



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

CONFORT TÉRMICO Y OLA DE CALOR EN ZARAGOZA
EN EL VERANO DEL 2015

Autor

José Ballestín González

Directores

José María Cuadrat Prats

Miguel Ángel Saz

Filosofía y Letras

2016

Resumen

Este trabajo se divide en dos partes; primero se hace un estudio espacio-temporal sobre el clima urbano de la ciudad de Zaragoza y se realiza un análisis del “índice termohigrométrico (THI)” de Thom, a través de la recogida de datos de unos sensores meteorológicos que contienen información de temperatura y humedad relativa del aire de los meses de marzo hasta noviembre del 2015. Con ello, se compara las diferencias de confortabilidad térmica existentes entre el centro, las diferentes zonas urbanas y la periferia. Debido al efecto de la isla de calor que se instala en la ciudad, disminuyen las sensaciones frías y aumentan las cálidas durante el día, manteniéndose ese calor durante gran parte de la noche. En ocasiones las zonas verdes actúan como reguladores térmicos y propician la suavidad de la temperatura y la mejora de la sensación de confort. La segunda parte del trabajo se hace un estudio de las olas de calor de la estación de verano del 2015 y su consiguiente análisis del confort térmico (THI), éste verano tuvo temperaturas muy elevadas y sofocantes y especialmente el día 7 de Julio en el que se alcanzó una temperatura máxima de 44.6 ° C y fue récord histórico en la propia ciudad, además éste episodio extremo duró 12 días consecutivos y provocó un elevado grado de discomfort térmico.

Palabras clave: Clima urbano, confort térmico, isla de calor, ola de calor, episodio extremo.

Abstract

This paper divided into two parts. First, a space-time study on urban climate of the city is made and also an analysis of “thermo-hygrometric index THI” by Thom is carried out by the collection of data about the weather sensors containing temperature information and relative humidity of the air from March until November in 2015. As a result, the existing differences in thermal comfort among the centre, various urban areas and periphery are compared. Due to the effect of heat island which is installed in the city, cold sensations are reduced and the warmth increases during the day, keeping the heat almost all night. Sometimes green areas act as a heat regulator and cause the temperature softness and improve the feeling of comfort. In the second part, a study of heat waves of the summer season in 2015 and subsequent analysis of thermal comfort THI are done. Last summer temperatures were very high and stifling, especially on July the 7th when a maximum temperature of 44.6 was reached and it was a high record in the city itself. Besides, this extreme episode lasted for 12 consecutive days and caused a high degree of thermal discomfort.

Key words: urban climate, thermal comfort, urban heat island, heat wave, extreme event.

ÍNDICE

1- Introducción	pág 4-6
2- Características climáticas de nuestra zona de estudio	pág 6
3- Objetivos	pág 7
4- Datos y métodos	pág 7-14
4.1- Base de datos	pág 7-9
4.2- Metodología.....	pág10-14
5- Resultados	pág 14-64
5.1- Representación gráfica de los resultados	pág 14-39
5.2- Distribución espacial de las temperaturas medias mensuales	pág 39-43
5.3- Distribución espacial del THI mensual	pág 44-47
5.4- Distribución espacial de las temperaturas del día 7 de julio	pág 48-64
6- Discusión	pág 64-66
7- Conclusiones	pág 66- 67
8- Bibliografía	pág 68-70
9- Anexos	pág 71-73

1- INTRODUCCIÓN

La ciudad constituye la forma más radical de transformación del paisaje natural, pues su impacto no se limita a cambiar la morfología del terreno, sino que además modifica las condiciones climáticas y ambientales (Martilli, 2012). En el desarrollo de las ciudades, el ser humano y su relación con el clima ha tenido siempre una gran importancia. El hombre ha buscado adaptarse y modificar las condiciones de su entorno con el fin de conseguir situaciones favorables.

Es completamente necesario señalar varios componentes como son la temperatura y la humedad, los cuales se han analizado en este estudio, que son factores que provocan un intercambio de calor entre el cuerpo y el ambiente que le rodea, lo cual justifica cómo será el bienestar térmico. Si uno de los factores se altera, provoca que el organismo haga un esfuerzo que modifique la sensación térmica con el ambiente que le rodea. Este es un buen indicador de grado de bienestar térmico y de la incidencia de la salud que pueden tener los cambios producidos por el organismo (Fernández, 1999).

Por ello, el confort térmico se puede definir como un estado de completo bienestar físico, social y mental, el confort depende de multitud de factores personales como las características físicas, es decir, el confort térmico representara el cómo se siente de bien una persona desde el punto de vista del ambiente higrotérmico exterior a la persona (Fernández, 1999). Al igual decir, que se puede encontrar situaciones extremas desde el punto de vista térmico, que pueden llegar a ser mortales para el ser humano. (Cuadrat, Saz, y Vicente, 2004). De primeras, señalar que un adecuado control de la temperatura del medio en el cual está el cuerpo humano, hace que se elimine el esfuerzo fisiológico en el que se acomoda, y así se obtiene un mayor confort con la consiguiente mejora de bienestar físico y de la salud. Por otro lado, las cesiones sensibles como la radiación, convección y conducción son menores a medida que la temperatura aumenta, entonces tras la desaparición del calor corporal ésta se efectúa por medio de abandonos latentes (Fernández, 1999). El ambiente será mucho más confortable si el aire está seco, por lo tanto, en condiciones de humedad alta se producirá el fenómeno de disconfort térmico, y esta situación en el ser humano se puede producir en forma de sudor (López, 1995).

También es necesario destacar la importancia de la variación de la temperatura según el tipo de superficies ya que la morfología de la ciudad se divide en tres zonas urbanas: Centro, vías de ensanche y la periferia. Estas zonas captan distinta temperatura habiendo una diferencia sustancial entre ellas (Carreras, 1990). Aunque los diferentes espacios de la ciudad se comportan morfológicamente de manera compleja, intervienen en su conjunto el trazado y la dirección de las calles que se ven afectadas por razones climáticas. Cabe destacar, un rasgo relevante que son el tipo de edificación, los cuales captan calor de día y lo devuelven de noche emitiéndolo, por lo cual se encuentran distintos tipos de infraestructuras como por ejemplo edificios grandes, casas de manzanas, naves, edificios singulares y otros tipos como viviendas unifamiliares en la periferia (Arroyo, 1995).

Las diversas superficies pueden reflejar una mayor temperatura de la que hubiera de forma original en el aire como por ejemplo con el asfalto, que emite más temperatura de la que llega a la ciudad. Esto suele suceder durante las horas centrales del día y se prolonga hasta el propio atardecer (López, 1995). En cambio, en una superficie de agua se incrementa mucho menos la temperatura, debido a que tarda más en captar el calor incidente, haciendo que se comporte de

una manera más parecida a la temperatura del aire, incluso a veces disminuyéndola ya que es más húmeda. El césped es otro elemento a destacar ya que la temperatura es menor en esta superficie, por lo cual los espacios abiertos de zonas de parques son más frescos que el resto de superficies.

Una vez explicado lo que se entiende por confort térmico y cuáles son los elementos que interactúan y modifican la temperatura en el clima urbano, es preciso hablar de los episodios extremos de las olas de calor. En la actualidad la Organización Mundial de la Meteorología (OMM) dice que se produce una ola de calor “cuando durante cinco días consecutivos, la temperatura máxima diaria excede en 5 ° C a la temperatura máxima media “. El concepto de ola de calor lleva implícito el riesgo provocado por temperaturas anormalmente elevadas, por ello su caracterización se basa en dos factores: uno puramente climático, como es la superación de un determinado umbral térmico, que le confiere al registro concreto el carácter de extremo; el segundo hace referencia a los impactos negativos que tales extremos provocan sobre la población (Fernández, 2008).

Normalmente las horas de calor ocurren en los días de verano (Martín, 2015). Algunas regiones de la tierra son más sensibles al calor que otras, como por ejemplo el clima mediterráneo como es el caso de nuestra zona de estudio, el cual tiene características en las que el verano no recibe apenas aportaciones pluviométricas y la temperatura en esta época puede llegar a ser sofocante, es decir, a priori podríamos pensar que se traduce en mayor desconfort térmico, pero más adelante veremos si es así. En los climas secos la intensidad de las olas de calor son mucho más intensas que en los climas húmedos ya que la cantidad de agua que se encuentra en la atmosfera en forma de nubes es menor (Albentosa, 1990).

Por otro lado, cuando se habla de clima urbano es ineludible analizar el término de “*isla de calor urbano*”. Los primeros estudios sobre el fenómeno de las islas de calor en España datan de los años 80, siendo el profesor Antonio López Gómez el cual perteneció a la Universidad Autónoma de Madrid y se especializó en climatología, una de las principales personas impulsoras de este tipo de trabajos: en 1984 avanzaba ya un estudio inicial sobre la isla de calor en Madrid. Posteriormente, otros equipos de investigadores se han ocupado de este fenómeno en varias ciudades, como Barcelona, Zaragoza o Valencia. La isla de calor es un término imprescindible a la hora de comprender este estudio. Este fenómeno se puede definir como una variación de la temperatura que se registra en las ciudades donde hay una diferenciación entre el centro y las zonas rurales del entorno de la ciudad. Se trata de una modificación climática provocada por los fenómenos de urbanización (Fernández, 1999). Además, como bien se ha citado anteriormente, los materiales de construcción utilizados en las ciudades como el hormigón y el asfalto captan una gran cantidad de calor y lo desprenden en la noche lo que se traduce en un aumento de la temperatura. Otro factor relevante es la altura de los edificios que provoca que la radiación solar permanezca en el suelo (Muniz, 2015). También la sustitución de superficies naturales por otro tipo de materiales impermeables que se implica en una menor disposición de agua para la evaporación. Por lo cual, en las grandes zonas verdes, es decir, parques, jardines o espacios como ríos o lagos implican que haya procesos que regulen la temperatura como son el caso del río Ebro, río Gállego y río Huerva. Las ciudades que carecen de estos elementos implican que la isla de calor se mantenga en unos niveles superiores (Fernández, 1991).

En este estudio, los observatorios meteorológicos de los cuales se han obtenidos los datos, tienen como función identificar la distribución de las temperaturas, y de esta manera poder observar el contraste entre el centro urbano y la periferia. Con estos observatorios se podrían

ver notables aspectos urbanos para su respectivo análisis como por ejemplo el efecto de la gran urbe constatada, las zonas verdes o las zonas desprovistas de los efectos de la ciudad. Todas ellas, serán importantes a la hora de la realización del trabajo. Además se puede verificar cuáles son las zonas con mayor o menor grado de confort térmico y aquellas que están expuestas a padecer mayor o menor incidencia a las olas de calor. Por último, destacar que en este estudio se ha trabajado con datos de marzo a noviembre de 2015, por lo cual solo se podrá saber el grado de confort térmico de este periodo y no de los anteriores, ni futuros ya que los datos se van modificando constantemente.

2-CARACTERISTICAS CLIMÁTICAS DE NUESTRA ZONA DE ESTUDIO

En este apartado se realiza un breve comentario general de la evolución del clima de Zaragoza del periodo de 1971 al 2010 durante los meses de abril a octubre. De esta manera, se pretende comparar esos datos con los disponibles de nuestro estudio. Respecto al primer periodo (tabla 1) decir que está constituida por las variaciones de temperaturas que se dan a lo largo del año, todo esto es debido a la situación que se encuentra la ciudad. En la época primaveral normalmente la península recibe situaciones del Atlántico norte por la circulación del Oeste. Durante esta época, las temperaturas se sitúan desde los 7.7 ° C de mínima hasta los 23.6 ° C de máxima. En verano, pasa justo lo contrario, las situaciones más habituales son de tipo anticiclónico influenciado por altas temperaturas alcanzando hasta 31.9°C de media, y en numerosos días superan los 40°C. Además, le sumamos la continentalidad que sufre el valle del Ebro (Cuadrat, 1993) como factor determinante.

	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	1971-2010
Media	13,4	17,6	21,7	24,9	24,7	21,0	15,8	19,8
TMAX	19,4	23,6	28,7	31,4	31,9	27,1	21,0	26,2
TMIN	7,7	11,5	15,1	17,9	17,8	14,9	10,5	13,6

Tabla 1. Temperaturas máximas, mínimas y medias de abril a octubre del periodo de 1971-2010.

Respecto a los datos disponibles en nuestro estudio (tabla 2) se puede observar que los meses de análisis varían entre los 10,3°C de mínima hasta los 35,5°C de máxima. El mes más cálido es julio, cuya máxima supera los 35°C y la mínima los 21,2°C. Esto indica que tenemos un verano muy cálido, la temperatura en ese mes es muy superior a la media, por lo menos 8°C más de lo normal. Justo coincide la temperatura media 28,3°C con la máxima media de julio del periodo 1971-2010. Los valores medios, tanto máximos y mínimos presentan unos datos más normales para su época del año. En cambio, los meses de verano muestran mucha diferencia respecto al periodo 1971-2010, por lo cual se puede decir que estamos en un incremento de temperatura considerable en la época estival.

	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	2015
Media	16,2	20,5	24,9	28,3	25,9	20,9	16,7	21,9
TMAX	22,1	26,9	31,8	35,5	32,1	26,2	21,4	28,0
TMIN	10,3	14,1	18,0	21,2	19,7	15,6	12,1	15,9

Tabla 2. Temperaturas máximas, mínimas y medias en °C de los meses de estudio año 2015.

3- OBJETIVOS

El objetivo general de este trabajo es analizar los valores de confort o desconfort en Zaragoza en el periodo de marzo a noviembre del 2015 a partir del “índice termohigrométrico” de Thom.

Objetivos específicos:

1. Analizar la frecuencia de días bochornosos, muy cálidos y cálidos a partir de la cuantificación de índices de confort térmico.

2. Evaluar espacialmente el confort térmico en Zaragoza durante las olas de calor, centrándonos en el día 7 de Julio.

4- DATOS Y MÉTODOS

4.1 Base de datos

Los datos climáticos constituyen la base fundamental del trabajo. La información que se ha empleado proviene de una base de datos realizada a través de unos sensores meteorológicos pertenecientes al grupo de Investigación de Clima, Agua, y Cambio Global de la Universidad de Zaragoza, para la captura de la temperatura y humedad. Con ellos, se ha identificado las diferencias que se encuentran entre la ciudad y la periferia. Estos elementos pueden variar según el estado de la atmosfera en determinados momentos. Con la utilización de estos datos se puede saber las zonas más expuestas a los diversos cambios que pueden surgir en el entramado urbano, también es posible identificar las anomalías que pueden existir en los alrededores de los observatorios.

En total existen 15 sensores instalados a lo largo de la ciudad de Zaragoza (véase tabla 3). Hay que destacar que 4 de los 15 observatorios dan errores en los datos. Dos de ellos poseen error desde el principio de marzo hasta mayo incluido, estos observatorios corresponden al Cuartel de Policía y Ciudad Deportiva del Real Zaragoza, pero decir, que estas anomalías son pequeñas y que no complican el estudio. Otra anomalía encontrada en los datos es en el caso del observatorio del Ayuntamiento, cuyos valores eran muy elevados, por lo que éste se trasladó el pasado Agosto a la Plaza de Santa Marta. Por otro lado destacar que el observatorio de Estación norte, situado en el barrio del Arrabal, ha sido descartado en el análisis de los datos debido a su falta de fiabilidad por fallos en el sensor durante periodos prolongados, también señalar el observatorio de AEMET-canal pero en este caso, solo faltaba su localización exacta en la base de datos “X, Y”, por lo tanto se ha podido analizar a través de las gráficas y tablas.

La recogida de datos se hace en intervalos de hora, con esto, se pretende analizar los cambios y el seguimiento de las temperaturas y de la humedad. Respecto al periodo de estudio, decir que abarca los meses de marzo, abril, mayo junio, julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre, es decir, existen datos de 242 días, pero debido a que no se dispone de datos de los meses completos de marzo y noviembre éstos se han descartado. Con ello, se examina día a día los cambios de temperatura y de humedad, ya que se pretende estudiar el grado de confort térmico que se encuentra durante la temperatura máxima diaria y la humedad relativa que hubiera en ese momento.

Observatorio	X	Y
Ayuntamiento (Casa Jiménez)	-0,884919	41,64954
Delicias	-0,90509	41,65065
Santa Marta	-0,87591	41,65386
Fuentes	-0,86323	41,64101
Camping	-0,94231	41,63905
AEMET Canal ₁ *	-0,87	41,38
Movera	-0,82173	41,64816
Actur	-0,88946	41,67669
Valdespartera	-0,93548	41,62112
Jardín Botánico	-0,89602	41,63437
San Gregorio	-0,86598	41,67669
Parque del Agua	-0,94231	41,63905
Ciudad Deportiva	-0,946797	41,594639
Cuartel de Policía	-0,8766	41,620098
Estación del Norte (Arrabal) ₂ *	0,87162	41,66026

Tabla 3. Representa el número de observatorios y sus coordenadas

*₁ El observatorio de AEMET-canal se analiza en las gráficas pero en los mapas no sale representado excepto en el de temperaturas medias mensuales.

*₂ El observatorio de la Estación del Norte (Arrabal) ha sido descartado por multitud de anomalías.

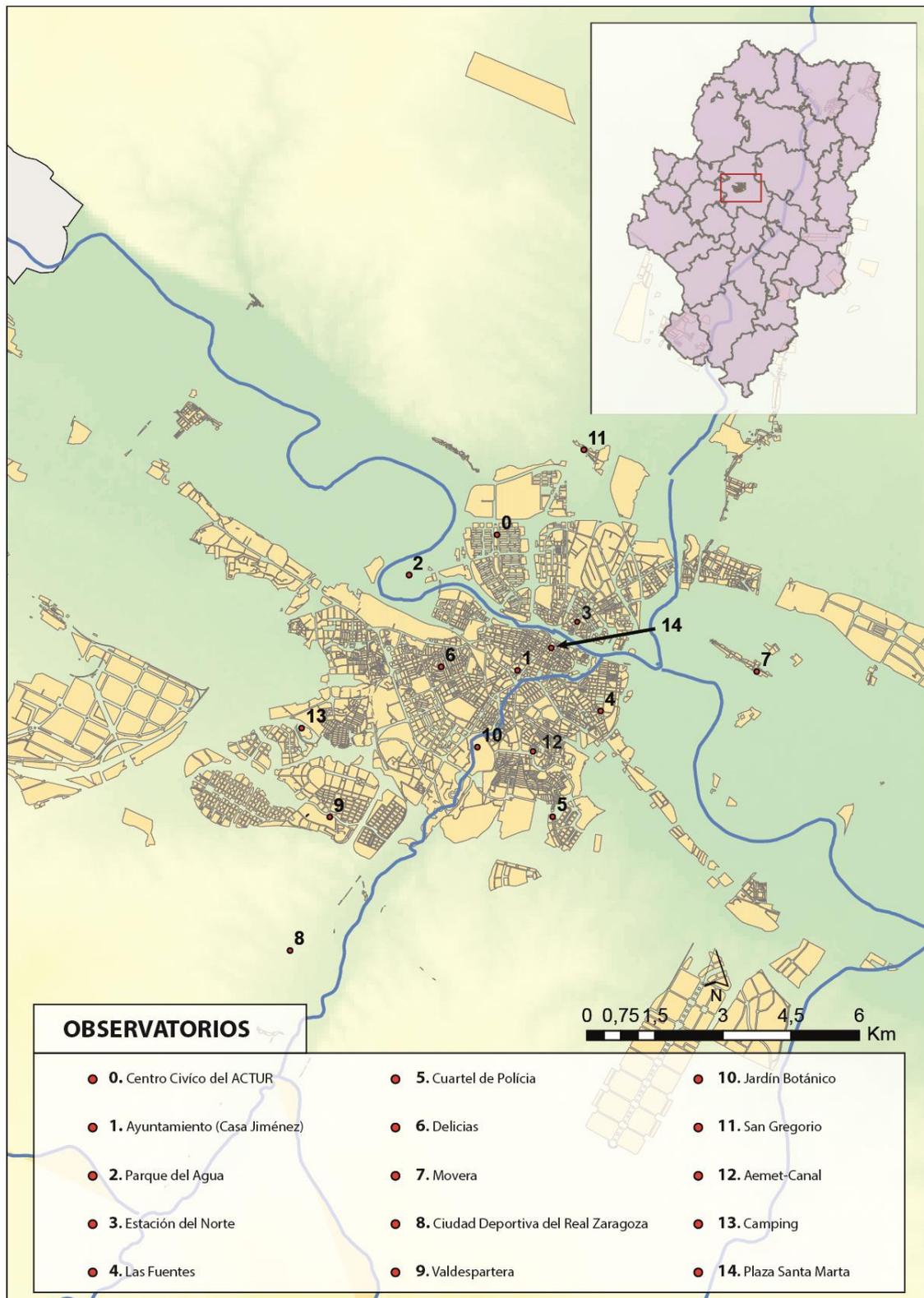


Figura 1. Zona de estudio

4.2 Metodología

El trabajo se estructura en dos apartados: en el primero se analiza el grado de confort o desconfort del área zaragozana respecto a los datos disponibles de los meses de marzo a noviembre, y la segunda parte trata del estudio de la intensificación y duración de las olas de calor del 2015 como indicativos del clima regional y de cómo repercute al confort de los ciudadanos.

El principal obstáculo con el que nos encontramos al abordar este estudio sobre el clima urbano de Zaragoza, es que los datos disponibles son solo de los meses de marzo, abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre por lo cual no se puede analizar el año 2015 entero y de esa forma ver el grado de confort o desconfort. Por otro lado, se puede resaltar que con los observatorios disponibles se puede ver los contrastes entre el centro urbano y la periferia.

Respecto a la explicación de la metodología y los pasos seguidos para la ordenación de la base de datos detallada, se han realizado unos métodos aritméticos para poder tratar estos datos disponibles. De esta manera, se ha conseguido formular los consiguientes registros de temperatura y THI a través de la elaboración de gráficas y mapas. Una vez trabajado esto, el siguiente paso es saber cuál es el grado de confort térmico existente en Zaragoza, para ello, se ha observado la relación que existe entre las variables de temperatura y humedad relativa del aire, ya que estos, pueden variar en la comodidad de las personas en la sensación corporal. También, se pretende analizar las olas de calor y las noches tropicales en las horas que las personas empiezan a acostarse, por motivo de comodidad a la hora dormir. El criterio principal que se ha utilizado para saber si existe un episodio de ola de calor o noche tropical, es a raíz de la temperatura superior a un valor de 35°C en el primer caso, ya que según estudios anteriores relacionados con el clima urbano de Zaragoza, exponen que durante el verano son frecuentes las temperaturas por encima de este valor (Cuadrat y Saz, 2004; y Cuadrat et al, 2013), y por el contrario, en el segundo caso de la noche tropical, el valor mínimo que se ha utilizado es de 20°C (Requena, 2015).

Una vez que se han ordenado las bases de datos disponibles de los observatorios, se comienza a elaborar los siguientes métodos que se muestran a continuación. A partir de éstos se podrá describir los posteriores resultados. El criterio que se ha establecido para identificar las características extremas de temperatura y la sensación térmica es a través de la realización de un registro de temperaturas mínimas y máximas y otro registro sobre el confort térmico de la serie de todos los datos de cada observatorio. Los procedimientos a seguir en cada situación son los siguientes:

Registro de temperaturas: Se ha realizado un análisis para identificar las temperaturas máximas y mínimas diarias de cada observatorio, y con ello, poder visualizar las olas de calor por medio de la elaboración de unas gráficas. Para ello, se ha tenido que crear una tabla dinámica en la que se ha insertado las variables de fecha, hora y temperatura. En este análisis, la fecha se ubicaba en las filas horizontales, y en las columnas las horas en vertical, también señalar, que este mismo procedimiento se ha empleado para hallar el THI de cada mes. Los valores de temperatura se añaden en las celdas correspondientes. A la hora de elaborar la gráfica se ha tenido que aumentar las filas para así colocarlas con las fórmulas de máximo y mínimo, una vez realizado esto, se han insertado en la parte izquierda de la hoja, y con estas dos fórmulas se ha obtenido la gráfica correspondiente de temperatura.

Temperatura por hora: Se ha realizado otra gráfica cuya organización de los datos es la misma que el análisis anterior, en donde, se ha seguido la evolución de la temperatura durante cada hora. En este caso, se ha calculado todos los campos de las temperaturas horarias a través de las fórmulas de máximo, mínimo y media para esos valores. Con ello, se observa la evolución de la temperatura durante las horas del día.

Ola de calor y noches tropicales: Las olas de calor son una de las causas principales de fallecimientos relacionados con fenómenos meteorológicos adversos (CAM, 2006). Debido al aumento de temperatura inducido por el cambio climático, podría esperarse que este hecho se viera incrementado tanto en su frecuencia como en intensidad, duración y extensión (CAM, 2006). Para calcular la probabilidad de olas de calor y los días que ha existido esta situación, el procedimiento ha sido analizar todos los datos disponibles de cada observatorio e identificar las temperaturas superiores a 35°C, como bien se ha citado anteriormente, este valor es el criterio a seguir en el caso de la identificación de las olas de calor en cuanto a la temperatura. Por el contrario, se suele hablar de noche tropical o “umbral del sueño”, en el momento en que las temperaturas no bajan de 20° C por la noche, señalar que este ha sido el procedimiento a seguir en estas situaciones.

Seguidamente se trata de hallar el grado de confort térmico o el grado de disconfort térmico que existe en la ciudad de Zaragoza y para ello se ha elaborado con una ecuación llamada “termohygroscopic index”(THI) o “índice termohigrométrico”. (Thom, 1959).

El criterio a seguir en el trabajo para obtener un índice de confort térmico, ha sido a partir de la resolución de esta ecuación de THI, estos se explican en el cuadro adjunto:

$$THI = t - (0.55 - 0.0055H)*(t - 14.5)$$

THOM (1959)		
	Muy frío	Entre -9,9 y -1,8
	Frío	Entre -1,7 y 12,9
	Fresco	Entre 13 y 14,9
	Suave	Entre 15 y 19,9
	Cálido	Entre 20 y 26,4
	Muy cálido	Entre 26,5 y 29,9
	Bochornoso	Superior a 30

Tabla 4. Expresa los valores del índice termohigrométrico

En nuestro estudio, se ha utilizado otros criterios respecto a los valores de THI que utiliza Thom (1959), se ha distinguido entre confort y disconfort térmico. Dándole al confort valores de fresco, suave y cálido, mientras que al disconfort térmico se la ha otorgado los valores de muy frío, frío, muy cálido y bochornoso.

Señalar que la t es la temperatura del aire y está representada en grados centígrados y H la humedad en %. A pesar de su aparente simplicidad, multitud de estudios realizados en otras ciudades han utilizado este índice y con datos similares a los nuestros (Jáuregui y cols. 1997; Unger, 1999; Batista y Morales, 2001), han mostrado que los resultados obtenidos son bastante representativos de las diferencias entre la ciudad y su entorno inmediato, así como de los matices que dentro de ella se producen como consecuencia de las diferentes tipologías y usos del suelo. Los resultados deberán de salir desde -9.9 hasta los >30.0. Estos datos muestran las diferentes sensaciones que tiene el ser humano en el ambiente de muy frío hasta bochornoso.

Registro de THI: Para la realización de este paso, se ha tenido que elaborar una tabla dinámica en la que se han insertado los campos de fecha, hora, temperatura y humedad relativa. En el caso de los valores de fecha, se han introducido en el campo de las columnas y el de la hora en las filas, además, en los valores de temperatura han sido añadidos en las celdas y a la derecha de ésta se ha colocado los valores de humedad. Una vez efectuada la tabla dinámica, se ha realizado las máximas y mínimas de temperatura y de humedad de cada día. El siguiente paso ha sido reemplazar el valor máximo y mínimo de humedad con el valor de humedad correspondiente con cada una de la temperatura máxima y mínima, con ello, se ha podido tener los datos preparados para realizar la fórmula THI. Una vez que se ha conseguido los datos, hay que suprimirlos del THI de humedad y dejar solo los de las temperaturas.

Tabla para ordenar las temperaturas medias: En este paso, se ha creado tres tablas en donde se han ordenado de mayor a menor los valores de temperaturas medias, máximas medias y mínimas medias, con ello, se pretende saber dónde están ubicados los observatorios de mayor y menor temperatura.

Temperatura horaria del día 7 de julio 2015: Se ha realizado el análisis de este día ya que según los datos disponibles se da la temperatura más alta de la serie y a la vez fue récord histórico de temperatura en la ciudad de Zaragoza, por lo tanto esta fecha es de gran relevancia para nuestro estudio. Se ha elaborado también una gráfica en la que muestra la temperatura de cada hora, durante 24 horas del mismo día de todos los observatorios que hay en la ciudad de Zaragoza. En este caso, se ha añadido en otro archivo de tablas todos los valores del día 7 de julio de cada observatorio.

Tablas de temperaturas medias: Se ha construido unas tablas para cada observatorio, en éstas hay información de los meses de abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre y octubre que contiene tres variables; Temperatura media, temperatura media máxima y temperatura media mínima. Para la obtención de estos valores, se ha elaborado a través de la media aritmética a cada uno de los rangos de temperatura máxima y mínima del registro de temperaturas, señalar también que se ha realizado este mismo procedimiento para hallar la variable de la humedad relativa media.

Tablas de THI medio: En este paso, se ha unido la media mensual de temperatura con la media mensual de humedad relativa para poder realizar la fórmula del confort térmico con lo cual se ha obtenido el THI medio mensual de cada observatorio.

Por último, respecto a la elaboración de las gráficas señalar que se han insertado unos umbrales que están diferenciados por colores. En el caso de la gráfica del registro de temperatura se ha instalado un rectángulo de color rojo que indica las temperaturas superiores a 35°C, y en el caso de las gráficas del registro del THI se han introducido una serie de colores que indican el grado de confort térmico existente en cada observatorio, en este caso, se ha seguido el procedimiento de Thom. (véase tabla 4).

Una vez llegados a este punto señalar que se han elaborado mapas de distribución de las temperaturas y del confort térmico de la ciudad de Zaragoza. Al localizarse los sensores en distintos puntos de la urbe se ha podido convertir los valores en información puntual a través de un JOIN, también se han obtenido las coordenadas de los observatorios xy a través del método “Add Data XY”, cuya proyección es WMS 1984. Seguidamente, a través de herramientas de interpolación espacial se ha conseguido una distribución de las temperaturas las cuales son visibles en toda la ciudad.

La información obtenida se ha implantado en un Sistema de Información Geográfica (SIG) a través del programa ArcGis 10.1 y su aplicación ArcMap, en la que se ha conseguido una visualización de los datos que representan espacialmente el reparto de las temperaturas y del THI. Con ello, se consigue identificar las zonas con mayor variabilidad y estabilidad. También, se puede identificar cuáles son los espacios de la ciudad donde existe una mayor temperatura, es decir, si la isla de calor es fuerte o débil y por donde se distribuye espacialmente a lo largo de la zona de estudio. Por último, se explicará de forma general las situaciones atmosféricas que se dan en Zaragoza tanto por el día y por la noche a partir de los datos obtenidos. También destacar que el mapa de la ciudad de Zaragoza ha sido extraído de la base cartográfica de OPEN STREETMAP.

Además de ver el THI de las temperaturas máximas, se ha elaborado una cartografía del día 7 de Julio para hacer un análisis más en detalle, ya que como se ha citado anteriormente, fue récord histórico en la ciudad en el mes de julio. Por ello, se ha estudiado su evolución horaria través de las temperaturas, posteriormente se ha creado el THI del día 7 de Julio a las 17.00 horas dado que a esa hora se registraban las temperaturas más elevadas de toda la ciudad. De esta manera, se podrá saber cuál es el grado de confort o desconfort térmico de esta fecha en la que hubo temperaturas tan sofocantes.

Seguidamente se ha considerado conveniente para el trabajo usar distintos métodos de interpolación para saber cuál va ser el más adecuado a la hora de la visualización de los datos. Respecto a éstos decir que la temperatura y confort térmico o THI son información puntual. Por ello, el proceso de interpolación tiene la función de modificar la información puntual en extensiones continuas en el que se inserta los valores de la variable de un conjunto de puntos georreferenciados por coordenadas "X,Y" . A partir de esto, se va a determinar los valores mediante los diferentes métodos que se pueden implantar en el área de estudio. El modo de interpretar los datos utilizando estos métodos de interpolación provoca que los puntos, es decir, los observatorios situados más al norte, sur, este y oeste actúen como límites de la zona de estudio, pero en este caso, la limitación creada abarcará algo más que la propia ciudad. Respecto a los atributos del trabajo decir que son tres; temperatura, humedad y THI.

Señalar que se ha utilizado tres métodos de interpolación distintos para averiguar cuál era el más idóneo para este estudio, destacar que cada uno de ellos posee características variadas. Aquí se hace una breve explicación de cada uno de los empleados;

- **Inverso a la distancia:** A partir de este método, el valor que tomará una variable en un punto del espacio será el promedio de los valores de los puntos de muestreo incluidos en el conjunto de interpolación, ponderados por la distancia a la que se encuentran esos puntos muestrales del punto en el que se quiere predecir el valor del observatorio.
- **Kriging:** Se trata de métodos de interpolación complejos desde un punto de vista matemático, que si por algo vienen definidos es porque tratan de integrar en su proceso de cálculo aspectos relacionados con la variabilidad espacial de los datos (Atkinson, 2000). Tratando de describir estos métodos de forma sencilla, se puede decir que al igual que en otros casos de métodos de interpolación, la estimación de un valor en un punto se realizará a partir del valor de los puntos de observación vecinos, pero los pesos de ponderación se basarán no sólo en la distancia entre esos puntos, sino también en la relación espacial que se establece en el valor de estos puntos.
- **Función radial o spline:** Se trata de un interpolador exacto, que utiliza un conjunto de funciones que se ajusta a un pequeño número de datos (nuestro conjunto de

interpolación) y en el que para cada ventana, pixel, punto (x,y) se desarrolla una ecuación distinta.

Cabe recordar que los datos en las distintas interpolaciones recogen errores de almacenamientos de éstos, y con los métodos lo que se hace también es corregirlo de una manera gradual. Por lo que hay que estar pendiente de que método es mejor.

El primer método utilizado en el trabajo ha sido IDW, éste daba unas características no apropiadas para la zona de estudio debido a la distancia entre los observatorios que daban unas ponderaciones elevadas. El segundo método utilizado ha sido Kriging, éste daba unas interpretaciones menos cargadas, y por último la función radial que a la hora de la representación del mapa salían características similares al método IDW. Para la realización de estas pruebas se ha cartografiado el mapa del día 7 de julio. Una vez que se ha probado con los distintos métodos y se ha realizado distintas pruebas, se ha considerado el método Kriging la mejor opción a la hora de la cartografía, ya que realiza una predicción muy válida de la variación espacial de los datos (Burrough y McDonnell, 1998). Los mapas realizados en este trabajo, han sido mapas de temperaturas medias mensuales, mapas de temperaturas del día 7 de Julio por horas, mapa del THI del 7 de Julio a las 17.00 h, ya que se daban los valores más altos de todos los datos, y por último mapas de THI medio mensuales de cada observatorio. Para que los resultados expresados en los mapas se visualicen de una manera mejor, se ha procedido a convertirlos a RASTER el Kriging creado originalmente, para así ver un degradado entre los valores máximos y mínimos, evitando de esta forma las separaciones marcadas por los cambios entre los distintos valores provocando que se suavicen los datos.

5- RESULTADOS

5.1 Representación gráfica de los resultados

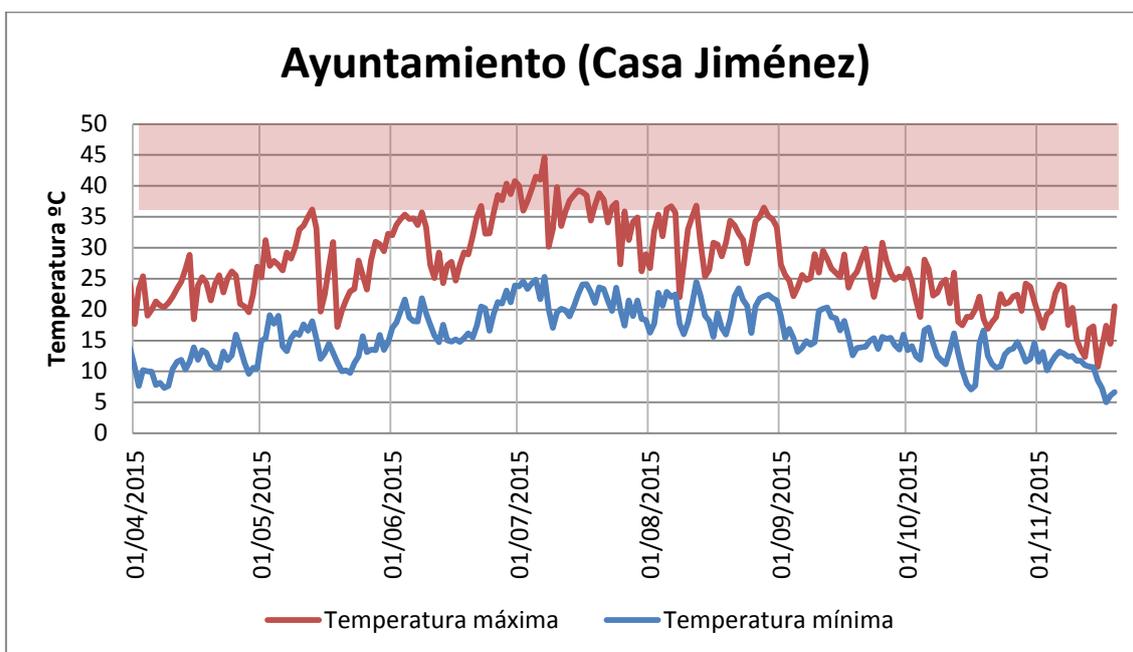


Figura 2. Evolución de las temperaturas máximas y mínimas diarias

El periodo de este observatorio (fig. 2) va desde el día 23 de marzo hasta el 18 de noviembre de 2015, en total 242 días. En cuanto a la distribución de las temperaturas muestra periodos de mínimas (línea azul) que están por debajo de los 10°C. Estas temperaturas suceden a principios de primavera y en pleno otoño. Las mínimas con una temperatura más alta corresponden con los meses de verano de forma algo irregular, superando los 20°C. En cuanto a las temperaturas máximas varían entre las máximas de 13°C hasta sobrepasando los 40°C en varias ocasiones durante verano. También se ha calculado las olas de calor y las noches tropicales. En este año del 2015 en la zona del Ayuntamiento (Casa Jiménez) ha salido un total 40 días, es decir el 17% de los datos superó los 35°C de temperatura. En cuanto a las noches tropicales fueron de 51 días (21%) que superaron el umbral de los 20°C de temperatura mínima.

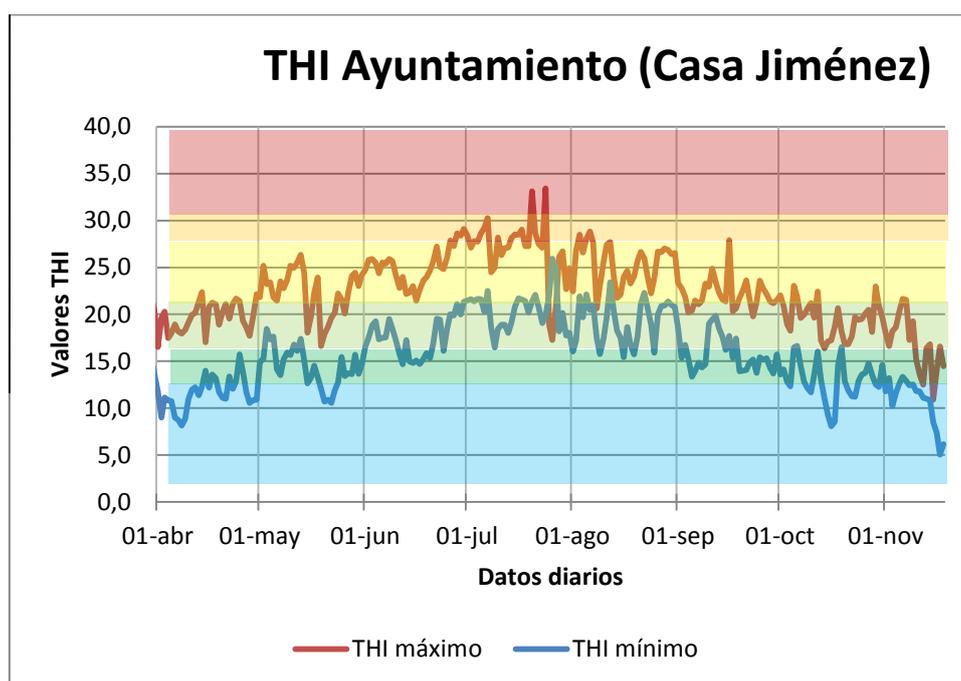


Figura 3. Índice de confort térmico.

En este observatorio (fig. 3) se puede observar la representación de la sensación térmica que tiene el cuerpo humano a una determinada temperatura con una humedad relativa. La variación es muy irregular sobre todo en verano, durante el mes de agosto, las máximas (línea roja) y las mínimas (línea azul) no existe mucha variabilidad. En los meses de primavera y otoño se observa que el confort varía demasiado durante el día, es decir, que por la mañana tenemos una sensación de frío y por el mediodía tenemos una sensación cálida. En este observatorio si observamos entre los meses de junio y julio, que se puede apreciar la duración de las olas de calor, ya que los valores varían de una sensación de muy cálida a bochornosa.

Entre esas sensaciones se encuentra el día 7 de julio, que es cuando se registró la mayor temperatura. Ese día, en el ayuntamiento se obtuvo una sensación térmica de 30,3 (bochornosa), sin embargo está no fue la máxima sensación térmica de los datos registrados, ya que el 23 de julio se llegó a 33,4 de sensación térmica (THI) con una temperatura de 37,2°C y una humedad relativa de 69,2%. El mínimo de sensación térmica se da a finales del periodo del estudio, llegando a bajar hasta un valor de 5, lo que significa una sensación de muy frío. Cabe recordar que esos días las temperaturas llegaban cerca de los 0°C y con una humedad relativa superando los 95%.

2015 AYUNTAMIENTO	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Media
ABRIL	22,9	11,0	16,9
MAYO	27,6	14,4	21,0
JUNIO	32,6	18,3	25,5
JULIO	36,1	21,5	28,8
AGOSTO	32,0	20,1	26,0
SEPTIEMBRE	26,1	15,8	21,0
OCTUBRE	21,6	12,7	17,1
	28,4	16,2	22,3

Tabla 5. Temperaturas medias en el Observatorio del Ayuntamiento.

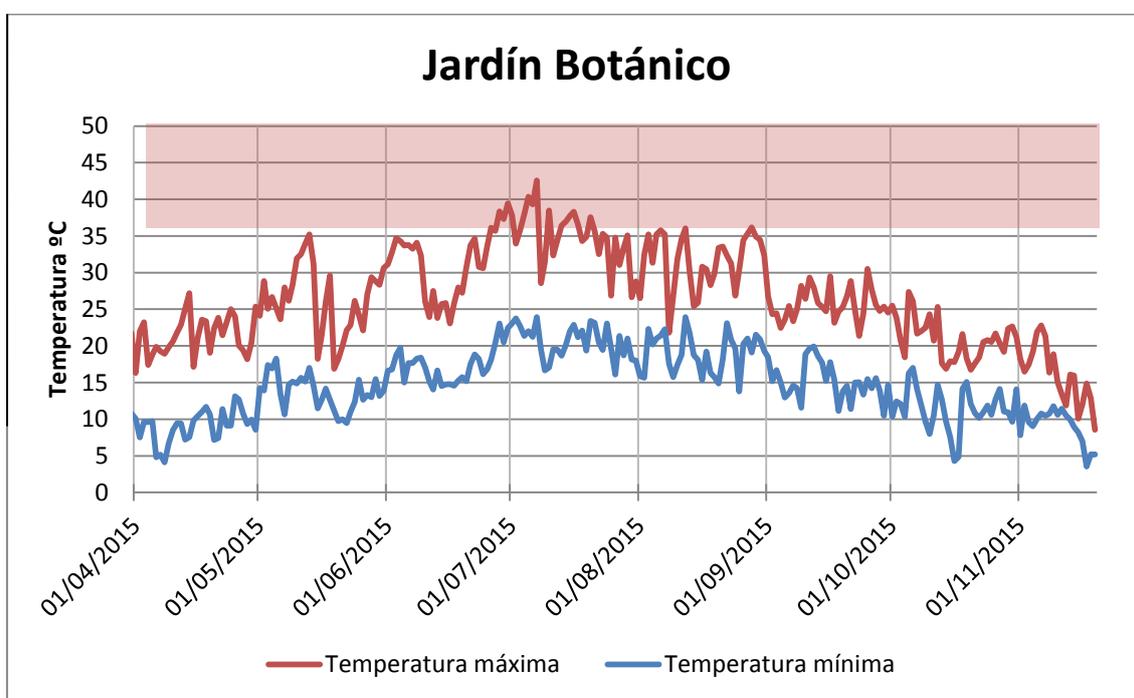


Figura 4. Evolución de las temperaturas.

En este observatorio(fig. 4) se encuentran temperaturas superiores a los 40 °C llegando hasta los 42,5°C el día 7 únicamente a principios de julio cuándo Zaragoza fue afectada por una gran masa de aire cálido, aun así esta zona no fue tan calurosa. En cambio si miramos las temperaturas superiores a los 35°C se concentran mayormente en los meses de julio, agosto y señalar que algún otro día esporádico lo supera. En cuanto a las mínimas, en el verano entre finales de junio y principios de septiembre, casi todos los días superan los 20°C. El 14% de los datos ,es decir, 35 noches sobrepasaron ese umbral y si lo miramos en temperatura máxima superiores a 35°C son 29 días, un 12% del total. Además las olas de calor sucedieron en abril, mayo-junio, julio y agosto. La que más duración tuvo fue de 11 días comprendidos desde el 25 junio al 7 julio. Las temperaturas más bajas corresponden a las influencias de aire algo más frío,

como sucede en octubre y principios de abril, estas dos suceden cuando han comenzado primavera y verano respectivamente.

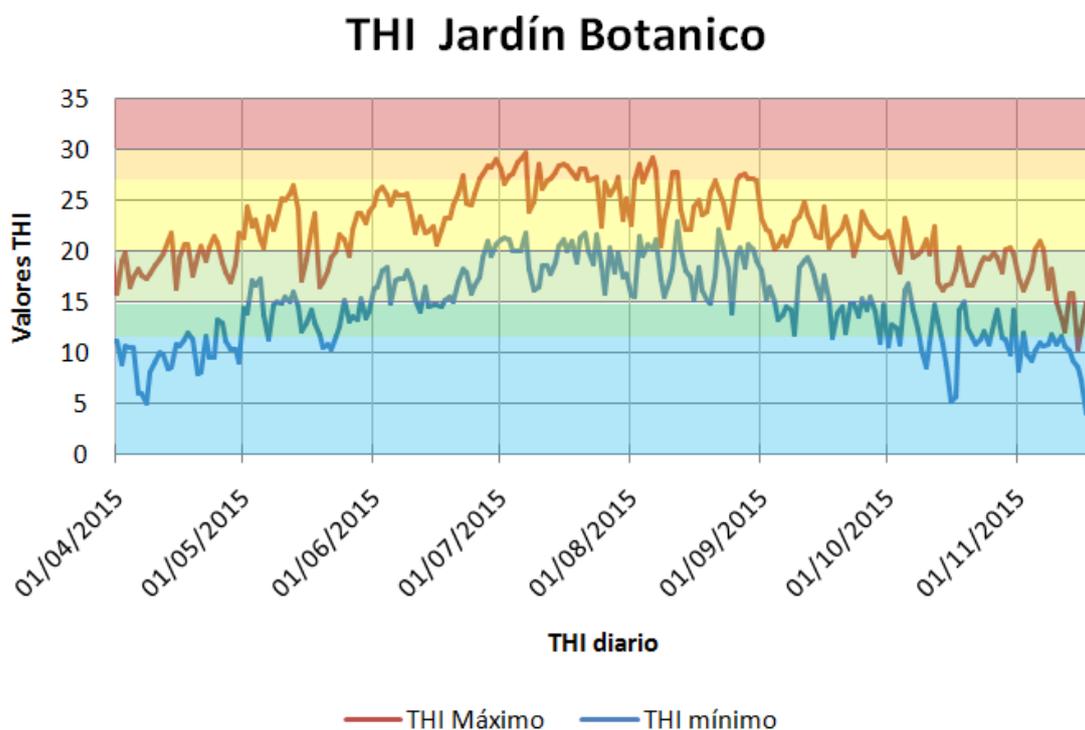


Figura 5. Índice del confort térmico.

En cuanto al índice térmico o THI (fig. 5) tiene una estructura parecida a las temperaturas. Dando unos valores bajos a principios de la primavera y en pleno otoño llegando a valores casi idénticos. Durante esos días se aprecia que tanto los valores máximos y mínimos estaban a poca diferencias entre ellos, dando unos valores de desconfort térmico, si miramos las variables de esos días la humedad máxima y mínima llegaba a superar los 90% y con temperaturas que variaban entre los 13 a 8°C. En cuanto a los valores más altos suceden en verano, llegando casi al umbral de los 30 THI, solo una vez corresponde al día 7 de julio, justo cuando se alcanzó los 42,5 °C con una humedad relativa de 17,3%. Pero ninguna sola vez, en esta zona se llega a sentir una sensación de bochorno. Durante los meses de verano de julio y agosto, los valores sufren periodos de muchas anomalías respecto a las sensaciones térmicas.

2015	Máxima	Mínima	Media
ABRIL	21,4	9,1	15,2
MAYO	26,2	13,7	19,9
JUNIO	31,3	17,3	24,3
JULIO	34,9	20,6	27,7
AGOSTO	31,6	19,0	25,3
SEPTIEMBRE	25,7	15,1	20,4
OCTUBRE	19,1	10,5	14,8
	27,1	15,0	21,1

Tabla 6. Temperaturas medias del observatorio del Jardín Botánico

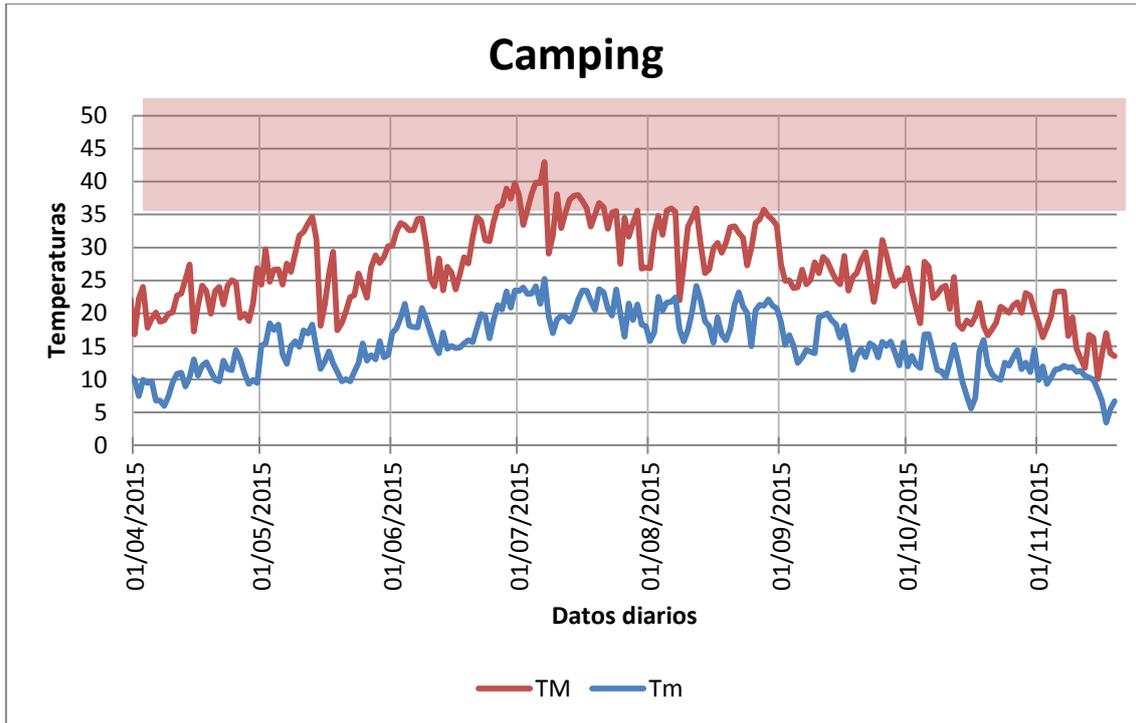


Figura 6. Evolución de las temperaturas.

En el observatorio del camping (fig. 6) las temperaturas persiguen el mismo patrón que los demás modelos. En éste, las temperaturas máximas llegan a superar los 40°C en varias ocasiones seguidas de verano. La máxima llegó a 42,9°C el día 7 de julio. Durante finales de agosto sobrellevan un gran cambio de temperatura llegando a bajar por debajo de los 20°C hasta los 13°C en noviembre. Cuando llega la primavera la temperatura experimenta un aumento mucho más acusado que en otoño, llegando rápidamente a los 34,6°C el 12 de mayo. En las temperaturas mínimas la notoriedad es menor en el periodo estudiado con una mínima de 4°C en noviembre hasta 25°C el 7 de julio. El 12% de los datos, es decir, 28 días superaron los 35°C y en cuanto a las noches fueron el 19% de los casos, 45 noches tuvieron día de noches tropical. En la gráfica se puede observar claramente los episodios de olas de calor con las temperaturas máximas, contabilizamos que hay cuatro olas de calor muy bien definidas. La primera a principios de mayo, la siguiente en junio, julio y finales de agosto. La mayor ola de calor fue la de julio que duro 12 días.

THI Camping

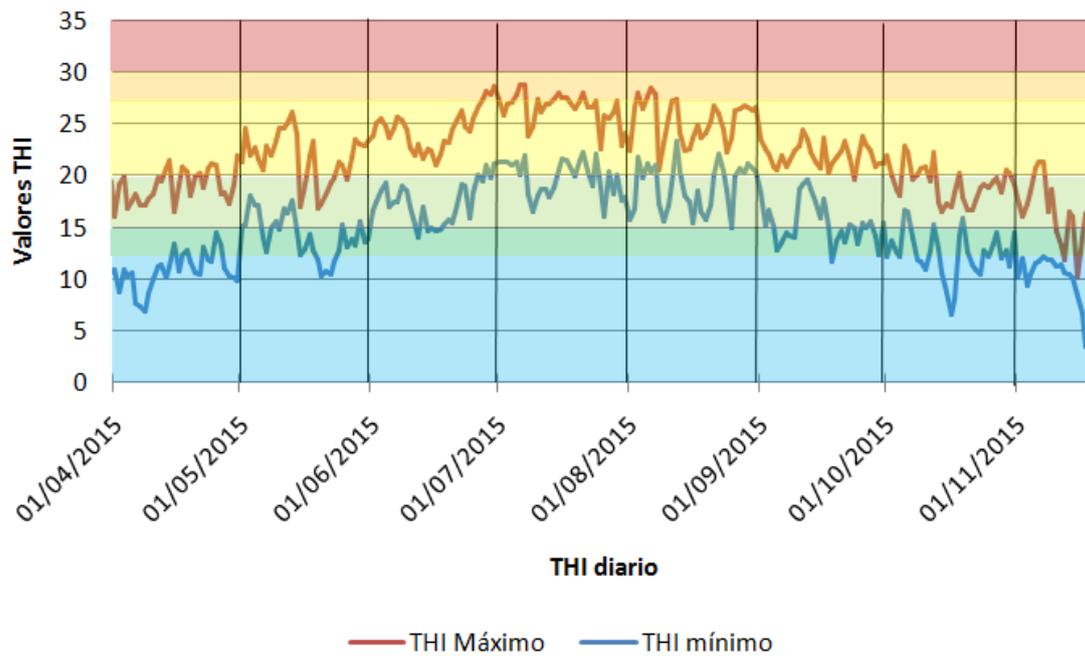


Figura 7. Evolución del índice térmico.

En la (fig. 7) en cuanto a la sensación THI máximo, en este observatorio no se da el caso de una sensación de bochorno, sin embargo la sensación térmica muy cálida también es menor que en otros observatorios, únicamente tiene registros durante julio y algunos días de agosto. En el THI mínimo no tiene una sensación de frío hasta mediados de septiembre que en ese mes los valores variaban entre sensaciones frescas y cálidas. A partir de octubre está sensación de frío se intensifica.

2015	Máxima	Mínima	Media
ABRIL	21,7	10,2	16,0
MAYO	26,3	14,1	20,2
JUNIO	31,0	17,9	24,4
JULIO	34,9	21,1	28,0
AGOSTO	31,7	19,6	25,7
SEPTIEMBRE	26,1	15,5	20,8
OCTUBRE	21,3	12,1	16,7
	27,6	15,8	21,7

Tabla 7. Temperaturas medias del observatorio del Camping de Zaragoza.

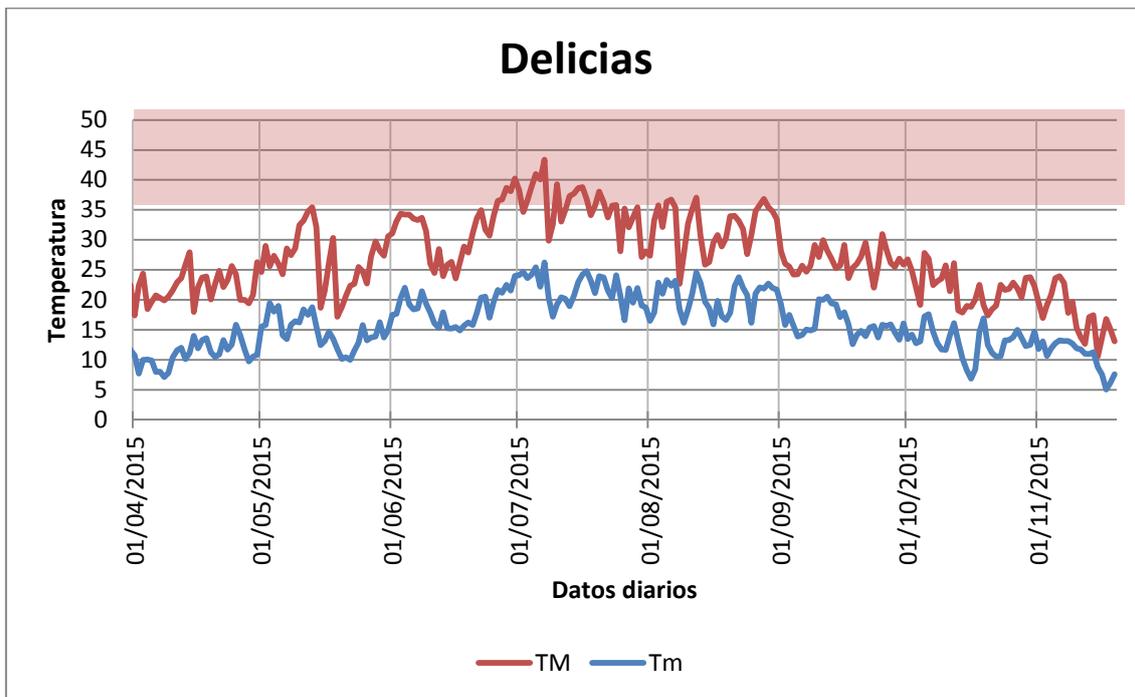


Figura 8. Evolución de las temperaturas.

En este observatorio (fig.8) se observa la distribución de las temperaturas mínimas y máximas. Muestra que las temperaturas máximas (línea roja) se distribuyen de manera más irregular que las mínimas, tomando como máxima el 7 de julio con una temperatura de 43,3°C. Las temperaturas mínimas suceden en dos periodos distintos, a principios de la primavera y en otoño del periodo estudiado que bajan hasta los 5°C, la mínima más alta sucedió también el 7 de julio que alcanzó los 25°C. Las olas de calor sucedieron en los meses de mayo, junio, junio-julio y agosto. En el mes de mayo la temperatura llegó hasta los 34,7°C el día 12. La ola de calor más duradera con 13 días seguidos con temperaturas superiores a 35°C, excepto un día que estuvo cerca de alcanzarlo en las fechas de 25 junio al 7 de julio. El 14% de los datos, es decir tuvo 34 días con temperaturas superiores de 35°C. Las noches tropicales fueron del 22%, es decir, 54 días cuyas temperaturas mínimas superaron los 20°C.

THI Delicias

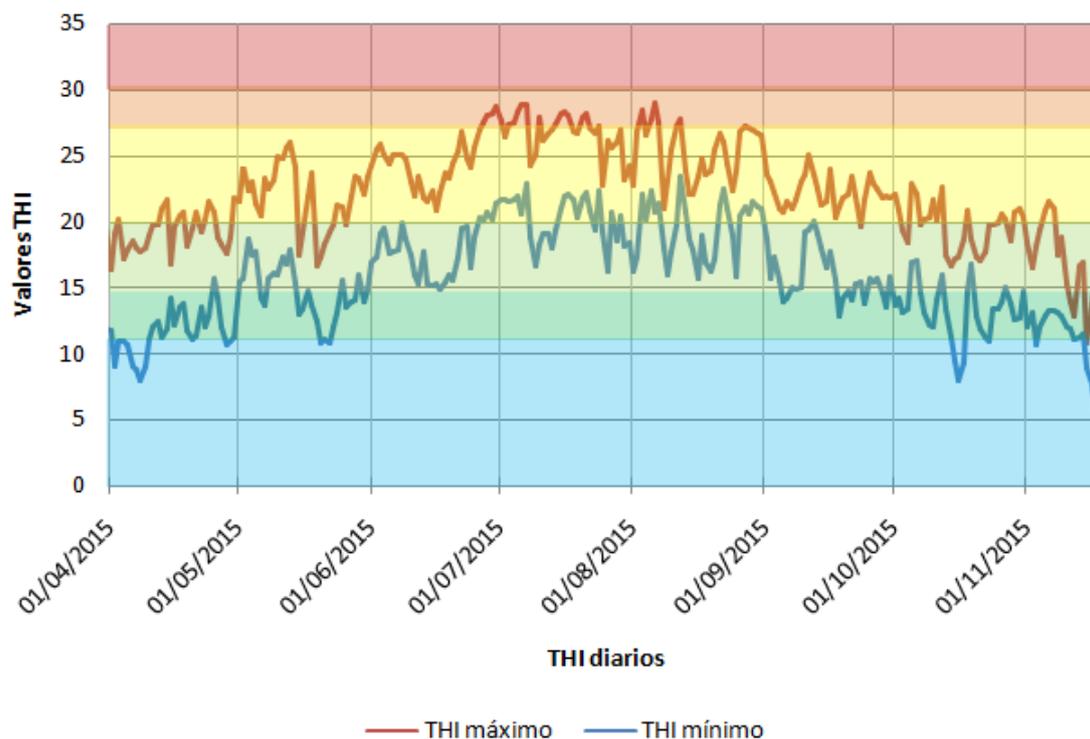


Figura 9. Evolución del índice térmico.

En cuanto a la sensación térmica, este observatorio (fig. 9) no registro un ambiente de bochorno, no supero el valor de 30 de THI, la máxima que obtuvo fue el día 6 de agosto con 29,03 de THI con una temperatura de 36,7°C y una humedad relativa de 37,1%. El valor más bajo se obtuvo el día 17 noviembre con un valor de 5,17 THI con una temperatura de 5°C y una humedad relativa del 97%, con un valor muy parecido al mes de marzo.

2015	Máxima	Mínima	Media
ABRIL	22,1	11,0	16,5
MAYO	26,6	14,7	20,6
JUNIO	31,6	18,5	25,1
JULIO	35,5	21,8	28,7
AGOSTO	32,2	20,3	26,2
SEPTIEMBRE	26,5	16,1	21,3
OCTUBRE	22,0	12,9	17,4
	28,0	16,5	22,3

Tabla 8. Temperaturas medias en el observatorio de Delicias

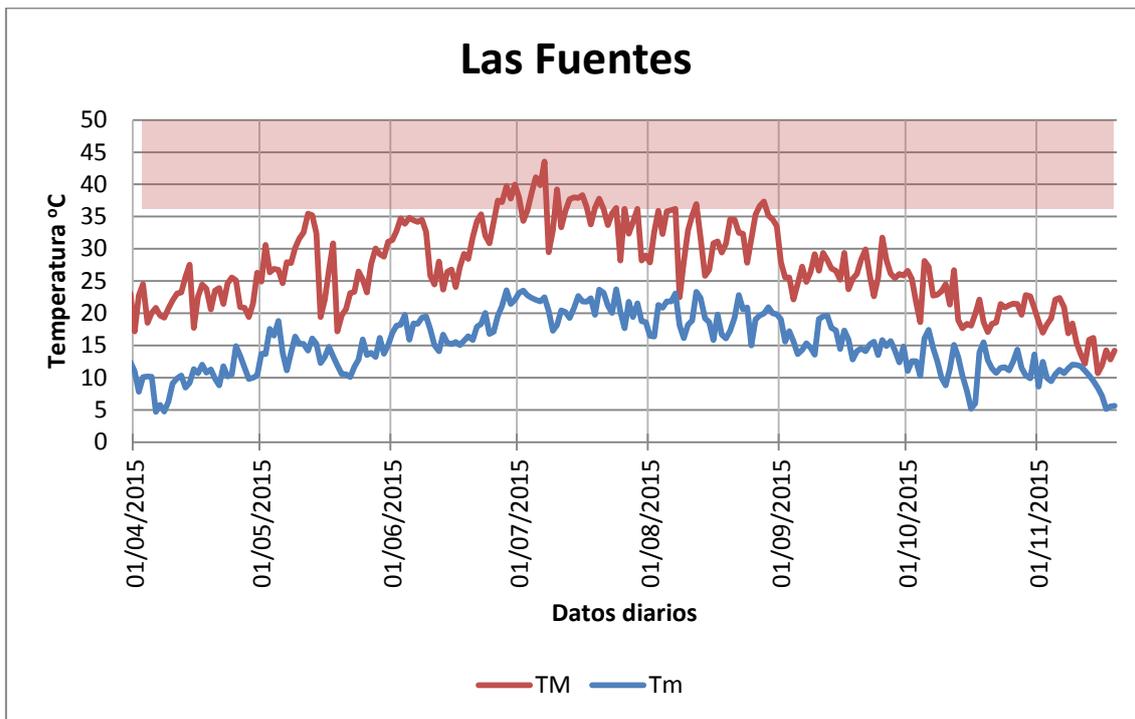


Figura 10. Evolución de las temperaturas.

En esta parte de la ciudad (fig. 10) las temperaturas superan los 40°C durante una ola de calor llegando hasta los 43,5°C el día 7 de julio. Las temperaturas máximas durante el comienzo de la primavera y en otoño alcanzan temperaturas inferiores de los 10°C. La temperatura mínima (línea azul) alcanzó su valor más alto el 20 de julio con una máxima de 23,6°C. El 16% de los datos, es decir, 38 días superaron los 35°C y de noches tropicales fue de un 17%, es decir 40 días lo superaron.

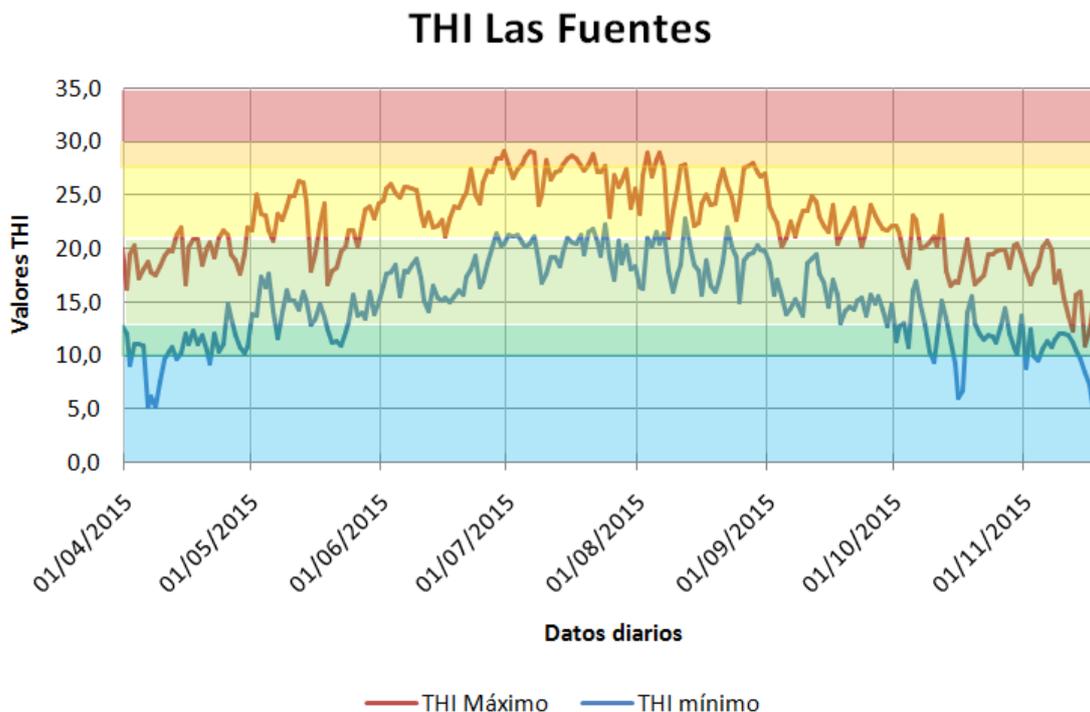


Figura 11. Evolución del índice térmico.

En cuanto a sensación térmica de Las Fuentes (fig. 11) enmarcarla como un año sin sensación de bochorno, aunque se superó los 43°C. Si comentamos las demás olas de calor decir que superan por poco la línea de los 25 THI, es decir que la sensación percibida por las personas es de cálida. Los valores más bajos del THI máximo se dan en marzo y en noviembre. El THI mínimo ronda entre los 5 y 22,8, el cual su valor máximo dado fue el 12 de agosto, esa noche tuvo una sensación de disconfort térmico a la hora de dormir. Las sensaciones más bajas suceden cuando la humedad relativa es muy alta, rozando el 100%.

2015	Máxima	Mínima	Media
ABRIL	22,3	9,8	16,0
MAYO	27,0	14,0	20,5
JUNIO	31,9	17,8	24,9
JULIO	35,6	21,1	28,3
AGOSTO	32,4	19,4	25,9
SEPTIEMBRE	26,6	15,6	21,1
OCTUBRE	21,6	11,8	16,7
	28,2	15,7	21,9

Tabla 9: Temperaturas medias en el observatorio de Las Fuentes.

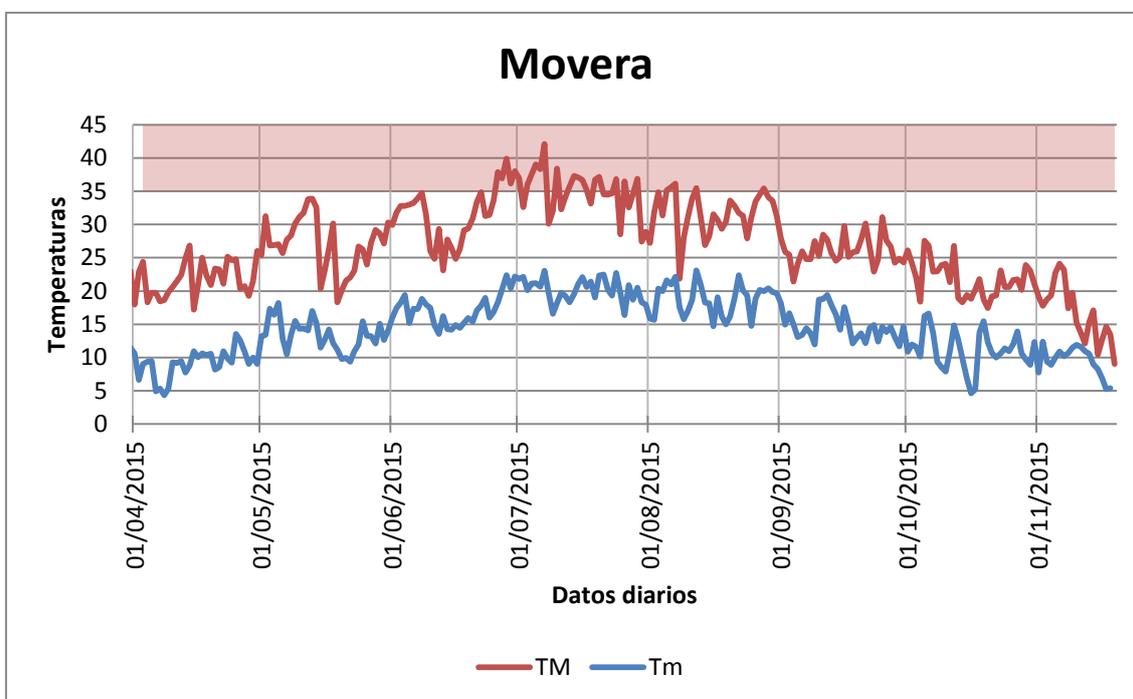


Figura 12. Evolución de las temperaturas.

En este observatorio (fig. 12) se percibe la distribución de las temperaturas mínimas y máximas. Se encuentra un modelo en el que las temperaturas máximas (línea roja) se distribuyen de manera más anómala que las mínimas, tomando como máxima el 7 de julio con una temperatura de 42,1°C. Las temperaturas mínimas ocurren en dos periodos desiguales, a principios de la primavera y en otoño del periodo estudiado que bajan hasta los 5°C, la mínima más alta transcurrió el 7 de julio que alcanzó los 25°C. Las olas de calor recorrieron los meses de mayo, junio, junio-julio y agosto. En el mes de mayo la temperatura llegó hasta los 33,9°C el día 13. La ola de calor más larga fue de 11 días seguidos con temperaturas que alcanzaron los 35°C, excepto un día que estuvo cerca de lograrlo 26 junio al 7 de julio. El 11% de los datos, es decir, 27 días estuvo con temperaturas superiores de 35°C. También las noches tropicales obtuvieron el 13% de los datos, es decir 31 días cuyas temperaturas mínimas superaron los 20°C.

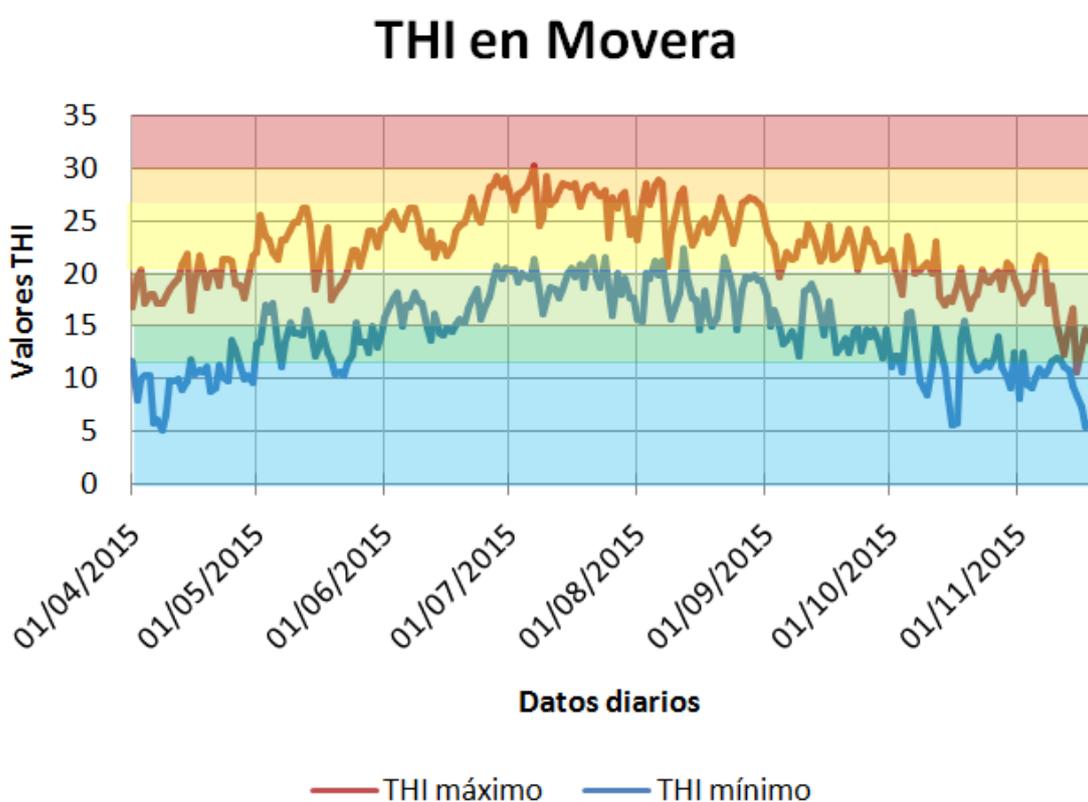


Figura 13. Evolución del índice térmico.

El confort térmico en la zona de este observatorio (fig. 13) de Movera consiguió llegar al valor de 30 THI, por lo que tuvo un episodio de sensación de bochorno. En la gráfica, en el THI máximo (línea roja), en el momento de la ola de calor de junio-julio aumentaron durante todos los días los valores rozando valores de 27 THI, es decir que en esta zona fue muy calurosa. En el caso del THI mínimo durante esa ola de calor alcanzaron valores superiores a 20, por lo que la sensación mínima durante la noche era sofocante e incómoda para dormir.

2015	Máxima	Mínima	Media
ABRIL	21,8	9,1	15,4
MAYO	27,0	13,4	20,2
JUNIO	31,5	17,1	24,3
JULIO	35,0	20,2	27,6
AGOSTO	31,7	18,8	25,2
SEPTIEMBRE	26,1	14,8	20,4
OCTUBRE	21,8	11,1	16,5
	27,8	14,9	21,4

Tabla 10. Temperaturas medias del observatorio de Movera. .

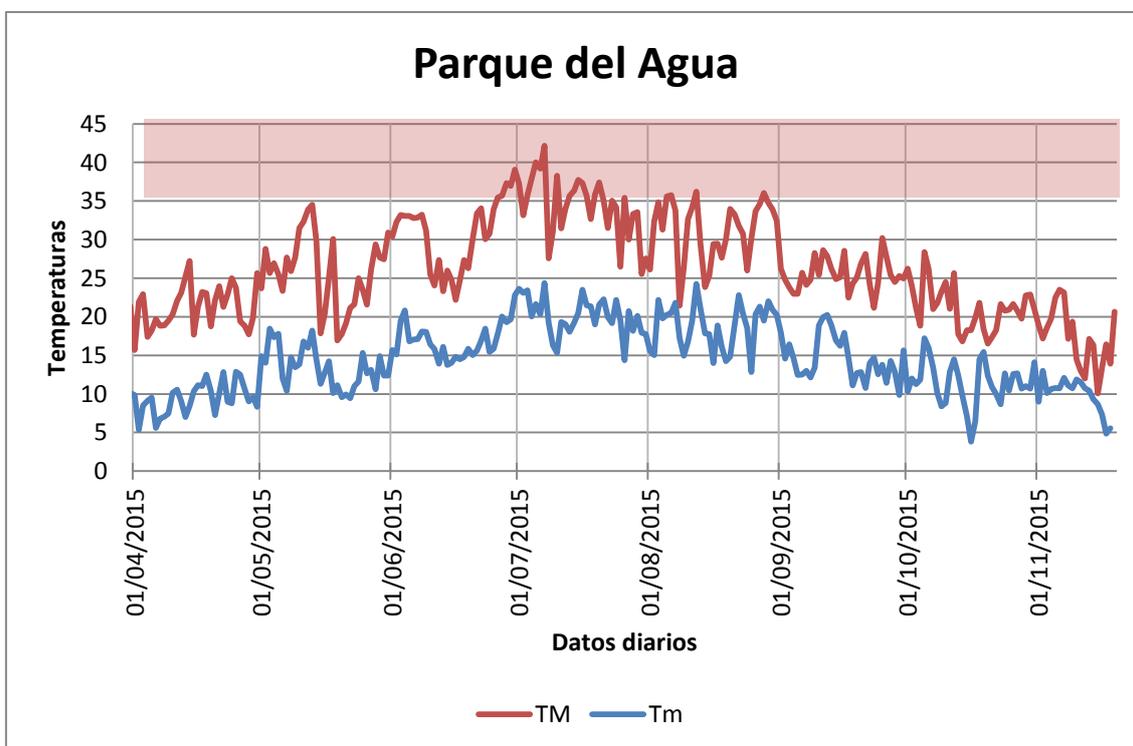


Figura 14. Evolución de las temperaturas de marzo a noviembre de 2015

En la (fig. 14) la distribución de la temperatura máxima (línea roja), se puede observar que el máximo llega hasta los 42,1°C el día 7 de julio. Además los días anteriores de ese máximo llegaron a los 40°C. Durante la primavera la temperatura máxima llegaba a los 20°C y a finales del otoño se alcanzó 15°C. Respecto a las temperaturas mínimas se puede diferenciar dos espacios, a principios de la primavera y en otoño del periodo estudiado que bajan hasta los 5°C, la mínima más alta que transcurre en verano, y la temperatura más alta que corresponde al 7 de julio el cual alcanzo los 24,3°C . Las olas de calor fueron en los meses de mayo, junio, junio-julio y agosto. En el mes de mayo la temperatura llegó hasta los 34,5°C el día 13. La ola de calor más duradera con 12 días seguidos tuvo temperaturas que alcanzaron los 35°C, del 26 junio al 7 de julio. El 10% de los datos, es decir 25 días tuvieron temperaturas superiores de

35°C. También las noches tropicales el 13% de los datos, es decir 33 días con temperaturas mínimas que superaron los 20°C.

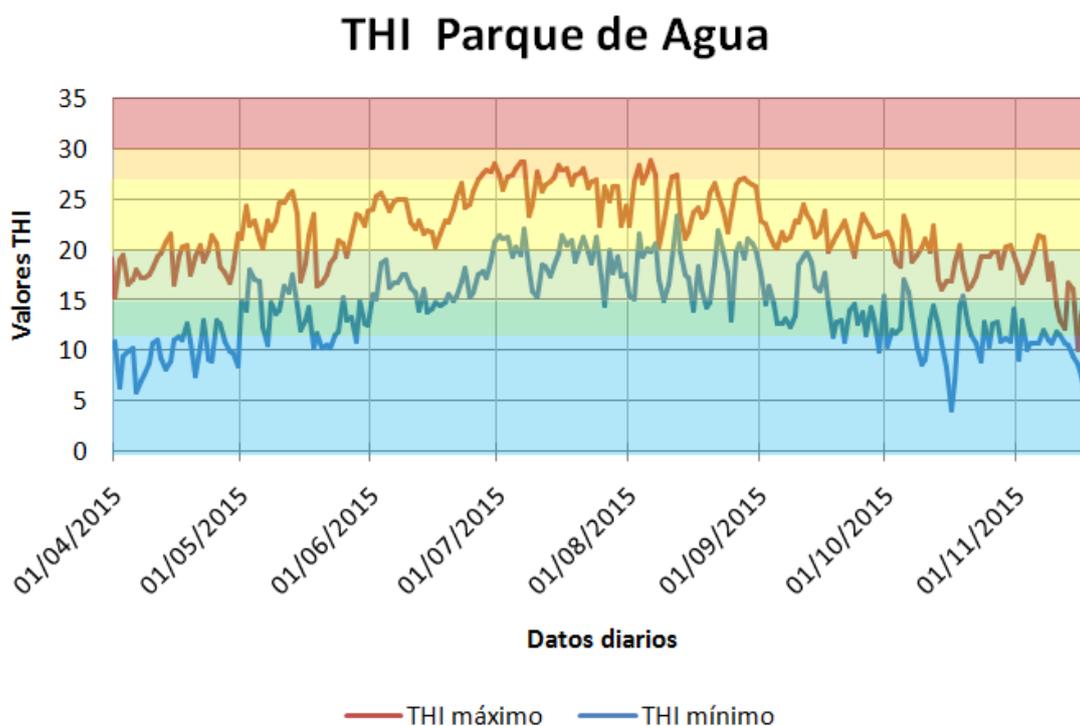


Figura 15. Evolución del índice térmico.

Si miramos en la gráfica de THI (fig. 15) observamos en primera instancia que en ningún caso se supera el umbral de los 30, el valor máximo que consigue es de 28,42 y que sucede el día 3 de agosto y no el 7 de julio que se da la temperatura más alta, para ese día se obtuvo una sensación muy parecida de 28, prácticamente inapreciable para el ser humano. El valor más bajo se obtuvo el día 16 de octubre con un valor de 4,07 THI con 3,8°C de temperatura y una humedad relativa del 95,8%.

2015	Máxima	Mínima	Media
ABRIL	21,2	9,4	15,3
MAYO	25,6	13,4	19,5
JUNIO	30,7	16,8	23,8
JULIO	34,3	20,1	27,2
AGOSTO	31,2	18,7	24,9
SEPTIEMBRE	25,5	14,6	20,0
OCTUBRE	21,2	11,4	16,3
	27,1	14,9	21,0

Tabla 11. Temperaturas medias del observatorio del Parque del Agua.

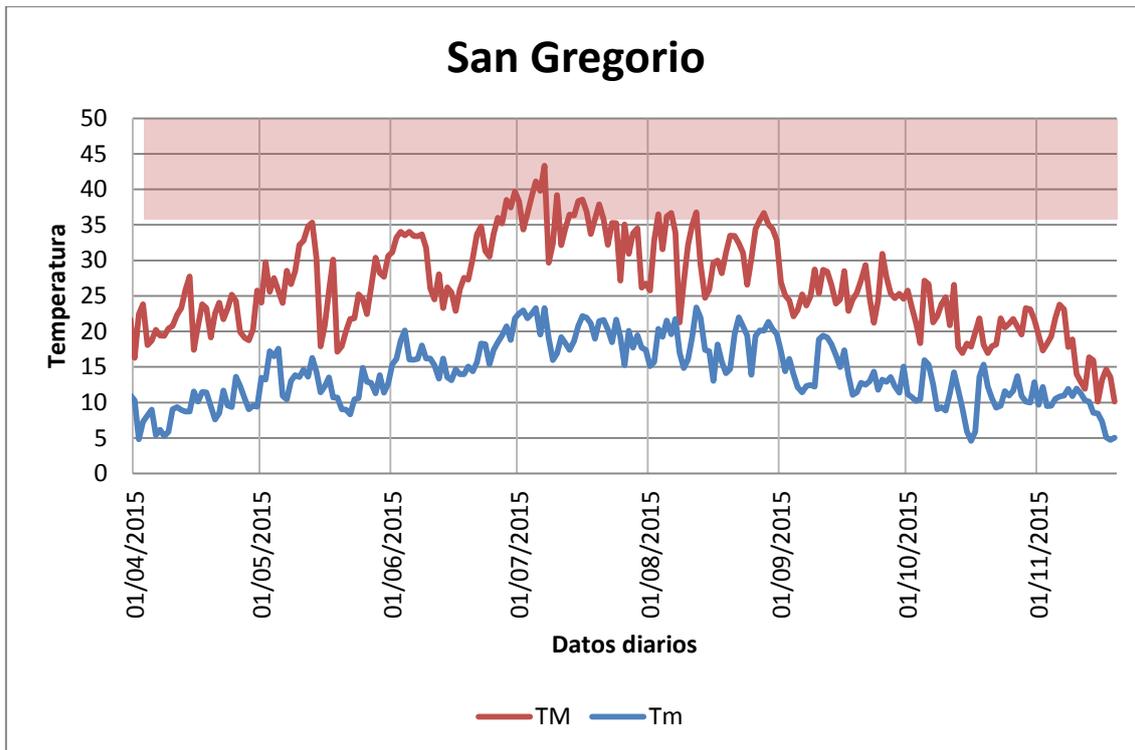


Figura 16. Evolución de las temperaturas.

En este observatorio (fig. 16) las temperaturas máximas llegan a superar los 40°C, en varias ocasiones seguidas en verano la máxima llegó a 43,3°C el día 7 de julio. A finales de agosto las temperaturas experimentan un gran cambio de temperatura llegando a bajar por debajo de los 30°C hasta los 10°C en noviembre. En primavera la temperatura experimenta un aumento mucho más acusado que en otoño, llegando rápidamente a los 35,3°C el 13 de mayo. En las temperaturas mínimas la más alta sucede en 23,28°C dando el 7 de julio. En la gráfica se puede ver con claridad las olas de calor. En las temperaturas máximas y mínimas, observamos que hay cuatro olas de calor muy bien definidas. La primera a principios de mayo, la siguiente en junio, julio y finales de agosto. La mayor ola de calor fue la de julio que duró 13 días, del 26 de junio al 7 de julio. El 13% de los datos, es decir 31 días superaron los 35°C y en cuanto a las noches fue del 12% de los casos, por lo tanto 29 noches tuvieron día de noches tropicales.

THI San Gregorio

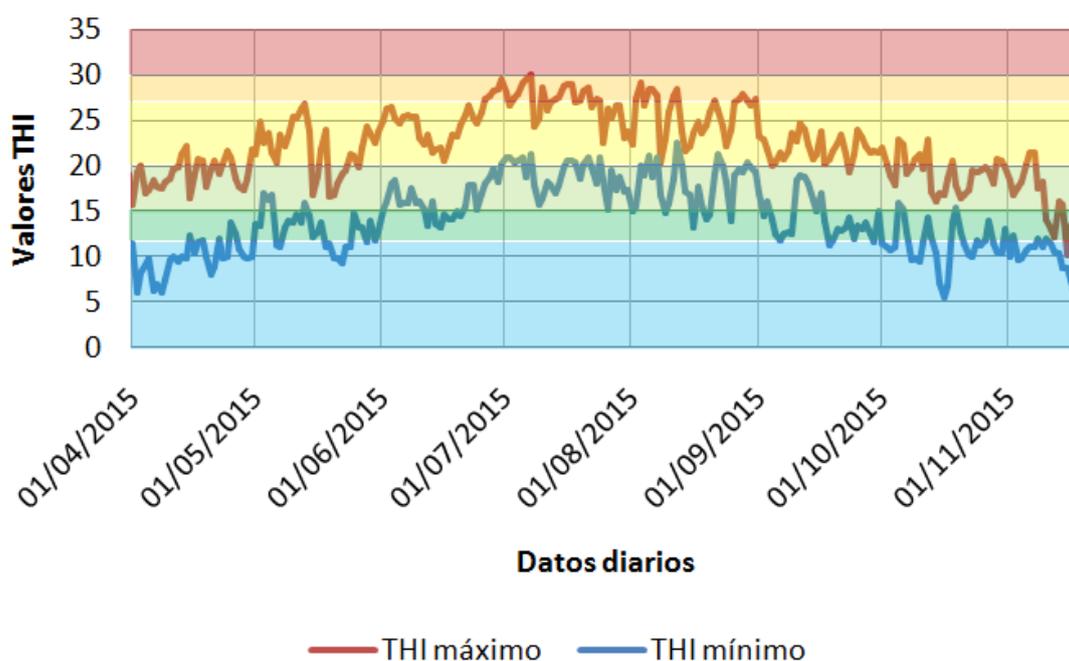


Figura 17. Evolución del índice térmico.

Al mirar el confort térmico en la zona de este observatorio (fig. 17) de San Gregorio se observa en varias ocasiones los 30 THI, esto nos indica que ha tenido un verano muy cálido. En la gráfica el THI máximo (línea roja), en el momento de la ola de calor de junio-julio aumentó durante todos los días los valores a 30 THI y en la ola de calor de agosto roza casi ese valor en numerosas ocasiones. En el caso del THI mínimo durante esa ola de calor alcanzaron valores superiores a 20, durante varios días seguidos por lo que la sensación mínima durante la noche era incómoda.

2015	Máxima	Mínima	Media
ABRIL	21,6	9,1	15,3
MAYO	26,3	12,7	19,5
JUNIO	31,2	16,6	23,9
JULIO	35,1	19,9	27,5
AGOSTO	31,6	18,5	25,1
SEPTIEMBRE	25,6	14,2	19,9
OCTUBRE	21,3	10,9	16,1
	27,5	14,6	21,0

Tabla 12. Representación de las temperaturas medias del observatorio de San Gregorio.

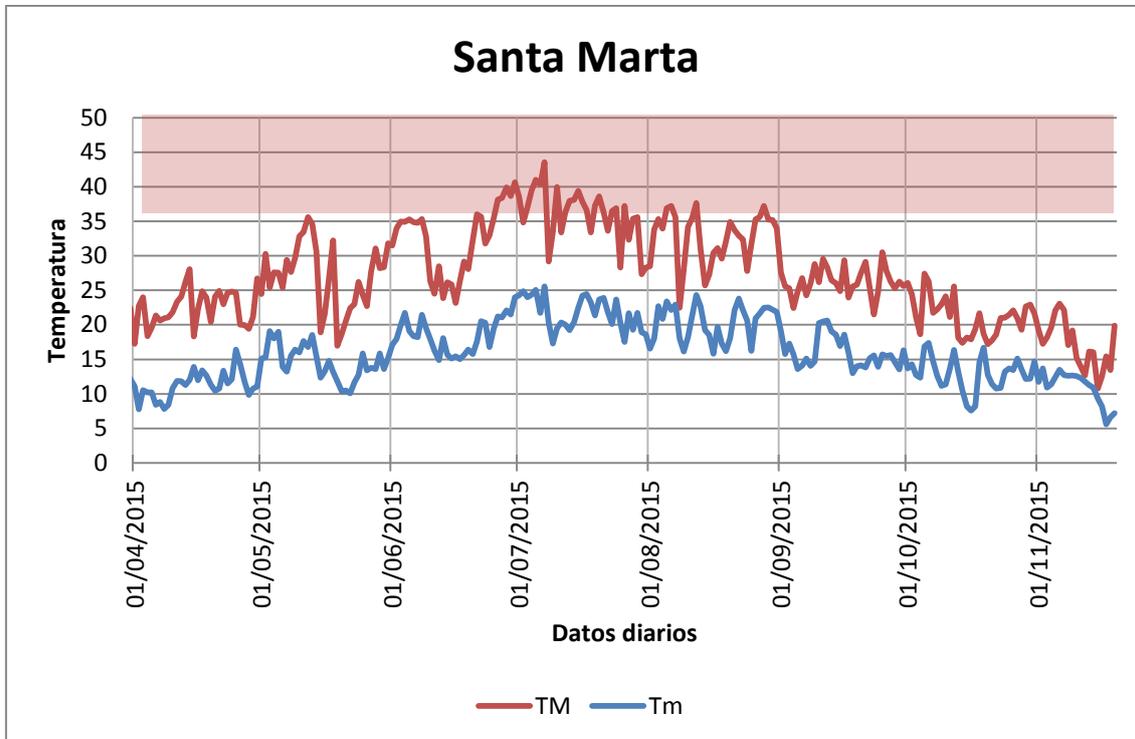


Figura 18. Evolución de las temperaturas.

En este observatorio (fig. 18) podemos ver que la máxima temperatura se alcanzó el 7 de julio con 43,5°C, una de las mayores de la ciudad. Las temperaturas máximas en el comienzo de la primavera y en otoño alcanzando temperaturas por debajo de los 15°C. Las temperaturas mínimas (línea azul) alcanzaron sus valores más altos el 7 de julio con una máxima de 25,5°C. Las olas de calor fueron 4, tres de ellas están muy bien definidas, mientras la de agosto se presenta de forma irregular. La ola con mayor duración fue de 13 días en el periodo del 26 de junio al 7 de julio. Un 18% de los datos, es decir 43 días superaron los 35°C y de noches tropicales fue de un 22%, es decir 54 días lo superaron.

THI Plaza de Santa Marta

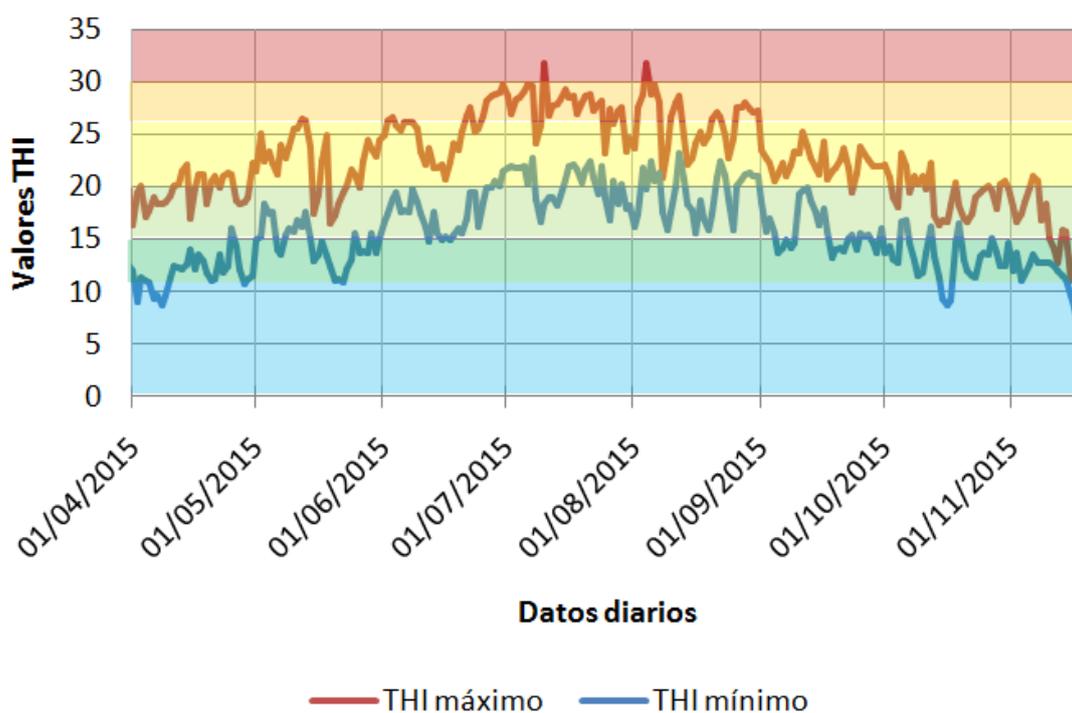


Figura 19. Evolución del índice térmico.

En la gráfica del confort térmico de la zona de este observatorio (fig. 19) de San Gregorio alcanzó en varias ocasiones los 30 THI, esto expresa que ha tenido un verano bochornoso, el THI máximo (línea roja), se observa que los valores superiores a 30, son el día 10 de julio y el 4 de agosto. En el caso del THI mínimo, su punto máximo fue de 23,25 que sucedió el 12 de agosto. El valor mínimo fue el 17 de noviembre con solo 6,06°THI.

2015	Máxima	Mínima	Media
ABRIL	22,4	11,2	16,8
MAYO	27,0	14,6	20,8
JUNIO	32,3	18,5	25,4
JULIO	35,9	21,7	28,8
AGOSTO	32,6	20,3	26,5
SEPTIEMBRE	26,3	16,0	21,1
OCTUBRE	19,7	12,2	15,9
	28,0	16,4	22,2

Tabla 13. Temperaturas medias del observatorio de la Plaza de Santa Marta.

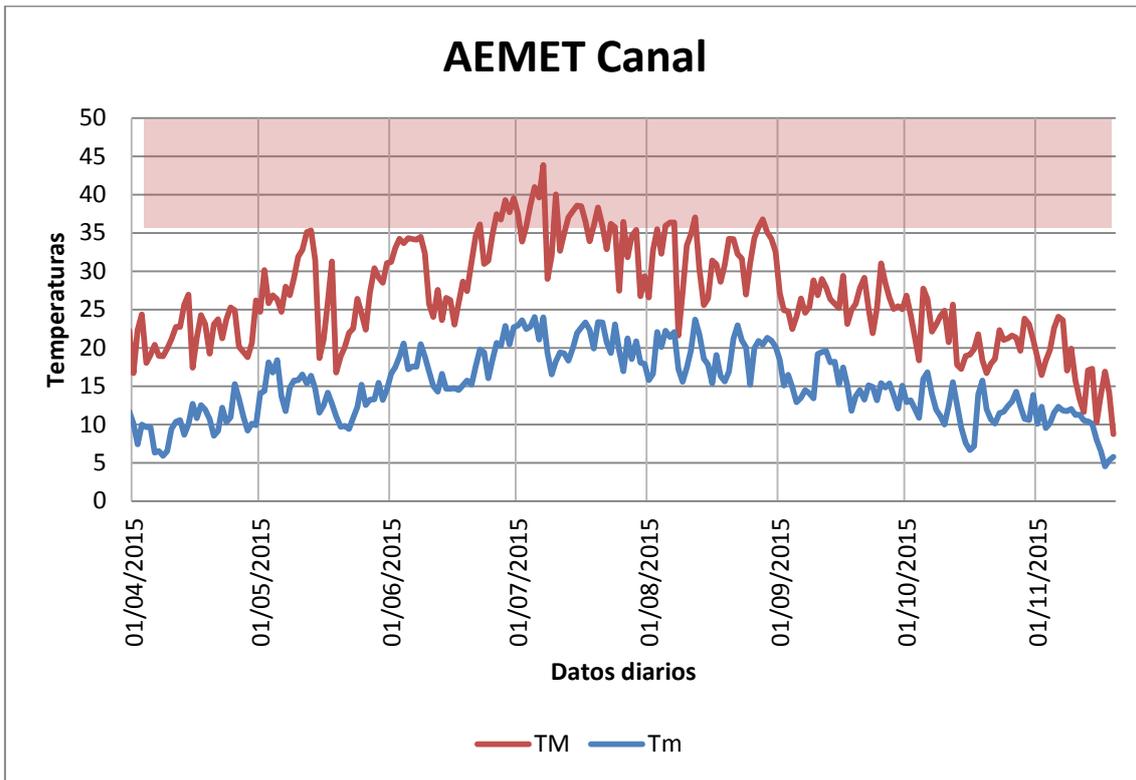


Figura 20. Evolución de las temperaturas

La distribución de este observatorio (fig.20) muestra el periodo de mínimas (línea azul) que están por debajo de los 10°C. Estas temperaturas ocurren a inicios de primavera y en pleno otoño. Las mínimas con una temperatura más alta corresponden con los meses de verano de forma algo irregular, superando los 20°C, llegando a 23,7°C el 12 de agosto. En cuanto a las temperaturas máximas varían entre las máximas de 13°C hasta sobrepasando los 40°C en varias ocasiones durante el verano. La máxima obtuvo un valor de 43,8°C del día 7 de julio. El 14% de los datos de este observatorio superó los 35°C de temperatura. En cuanto a las noches tropicales fueron de 41 días (17%) que superó el umbral de los 20°C de temperatura mínima.

THI Aemet-Canal

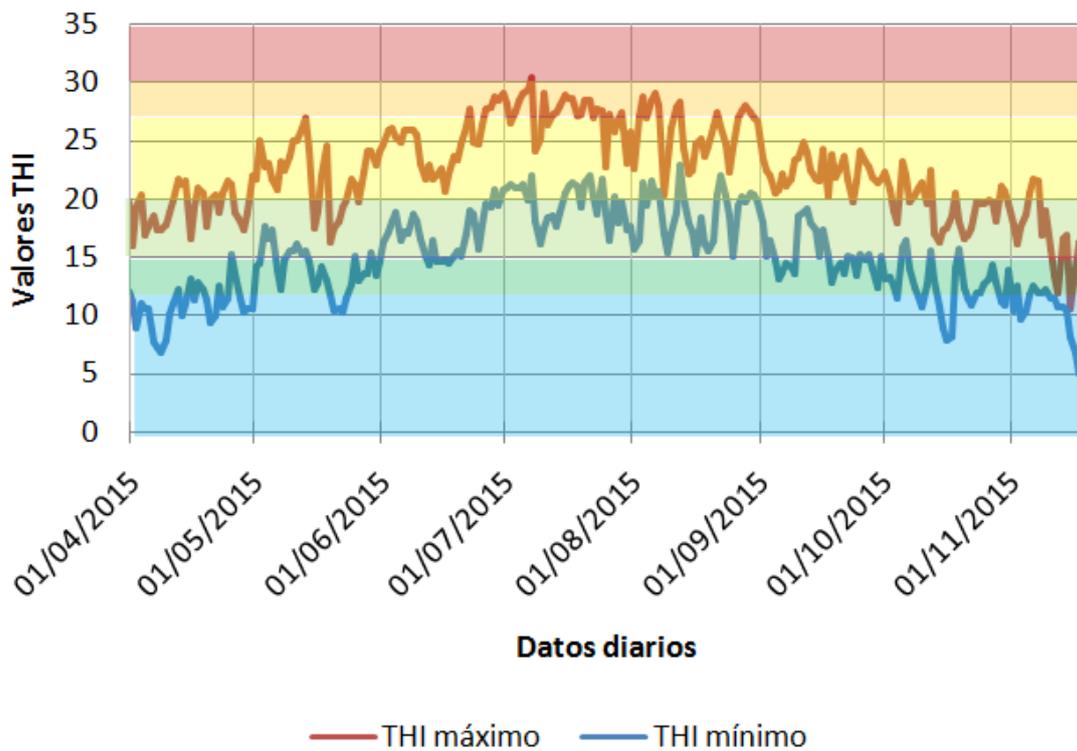


Figura 21. Evolución del índice térmico.

La gráfica (fig. 21) del confort térmico en la zona de este observatorio de San Gregorio en varias ocasiones alcanza los 30 THI. En la gráfica, en el THI máximo (línea roja), en el momento de la ola de calor de junio-julio aumentaron durante todos los días los valores a 30 THI y en la ola de calor de agosto rozó casi ese valor en numerosas ocasiones. En el caso del THI mínimo durante esa ola de calor alcanzaron valores superiores a 20 durante varios días seguidos por lo que la sensación mínima durante la noche era incómoda.

2015	Máxima	Mínima	Media
ABRIL	21,7	10,0	15,8
MAYO	26,6	13,8	20,2
JUNIO	31,7	17,7	24,7
JULIO	35,1	20,7	27,9
AGOSTO	32,0	19,3	25,7
SEPTIEMBRE	26,1	15,3	20,7
OCTUBRE	21,5	12,0	16,8
	27,8	15,5	21,7

Tabla 14. Temperaturas medias del observatorio del Canal en Torrero.

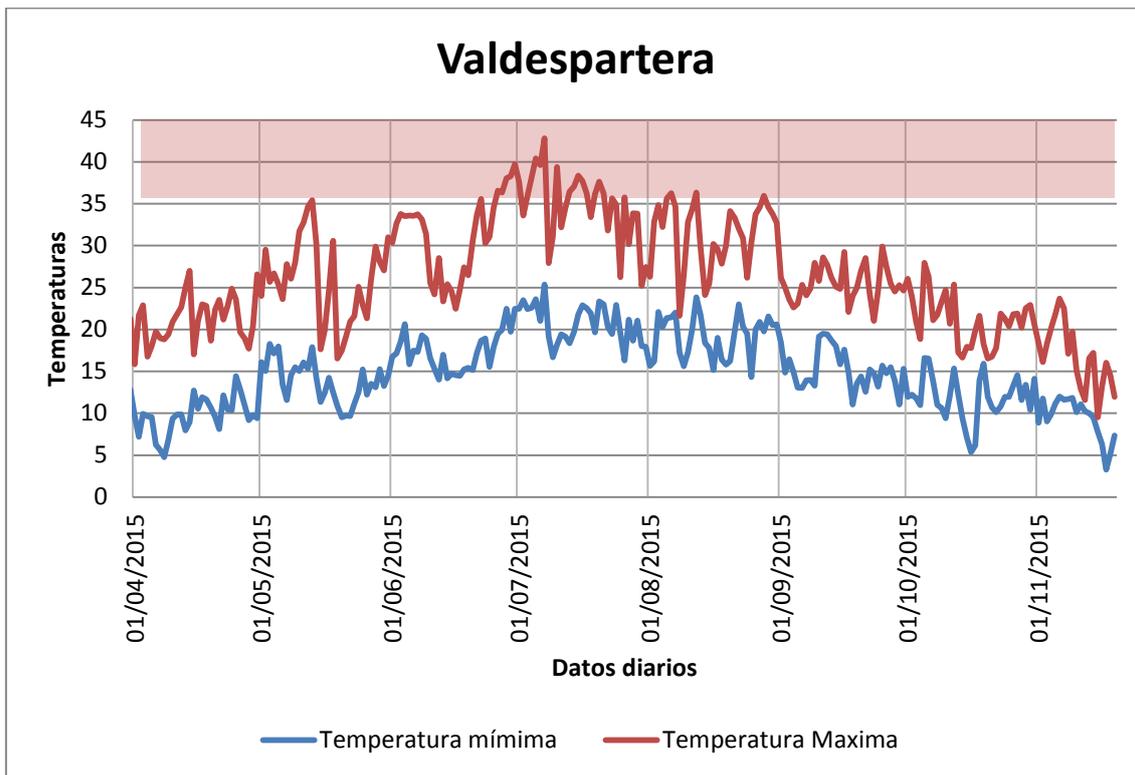


Figura 22. Evolución de las temperaturas.

Las temperaturas en el observatorio (fig. 22) de Valdespartera presentan una máxima de 42,8°C el día 7 de julio, además se puede ver que las temperaturas máximas (línea roja) en el comienzo de la primavera y en otoño alcanzan temperaturas en torno a 10°C. La temperatura mínimas (línea azul) alcanzo su valor más alto el 7 de julio con un máximo de 25,3°C. Las olas de calor fueron 4, tres de ellas están muy bien definidas, mientras que la de agosto se presenta de forma irregular. La ola con mayor duración fue de 11 días en el periodo del 27 de junio al 7 de julio. El porcentaje de tener ola de calor es de 14%, es decir 35 días superaron los 35°C y de noches tropicales fue de un 12%, es decir 28 días que superaron 20°C de mínima.

THI Valdespartera

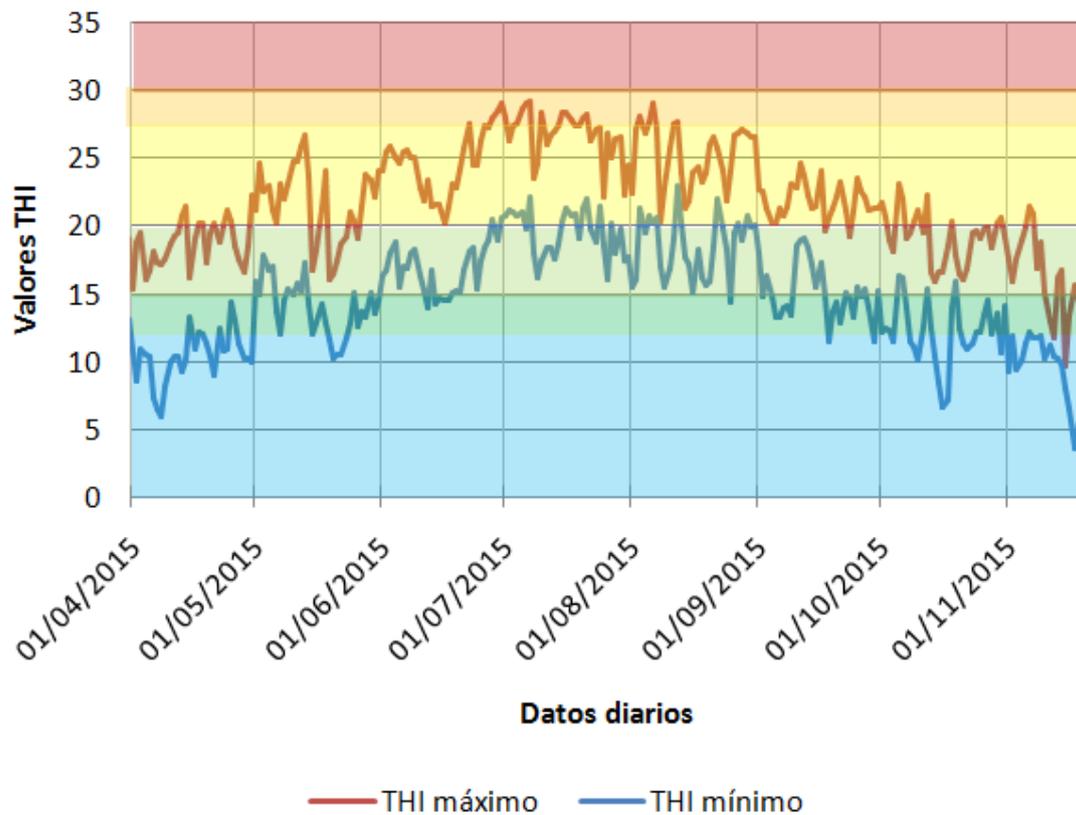


Figura 23. Evolución del índice térmico.

En la gráfica del confort térmico de la zona del observatorio (fig. 23) de Valdespartera no presenta en ninguna ocasión el umbral 30 THI, no hay sensación bochornosa, pero sí muy calurosa. El THI máximo (línea roja), se observa que los valores más altos son el 7 de julio con un valor de 29,2. En el caso del THI mínimo, su punto máximo fue de 22,7 que sucedió el 12 de agosto. El valor mínimo fue el 17 de noviembre con solo 3,03 THI.

2015	Máxima	Mínima	Media
ABRIL	21,1	9,7	15,4
MAYO	25,9	13,8	19,8
JUNIO	31,1	17,4	24,2
JULIO	34,8	20,7	27,7
AGOSTO	31,4	19,2	25,3
SEPTIEMBRE	25,5	15,2	20,3
OCTUBRE	21,1	11,9	16,5
	27,3	15,4	21,3

Tabla 15. Temperaturas medias del observatorio de Valdespartera

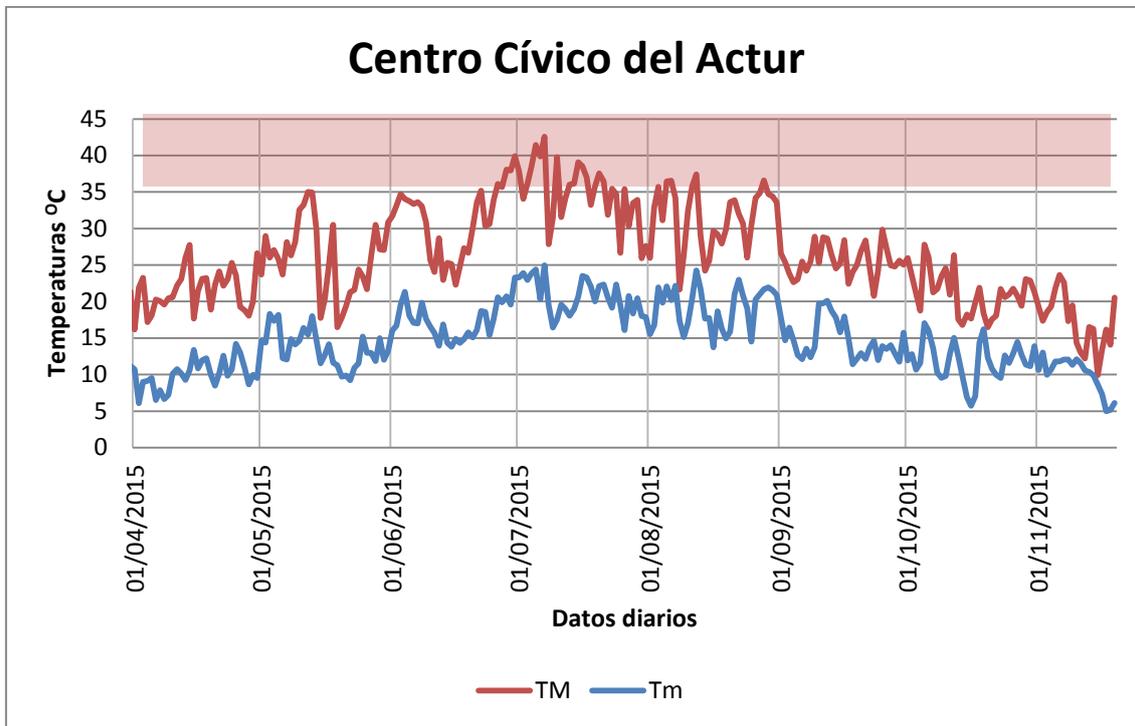


Figura 24. Evolución de las temperaturas.

En este observatorio(fig. 24) distinguimos las temperaturas mínimas y máximas las cuales tienen una distribución en las temperaturas máximas (línea roja) y que se distribuyen de forma paralela tomando como máxima el 7 de julio con una temperatura de 42,5°C. Las temperaturas mínimas ocurren en dos periodos distintos, que ocurren a principios de la primavera y en otoño del periodo estudiado que bajan hasta los 5°C, la mínima más alta transcurrió el 7 de julio que alcanzó los 24,2°C .Las olas de calor recorrieron en los meses de mayo, junio, junio-julio y agosto. La ola de calor más duradera con 11 días seguidos con temperaturas alcanzaron los 35°C, excepto un día que estuvo cerca de alcanzarlo el 26 junio al 7 de julio. También se encuentra otra ola de calor anómala cuya temperatura llegó hasta los 34,9°C durante dos días 12 y 13 de mayo. El porcentaje de que este barrio haya sufrido una ola de calor ha sido de 12%, es decir, 29 días con temperaturas superiores de 35°C. También las noches tropicales obtuvieron un riesgo de 16%, es decir 39 días cuyas temperaturas mínimas resaltaron los 20°C.

THI Centro Civico Actur

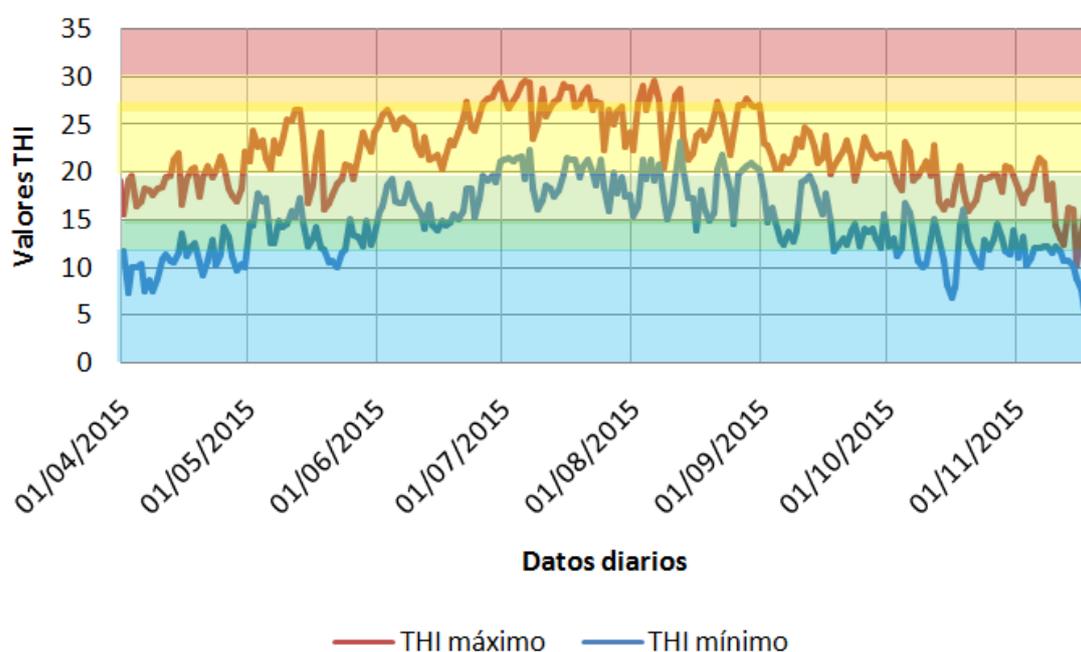


Figura 25. Evolución del índice térmico del observatorio del Centro Cívico del Actur.

Al observar en la gráfica de THI (fig. 25) notamos en este observatorio que no llega a superar el umbral de los 30, el valor máximo que consigue es 29,82 que sucede el día 7 de julio y coincide justo con la temperatura más alta. El valor más bajo se obtuvo el día 16 de octubre con un valor de 4,07 THI con 3,8°C de temperatura y una humedad relativa del 95,8%.

2015	TM	Tm	Media
ABRIL	21,4	9,9	15,7
MAYO	25,9	13,5	19,7
JUNIO	31,0	17,3	24,2
JULIO	34,8	20,6	27,7
AGOSTO	31,5	19,1	25,3
SEPTIEMBRE	25,5	14,7	20,1
OCTUBRE	21,1	11,8	16,5
	27,3	15,3	21,3

Tabla 16. Temperatura medias en el observatorio del Centro cívico del Actur.

En cuanto a la distribución de las temperaturas, las gráficas demuestran que la ciudad de Zaragoza ha tenido unas temperaturas en primavera algo elevadas, sobre todo en el mes de mayo que fue influenciado por una ola de calor que elevó las temperaturas hasta los 35°C en algunas zonas como por ejemplo observatorio de San Gregorio (véase fig. 16). Durante el mes de Julio, se superaron dos récords de temperatura, la temperatura más elevada y el mes más cálido de julio. Al final del verano, es decir agosto y septiembre ya las temperaturas son más

suaves, no alcanzan ya las temperaturas de 35°C. A mediados de octubre, durante los días 16, 17 y 18, se produce una disminución fuerte de las temperaturas mínimas llegando hasta los 4°C en algunas zonas, lo cual pudo haber sido fruto de una bolsa de aire frío situada en las capas altas de la atmósfera. También señalar que justo antes de finalizar el periodo de estudio, las temperaturas máximas y mínimas son más parecidas, y si miramos la humedad relativa, ésta supera el 90% durante los días finales. En las inmediaciones del río Ebro están cerca de 100%, por lo tanto es esas condiciones de humedad es posible que hubiera nieblas, que por un lado las temperaturas máximas y mínimas diarias son homogéneas espacialmente y la vez son condicionadas por la trama urbana. Además comentar la ola de calor de julio que fue la que más duro desde el año 2003, ésta duró desde el 30 de julio hasta el 14 de agosto (AEMET, 2015). La de julio del 2015 del presente estudio tuvo una duración entre 11 a 12 días, comenzando el 25 o 26 de junio y finalizando en todos los observatorios el 7 de julio que a la vez coincide con la temperatura más alta.

Observatorio	
Ayuntamiento	Entre edificios
Delicias	Entre edificios
Santa Marta	Entre edificios
Fuentes	Entre edificios
Camping	Zona libre de edificios
Aemet Canal	Zona libre de edificios
Movera	Zona libre de edificios
Actur	Entre edificios
Valdespartera	Zona libre de edificios
Jardin Botanico	Zona verde
San Gregorio	Zona libre de edificios
Parque del Agua	Zona verde
Ciudad Deportiva	Zona libre de edificios
Policia	Zona libre de edificios
Estación del Norte (Arrabal)	Entre edificios

Tabla 17. Características del entorno de los observatorios.

Hay que destacar que las temperaturas (tabla 17) se modifican debido a que nos situamos en un clima urbano y la actividad hombre- ciudad esta patente y se deja notar modificando el clima local, además es posible que existiera una relación entre el material y la superficie que se encuentra alrededor (Quereda, 2008). En las siguientes tablas adjuntas los valores están ordenados de mayor a menor temperatura (véase tabla 18,19, 20).

	Temperatura media
Ayuntamiento (Casa Jiménez)	22,3
Cuartel de policia	22,5
Delicias	22,3
Santa Marta	22,2
Fuentes	21,9
Camping	21,7
Aemet Canal	21,7
Movera	21,4
Actur	21,4
Valdespartera	21,3
Ciudad deportiva	21,3
Jardin Botanico	21,1
San Gregorio	21,0
Parque del Agua	21,0

Tabla 18. Temperaturas medias de los observatorios. Ordenado de mayor a menor.

En la (tabla 18) se observa que la temperatura media más alta se encuentra en el centro de la ciudad en el observatorio del ayuntamiento con 22,3 °C, seguidamente con Delicias con 22,2°C y Plaza Santa Marta con 22,1°C. Hay que señalar que ésta última se encuentra cerca del observatorio del ayuntamiento. Las que menos temperaturas presentan son las de Jardín Botánico con 21,1°C, seguidamente por San Gregorio con 21,°C y Parque del Agua con 20,9°C. Se puede deducir que las temperaturas más altas se concentran entre edificios de construcción, donde hay elevada densidad de construcción y se puede incluir los observatorios del Ayuntamiento (Casa Jiménez), Delicias, Santa Marta y las Fuentes. En la mitad de la tabla encontramos temperaturas entre los 21,6°C y los 21,3°C, se ven los observatorios de Camping, AEMET-Canal, Movera, Actur, y Valdespartera, todos estos observatorios, se encuentran cerca de los límites de la ciudad y cuya densidad de edificación es más baja que en el centro o que otros barrios con mayor densidad de población. Los últimos tres observatorios se encuentran en zonas verdes y cerca del río Ebro y río Huerva y además fuera de la ciudad, en el caso de San Gregorio.

	TM
Ayuntamiento (Casa Jiménez)	28,4
Fuentes	28,2
Delicias	28,0
Santa Marta	28,0
Aemet Canal	27,8
Movera	27,8
Camping	27,6
San Gregorio	27,5
Ciudad deportiva	28,0
Actur	27,4
Valdespartera	27,3
Jardin Botanico	27,1
Parque del Agua	27,1
Cuartel de policia	26,6

Tabla 19. Temperaturas máximas medias de los observatorios. Ordenado de mayor a menor.

En la temperatura media de las máximas nos muestran una parecida distribución a las temperaturas mínimas (tabla 19), la primera en la lista es el observatorio del ayuntamiento que sigue superando en valores máximos. Podemos informar en primera instancia de que la distribución de las máximas va más acorde con el tipo de superficie y la densidad de edificios, se observa que los observatorios con mayor temperatura corresponden con lugares que hay una mayor densidad de edificios y también podemos inducir que el tipo de superficie se empieza a notar. Los dos últimos observatorios se encuentran en zonas verdes, cuya temperatura se ve reflejada en sus valores más bajos. Además el observatorio del Parque del Agua se localiza cerca del río Ebro.

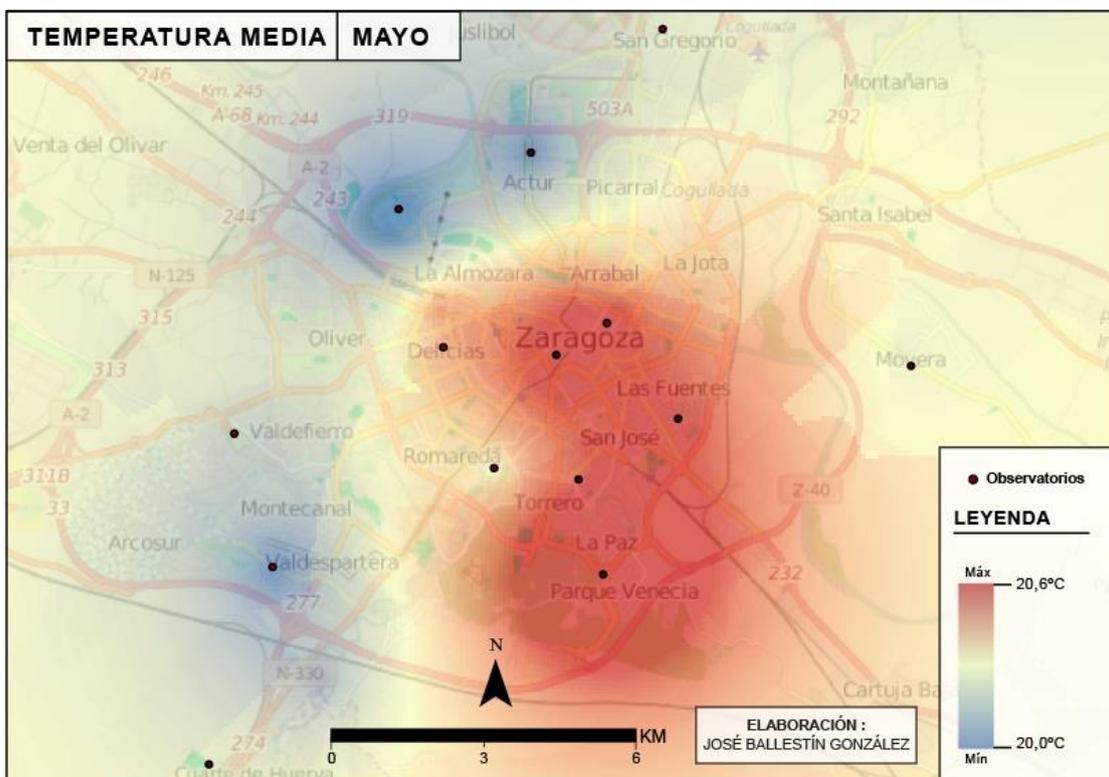
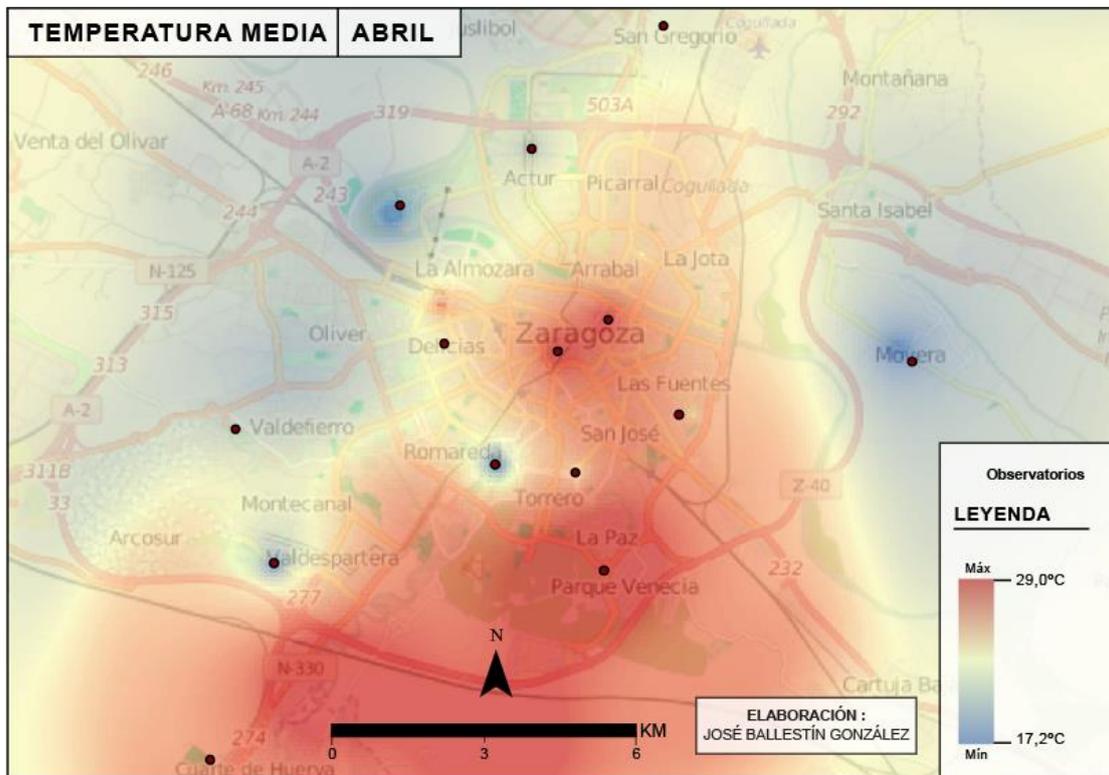
	tm
Cuartel de policia	18,4
Delicias	16,5
Santa Marta	16,4
Ayuntamiento (Casa Jiménez)	16,2
Camping	15,8
Fuentes	15,7
Aemet Canal	15,5
Valdespartera	15,4
Actur	15,3
Ciudad deportiva	15,1
Jardin Botanico	15,0
Movera	14,9
Parque del Agua	14,9
San Gregorio	14,6

Tabla 20. Temperaturas mínimas medias de los observatorios. Ordenado de mayor a menor.

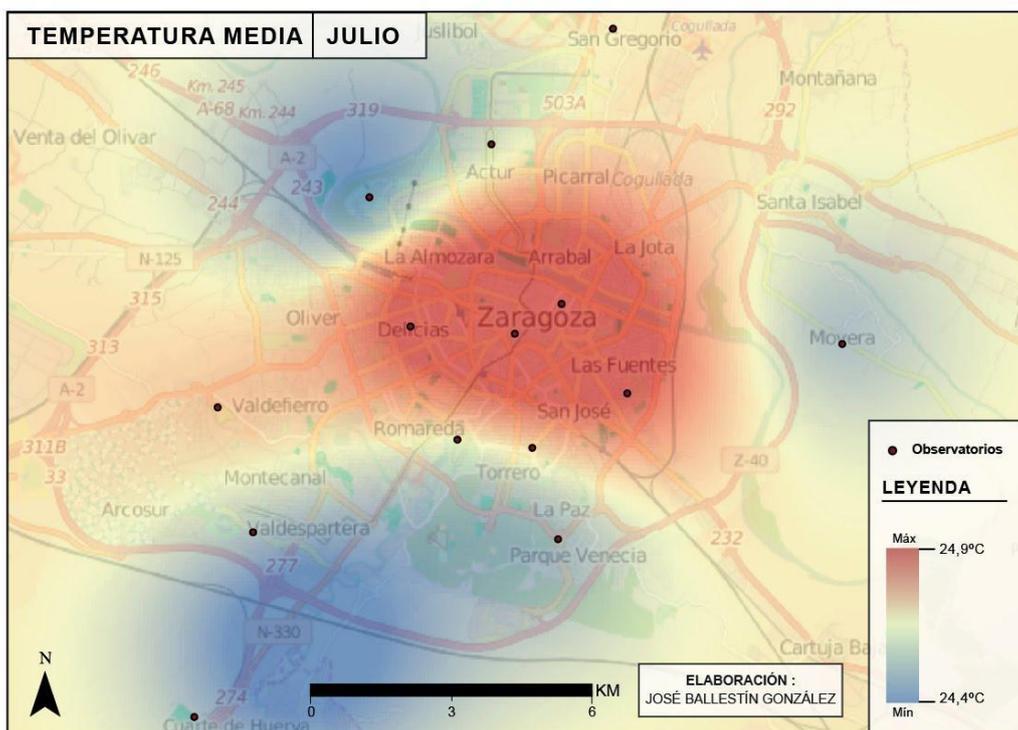
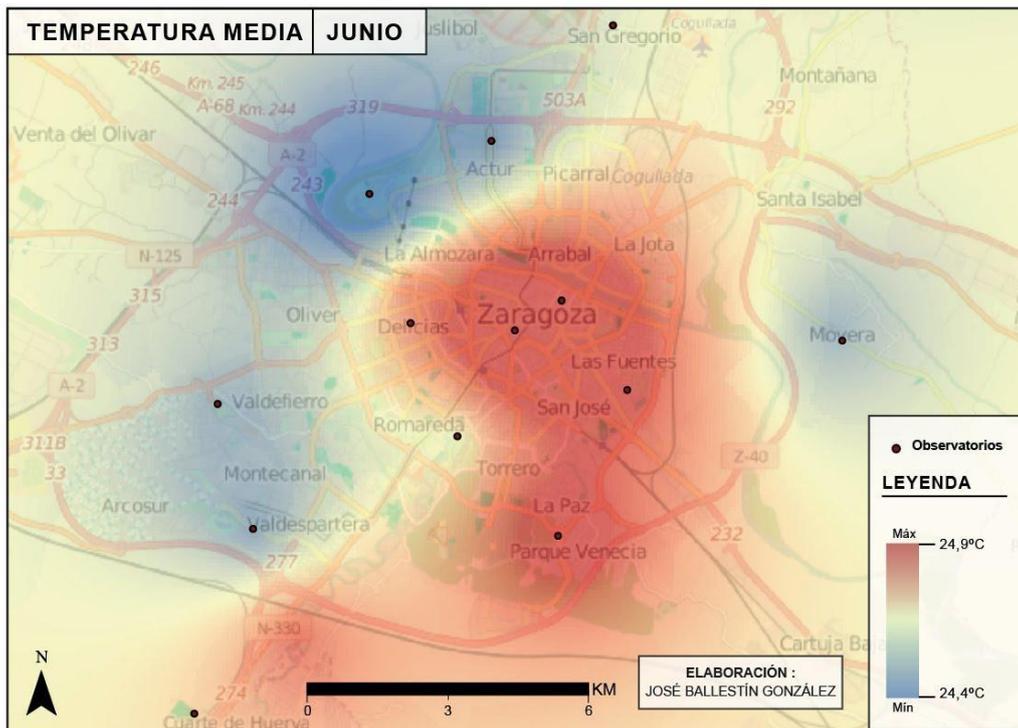
En cuanto a las temperaturas mínimas (tabla 20), la distribución cambia respecto a los dos variables de las figuras anteriores. En primer caso observamos que el valor más alto corresponde al observatorio de Delicias con 16,49°C. Lo mismo pasa con los valores mínimos en el que el observatorio del Parque del Agua no se encuentra en la última posición, sino que es

reemplazado por el observatorio de San Gregorio. También podemos observar que el Jardín Botánico tiene unos valores medios.

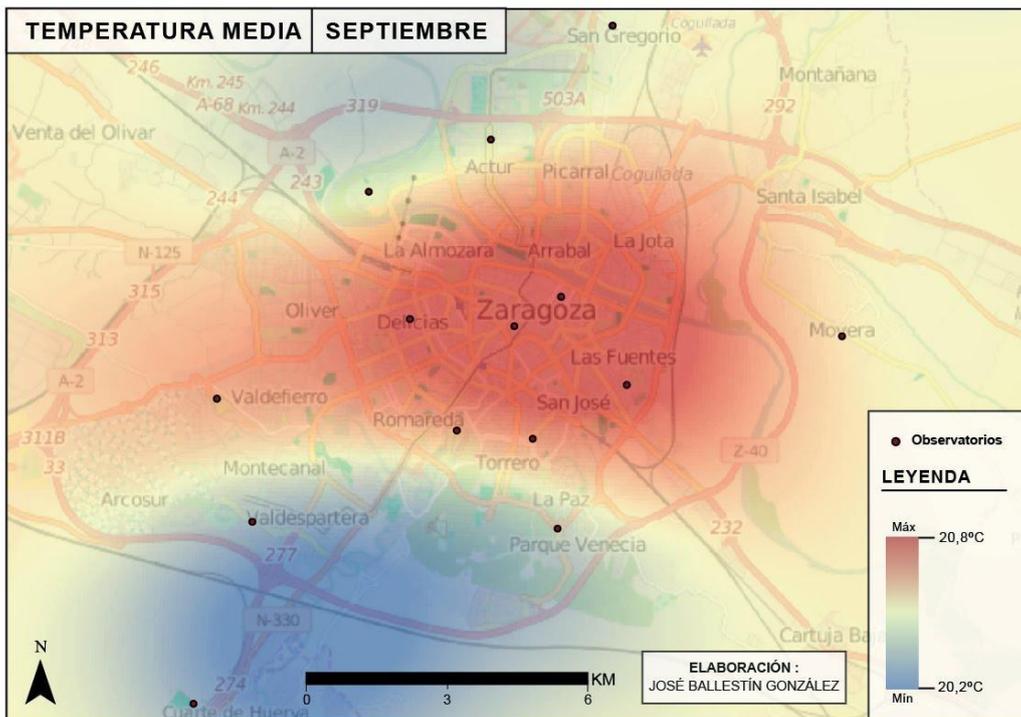
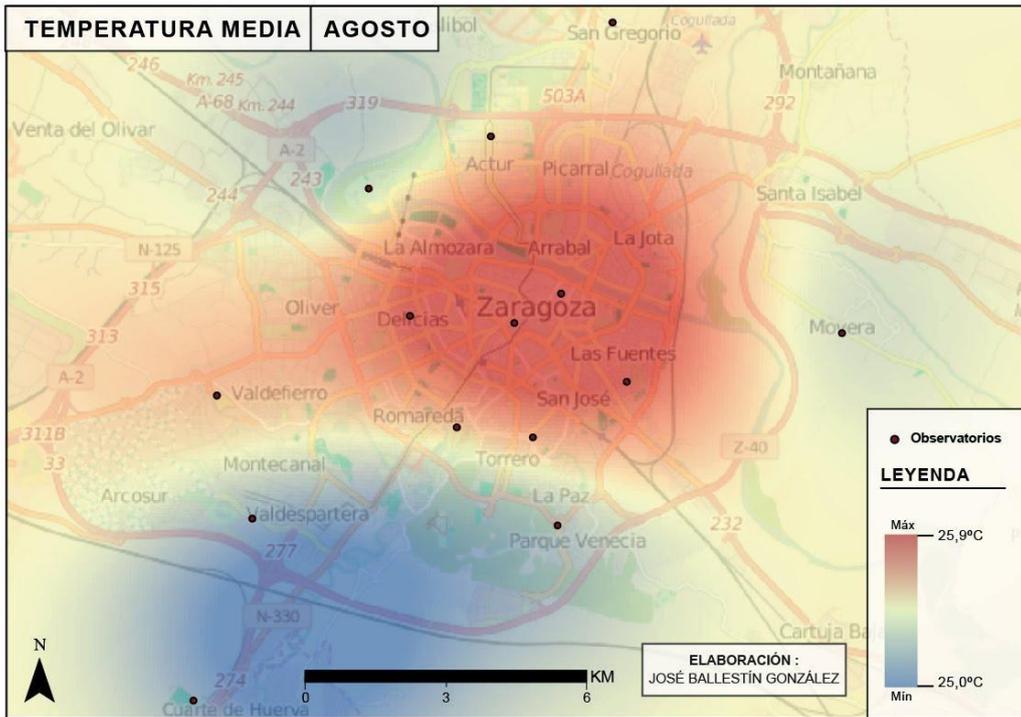
5.2 Distribución espacial de las temperaturas medias mensuales



Figuras 26 y 27 Representación de la distribución de las temperaturas medias de abril y mayo.



Figuras 28 y 29 Representación de la distribución de las temperaturas medias de junio y julio.



Figuras 30 y 31 Representación de la distribución de temperaturas medias de agosto y septiembre

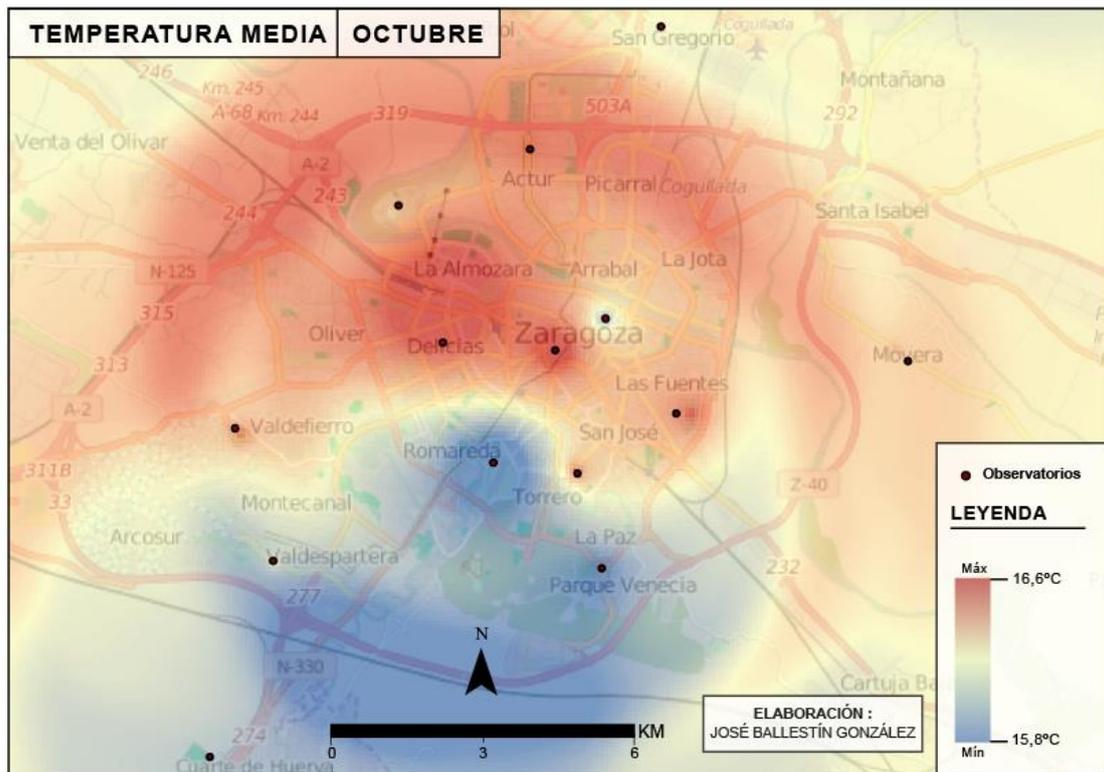
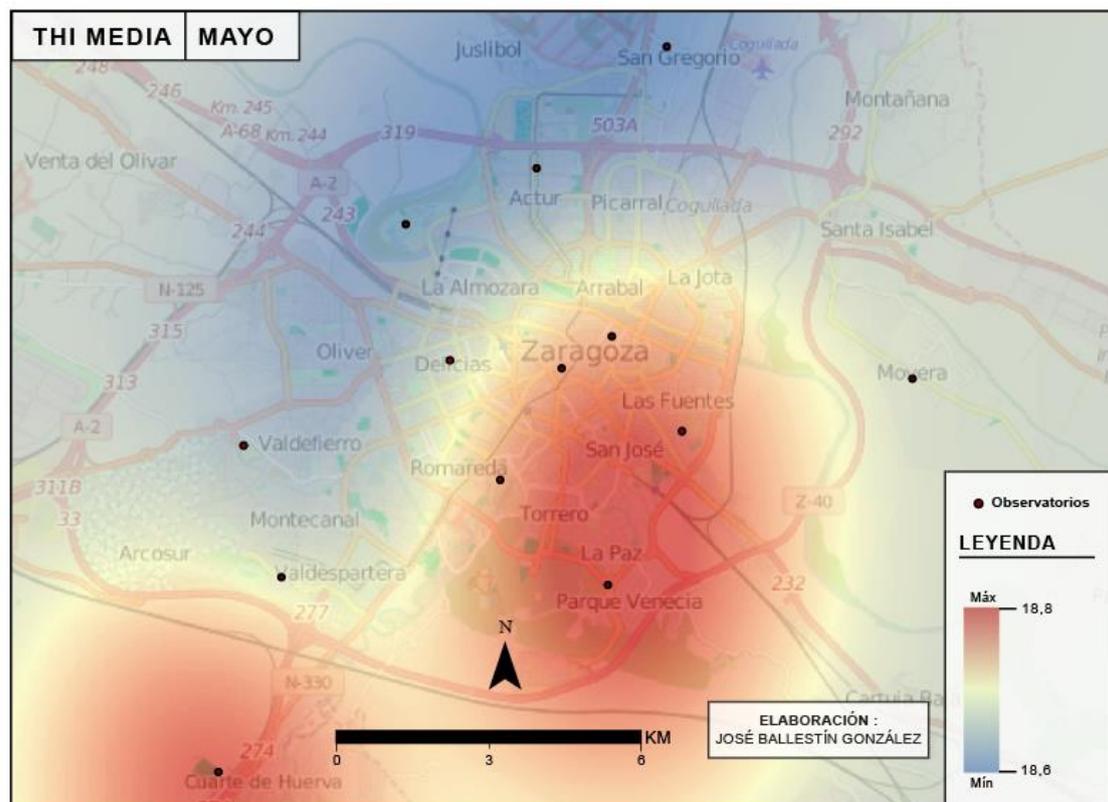
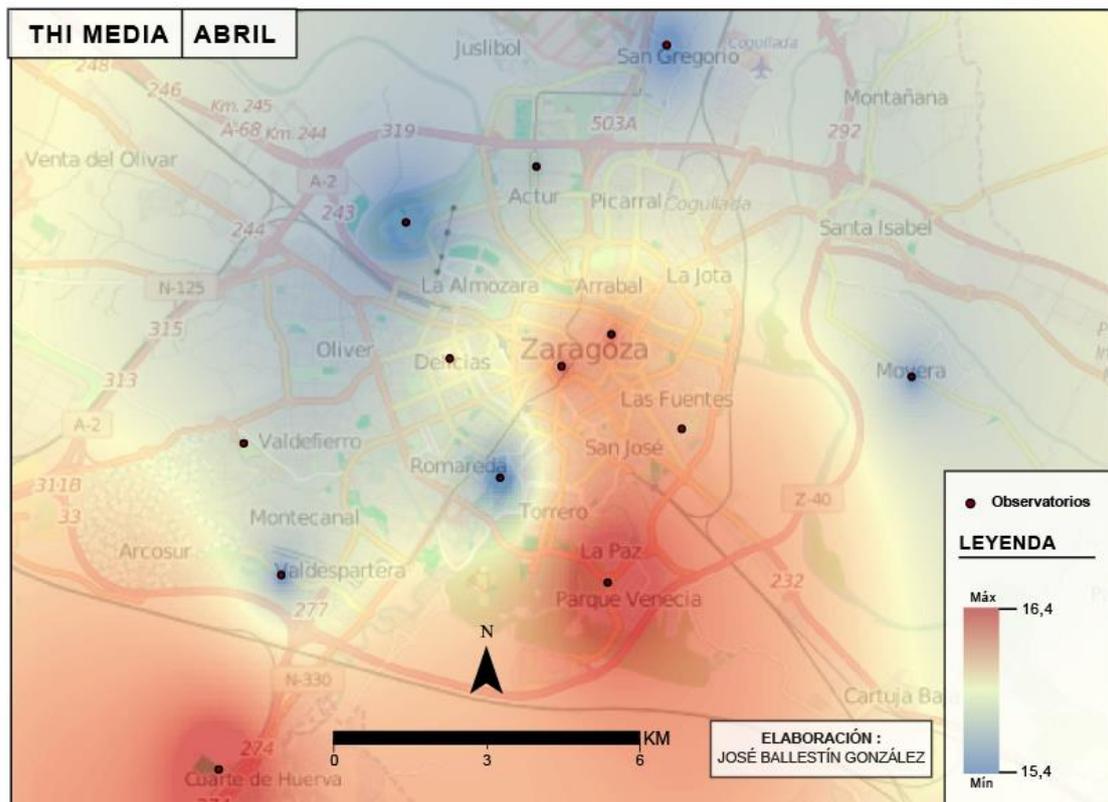


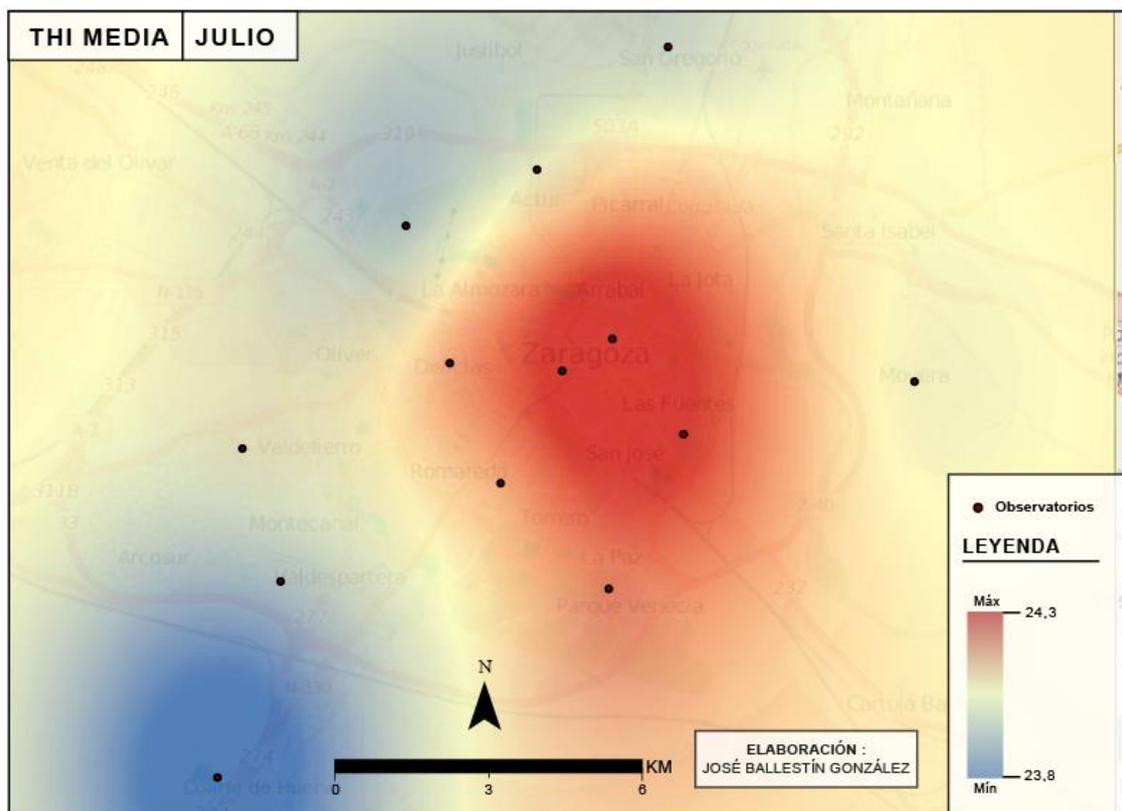
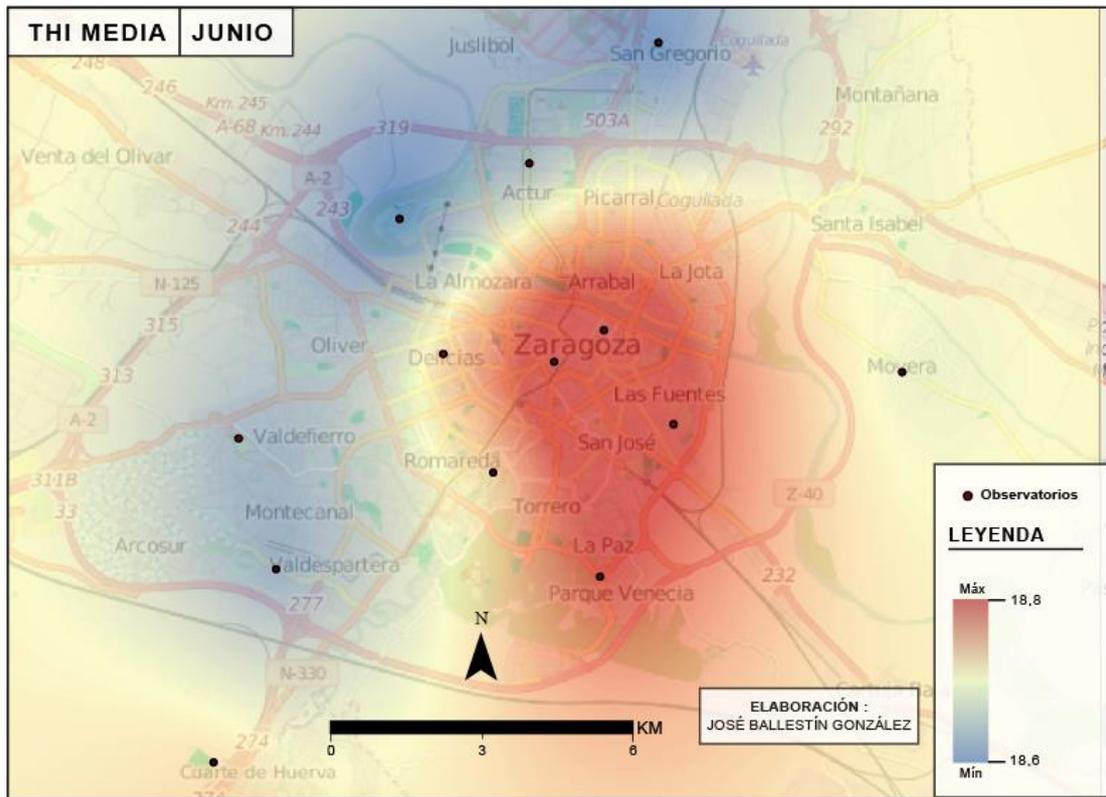
Figura 32 Representación de la distribución de la temperatura media de octubre

Respecto a las temperaturas medias se puede observar de nuevo que en el centro de la ciudad encontramos bien definida la isla de calor. Durante todos los meses (fig. 26, 27, 28, 29 y 30), se observa que la concentración de las temperaturas más altas se sitúan a lo largo de toda la ciudad, pero a medida que nos acercamos a los meses de julio y agosto (fig. 29 y 30) se puede ver que la concentración es mucho mayor. Se puede observar las zonas en la que existen poca concentración de densidad de edificación con lo que la temperatura es más baja respecto al centro de la ciudad. Esto indica, que en estas zonas existe una mejora de la circulación de las corrientes atmosféricas y por lo tanto no existe influencia de la morfología de la ciudad.

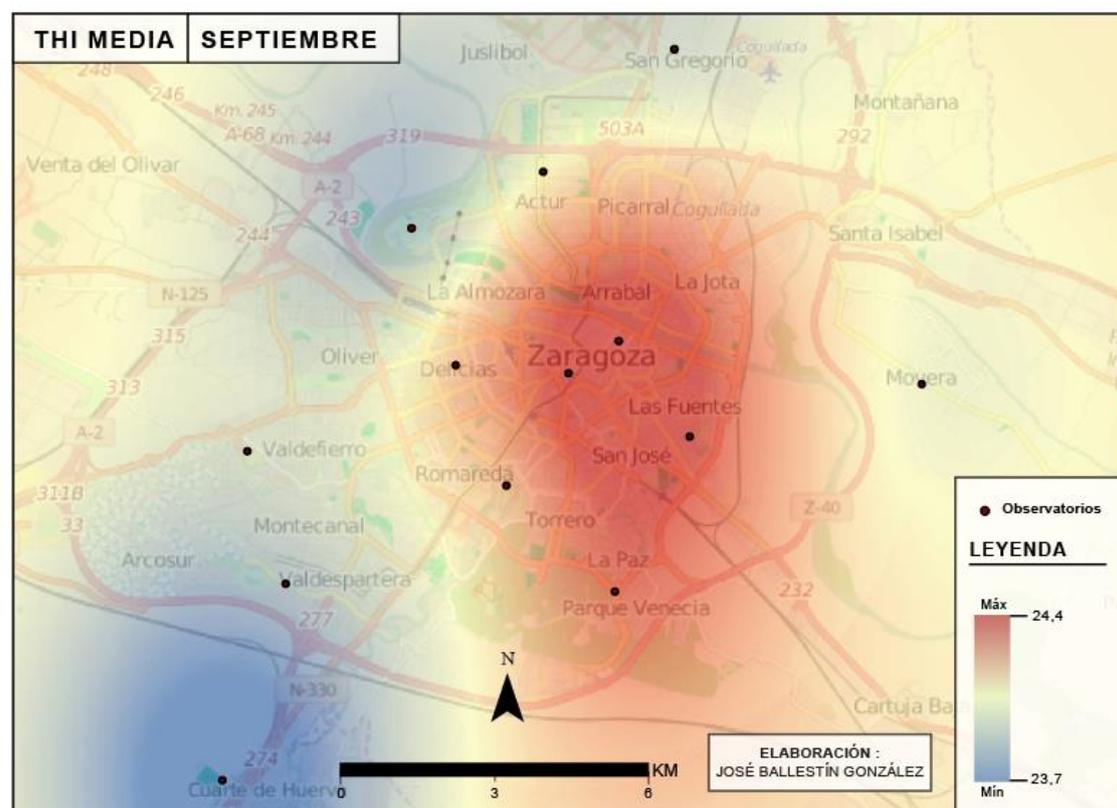
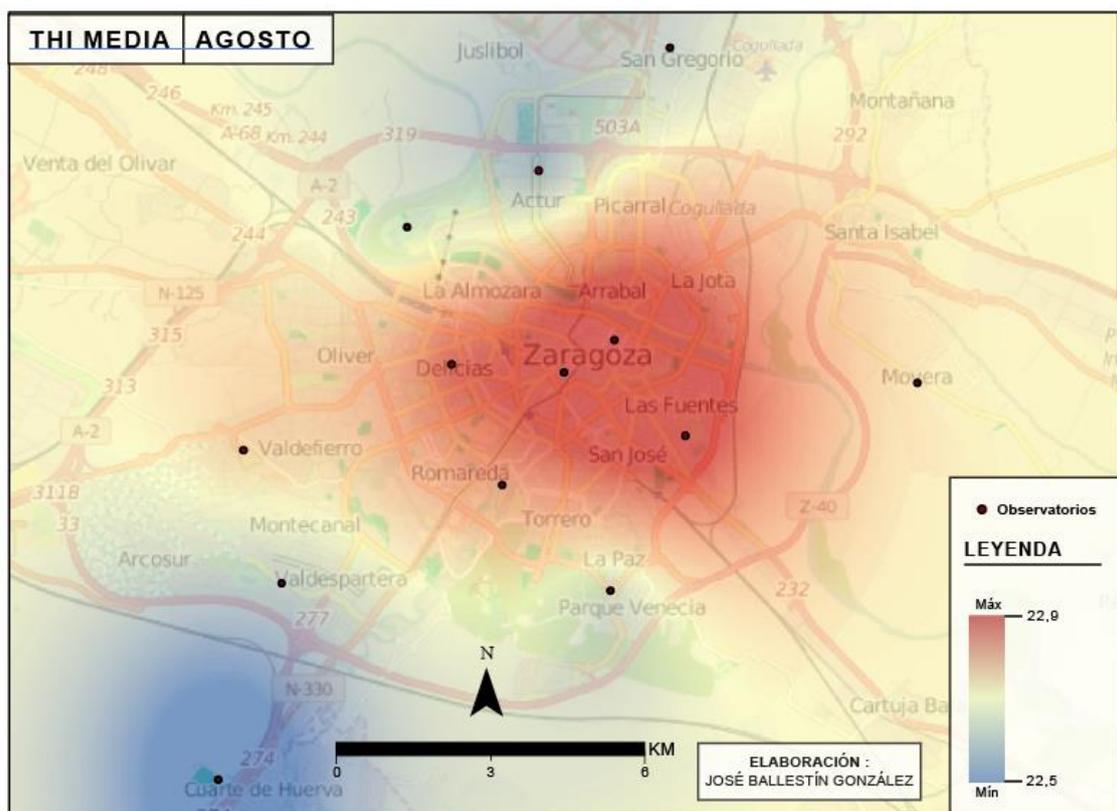
5.3 Distribución espacial del THI mensual



Figuras 33 y 34. Representación de la distribución del THI medio del mes de abril y mayo



Figuras 35 y 36. Representación de la distribución del THI de los meses de junio y julio



Figuras 37 y 38. Representación de la distribución del THI de los meses de agosto y septiembre

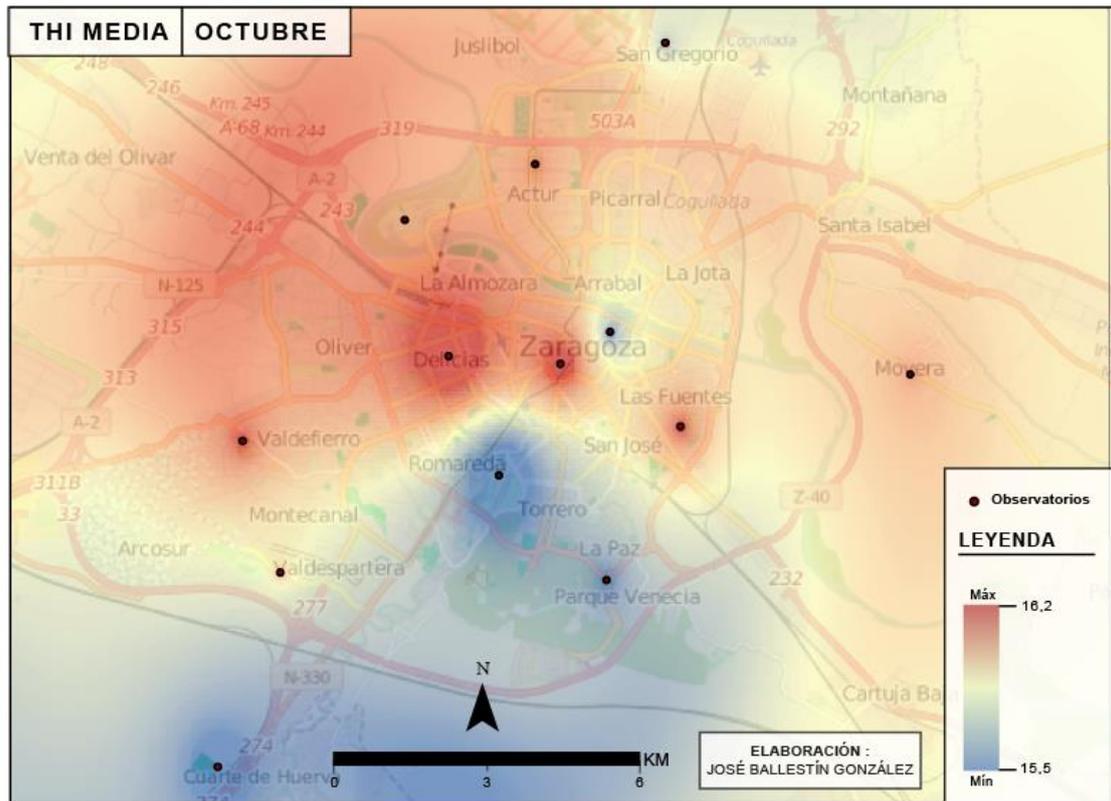


Figura 39. Representación de la distribución del THI de los meses de septiembre y octubre

En cuanto a la temperatura media se puede observar que isla de calor se modifica a lo largo de los meses de estudio. En Abril (fig. 33), el calor se concentra en el centro y sur de la zona, en este caso, se puede observar que las zonas verdes tienen un contraste de THI suave marcado. La ciudad de Zaragoza en el mes de abril también tiene un confort suave. En el mes de mayo (fig. 34) la distribución del THI se modifica respecto a Abril, se puede deducir que existe una gran concentración en el ambiente más cálida en la zona Centro-Oeste de zona de estudio. En junio (fig.35), todavía existe un confort suave por toda la ciudad, pero éste roza la sensación térmica de cálida. La concentración de confort se reduce a unos barrios de la ciudad, sobre todo del centro, Las Fuentes, Parque Venecia y Torrero.

Durante los meses de verano de julio y agosto (fig. 36 y 37) se puede observar que la concentración de confort se da de forma general en toda la ciudad. Existen zonas en las que sigue la misma tendencia que abril, el Parque del Agua es un ejemplo. Durante el mes de agosto las zonas más frescas se reducen solo a un punto fuera de la ciudad: La Ciudad Deportiva. Durante estos meses la sensación térmica es de cálida. En septiembre es el mismo fenómeno de THI que Julio, es decir, que lo más cálido se sitúa en el centro y sur de la ciudad con una gran discrepancia en el Parque del Agua.

En octubre (fig. 39) sí que se ve un cambio en cuanto a la distribución espacial de THI. La parte sur de la zona de estudio, es mucho más fresca, sobre todo en las zonas desprovistas de edificios, la zona del norte de la ciudad es mucho más cálida, en términos generales, en los barrios de Delicias y del Centro su sensación es mucho más cálida.

5.4 Distribución espacial de las temperaturas del día 7 de julio

El día 7 de Julio en Zaragoza, se marcó un récord de temperatura máxima absoluta desde 1858 (Cuadrat y Saz, 2014). Por ello, este día merece una especial atención. Por este motivo se pretende estudiar como afectó a la ciudad, centrándonos en dos aspectos; la distribución de las temperaturas durante todo el día y al grado confort térmico de la ciudad. En la variable de confort térmico va depender de la humedad, por lo cual los resultados varían en los distintos observatorios. Como se ha descrito anteriormente, no corresponde a un grado de disconfort térmico muy elevado donde las temperaturas son muy altas. En las tablas anteriores (véase fig. 9,15, 23) se ha mostrado que incluso si tenemos una temperatura muy alta y una humedad relativa muy baja no tiene que existir un índice muy alto de THI.

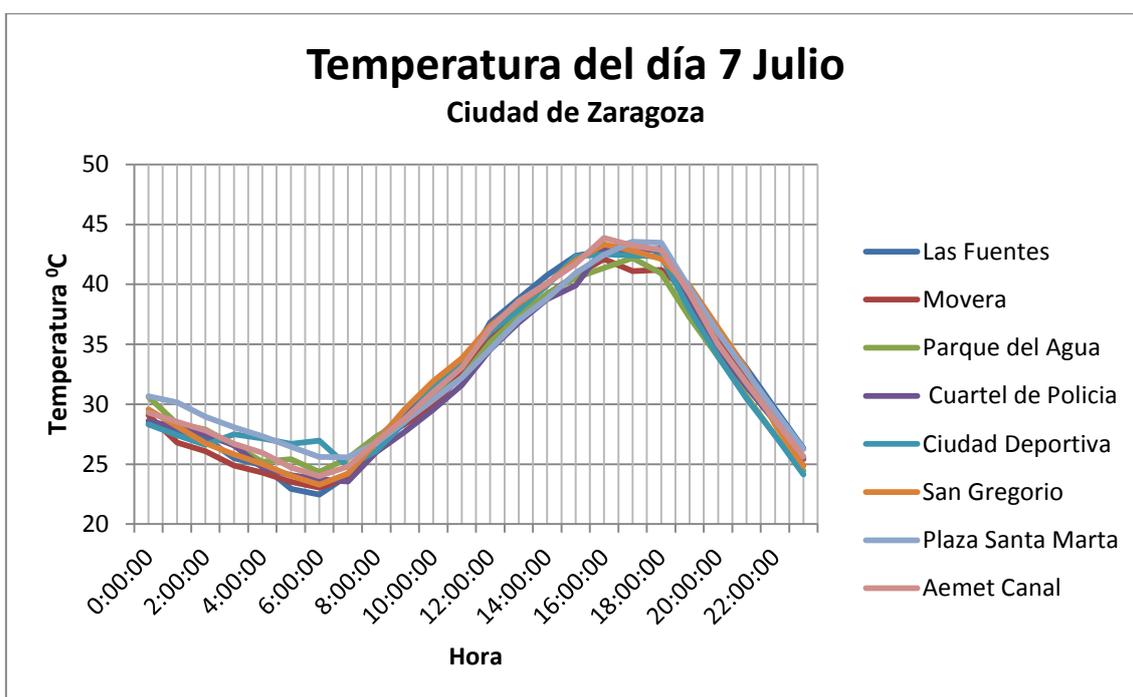


Figura 40. Evolución de las temperaturas por horas del día 7 de julio 2015.

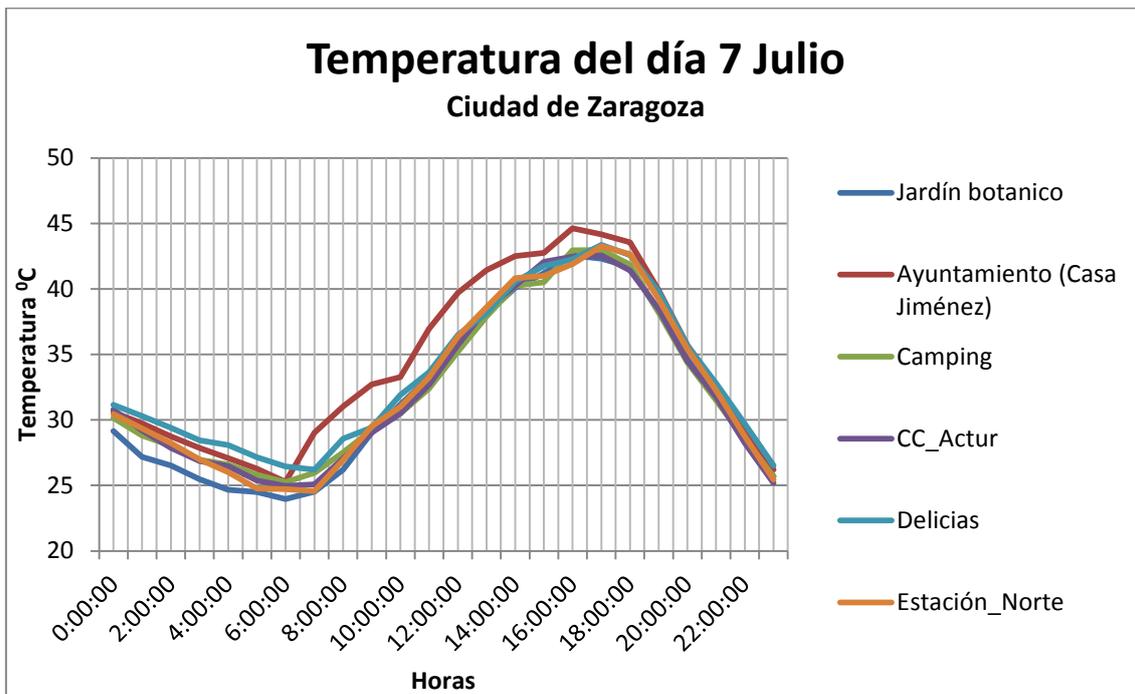


Figura 41. Evolución de las temperaturas por horas del día 7 de julio 2015

Estas (fig. 40 y 41) expresan la evolución de la temperatura del día 7 de julio en Zaragoza. Se puede apreciar que todos los observatorios tienen la misma tendencia. A las 0:00 horas las temperaturas varían entre 28,3°C de la Ciudad Deportiva hasta los 31,1°C del observatorio de barrio de las Delicias, una temperatura muy incómoda para dormir, es decir, discomfort. Todos los valores disminuyen de forma suave hasta llegar a las 6:00 horas que se produce el momento justo mínimo, en ese instante las temperaturas varían desde 22,4°C de Las Fuentes hasta los 26,9°C de la Ciudad Deportiva. En resumen, Zaragoza tuvo una noche tropical caracterizada por valores muy altos. A partir de esta hora, la temperatura del aire comienza a ascender de una forma muy acusada, sobre todo el observatorio del Ayuntamiento (Casa Jiménez). Este observatorio tiene un aumento de temperatura considerante que se diferencia del resto. El punto máximo se produce a una hora distinta en diversos observatorios, pero el momento máximo se produce sobre las 16:00 a 18:00 horas.

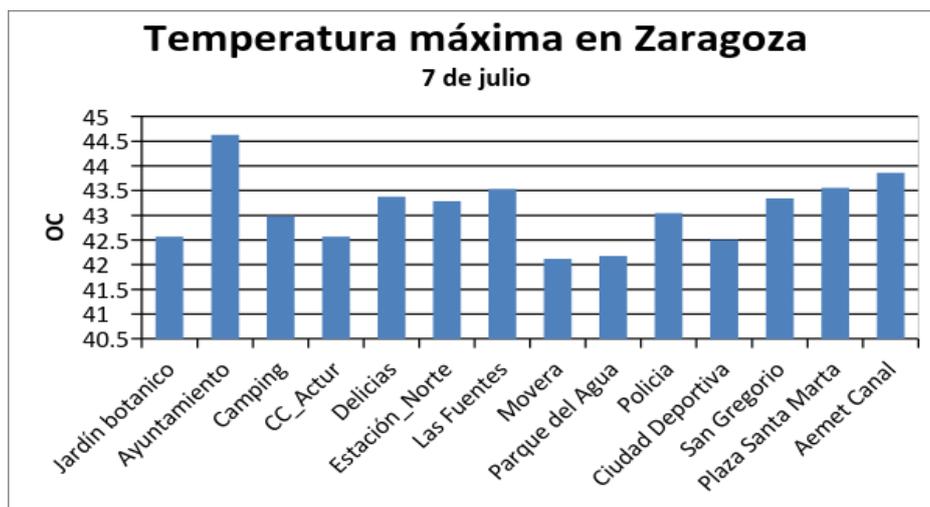
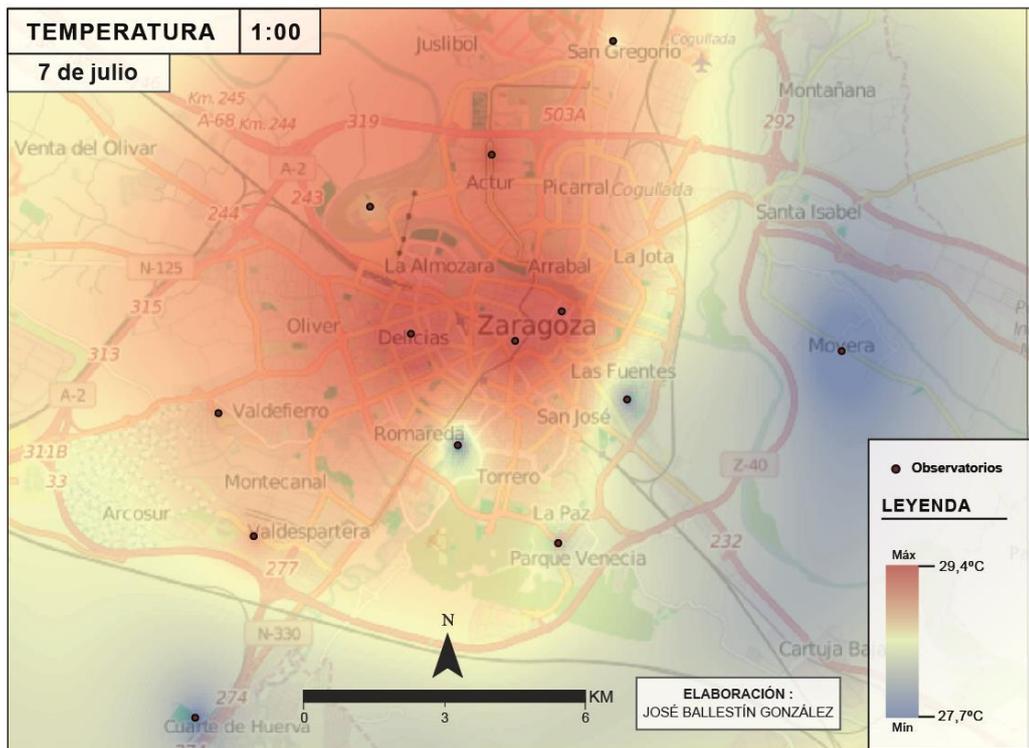
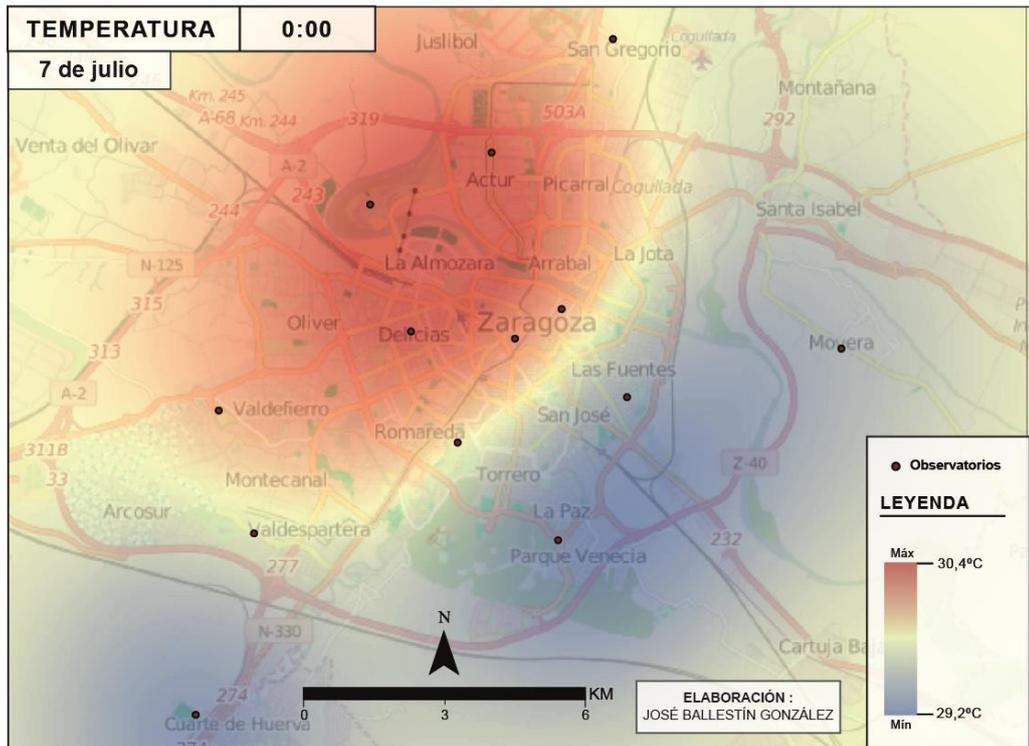


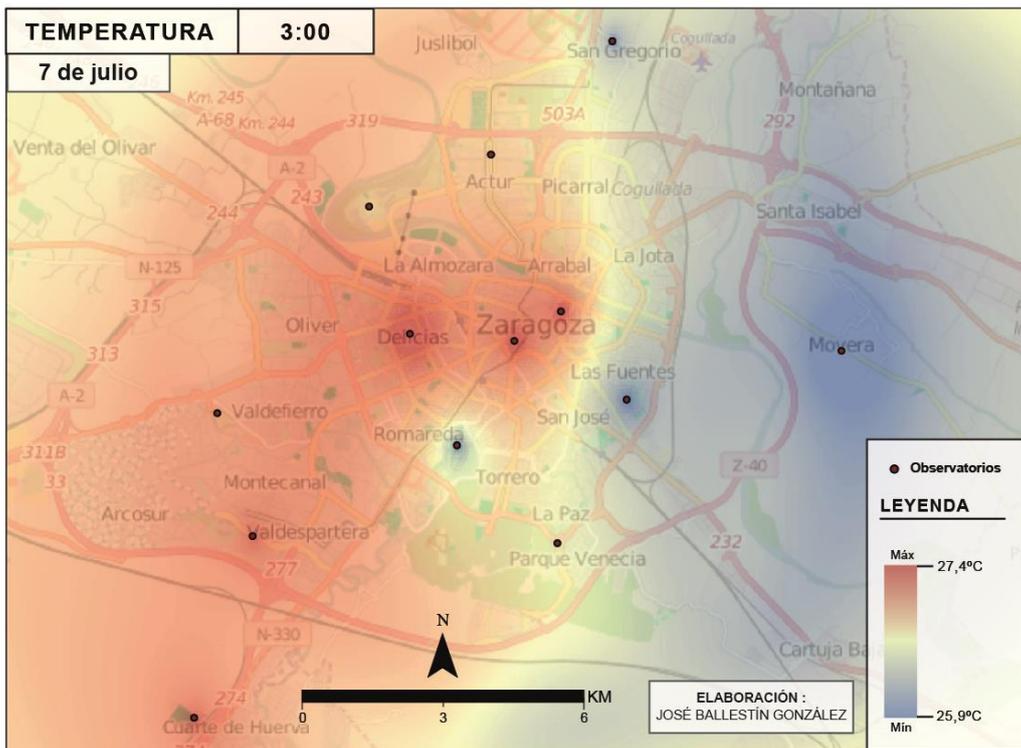
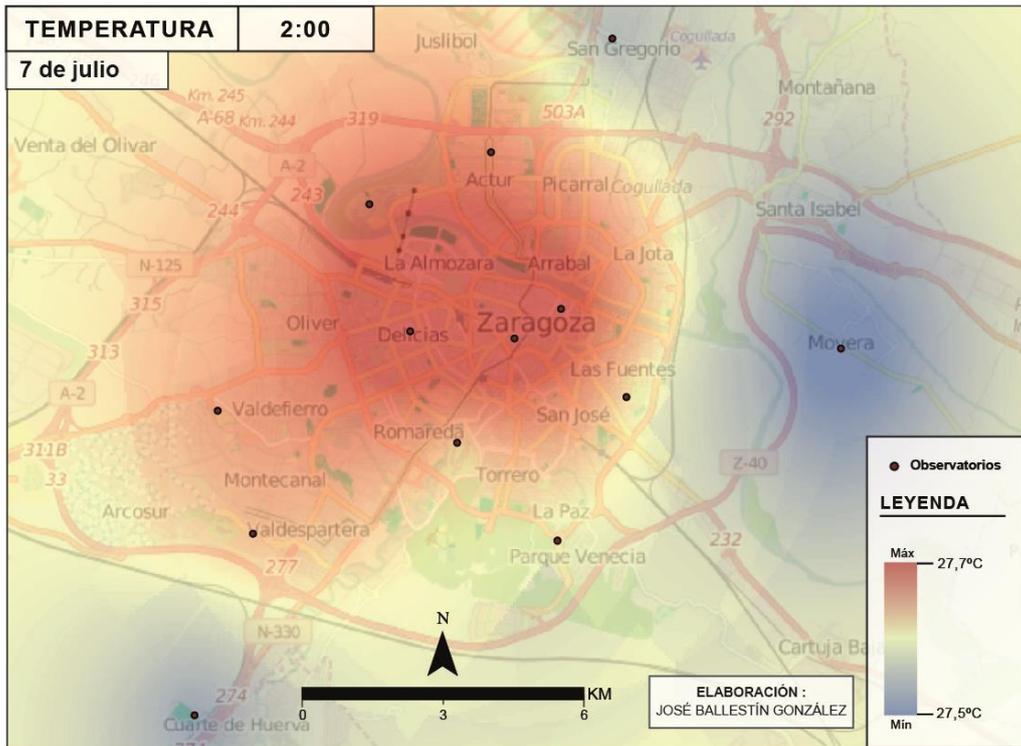
Figura 42. Temperaturas máximas de cada observatorio del día 7 de julio 2015.

El primero de los observatorios donde hubo la máxima temperatura (fig. 42) fue el Ayuntamiento(Casa Jiménez) con 44,6°C, AEMET-Canal con 43,8°C, Plaza de Santa Marta con 43,5°C, Las Fuentes con 43,5°C, San Gregorio con 43,3°C, Delicias con 43,3°C, La Estación del Norte con 43,2°C, Cuartel de Policía con 43°C, Camping con 42,9°C, el Jardín Botánico, Ciudad Deportiva , el Centro Comercial del Actur con 42,5°C, el Parque del Agua y por último Movera con 42,1°C. Seguidamente de las 17.00 horas la temperatura baja de forma acusada.

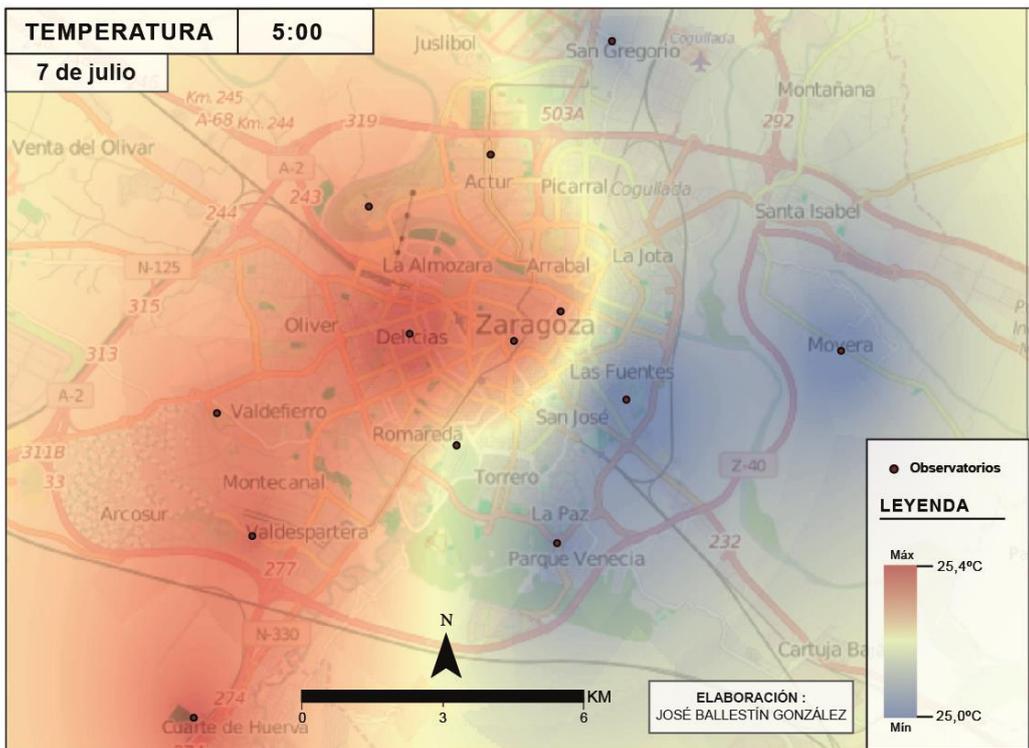
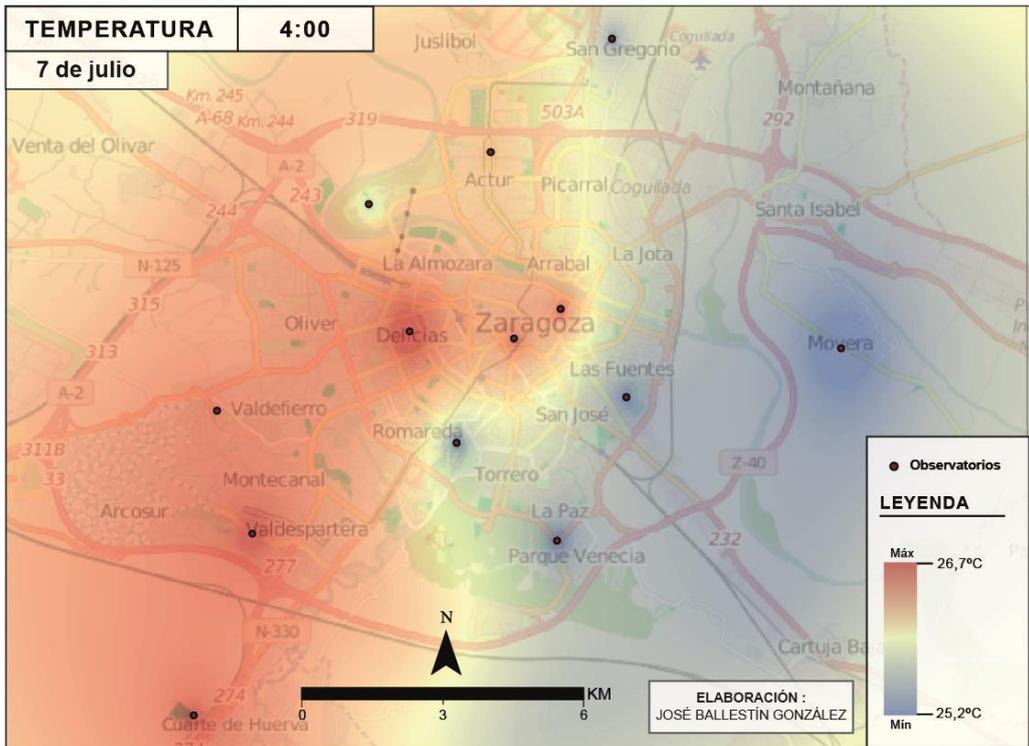
A continuación se adjuntan los mapas de temperaturas horarias del día 7 de julio. (véase fig.43-66), y por último el mapa de THI del día 7 de julio a las 17.00 horas (véase fig. 67)



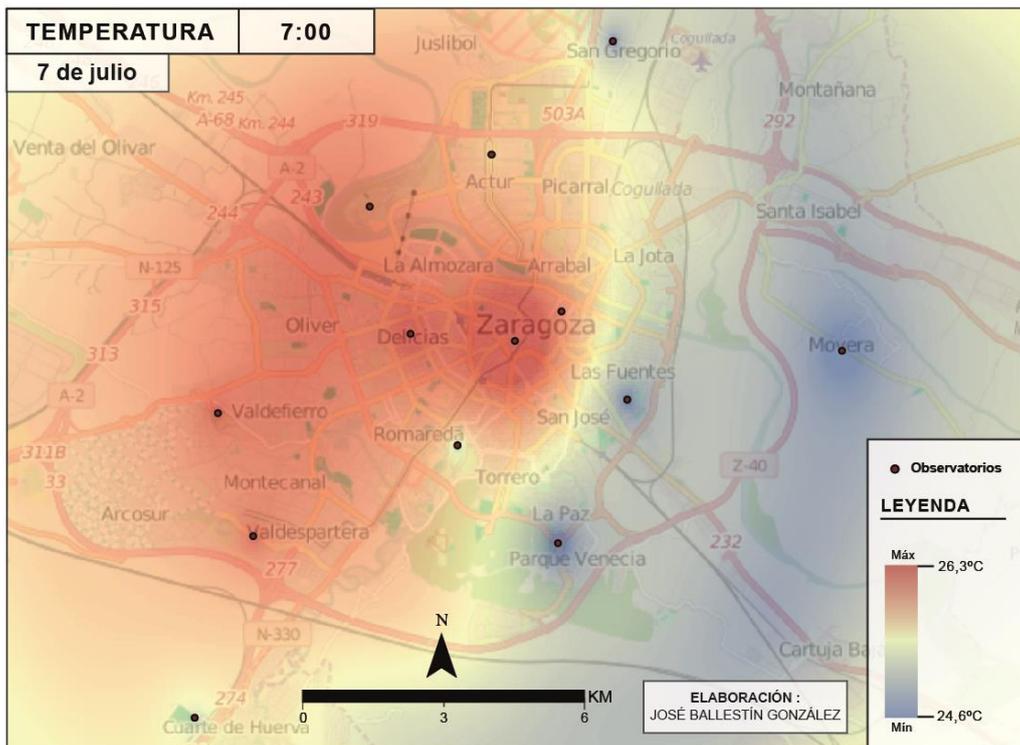
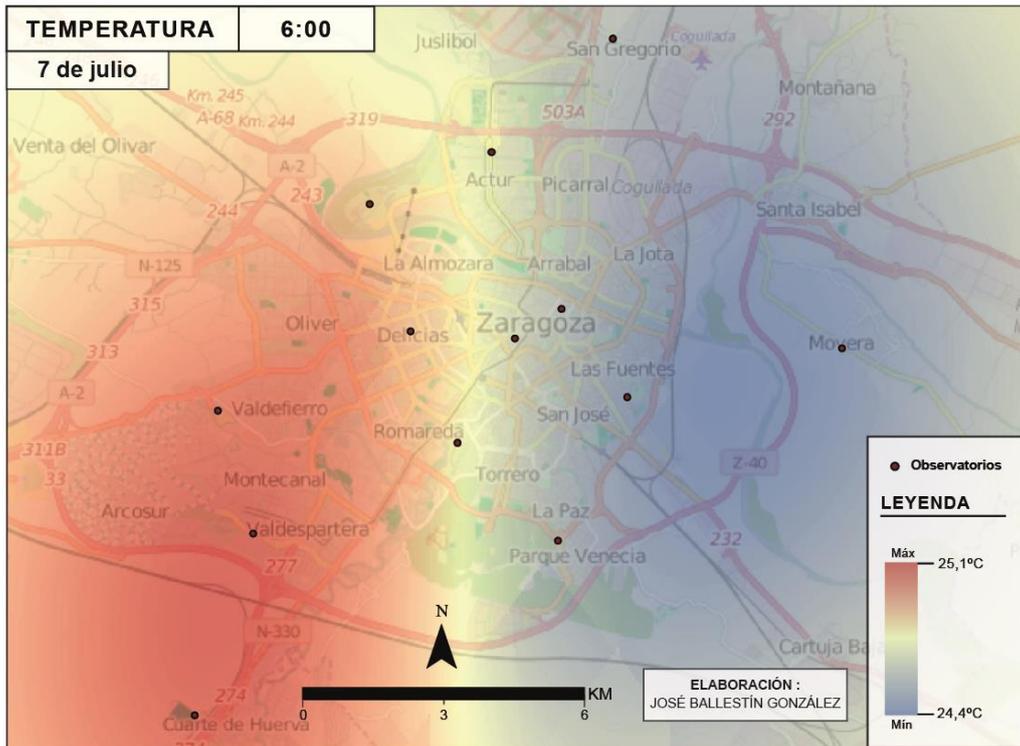
Figuras 43 y 44 Representación de la distribución de las temperaturas a las 0:00 y 1 horas del día 7 de julio



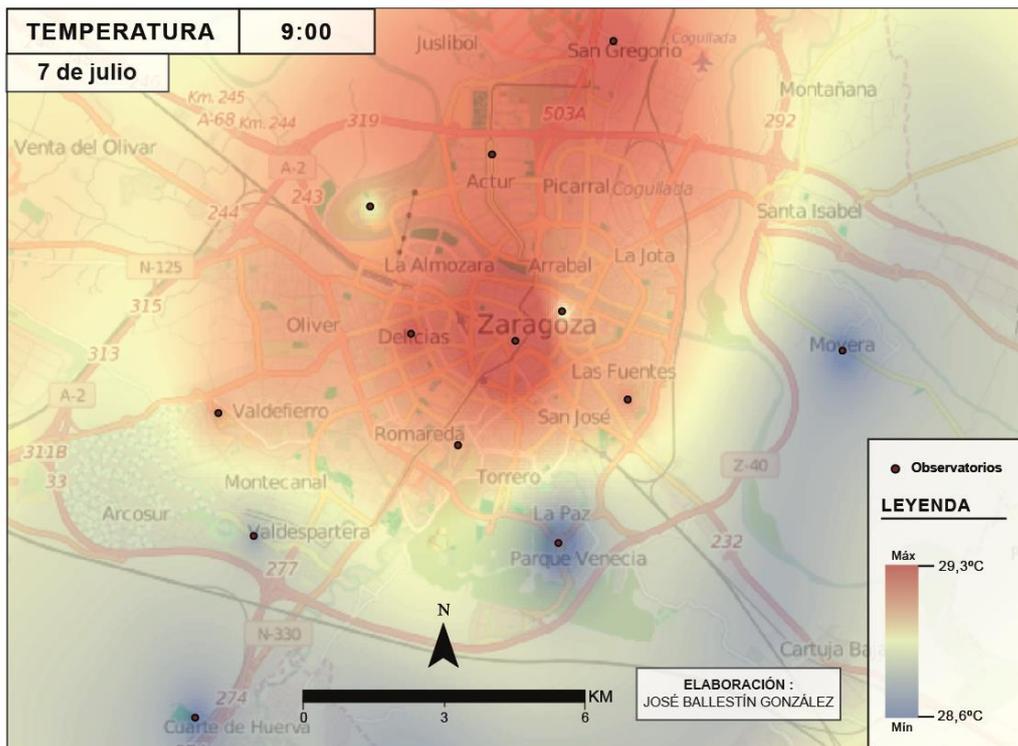
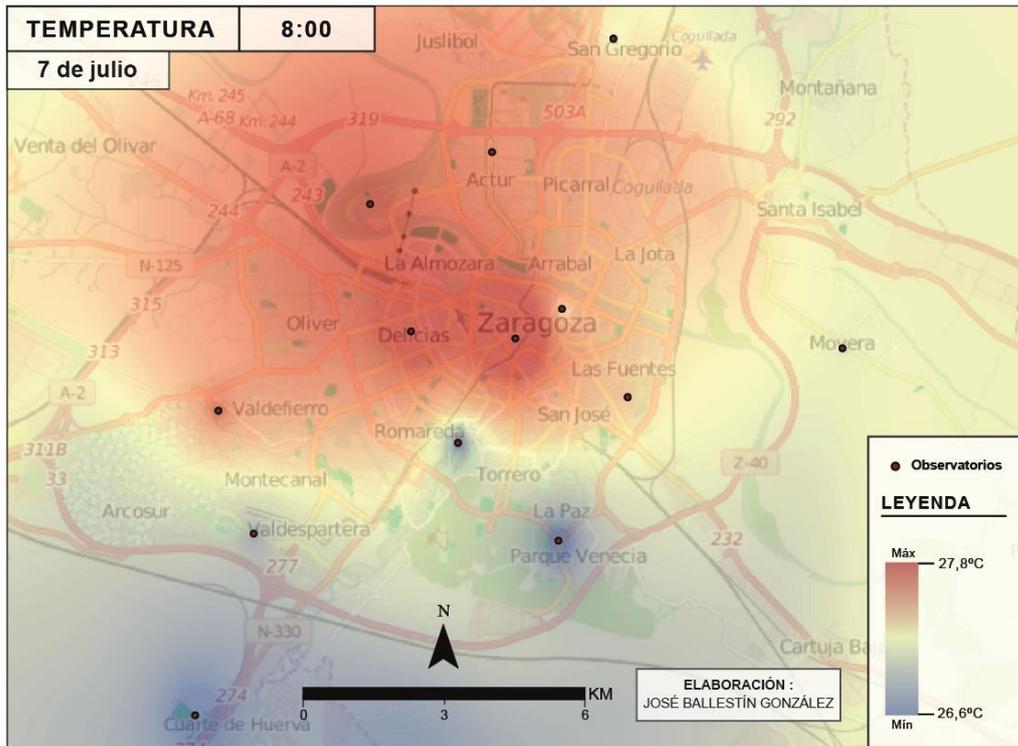
Figuras 45 y 46 Representación de la distribución de las temperaturas a las 2:00 y 3:00 horas del día 7 de julio



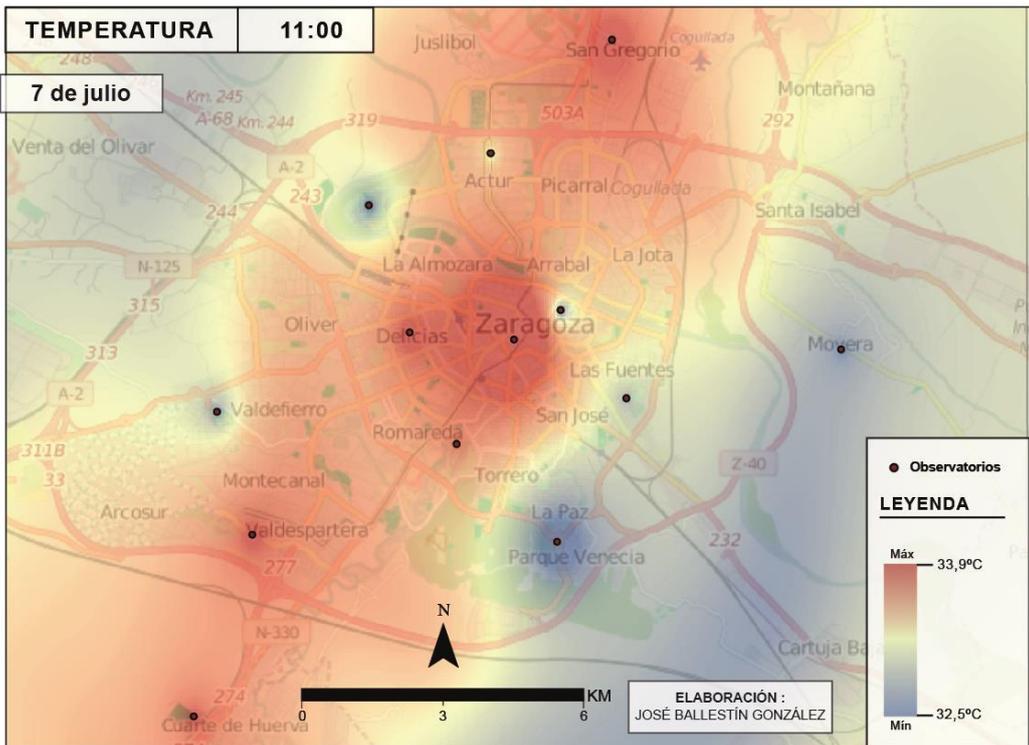
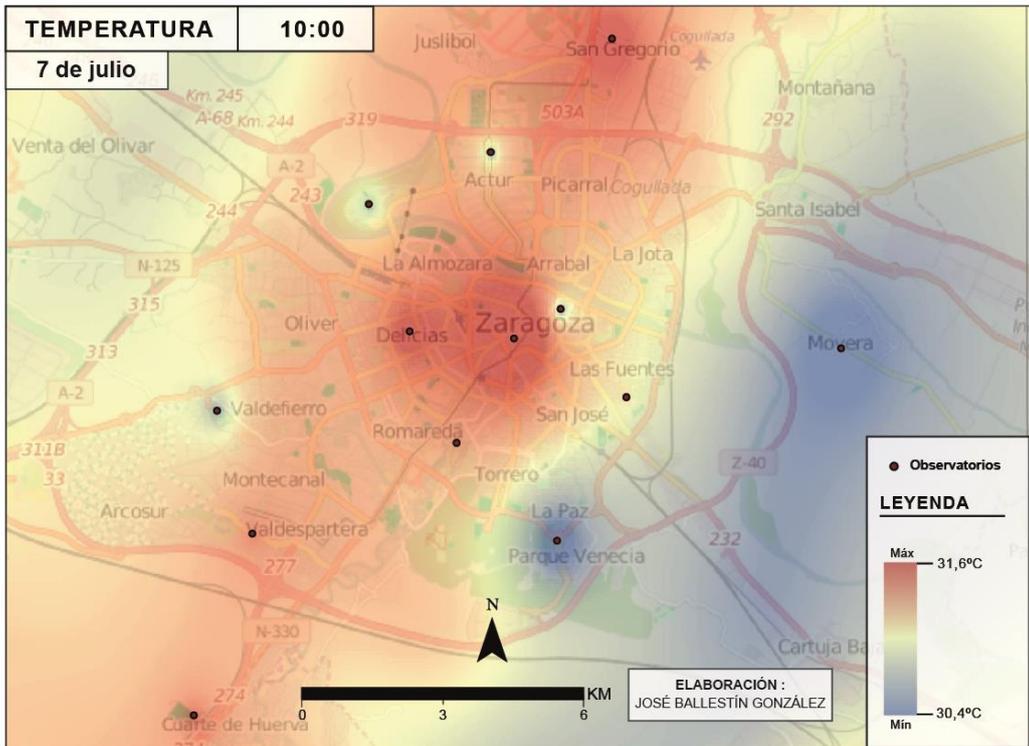
Figuras 47 y 48 Representación de la distribución de las temperaturas a las 4:00 y 5:00 horas del día 7 de julio



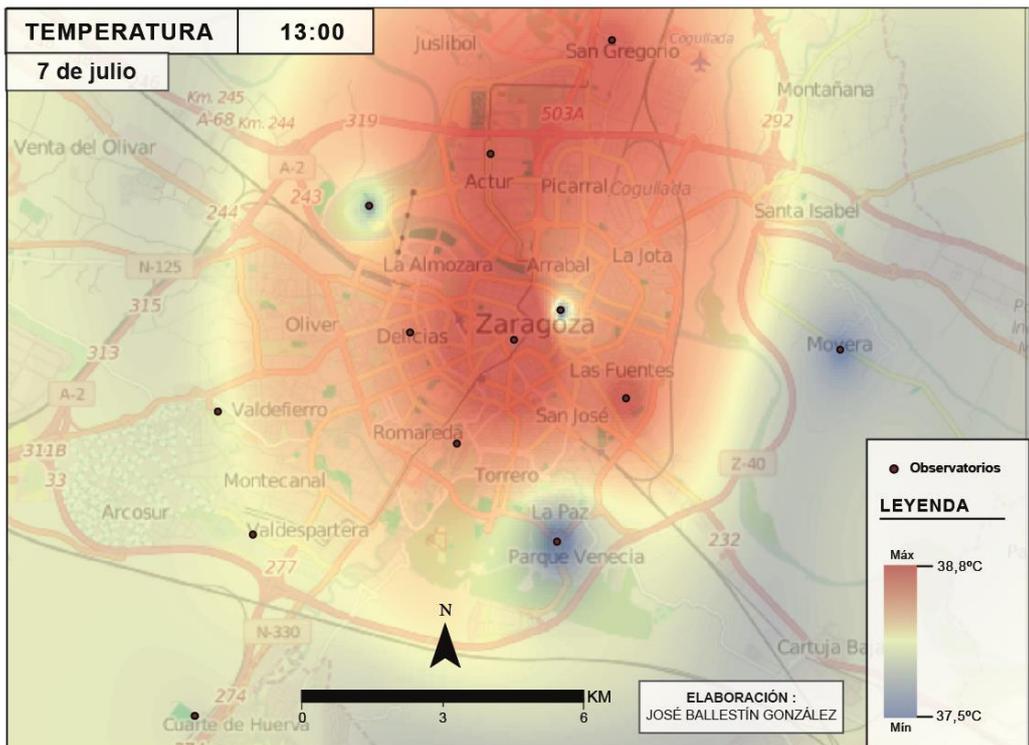
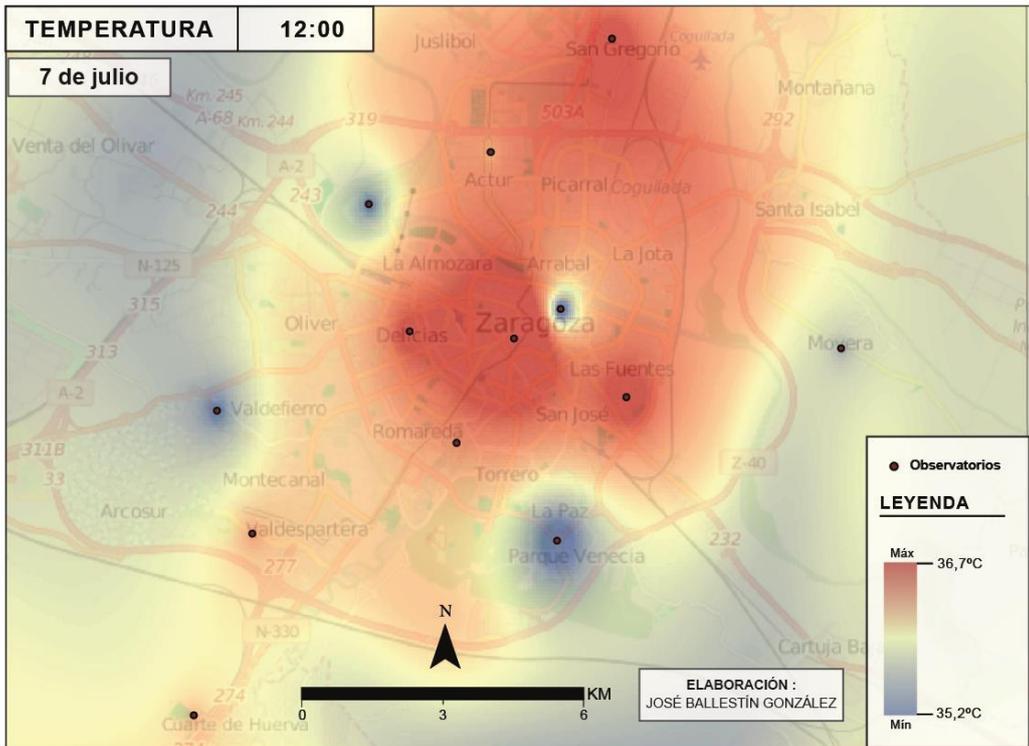
Figuras 49 y 50. Representación de la distribución de las temperaturas a las 6:00 y 7:00 horas del día 7 de julio



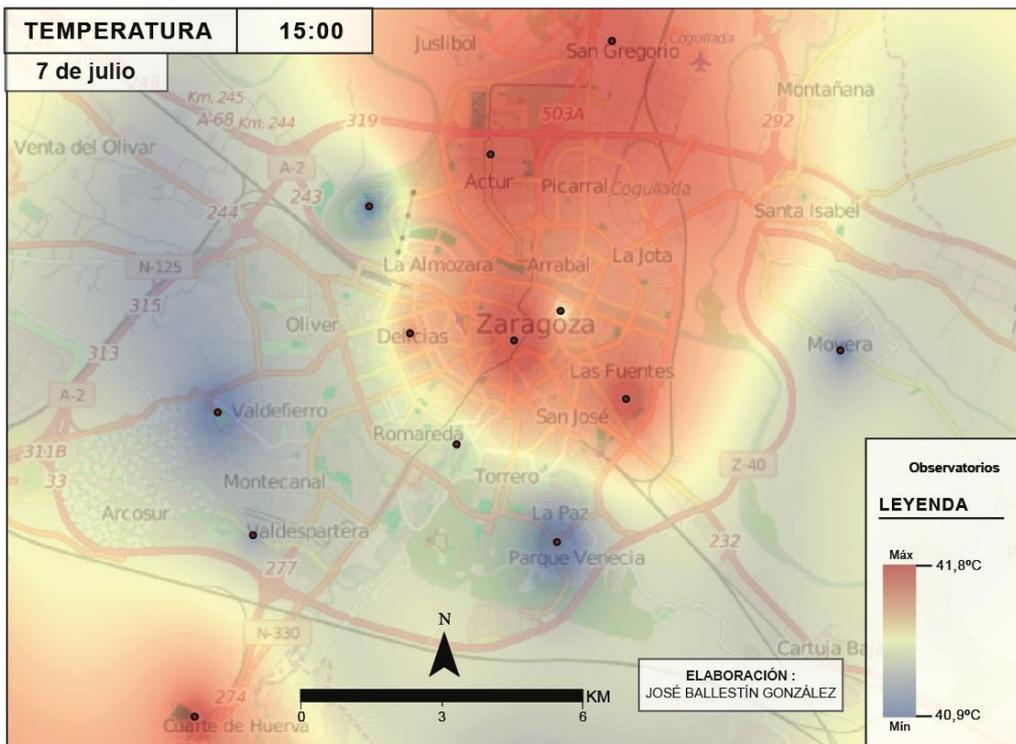
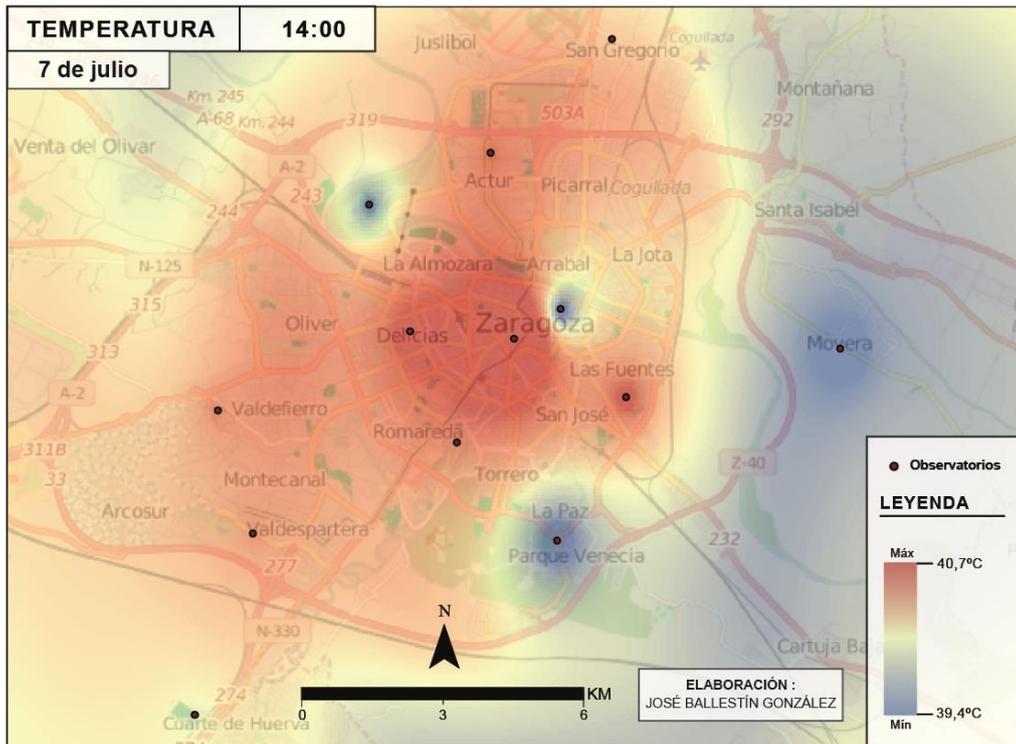
Figuras 51 y 52 Representación de la distribución de las temperaturas a las 8:00 y 9:00 horas del día 7 de julio



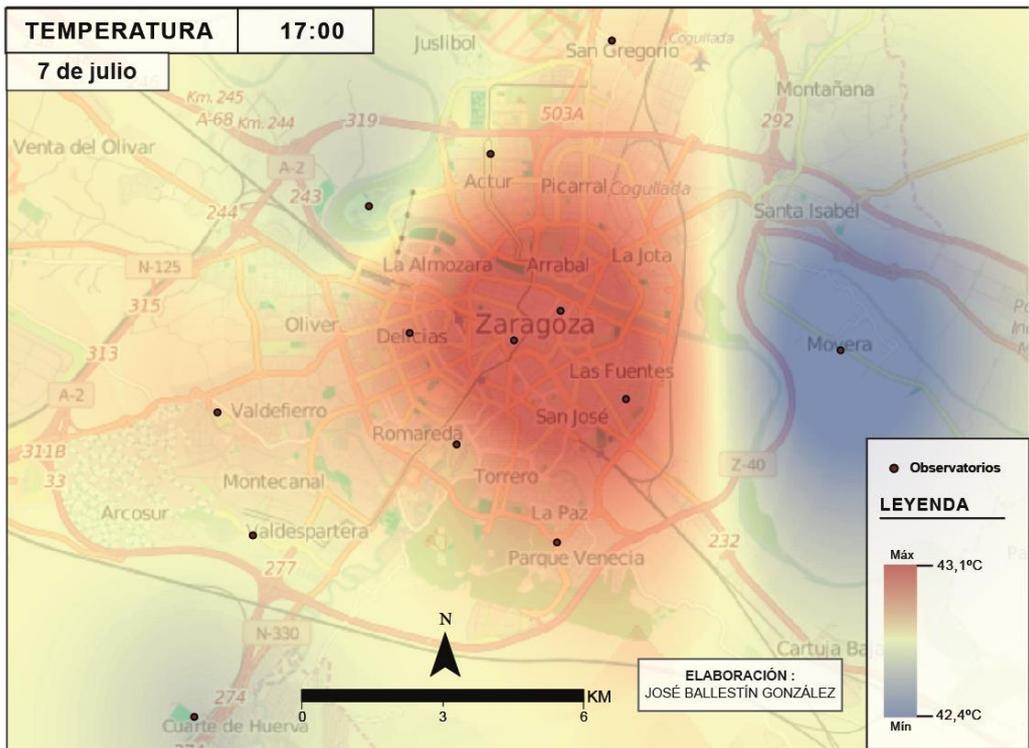
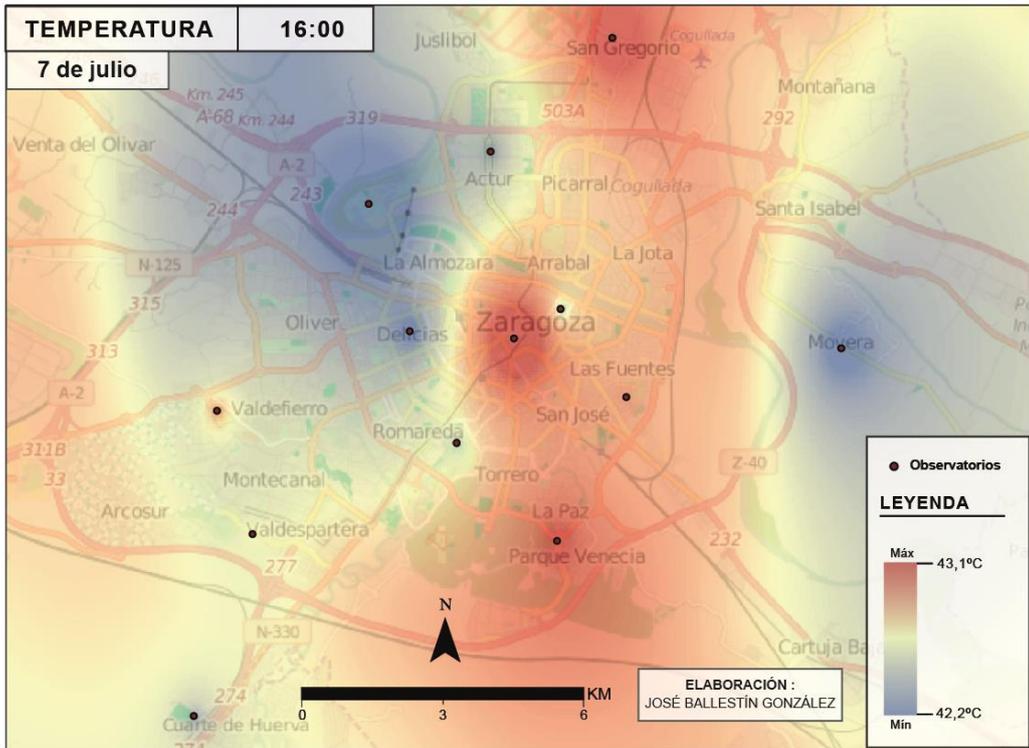
Figuras 53 y 54 Representación de la distribución de las temperaturas a las 10:00 y 11:00 horas del día 7 de julio



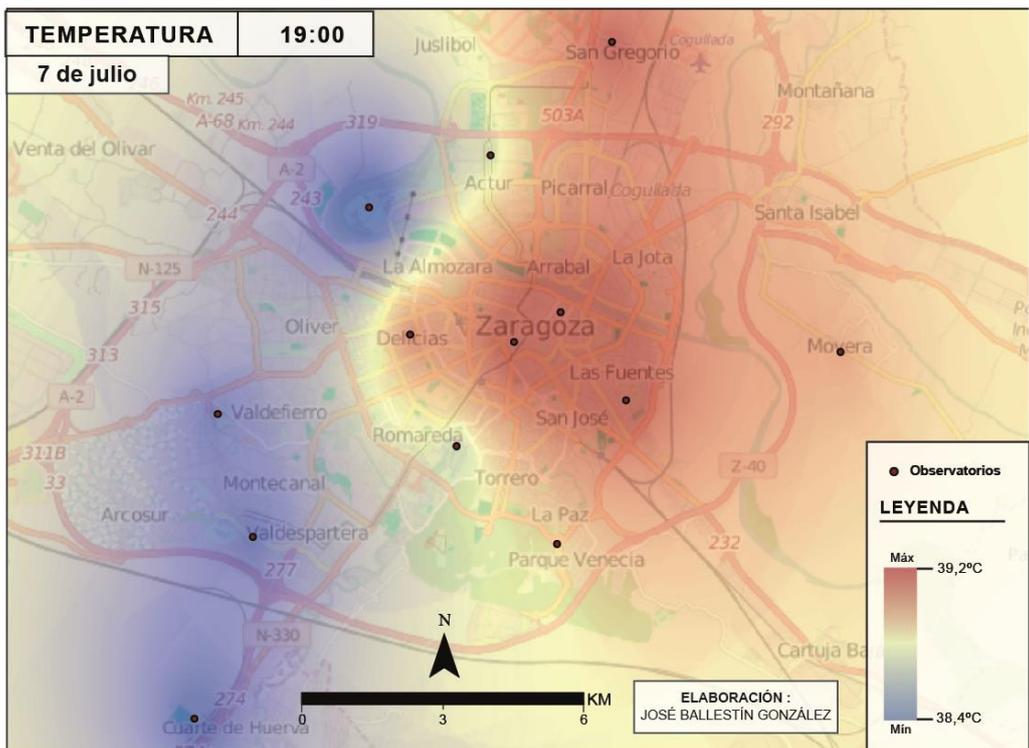
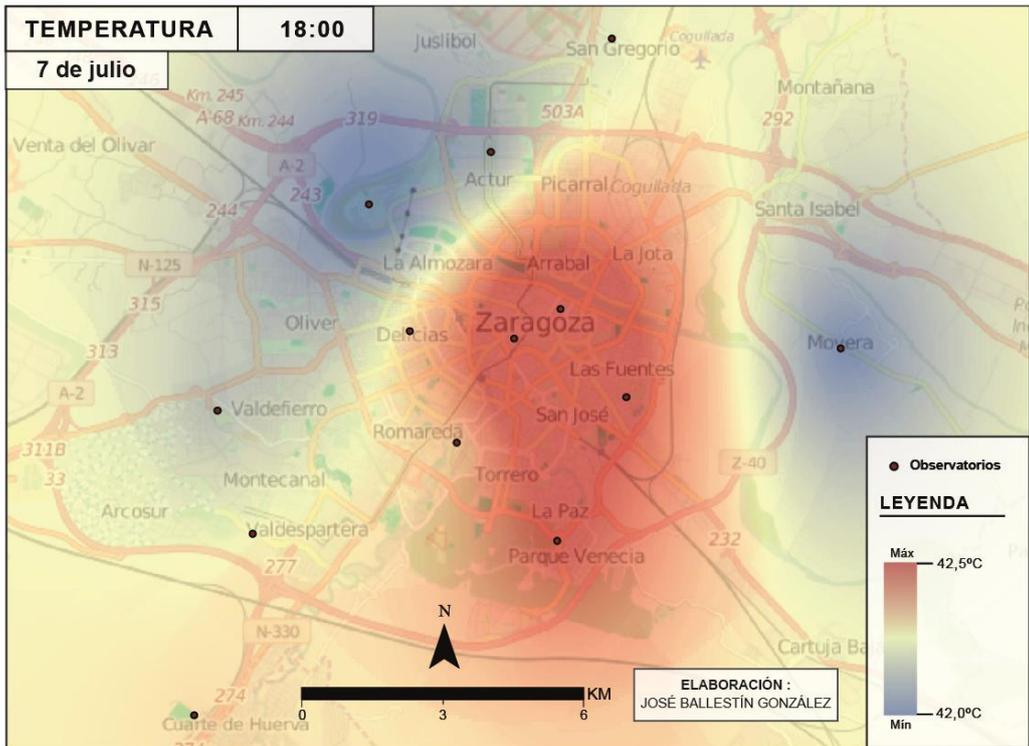
Figuras 55 y 56 Representación de la distribución de las temperaturas a las 12:00 y 13:00 horas del día 7 de julio



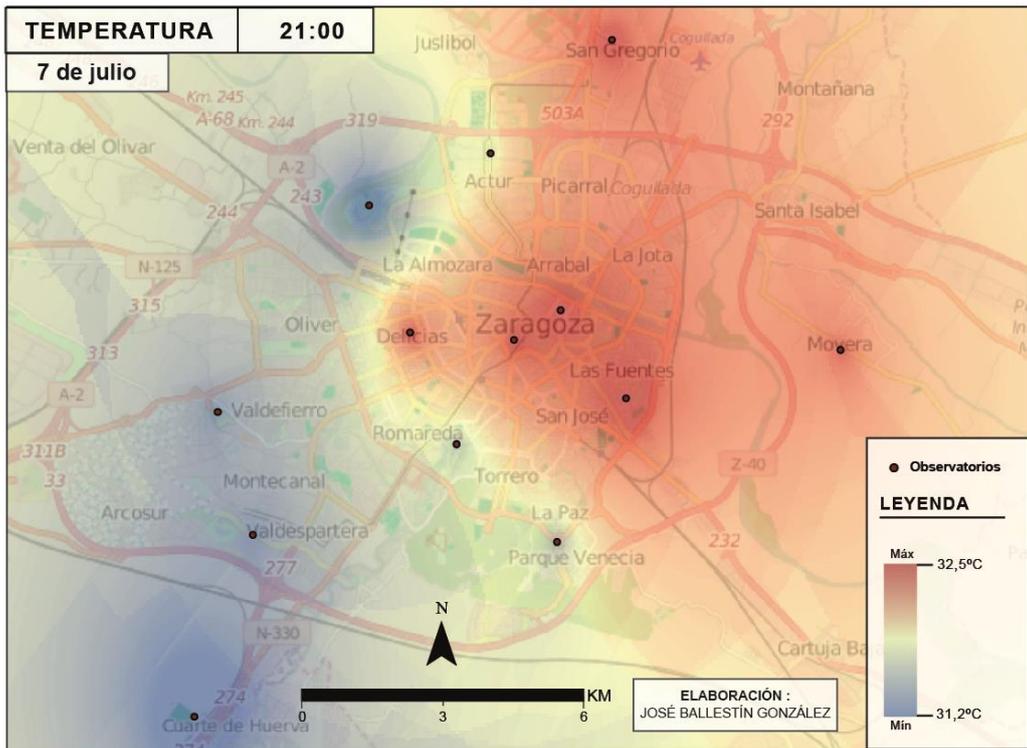
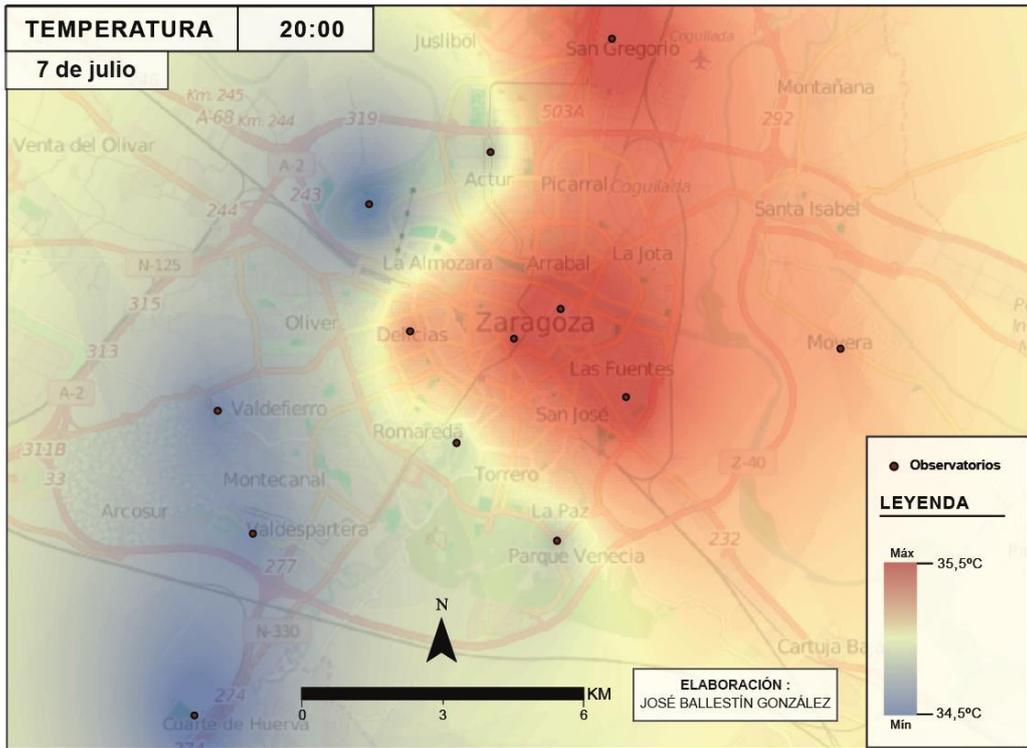
Figuras 57 y 58 Representación de la distribución de las temperaturas a las 14:00 y 15:00 horas del día 7 de julio



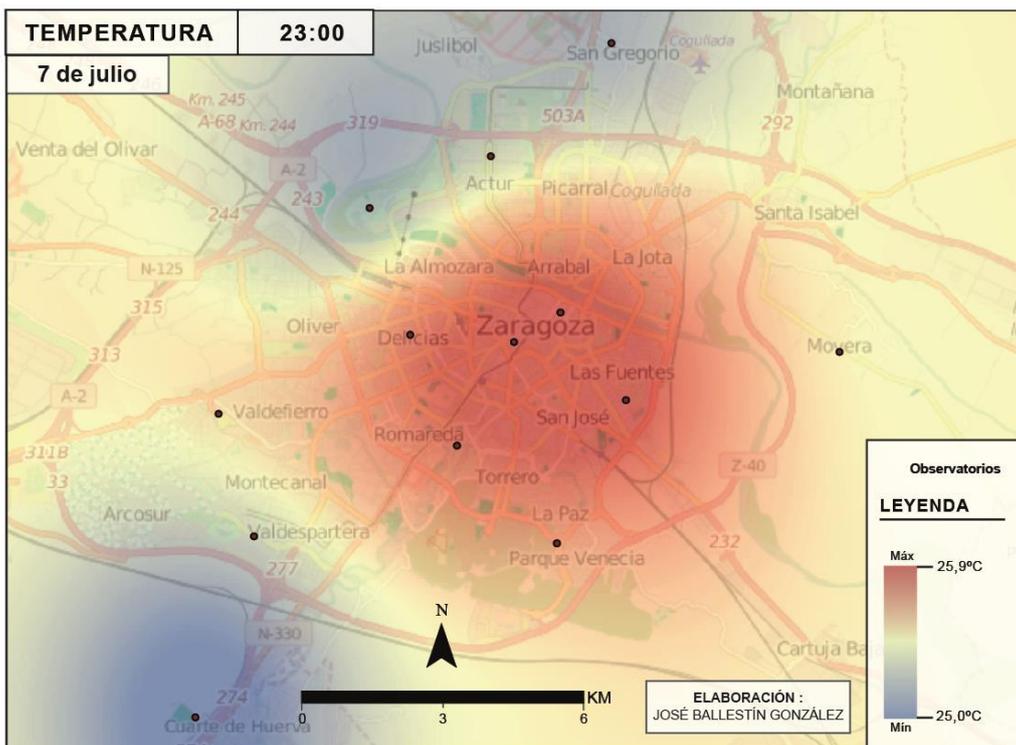
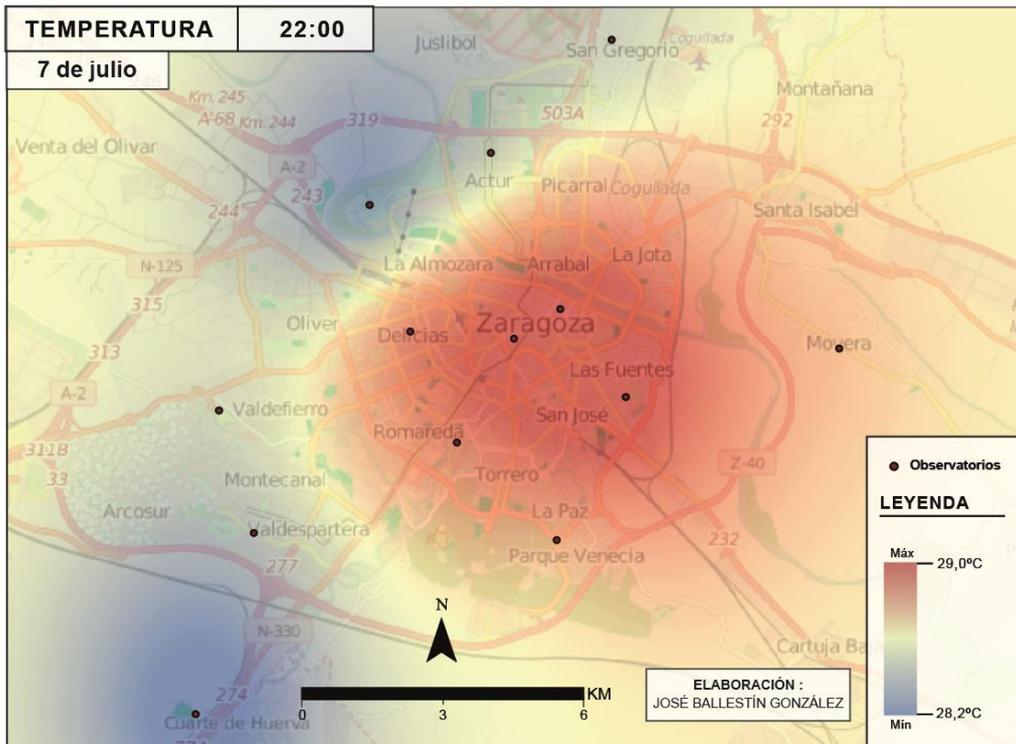
Figuras 59 y 60 Representación de la distribución de las temperaturas a las 16:00 y 17:00 horas del día 7 de julio



Figuras 61 y 62 Representación de la distribución de las temperaturas a las 18:00 y 19:00 horas del día 7 de julio



Figuras 63 y 64 Representación de la distribución de las temperaturas a las 20:00 y 21:00 horas del día 7 de julio



Figuras 65 y 66 Representación de la distribución de las temperaturas a las 22:00 y 23:00 horas del día 7 de julio

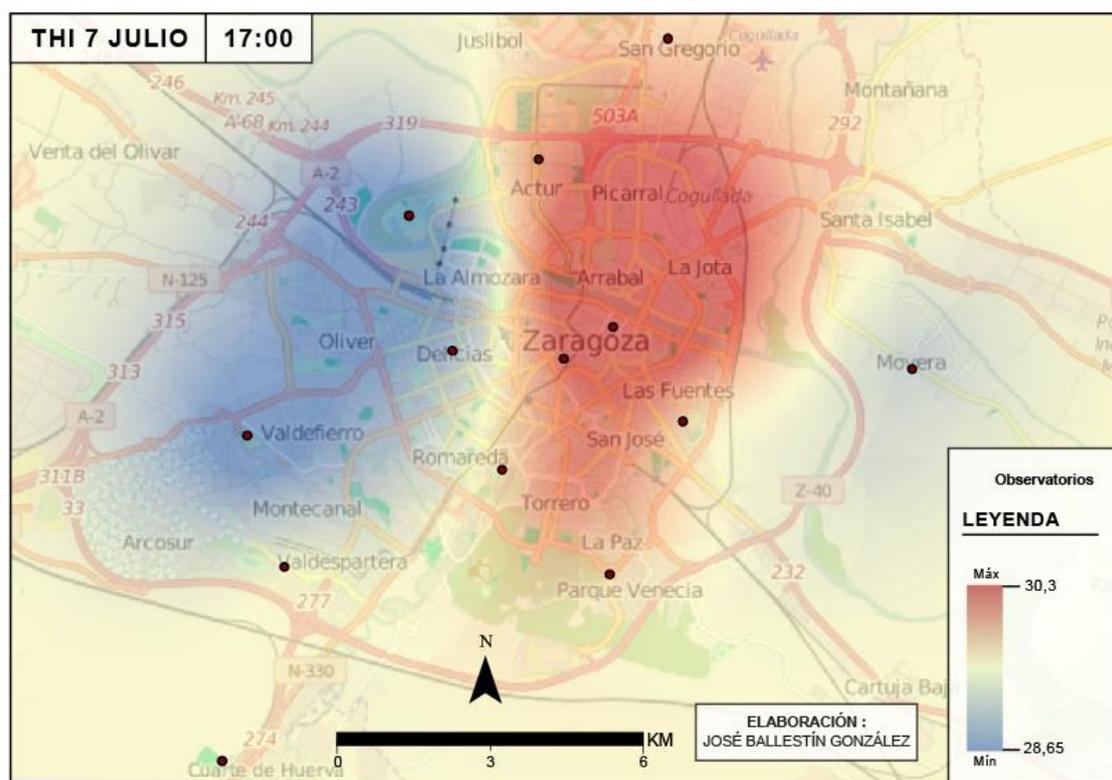


Figura 67. Representación de la distribución del THI a las 17h del día 7 de julio

Respecto a los resultados que se ven plasmados en los mapas se puede decir que en el día 7 de julio la isla de calor se produce desde la mañana hacia el interior del centro urbano, en cambio, en la periferia se puede ver en los mapas que disminuye la temperatura, por lo tanto es más fresca y en la parte oriental de la ciudad por la tarde se produce un calentamiento masivo. Los mapas marcan un desplazamiento hacia el NW de la “isla de calor urbano” (véase fig.58-66) provocando un aumento de la temperatura en esta zona. Las zonas más frescas son las situadas hacia las afueras de la ciudad y en el observatorio del Parque del Agua, cuya temperatura no excede en ningún momento a la registrada en el centro. Llegados la noche la parte expuesta por los vientos empieza a bajar más rápidamente con lo que conlleva a que la isla de calor solo se asiente en el centro.

Como se puede observar la temperatura de las 0:00 horas del día 7 de julio llegó a los 30C en la parte occidental de la ciudad y la parte más fresca en la oriental. Una hora más tarde se puede observar que el calor se ha desplazado más hacia el centro y parte oriental, se puede apreciar que hay dos zonas que son más frescas que sus alrededores (observatorio del Parque del Agua y Jardín Botánico). Todas ellas, sus observatorios se encuentran entre superficies más naturales como parques. A las 2:00 h de la madrugada (fig. 45) el calor forma una isla en la que se puede observar en la parte central de la ciudad y las zonas más frescas se encuentran en la periferia. En la siguiente hora, el calor se dispersa más y su concentración es mucho menor, por lo que se puede deducir que las temperaturas se reducen. A las 4:00 de la mañana (fig. 47) se observa que la parte oeste de la ciudad concentra más calor que la parte este. En el centro de la ciudad se puede observar que el calor no puede desplazarse de esa zona, por lo tanto se mantiene. A las 6:00 de la madrugada (fig. 49) el calor no está concentrado en un punto, por tanto se ve que está más disperso, éste se desplaza hacia el oeste de la zona de estudio. Esta situación dura una hora ya que a las 7:00 horas (fig. 50) el calor vuelve a concentrarse en el centro. A las 8:00 de la

madrugada (fig.51) ya se puede ver una cúpula de calor en el centro de la ciudad. En la parte sur de la zona de estudio se puede observar que el calor no se intensifica de la misma manera. A las 9:00 horas (fig.52) se puede apreciar que el calor se sitúa exclusivamente en el centro de la ciudad, creando la isla de calor. A las 10:00 (fig. 53) el centro aún permanece con su bolsa de calor pero éste se expande hacia otras zonas como al observatorio de delicias. En las zonas que existen parques alrededor se puede visualizar que esta bolsa no incide de tal manera.

A las 12:00 (fig. 55) horas se puede observar que la bolsa de calor se ha expandido de una forma acusada al resto de barrios concentrándose principalmente en el centro, Las Fuentes y Delicias. Pero todavía existe una gran diferencia entre las zonas de parques que resisten. Poco a poco empiezan a sumergirse estas zonas mediante la bolsa de calor. A las 15:00 horas (fig. 58) se ve una diferencia en la distribución de las temperaturas en la que en la parte Suroeste y Oeste son más frescas que el resto de la ciudad haciendo que la bolsa de calor se sitúe en el centro y Norte de la ciudad. A las 16:00 (Figura 59) horas esta bolsa es más fresca y se ha desplazado hacia el Parque del Agua y Delicias. A esa hora el calor se concentra. A las 17 horas (fig. 60) se nota que el calor se concentra en la ciudad abarcando buena parte de ella, en cambio en las zonas de las afueras de la ciudad encontramos menos temperaturas. Entre las 18:00 y las 19:00 horas (Fig. 61 y 62) vemos que la bolsa de calor se debilita situándose en el centro únicamente, pero con diferencias respecto al día. En las horas posteriores se puede observar que la temperatura baja a un ritmo acusado y en la parte oeste de la ciudad se produce un enfriamiento de las temperaturas. Se puede observar que en el observatorio de Movera empieza a sufrir el efecto de la cúpula de calor generado desde el centro la ciudad. Ya en la noche (fig. 63, 64,65, 66), la bolsa de calor vuelve a concentrarse en la ciudad expandiéndose, pero con más suavidad. La periferia por la noche es más fresca que el centro.

En cuanto al (fig. 67) de THI a las 17:00 horas del 7 de julio decir que las zonas donde hay mayor disconfort térmico se encuentran donde se produce la isla de calor, produciendo una sensación de bochorno en el centro y noreste de la ciudad. En la parte oeste al tener menos densidad de edificaciones esta sensación de disconfort térmico es menor.

Los objetivos plasmados en un primer momento en el trabajo son el análisis del grado de confort o disconfort térmico de la ciudad de Zaragoza de marzo a noviembre del 2015 y por lo tanto, los resultados obtenidos reflejan que las zonas con un mayor grado de confort térmico, es decir, más agradables en general son las zonas de la periferia como Movera o Valdespartera. También decir que las zonas provistas de zonas verdes como pueden ser el parque del Agua también tienen un óptimo grado de confort térmico. En cambio, las zonas más al centro y sur de la zona de estudio retienen más calor y poseen un menor grado de confort, es decir, disconfort térmico. En la zona este de la zona de estudio, el confort térmico medio nos expresa que la ciudad varía con una sensación entre suaves y cálidos.

Respecto a los objetivos específicos planteados decir que los resultados de las gráficas expresan que la frecuencia de los días bochornosos son irregulares, y de pequeña duración. En cuanto a los días muy cálidos, su periodicidad es más alta, en el momento que llega a estos valores, nos indica que esta zona donde se localiza un determinado observatorio está en una situación de fenómeno extremo, es decir, una ola de calor. Ésta se da durante los meses de junio, julio y agosto. La sensación térmica de valores cálidos es la más común de todos los observatorios, junto con la suave. Estas dos, abarcan casi todo el periodo tanto en las máximas como en las mínimas. En los meses de verano las mínimas presentan esta sensación durante algunos días y en las temperaturas máximas es lo más frecuente esta suavidad. La sensación de frío se da principalmente en la estación de Otoño.

Respecto al último objetivo específico de la cuantificación de las olas de calor plasmado en un principio, decir que las temperaturas del día 7 de Julio fueron extremadamente altas para la ciudad que llegó a los 44,6°C, ya que se consiguió superar el anterior record de 43.1°C del 2009 (AEMET, 2009), este día, también fue la noche más calurosa llegando a disminuir hasta los 24 °C de mínima. En cuanto al valor del THI del 7 de Julio decir que llegó a palpar el valor 30, por lo que hubo un día con una sensación bochornosa, pero solo se dio en algunos observatorios como el del Ayuntamiento (Casa Jiménez) y Plaza Santa Marta, situados en el centro de la ciudad.

6-DISCUSIÓN

Una vez vistos los resultados se puede decir que el confort térmico de Zaragoza depende, en primer lugar, de las características del clima regional y, en segundo lugar, de las modificaciones que sobre aquel introduce la ciudad. Se ha podido ver que los ciudadanos que viven en el centro o lo habitan de forma constante soportan temperaturas mayores que sus vecinos de las zonas colindantes, como por ejemplo en Movera. Por lo tanto, se ha podido observar que el efecto urbano ocasiona una notable modificación del clima, y eso conlleva a un contraste con el del entorno periurbano o rural circundante (Fernández, 1999).

Como se ha podido ver en el trabajo, el concepto de “isla de calor” utilizado como distintivo de los climas urbanos, adquiere aquí todo su significado y con ello, el calentamiento provocado por la ciudad de Zaragoza tiene repercusiones muy interesantes desde la óptica del confort de sus habitantes: por un lado, atenúa el frío y aumenta la frecuencia y duración de las sensaciones confortables, lo que podría inducir a valorar como positiva la influencia de la ciudad sobre el confort de sus habitantes, tal y como lo han hecho otros autores (Unger, 1999); sin embargo, también se produce un aumento de las sensaciones cálidas y esto incide muy negativamente sobre la calidad ambiental de las áreas urbanas(Fernandez,1999).

En estudios anteriores (López Gómez et al, 1993) ponían de manifiesto la influencia que sobre la isla de calor tienen la presencia de árboles en calles y plazas; también en diversos estudios sobre los parques de Madrid se analiza la importancia de estos espacios como creadores de áreas climáticamente diferenciadas (Almendros, M. A. 1992 y 1996), por lo tanto en nuestro estudio de Zaragoza, se ha visto que esta teoría se reproduce en cierto modo en las zonas previstas de amplios sectores de parques y por lo tanto se confirma, pero en las zonas que existe gran densidad de edificación y población esta modificación es muy débil como es el caso del Parque Grande.

En definitiva, si la ciudad crea su propio clima, crea también su propio confort o desconfort. Pero a diferencia de aquel, estos últimos son fenómenos relativos que dependen no sólo de la fisiología subjetiva de cada uno sino de las condiciones periurbanas. De esta manera, la ciudad puede con la misma facilidad mejorar o empeorar su propia confortabilidad (Fernández, 1999). En el caso de nuestro estudio, en el que hemos encontrado un verano muy caluroso, el impacto urbano ha generado situaciones de desconfort extremo, pues la isla de calor ha anulado el ligero fresco de las noches estivales que aún se mantienen en el área urbana más próximas y en las zonas con parques y jardines.

Según el IPCC (2015) es prácticamente seguro que el cambio climático haya aumentado la probabilidad de la ola de calor que se extendió por gran parte de Europa, lo que no deja de relacionar un acontecimiento con otro. Por otra parte, las islas de calor podrían estar influyendo

en el cambio climático, aunque de una forma muy curiosa. Los científicos recuerdan que el aumento de la temperatura en las ciudades es un fenómeno a pequeña escala, por lo que su impacto como tal en el clima global no es muy relevante. Sin embargo, sí que pueden haber influido en los datos tomados como referencia para cuantificar el calentamiento global. Los registros históricos provienen de estaciones meteorológicas que con el crecimiento de las ciudades han acabado atrapadas en estas islas de calor, por lo que habrían estado ofreciendo unos datos sobredimensionados. En todo caso, se trata de un tema controvertido, ya que aunque se utilicen métodos para ajustar los datos, no todos los científicos consideran correctos los resultados.

Según expertos las olas de calor urbanas han aumentado un 48 % desde 1973, la frecuencia de las olas de calor ha aumentado dramáticamente en los últimos 40 años, y la tendencia parece estar creciendo más rápidamente en las zonas urbanas. Las zonas urbanas están experimentando una especie de doble golpe; una combinación de calentamiento climático en general combinado con el efecto de isla de calor, en el que las actividades humanas y el calor ambiental han creado una trampa que evita que las ciudades se enfríen tan rápido como las zonas rurales. Por lo tanto, el calentamiento es global, pero el efecto se amplifica en las zonas urbanas. Señalar que un episodio concreto como la ola de calor no se puede asociar al calentamiento global, las series indican que en las últimas dos décadas todos los años han sido cálidos (AEMET, 2015). También hay que resaltar que ni siquiera los escépticos niegan el calentamiento global.

Resultados de multitud de estudios exponen que los días más calurosos del verano suelen situarse entre el 15 de julio y el 15 de agosto. Sin embargo, en el año de nuestro estudio de 2015, ya en junio, e incluso durante varios días de mayo, se alcanzaron temperaturas verdaderamente veraniegas en Zaragoza. Hubo hasta 17 capitales de provincia que batieron su récord de temperatura máxima absoluta para un mes de mayo (AEMET, 2015). En junio, aunque es más normal, se alcanzaron con facilidad temperaturas por encima de 40° C, como se ha visto el 7 julio en Zaragoza, en la que hubo la ola de calor que duro en torno a 12 días, y a eso se le une el fenómeno de la isla de calor. Debido a esto, llama la atención que en las ciudades grandes puede que la temperatura ya no sea la misma que antes porque ha cambiado el entorno donde se tomaban los registros y donde existen más edificios e industrias. Es algo que se tiene en cuenta en las mediciones. Es algo muy significativo de este episodio de calor. Cuando hablábamos de “noche tropical” señalamos el momento en que las temperaturas no bajan de 20° C por la noche y se ha visto que en Zaragoza esa cifra ha durado muchos días e incluso se ha superado. Lo más sorprendente fue lo ocurrido en la madrugada del 7 de julio, donde varias localidades de Teruel no bajaron de 28° C, algo que no había pasado nunca desde que hay registros (AEMET, 2015). Este fenómeno no solo afecto a España, también a gran parte de Europa. Sin ir más lejos, este verano del 2015 se puso en alerta por altas temperaturas más de 16 países, entre los que se encontraban países de Suiza o Polonia. No obstante, la (OMM, 2015) cree que estamos mejor preparados para afrontarla. Además, afirman que en esta ola de calor analizada es prematuro decir que se pudo atribuir al cambio climático o si se debió a la variabilidad natural del clima (OMM, 2015). Asimismo, responsables de la AEMET explican que no existe relación directa con las olas de calor y el cambio climático ya que son escalas distintas, el cambio climático está relacionado con cómo van a evolucionar las temperaturas. La ola de calor es un fenómeno meteorológico puntual. Son escalas de tiempo diferentes. Ésta ola de calor en concreto, se ha debido a una masa de aire muy caliente que ha ido subiendo desde el Sáhara hasta la Península Ibérica. No son fenómenos inusuales ya que desde 1975 se ha sufrido unos 28 episodios similares pero sin embargo, según fuentes oficiales durante los últimos 50 años estos episodios extremos se han intensificado (AEMET, 2015), por lo tanto parece ser que

estas temperaturas tan elevadas sigan apareciendo cada año y cada vez con más intensidad por lo que ciudades como Zaragoza, tendrá que tomar medidas contra estos episodios tan sofocantes y graves para la población.

7-CONCLUSIONES

La ciudad de Zaragoza durante el periodo de estudio abarcado, se podría indicar que no es climáticamente homogénea del todo, es decir, existen algunas diferencias significativas relacionadas con la densidad y tipo de urbanización y, especialmente, con la presencia de espacios verdes como se ha podido apreciar en el observatorio del parque del Agua (fig. 14), todo ello complica y diversifica las sensaciones térmicas en las diferentes áreas de la ciudad. Por otro lado, destacar que no existe una relación muy directa entre la temperatura y el THI (confort térmico). En las gráficas se mostraba que los picos más altos de temperatura de cada observatorio no coincidían con el THI más alto (7 de julio). Al mirar los datos se observaba que a mayor humedad el índice higrométrico se elevaba hacia una sensación de bochorno, mientras que en ese mismo día, en las zonas donde había menos humedad, la sensación no llegaba a bochorno sino que se mantenía con valores 28 a 29. También ocurre lo mismo cuando la temperatura es más baja, a partir de 12°C con humedad del 100%, la sensación es de desconfort térmico. Las máximas de THI suceden entre los días 12 y 13 de Agosto, estos días reflejan una ola de calor pero no coincide con la máxima temperatura registrada en el periodo de estudio, en cambio, muestra mayor porcentaje de humedad que el día 7 de julio. Respecto al balance del verano del 2015 de Zaragoza decir que ha sido muy caluroso, el impacto urbano ha generado situaciones de desconfort extremo, pues la isla de calor ha anulado el ligero frescor de las noches estivales del área urbana más próximas y en las zonas con parques y jardines. Respecto a la ola de calor del día 7 de julio decir que ha durado en torno a 12 días, y las temperaturas llegaron a los 44.6°C, ésta fue récord histórico de toda la serie de datos registrada en Zaragoza. Estos episodios extremos que se han dado en Zaragoza podrían llegar a ser algo más habituales debido al cambio continuo de ascenso de las temperaturas

8- BIBLIOGRAFIA

- Albentosa L.M., (1990). *Climatología y medio ambiente*. Universidad de Barcelona. Pp 619
- Almendros, M.A. (1992) *Aspectos climáticos del parque del Retiro*. (Madrid) Ed Geográficos, 207: 217-239.
- Atkinson, P., Quattrochi, D. A., (2000). *Special issue on geostatistics and geospatial techniques in remote sensing*. Computers & Geosciences 26 (4): 359.
- Burrough, P. y McDonnell, R. (1998). *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford University Press: 19 pp.
- CAM (2006): *Vigilancia y control de los efectos de las olas de calor*. Plan de respuesta ante los riesgos, Instituto de Salud Pública, Servicio de Promoción de la Salud, Madrid, documentos técnicos, 30 pp.
- Carreras, C.; Marín, M.; Martín Vide, J.; Moreno, M.C., y Sabi, J. (1990): *Modificaciones térmicas en las ciudades. Avance sobre la isla de calor en Barcelona*. Documents d'Anàlisi Geogràfica, 17, págs. 51-77.
- Cuadrat, J M^a, Saz M., (2002), “*Spatial patterns estimation of urban heat island of Zaragoza (Spain) using GIS*”, Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio.
- Cuadrat JM^a, Serrano, Tejedor (2013) Heat and cold waves in Spain. In García Legaz y Valero (coord) Adverse weather in Spain. World climate research programme
- Cuadrat, J M^a, Fernanda, M. (1997): *Climatología*. Madrid. Cátedra. Pp. 496.
- Cuadrat, J M^a, Saz M., Vicente, S.M (2004) *Clima urbano y calidad ambiental de la ciudad de Zaragoza*. Agenda Local 21, Ayuntamiento de Zaragoza. Zaragoza. Pp 24.
- Cuadrat, J. M^a, De La Riva J., López F., Y Martí A. (1993): *El medio ambiente urbano en Zaragoza. Observaciones sobre la «isla de calor»*. Anales de Geografía de la Universidad Complutense, n° 13, pp 127-138
- Fernández García, F.; Almendros Coca, M. A., y López Gómez, A. (1994): “La influencia del relieve en la Isla de calor de Madrid: las vaguadas del manzanares y el Albroñigal”, *Revista de Estudios Geográficos*, n° 224, pp. 473-494.
- Fernández, F. (2007): “*Impactos del cambio climático en las áreas urbanas y rurales*”, Boletín de la Institución Libre de Enseñanza, n° 66-67.
- Fernández, F.; (2008) *Olas de calor e influencia urbana en Madrid y su área metropolitana*.
- Fernández, F.; Arroyo, F .,(1991).*Aproximación al conocimiento del confort térmico urbano de Madrid*. Ed. UAM Ediciones1.Madrid pg. 110
- Fernández, F.; Galán, E. Y Cañada, R. (Coord.) (1998). *Clima y ambiente urbano en ciudades ibéricas e iberoamericanas*. Editorial Parteluz. Madrid.
- Ladnsberg, H. E. (1981): *The urban climate*. Ed. Academic Press. Nueva York. pp 277 .

López Martín, F.(2003) El medio ambiente urbano de la ciudad de Zaragoza. Universidad de Zaragoza. Tesis doctoral (Diputación General de Aragón)

López Gómez, A.; Fernández, F.; Martín Vide, J. y Cuadrat, J.M. (1993). El clima de las ciudades españolas. Editorial Cátedra. Madrid, 269 pág.

López, A.; Fernández, F.; Arroyo, F.(1995). *Teledetección y clima urbano: variaciones nocturnas y diurnas de la isla de calor en Madrid*.Madrid

López, Martín, F. (1995) *Nota sobre la percepción del clima urbano. El ejemplo de la ciudad de Zaragoza*. Revista Geographicalia. Pp: 15

Martilli, A. (2012). El clima urbano: aspectos generales y su aplicación en el área de Madrid. CIEMAT.pp 4.

Muniz, L.; Gerson, F. (2015)Urbanização, conforto térmico e análises azonal microclimática da cidade de sobral (CE) . *Revista da Casa da Geografia de Sobral*. (. 1):2-2. Dialnet Plus.

Quereda, E. y otros (2008): “*Un análisis experimental del efecto urbano sobre las temperaturas*”. Rev. Investigaciones geográficas. N°43. Pp. 5-17.

Unger, J. (1993) *Urban-rural air humidity differences in Szeged, Hungary*. International Journal of Climatology. 7 pp

Vicente, S.; Cuadrat, J.M y Saz, M.A. (2005). Spatial patterns of urban heat island in Zaragoza (Spain). *Climate Research* 30: 61-69.

Páginas web y noticias de prensa

AEMET (2015)”Julio, extremadamente cálido y normal en precipitaciones”. Agencia estatal de meteorología, Agosto de 2015. Disponible en: www.aemet.es/es/noticias/2015/08/climticojulio2015. [Consultado: 23-12-2015]

Cuadrat, J.M., Saz, M. A. (2014). El clima término municipal de Zaragoza en el contexto del cambio global. Ayuntamiento de Zaragoza. Disponible en “<<https://www.zaragoza.es/contenidos/medioambiente/clima.pdf>”[Consultado:10-02-2016]

EFE (2015). Olas de calor en el mundo se dan más frecuentes y más intensas por el cambio climático. Diario la tercera. 1 de Julio de 2015. Disponible en www.latercera.com/noticia/tendencias/2015/07/659-636846-9-olas-de-calor-en-el-mundo-seran-mas-frecuentes-y-mas-intensas-por-el-cambio.shtml. [Consultado: 15-12-2015]

Elcacho, J. (2015) “Las olas de calor son cuatro veces más frecuentes en Europa con el cambio climático” La vanguardia, 14 de julio. Disponible en <http://www.lavanguardia.com/natural/20150714/54433900593/olas-de-calor-cuatro-veces-mas-frecuentes-en-europa-por-cambio-climatico.html>. [Consultado: 20-1-2016]

IPCC (2015) Climate Change ups Chances of Europe heat. Climate central. 10 de julio de 2015. Disponible en www.climatecentral.org/europe-2015-heatwave-climate-change [Consultado 3-1-2016]

Martín, J. Las islas de calor urbanas o dónde acaba la ciudad. GeocritiQ. 20 de diciembre de 2015, nº 189. [ISSN: 2385–5096]. Disponible en “<<http://www.geocritiq.com/2015/12/las-islas-de-calor-urbanas-o-donde-acaba-la-ciudad>”.[Consultado: 23-12-2015]

OMM: (2015). Probablemente el año más cálido jamás registrado y 2011-2015, el quinquenio más cálido (2015) [En línea] En Organización Mundial de Meteorología. Consultado [1-1-2015]. Disponible en <https://www.wmo.int/media/es/content/omm-2015-probablemente-el-a%C3%B1o-m%C3%A1s-c%C3%A1lido-jam%C3%A1s-registrado-y-2011-2015-el-quinquenio-m%C3%A1s>

Requena, R. (2015) “Está totalmente comprobado que el calentamiento global depende de la acción humana”. Diario del Alto Aragón, 21 de julio. Disponible en http://www.eldiario.es/aragon/sociedad/totalmente-comprobado-calentamiento-depende-humana_0_411559294.html. [Consultado: 8-1-2016].

9-ANEXOS

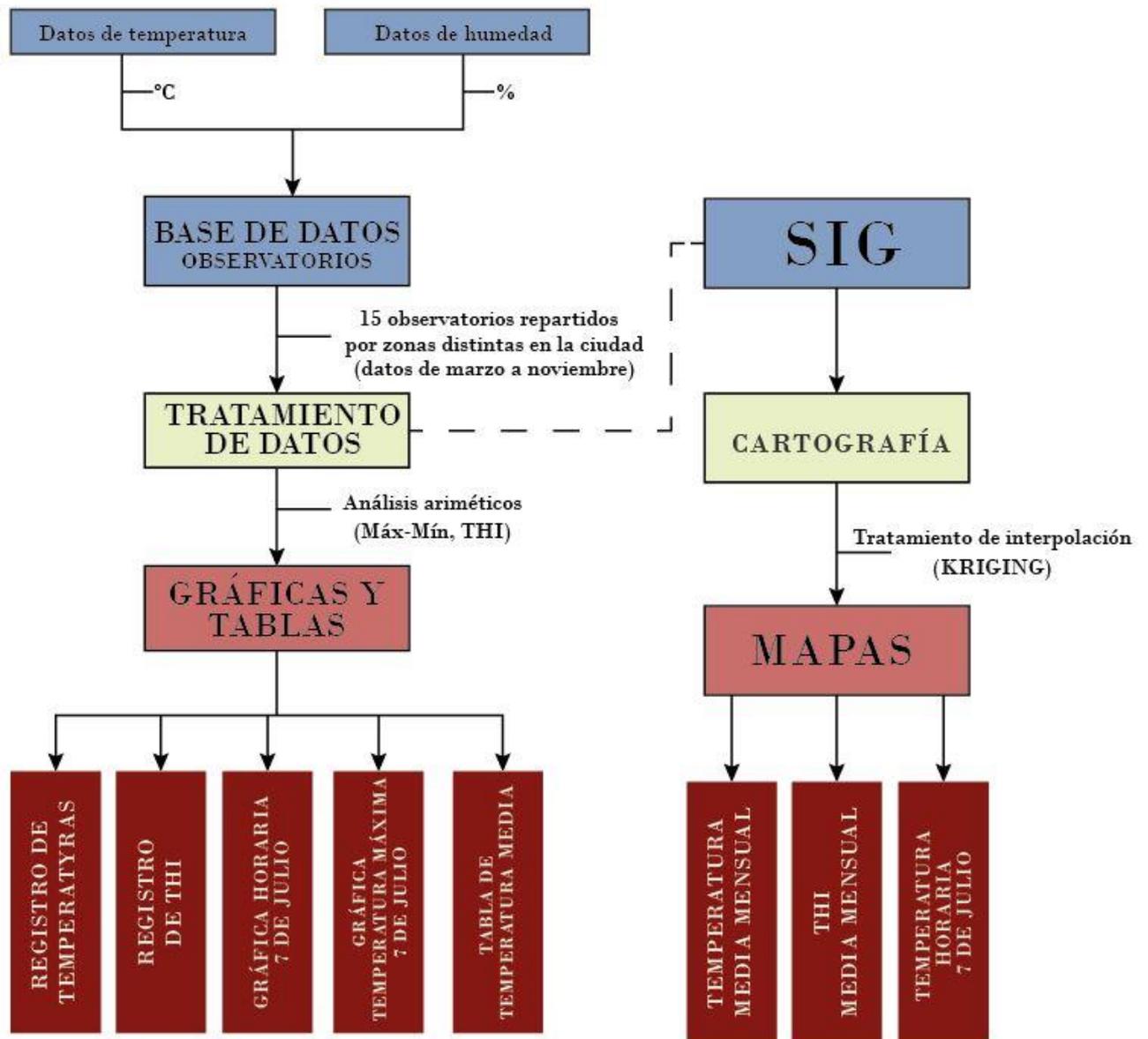


Figura 1. Fases y procesos del trabajo

	Comienzo el día 13			
Tarea	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero
Asignación del tema	2 h			
Revisión de la bibliografía		12 h		
Tratamiento de la base de datos		40 h		
Recopilación de información		15 h		
Calcular THI y temperatura		3 h		
Realización de tablas y gráficas		20 h		
Cartografía y SIG			60 h	
Trabajo escrito y revisión			50 h	15 h

Los valores están expresados en horas

217 horas totales

Tabla 1. Cronograma llevado a cabo en el trabajo

Identificador	Observatorio	Temperatura máxima	Temperatura mínimas	THI máx del 7 de julio	Días olas de calor	Noches tropicales	X_proj	Y_proj
0	Centro Cívico del Actur	42,6	4,6	29,3	29	39	-0,88946	41,67669
1	Ayuntamiento (Casa Jiménez)	44,6	5,0	30,3	40	51	-0,884919	41,64954
2	Parque del Agua	42,2	3,8	28,7	25	33	-0,94231	41,63905
3	Estación del Norte	42,8	5,3	29,6			0,87162	41,66026
4	Las Fuentes	43,5	4,7	28,9	38	40	-0,86323	41,64101
5	Cuartel de Policía	43,0	3,7	29,5	28	87	-0,8766	41,620098
6	Delicias	43,4	4,9	28,9	34	54	-0,90509	41,65065
7	Movera	42,1	4,4	30,2	27	31	-0,82173	41,64816
8	Ciudad Deportiva del Real Zaragoza	42,5	1,3	29,2	27	79	-0,946797	41,594639
9	Valdespartera	42,8	3,3	29,3	35	28	-0,93548	41,62112
10	Jardín Botánico	42,6	3,6	29,8	29	35	-0,89602	41,63437
11	San Gregorio	43,3	4,5	30,0	31	29	-0,86598	41,67669
12	Aemet-Canal	43,9	4,5	30,4	35	41	-0,87	41,38
13	Camping	43,0	3,4	28,7	28	45	-0,94231	41,63905
14	Santa Marta	43,6	5,1	29,6	43	54	-0,87591	41,65386

Tabla 2. Información sobre la base de datos.