

1. DESCRIPCIÓN DE NDVI Y NDBI DE UN TRAZADO URBANO DE LA CIUDAD DE ENCARNACIÓN PARAGUAY

DESCRIPTION OF NDVI AND NDBI OF A URBAN LAYOUT OF THE CITY OF ENCARNACIÓN PARAGUAY

Estelvina Rodríguez Portillo¹, Jorge Alonso Duré², Carolina Argüello Bernal³

Fecha recibido: 25/05/2022

Fecha aprobado: 25/06/2022

Derivado del proyecto: *Dinámica de Contaminantes atmosféricos Pm 2.5 e isla de calor*

Institución financiadora: *Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad Nacional de Itapúa*

Pares evaluadores: *Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES.*

¹*Lic, en Ciencias de la Naturaleza, Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción, Dra. en Ciencias Ambientales, Facultad de Química, Universidad Autónoma de México, Ocupación, docente de grado y postgrado en Universidad Nacional de Itapúa, correo electrónico: investigacion@cyt.uni.edu.py*

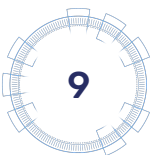
²*Lic, en Ciencias Mención Biología, Universidad Nacional de Asunción, Dr. en Gestión Ambiental, Escuela de Posgrado Universidad Nacional de Itapúa, Docente de grado de la Universidad Nacional de Itapúa, correo electrónico: jorgealonso@cyt.uni.edu.py*

³*Ingeniera Informática, Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción, Magister en Docencia e Investigación Universitaria, Universidad Nacional de Itapúa, Ocupación, docente de grado en Universidad Nacional de Itapúa, correo electrónico: carolinaarguello@cyt.uni.edu.py*

RESUMEN

Las anomalías térmicas registradas en el periodo de estiaje en esta región, han sido consideradas como un fenómeno de domo de calor cuyas consecuencias se ven acentuadas en las ciudades, ya que éstas poseen dinámica climática propia, evidenciadas en los estudios de efecto de isla de calor. El objetivo de este trabajo fue describir las variaciones térmicas en un polígono del trazado urbano de la ciudad de Encarnación, Paraguay, para el período que presentaron temperaturas máximas diarias consideradas extremas. La metodología empleada se basó en el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica de imagen satelital, Sentinel 2. Se aplicó Índices espectrales de diferencia normalizada de vegetación (NDVI) y de construcción (NDBI) en bandas de Red (visible), infrarrojo cercano (NIR) y longitud de onda de infrarrojos de onda corta (SWIR). La respuesta espectral indica diferencias de rango entre ± 1 C, en cuatro puntos que conforman el polígono. Los resultados permiten visualizar la importancia de los indicadores biofísicos en los estudios de clima urbano asociados a eventos extremos y de contaminación. Numerosas investigaciones avalan la regulación térmica de la vegetación y los efectos de la estructura física en los espacios urbanos, no obstante considerar la dinámica específica de Encarnación, cuyo entorno ha sido modificado constituye un aporte para planes de ordenamiento territorial y de regulación de microclimas.

PALABRAS CLAVE: Variación, Temperatura, Urbana, Imagen satelital, Vegetación, Construcción.



ABSTRACT

The thermal anomalies recorded in the dry season in this region have been considered as a heat dome phenomenon which consequences are accentuated in cities since they have their own climatic dynamics, evidenced in studies of the heat island effect. The objective of this work was to describe the thermal variations in a polygon of the urban layout of the city of Encarnación Paraguay, for the period that presented maximum daily temperatures considered extreme. The methodology used was based on the use of satellite image Geographic Information Systems tools, Sentinel 2. Spectral indexes of normalized difference of vegetation (NDVI) and construction (NDBI) were applied in Network bands (visible), near infrared (NIR) and shortwave infrared (SWIR) wavelength. The spectral response indicates range differences between ± 1 C, at four points that make up the polygon. The results allow visualizing the importance of biophysical indicators in urban climate studies associated with extreme events and pollution. Previous researches support the thermal regulation of vegetation and the effects of the physical structure in urban spaces, however, considering the specific dynamics of Encarnación city, which environment has been modified, constitutes a contribution to land use planning and microclimate regulation of territorial plans.

KEYWORDS: Variation, Temperature, Urban, Vegetation, Building, Satelital image.

INTRODUCCIÓN

Las discusiones sobre el cambio climático son más enfatizadas a escala global, no obstante, esos cambios se verifican con mayor sensibilidad a escala local. Las ciudades experimentan modificación del clima particular, debido a la introducción de formas artificiales como los edificios, la concentración misma de la población, infraestructura vial, estabilización, del suelo, canalización de cursos hídricos, entre otros (Alves y Specian, 2009). Los antecedentes de estudios mencionan como referencia a que las ciudades presentan un microclima propio, denominado clima urbano. Esto es resultado de la interacción de diversos factores que actúan en la capa límite urbana. Una de las variaciones más estudiadas son las referentes a anomalías térmicas llamadas islas de calor, siendo más notorio en las zonas urbanas debido al efecto albedo de los materiales urbanos junto con las anomalías higrométricas (seca) acentuadas por la falta de vegetación y de cuerpos hídricos.

Las temperaturas más altas en las islas de calor urbanas, causan problemas ambientales, como el aumento de la demanda de aire acondicionado, los niveles de contaminación y modifica los patrones de precipitación, motivo por el cual los científicos han prestado más atención a su investigación (Hua & Quinhao, 2008).

El estudio del clima urbano, tiene larga data, ya en 1978, Oke citado en Specian & Alves, 2009 introdujo conceptos para el análisis del mismo, entre ellas, el denominado Sky view factor (relacionado con la superficie urbana cubierta por edificios y vegetación) el efecto oasis (derivadas de las áreas verdes urbanas) junto con la influencia del material de la cobertura del suelo principalmente para infraestructura vial en la formación de islas de calor.

Actualmente, los satélites de monitoreo terrestre de alta resolución proporcionan datos básicos para el análisis de las Islas de Calor Urbano, lo que permite investigarlo a gran escala (Liu & Zhang, 2011; Garcia & Rivera, 2020). La temperatura de la superficie terrestre (LST) determinada a partir de varios sensores satelitales es considerablemente utilizada en la demarcación de las islas de calor y zonas de estrés térmico dentro del área urbana (Guha, et al, 2022). De igual manera, se ha puesto mucho énfasis en el uso del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y el índice de diferencia normalizada edificada (NDBI),

como indicadores del clima urbano, considerado sus correlaciones con la Temperatura de la superficie terrestre (LST) (Guha et al, 2022; Hua & Quinhua, 2008).

Los índices de vegetación son transformaciones matemáticas de bandas que combinan las propiedades de las reflectancias medidas en dos o más longitudes de onda, maximizando la contribución en la respuesta espectral de la superficie mientras minimizan la incidencia de factores distorsionantes como el suelo, irradiancia solar y atmósfera. Estos índices han sido ampliamente usados por distintos investigadores para determinar características específicas de la vegetación y cambios en los patrones de las cubiertas vegetales (Soto et al, 2020).

Sin embargo, las mediciones de NDVI están sujetas a variaciones estacionales que pueden influir en los resultados de estudios de la isla de calor urbana superficial (SUHI) (Liu & Zhang, 2011). Por lo tanto, analizar la relación entre el LST y el área de superficie impermeable en un entorno urbanizado proporciona una alternativa para el estudio del SUHI. El índice de acumulación de diferencia normalizada (NDBI) representa uno de los principales tipos, para identificar las áreas urbanas y construidas. El NDBI no solo se puede utilizar como indicador de la extensión espacial urbana e intensidad de desarrollo, sino también como indicador de la superficie impermeable urbana por la cual el intercambio de calor sensible es más favorecido (Liu & Zhang, 2011; Guha et al, 2022).

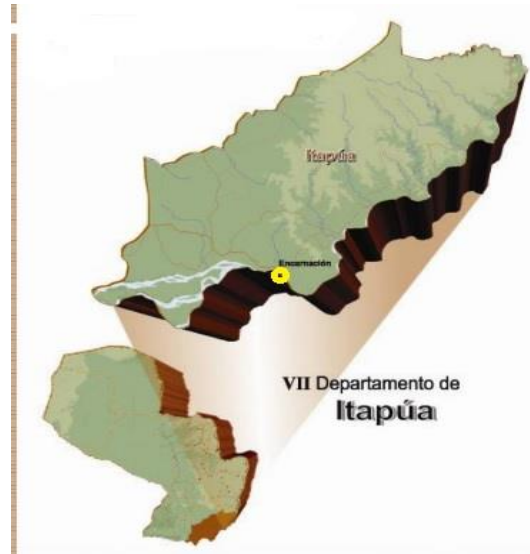
El objetivo de este estudio fue analizar los índices de Vegetación y de Construcción dentro del polígono urbano de la ciudad de Encarnación, como una aproximación del comportamiento del clima urbano, en un período de estiaje y condiciones de calor consideradas extremas, correspondientes a la estación de verano.

MATERIAL Y MÉTODOS

El trazado urbano comprendió al Municipio de Encarnación, capital del departamento de Itapúa (Paraguay) está ubicada en el sudeste del país, sobre la orilla derecha del río Paraná, el cual bordea la ciudad hacia el oeste y sur, así como los arroyos que actualmente conforman los subembalses debido al anegamiento por las obras complementarias de la represa hidroeléctrica Yacyreta, quedando la trama urbana central rodeada de agua. El clima es subtropical húmedo según la clasificación Köppen. De acuerdo a la Ley Orgánica Municipal 3966/10 (P.O.U.T, 2016) se delimita área urbana y rural, teniendo en cuenta factores como

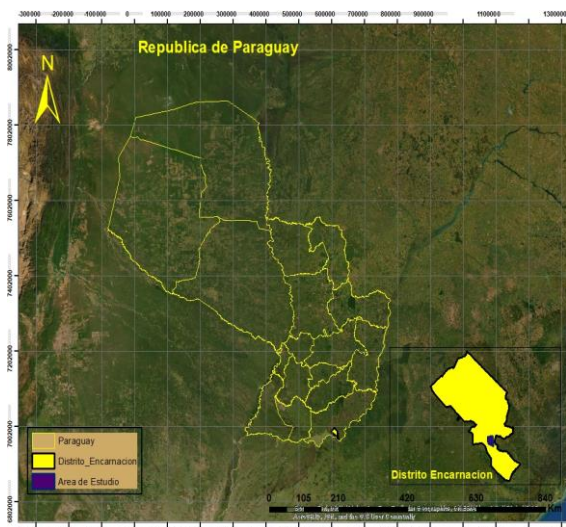
la densidad poblacional, servicios disponibles y proyectados, la expansión urbana, entre otros.

Figura 1. Localización de la Ciudad de Encarnación



Fuente: Diagnóstico Departamental, Dirección General de Desarrollo Territorial e Integral, Regional, 2007.

Figura 2. Entorno Urbano



Fuente: Diagnóstico Departamental, Dirección General de Desarrollo Territorial e Integral, Regional, 2007.

Figura 3. Polígono de estudio



Fuente: Diagnóstico Departamental, Dirección General de Desarrollo Territorial e Integral, Regional, 2007.

La parte que comprende la denominada zona céntrica urbana está circunvalada por 3 principales avenidas y una plaza central. Se delimitó un trazado (Fig.3) para medir las reflectancias con las imágenes satelitales, considerando la cobertura de mayor heterogeneidad de la trama urbana, por lo que, las dotaciones locales y territoriales según el Plan de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sustentable que comprende el área estudiada incluyen: infraestructuras urbanas, equipamientos y espacios colectivos, medioambientales, comerciales, residenciales y similares.

El NDVI se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + \text{Red}),$$

donde:

NIR es la luz del infrarrojo cercano,

y Rojo (Red) es la luz roja visible (Goward et al, 1991).

La escala de valores va de -1 a 1.

El NDBI, a su vez, requiere de las bandas de análisis del infrarrojo a través de las bandas SWIR y NIR.

$$\text{NDBI} = (\text{SWIR} - \text{NIR}) / (\text{SWIR} + \text{NIR}).$$

donde:

NIR= (del inglés Near InfraRed) es el valor en la banda del infrarrojo cercano,

SWIR = (del inglés ShortWavelength InfraRed) del infrarrojo corto (porción del infrarrojo medio).

donde: para Sentinel 2 = $B11 - B8A / B11 + B8$

(Según Hasanlou y Mostofi, 2015).

Para lo anterior, se utilizó la calculadora de Ráster del programa ARGIS 10.5. Procesamiento de imágenes satelitales de Sentinel 2 y 3, a través de la caja de herramientas Toolbox.tvx, resolución de 10 pixel comprendidos en fechas específicas del periodo diciembre 2021 a febrero 2022, según el cual la Dirección Nacional de Meteorología, se registraron las temperaturas más altas dentro la anomalía térmica que afectó el país.

Para la georreferenciación del análisis WGS 84/UTM S 21. Sobre la misma se realizaron los ajustes conforme a los elementos del paisaje. Los ajustes propios para eliminar interferencias a través de correcciones geométricas, radiométricas y atmosféricas fueron ejecutadas a través de la plataforma del propio Sentinel.

También se trabajó con el cálculo de la temperatura de superficie terrestre (LST) por sus siglas en inglés Land Surface Temperature, para lo cual se utilizó como herramienta las bandas térmicas de Landsat 8. Las imágenes fueron obtenidas del sitio EarthExplorer, se aplicó el conjunto de ecuaciones a través de la calculadora de imágenes ráster mediante ArcGIS 10.0.

RESULTADOS

Los resultados tanto del NDVI como para el NDBI se representan con mapas de colores, donde cada color representa a un cierto rango de valores.

Figura 4. Para diciembre de 2021

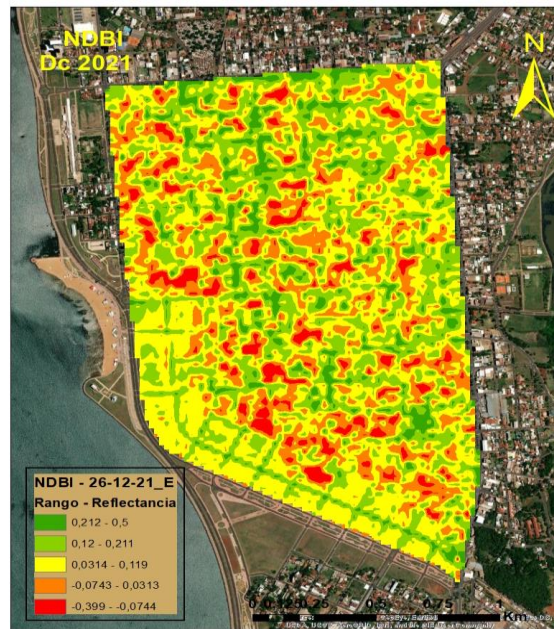
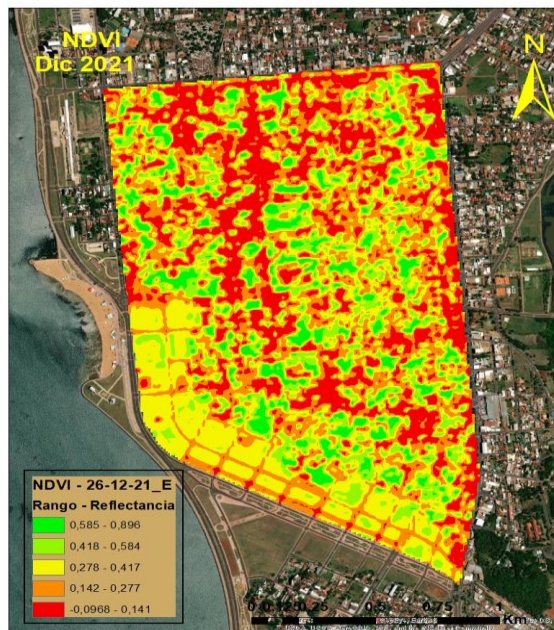


Figura 5. Para diciembre de 2021



En cuanto al NDBI, al igual que en índices análogos (como el NDWI o el NDVI) el intervalo de valores resultantes oscila entre -1 y 1, donde aquellos valores de tendencia negativa indican presencia de zonas con vegetación.

En la Figura 6 y 7 se presentan para los períodos del mes de enero, en ese período correspondiente al día 23 se registraron las temperaturas más altas en todo el país.

Figura 6. NDVI para dos periodos del mes de enero

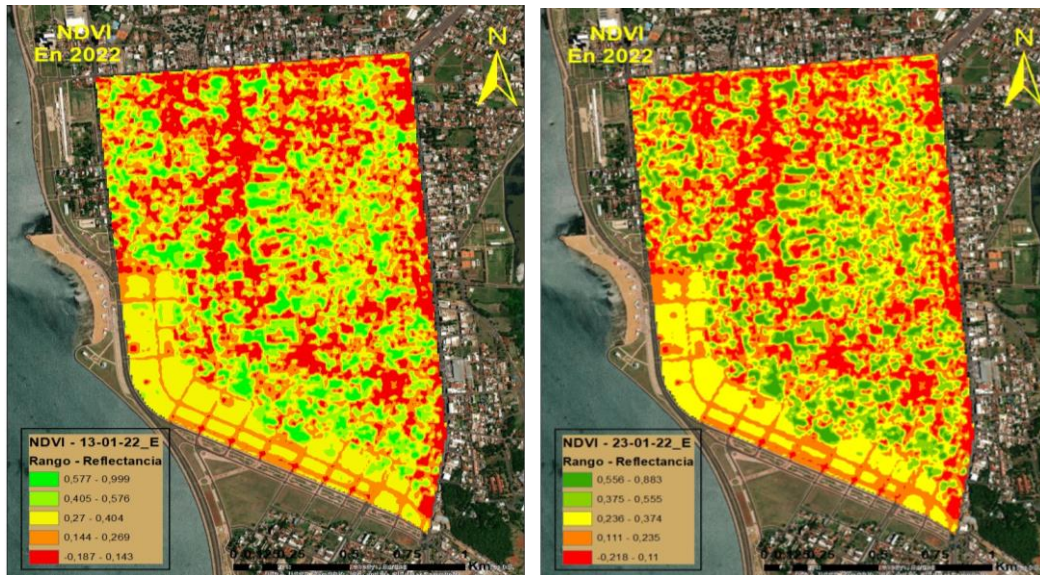
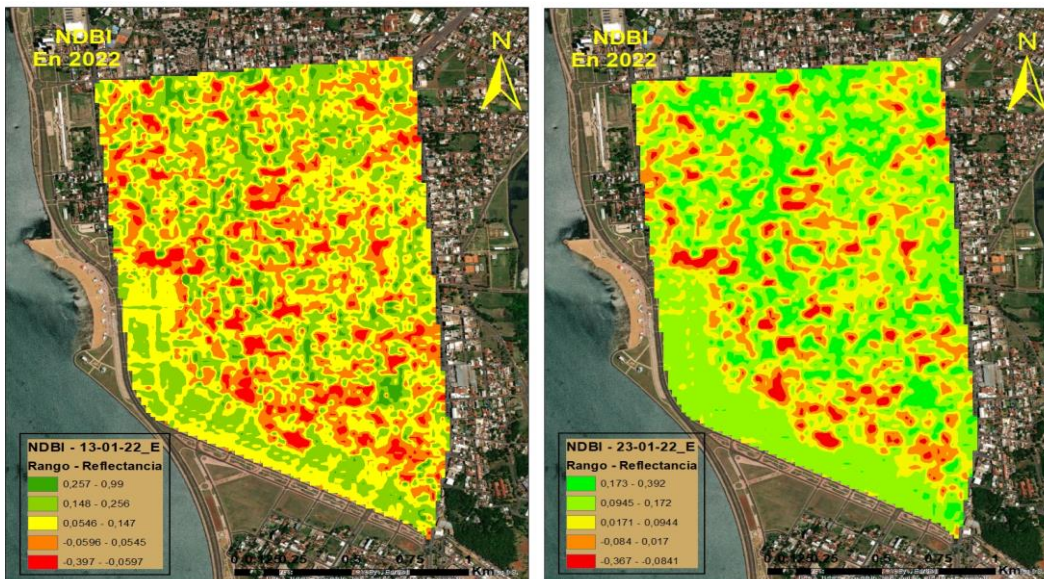


Figura 7. NDBI para dos periodos del mes de enero



En la Figura 8 y 9, se presentan los índices para el período febrero 2022 donde se visualiza la distribución espacial de la diferencia de los valores.

Figura 8. NDBI y NDVI para febrero. Periodo 2

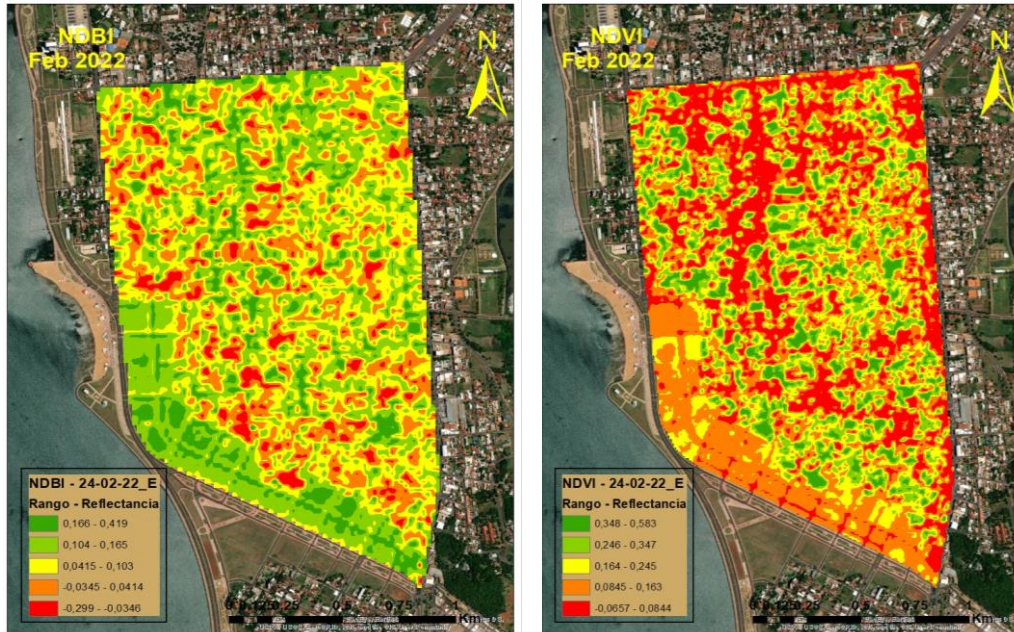


Figura. 9. NDVI y NDBI para febrero. Período 1

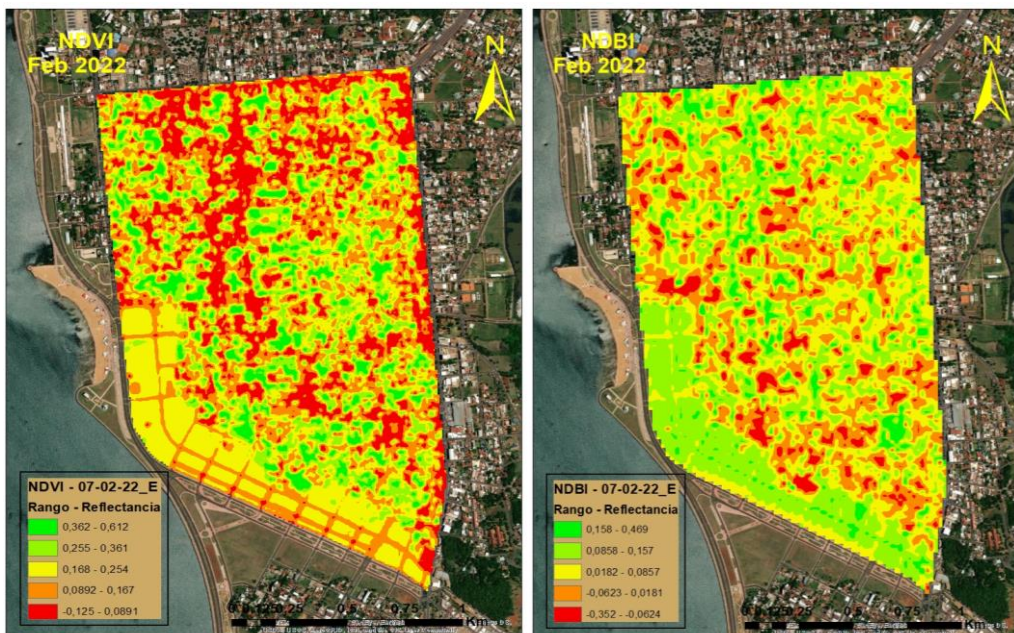
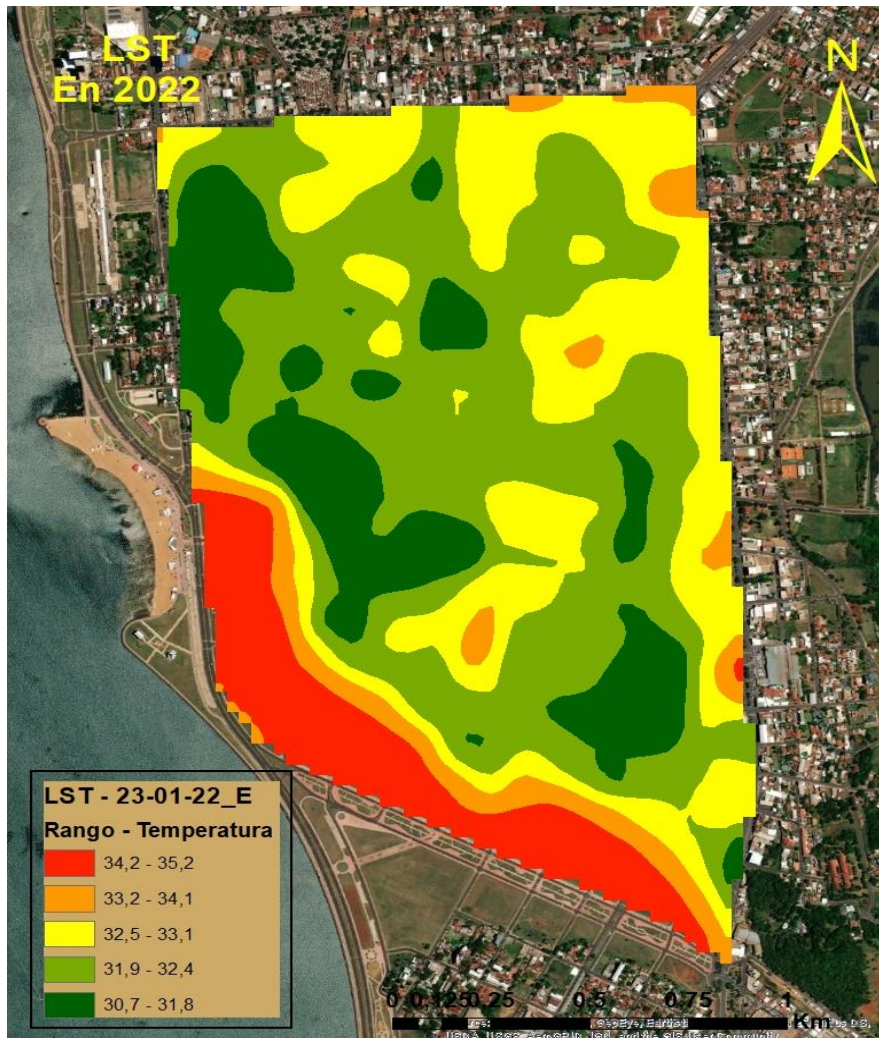


Figura 10. Temperatura de Superficie en el polígono de estudio, correspondiente al día más cálido durante el período



En el mapa se muestra la temperatura de superficie de la tierra del polígono, cabe señalar que no es igual a la temperatura del ambiente. Permite visualizar efectivamente las diferencias entre una zona y otra. Se destacan los puntos con vegetación como factor que contribuye a disminuir la temperatura.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El análisis temporal de los datos, señala una tendencia general ascendente de valores medios de NDVI y NDBI en el polígono.

La utilidad de estos índices como indicador de la visualización de las variaciones térmicas en una ciudad, se demuestra en tanto que, los valores más altos de NDVI y NDBI se ubicaron en unidades que tienen mayor proporción de áreas verdes, en contraste con los valores más bajos en las zonas edificadas, a pesar de las limitaciones de un período relativamente corto (verano) y la superficie del polígono estudiado.

El diagnóstico de la cobertura vegetal con base en los índices de vegetación es factible de ser implementada en los estudios de microclima urbanos, incluso a escala de manzana urbana, esto se complementa con estudios vinculados a la morfología urbano-edilicia de importancia para orientar planes ambientales de sostenibilidad energética.

La temperatura de la superficie terrestre es un importante indicador del balance energético en los climas urbanos, el proceso masivo de urbanización que transformó el paisaje de la ciudad de Encarnación, de zonas con vegetación a incremento de superficies impermeables y el albedo fueron factores de incidencia importantes para este estudio.

Se observa que el NDVI es menor en el área con construcciones en comparación con áreas con presencia de vegetación, y es inversamente proporcional con el NDBI. La temperatura se comporta similar al NDBI en las áreas urbanizadas, donde las temperaturas son más elevadas en comparación con las áreas que presentan una mayor vegetación. Estos resultados se relacionan con Guha y otros (2022) en la ciudad de Raipur, India, donde encontraron un coeficiente de correlación negativo (Pearson= - 0.44) entre la temperatura de la superficie de la tierra (TST) y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), esto es un claro indicador que las áreas verdes o la vegetación pueden suavizar o reducir el efecto de la isla de calor urbano (ICU); de igual manera, en el análisis de correlación, mostraron resultados de una influencia positiva del NDBI en el TST (Person= 0,71), lo que indica que las áreas construidas influyen fuertemente en la aparición de las ICU.

El NDBI o Índice de Diferencia Normalizada Edificada permite llevar a cabo la estimación de zonas con superficies edificadas o en desarrollo de construcción frente a las

habituales zonas naturalizadas con vegetación o desnudas, junto a otros como el índice NDVI y el índice UI son una vía de análisis territorial en estudios urbanísticos, infraestructuras y la comparación de la evolución de las urbes en el tiempo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- García, W., & Rivera, X. E. (Febrero de 2020). ISLAS DE CALOR URBANO: EFECTO DEL CRECIMIENTO NO PLANIFICADO DEL ÁREA URBANA DE LA CIUDAD DE JAÉN, CAJAMARCA (1995 -2015). JAÉN, Perú.
- Guha, S., Govil, H., Gill, N., Dey, A., & Taloor, A. K. (2022). Land surface temperature and spectral indices: A seasonal study of. *Geodesy and Geodynamics*, 72-82. doi:<https://doi.org/10.1016/j.geog.2021.05.002>
- Hua, L., & Quinhuo, L. (19 de Diciembre de 2008). *Comparison of NDBI and NDVI as indicators of surface urban heat island effect in MODIS imagery*. doi:10.1117/12.815679
- Liu, L., & Zhang, Y. (2011). Urban heat island analysis using the landsat TM data and ASTER Data: A case study in Hong Kong. *Remote Sensing*. doi:<https://doi.org/10.3390/rs3071535>
- P.O.U.T. (2016-2030) Plan de Ordenamiento Urbano y Territorial. Consultado el 20 de mayo de 2022, disponible en línea: <https://encarnacionmas.com/plan/>
- Samuel N. Goward, Brian Markham, Dennis G. Dye, Wayne Dulaney, Jingli Yang (1991). Normalized difference vegetation index measurements from the advanced very high resolution radiometer, *Remote Sensing of Environment*, Volume 35, Issues 2-3, Pages 257-277, ISSN 0034-4257, [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90017-Z](https://doi.org/10.1016/0034-4257(91)90017-Z).
- SOTO-SOTO, J., GARZON-BARRERO, J., & JIMENEZ-CLEVES, G. (2020). Análisis de islas de calor urbano usando imágenes Landsat: caso de estudio Armenia-Colombia 1996-2018. *Revista ESPACIOS*, 41(08), 9.
- Specian, V., & Dener Lima Alves, E. (2009). CONTRIBUIÇÃO AOS ESTUDOS DO CLIMA URBANO: variação térmica e higrométrica em espaços intra-urbanos. *Mercator - Revista de Geografia da UFC*, 8(17), 181-191. doi:10.4215/RM2009.0817.0013.