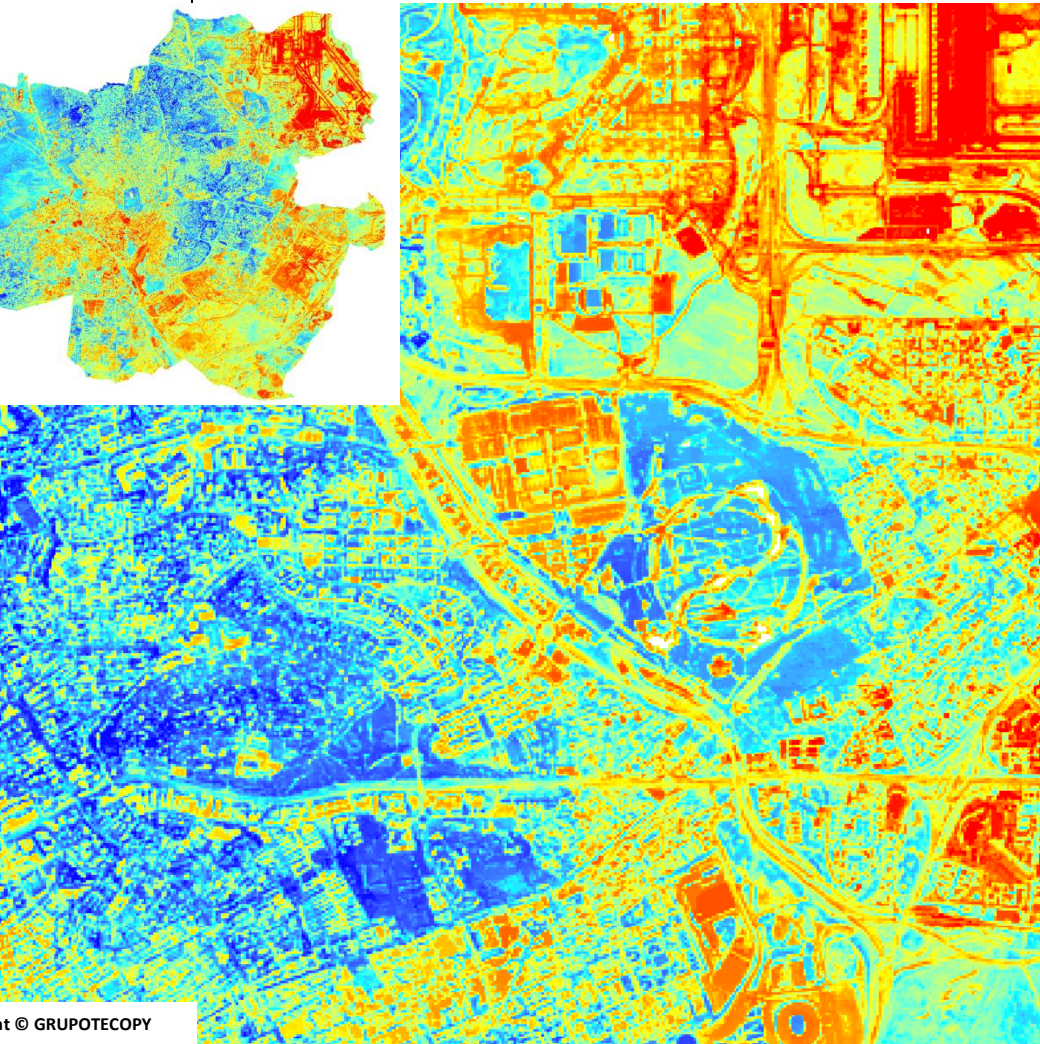


# 2021

Centro de Observación y  
Teledetección Espacial,  
S.A.U.

(COTESA – A47461066)



© GRUPOTECOPY

## **SERVICIOS TEMÁTICOS ESPECÍFICOS, METODOLOGÍA PARA LA GENERACIÓN DEL MAPA ANALÍTICO DE CLIMA URBANO**

[Análisis y obtención de variables físicas y geospaciales determinantes en la elevación de la temperatura local para el área urbana de la ciudad de Madrid, obteniendo el Mapa Analítico de Clima Urbano el cual representa el efecto caracterizado como “Isla de Calor Urbana”. ]

## Contenido

1.	Introducción .....	2
2.	Objetivo .....	2
3.	Metodología .....	2
3.1.	Selección de imágenes satelitales .....	2
3.2.	Tratamiento digital de las imágenes satelitales .....	3
3.3.	Obtención de variables y/o componentes principales.....	3
3.3.1.	Estimación de la temperatura superficial terrestre .....	4
3.3.2.	Estimación de la temperatura ambiental.....	4
3.3.3.	Verdor.....	6
3.3.4.	Compacidad urbana .....	7
3.3.5.	Cercanía a ríos y cuerpos de agua .....	7
3.3.6.	Pendiente .....	7
3.3.7.	Sombras.....	7
3.4.	Análisis multicriterio (EMC).....	7
3.4.1.	Categorización de las variables .....	7
3.4.1.1.	Temperatura superficial terrestre (TST).....	8
3.4.1.2.	Verdor.....	8
3.4.1.3.	Temperatura ambiental .....	9
3.4.1.4.	Compacidad urbana .....	9
3.4.1.5.	Cercanía a ríos y cuerpos de agua .....	10
3.4.1.6.	Pendiente .....	11
3.4.1.7.	Sombras.....	11
3.4.2.	Jerarquización de las variables.....	12
4.	Obtención mapa analítico de clima urbano .....	13
5.	Entregables.....	14
6.	Bibliografía .....	16

## 1. Introducción

El presente informe describe la metodología utilizada para la obtención del Mapa analítico de clima urbano o Mapa de Isla de Calor Urbana (ICU) para la ciudad de Madrid para el año 2020, obtenido a través de una evaluación multicriterio de los diferentes factores (variables físicas y geoespaciales) que influyen en el aumento de la temperatura local. Se tuvieron en cuenta variables temporales como la temperatura ambiental, y el verdor; y variables constantes en el tiempo como la pendiente y la distancia a los cuerpos de agua.

Diferentes estudios confirman la influencia de múltiples factores en la generación de la ICU, como el factor de visión del cielo y el albedo, la densidad de la población, la escasa vegetación o falta de la misma, la contaminación del aire asociada a los medios de transporte convencionales y el uso del suelo de tipo industrial conocido como el calor antropogénico, además de la velocidad del viento, entre otras.

## 2. Objetivo

Generación de Mapa Analítico de clima Urbano o Mapa de Isla de Calor para la ciudad de Madrid para el año 2020.

## 3. Metodología

A continuación se describe brevemente cada una de las fases llevadas a cabo para la obtención del Mapa Isla de Calor Urbano para la ciudad de Madrid junto con los recursos utilizados y las fuentes más importantes.

El periodo estudiado es de un año completo (2020) para considerar así las cuatro estaciones del año; teniendo en cuenta que la toma de las imágenes utilizadas de acuerdo con los metadatos corresponde a una hora específica del día (en este caso las 11:00 UTC). El efecto isla de calor aquí representado y analizado corresponde a un momento puntual del día que hora local se encuentra comprendido en el rango de las 12:00 a las 13:00 horas.

Es importante señalar que las diferencias máximas de temperatura se dan a últimas horas de la noche coincidiendo con las mínimas, mientras que durante las horas diurnas las diferencias en la superficie se hacen muy pequeñas, se debe tener en cuenta que esto tiende a variar en función de los puntos de comparación que se elijan y los factores que los afectan. Aunque la ICU varía durante el día como se mencionó anteriormente, alcanza su efecto máximo pocas horas después de la puesta de sol (Coral et al., 2013), debido a que la energía absorbida por las superficies urbanas se libera lentamente si se compara con la energía liberada en las zonas rurales.

### 3.1. Selección de imágenes satelitales

Se seleccionaron imágenes Landsat 8 para cada uno de los meses del año 2020 buscando mantener la misma diferencia en el tiempo entre las imágenes con el propósito de obtener datos diferenciados y coherentes para cada uno de los meses. Se selecciona este satélite debido a que

las imágenes obtenidas con el sensor TIRS tiene como objetivo principal obtener las características de temperatura de la superficie de la tierra. Las imágenes se descargan del sitio web del Servicio Geológico de Estados Unidos – USGS por sus siglas en inglés. La selección de las imágenes de cada mes se realiza de acuerdo a la disponibilidad de las mismas como se muestra en la siguiente tabla:

Imágenes Landsat_8_OLI_TIRS_C1_Level_1			
Mes	Hora	Fecha	Código de la imagen
Enero	10:55:00	10/01/2020	LC08_L1TP_201032_20200110_20200114_01_T1
Febrero	10:55:33	27/02/2020	LC08_L1TP_201032_20200227_20200313_01_T1
Marzo	10:55:26	14/03/2020	LC08_L1TP_201032_20200314_20200325_01_T1
Abril	10:55:10	15/04/2020	
Mayo	10:55:00	17/05/2020	LC08_L1TP_201032_20200517_20200527_01_T1
Junio	10:55:15	18/06/2020	LC08_L1TP_201032_20200618_20200625_01_T1
Julio	10:55:28	20/07/2020	LC08_L1TP_201032_20200720_20200807_01_T1
Agosto	10:55:38	21/08/2020	LC08_L1TP_201032_20200821_20200905_01_T1
Septiembre	10:55:46	06/09/2020	LC08_L1TP_201032_20200906_20200918_01_T1
Octubre	10:55:54	08/10/2020	LC08_L1TP_201032_20201008_20201016_01_T1
Noviembre	10:55:28	15/11/2020	
Diciembre	10:55:53	27/12/2020	

*Tabla 1. Imágenes seleccionadas para la obtención del mapa analítico de clima urbano (Los registros en gris corresponde a las imágenes del 2020 descartadas por nubosidad)*

### 3.2. Tratamiento digital de las imágenes satelitales

Teniendo en cuenta el propósito y uso de las imágenes satelitales en este estudio, se seleccionaron las bandas 2, 3, 4, 5, 6, 7, para la obtención de verdor y brillo y la banda 10 para la estimación de la temperatura superficial terrestre.

A las bandas de la dos a la siete se les realizaron las correcciones geométricas, radiométricas y atmosféricas necesarias. En primer lugar se transformaron de niveles digitales en radiancia en el techo de la atmosfera, posteriormente estas radiancias obtenidas se transformaron en reflectividades a nivel de superficie y finalmente conversión a reflectancia TOA con corrección angular.

En cuanto a la banda 10, esta se transformó de niveles digitales a radiancia en techo de la atmosfera y posteriormente se hizo la conversión a temperatura de brillo en el satélite.

### 3.3. Obtención de variables y/o componentes principales

Para la obtención del Mapa analítico de Clima Urbano se seleccionaron siete capas de información que no tienen asociación evidente a excepción de la temperatura superficial terrestre (LST) obtenida a través de las imágenes y la temperatura ambiental a 2 metros del suelo obtenida a través de la información climática de las estaciones meteorológicas de la ciudad de Madrid.

El efecto Isla de calor Urbana se encuentra condicionado por una gran cantidad de variables, que se suelen clasificar en variables temporales en el tiempo como lo es la velocidad del viento;

variables constantes en el tiempo como lo son el material de los edificios y finalmente se tienen las variables cíclicas como la radiación solar (Rizwan et al., 2008).

Se encuentra que la temperatura almacenada en la superficie constructiva de los edificios y el pavimento, la carencia o presencia de vegetación, la densidad poblacional y la velocidad del viento son factores que están directamente correlacionados con la elevación del efecto ICU. (Kondoh et al., 1999; V barradas et al., 2013; Fuentes Vergara, 2021; LM Maldonado, 2017). Adicional a esto se considera importante tener en cuenta el efecto del río Manzanares como regulador del clima al proveer humedad y facilitar el flujo del aire (H Romero et al., 2006), esto último repercutiría en la ventilación de la zona y por ende en el confort térmico; también la temperatura ambiental como medida del calor antropogénico teniendo en cuenta que se cuentan con datos meteorológicos horarios que se pueden aprovechar y finalmente se decide tener en cuenta las sombras, puesto que estas reducen la radiación recibida por la superficie evitando la emisión de calor hacia el ambiente y favoreciendo el confort térmico (Fernández García, 2009; PC Veliz- Chávez et al., 2012).

A continuación se enumeran cada una de las variables utilizadas y se detalla el proceso de obtención de las mismas:

### 3.3.1. Estimación de la temperatura superficial terrestre

Para la estimación de la temperatura superficial terrestre, como se mencionó anteriormente se hizo uso de la banda 10 para cada una de las imágenes. Habiendo convertido a temperatura en brillo satélite, se calculó el índice NDVI (*Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada*) y la emisividad de la superficie terrestre. Finalmente, con estos valores se obtuvo la temperatura superficial terrestre a través de la siguiente fórmula:

$$LST = \frac{BT}{(1 + (\lambda * BT / c2) * \ln(E))}$$

Dónde:

BT = Temperatura máxima de brillo atmosférica (Grados Celsius)

$\lambda$  = Longitud de onda de radiancia emitido

E = Emisividad de la superficie terrestre

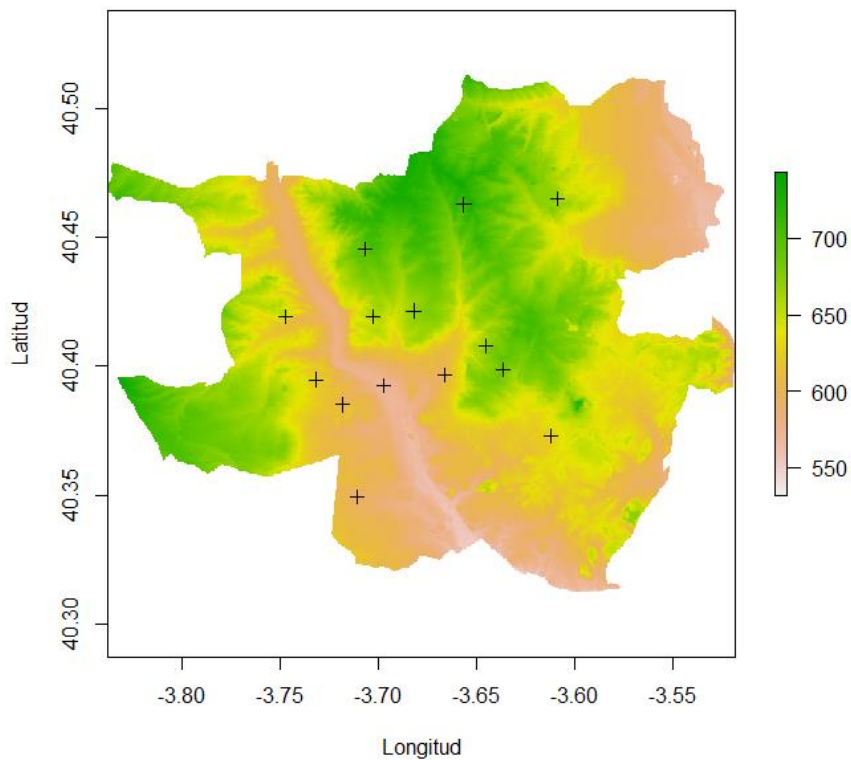
$c2 = h * c / s = 14388 \text{ mK}$

- $h$  = Constante de Planck ( $6.626 * 10^{-34}$ )
- $s$  = Constante de Boltzmann =  $1.38 * 10^{-23}$ )
- $c$  = velocidad de la luz ( $2.998 * 10^8$ )

### 3.3.2. Estimación de la temperatura ambiental

Para la estimación de la temperatura ambiental en toda la zona de estudio se hizo uso de los datos públicos del ayuntamiento de Madrid para 14 estaciones meteorológicas que se encuentran distribuidas en la ciudad de Madrid como se puede ver en la siguiente figura:





**Figura 1: Elevación (m.s.n.m) y estaciones meteorológicas para la ciudad de Madrid**

Se diseñó un algoritmo que filtra y recalcula los datos horarios para las 11:00 UTC (Ver Tabla 2. Temperatura media del mes de enero para las 11:00 UTC). Para la Península Ibérica a la hora UTC hay que sumarle dos horas para los meses de verano y una hora para los meses de invierno, de este modo se analizan los datos correctos de la hora local.

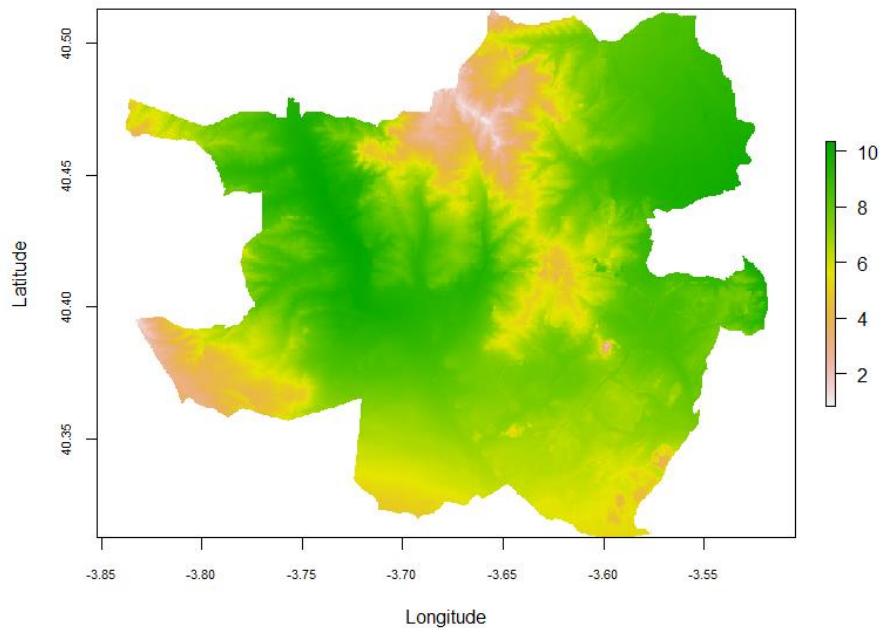
Código estación	Nombre estación	Latitud	Longitud	Elevación	Temperatura media/Enero
102	J.M.D. Moratalaz	40,3986111	-3,63694444	687	4,86
103	J.M.D. Villaverde	40,3494444	-3,71083333	594	6,36
107	J.M.D. Hortaleza	40,4627778	-3,65666667	715	1,90
112	J.M.D.Vallecas 1	40,3964722	-3,66645556	607	8,76
114	Matadero 01	40,3925444	-3,69763056	570	9,28
18	Farolillo	40,3947833	-3,73183611	632	9,65
24	Casa de Campo	40,4193583	-3,74734444	646	7,81
35	Plaza del Carmen	40,4192083	-3,70316667	660	7,94
36	Moratalaz	40,4079556	-3,64528333	671	7,18
38	Cuatro Caminos	40,4455472	-3,70712222	699	7,37
54	Ensanche de Vallecas	40,3730111	-3,61213889	629	7,96
56	Plaza Elíptica	40,3850278	-3,71876111	605	8,97
59	Juan Carlos I	40,4652778	-3,60916667	660	7,56
8	Escuelas Aguirre	40,4215639	-3,68228333	672	8,47

**Tabla 2. Temperatura media del mes de enero para las 11:00 UTC**

Posteriormente el código emplea una técnica avanzada de interpolación conocida como *Regression Kriging*, esta técnica de interpolación es una técnica de predicción espacial que

combina una variable dependiente (en esta caso la temperatura) con variables auxiliares (en este caso la latitud, longitud y la elevación sobre el nivel del mar); el modelo utilizado en esta técnica de interpolación es el modelo aditivo generalizado (GAM – por sus siglas en inglés *Generalized Additive Model*), este permite aplicar funciones lineales y no lineales a datos que no tengan una distribución normal.

Una vez implementado el algoritmo se obtiene el siguiente resultado para cada uno de los meses:



**Tabla 3. Temperatura media del aire en el mes de Enero (año 2020) a la 11:00 UTC – Ciudad de Madrid (GAM Regression – Kriging)**

### 3.3.3. Verdor

El verdor se obtuvo con el propósito de determinar la distribución de las áreas con masas vegetales, puesto que, como se mencionó anteriormente la vegetación juega un papel fundamental en la regulación térmica de los microclimas presentes en el área urbana producto de la evapotranspiración y la sombra ofrecida por los mismos. El verdor se obtuvo con las bandas 2 a la 7 para cada una de las imágenes y los coeficientes de transformación *Tasseled Cap* aplicados al satélite Landsat 8. La fórmula utilizada fue la siguiente y se obtuvo del estudio - Aplicación de la transformación *Tasseled Cap* en la generación de información temática a partir de las imágenes satelitales del Landsat 8 (OLI) – realizado por Ariel Insaurralde en el 2019:

$$\text{Verdor} = (B2 * -0.2941) + (B3 * -0.243) + (B4 * -0.5424) + (B5 * 0.7276) + (B6 * 0.0713) + (B7 * -0.1608)$$

La transformación *Tasseled Cap* ayuda a detectar los cambios en la vegetación y la evolución de las áreas urbanas al hacer una combinación lineal de todas las bandas espectrales del satélite Landsat, la intención de este método de transformación es reducir la información a un menor número de bandas y que a su vez represente una variable física (Insaurralde, J. A., 2019)

### **3.3.4. Compacidad urbana**

La compacidad urbana se calculó a través de la distancia entre parcelas de la ciudad de Madrid. Esta es la medida de compacidad de la edificación, es decir cuantifica el número de edificios sobre una superficie determinada. Se generaron polígonos Thiessen entre los centroides de las parcelas teniendo como resultado polígonos de mayor tamaño que representan las áreas con menor compacidad urbana, y polígonos de menor tamaño en el centro de la ciudad de Madrid siendo estas las áreas con mayor compacidad urbana. Es importante tener en cuenta que la relación entre el área de los polígonos Thiessen y la compacidad es inversamente proporcional, porque cuando más cercan se encuentran entre si los centroides de las parcelas mayor será la compacidad urbana. La información de referencia para el cálculo de compacidad urbana se obtuvo de la fuente de datos abiertos del Instituto de estadística de la Comunidad de Madrid.

### **3.3.5. Cercanía a ríos y cuerpos de agua**

Teniendo en cuenta el papel fundamental que tienen los ríos y cuerpos de agua como regulador de clima urbano al proporcionar permanentemente humedad y facilitar el flujo del aire, se seleccionan las masas de agua de la zona de estudio de la fuente de datos abiertos del Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España (SIOSE) para el año 2014 y además se establece un radio de 500 metros a estas.

### **3.3.6. Pendiente**

La influencia de los vientos en el efecto de la isla de calor se encuentra relevante. Ahora bien el fenómeno de los vientos se encuentra asociado a las zonas montañosas y a los valles largos, es por esto que una forma de tener en cuenta los vientos predominantes es a través de las variaciones en la topografía local. El modelo de pendientes utilizado se obtuvo haciendo uso del modelo digital de elevaciones (MDE).

### **3.3.7. Sombras**

Se obtiene a través del modelo digital de elevación (MDE) para la ciudad de Madrid.

## **3.4. Análisis multicriterio (EMC)**

Una vez obtenidos y analizados todos los factores físicos y geoespaciales se realiza una Evaluación Multicriterio (EMC) la cual permite la jerarquización de las variables asignándole un nivel de importancia a través de la asignación de pesos. En este caso se utiliza la herramienta ArcGis 10.2.1. Para que las variables seleccionadas puedan analizarse e interpretarse conjuntamente se normalizaron y posteriormente se clasificaron en diferentes categorías de acuerdo a la influencia que pueden tener en la intensidad de la Isla de Calor Urbano.

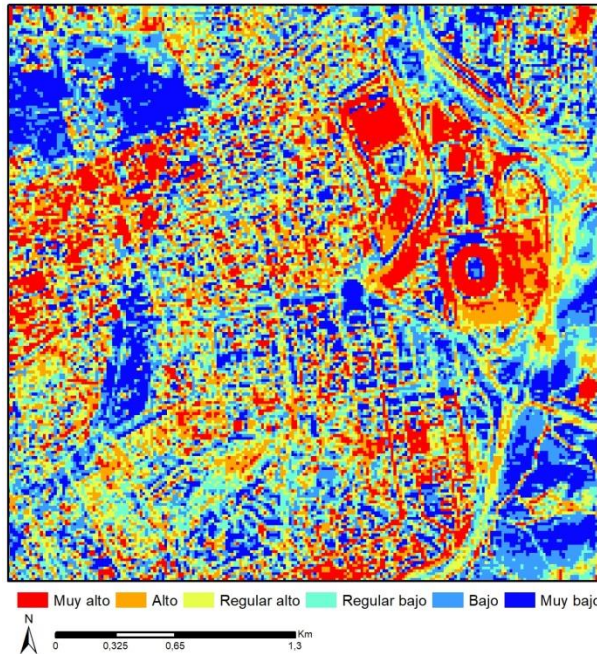
### **3.4.1. Categorización de las variables**

Como se mencionó anteriormente la normalización y categorización de todas las capas de información (variables) se realiza con el propósito de reconocer el factor de impacto en la mitigación del clima urbano de la ciudad de Madrid.



### 3.4.1.1. Temperatura superficial terrestre (TST)

Siendo el calor almacenado en las distintas cubiertas urbanas, se ha considerado que las superficies con menos LST, tienen mayor grado de atenuar la intensidad de la ICU.



TST - 2020	Factor de impacto
Muy alto	1
Alto	2
Regular alto	3
Regular bajo	4
Bajo	5
Muy bajo	6

**Ilustración 1. Clasificación y categorización de la variable temperatura superficial terrestre (TST) para el mes de Enero en la ciudad de Madrid.**

### 3.4.1.2. Verdor

En cuanto al verdor los espacios con menor cantidad de vegetación tienen poco impacto de mitigación sobre la isla de calor, a medida que aumenta la vegetación aumenta el impacto.

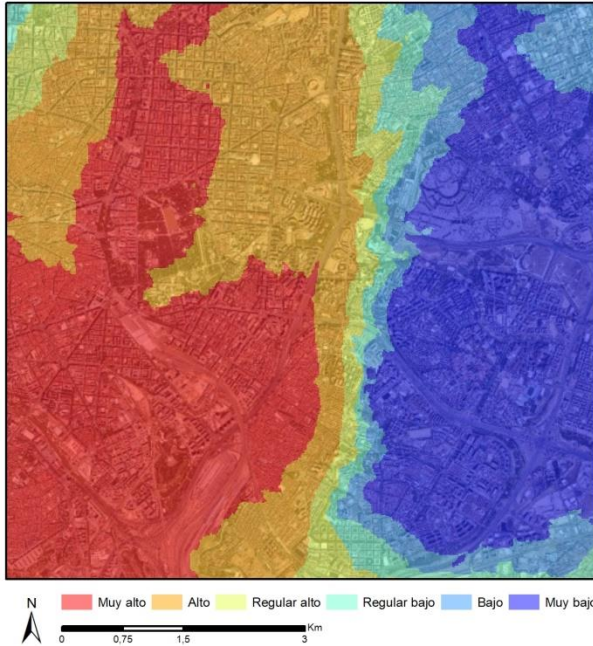


Verdor	Factor de impacto
Sin vegetación	1
Vegetación escasa	2
Vegetación media	3
Vegetación abundante	4

**Ilustración 2. Clasificación y categorización de la variable Verdor para el mes de Enero en la ciudad de Madrid.**

3.4.1.3. Temperatura ambiental

La temperatura ambiental es también conocida como temperatura del aire, cuanto menor es este mayor impacto de mitigación tiene sobre la intensidad de la isla de calor.

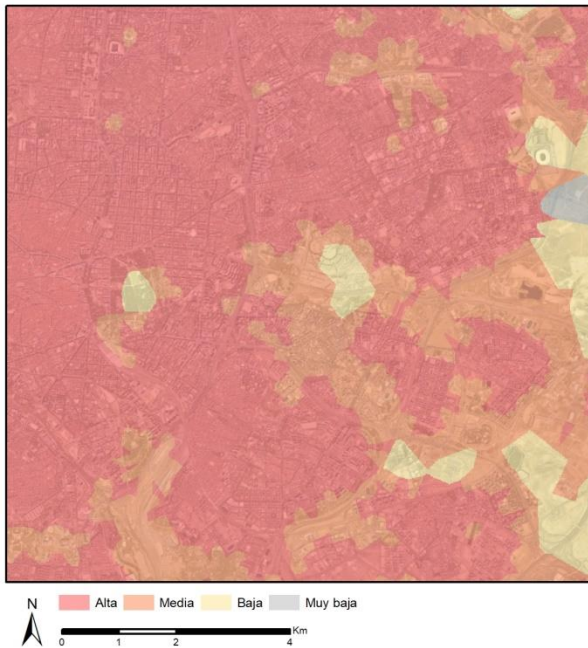


Temperatura ambiental	Factor de impacto
Muy alto	1
Alto	2
Regular alto	3
Regular bajo	4
Bajo	5
Muy bajo	6

**Ilustración 3. Clasificación y categorización de la variable Temperatura ambiental para el mes de Enero.**

3.4.1.4. Compacidad urbana

Las zonas con baja compacidad tienen un efecto positivo en la ICU debido al poco almacenamiento de calor asociado a la infraestructura urbana.

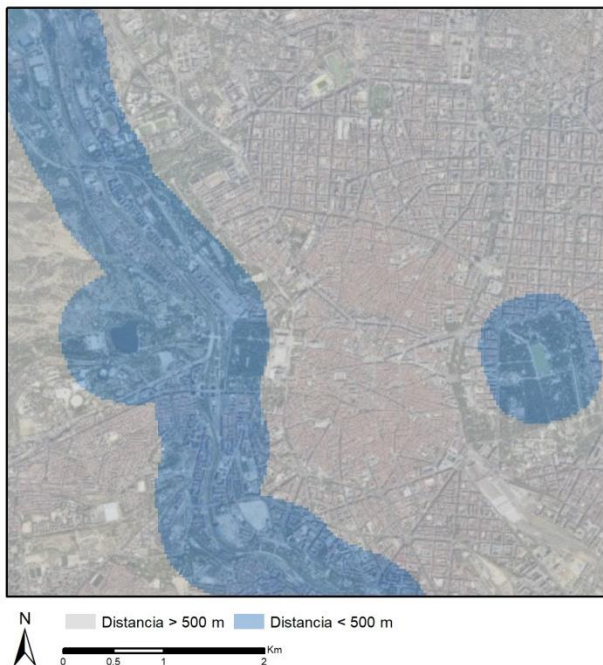


Compacidad urbana	Factor de impacto
Alta	1
Medio	2
Bajo	3
Muy bajo	4

**Ilustración 4. Clasificación y categorización de la variable Compacidad urbana para el año 2020 en la ciudad de Madrid.**

3.4.1.5. Cercanía a ríos y cuerpos de agua

Se encuentra que las zonas ubicadas en inmediaciones del río o lo más cercano a este tendrá mayor potencial dinámico del viento mitigando el impacto negativo de la ICU.



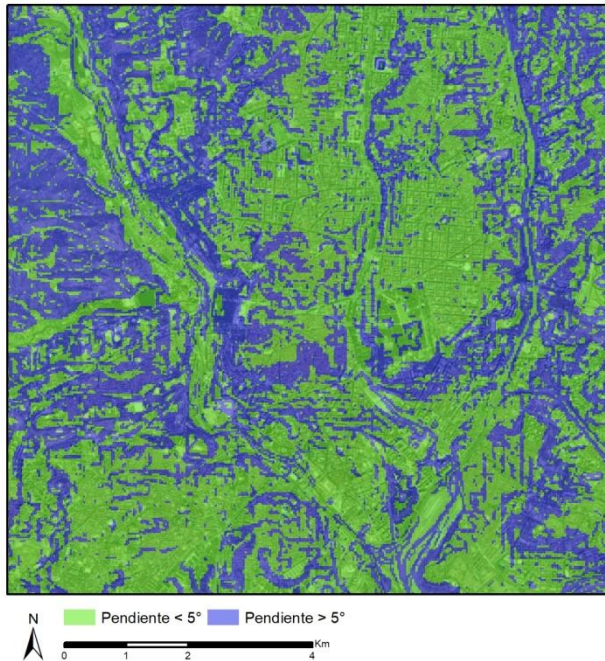
Distancia al río	Factor de impacto
Distancia > 500 m	1
Distancia ≤ 500 m	2

**Ilustración 5. Clasificación y categorización de la variable Distancia a ríos para el año 2020 en la ciudad de Madrid.**



### 3.4.1.6. Pendiente

En este caso también se utilizó a pendiente como medida del potencial dinámico del viento. En las zonas urbanas este incrementa proporcionalmente al desnivel topográfico.



Pendiente topográfica	Factor de impacto
Pendiente < 5°	1
Pendiente > 5°	2

**Ilustración 6. Clasificación y categorización de la variable Pendiente para el año 2020 en la ciudad de Madrid.**

### 3.4.1.7. Sombras

Estas reducen la radiación recibida por la superficie evitando la emisión de calor hacia el ambiente. En las zonas urbanas la sombra de los edificios y la presencia de árboles mitigan el efecto negativo de la Isla de calor más que en las zonas periféricas con suelos desnudos.



Sombra	Factor de impacto
Sin Sombra	1
Sombra	3

*Ilustración 7. Clasificación y categorización de la variable Sombra para el mes de Enero en la ciudad de Madrid.*

### 3.4.2. Jerarquización de las variables

Una vez normalizados y categorizados los valores se realiza una ponderación de cada una de las capas para determinar su grado de influencia en el análisis global de la Isla de Calor Urbana para la ciudad de Madrid. La ponderación se realiza de acuerdo al grado de importancia que se encuentra como evidencia en diferentes estudios científicos, metodologías aplicadas para obtención del Mapa de Isla de Calor Urbano en diferentes ciudades del mundo y al análisis detallado por parte del equipo de trabajo. No existe un enfoque objetivo en esta ponderación como lo demuestran los estudios de Ng et al. (2009) y el Acero (2011).

Diferentes estudios confirman que las principales causas de la Isla de Calor Urbano son un cambio en el albedo de la superficie por el aumento de la temperatura superficial debido al almacenamiento de energía en los edificios y los entornos construidos, seguido de una menor vegetación que reduce las tasas de evapotranspiración y luego se tienen en cuenta las actividades antrópicas que pueden producir calor adicional que se percibe en la temperatura del aire -en ese orden de importancia-. Por otro lado dentro de los parámetros que afectan la intensidad de la isla de calor y que tienden a variar encada caso en particular por la disponibilidad de información o las particularidades propias de la zona de estudio se encuentran el tamaño de la ciudad que suele medirse en población o en número de edificios, la topografía, la velocidad del viento, la nubosidad, la contaminación del aire, altos índices de ozono, y uso del suelo. (HA Nasrallah et al., 1990; PA Mirzaei, 2015; En Correa et al., 2003; J Villanueva-Solis et al., 2013; P Sarricolea Espinoza et al., 2014; MCM García et al., 2016)

Para el caso de la Isla de calor de la ciudad de Madrid se tienen en cuenta: (1) la temperatura superficial a través de las imágenes satelitales Landsat 8, (2) la presencia de vegetación a través del cálculo de verdor también con las imágenes, (3) la temperatura ambiental, (4) la compacidad urbana que representa el tamaño de la ciudad, (5) las sombras, (6) las pendientes y (7) los cuerpos de agua, estos últimos por ser las variables utilizadas para incluir la potencialidad dinámica del viento se les asigna el mismo peso.

En la siguiente tabla se muestra el peso asignado a cada una de las variables:

Criterio	Peso
LST	30
Verdor	18
Temperatura ambiental	20
Compacidad	12
Sombras	10
Pendiente	5
Cuerpos de agua	5

*Tabla 4. Ponderación de cargas para las variables seleccionadas.*

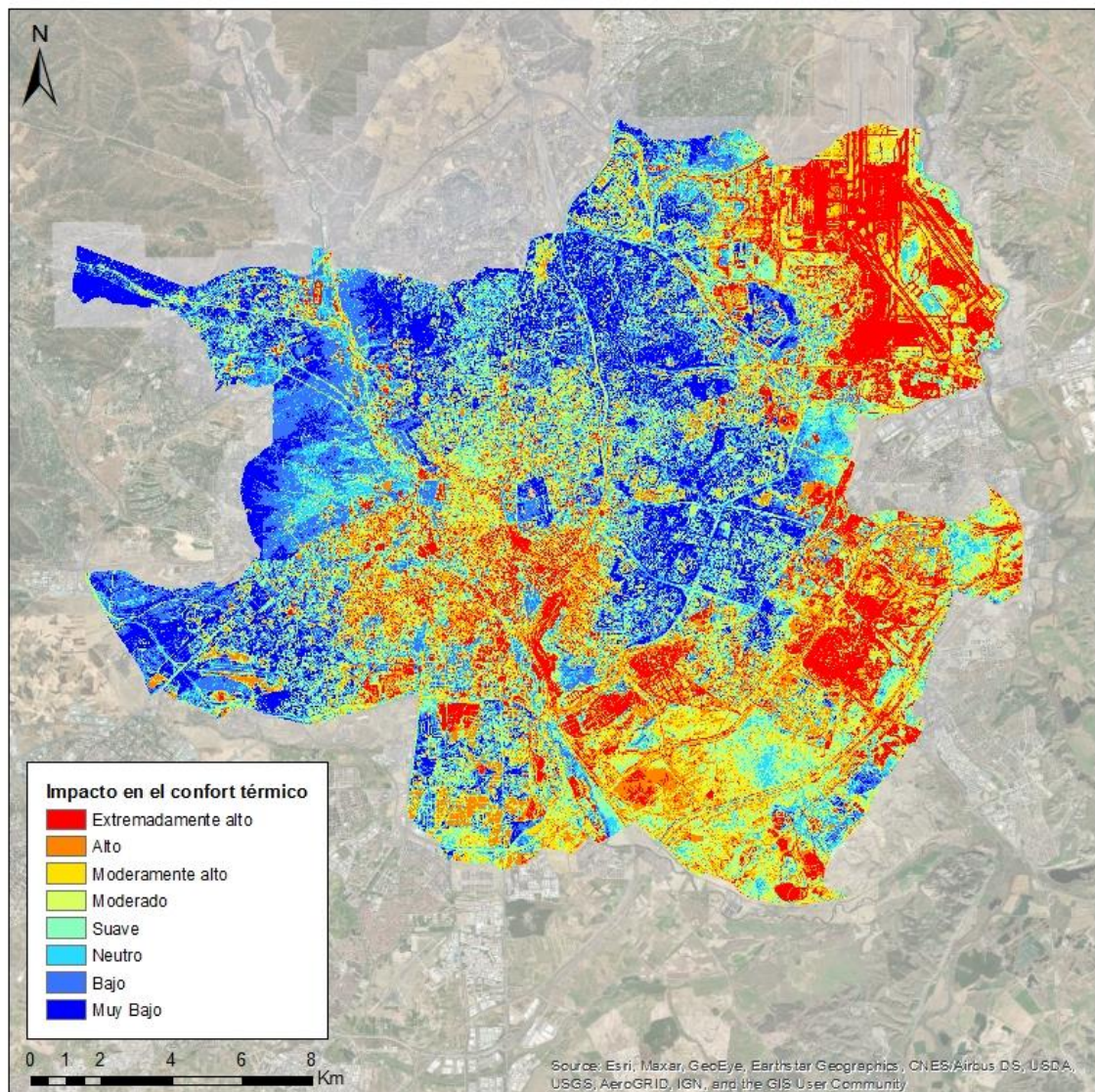
Finalmente el procesamiento global de las variables se realiza en el entorno ArcGis 10.2.1 con el método de superposición ponderada. De manera general este método tiene como entrada las



siete capas de información categorizadas como se indicó en el apartado anterior (ver Categorización de las variables), luego se multiplican los valores de celda de cada ráster de entrada por el peso de importancia de los rásteres y finalmente se suman los valores de cada celda resultante para producir el ráster de salida para cada mes.

#### 4. Obtención mapa analítico de clima urbano

Una vez se han realizado todas las EMC para cada uno de los meses, se obtiene una media para el año 2020 y se reclasifica en función de la intensidad del clima urbano obteniendo los niveles de confort térmico. A continuación se muestra a modo de ejemplo el resultado obtenido para la zona de estudio:



**Figura 2: Mapa analítico de Clima Urbano para la ciudad de Madrid, año 2020**

Se clasificada en 8 clases con el propósito de maximizar las diferencias en la ciudad de Madrid aprovechando la resolución del producto final y la información deductiva que se puede



proporcionar al tener mayor nivel de detalle; a continuación se muestra brevemente la descripción de cada una de las clases:

Categoría	Impacto en el confort térmico	Descripción
1	Extremadamente alto	Carga térmica muy alta y bajo potencial dinámico.
2	Alto	Alta carga térmica y bajo potencial dinámico
3	Moderadamente alto	Carga térmica moderadamente alta y bajo potencial dinámico.
4	Moderado	Carga térmica moderada y esporádico potencial dinámico.
5	Suave	Esporádica carga térmica y esporádico potencial dinámico.
6	Neutro	Baja carga térmica y buen potencial dinámico.
7	Bajo	Carga térmica ligeramente negativa y buen potencial dinámico
8	Muy bajo	Carga térmica moderadamente negativa y buen potencial dinámico.

*Tabla 5. Impacto en el confort térmico*

## 5. Enmascarado cuerpos de agua

Una vez se ha obtenido el mapa de confort térmico se puede observar que las áreas correspondientes a los cuerpos de agua como el lago del parque el retiro o los lagos del parque de Juan Carlos I tienen muy bajo confort térmico lo que no corresponde del todo con la realidad, los cuerpos de agua deberán encontrarse con un confort térmico más alto a las zonas aledañas; sin embargo al hacer una ponderación de factores donde por ejemplo estas zonas tienen un verdor extremadamente bajo, y una compacidad alta es esperable los resultados obtenidos. Teniendo en cuenta esto, se decide enmascarar los cuerpos de agua y dejar estos valores con de NoData, para esto se utilizan los mismos cuerpos de agua utilizados en la obtención de la variable “cercanía a cuerpos de agua” que corresponde a los presentes en la cartografía de SIOSE para obtener finalmente el mapa de confort térmico para la ciudad de Madrid.

## 6. Entregables

A continuación se enumeran los entregables asociados a este producto:

- EsAytMadridOt2020TST.tif; temperatura superficial terrestre media anual en grados Celsius y formato ráster.
- EsAytMadridOt2020TST.xml; metadatos de la capa.
- EsAytMadridOt2020TMA.tif; temperatura media anual del aire en grados Celsius y formato ráster.
- EsAytMadridOt2020TMA.xml; metadatos de la capa.

- EsAytMadridOt2020Ver.tif; índice de verdor en formato ráster.
- EsAytMadridOt2020Ver.xml; metadatos de la capa.
- EsAytMadridOt2020Bri.tif; Índice de brillo en formato ráster.
- EsAytMadridOt2020Bri.xml; metadatos de la capa.
- EsAytMadridOt2020DistUrb.tif, distancia al centro urbano representada en metros y formato ráster.
- EsAytMadridOt2020DistUrb.xml; metadatos de la capa.
- EsAytMadridOt2020AltMed.tif; modelo digital del terreno (MDT) en formato ráster.
- EsAytMadridOt2020AltMed.xml; metadatos de la capa.
- EsAytMadridOt2020DistRio.tif, distancia a los cuerpos de agua representada en metros y en formato ráster.
- EsAytMadridOt2020DistRio.xml; metadatos de la capa.
- EsAytMadridOt2020CompUrb.tif, compacidad urbana obtenida a través de las parcelas en formato ráster.
- EsAytMadridOt2020CompUrb.xml; metadatos de la capa.
- EsAytMadridOt2020ICU.tif; Isla de Calor Urbana para la ciudad de Madrid en formato ráster.
- EsAytMadridOt2020ICU\_tif.xml; metadatos de la capa.
- EsAytMadridOt2020ICU.shp Isla de Calor Urbana para la ciudad de Madrid en formato shape.
- EsAytMadridOt2020ICU\_shp.xml; metadatos de la capa.
- EsAytMadridOt2020ZonSens.shp, zonas sensibles de la Isla de Calor Urbana en formato shape.
- EsAytMadridOt2020ZonSens.xml; metadatos de la capa.
- EsAytMadridOt2020InfICU.pdf; Análisis por distrito del impacto en el confort térmico por causa de la Isla de calor Urbana.
- EsAytMadridOt2020ICUComparativa2020.tif: Isla de Calor urbana con cuatro meses de referencia, uno para cada época del año.
- EsAytMadridOt2020ICUComparativa2020.xml; metadatos de la capa.

## 7. Bibliografía

Acero JA. (2011) PhD Urban climate modeling: Development of urban climate evaluation methods for urban planning purposes, Faculty of Architecture, Urban and Landscape Planning at the University Kassel.

Carrillo, L. E. (2005). El efecto isla de calor. *Gaceta Universitaria*, 8.

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

Correa, É. N., Flores Larsen, S., & Lesino, G. (2003). Isla de calor urbana: efecto de los pavimentos. informe de avance. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 7.

Cuesta Navarro, J. (2020). Caracterización de la Isla de Calor Urbana (ICU) mediante el uso de imágenes obtenidas por satélite, procesadas mediante software de código abierto QGIS. Aplicación al caso de Valencia.

Fernández García, F. (2009). Ciudad y cambio climático: aspectos generales y aplicación al área metropolitana de Madrid.

Fuentes Vergara, C. A. (2021). Vegetación y control del microclima urbano, modelos y patrones espaciales de la mitigación de temperaturas en barrios del gran Concepción.

García, M. D. C. M., & Pardo, J. A. S. (2016). El estudio de la isla de calor urbana en el ámbito mediterráneo: una revisión bibliográfica. *Biblio3W Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*.

Insaurralde, J. A. (2019). Aplicación de la transformación Tasseled Cap en la generación de información temática a partir de las imágenes satelitales del Lándsat 8 (OLI). *Geofocus: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, (24), 3.

Maldonado, L. M. (2022). Mitigación y adaptación al efecto de isla de calor urbana de clima cálido seco: El caso de Hermosillo, Sonora. *Vivienda y Comunidades Sustentables*, (11).

Mirzaei, P. A. (2015). Recent challenges in modeling of urban heat island. *Sustainable cities and society*, 19, 200-206.

Nasrallah, H. A., Brazel, A. J., & Balling Jr, R. C. (1990). Analysis of the Kuwait City urban heat island. *International Journal of Climatology*, 10(4), 401-405.

Ng E., Ren C., Katzchne , L., (2009), Urban climatic studies for hot and humedal tropical coastal city of Hong Kong.

Rizwan, A. M., Dennis, L. Y., & Chunho, L. I. U. (2008). A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of environmental sciences*, 20(1), 120-128.

Sarricolea, P., Aliste, E., Castro, P., & Escobedo, C. (2008). Análisis de la máxima intensidad de la isla de calor urbana nocturna de la ciudad de Rancagua (Chile) y sus factores explicativos. *Revista de Climatología*, 8(2008), 71-84.

Sarricolea Espinoza, P., & Martín-Vide, J. (2014). El estudio de la isla de calor urbana de superficie del área metropolitana de santiago de chile con imágenes terra-MODIS y análisis de componentes principales. *Revista de Geografía Norte Grande*, (57), 123-141.

Véliz-Chávez, P. C., González-Sosa, E., Barajas-Ortiz, S. D. R., & Ramos-Salinas, N. M. (2012). El efecto pantalla o sombra de los árboles en la formación de los escurrimientos urbanos. *Tecnología y ciencias del agua*, 3(4), 73-87.

Villanueva-Solis, J., Ranfla, A., & Quintanilla-Montoya, A. L. (2013). Isla de calor urbana: modelación dinámica y evaluación de medidas de mitigación en ciudades de clima árido extremo. *Información tecnológica*, 24(1), 15-24.