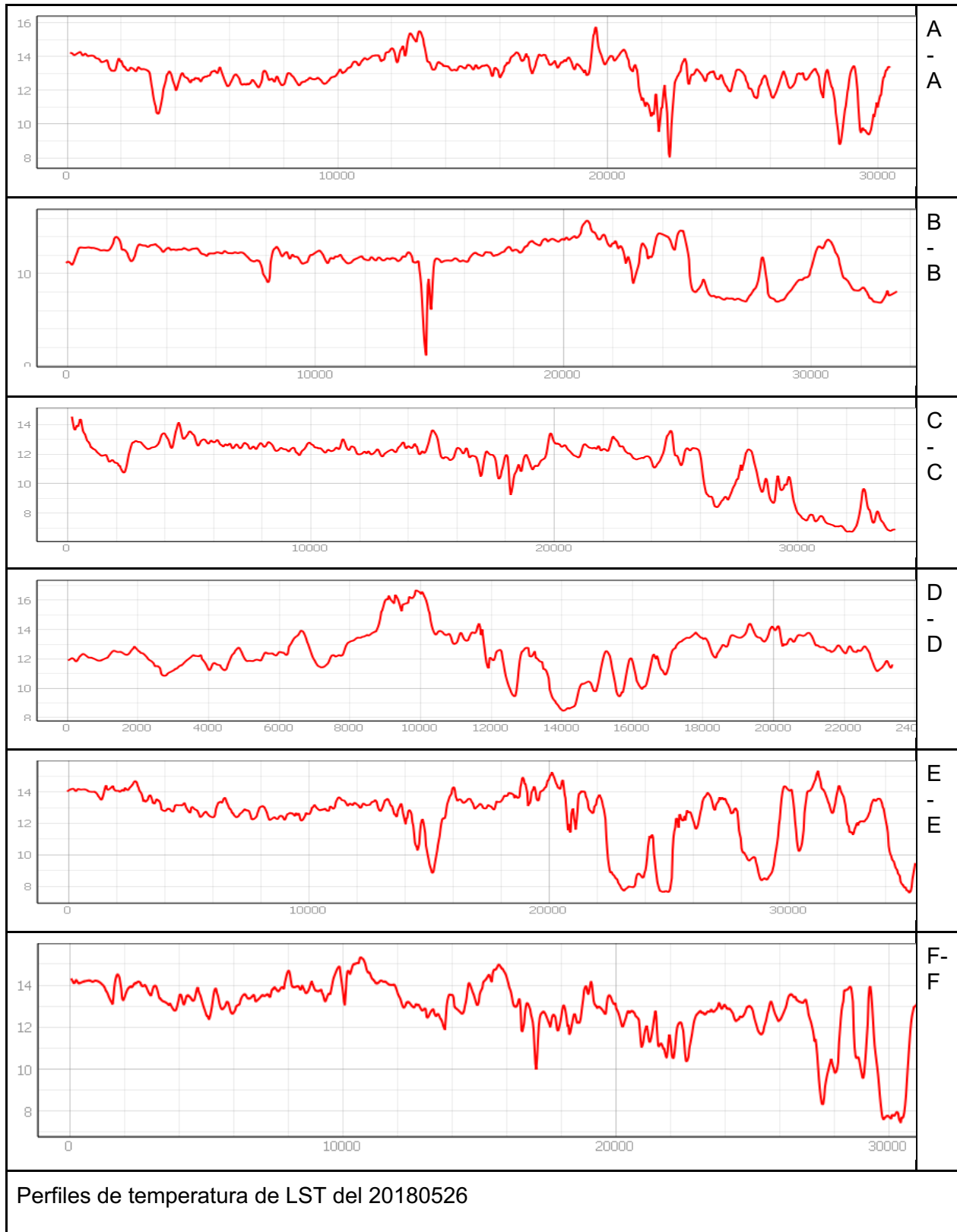
7.7.28 PERFILE DE LST DEL 20180128



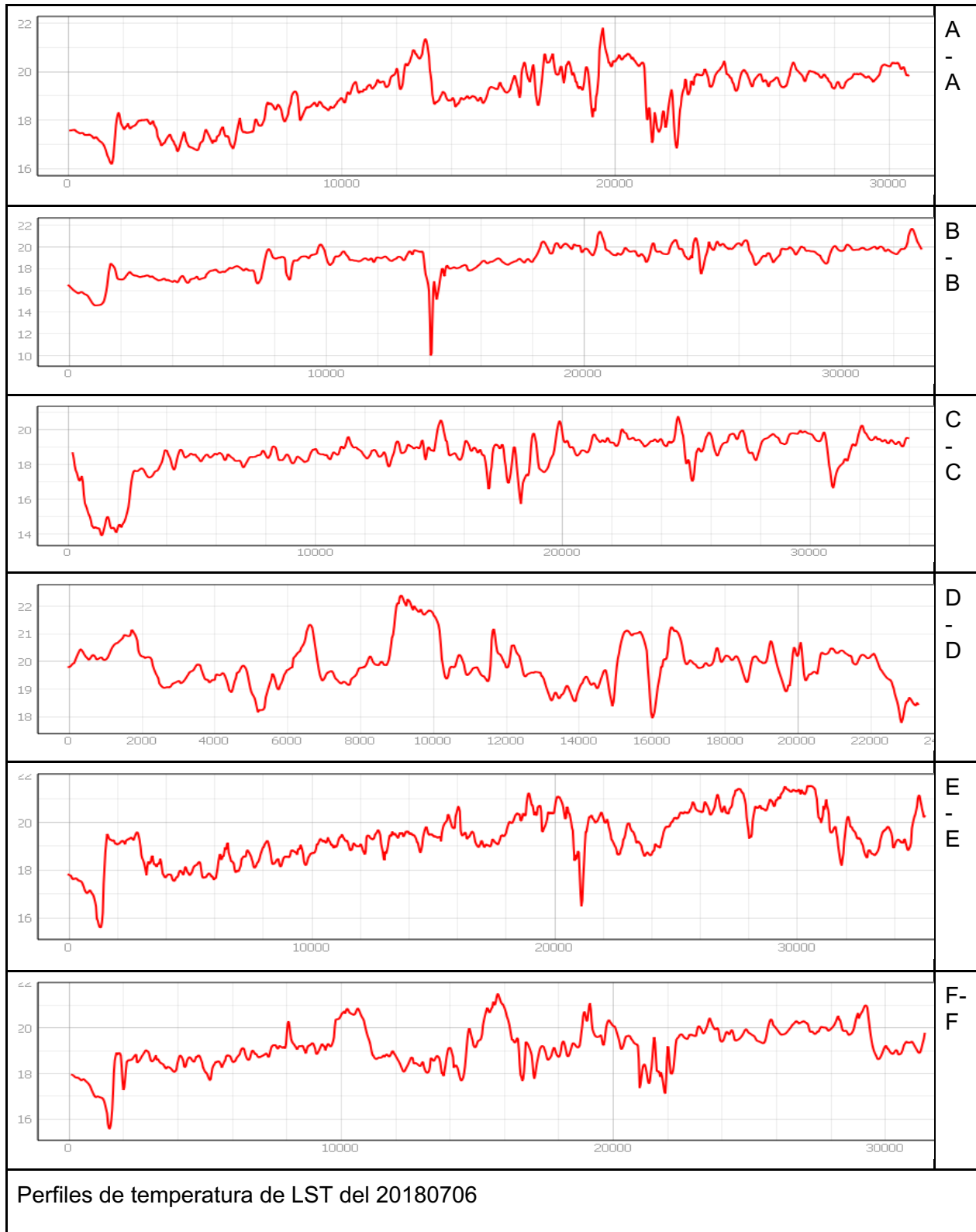
7.7.29 PERFILE DE LST DEL 20180510



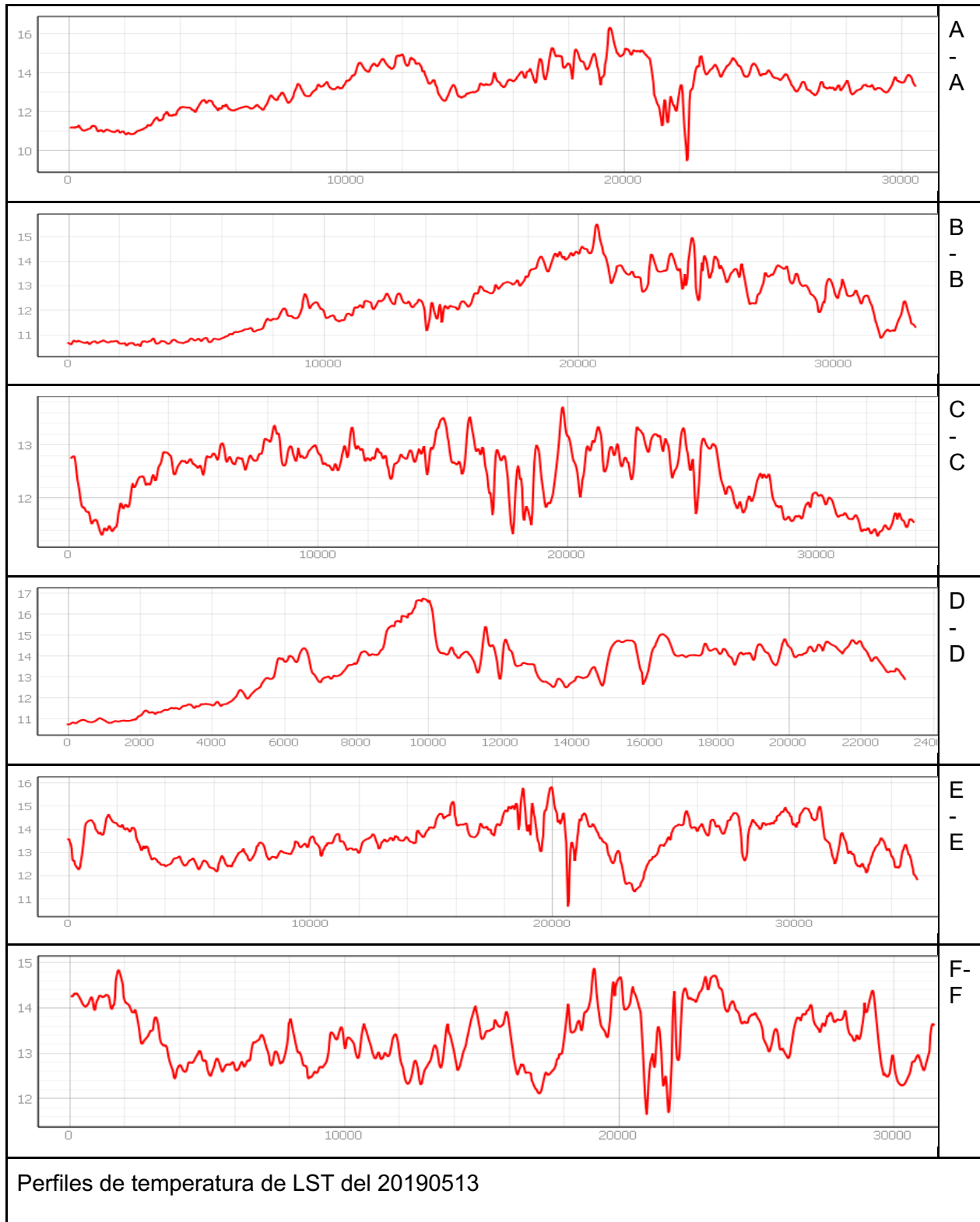
7.7.30 PERFILE DE LST DEL 20180526



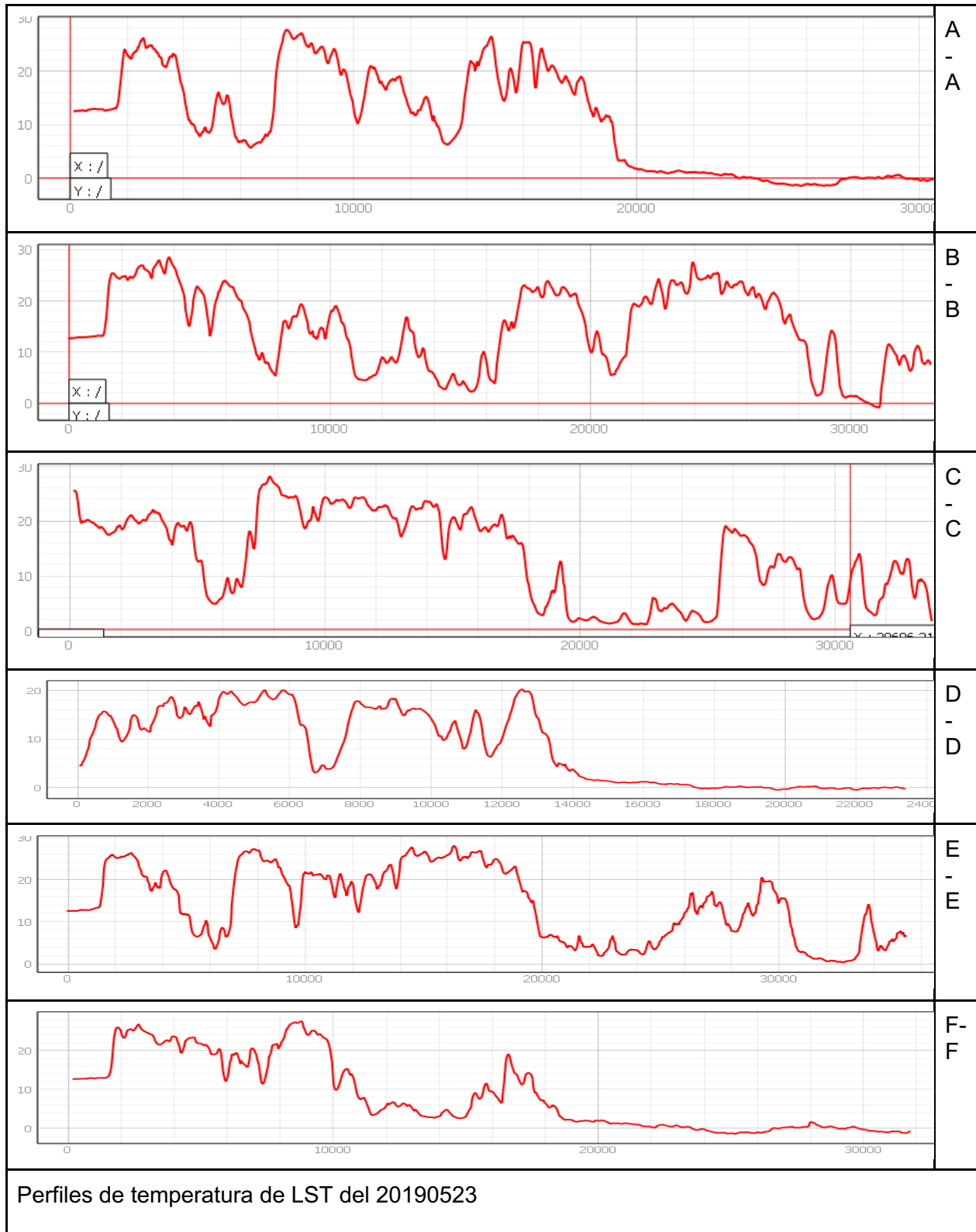
7.7.31 PERFIL DE LST DEL 20180706



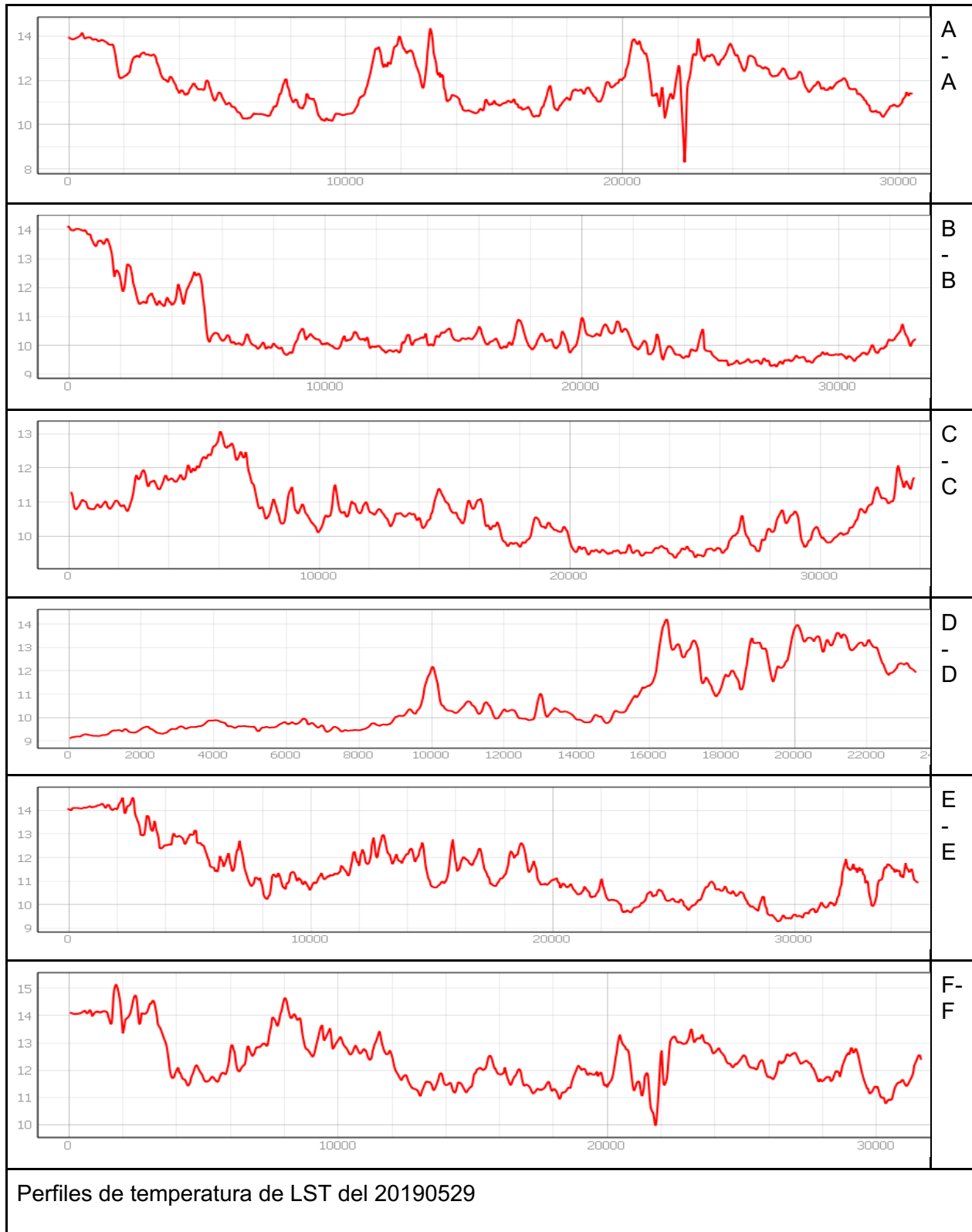
7.7.32 PERFILE DE LST DEL 20190513



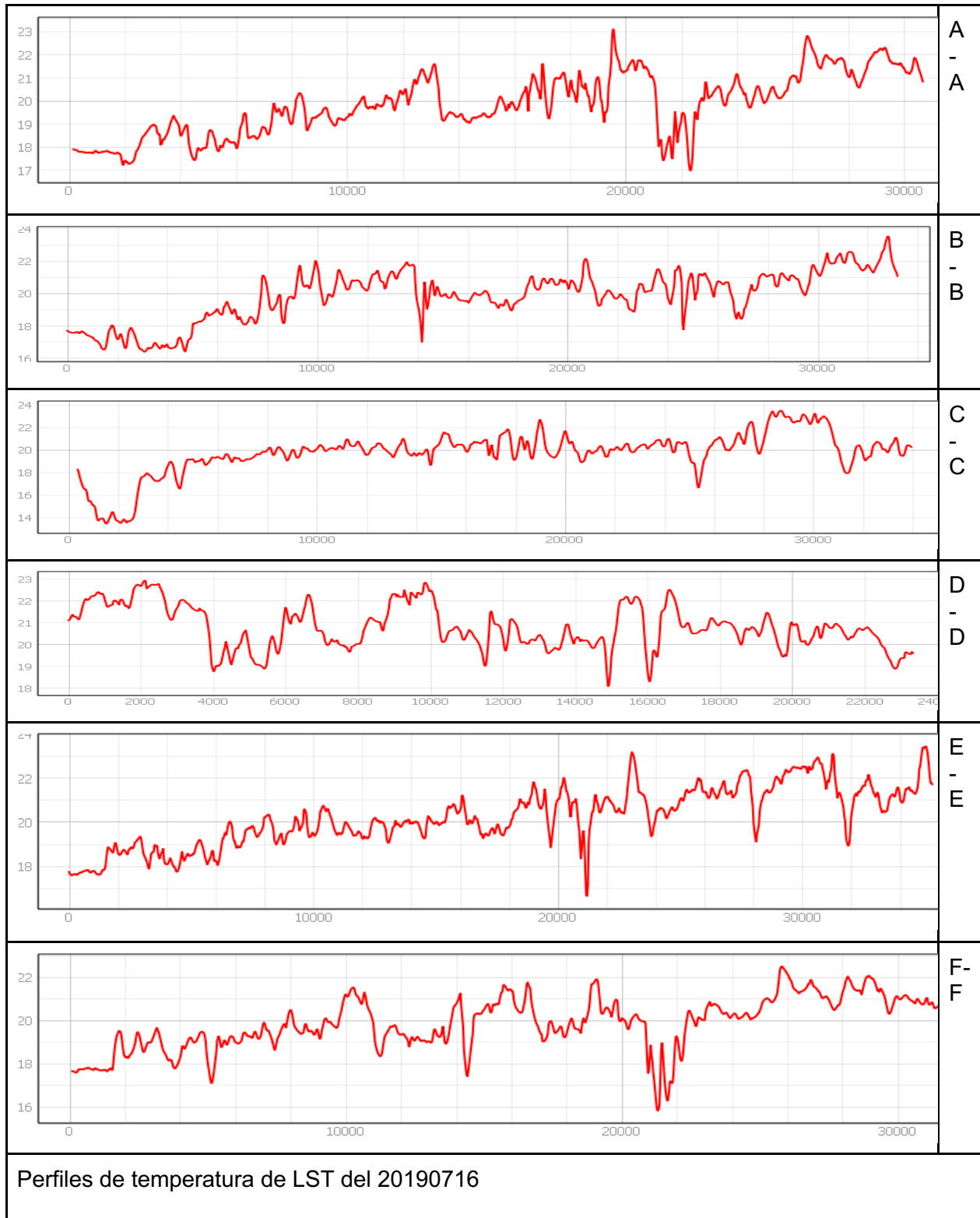
7.7.33 PERFIL DE LST DEL 20190523



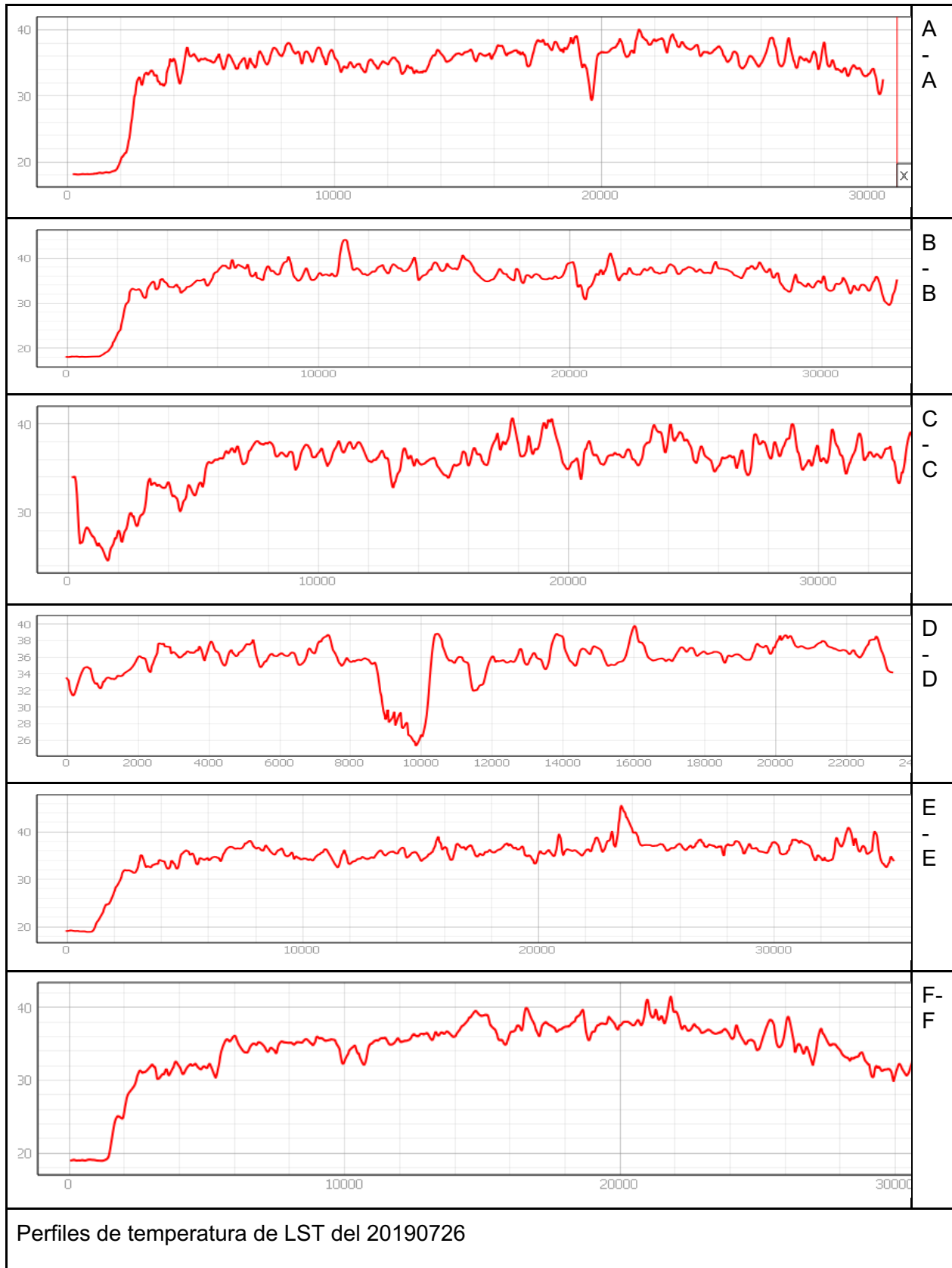
7.7.34 PERFIL DE LST DEL 20190529



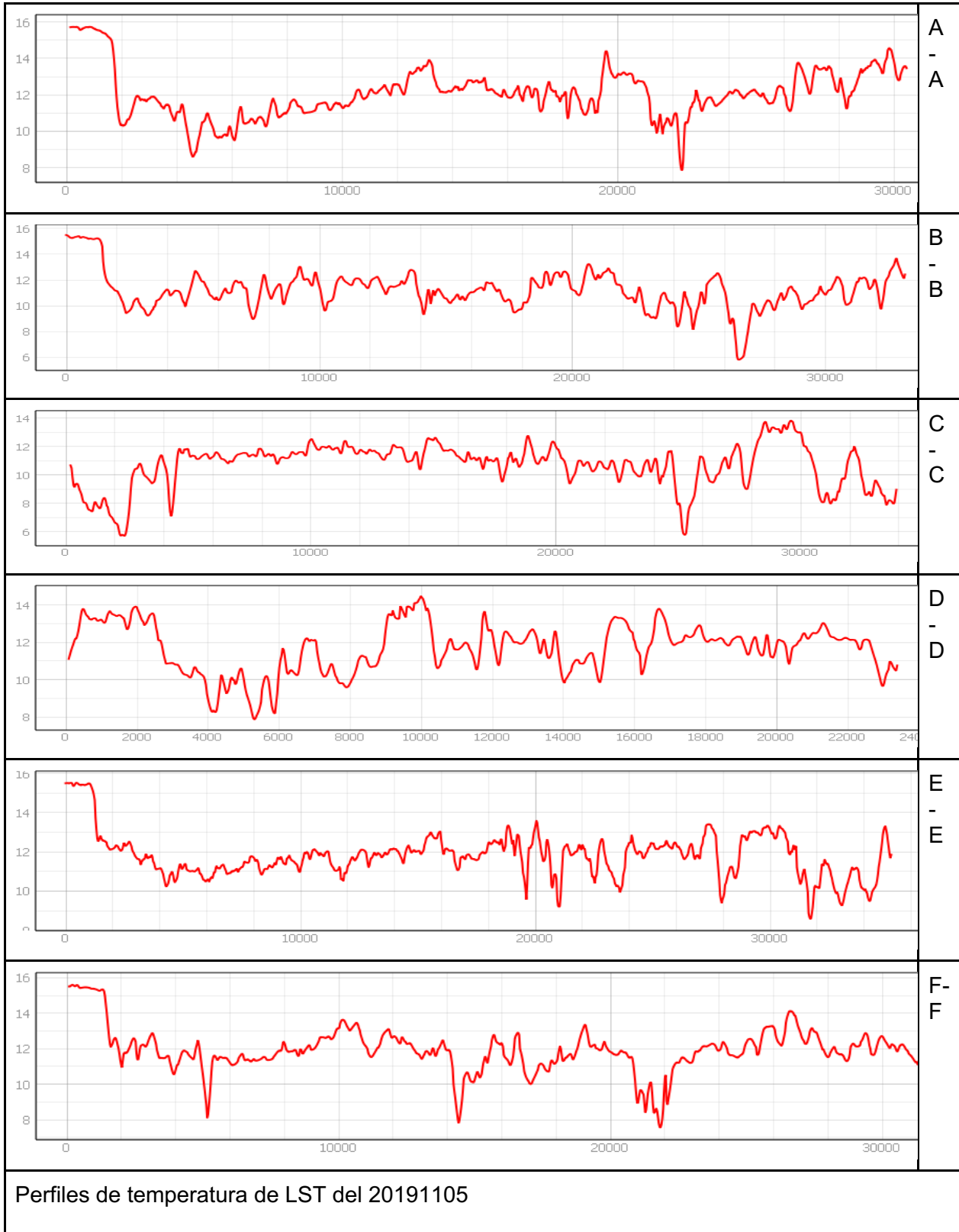
7.7.35 PERFILE DE LST DEL 20190716



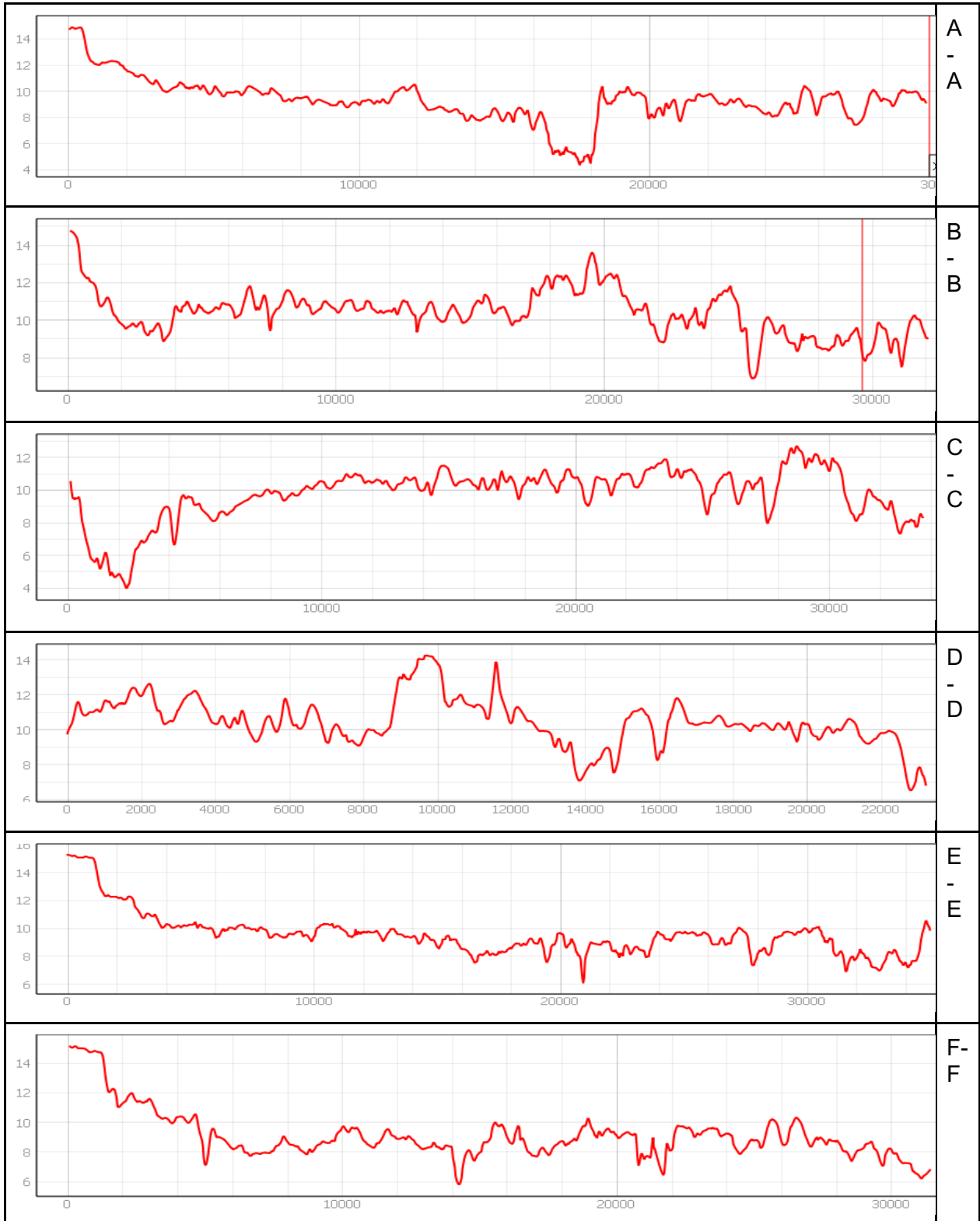
7.7.36 PERFIL DE LST DEL 20190726



7.7.37 PERFILE DE LST DEL 20151119

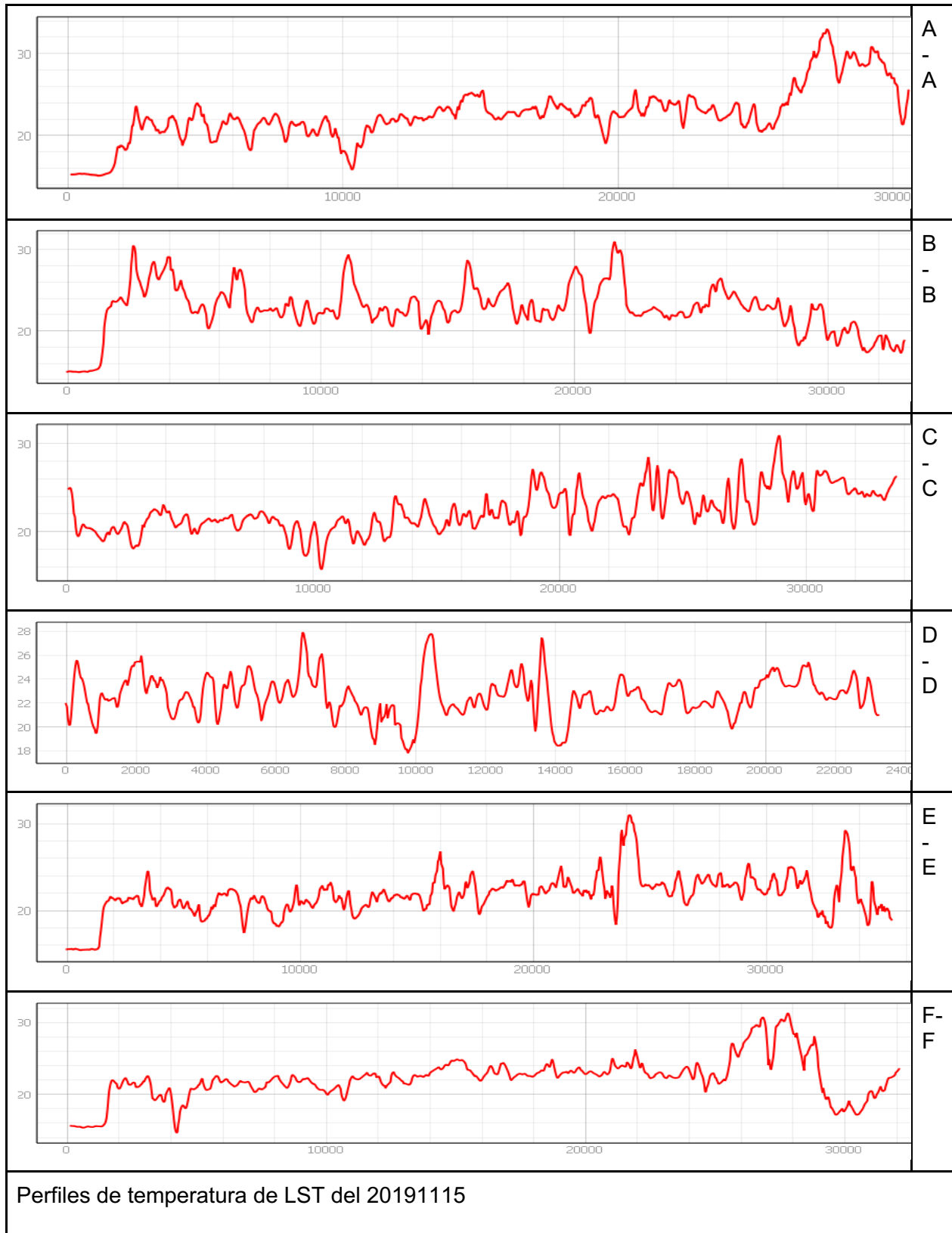


7.7.38 PERFILE DE LST DEL 20191114



Perfiles de temperatura de LST del 20191114

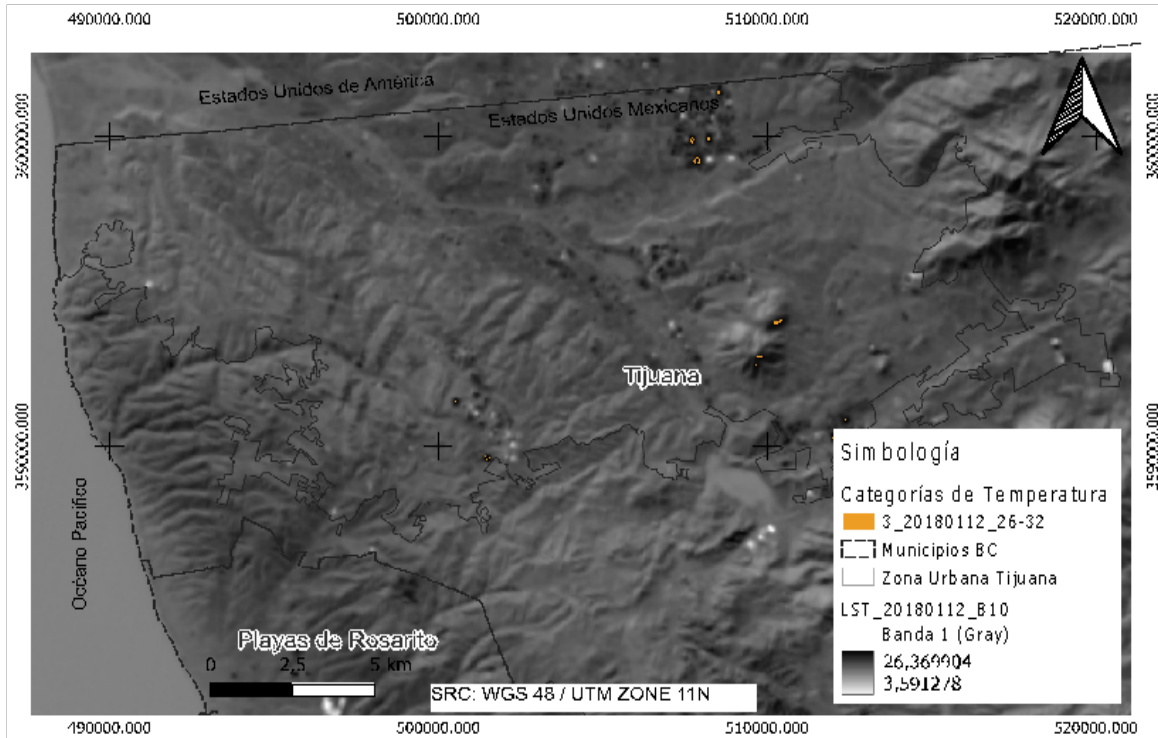
7.7.39 PERFIL DE LST DEL 20191115



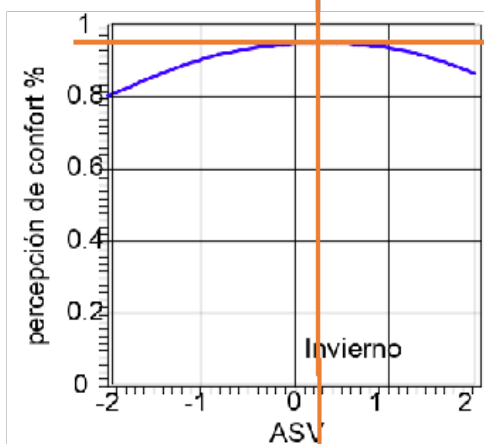
7.8 CARACTERIZACIÓN DE LA ICU Y POBLACIÓN AFECTADA EN SU LOCALIZACIÓN.

7.8.1 CARACTERIZACIÓN DE LA ICU Y POBLACIÓN AFECTADA DEL 20180112

Año: 2018 20180112
Mes: Enero Invierno



Población total del polígono: **120 hab.**



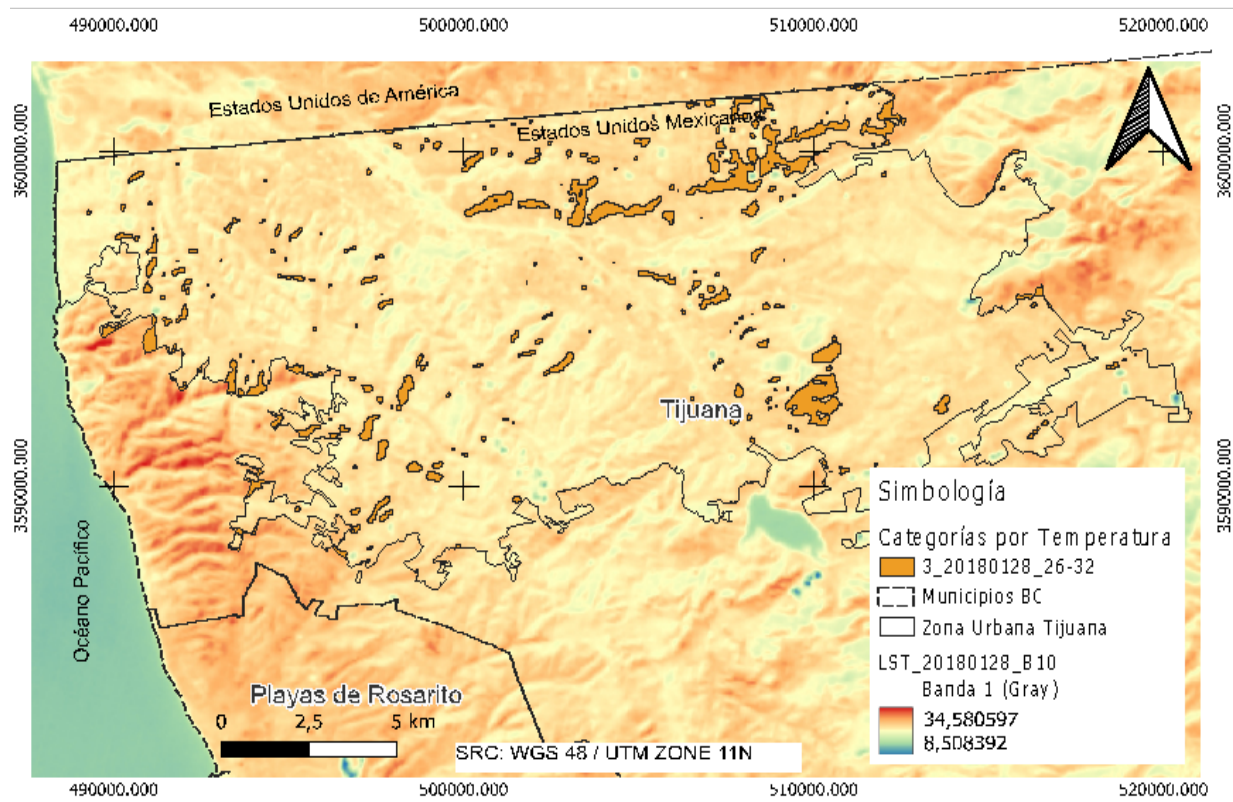
Categoría de estrés térmico: **3**
Rango de temperatura: **26.10°C a 26.36°C**

ASV: **0.2682**
% de pob. en confort: **97%**
% de pob. en incomodidad térmica: **3%**
Población riesgo: **4 hab.**

7.8.2 CARACTERIZACIÓN DE LA ICU Y POBLACIÓN AFECTADA DEL 20180128

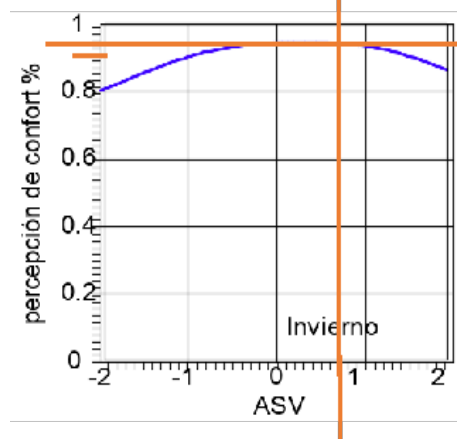
Año: 2018 20180128

Mes: Enero Invierno



Población total del polígono:

55,322 hab.



Categoría de estrés térmico:
Rango de temperatura:

3 y 4

26.10°C a 34.58°C

ASV:

0.4003

% de pob. en confort:

96%

% de pob. en incomodidad térmica:

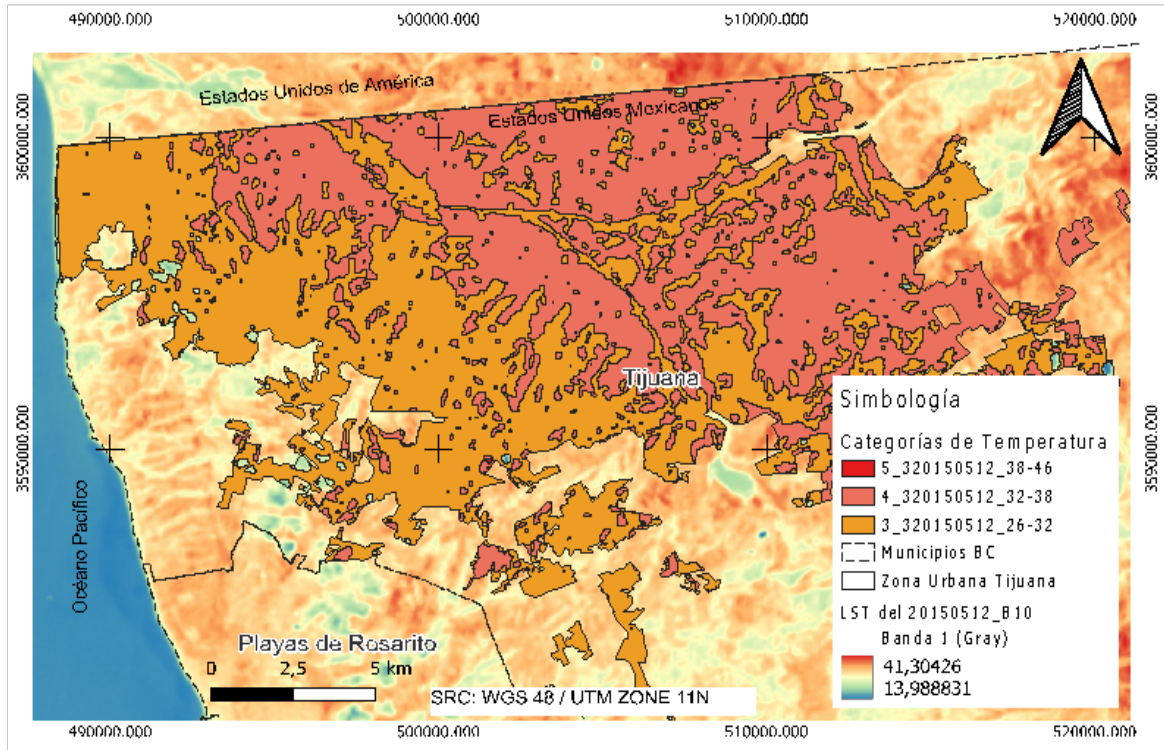
4%

Población riesgo:

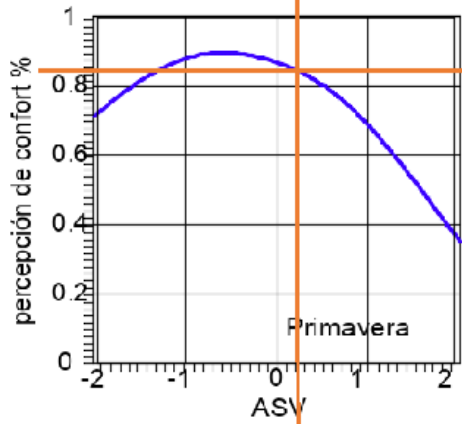
2,213 hab.

7.8.3 CARACTERIZACIÓN DE LA ICU Y POBLACIÓN AFECTADA DEL 20150512

Año: 2016 20150512
 Mes: Mayo Primavera



Población total del polígono: **1,627,129 hab.**



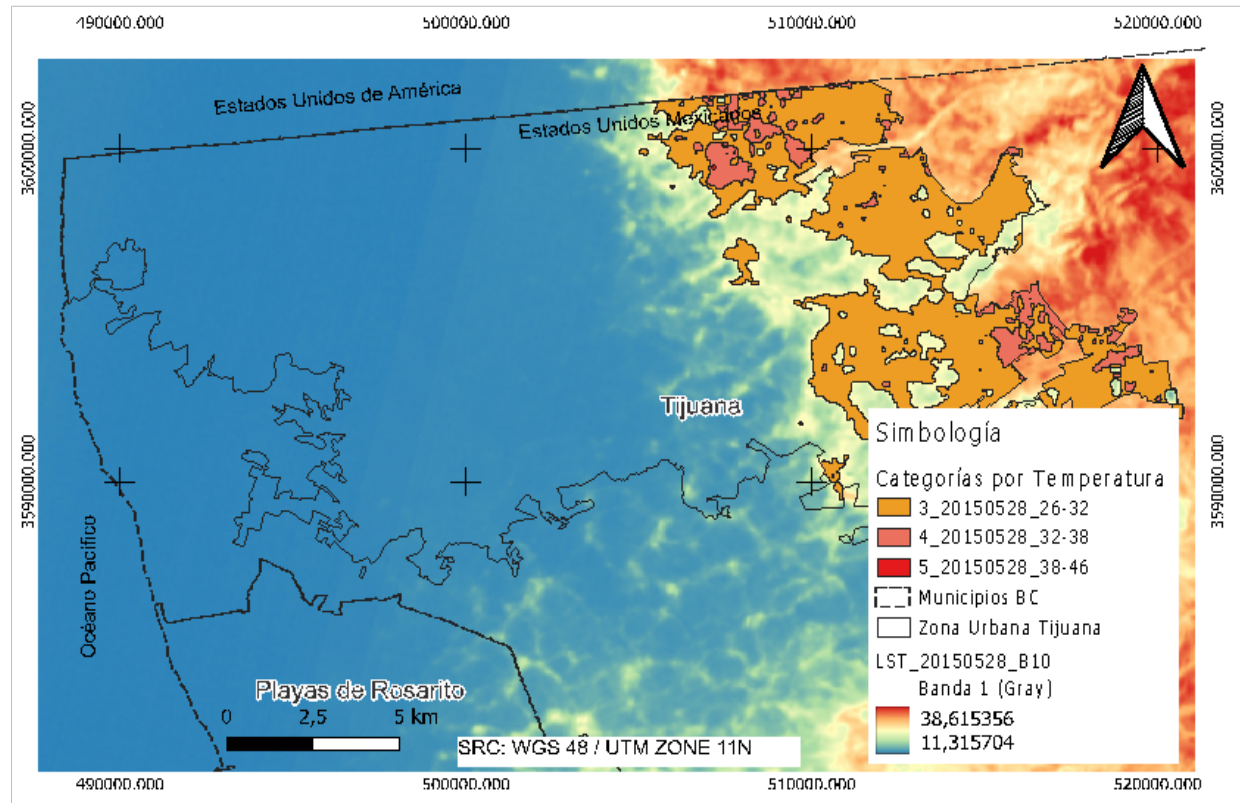
Categoría de estrés térmico: **3, 4 y 5**
 Rango de temperatura: **26.10°C a 41.30°C**

ASV: **0.2071**
 % de pob. en confort: **82.00%**
 % de pob. en incomodidad térmica: **18%**
 Población riesgo: **292,883 hab.**

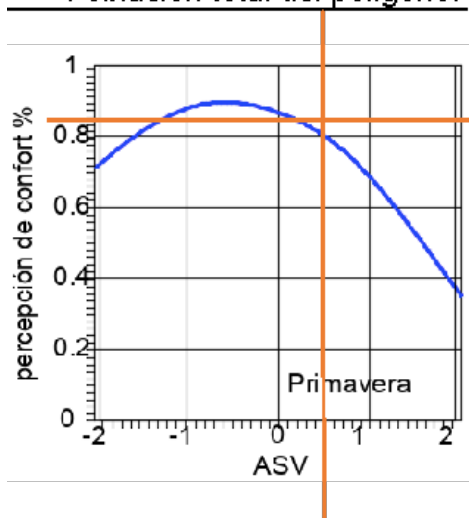
20150528

7.8.4 CARACTERIZACIÓN DE LA ICU Y POBLACIÓN AFECTADA DEL 20180128

Año: 2015 20150528
 Mes: Mayo Primavera



Población total del polígono: **418,446 hab.**



Categoría de estrés térmico:
 Rango de temperatura:

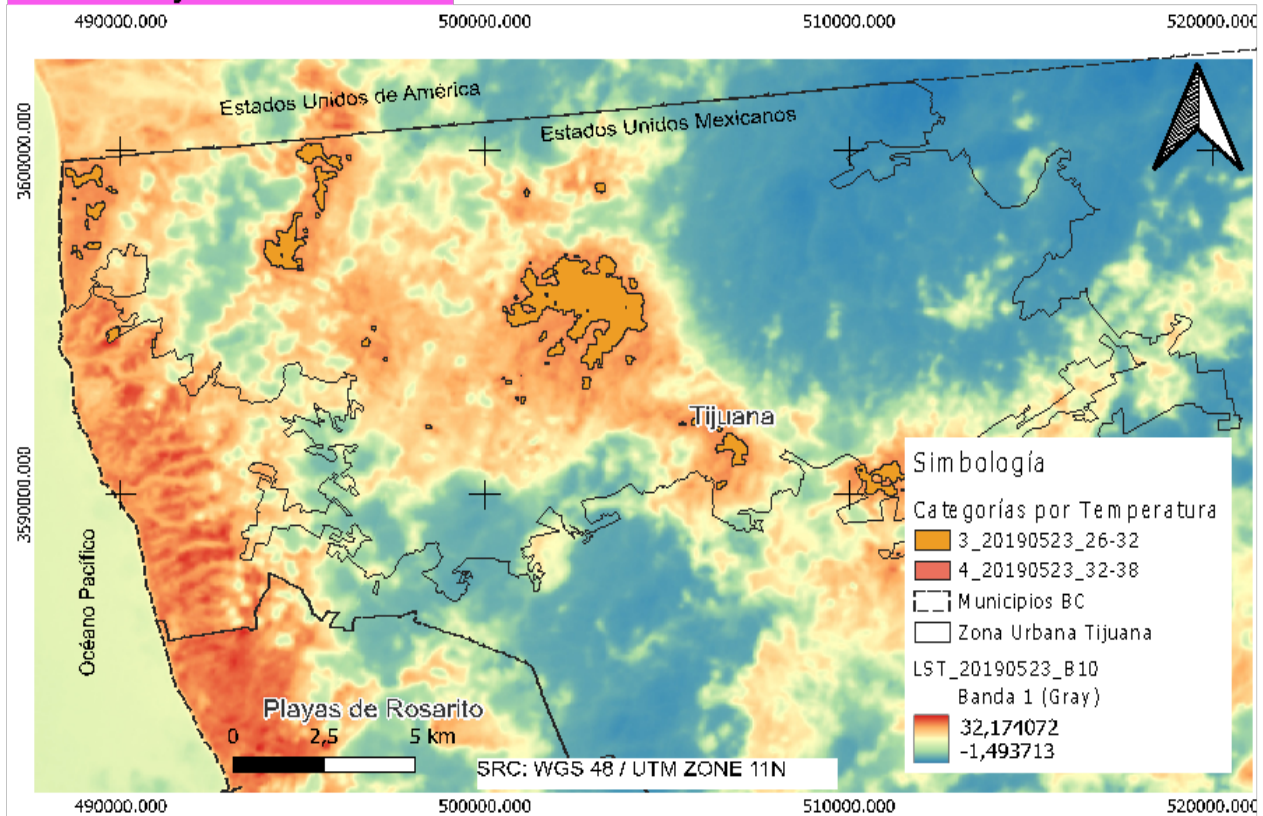
3, 4 y 5
26.10°C a 38.61°C

ASV:
 % de pob. en confort:
 % de pob. en incomodidad térmica:
 Población riesgo:

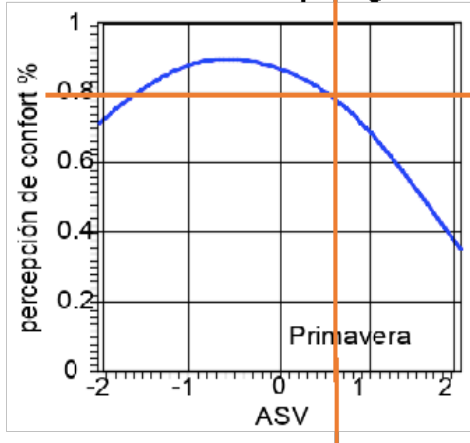
0.3016
84%
16%
66,951.36 hab.

7.8.5 CARACTERIZACIÓN DE LA ICU Y POBLACIÓN AFECTADA DEL 20190523

Año: 2019 20190523
Mes: Mayo Primavera



Población total del polígono: **55,413 hab.**

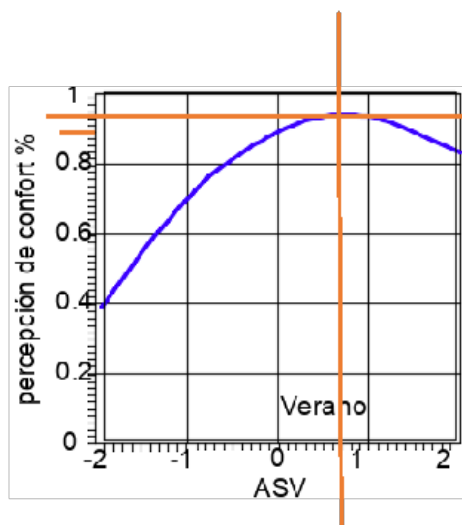
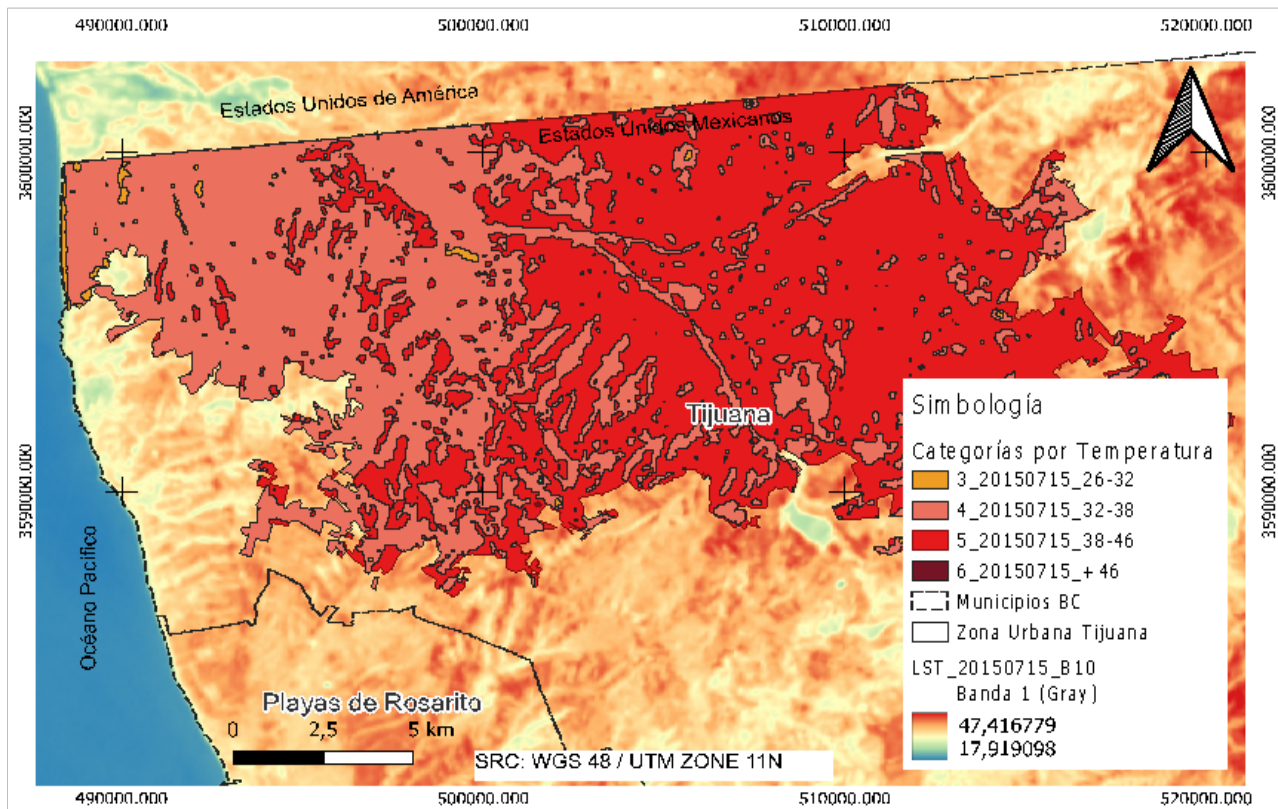


Categoría de estrés térmico: **3 y 4**
Rango de temperatura: **26.10°C a 32.17°C**

ASV: **0.2172**
% de pob. en confort: **87%**
% de pob. en incomodidad térmica: **13%**
Población riesgo: **7,204 hab.**

7.8.6 CARACTERIZACIÓN DE LA ICU Y POBLACIÓN AFECTADA DEL 20150715

Año: 2015 20150715
Mes: Julio Verano



Categoría de estrés térmico:

3 a 6

Rango de temperatura:

26.10°C a 47.41°C

ASV:

0.4498

% de pob. en confort:

95%

% de pob. en incomodidad térmica:

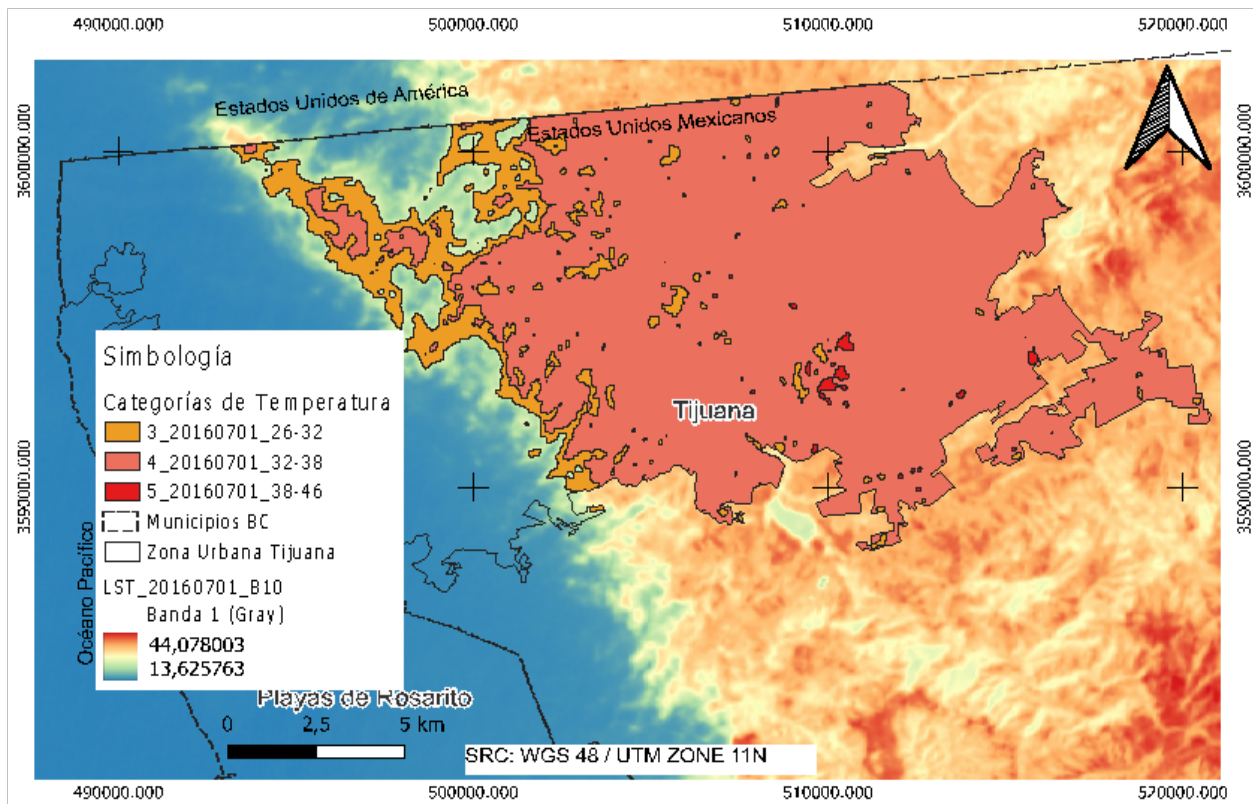
6%

Población riesgo:

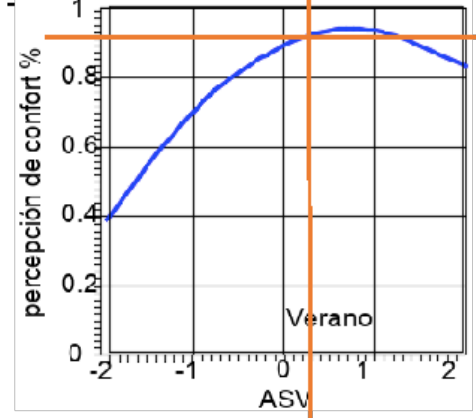
90,413 hab.

7.8.7 CARACTERIZACIÓN DE LA ICU Y POBLACIÓN AFECTADA DEL 20160701

Año: 2016 20160701
Mes: Julio Verano



Población total del polígono: **1,154,326 hab.**

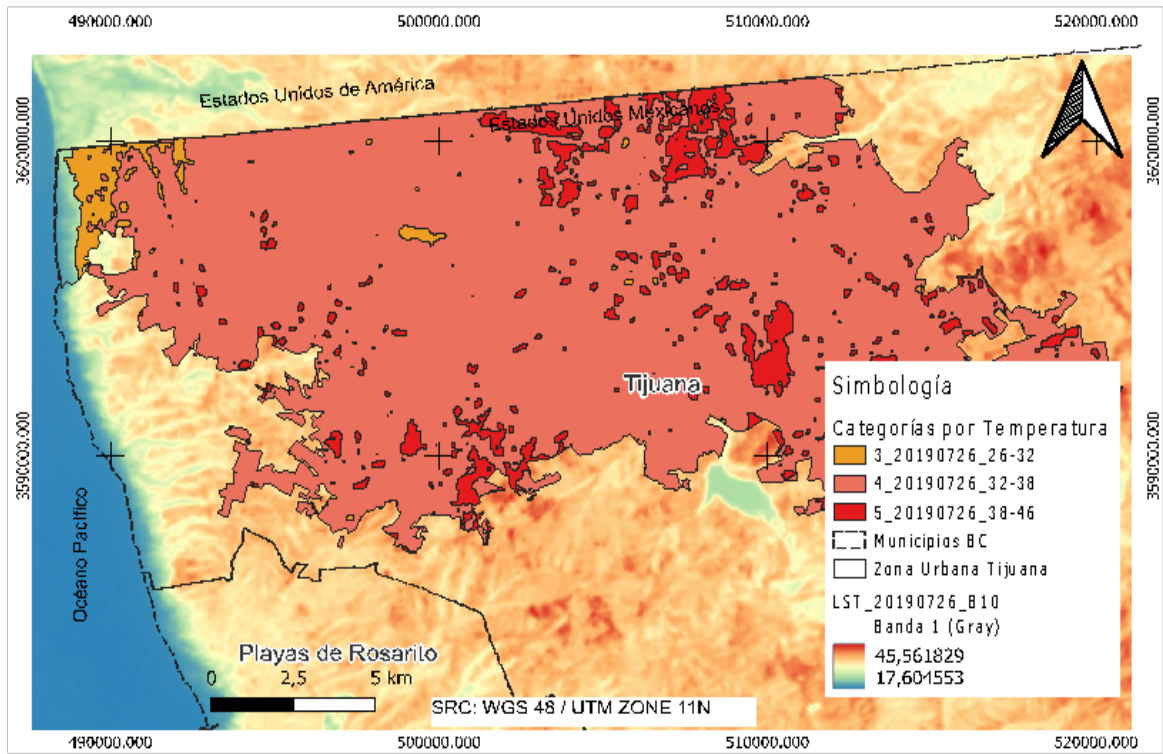


Categoría de estrés térmico: **3, 4 y 5**
Rango de temperatura: **26.10°C a 44.07°C**

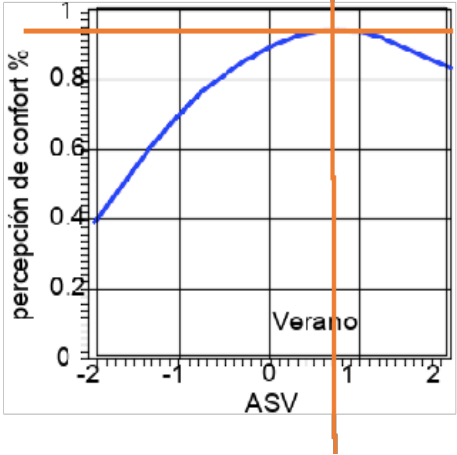
ASV: **0.3501**
% de pob. en confort: **94%**
% de pob. en incomodidad térmica: **6%**
Población riesgo: **69,260 hab.**

7.8.8 CARACTERIZACIÓN DE LA ICU Y POBLACIÓN AFECTADA DEL 20190726

Año: 2019 20190726
Mes: Julio Verano



Población total del polígono: 1,628,220 hab.

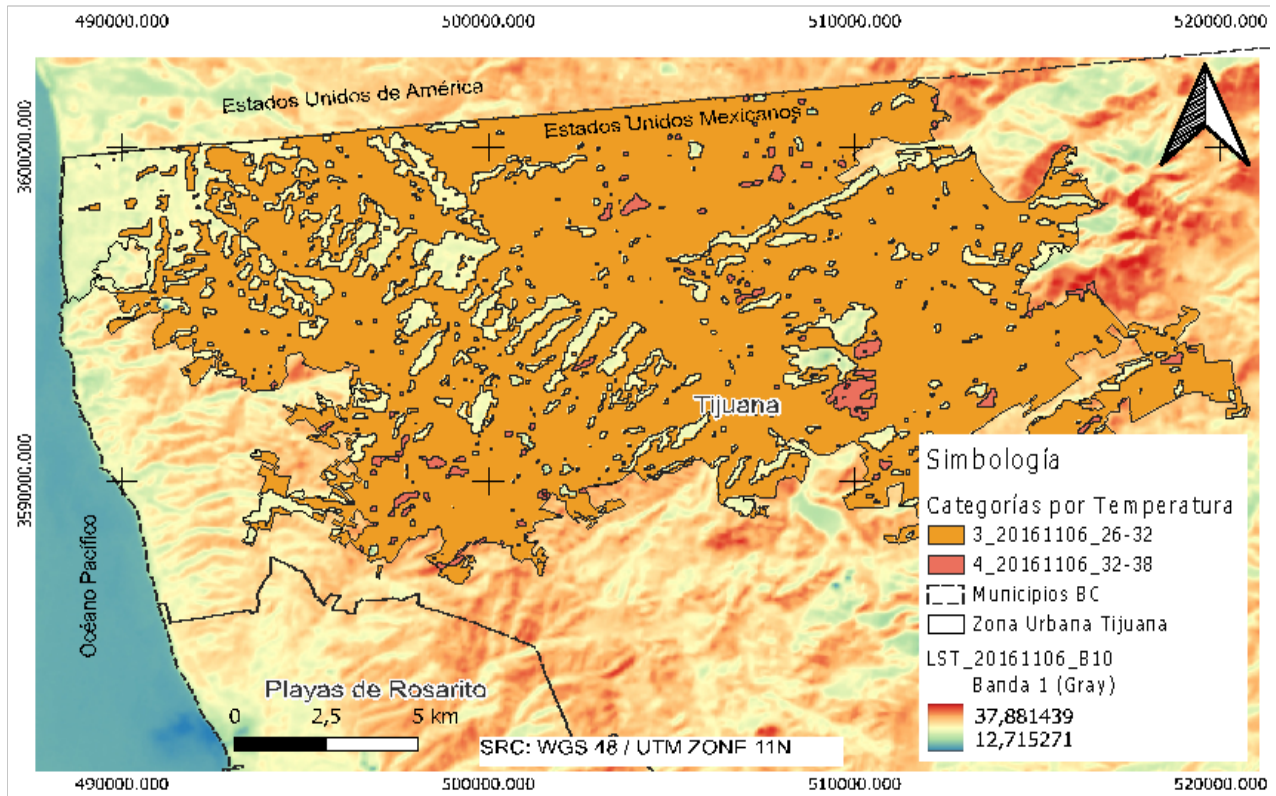


Categoría de estrés térmico: 3, 4 Y 5
Rango de temperatura: 26.10°C a 45.56°C

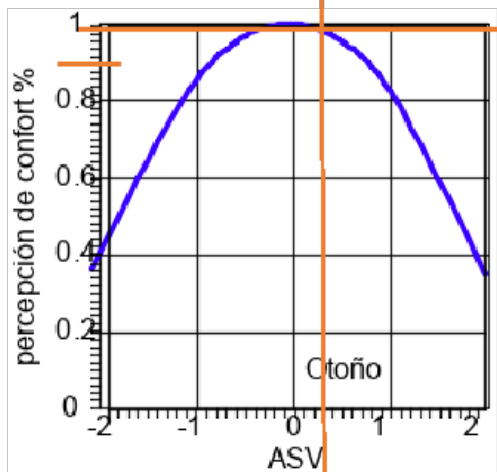
ASV: 0.7193
% de pob. en confort: 95.8%
% de pob. en incomodidad térmica: 4.2%
Población riesgo: 68,385 hab.

7.8.9 CARACTERIZACIÓN DE LA ICU Y POBLACIÓN AFECTADA DEL 20161106

Año: 2016 20161106
 Mes: Noviembre OTOÑO



Población total del polígono: **1,334,729 hab.**

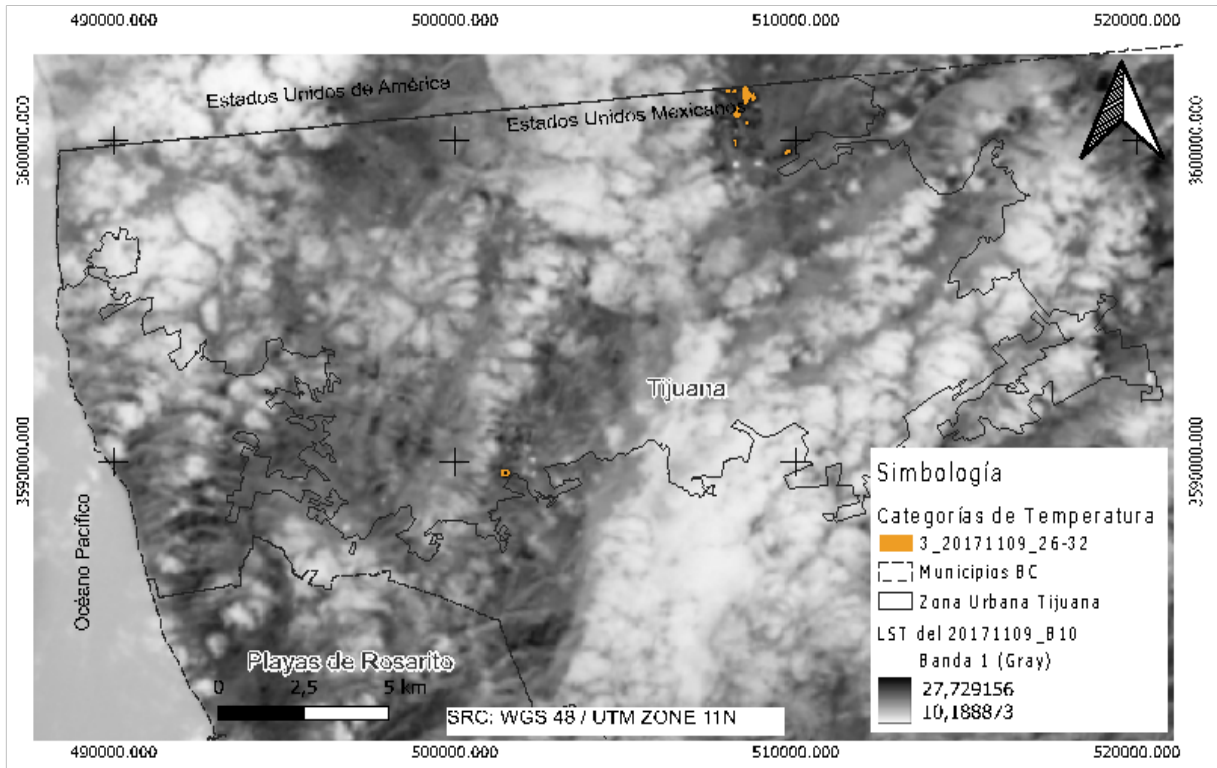


Categoría de estrés térmico: **3 y 4**
 Rango de temperatura: **26.10°C a 37.88°C**

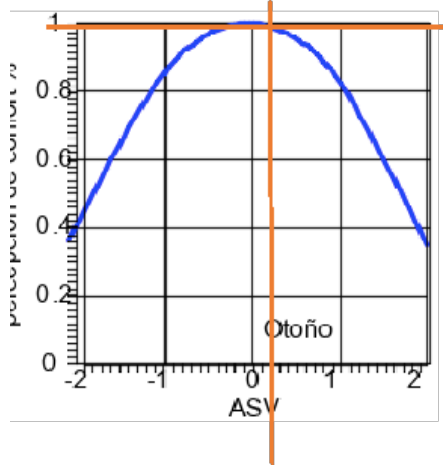
ASV: **0.446**
 % de pob. en confort: **97%**
 % de pob. en incomodidad térmica: **3%**
 Población riesgo: **40,041.87 hab.**

7.8.10 CARACTERIZACIÓN DE LA ICU Y POBLACIÓN AFECTADA DEL 20171109

Año: 2017 20171109
 Mes: Noviembre OTOÑO



Población total del polígono: 215 hab.

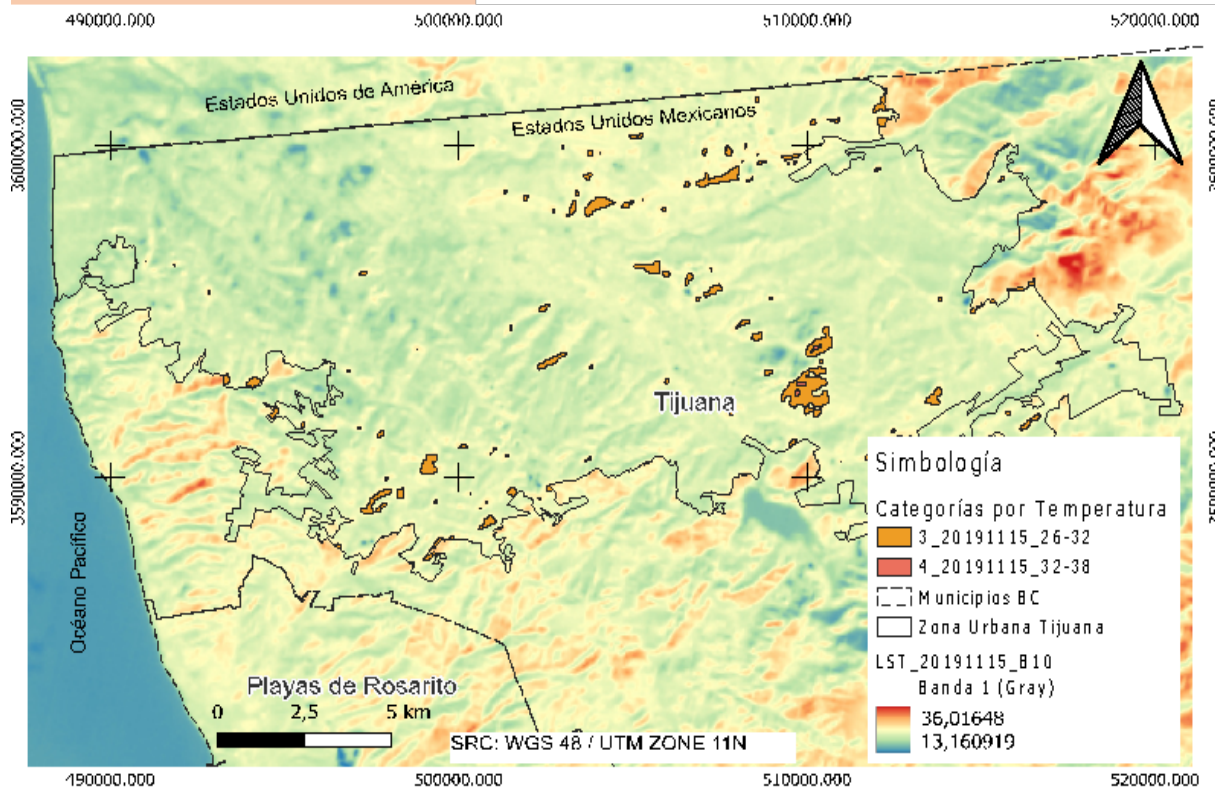


Categoría de estrés térmico: 3
 Rango de temperatura: 26.10°C a 27.72°C

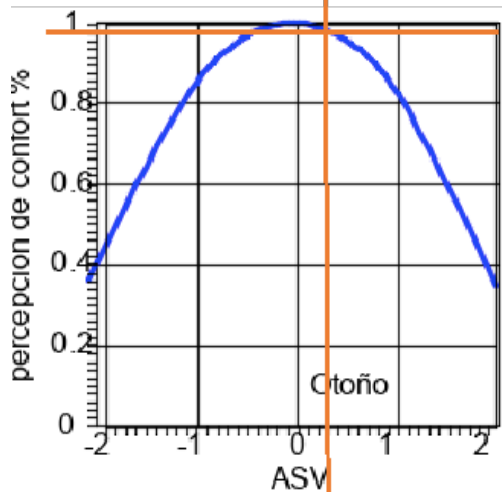
ASV: 0.281
 % de pob. en confort: 99%
 % de pob. en incomodidad térmica: 1%
 Población riesgo: 2 hab.

7.8.11 CARACTERIZACIÓN DE LA ICU Y POBLACIÓN AFECTADA DEL 20191115

Año: **2019** **20191115**
 Mes: **Noviembre** **OTOÑO**



Población total del polígono: 15,794 hab.



Categoría de estrés térmico: 3 y 4
Rango de temperatura: 26.10°C a 36.01°C

ASV: 0.29
% de pob. en confort: 99%
% de pob. en incomodidad térmica: 1%
Población riesgo: 158 hab.