

Modelación espacial del riesgo por calor extremo en el Área Metropolitana de Guadalajara, México

Alejandro Ramón López García

Doctorado en Geografía y Ordenamiento Territorial

Universidad de Guadalajara

Guadalajara, Jalisco, México

alejandrorg@yahoo.com.mx

Abstract— Extreme heat signifies a danger for the thermal wellbeing of population which get worse according to sociodemographic and physical conditions of the household and the environment. A spatial model is proposed based on the Geographical Information Systems, able to estimate the risk made by Urban Surface Heat Island hazard into warm season in the Guadalajara Metropolitan Area, called Thermal Welfare Risk Index. The data implemented consisted in air temperature series, census variables, cartographic and thermal satellite information from LANDSAT 8. It was identified thirteen colonies with *high* and *very high* risk, which must implement joint actions by the population and authorities to mitigate the problem. This model is an important tool which can help to improve the urban planning.

Keyword— *Extreme heat, thermal wellbeing, risk model, LANDSAT 8, mitigation*

Resumen— El calor extremo representa una amenaza para el bienestar térmico de la población que empeora de acuerdo a condiciones sociodemográficas, físicas de la vivienda y el entorno. Se propone un modelo espacial basado en los Sistemas de Información Geográfica, que estima el riesgo por Isla de Calor Urbana Superficial en época cálida sobre el Área Metropolitana de Guadalajara, llamado Índice de Riesgo al Bienestar Térmico. Los datos consistieron en series de temperatura del aire, variables censales, información cartográfica y satelital de LANDSAT 8. Se identificaron trece colonias con riesgo *alto* y *muy alto*, en donde se deben implementar acciones entre población y autoridades para mitigar el problema. Este modelo es una herramienta que puede ayudar a mejorar la planificación urbana.

Palabras claves— *Calor extremo, bienestar térmico, modelo de riesgo, LANDSAT 8, mitigación*

I. INTRODUCCIÓN

El concepto de bienestar térmico es sinónimo de *confort*, y está relacionado frecuentemente con condiciones de salud y de calidad de vida. Se refiere a las condiciones del organismo humano en que los mecanismos de autorregulación térmica son mínimas, o como el umbral térmico en que un conjunto de personas manifiestan sentirse bien con su entorno. El ser humano para garantizar su salud física debe de mantener su temperatura interna dentro de unos márgenes estrechos (36.5-37°C) independientemente de las variaciones de temperatura del exterior, que cuando estas son superiores a 40°C, pueden producirse complicaciones de circulación o llegar al estado de coma o colapso total [1].

La isla de calor urbana superficial (ICUS), es un fenómeno de carácter antropogénico bien documentado [2], [3] y se refiere al aumento de la temperatura en el espacio urbano debido a la sustitución de espacios naturales por construcciones a través de los mecanismos de absorción, acumulación y liberación de energía [4]. Como evento extremo de calor, está asociada al incremento de la mortalidad y morbilidad, principalmente entre personas con vulnerabilidad física o social. Conjuntamente, la ICUS en la época cálida, puede tener un efecto exacerbado, que pueden desencadenar diversos síntomas al bienestar térmico y de salud como pueden ser el infarto, cansancio, síncope y calambres [5], además de malestar e irritabilidad. Algunos estudios hacen énfasis en la importancia de la relación entre el lugar y la salud, los cuales han recomendado la integración espacial de información referente a la distribución del riesgo al bienestar térmico [6] y [7]. En este sentido se han realizado investigaciones que indican que elevadas cargas de térmicas son causa de mortalidad humana [8]

debidas a las olas de calor que ocurren dentro de la época cálida y que al igual a la ICUS exacerbaban el problema. A nivel mundial se han reportado exceso de mortandad por este fenómeno, ejemplos claros fueron los ocurridos en Reino Unido [9] y Chicago en 1995 [10] y [11]; así como los ocurridos en 2003 en Francia [12], Inglaterra [13], Holanda [14], Portugal [15] y España [16].

Algunos estudios han presentado metodologías para estimar el riesgo o la vulnerabilidad ante el calor extremo, resaltando la importancia de incorporar variables sociodemográficas y medioambientales, el aislamiento social, la prevalencia de sistemas de enfriamiento en hogares, la proporción de personas de la tercera edad o con diabetes [17]; aquellos que integran factores de riesgo socioeconómico con información de intensidad de ICUS [18]; los que construyen índices a partir de variables censales de vulnerabilidad, como el estado socioeconómico, edad extrema (niños y tercera edad), densidad de población e ICUS, mostrando el riesgo a través de mapas a nivel de comunidad [19]; los que se basan en los componentes del riesgo (vulnerabilidad, exposición y peligro) [20] que lo abordan a través de los SIG (Sistemas de Información Geográfica) y cada componente, como capas de información provenientes de información de variables censales y de la percepción remota, para finalmente mostrar un índice de riesgo en mapas [21] y [22].

Existen documentos que proponen acciones para tratar de mitigar el problema, dado que es difícil frenar o disminuir el crecimiento poblacional como principal problemática. Estas acciones consisten en crear condiciones más confortables, entre ellas están las que presentó la EPA (Environmental Protection Agency) [23], [24], [25], [26] y [27] que es un compendio de estrategias para la mitigación de ICUS en el cual se centraron en cuatro temas básicos, los cuales fueron: la “vegetación y arbolado”, “techos verdes”, “techos frescos” y “pavimentos frescos”. El primero ayuda a refrescar el aire y la superficie en los espacios urbanos a través de las sombras y la evapotranspiración; el segundo consiste en generar espacios con sombras que absorben radiación solar que bloquean el calentamiento de techos y muros de construcciones; el tercero consiste en conocer los mecanismos en que la radiación solar calienta los materiales de las superficies de azoteas y cómo estos contribuyen en los mecanismos de calentamiento, siendo la emitancia térmica y la proporción de reflectancia solar (albedo) las propiedades que intervienen en su comportamiento; y el último consiste en un conocimiento amplio de los procesos de cómo la energía solar, albedo, capacidad calorífica de los materiales, rugosidad de la superficie, las tasas de transferencia de calor, emitancia térmica y permeabilidad, afectan la temperatura de los pavimentos.

En el Área Metropolitana de Guadalajara (AMG) es posible realizar una investigación que dé cuenta de la situación y distribución espacial existente durante la época de mayor temperatura del aire con relación al bienestar térmico de la población, como una primera señal de potencial daño a la salud. Este trabajo tiene como objetivo construir un modelo espacial capaz de medir el grado de riesgo de la población ante el calor extremo de acuerdo a características de exposición, vulnerabilidad y peligro, el cual es mostrado a través del Índice de Riesgo al Bienestar Térmico.

II. EL MÉTODO Y LOS DATOS

A. Área de estudio

El área de estudio corresponde al AMG, ubicada en la región centro-occidente de la República Mexicana con una altitud media de 1545 msnm, siendo un conjunto de ocho municipios los cuales comparten una conurbanización en constante crecimiento, siendo la segunda más poblada de México [28] (figura 1). De acuerdo al Censo de Población y Vivienda de 2015, comprende una población de 4,796,603 habitantes distribuidos en un área de 2,384 km² aproximadamente, siendo los municipios de Guadalajara y Zapopan los más poblados. El AMG presenta un total de 1668 colonias, cuya distribución por municipio es la siguiente: 523 para Zapopan, 343 para Guadalajara, 250 para San

Pedro Tlaquepaque, 245 para Tonalá, 203 para Tlajomulco de Zuñiga, 78 para El Salto, 16 para Ixtlahuacán de los Membrillos y 10 para Juanacatlán.

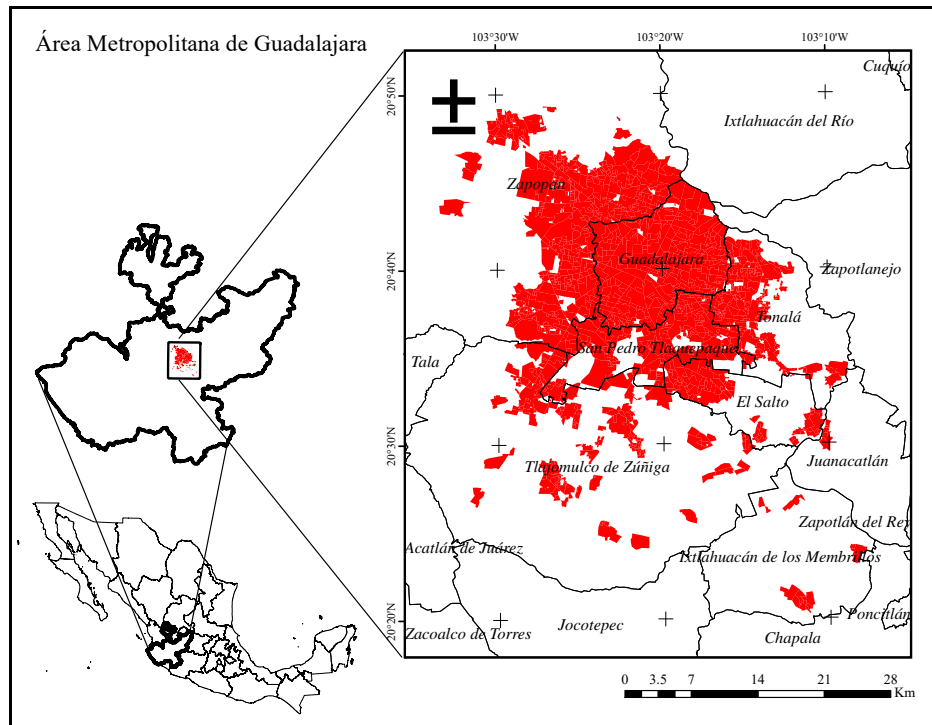


Fig. 1. Área de estudio.

B. Estructura del estudio

Esta investigación engloba el análisis de distintas ramas del conocimiento representadas en los SIG, y que son reunidas con el fin de ayudar a identificar las colonias que en la época cálida (máxima temperatura del aire) representan un riesgo adicional al bienestar térmico de las personas, siendo representado por el efecto de la ICUS (Isla de Calor Urbana Superficial). Consiste en un modelo basado en los SIG, en que tres capas de información con distintos valores de ponderación, son agregadas para formar el Índice de Riesgo al Bienestar Térmico (IRBT).

Las capas de información (*layers*) están representadas por la exposición, vulnerabilidad y el peligro; tomando como base, parte de los modelos y metodologías anteriormente mencionadas y en el modelo del riesgo de Crichton (1999) [20]. Los datos pertenecen a información térmica satelital, estimada a partir de la plataforma LANDSAT 8; variables del censo y cartografía de 2010 de INEGI [29]; y a información estadística de colonias del AMG de 2010 del IIEG (Instituto de Información Estadística y Geográfica del estado de Jalisco [30]. El modelo del riesgo propuesto es desglosado según el esquema de la figura 2.

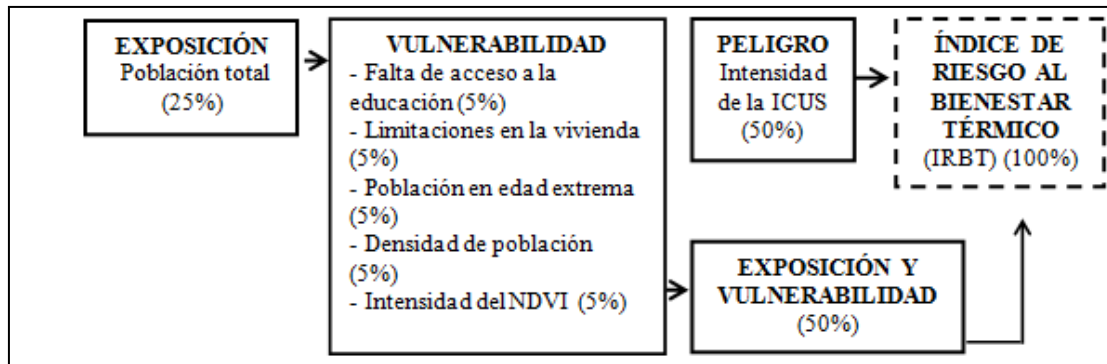


Fig. 2. Esquema general de trabajo

Para encontrar la época cálida se tomó del SIMAJ (Sistema de Monitoreo Atmosférico del Estado de Jalisco), la variable meteorológica de temperatura del aire, que después de limpiar y ordenar las series temporales, se realizaron estadísticas a partir de 10 estaciones de monitoreo dispersas en el AMG. Identificada la época cálida con valores de las anomalías positivas de la serie de temperatura media del aire para el periodo 1996-2016, se prosiguió con la descarga de la imagen LANDSAT 8 desde el sitio <https://earthexplorer.usgs.usgs.gov>, procurando que sea lo más actual posible, y sobre todo que la fecha de toma de la imagen este dentro de ésta.

Aplicando parte de los trabajos hechos por Cúnsulo *et al.* [31]; Soberón y Obregón [32]; y Córdoba [33], y a través del *software ArcGIS 10.5* se estimó la temperatura superficial que permite estimar la ICUS a partir de los espacios que presentan sobrecarga térmica, tomando como referencia el valor de las anomalías positivas, para finalmente discriminar aquellas colonias carentes de ella. De la misma imagen y con procesos similares, se realiza la estimación del NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), de acuerdo a Cúnsulo *et al.* [31], con el cual se pretende relacionarlo como un componente de la vulnerabilidad a la población según la presencia y estado de la vegetación que experimentan las personas en su entorno y que es representado por este índice ambiental.

El resultado es un modelo que se pretende sirva para las autoridades municipales, en la vigilancia, preservación y adecuación de espacios públicos en el interior de cada colonia así como en el apoyo por parte de programas a comunidades y hogares para mejorar las características térmicas al interior de los hogares. La identificación espacial de estos espacios con distintos grados de riesgo es mostrada en el mapa del IRBT que junto a la tabla de colonias de mayor intensidad, será el primer paso para la identificación para disminuir la sobrecarga térmica que genera la ICUS en la época cálida, que en la mayoría de los casos puede ser mitigada con diferentes propuesta.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Estimación de la época cálida

La delimitación temporal es la época cálida, que se estima a través de la variable de temperatura máxima promedio mensual del aire en sus valores anómalos, es decir, se extrajo el valor máximo diario de cada una de las 10 estaciones de monitoreo para el periodo de 21 años, para después ordenar por meses, obteniendo un valor medio histórico mensual de 26.7°C para toda el AMG, siendo éste el valor umbral. Se identificaron cuatro meses en los que se presentan anomalías positivas, siendo estos marzo, abril, mayo y junio, siendo mayo el que presenta la mayor carga térmica (figura 3).

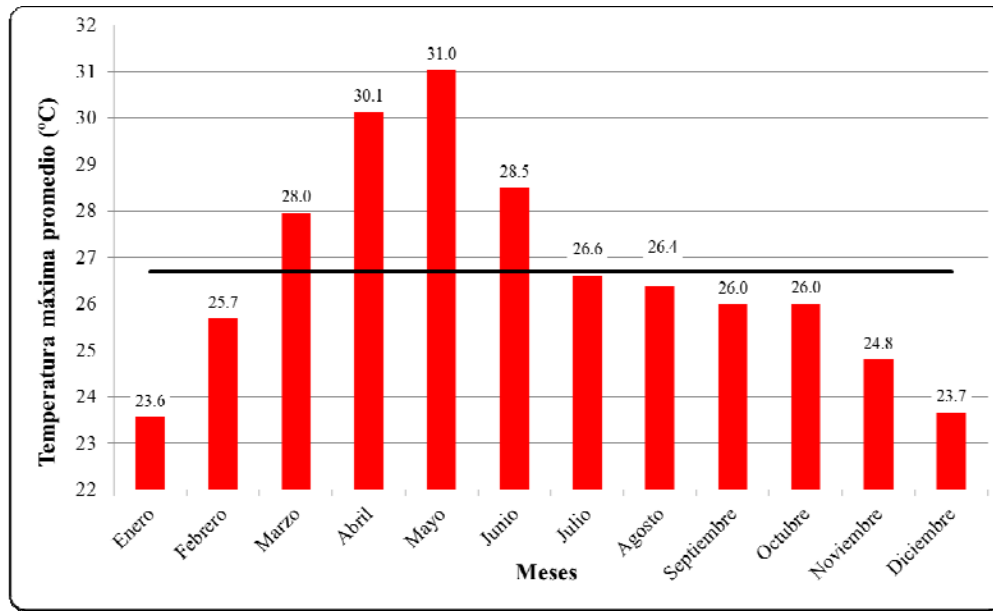


Fig. 3. Temperatura máxima promedio mensual para el AMG.

B. Estimación de la temperatura superficial

Delimitada la época cálida, se descargaron siete imágenes LANDSAT 8 (multiespectrales) para distintos días y años (10/06/2013, 15/05/2015, 02/06/2016, 01/05/2016, 18/04/2017, 04/05/2017 y 05/06/2017 para la AMG, hora de toma de la escena alrededor de las 11:00 am local y con *path 29* y *row 46* perteneciente al WRS (*World Reference System*), que es un sistema de notación global de las imágenes LANDSAT y propiedad de la NASA (National Aeronautics and Space Administration). Dichas imágenes fueron promediadas para obtener una sola imagen representativa a la época cálida para después realizar la delimitación o recorte de la misma.

La adquisición de imágenes satelitales se realizó a través del sitio web EarthExplorer [34], operado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), donde se encuentran disponibles de manera libre y gratuita las imágenes digitales LANDSAT 8 OLI/TIRS. Para la selección de las imágenes se consideraron los meses de inicio y fin de la época cálida y que la cantidad de nubosidad sobre el AMG sea nula, Se debe tener en cuenta que los valores de temperatura que el sensor recibe no corresponden exactamente a los reales, los cuales se obtendría al medir directamente los distintos cuerpos, para lo que fue preciso introducir el factor de corrección de la emisividad superficial de acuerdo a López y Caselles [35]. Cabe señalar que la temperatura superficial estimada a partir de LANDSAT 8, es necesario obtener un valor promedio, debido a que la banda 10 y 11 comparten la región del TIR. El primer resultado, corresponde a una imagen de temperatura superficial con resolución espacial de 100 metros (figura 4).

C. Estimación de la ICUS a nivel de colonia

Para la discriminación de las colonias que no presentan el efecto de ICUS, y tomando como base la información estimada de la figura 4, se ha establecido el valor umbral de 35.1°C. Se tiene entonces que de los 1668 espacios, se han discriminado 823 de estos, quedando un total de 845 espacios (50.7%) para analizar distribuidos en los ocho municipios, quedando ordenados de mayor a menor de la siguiente forma: Guadalajara con 262, Tlajomulco de Zuñiga con 149, San Pedro Tlaquepaque con

143, Zapopan con 116, Tonalá con 115, El Salto con 55, Ixtlahuacán de los Membrillos con 3 y Juanacatlán con 2. Haciendo una clasificación en tres clases de intensidad, se tiene el siguiente mapa (figura 5) que presenta las colonias que presentan ICUS.

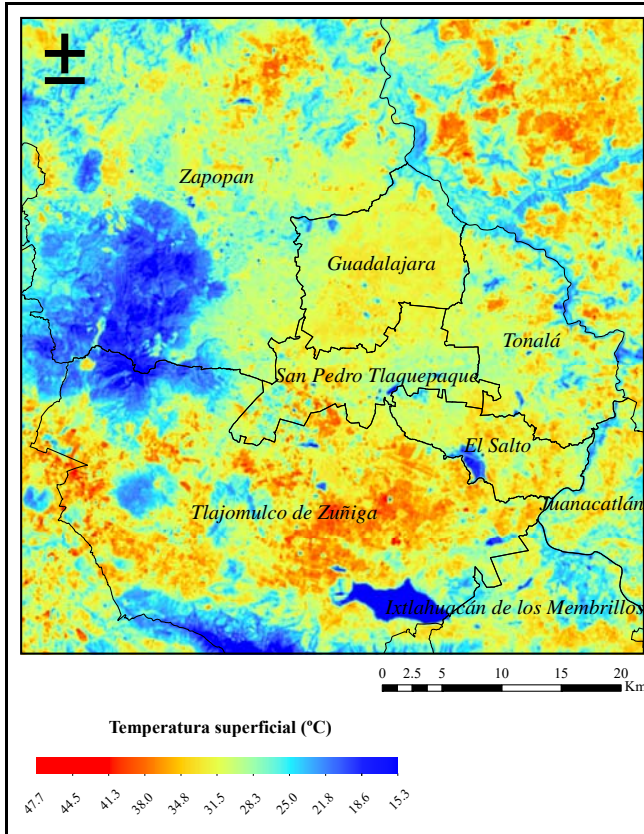


Fig. 4. Temperatura superficial para el AMG por colonia.

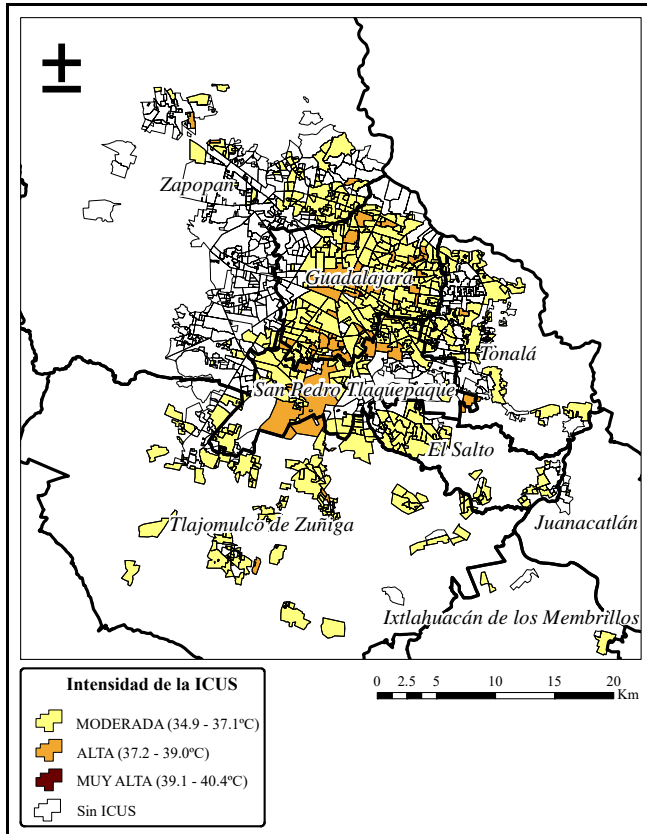


Fig. 5. Temperatura superficial en el AMG por colonia.

C. Estimación del NDVI a nivel de colonia

El NDVI, al igual que la temperatura superficial y la ICUS, representa un método propio de percepción remota, siendo el más empleado para el cálculo de la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación basado en la energía reflejada o emitida por las plantas y que los sensores remotos son capaces de captar [36]. La misma imagen LANDSAT 8, servirá para estimar este índice ambiental cuyos valores rondan de -1 a 1, que cercanos a -1, representan áreas de vegetación con estrés hídrico, espacios construidos, suelos desnudos o cuerpos de agua; mientras que cercanos a 1, simbolizan espacios con vegetación densa y/o en estado saludable. En la figura 6 se presenta la intensidad del NDVI para cada una de las 845 colonias del AMG.

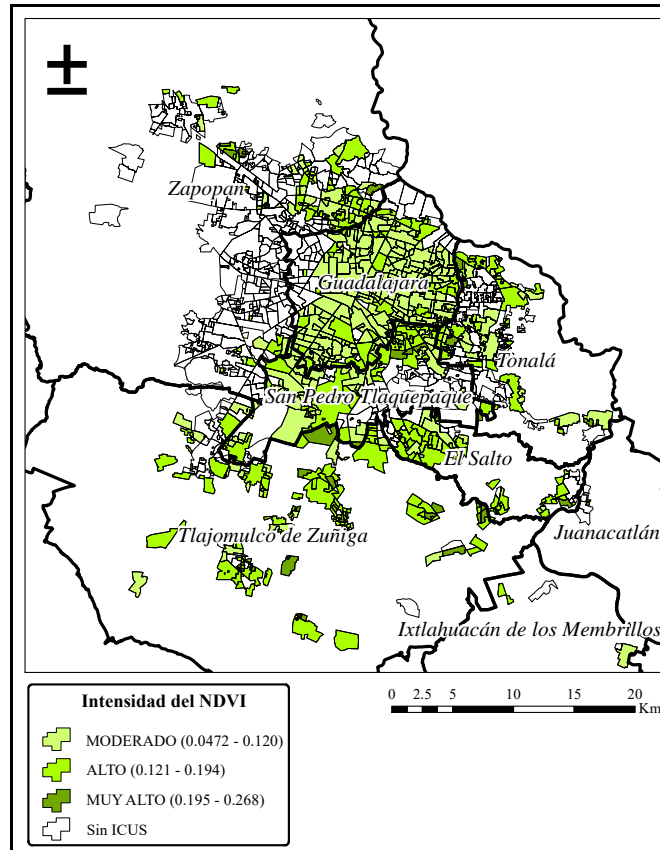


Fig. 6. Intensidad del NDVI para el AMG por colonia.

D. Construcción del IRBT

Para la construcción del IRBT, en que cada bloque o capa de información muestra la ponderación para cada una, la cual se muestra a continuación en la ecuación 1:

$$IRBT = Exposición (25\%) + Vulnerabilidad (25\%) + Peligro (50\%) \tag{1}$$

Dónde:

Exposición = población total (25%)

Vulnerabilidad = falta de acceso a la educación (5%) + limitaciones en la vivienda (5%) + población en edad extrema (5%) + densidad de población (5%) – intensidad del NDVI (5%)

Peligro = intensidad de la ICUS (50%)

Falta de acceso a la educación = (población de 15 años y más analfabeta + población de 15 años y más con primaria incompleta)/2

Limitaciones en la vivienda = (viviendas con piso de tierra + viviendas sin agua entubada + viviendas sin drenaje + % de ocupantes por cuarto)/4

Población en edad extrema = (población de 0 – 4 años + población de 65 años y más)/2

Densidad de población = área (ha)/población total

Cabe mencionar que para aplicar cada una de los bloques en la ecuación 1, es necesario contar con los valores normalizados de cada uno de sus componentes.

Para el AMG y una vez aplicada la ecuación 1, se identificaron 6 colonias con riesgo *muy alto*, 7 con *alto* y a 24 con *moderado* (tabla 2), las restantes 804 colonias experimentaron riesgo *bajo* y *muy bajo*, para las cuales no resulta relevante su análisis. La colonia Hacienda Santa Fé en Tlajomulco de Zuñiga, presentó el IRBT más alto, convirtiéndolo en un espacio sumamente en riesgo en época cálida, lo que puede desatar problemas serios de salud, que pueden ir desde malestares o agotamiento hasta las Enfermedades Diarreicas Agudas (EDAS). Para una mejor aplicación del modelo se propone hacer un análisis individual de los componentes de este, mediante un levantamiento de información de las condiciones reales del entorno y las características propias de las viviendas; es decir, hacer una visita a estas colonias e identificar: ¿de qué material están hechas las viviendas?, ¿cuál es la proporción de espacios verdes o áreas arboladas por área construida?, ¿orientación de las fachadas y las bardas (segundo nivel)?, ¿cuentan con ventilador o sistema de enfriamiento?, ¿tipo y tonalidad de los recubrimientos de las azoteas?, etc. Con todo ello se identificarán las necesidades específicas a cada espacio, que deben de estar enmarcadas dentro de programas comunitarios o vecinales con comunicación constante con las autoridades.

Tabla 2. Conjunto de colonias con los mayores valores de IRBT.

No.	NOMBRE	MUNICIPIO	IRBT
1	Hacienda Santa Fé	Tlajomulco de Zuñiga	1.000
2	Loma Bonita Ejidal	Zapopan	0.985
3	Oblatos	Guadalajara	0.860
4	Miravalle	Guadalajara	0.858
5	Nueva Santa María	San Pedro Tlaquepaque	0.843
6	Constitución	Zapopan	0.820
7	San Andrés	Guadalajara	0.787
8	Las Juntas	Guadalajara	0.747
9	Lagos de Oriente	Guadalajara	0.743
10	Lomas de Polanco	Guadalajara	0.737
11	El Sauz	Guadalajara	0.708
12	Paseos del Valle	Tonalá	0.658
13	Tonalá Centro	Tonalá	0.602
14	Jardines de la Cruz	Guadalajara	0.589
15	Buenos Aires	Guadalajara	0.575
16	Fovissste Miravalle	Guadalajara	0.562
17	Echeverría	Guadalajara	0.558
18	Heliodoro Hernández Loza	Guadalajara	0.55
19	El Álamo	Guadalajara	0.549

No.	NOMBRE	MUNICIPIO	IRBT
20	Del Fresno	Guadalajara	0.542
21	Rancho Nuevo	Guadalajara	0.520
22	Atlas	Guadalajara	0.515
23	Santa Cruz del Valle	San Pedro Tlaquepaque	0.512
24	Las Huertas	San Pedro Tlaquepaque	0.509
25	San Pedrito	San Pedro Tlaquepaque	0.508
26	La Esperanza (La Federacha)	Guadalajara	0.486
27	San Sebastián El Grande	Tlajomulco de Zuñiga	0.483
28	Insurgentes	Guadalajara	0.466
29	Independencia	Guadalajara	0.447
30	Tabachines	Zapopan	0.435
31	Villaseñor	Guadalajara	0.431
32	La Penal	Guadalajara	0.428
33	Lomas del Sur	Tlajomulco de Zuñiga	0.428
34	Jalisco 4a sección	Tonalá	0.427
35	Jardines del Sur	San Pedro Tlaquepaque	0.423
36	Zona Centro	Guadalajara	0.421
37	Aldama Tetlán	Guadalajara	0.413

La distribución espacial del IRBT, corresponde a un mosaico disperso de intensidades que es mostrado en la figura 7, en las cuales destacan en número las colonias del municipio de Guadalajara. Por el municipio de Guadalajara sobresale la colonia Oblatos (*muy alto*); por Zapopan, Loma Bonita ejidal (*muy alto*); en Tlajomulco de Zuñiga, La ya citada Hacienda Santa Fé (*muy alto*); en San Pedro Tlaquepaque, Nueva Santa María (*muy alto*); y por Tonalá, Paseos del Valle (*alto*).

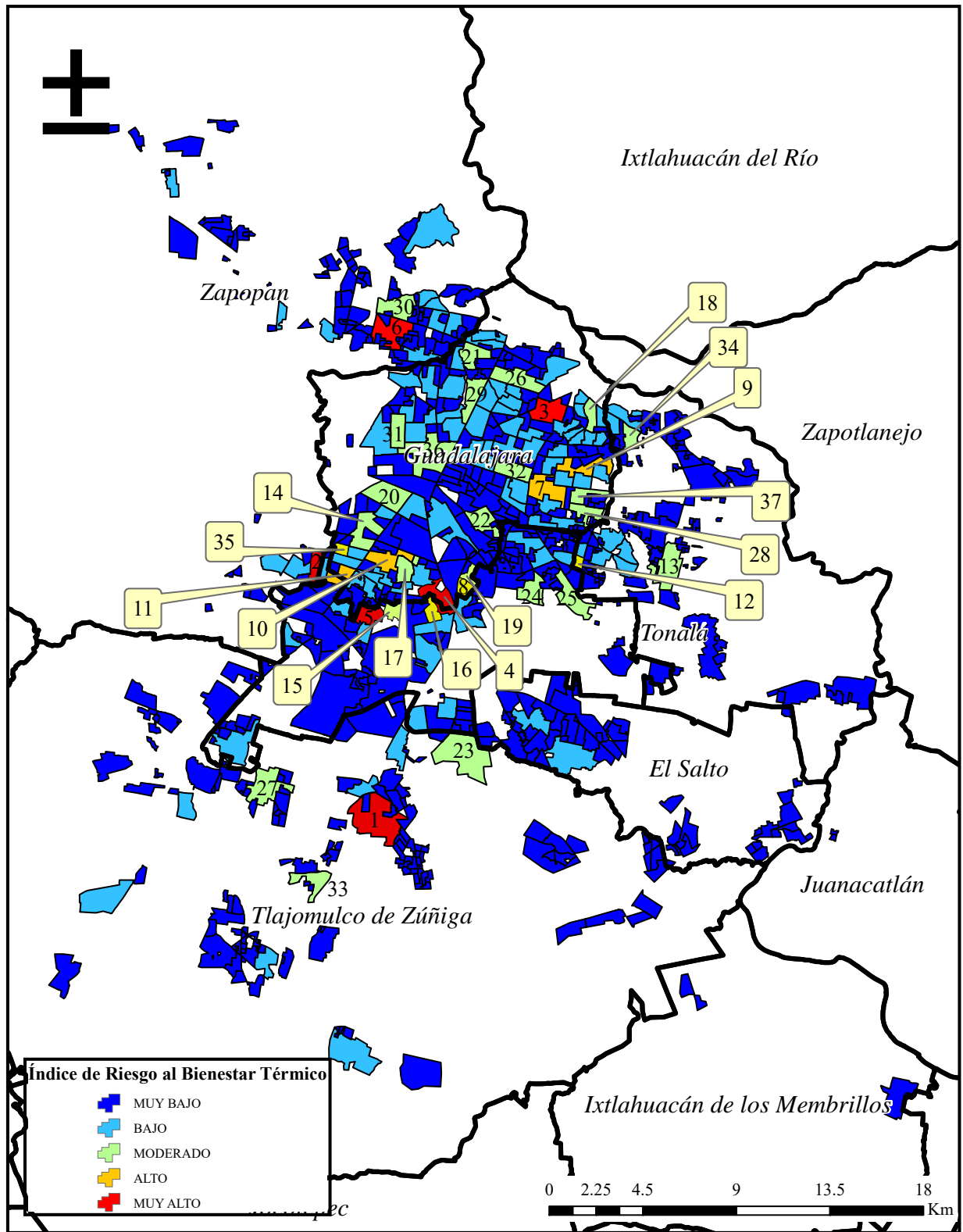


Figura 7. Distribución espacial del IRBT para la AMG a nivel de colonia.

IV. CONCLUSIONES

Los resultados encontrados en este modelo, indican que la distribución del IRBT para las colonias del AMG es un tanto disperso, pero con una ligera tendencia de concentración de valores altos hacia el sur y poniente del municipio de Guadalajara, alcanzando a los municipios vecinos y a sus colonias. De importancia resulta la atención a la población en la época cálida por parte de autoridades gubernamentales (municipal y estatal) para tratar de mitigar el efecto ocasionado principalmente por la carga térmica que reciben ciertas colonias por el efecto de la ICUS, que se ve exacerbado por los rasgos socioeconómicos propios de las comunidades y las características ambientales de su entorno inmediato. En este sentido el papel que deben de tomar dichas autoridades radica en la promoción de programas que deben de consistir en la implementación de acciones (naturales) como la preservación y creación de espacios verdes con especies arbóreas perennifolias para la disminución a futuro de la temperatura superficial en los sitios públicos de estas 37 colonias.

A nivel de individuo, son diversas las acciones a realizar para disminuir la transmisión de la carga térmica hacia el interior del hogar, que consiste prácticamente en aumentar el albedo en azoteas mediante la impermeabilización de color blanco o metálico; generar sombras con tejados y vegetación ornamental (azoteas verdes). En casas de dos o más niveles cuyos muros están orientados hacia el oriente y/o poniente, se propone recubrir regularmente con pintura blanca o plantar especies vegetales “trepadoras” que bloquean en gran medida la radiación solar. Para los hogares de estas colonias cuyas fachadas están orientados hacia el sur, se proponen instalar dispositivos retractiles (lonas o malla sombra) sobre ventanas de fachadas que reciben cantidad considerable de insolación durante el día, con el propósito de bloquear la entrada y disminuir la transmisión de la carga térmica. El IRBT sirvió para identificar las colonias que podrían representar a futuro un serio problema de salud, dada la incomodidad y alteración regular del funcionamiento del organismo humano. Este modelo debe de ser tomado en cuenta como una herramienta básica en la planeación de espacios donde se pretende llevar a cabo urbanizaciones y debe ser contemplado en los planes parciales de desarrollo municipal, ofreciendo de forma adicional la ventaja de ser aplicable para cualquier lugar.

REFERENCIAS

- [1] Fernández, F. (1994). Clima y confortabilidad humana. Aspectos metodológicos. *Serie geográfica*, 4(1), 109-125.
- [2] Arnfield, A. (2003). Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology*, 23, 1-26.
- [3] Stewart, I. (2010). A systematic review and scientific critique of methodology in modern urban heat island literature. *International Journal of Climatology*, 31, 200-217.
- [4] Oke, T. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108 (455), 1-24.
- [5] Kilbourne, E. (1997). Heat waves and hot environments. En E Noji (ed), *The public Health Consequences of Disasters* (pp. 245-269). New York, E. U: New York University Press.
- [6] Cummins, S., Curtis, S., Diez-Roux, A. y Macintyre, S. (2007). Understanding and representing “place” in health research: A relational approach. *Social Science and Medicine*, 65, 1825-1838.
- [7] Macintyre, S., Ellaway, A. y Cummins, S. (2002). Place effects on health: How can we conceptualise, operationalise and measure them? *Social Science and Medicine*, 55, 125-139.
- [8] Gosling, S., Lowe, J., Mc Gregor, G., Pelling, M. y Malamud, B. (2009). Associations between elevated atmospheric temperature and human mortality: a climatic review of the literature. *Climatic Change*. 92, 299-341.

- [9] Rooney, C., McMichael, A., Kovats, R. y Coleman, M. (1998). Excess mortality in England and Wales, and in Greater London, during the 1995 heat wave. *Journal Epidemiological Community Health*, 52, 482-486.
- [10] Semenza, J., Rubin, C., Falter, K., Selanikio, J., Flanders, W., Howe, H. y Whilhem, J. (1996). Heat-related deaths during the July 1995 Heat Wave in Chicago. *New England Journal of Medicine*, 335, 84-90.
- [11] Klinenberg, E. (2002). *Heat Wave: A social Autopsy of disaster in Chicago*. Chicago, E.U: University Chicago Press.
- [12] Le Tertre, A., Lefranc, A., Eilstein, D., Declercq, C., Medina, S., Blandcharch, M., Chardon, B., Fabre, P., Filleul, L., Jusot, J., Pascal, L., Prouvost, H., Cassadow, S. y Ladrans, M. (2006). Impact of the 2003 heatwave on all-cause mortality in 9 French cities. *Epidemiology*, 17, 75-79.
- [13] Johnson, H., Kovats, R., McGregor, G., Stedman, J., Giggs, M. y Walton, M. (2005). The impact of the 2003 heat wave on daily mortality in England and Gales and the use of rapid weekly mortality estimates. *European Surveillance*, 10, 168-171.
- [14] Garssen, J., Harmsen C. y de Beer, J. (2005). The effect of the summer 2003 heat wave on mortality in the Netherlands. *European Surveillance*, 10, 165-168.
- [15] Nogueira, P., Falcao, J., Contreiras, M., Paixao, E., Brandao, J. y Batista, I. (2005). Mortality in Portugal associated with the heatwave of August 2003: early estimation of effect, using a rapid method. *European Surveillance*, 10, 150-153.
- [16] Simón, F., López-Abente, G., Ballester, E., y Martínez, F. (2005). Mortality in Spain during the heat waves of summer 2003. *European Surveillance*, 10, 156-161.
- [17] Reid, C., O'neil, M., Grondlund, C., Brines, S., Brown, D., Diez-Roux, A. y Schwartz, J. (2009). Mapping community determinants of heat vulnerability. *Environmental Health Perspectives*, 117, 1730-1736.
- [18] Johnson, D., Wilson, J. y Lubert, G. (2009). Socioeconomic indicators of health-related risk supplemented with remotely sensed data. *International Journal of Health Geographics*, 8 (57), 1-13.
- [19] Buscail, C., Upegui, E. y Viel, JF. (2012). Mapping heatwave health risk at the community level for public health action. *International Journal of Health Geographics*, 11 (38), 1-9.
- [20] Crichton, D. (1999). The Risk Triangle. Natural disaster management a presentation to commemorate the International Decade for Natural Disaster Reduction (IDNDR), 1990-2000.
- [21] Kestens, Y., Brand, A., Fournier, M., Godreau, S., Kosatky, T., Maloley, M. y Smargiassi, A. (2011). Modelling the variation of land surface temperature as determinant of risk of heat-related health events, *International Journal of Health Geographics*, 10 (7), 1-9.
- [22] Tomlinson, C., Chapman, L., Thornes, J. and Baker, C. (2011). Including the urban heat island in spatial heat health risk assessment strategies: a case of study for Birmingham, UK. *International Journal Health Geography*, 10 (42), 1-14.
- [23] EPA (2016). *Smart Growth and Urban Heat Islands*. [Consultado el 12 de marzo de 2017]. Recuperado de <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-outreach-materials>
- [24] EPA (2008a). *Reducing urban heat islands: Trees and vegetation*. [Consultado el 12 de marzo de 2017]. Recuperado de <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>.
- [25] EPA (2008b). *Reducing urban heat islands: Green roofs*. [Consultado el 12 de marzo de 2017]. Recuperado de <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>.
- [26] EPA (2008c). *Reducing urban heat islands: Cool roofs*. [Consultado el 18 de marzo de 2017]. Recuperado de <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>.
- [27] EPA (2012). *Reducing urban heat islands: Cool pavements*. [Consultado el 18 de marzo de 2017]. Recuperado de <https://www.epa.gov/het-islands/heat-island-compendium>.
- [28] Gobierno de Jalisco (2010). *Área Metropolitana de Guadalajara*. [Consultado el 8 de enero de 2017]. Recuperado de <https://www.jalisco.gob.mx/es/jalisco/guadalajara>
- [29] INEGI (2017). *Marco Geoestadístico Nacional*. [Consultado el 22 de marzo de 2016]. Recuperado de http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/m_geoestadistico.aspx.

- [30] IEEG (2017). *Información sociodemográfica por colonia, Área Metropolitana de Guadalajara, Jalisco*. [Consultado el 20 de marzo de 2018]. Recuperado de <https://datos.jalisco.gob.mx/dataset/informacion-sociodemografica-por-colonia-area-metropolitana-de-guadalajara-jalisco>.
- [31] Cúnsulo, M., Kurbán, A., Paparelli, A., y Montilla, E. (2013). Procesamiento de datos térmicos satelitales para la obtención de la isla de calor urbana. *Avances en energías renovables y Medio ambiente*, 17, 11-18.
- [32] Soberón, V. y Obregón, E. (2015). Identificación de islas de calor en la ciudad de Lima metropolitana utilizando imágenes del satélite LANDSAT 5TM. *Anales científicos*, 77 (1), 34-44.
- [33] Córdova, K. (2010). Impactos de las islas térmicas o islas de calor urbano, en el ambiente y la salud. Análisis estacionalcomparativo: Caracas, octubre 2009, marzo 2010. *Terra nueva etapa*. 27 (42), 95-122.
- [34] EarthExplorer (2015). *USGS science for a changing world*. [Consultado el 11 de octubre de 2013]. Recuperado de <https://earthexplorer.usgs.gov/>.
- [35] López, J., y Caselles, V. (1986). Aplicación de la teledetección al estudio de la temperatura superficial del mar balear y golfo de Valencia. *Cuadros geográficos*, 38, 75-96.
- [36] Weng, Q., Lu, D., y Schubring, J. (2003). Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, 89, 467-483.