

VALORACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE CIUDADES DEL ESTADO COJEDES, PARA LA DETERMINACIÓN DEL FENÓMENO ICU

*SPACE-TEMPORAL ASSESSMENT OF CITIES OF THE COJEDES STATE, FOR THE
DETERMINATION OF THE ICU PHENOMENON*

Flores¹

¹ Pedro J. Flores M. Magister Scientiarum en Ingeniería Ambiental. Doctorando en Ambiente y Desarrollo. Docente Adscrito al PCBA-VIPI. UNELLEZ - Cojedes. Teléfono: 0416-7411779. E-mail: pjflom@gmail.com

Recibido: 30/10/2022 **Aceptado:** 03/12/2022

RESUMEN

El fenómeno Isla de Calor Urbana (ICU), es inducido por el crecimiento desmedido de las ciudades. Este impacto ambiental es producto de las áreas urbanizadas sobre el clima, consiste en el aumento de la temperatura del aire en las localidades con respecto a la periferia. El término "Isla de Calor" fue propuesto por el climatólogo Gordon Manley en 1958 y con el pasar del tiempo esta terminología se ha modificado conociéndose actualmente como: Islas Térmicas Urbanas (ITU) o Islas de Calor Urbanas (ICU). Producto de lo esbozado este artículo plantea como objetivo: valorar una aproximación espacio-temporal de ciudades del estado Cojedes, para la determinación del fenómeno isla de calor urbana (ICU), empleando el sensor remoto Modis que viaja sobre el satélite Terra, las ciudades consideradas en el estudio son: San Carlos, Tinaco y Tinaquillo. Como marco metodológico de la investigación se tiene que se circunscribe en el paradigma positivista con un enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental, tipo de investigación de campo con un nivel descriptivo y longitudinal. Entre las consideraciones finales se tiene que la distribución de los puntos en las ciudades objeto de estudio, se realizó para obtener los diferenciales térmicos que se generan entre la zona rural y la zona urbana, para obtener una aproximación del desarrollo del fenómeno ICU en las ciudades del estado Cojedes.

Palabras claves: *ciudades, estado Cojedes, Fenómeno ICU.*

ABSTRACT

The Urban Heat Island (ICU) phenomenon is induced by the excessive growth of cities. This environmental impact is a product of the urbanized areas on the climate, it consists of the increase in the air temperature in the localities with respect to the periphery. The term "Island of Heat" was proposed by the climatologist Gordon Manley in 1958 and over time this terminology has been modified and is currently known as: Urban Thermal Islands (ITU) or Urban Heat Islands (ICU). As a result of what has been outlined, this article proposes as an objective: to assess a spatio-temporal approximation of cities of the Cojedes state, for the

determination of the urban heat island (ICU) phenomenon, using the Modis remote sensor that travels on the Terra satellite, the cities considered in the study are: San Carlos, Tinaco and Tinaquillo. As a methodological framework of the research, it must be circumscribed in the positivist paradigm with a quantitative approach, with a non-experimental design, type of field research with a descriptive and longitudinal level. Among the final considerations, the distribution of the points in the cities under study, was carried out to obtain the thermal differentials that are generated between the rural area and the urban area, to obtain an approximation of the development of the ICU phenomenon in the cities of the Cojedes state.

Keywords: *cities, Cojedes state, ICU Phenomenon.*

INTRODUCCIÓN

Las ciudades son organismos que consumen recursos naturales, generan desechos sólidos, ofrecen mayores superficies impermeabilizadas y disminuyen la cobertura vegetal, constituyendo de esta manera una amenaza ambiental importante. Al respecto, Hernández y Vázquez (2010), afirman: que el desarrollo excesivo de estructuras que consumen suelos, territorios, materiales, energía y apoyan prácticas inmobiliarias que estimulan la construcción de edificaciones frente a su rehabilitación y conservación, incrementan el despilfarro de recursos.

En consecuencia y producto del crecimiento de los espacios urbanos y la saturación poblacional, se produce un fenómeno denominado ICU (Isla de Calor Urbana), el cual consiste en un diferencial

de temperatura que tiende a ser más elevado durante la noche, específicamente en el centro de las ciudades donde se suele construir edificaciones masivas con respecto a las áreas de sus alrededores (Moreno y Serra, 2016).

El climatólogo inglés Gordon Manley fue quien propuso la terminología "Isla de Calor" en el año 1958 (Moreno, 1992), cuya finalidad fue identificar el área urbana con temperaturas nocturnas elevadas respecto a su entorno. De esta manera, en el transcurrir del tiempo esta terminología se ha venido modificando y en la actualidad se le conoce por: ICU, producto del sobrecalentamiento extendido en las ciudades, pues el acumulamiento de calor en las masas de concreto y asfalto producido en el día no es liberado en su totalidad durante la noche.

En la actualidad, los productos satelitales derivados de esta tecnología han adquirido mucho interés por ser una herramienta valiosa para la obtención de información en muchas áreas de la ciencia y en especial en el área ambiental, debido a que a través de ellos se pueden estudiar grandes zonas modificadas en su cobertura vegetal producto de construcciones de ciudades, zonas destinadas a la agricultura y ganadería, áreas afectadas por la minería, entre muchas otras aplicaciones en las que las imágenes derivadas de satélites son aprovechadas.

Las técnicas de teledetección y percepción remota han ampliado la oportunidad en los estudios de climatología urbana (Voogt y Oke, 2003), porque existe una gran variedad de sensores remotos empleados en el estudio de la climatología urbana, entre los más utilizados de tiene: Thematic Mapper (TM); Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+); National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA); Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR); Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) y

Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). Para Córdova (2012):

La elección de un satélite y el sensor remoto para la elaboración de un proyecto de investigación van a depender de las necesidades del mismo, las variables de análisis, el nivel de resolución, la cobertura del sensor, las bandas del espectro en que se colecta la información, la frecuencia con que se genera, la accesibilidad y el costo de la data (p. 76).

Por lo tanto para el desarrollo de esta investigación, el sensor remoto seleccionado es el MODIS, el cual viaja a bordo del satélite Terra y es administrado por la NASA (Administración Nacional de la Aeronáutica y el Espacio). Es importante resaltar que los sensores Terra son los más avanzados con respecto a los demás, porque han suministrado las librerías de emisividad de las diferentes cubiertas terrestre. Además, existen subproductos específicos corregidos para el estudio de temperatura de la superficie y su frecuencia de registro es diaria (Sarricolea y Martín, 2014).

Producto de lo antes expuesto, este artículo se plantea como objetivo la valoración espacio-temporal de las

ciudades San Carlos, Tinaco y Tinaquillo del estado Cojedes, para determinar el desarrollo del fenómeno ICU entre los años 2000 y 2017. Este artículo es producto del Proyecto de Creación Intelectual denominado: Aproximación espacio-temporal del fenómeno isla de calor urbana en ciudades del estado Cojedes empleando sensores remoto, signado con el código 306122121, en la UNELLEZ VIPI.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Las ciudades en su proceso de expansión espacial no tienen límites físicos y claros que afecta a las metrópolis, grandes ciudades, intermedias y pequeñas en todos los países. Las ciudades crecen incesantemente alrededor de todo su perímetro y esa expansión no es perceptible a simple vista, sino que con el transcurso de los años los terrenos se van densificando y gradualmente van formando parte de la mancha urbana de la ciudad.

Los efectos ambientales producido por el crecimiento de las ciudades son complejos y presentan variados procesos de crecimiento, además de importantes concentraciones de contaminantes en al

aire, agua, suelos, islas, archipiélagos y un relevante proceso de degradación de la ecología de sus paisajes como consecuencia de la ilimitada expansión de las áreas construidas sobre parches y corredores vegetales. (Vásquez et al., op. cit).

El clima sobre las áreas urbanas es fundamentalmente un fenómeno local, que resulta de la interacción de las capas bajas atmosférica con la superficie urbana recubierta por cobertura artificial o impermeable (concreto, asfalto, vidrio, materiales metálicos, piedra, cerámicas, entre otros), asociada a los elementos típicos de la infraestructura urbana y que sustituyen a la vegetación y al paisaje natural (Landsberg, 1981). A mayor superficie construida, mayor es entonces la alteración de los parámetros climáticos que contribuyen a regular el clima local, ya que disminuyen los aportes de humedad por evapotranspiración vegetal y la sombra de la vegetación, aumentando el impacto de la radiación solar incidente y en consecuencia, el calentamiento superficial diurno, así como la emisividad de calor durante las primeras horas nocturnas (Oke,

1982; Environment Protection Agency (EPA), 2003).

Las ICU son una consecuencia del desarrollo de las ciudades donde se generan cambios en las propiedades térmicas e irradiantes de sus estructuras. Por ejemplo, los edificios altos disminuyen la velocidad del viento a la cual las ciudades se enfrían en las noches. A diferencia del calentamiento global, las islas de calor son cambios climáticos locales y no globales ya que sus efectos se limitan a una escala mucho menor, pero los efectos de ambos fenómenos son similares ya que pueden inducir a un mayor consumo energético, afectar la salud y perjudicar los elementos ambientales de una zona (EPA, 2011).

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se enmarca dentro del paradigma positivista con un enfoque cuantitativo, porque se fundamenta en el positivismo el cual percibe la uniformidad de los fenómenos (Palella y Martins, 2012). Se circunscribe en un diseño no experimental, debido a que las variables independientes ya han ocurrido lo que impide su manipulación. Específicamente para este caso de estudio, el fenómeno de

ICU se viene desarrollando en el estado Cojedes con el transcurrir del tiempo, donde la variabilidad de la temperatura no puede ser manipulada estudiando así la información que se obtenga directamente de la realidad.

Presenta un tipo de investigación de campo, el cual para Arias (2006), “consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados o de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar variable alguna” (p. 31). Por lo descrito, este estudio se circunscribe en este tipo porque los datos primarios se obtuvieron de imágenes satelitales captadas por el sensor remoto MODIS. En este sentido, el trabajo se ajusta a dos niveles que son el descriptivo y el longitudinal, el primero hace énfasis sobre conclusiones dominantes o sobre cómo una persona, grupo o cosa se conduce o funciona en el presente y el segundo nivel, se ocupa de estudiar las variaciones en el tiempo de la(s) variable(s), realizando la correlación de datos en un determinado período (Palella y Martins, *op cit*). Tal es este caso de estudio, debido a que se busca una aproximación del desarrollo del

fenómeno ICU en ciudades del estado Cojedes en un período de tiempo.

Para la determinación del fenómeno ICU se tomó específicamente como unidad de estudio las tres principales ciudades del estado Cojedes: San Carlos, Tinaquillo y Tinaco; correspondiente a los municipios Ezequiel Zamora, Tinaquillo y Tinaco, respectivamente. Para delimitar la zona de interés se tomó en cuenta los siguientes criterios:

1. Que las tres ciudades: San Carlos, Tinaquillo y Tinaco, son las capitales de los municipios más poblados del estado Cojedes, por consiguiente poseen una mayor influencia climática.
2. Que las tres ciudades son las que poseen el mayor volumen de edificaciones estructurales con un número mayor a dos niveles, además poseen un número considerable de urbanismos, calles y avenidas pavimentadas, zona industrial activa y gran volumen de vehículos pertenecientes al parque automotor.

Con estas consideraciones se generan tres (3) área de estudio, en las cuales se ubicarán puntos distribuidos

entre la zona urbana y la rural en cada sector, en los cuales se determinará las diferentes temperaturas detectadas por el satélite. Es importante resaltar que los puntos de interés serán distribuidos de forma tal que proporcionen muestras caracterizadas por contener: zonas densamente pobladas como el centro de las ciudades; urbanismos con poca vegetación; áreas impermeabilizadas por concreto y asfalto; zonas de parques; zona con empresas y áreas ubicadas en el perímetro de la ciudad (zona rural).

Se procesarán 1616 imágenes del producto MOD11A2.006 LST a 8 días con un kilómetro cuadrado de resolución espacial derivado de Terra MODIS, conformados a su vez por 808 imágenes diurnas y 808 imágenes nocturnas, adquiridas vía la plataforma on line Application for Extracting and Exploring Analysis Ready Samples (AppEEARS, disponible en <https://lpdaacsv.cr.usgs.gov/appeears/>). El periodo cubierto por las imágenes va desde el 18/02/2000 hasta 22/09/2017.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para la valoración de las tres ciudades se ubicaron puntos para la lectura de las temperaturas de la superficie, distribuidos en la zona rural y urbana de las áreas de estudio con la finalidad de determinar la

diferencia térmica entre la ciudad y su periferia, los mismos se identificaron por sus coordenadas geográficas sobre las 808 imágenes satelitales diurnas y las 808 imágenes satelitales nocturnas.

Tabla 1. Ubicación de puntos para la determinación de temperatura superficial en la ciudad de San Carlos edo. Cojedes

ID	COORDENAS		CATEGORIA	DESCRIPCIÓN
	NORTE	ESTE		
1	68°35'38,40"	9°39'32,40"	Pto. Urbano	Calle Pichincha entre calle Salias y calle Páez
5	68°33'57,60"	9°39'32,40"	Pto. Urbano	Barrio Ezequiel Zamora
6	68°35'42,00"	9°39'00"	Pto. Urbano	Sector Limoncito
7	68°35'9,60"	9°38'24"	Pto. Urbano	Sector el Retazo
9	68°35'2,40"	9°39'57,60"	Pto. Urbano	Calle Alegría entra calle Virgen del Valle y Av. Caracas
10	68°34'30,00"	9°39'50,40"	Pto. Urbano	Urbanización Las Tejitas
11	68°34'55,20"	9°40'30"	Pto. Urbano	Urbanización Villa Universitaria
12	68°35'27,60"	9°40'48"	Pto. Urbano	Urbanización San Ramón
13	68°34'8,40"	9°39'7,20"	Pto. Urbano	Urbanización La Herrereña
14	68°35'52,80"	9°40'8,40"	Pto. Rural	Zona Rural
15	68°36'7,20"	9°39'18"	Pto. Rural	Zona Rural
16	68°36'7,20"	9°38'31,20"	Pto. Rural	Zona Rural
17	68°35'38,40"	9°37'44,40"	Pto. Rural	Zona Rural
18	68°33'3,60"	9°39'18"	Pto. Rural	Zona Rural
19	68°33'21,60"	9°40'40,80"	Pto. Rural	Zona Rural
20	68°34'51,60"	9°41'20,40"	Pto. Rural	Zona Rural

Fuente: Propia (2021)



Figura 1. Imagen satelital de la ciudad de San Carlos con la ubicación de los puntos para determinar la temperatura superficial
Fuente: Google Earth (2020)

En la figura N° 1, se puede distinguir como quedó la distribución de los puntos para la lectura de las temperaturas en la ciudad de San Carlos, se establecieron 20 puntos en total ubicados internamente en la ciudad así como también en la zona rural en las afueras de la misma. Al aplicar este criterio lo que se estableció fue cubrir el mayor espacio de la unidad de estudio y poder comparar las temperaturas entre sí.

Otro criterio establecido para la ubicación de los puntos en la ciudad, es que considero que la zona estuviera densamente construida y con poca vegetación urbana.

De igual manera, se aplicó esta metodología para la ubicación de los puntos para lecturas de temperaturas superficiales en las otras dos áreas de estudio, quedando de la siguiente manera: en la ciudad de Tinaco la distribución fue de 12 puntos entre la zona urbana y su periferia. Y para la ciudad de Tinaquillo se establecieron 20 puntos para determinar de esta manera las temperaturas superficiales, los mismos se encuentran distribuidos por toda la ciudad y la zona rural de sus alrededores cubriendo la mayor zona posible.



Figura 2. Imagen satelital de la ciudad de Tinaco con la ubicación de los puntos para determinar la temperatura superficial
Fuente: Google Earth (2020)



Figura 3. Imagen satelital de la ciudad de Tinaquillo con la ubicación de los puntos para determinar la temperatura superficial
Fuente: Google Earth (2020)

Una vez ubicado los puntos en las ciudades objeto de estudio, se obtuvo la temperatura superficial de las 1616 imágenes del producto MOD11A2.006 LST, para un periodo comprendido entre el 18/02/2000 hasta 22/09/2017, luego se vaciaron los valores obtenidos del producto en una hoja de cálculo de Excel de Microsoft, los cuales fueron sometidos a un proceso de ordenamiento, depuración y promedio de los valores obtenidos, tanto para las imágenes diurnas como las imágenes nocturnas, en las tres ciudades San Carlos, Tinaco y Tinaquillo. Además, los valores promedios obtenidos fueron comparados con los resultados arrojados por el software R, el cual es un lenguaje de programación con un enfoque estadístico.

En las figuras abajo mostradas se puede apreciar los promedios obtenidos para las temperaturas superficiales (ver franjas de colores), los datos van desde febrero del año 2000 hasta septiembre de 2017.

El mes de febrero del año 2000 no fue considerado para este estudio porque hay mucho vacío en la lectura de los datos.

Source	Year	Month	Day	ID1	ID5	ID6	ID7	ID9	ID10	ID11	ID12	ID13	ID14	ID15	ID16	ID17	ID18	ID19	ID20
MODIS_Day_LST 2000	2	18																	
MODIS_Day_LST 2000	2	26		38,2		37,03	38,17	37,43				37,25	39,89	36,65	36,17	36,01	40,03		
MODIS_Day_LST 2000	3	5		40,6	39,33	40,09	40,31	39,17	39,07	41,11	40,79	40,75	40,73	40,63	40,73	37,85	42,45	39,81	41,97
MODIS_Day_LST 2000	3	13		40,4	40,09	40,47	39,65	40,05	39,75	40,89	39,45	40,89	39,91	40,89	40,15	40,11	42,01	40,91	41,49
MODIS_Day_LST 2000	3	21					37,27		38,29			36,71			36,87	37,19			
MODIS_Day_LST 2000	3	29		41,5	40,27	40,91	41,13	40,33	40,19	40,13	39,77	40,93	41,17	41,45	40,73	40,11	42,05	40,57	38,85
				40,81	39,90	40,49	39,59	39,85	39,33	40,71	40,00	39,82	40,60	40,99	39,62	38,82	42,17	40,43	40,77
MODIS_Day_LST 2000	4	6		41,5	38,45	40,41	38,71	38,93	38,61	39,11	39,95	39,83	22,05	42,49	42,59	39,61	41,95	39,11	
MODIS_Day_LST 2000	4	14		44,9	42,91	44,81	43,97	43,29	42,97	43,89	42,79	44,01	44,25	45,35	45,45	43,31	45,93	44,39	44,25
MODIS_Day_LST 2000	4	22																	
MODIS_Day_LST 2000	4	30		43,5	39,17	41,79	42,39	41,17	39,97	41,27	41,31	40,05	42,71	40,21	42,73	40,13	40,73	40,23	41,07
				43,30	40,18	42,34	41,69	41,13	40,52	41,42	41,35	41,30	36,34	42,68	43,59	41,02	42,87	41,24	42,66
MODIS_Day_LST 2000	5	8																	
MODIS_Day_LST 2000	5	16					33,11			40,43	30,89			32,89	32,87	30,67			33,13
MODIS_Day_LST 2000	5	24		32,5	33,23	31,83		33,35	33,67	31,05	30,61		32,63	31,59	31,45			31,13	
				32,53	33,23	31,83	33,11	33,35	33,67	35,74	30,75	0,00	32,63	32,24	32,16	30,67	0,00	31,13	33,13
MODIS_Day_LST 2000	6	1		34,9	33,79	34,23	28,21	34,35	32,43	30,21	32,75	30,79	34,07	32,53	30,27	28,85	30,09	29,39	31,83
MODIS_Day_LST 2000	6	9		31,7	33,79	32,01	31,03	33,31	34,25	31,51	29,41	33,39	30,65	31,33	30,73	30,23	32,23	31,43	29,99
MODIS_Day_LST 2000	6	17					27,29								28,65	27,31		29,43	31,59
MODIS_Day_LST 2000	6	25		25,5	26,81			26,33	26,79	25,45	25,39		25,61	25,29	25,27		27,49	26,87	25,37
				30,68	31,46	22,08	28,84	31,33	31,16	29,06	29,18	32,09	30,11	29,72	28,73	28,80	29,94	29,28	29,70
MODIS_Day_LST 2000	7	3					29,83							30,05	31,31				
MODIS_Day_LST 2000	7	11					27,85				36,41		28,49	29,03		28,29			
MODIS_Day_LST 2000	7	19		28,7	29,71	27,87	25,71	29,45	28,97	28,75	28,13	28,63	28,65	27,55	27,09	26,77	27,99	27,65	27,79
MODIS_Day_LST 2000	7	27											33,11		31,17	33,75	32,77	33,25	

Figura 4. Valores de temperatura superficial en las imágenes de día San Carlos estado Cojedes Fuente: Propia (2020)

CONSIDERACIONES FINALES

- El desarrollo de esta investigación busca determinar que la isla de calor urbana (ICU), es un fenómeno climático específico para cada zona, se desarrolla en ciudades grandes o pequeñas y se origina por la sustitución de la cobertura natural por elementos de asfalto, concreto, materiales con superficies de color oscuro

que absorben calor y la emisión de gases del parque automotor.

- La distribución de los puntos en las ciudades objeto de estudio, se realizó para obtener los diferenciales térmicos que se generan entre la zona rural y la zona urbana, y obtener una aproximación del desarrollo del fenómeno ICU en las ciudades del estado Cojedes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias, F. 2006. *El Proyecto de Investigación. Introducción a la Metodología Científica*. Caracas – Venezuela. Editorial Episteme.
- Córdova, K. (2012). *Geotecnología espacial aplicada al estudio del fenómeno de isla térmica urbana. Una contribución al estudio de la dinámica socio-ambiental de las islas de calor urbano en la ciudad de Caracas*.
- EPA, Environment Protection Agency. (2003). *Cooling summertime temperatures: Strategies to reduce urban heat islands*. [En línea]. Disponible en: <http://www.epa.gov/hiri/resources/pdf/HIRIbrochure.pdf>. [Consultado en: noviembre, 2019].
- EPA, Environmental Protection Agency. (2011). *Environmental Protection Agency* [En línea]. Disponible en: <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-impacts>. [Consultado en: julio, 2020].
- Hernández, A. y Vázquez, M. (2010). *Urbanización contra sostenibilidad*. Boletín CF+S, 44, pp. 7-12. Disponible en: <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n44/aaher.html> [Consultado en: febrero de 2020].
- Landsberg H., E. (1981). *The Urban Climate*. New York. Academic Press.
- Moreno, M. y Serra, J. (2016). *El estudio de la isla de calor urbana en el ámbito mediterráneo: una revisión bibliográfica*. Revista bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales: Biblio 3W. Vol. XXI. Barcelona – España. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/312981419_El_estudio_de_la_isla_de_calor_urbana_en_elambito_mediterraneo_una_revision_bibliografica. [Consultado en: noviembre, 2019].
- Moreno, M. (1992). *Bibliografía sobre Climatología urbana: la “isla de calor”*, Volumen I. Barcelona. España. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/46313792_Bibliografia_sobre_Climatologia_urbana_la_isla_de_calor_I. [Consultado en: octubre, 2019].
- Oke, T. R. (1982). *The energetic basis of the urban heat island*. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 108, 1–24.
- Palella, S. y Martins, F. (2012). *Metodología de la Investigación Cuantitativa*. Caracas – Venezuela. Edición. FEDUPEL.
- Sarricolea, P. y Martín-Vide, F. (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*. Artículo publicado en la Revista de Geografía Norte Grande, 57: 123-141.