

Estudio ambiental del municipio Pinar del Río utilizando técnicas de geoprocésamiento integrado
Environmental studies of Pinar del Río municipality using integrated geoprocessing techniques

Ariel Nazco Torres

Ingeniero Forestal, Empresa de Soluciones Geodésicas y Ambientales, calle Loma y 39, Municipio Plaza, La Habana, Cuba aprmedioambiente@pinar.geocuba.cu  : <https://orcid.org/0000-0003-0779-589X>

Illuminada de la Caridad Milián Cabrera

Doctora en Ciencias Geográficas, profesora Titular, Universidad de Pinar del Río Hermanos Saíz Montes de Oca, Pinar del Río, Cuba, iluminada@upr.edu.cu,  : <https://orcid.org/0000-0001-8665-2285>

Yandry Jesús Labrador Muñóz

Ingeniero Forestal, Delegación del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Pinar del Río, Cuba yandry.labrador@gmail.com,  : <https://orcid.org/0000-0002-4045-9110>

Para citar este artículo/To reference this article/Para citar este artigo

Nazco Torres, A., Milián Cabrera, I. de la C., & Labrador Muñóz, Y. J. (2022). Estudio ambiental del municipio Pinar del Río utilizando técnicas de geoprocésamiento integrado. *Avances*, 24(3), 358-370. <http://avances.pinar.cu/index.php/publicaciones/article/view/709/2012>

Recibido: 11 de enero de 2022

Aceptado: 26 de mayo de 2022

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó un estudio del estado medioambiental actual del municipio de Pinar del Río en cuanto a la vegetación, a través de las técnicas del

geoprocésamiento integrado. Se utilizó las imágenes del satélite Sentinel 2A e imagen *Google Earth* de 2019 y el *software* QGIS V-3.23. Se realizaron diversos cálculos como:

índice de vegetación diferencial normalizado, índice de vegetación ajustado al suelo, índice de diferencia normalizada de humedad e índice de clorofila, los cuales arrojaron cualitativamente la calidad del área por consejos populares, según la presencia de vegetación en los mismos. Se vectorizó y cuantificó la cantidad de vegetación por consejos populares, siendo el consejo popular Capitán San Luis el de menor área cubierta de vegetación, pero el que mayor población posee en correspondencia con el área ocupada, por lo que según los cálculos de índices realizados es el que menor calidad ambiental tiene, mayor polución y menor calidad de vida para su población.

Palabras clave: estudio ambiental; índice de vegetación diferencial normalizado; índice de vegetación ajustado al suelo; índice de diferencia normalizada de humedad; índice de clorofila.

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

Una de las formas de evaluar con rapidez y precisión el estado de la vegetación en las ciudades es a través de los cálculos del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). Robinson *et al.* (2017) establece que los índices de vegetación son usados como indicadores cuantitativos del ecosistema ya que involucra el verdor de las plantas, tierra desnuda y la presencia de agua basados en datos remotos obtenidos con sensores montados sobre plataformas como los satelitales. Los espacios o áreas

In the present work, a study of the current environmental state of the municipality of Pinar del Río was carried out through integrated geoprocessing techniques. Sentinel 2A satellite images and QGIS V-3.23 software were used. For this study, various calculations were carried out such as: normalized differential vegetation index, soil adjusted vegetation index, normalized moisture difference index, chlorophyll index, which yielded the quality from the area by popular advice. The amount of vegetation was determined by popular councils, showing that the popular council Cap. San Luis is the one with the smallest area, but the one with the largest population and the least amount of vegetation, so it is expected that it is the one with the least environmental quality and the lowest quality of life for its population.

Keywords: environmental study; normalized differential vegetation index; soil-adjusted vegetation index; normalized moisture difference index; chlorophyll index.

verdes en las ciudades, son importantes para la calidad del ambiente (Mamani, 2020), donde a mayor porcentaje de cobertura vegetal son mayores los beneficios ecológicos, de esta manera se reducen las islas de calor (Akbari & Konopacki, 2005), el secuestro de CO₂ (Iizuka & Tateishi, 2015) y, en consecuencia la reducción de la polución del aire. Estos aspectos se relacionan con la salud y bienestar de la población, generando un ambiente favorable para el desarrollo saludable de la misma.

El análisis espectral de las cubiertas vegetales ha sido la base para obtener una serie de índices que se basan en el contraste entre las bandas del espectro (Richards & Jia, 2006), y que se denominan índices espectrales de vegetación. Estos se calculan a partir de la combinación matemática de dos o más bandas de una imagen satelital multiespectral y tienden a presentar, de forma más nítida las características de la vegetación. De igual forma, facilitan su aislamiento de otras cubiertas y la evaluación de su estado.

Según Rouse et al. (1974), los índices espectrales más comúnmente utilizados para la descripción de la salud y otros parámetros de la vegetación (Pettoirelli, 2013) son: el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) que se utiliza para determinar el estado de degradación de la vegetación; el Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI), que permite minimizar el efecto del suelo en la caracterización de la vegetación, especialmente en superficies

parcialmente recubiertas. Tiene en cuenta la cantidad de vegetación que se observa en la imagen (Gonzaga, 2014); Índice de Diferencia Normalizada de Humedad (NDMI), se utiliza en combinación con otros índices (NDVI y/o AVI), que se asocia con la humedad de la vegetación. El NDMI captura las variaciones de la humedad en las zonas con vegetación (Bravo, 2017) y el Índice de Clorofila (IC) que se utiliza para estimar el contenido de clorofila en las hojas de diversas especies de plantas. El contenido de clorofila refleja el estado fisiológico de la vegetación; el cual disminuye en las plantas estresadas y, por lo tanto, puede utilizarse como medida de la salud de las plantas.

El objetivo del presente trabajo es evaluar el estado medioambiental actual del municipio de Pinar del Río en cuanto a la vegetación se refiere, a través de las técnicas del geoprocésamiento integrado y el cálculo de algunos índices de vegetación, usados como indicadores cuantitativos de ecosistemas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del área de estudio

El área de estudio abarca todo el territorio del municipio de Pinar del Río, el cual se ubica aproximadamente en la porción centro-sur de la provincia, ocupando una superficie de 70 780 ha, es decir, el noveno lugar en extensión territorial con respecto a los restantes municipios de la provincia. Limita al norte con los municipios de Viñales y Minas de Matahambre, al sur con el golfo de Batabanó, al este con el municipio de

Consolación del Sur y al oeste con los de San Luis y San Juan y Martínez. Se estima una población de 193 417 habitantes en 81 asentamientos, concentrados (4 urbanos y 77 rurales), distribuidos en 18 consejos populares. Es la capital de la provincia del mismo nombre.

En el presente estudio se utilizaron los materiales siguientes:

- Software "Sistema de Información Geográfica": QGIS V- 3.23.
- Se empleó una imagen del satélite óptico Sentinel 2A (Nivel 1C) con fecha del 29 de enero de 2019 (temporada de sequía), la misma presentó muy bajo porcentaje de nubosidad sobre el área de interés.
- Imagen satelital de Google earth de 2019: *ecw.aux.xml* (KML).
- Software Ruso: SAS.Planet.Release.160707 para realizar la descarga de la imagen satelital de la plataforma Google Earth.
- Fotografías aéreas de vuelos de drones sobre la ciudad de Pinar del Río: Para realizar el estudio detallado del arbolado del área de estudio.

Obtención de las imágenes satelitales

Las imágenes satelitales fueron obtenidas de la Plataforma "eos.com" Earth Observing Systems Data Analytics. Se tuvo en cuenta que las imágenes que se utilizaron del área de estudio tuvieran bajo porcentaje de nubosidad y sombras, y que en caso de que existieran fuese mínimo, aspectos tenidos en cuenta por Rendón & Macas (2020).

Corrección atmosférica de las imágenes

La corrección atmosférica se realizó en el software QGIS V. 3.24, a través del plugin "Semi-Automatic Classification". Se aplicó la corrección para eliminar el efecto de la atmósfera (el que hace que las imágenes se vean borrosas) por el método DOS1.

Combinación de bandas

En apoyo a la fotointerpretación sobre la imagen de Google Earth de 2019, se realizó la combinación de bandas Sentinel 2 A (BO3-BO4-BO2), donde se obtuvo un compuesto de color natural en la imagen a través del plugin "Semi-Automatic Classification", comando "Procesamiento de bandas" y la opción "Combinación de bandas".

Cálculos de índices espectrales de la vegetación

1. Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

Para realizar el cálculo del Índice de Diferencia Normalizada (NDVI) se utilizó la fórmula:

$$NDVI = (NIR-RED) / (NIR+RED),$$

Donde:

NIR= reflectividad del píxel de la banda del infrarrojo cercano.

RED= reflectividad del píxel de la banda del rojo.

Para realizarlo se utilizó la herramienta Calculadora Raster del programa QGIS 3.23, los datos de ambas bandas fueron ingresados según la fórmula 1.

$$NDVI = (BO8 - BO4) / (BO8 + BO4) [1]$$

Entre las características principales del NDVI se encuentra: minimiza los efectos topográficos y produce escala lineal de medición, la escala se establece de -1 a 1 con el valor cero representando el valor

aproximado donde empieza la ausencia de vegetación, los valores negativos representan superficies sin vegetación, la normalización que realiza reduce el efecto de la degradación de calibración del sensor y la influencia de los efectos atmosféricos y gran sencillez matemática, establecido por Rouse et al. (1979)

2. Índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI)

El SAVI (por sus siglas en inglés) según Huete (1988), trata de corregir el efecto del suelo en el valor del índice. El SAVI surgió como una necesidad de disminuir las alteraciones del valor del NDVI en aplicaciones en zonas áridas, ya que el mismo valor de NDVI puede corresponder a cubiertas vigorosas pero poco densas, o a cubiertas densas pero con poca vitalidad (INIA, 2010).

Para realizar el cálculo del Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI) se utilizó la fórmula: $SAVI = [(IRC-R) / (IRC+R+L)] (1+L)$

Donde:

IRC= reflectividad del píxel de la banda del infrarrojo cercano.

R= reflectividad del píxel de la banda del rojo.

L= constante de compensación promedio, 0.5.

Dentro de las características se encuentra que, incorpora una constante de suelo, la cual se usa de acuerdo con vegetación de baja, intermedia o alta densidad, considera la influencia de la luz y

del suelo oscuro en el índice establecido por Huete (1988).

Para realizarlo se utilizó la herramienta Calculadora Raster del programa QGIS 3.23, los datos de ambas bandas fueron ingresados utilizando la fórmula 2.

$$SAVI = [(BO8 - BO4) / (BO8 + BO4 + 0.5)] (1+0.5) \quad [2]$$

3. Índice normalizado de la diferencia de humedad o simplemente índice de humedad

Para medir la cantidad de agua que posee la vegetación o el nivel de saturación de humedad del suelo, los valores que se obtienen oscilan entre -1 y 1, para las zonas con menos humedad propuesto por Clevers, (1988), citado por Fauzi *et al.*, (2019) y Lastovicka et al. (2020).

Para la realización del cálculo se utilizó la herramienta Calculadora Raster del programa QGIS 3.23, los datos de ambas bandas fueron ingresados a través de la fórmula 3.

$$NDMI = (BO8 - B11) / (BO8 + B11) \quad [3]$$

Donde:

B= Banda

4. Índice de Clorofila Verde (GCI)

El índice de clorofila verde se usa para estimar el contenido de clorofila de las hojas, el cual refleja el estado fisiológico de la vegetación; disminuye en plantas estresadas y, por lo tanto, puede usarse como una medida de la salud de las plantas

Para calcularlo se utilizó la herramienta Calculadora Raster del programa QGIS 3.23,

los datos de ambas bandas fueron ingresados por la fórmula 4.

$$GCI = (BO8 / BO3) - 1 \quad [4]$$

Donde:

B= Banda

Interpretación visual

Para el desarrollo de la interpretación visual se le asignó a cada índice una paleta

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

El NDVI posee un gran valor en términos ecológicos, ya que es un buen estimador de la fracción de la radiación fotosintéticamente activa interceptada por la

de colores que estuviera en correspondencia con el objetivo a analizar, es decir, si se analiza el índice de humedad se le asigna una paleta de colores en azul. Este procedimiento se realiza en el software QGIS una vez que es calculado el índice, donde se procede posteriormente a la fointerpretación del resultado.

vegetación (Monteith, 1981), la productividad primaria (Paruelo et al., 1997) y una variable integradora del funcionamiento del ecosistema (Wall & Virginia, 2000). La Figura 1 muestra el resultado del cálculo del NDVI.

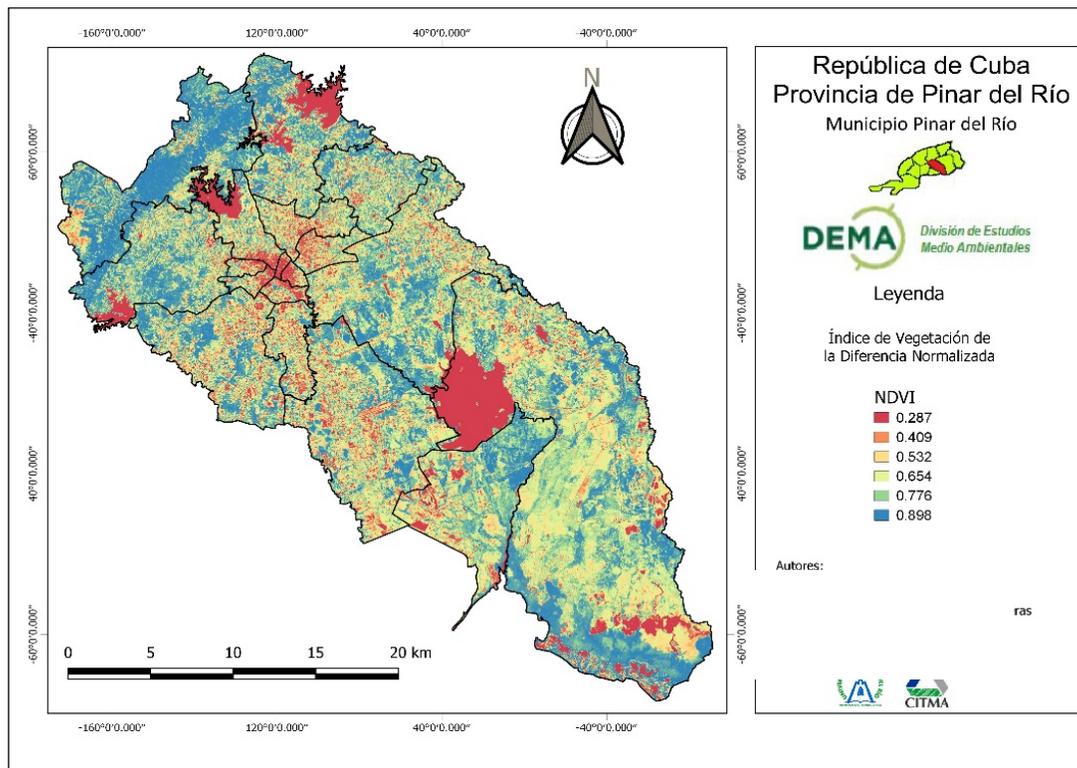


Figura 1. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada calculado en el área de estudio.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

En la Figura 1 los valores menores a 0.409 corresponden a áreas sin vegetación, las cuales pueden ser representadas por presas, lagunas, tierras aradas, ciudades (techos de viviendas, carreteras, pedraplenes entre otros). Los valores correspondientes entre 0.409-0.654 corresponde a pastizales, matorrales, herbazales, es decir vegetación arbustiva; los valores correspondientes a 0.776 corresponde a vegetación arbórea de porte mediano como marabusales, plantaciones en estado de brinzal y los valores correspondientes a 0.896

corresponde a vegetación arbórea, plantaciones establecidas, bosques naturales.

2. Índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI)

El SAVI calculado según (Figura 2) mediante paleta de colores, expresa que los valores por debajo de 0.431 corresponde a áreas sin vegetación (ciudades, lagunas, presas...), los valores entre 0.431 y 0.862 corresponde a áreas cultivables, herbazales, y matorrales de bajo porte y el valor 1.29 correspondiente al color azul se relaciona a vegetación arbórea, bosques, plantaciones.

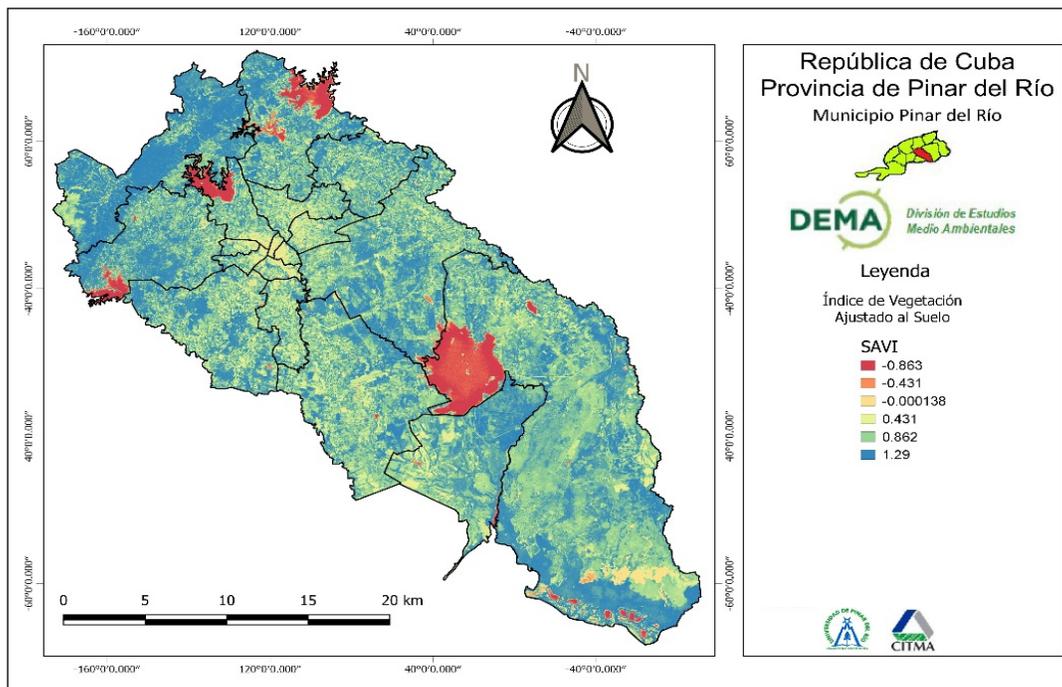


Figura 2. Índice de Vegetación Ajustado al Suelo, calculado para el área de estudio.

Fuente: Elaboración Propia, 2021.

3. Índice normalizado de la diferencia de humedad (NDMI)

La interpretación del NDMI hace posible diferenciar zonas con problemas de estrés

hídrico en la vegetación.

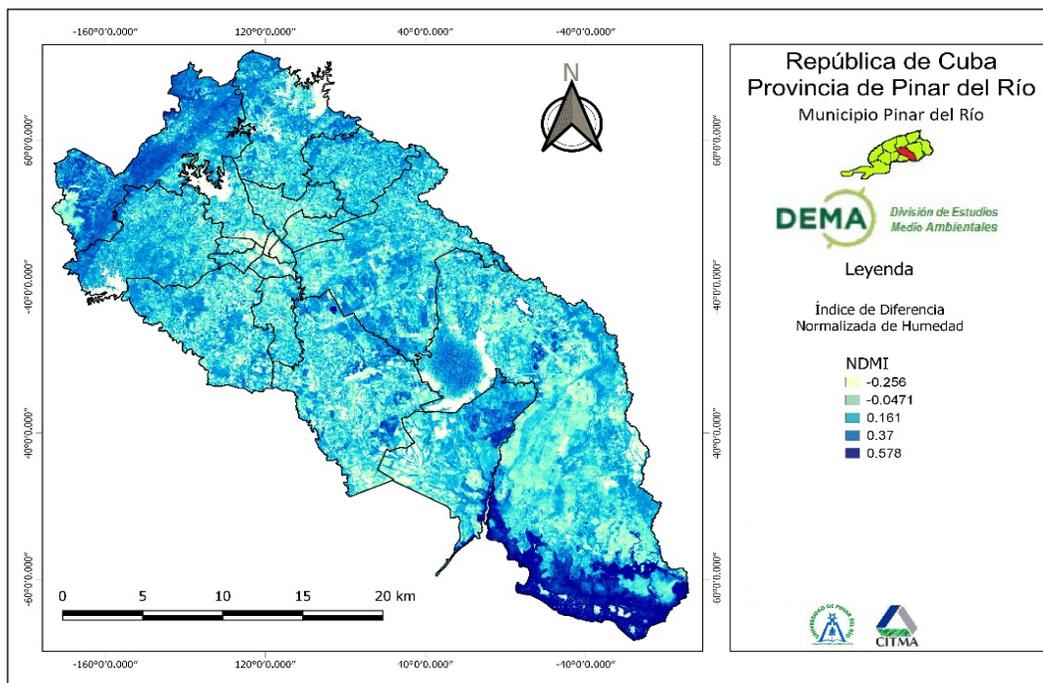


Figura 3. Índice Normalizado de la Diferencia de Humedad calculado para el área de estudio. **Fuente:** Elaboración propia, 2021.

Leyenda: Los valores cercanos al límite inferior (-1) representan el suelo desnudo; los valores medios (0) representan una cubierta de dosel medio con un alto estrés hídrico; los valores cercanos al límite superior (1) representan cubiertas altas de dosel sin estrés hídrico (con gran cantidad de humedad).

En la Figura 3 los valores negativos corresponden a zonas donde la humedad es ínfima (no hay vegetación), los valores a partir de 0.37 corresponden a la vegetación más húmeda, con mayor contenido de agua.

4. Índice de Clorofila Verde (GCI)

En la Figura 4 se aprecia que la vegetación en color rojo significa que se encuentra en un estado de estrés, el

contenido de clorofila es bajo, por tanto la vegetación representada es la menos saludable. La vegetación correspondiente al color azul es la más saludable atendiendo a los valores del índice obtenido, esta debe poseer un porte más alto, debe tener un mejor estado fisiológico de las plantas, por lo que se considera que la misma tiene un mejor estado de salud.

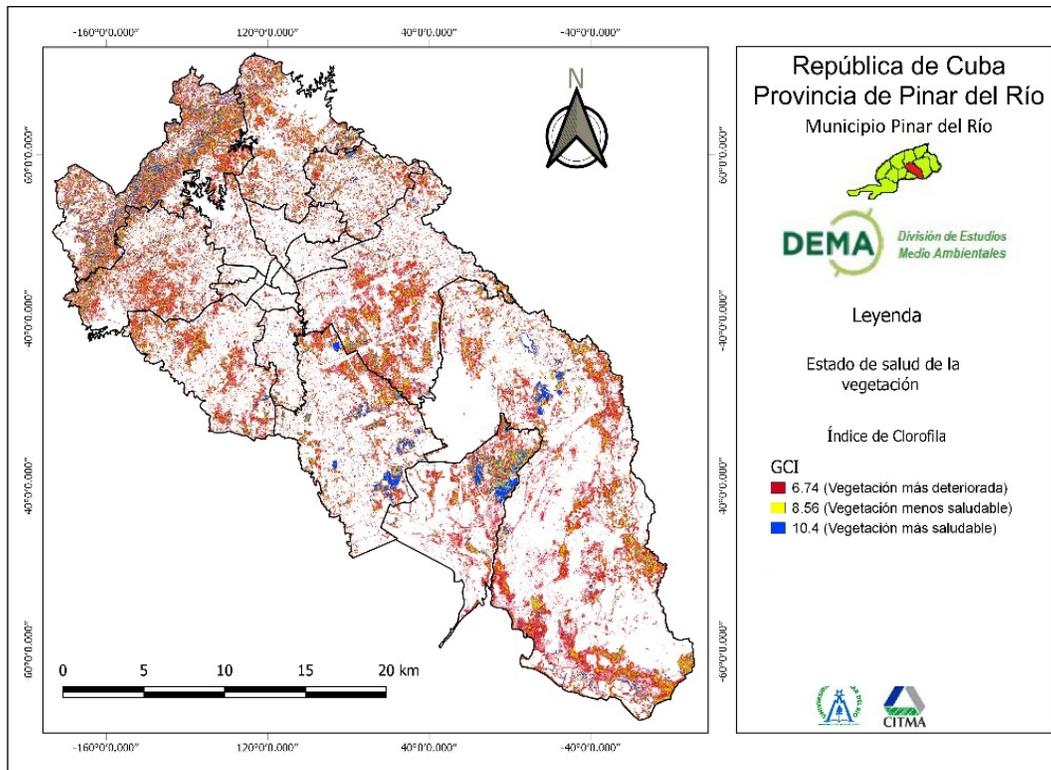


Figura 4. Índice de Clorofila Verde calculado para el área de estudio. **Fuente:** Elaboración propia, 2021.

Estado de la vegetación por consejos populares

La ciudad de Pinar del Río no se caracteriza por poseer una abundante vegetación urbana, abundan las calles desarboladas, muchas avenidas y espacios públicos fueron deforestados en los primeros años de la revolución, la población no tiene cultura de jardines, así como tampoco son diseñados espacios para el verde al construir las nuevas viviendas. En el casco histórico de la ciudad la vegetación que puede encontrarse básicamente son frutales en patios interiores, lo cual hace que la preservación de la poca vegetación de que se dispone sea de vital importancia para la ciudad.

La ciudad ha crecido, fundamentalmente hacia zonas periurbanas,

pero no se ha mantenido una proporción equilibrada entre áreas libres y áreas edificadas por lo que se ha llegado a una gran contradicción: la carencia de áreas y zonas verdes en la ciudad es extraordinaria; cuando estas también constituyen necesidades de los habitantes.

En la Figura 5 se relaciona la superficie de cada consejo popular, así como la superficie cubierta por vegetación arbórea; se aprecia además, los consejos populares en orden descendente, atendiendo a la cantidad de vegetación en los mismos, siendo el consejo popular Capitán San Luis el de menor superficie total (83 ha) y el de menor superficie cubierta por vegetación arbórea (2,5 ha). Debe señalarse que este consejo

popular a su vez es uno de los que mayor ambiental.
población posee en detrimento de su calidad

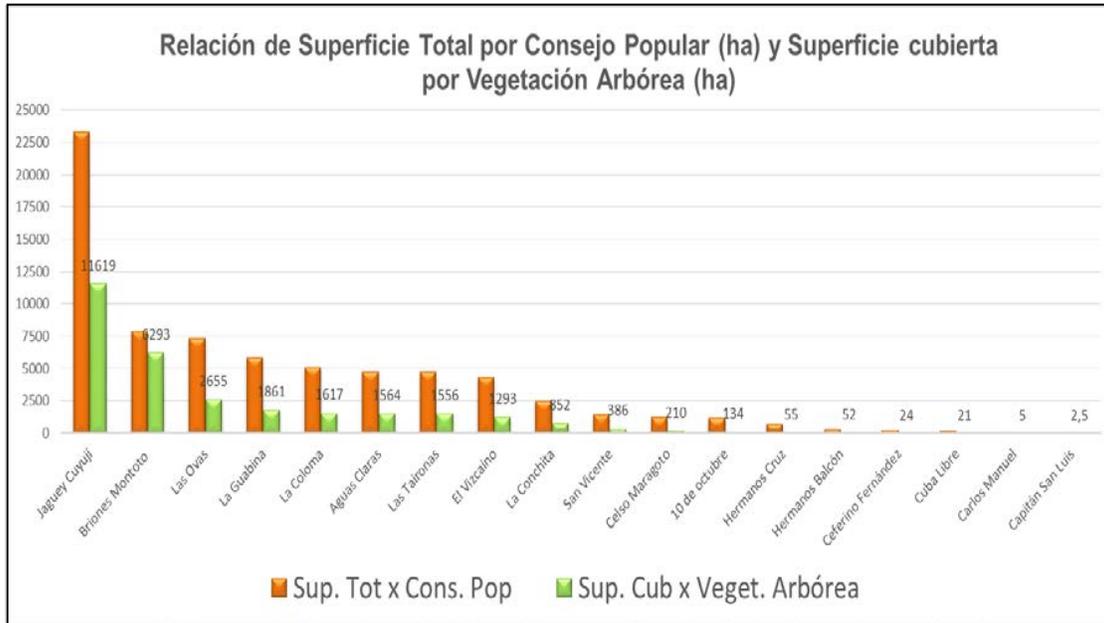


Figura 5. Relación de superficie total por Consejo Popular y superficie cubierta por vegetación arbórea. **Fuente:** Elaboración propia, 2021.

Leyenda: Sup. Tot x Cons. Pop. = Superficie total arbórea por Consejos Populares; Sup. Cub x Veget. = Superficie cubierta por vegetación arbórea.

El cálculo de los índices han sido determinados por muchos autores, entre ellos Sánchez et al. (2016); Rendón y Macas (2020); Lastovicka et al. (2020); Muñoz et al. (2021) entre otros, para determinar análisis de cobertura vegetales, estudio de biomasa forestal, dinámica de vegetación después de los disturbios provocados por huracanes, en estudios de manglares, en la evaluación de impactos y disturbios en la vegetación forestal. La tendencia del cálculo de los índices es determinar el estado de conservación de la vegetación.

Estudios similares fueron realizados por Arboit (2017), en zonas urbanas donde se demuestra la efectividad de los índices para

demostrar la falta de arbolado en determinadas zonas y la necesidad de realizar reforestación y manejo de las mismas. La falta de arbolado de algunos Consejo Populares, incide negativamente en la calidad de vida de sus habitantes, por lo que se recomienda tomar acciones al respecto por las entidades competentes.

Estudios semejantes han sido realizados por Sánchez et al. (2016) y Manríquez et al. (2018), en cuanto al análisis multiespectral y multiespacial en centros urbanos y oasis irrigados con clima secos, en la identificación de zonas de manglares, en la protección del medio marino y zonas costeras

y como el NDVI, en estudios de coberturas forestales, a partir de las experiencias en la

combinación NDVI – SAVI para la obtención de información de las imágenes satelitales.

CONCLUSIONES

Los índices de vegetación (NDVI, SAVI, NDMI y GCI) calculados y representados, permitieron discriminar las superficies cubiertas por vegetación de las superficies ocupadas por construcciones, suelos áridos, embalses u otros, logrando apreciar un estado ambiental del área de estudio.

El indicador vegetación en el municipio de Pinar del Río ha permitido, después de los cálculos realizados, llegar a la conclusión de que el estado ambiental es relativamente bueno, estando en más malas condiciones en el Consejo Popular Capitán San Luis.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akbari, H., & Konopacki, S. (2005). Calculating energy-saving potentials of heat-island reduction strategies. *Energy Policy*, 33(6), 721–756. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2003.10.001>
- Arboit, M. E. (2017). Estimación del índice de vegetación en entornos urbanos forestados consolidados de baja densidad del área metropolitana de Mendoza, Argentina. *Cuaderno urbano. Espacio, Cultura, Sociedad*, 23(23), 33-60. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=369253655002>
- Bravo Morales, N. F. (2017). *Teledetección Espacial. LANDSAT, SENTINEL2, ASTER L1T y MODIS*. Universidad Nacional Agraria de la Selva. p. 82.
- Fauzi, A., Akhmad, N. & Ardiyanto, I. (2019). Remote Sensing Technology for Land Farm Mapping Based on NDMI, NDVI, and LST Feature. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 3(3), 75-79. ISSN 2550–0554.
- Gonzaga, G. (2014). *Aplicación de índices de vegetación derivados de imágenes satelitales Landsat 7 ETM+ y ASTER para la caracterización de la cobertura vegetal en la zona centro de la Provincia de Loja, Ecuador* [Tesis Maestría]. Universidad Nacional de La Plata.
- Huete, A. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment* 25, 295-309.
- Iizuka, K., & Tateishi, R. (2015). Estimation of CO₂ sequestration by the forests in Japan by discriminating precise tree age category using remote sensing techniques. *Remote Sensing*, 7 (11), 15082–15113. <https://doi.org/10.3390/rs71115082>
- Instituto de investigaciones Agropecuarias INIA. (2010). *Índice de Vegetación Ajustado Al Suelo, SAVI, Región de*

- Magallanes y la Antártica Chilena. Riesgo Climático. Ministerio de Agricultura Gobierno de Chile. Recuperado de: http://www.aclimat.cl/main/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=148
- Lastovicka, J., Svec, P., Paluba, D., Kobliuk, N., Svoboda, J., Hladky, R., & Stych, P. (2020). Sentinel-2 Data in an Evaluation of the Impact of the Disturbances on Forest Vegetation. *Remote Sensing*, 12(12), 1-26. <https://doi.org/10.3390/rs12121914>
- Mamani, R. M. (2020). Índices de área verde y cobertura vegetal de la ciudad de La Paz. *Revista IIGEO*, 1(11), 60–75. <https://revistaiigeo.umsa.bo/index.php/revista/article/view/23/9>
- Manríquez, E., Martínez, G., & Castro, J. (2018). *Identificación de zonas de manglar a través del procesamiento de imágenes de satélite*. Instituto Tecnológico de la Paz, División de estudios de posgrado e investigación. La Paz. Baja California Sur. México.
- Monteith, J. (1981). Evaporation and surface temperature. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 107, 1-27.
- Muñoz Labrador, Y. J., Milián Cabrera, I. de la C., & Díaz Díaz, S. P. (2021). Dinámica de la vegetación después del disturbio provocado por cuatro huracanes. *Avances*, 23(1), 23-39, <http://avances.pinar.cu/ojs/index.php/publicaciones/article/view/585/1641>
- Paruelo, J.M., Epstein, H. E., Lauenroth, W.K. & Burke, I.C. (1997). ANPP estimates from NDVI for the Central Grassland Region of the US. *Ecology*, 78(3), 953-958.
- Pettorelli, N. (2013). *The normalized differential vegetation index*. Oxford University Press. Oxford, Reino Unido. <https://doi.org/10.1093/acprof:osobl/9780199693160.001.0001>
- Rendón, M., & Macas, V. (2020). *Detección de cambios en la cobertura vegetal, mediante teledetección en el sitio Ramsar manglares del estuario interior del golfo de Guayaquil "Don Goyo"*. Universidad de Guayaquil. Ecuador.
- Richards, J. A., & Jia, X. (2006). *Remote sensing digital image analysis: an introduction*. 4a Ed. Springer Nature Switzerland AG, Basilea, Suiza.
- Robinson, N. P., Allred, B. W., Jones, M. O., Moreno, A., Kimball, J. S., Naugle, D. E., Erickson, T. A., & Richardson, A. D. (2017). A dynamic Landsat derived normalized difference vegetation index (NDVI) product for the conterminous United States. *Remote Sensing*, 9(8), 863. <https://doi.org/10.3390/rs9080863>
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1979). *Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS*. Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I, 309–317.
- Rouse, J.W., Haas, R.W., Schell, J.A., Deering, D.H. & Harían, J.C. (1974). *Monitoring the vernal advancement and retrogradation (Greenwave effect) of natural vegetation*. NASA/GSFCT. Greenbelt, MD, Estados Unidos.

Sánchez, L., Marcos, J., Herrero, E., Hernández, S., & Carrión, P. (2016). Aplicación de tecnologías de teledetección al estudio de biomasa forestal. *Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información* (19), 61-76. <https://doi.org/10.17013/risti.19.61-76>

Wall, D. & Virginia, A. (2000). The world beneath our feet: Soil biodiversity and

ecosystem functioning. Pp. 225-241, In: P. Raven and T. A. Williams (eds). *Nature and Human Society: The Quest for a Sustainable World*. National Academy of Sciences Press, Washington D.C. 644pp.

Avances journal assumes the Creative Commons 4.0 international license