

Sistema para el seguimiento de ecosistemas venezolanos

Sistema de monitoramento dos ecossistemas venezolanos

Venezuelan ecosystem monitoring system

Javier Martínez¹ e Isabel Llatas Salvador²

¹ Universidad Simón Bolívar (USB), Coordinación Estadística

² Universidad Simón Bolívar (USB), Departamento de Procesos y Sistemas

Caracas, Venezuela

javiermartinez@usb.ve; llatas@usb.ve

Martínez: <https://orcid.org/0000-0002-6245-6359>

Llatas: <https://orcid.org/0000-0001-7769-9532>

Resumen

Se presenta el desarrollo de una aplicación *Web* de código abierto como sistema para el monitoreo de ecosistemas venezolanos (SSEV), utilizando información recopilada por sensores remotos. Las regiones de estudio fueron los parques nacionales Cerro Saroche y Terepaima, ubicados en el estado Lara, República Bolivariana de Venezuela. La aplicación utiliza una base de datos *MongoDB* que se elaboró a partir de información obtenida a través de dispositivos de teledetección. Los productos utilizados fueron el *MOD13Q1-v006* (NDVI) de la NASA, *ERA5-Land* (precipitación total) de *Copernicus* y *SRTMGL3-v003* (elevación) de USGS *Earth Explorer*. Se creó un proceso para la reproyección y regrillado de los datos a fin de generar una cuadrícula regular para cada parque. Los desarrollos permitieron publicar una aplicación *web* (<https://ms-ds-ssev.herokuapp.com/>) con códigos alojados en repositorios públicos *GitHub* (*geet-metview*, *seev-analytics* y *seev-dash*). Para la implementación, se utilizó la plataforma *Heroku* junto con imágenes *Docker*.

PALABRAS CLAVE: aplicación web; dispositivos de teledetección; procesamiento de datos satelitales.

Resumo

O desenvolvimento de um aplicativo da Web de código aberto é apresentado como um sistema para monitorar os ecossistemas venezuelanos (SSEV), utilizando informações coletadas por sensores remotos. As regiões de estudo foram os parques nacionais Cerro Saroche e Terepaima, localizados no estado de Lara, República Bolivariana da Venezuela. O aplicativo emprega um banco de dados MongoDB que foi desenvolvido a partir de informações obtidas de dispositivos de sensoriamento remoto. Os produtos usados foram MOD13Q1-v006 (NDVI) da NASA, ERA5-Land (precipitação total) do Copernicus e SRTMGL3-v003 (elevação) do USGS Earth Explorer. Foi criado um processo para reprojeter e regridificar os dados para gerar uma grade regular para cada parque. Os desenvolvimentos permitiram a publicação de um aplicativo da Web (<https://ms-ds-ssev.herokuapp.com/>) com códigos hospedados em repositórios públicos do GitHub (*geet-metview*, *seev-analytics* e *seev-dash*). Para a implementação, a plataforma Heroku foi usada junto com imagens do Docker.

PALAVRAS-CHAVE: aplicativo da Web; dispositivos de sensoriamento remoto; processamento de dados de satélite.

Abstract

This research presents the development of an open-source *web* application as a system for monitoring Venezuelan ecosystems (SSEV), using information collected by remote sensing devices. The study regions were the national parks Cerro Saroche and Terepaima, localized in Lara State, Bolivarian Republic of Venezuela. The application uses a *MongoDB* database, with information gotten through remote sensing devices. The products used here were the *MOD13Q1-v006* (NDVI) by NASA, *ERA5-Land* (total precipitation) by *Copernicus* and *SRTMGL3-v003* (elevation) by USGS *Earth Explorer*. A process was created to reproject and re-grid the data, in order to create a regular grid for each park. The developments made possible to publish a web application (<https://ms-ds-ssev.herokuapp.com/>) with codes hosted in public *GitHub* repositories (*geet-metview*, *seev-analytics* and *seev-dash*). For the deploy, the *Heroku* platform was used in conjunction with *Docker* images.

KEYWORDS: web application; remote sensing devices; satellite data processing.

1. Introducción

El progreso en las áreas tecnológicas ha sido el detonante de una revolución en los modos de abordar los estudios afines con el territorio (Nieto y Cárdenas, 2018). Si bien la incorporación de sensores remotos en el espacio para la realización de observaciones terrestres, fue fundamentada en la idea de situar al hombre en la Luna, el concurrente avance en el diseño y desarrollo de ordenadores, producto inicial de los programas espaciales, es lo que realmente ha marcado la diferencia en el tratamiento digital de imágenes y en la concepción del término *remote sensing* (teledetección), utilizado por primera vez en 1960 para hacer referencia a la observación y medida de un objeto sin estar en contacto con él (Ormeño, 2006).

En la actualidad, organismos como la NASA (*National Aeronautics and Space Administration of the United States of America*), USGS (*United States Geological Survey*), NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration of the United States of America*), la Unión Europea por medio del programa *Copernicus* y *Google*, brindan de forma gratuita información captada por sensores remotos y dispositivos de teledetección (datos abiertos) mediante plataformas dinámicas que permiten a científicos, investigadores y desarrolladores detectar cambios, mapear tendencias y cuantificar diferencias en la superficie de la Tierra.

En consecuencia, se ha generado un especial interés por el uso de los datos abiertos para el seguimiento de la dinámica territorial de variables climáticas como la temperatura, precipitación o de uso de la tierra, tal como los índices de vegetación que se construyen a partir de la longitud de onda azul (*Blue*), roja (*Red*) y la radiación infrarroja cercana (NIR), para así anular elementos como el suelo, la nieve, el agua, etc. Con esta información es posible generar una nueva imagen, donde se resaltan los píxeles relacionados con la cobertura vegetal de la Tierra. Estos índices pueden servir para determinar la evolución en el tiempo de la

cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación en las áreas protegidas (Garrouette *et al.*, 2016). Entre los índices de vegetación más implementados se puede señalar al índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) definido como (Didan *et al.*, 2015):

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

Ecuación 1. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada. Fuente: elaboración propia, 2023

Las investigaciones indican que el NDVI están fuertemente correlacionado con la precipitación acumulada (Nepita *et al.*, 2019) y es de utilidad en la detección de cambios en la vegetación. En la práctica, las series temporales del NDVI han sido usadas en estudios de tendencia y cambio estacional en el dosel de los manglares del sistema lagunar Teacapan-Agua Brava, México (Nepita *et al.*, 2019), en el monitoreo de la cubierta vegetal en la región Jbeniana de Túnez (Hachicha *et al.*, 2018), en la medición de las áreas agrícolas quemadas del distrito de Purba Bardhaman de la India (Mohammad *et al.*, 2023) y en el seguimiento del tifus de matorral en la propuesta de monitoreo biológico, para la formulación de estrategias dirigidas al control de enfermedades, de la ciudad de Guangzhou en China (Huang *et al.*, 2023).

El Sistema para el Seguimiento de Ecosistemas Venezolanos (SSEV) es un proyecto que enlaza datos satelitales con los últimos avances tecnológicos en la construcción de aplicaciones *Web* y bases de datos *NoSQL*. Surge como alternativa ante el déficit de información de fenómenos meteorológicos y variables climatológicas en los principales ecosistemas venezolanos.

En este trabajo se presentan los avances alcanzados en el desarrollo de una aplicación *Web* de código abierto para el monitoreo predictivo de los principales índices de vegetación, variables climáticas e índices

macroclimáticos que afectan los ecosistemas venezolanos, en áreas protegidas.

Se espera que el SSEV se convierta en una herramienta que pueda ser usada para la previsión de cambios espacio-temporales de la cobertura vegetal que ayuden en la toma de decisiones de quienes deben velar por la salud de estos ecosistemas. Actualmente, la herramienta cuenta con un módulo de predicción del NDVI basado en un modelo de redes neuronales que tiene como entradas: (i) una variable macroclimática (Índice Niño Oceánico), que hace seguimiento a la evolución de los eventos El Niño y La Niña; (ii) la precipitación espacio-temporal total; (iii) la elevación del terreno, y (iv) las series históricas del NDVI para los parques Cerro Saroche y Terepaima.

El punto de partida para los pronósticos temporales y predicciones espacio-temporales fue la obtención y procesamiento de los datos. Por lo general, para la conexión, descarga y procesamiento de datos abiertos son necesarias habilidades de programación y conceptos geoespaciales que frecuentemente no están disponibles o accesibles en la documentación científica. En este trabajo se presenta la propuesta de una plataforma *Web* de código abierto, cuyos desarrollos teórico-prácticos están alojados en repositorios públicos *GitHub*, lo que permite a la comunidad científica replicar los mecanismos generados en la descarga y manipulación de datos, para la identificación de eventos El Niño y La Niña, así como en la obtención de los registros históricos de temperatura, la precipitación total e índices de vegetación de los principales parques nacionales venezolanos.

2. Materiales y métodos

La información contenida en el SSEV constituye un conjunto de datos abiertos descargados directamente de los repositorios de la NASA, USGS, *Copernicus*, NOAA y *Google Earth Engine*. Para garantizar la eficiencia, confiabilidad y compatibilidad de los desarrollos, se utilizó *Git*

como *software* de control de versiones, *GitHub* para el alojamiento en la nube de los repositorios y *Conda* como sistema de administración de librerías *Python*. El SSEV está constituido por tres repositorios públicos que abordan los elementos de: (i) recopilación y tratamiento de la información (repositorio *geet-metview* disponible en: <https://github.com/esglobe/geet-metview>), (ii) análisis de datos (repositorio *seev-analytics* disponible en: <https://github.com/esglobe/seev-analytics>), y (iii) paneles de visualización (repositorio *seev-dash* disponible en: <https://github.com/esglobe/seev-dash>). Cada uno de ellos cuenta con el archivo *environment.yml* que define las versiones de las librerías, requerimientos y complementos precisos para crear el entorno (*Conda environment*) que avala la correcta ejecución de los desarrollos tecnológicos y su implementación en servidores locales o servicios en la nube.

2.1. Los datos

La Unión Europea ha perfeccionado un programa para la observación de la Tierra denominado *Copernicus*, en honor a Nicolaus Copernicus, que dispone de un conjunto de datos (*datasets*) públicos donde destaca el producto *ERA5-Land* por contener información de variables climáticas desde el año de 1950 a la fecha. Este programa cuenta con mecanismos que facilitan descargar data, como la librería *cdsapi* de *Python*, que admiten recopilar información de una región delimitada. En la investigación se descargaron los datos correspondientes a la variable precipitación total, definida como el agua líquida y congelada acumulada, incluyendo lluvia y nieve, que cae a la superficie de la Tierra, siendo su unidad metros, haciendo referencia a la profundidad que tendría el agua si se distribuyera uniformemente sobre la cuadrícula, pero por comodidad, en la investigación se ha realizado la conversión a milímetros. Las características del *dataset* son presentadas en la TABLA 1.

TABLA 1. Descripción del *dataset ERA5-Land*. Fuente: elaboración propia, 2023

Característica	Descripción
Tipo de datos	Cuadrículados
Proyección	Cuadrícula regular de latitud y longitud (grados)
Tamaño del pixel	9 kilómetros
Temporalidad	Desde 01-01-1970 con actualización mensual
Formato del archivo	GRIB

Por su parte, *Google Earth Engine* es una plataforma de *Google* que ofrece un catálogo de imágenes satelitales, geospaciales, datos climatológicos, entre otros. El producto *WCMC/WDPA/current/polygons* de este catálogo es consecuencia del *World Database on Protected Areas (WDPA)*, creado por el Centro de Monitoreo de la Conservación Mundial del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA-WCMC) y es considerada como la fuente de información más actualizada y completa de áreas protegidas.

Por otro lado, el conjunto de datos SRTM es el resultado de un esfuerzo colaborativo entre la NASA y la Agencia de Inteligencia Geoespacial de los Estados Unidos (NGA) para generar un modelo de elevación digital de la Tierra, utilizando un sistema de radar a bordo del

transbordador espacial *Endeavour* lanzado el 11 de febrero de 2000. En su tercera versión, es un producto para la investigación científica y está disponible en el portal de datos USGS *Earth Explorer*.

En la **FIGURA 1** se exponen los datos de elevación, en su proyección original, descargados del portal USGS *Earth Explorer* con el código *2_descarga_srtmgl3.sh* del repositorio *geet-metview*. La imagen corresponde a una región que envuelve a ocho estados de Venezuela (Falcón, Zulia, Trujillo, Carabobo, Yaracuy, Lara, Portuguesa y Cojedes). Como es de apreciar, los máximos valores de elevación son alcanzados en la cordillera de los Andes. La descripción del *dataset* es abordada en la **TABLA 2**.

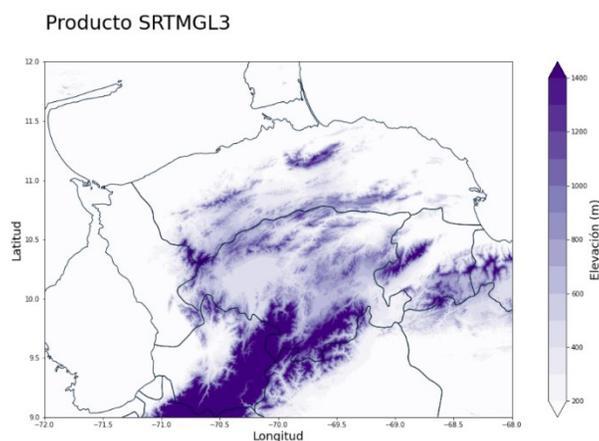


FIGURA 1. Producto *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)* en su tercera versión. Fuente: elaboración propia, 2023

TABLA 2. Descripción del *dataset SRTMGL3-v003*. Fuente: elaboración propia, 2023

Característica	Descripción
Tipo de datos	Cuadrículados
Proyección	Cuadrícula regular de latitud y longitud geográfica (Datum WGS84)
Dimensión geográfica	1 grado por 1 grado
Tamaño del pixel	90 metros
Temporalidad	2000-02-11 al 2000-02-21
Formato del archivo	HGT o NetCDF4

El *MOD13Q1-v006* es un producto desarrollado por la NASA que dispone de dos capas de índices de vegetación primaria, entre ellas el NDVI, y una con la referencia de calidad, que califica si la estimación es de alta o baja calidad, según las

condiciones climáticas al momento de la observación. En la TABLA 3 se muestra la descripción del producto.

TABLA 3. Descripción del *dataset MOD13Q1-v006*. Fuente: elaboración propia, 2023

Característica	Descripción
Tipo de datos	Cuadrículados
Proyección	Sinusoidal
Dimensión geográfica	1200 kilómetros por 1200 kilómetros
Tamaño del pixel	250 metros
Temporalidad	Desde 2000-02-18 con actualización mensual
Formato del archivo	HDF-EOS

Para el mecanismo de recolección de la información, se creó un proceso en *Python* disponible en el archivo *1_descargar_mod13q1.py* del repositorio *geetmetview*, que admite descargar archivos del producto *MOD13Q1-v006* desde el 2012-01-01 al 2022-04-23. En la FIGURA 2 se revela el NDVI de

la región seleccionada (norte de América del Sur) para el 18 de febrero del 2022. En el área se pueden identificar países como Venezuela, Colombia, Guyana y un conjunto de Islas del Caribe como Aruba, Curaçao, Trinidad y Tobago, República Dominicana, Haití, entre otras.

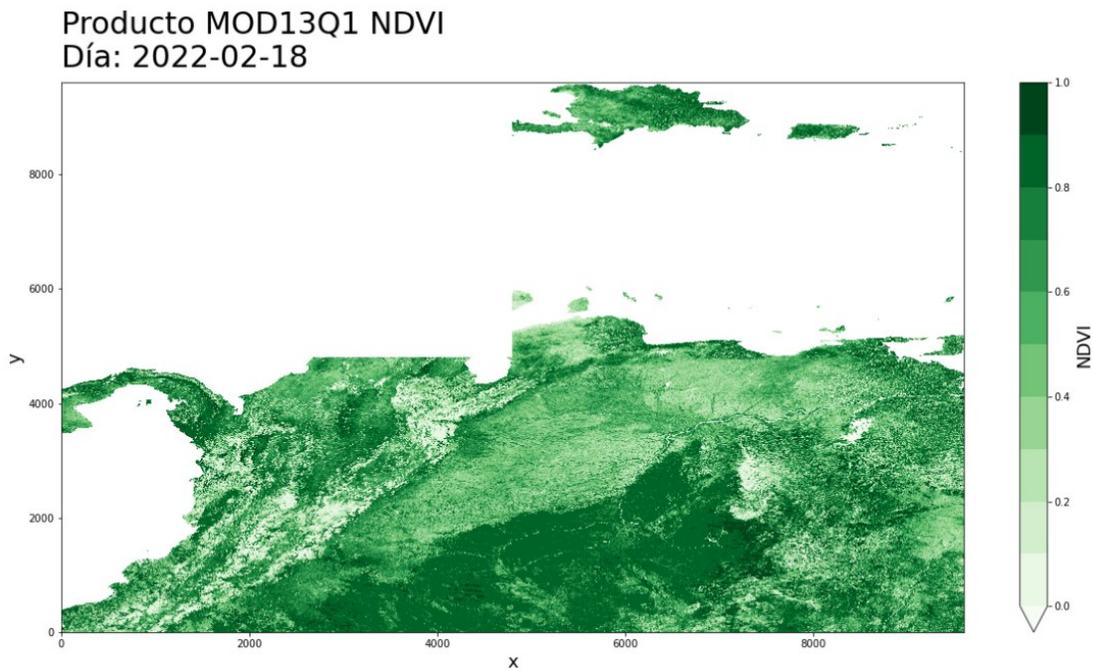


FIGURA 2. NDVI del 2022-02-18 estimado por la NASA. Producto *MOD13Q1-v006*.

Fuente: elaboración propia, 2023

Como se comentó previamente, el sistema contiene un módulo de predicción. Siendo El Niño-Oscilación del Sur (ENSO), un fenómeno caracterizado por la fluctuación de las temperaturas del océano en la parte central y oriental del Pacífico ecuatorial y cambios en la atmósfera, que está relacionado con las anomalías interanuales de las precipitaciones (Paolini *et al.*, 2012) que pueden verse reflejadas en largas sequías o fuertes lluvias (Pontoh *et al.*, 2022), es natural considerar este fenómeno como predictor. En el seguimiento del ENSO es común el estudio del Pacífico tropical mediante una variedad de índices, entre los cuales destaca las anomalías de la temperatura en la superficie del océano (SST), específicamente, en la región denominada El Niño 3,4 (5° Sur - 5° Norte, 190° Este - 240° Este). En este trabajo se escogió el

Índice Niño Oceánico (ONI), pues es el principal indicador utilizado por NOAA en el seguimiento del ENSO. El mismo es definido como el promedio móvil de tres meses de las anomalías de temperatura en la superficie del mar del Pacífico tropical centro-oriental (región El Niño 3,4). De esta manera, el ONI se descargó a partir de la información habilitada por NOAA, con el proceso programado en el código *3_SSTNino34_data.ipynb* del repositorio *geet-metview*, consolidando así una base de datos de 870 registros de temperatura para el periodo enero 1950 a julio de 2022. En la FIGURA 3 se muestra la serie temporal de SST promedio mensual en la región El Niño 3,4 generada a partir del banco de datos.

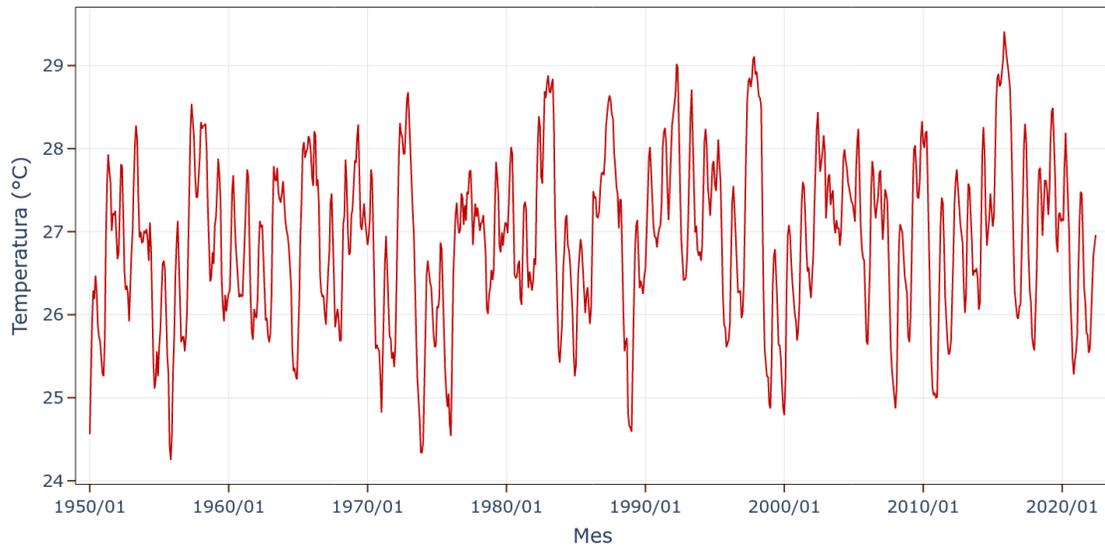


FIGURA 3. Temperatura promedio mensual en la superficie del mar en la región El Niño 3,4 para el periodo 1950/01 al 2022/06. Fuente: elaboración propia, 2023

2.2. Procesamiento de la información

El flujo diseñado para la recopilación y procesamiento de la información del SSEV es exhibido en la FIGURA 4. En la programación se dio prioridad a procesos automáticos, parametrizados, de bajo consumo de recursos computacionales escalables a otros parques

nacionales venezolanos. El objetivo fue que los aportes tecnológicos fueran auto-explicativos y fácilmente alojados en servidores locales o servicios en la nube. Por ende, en la medida de lo posible, se utilizaron *Jupyter Notebooks* (<https://jupyter.org/>) con la descripción de los pasos llevados a cabo.

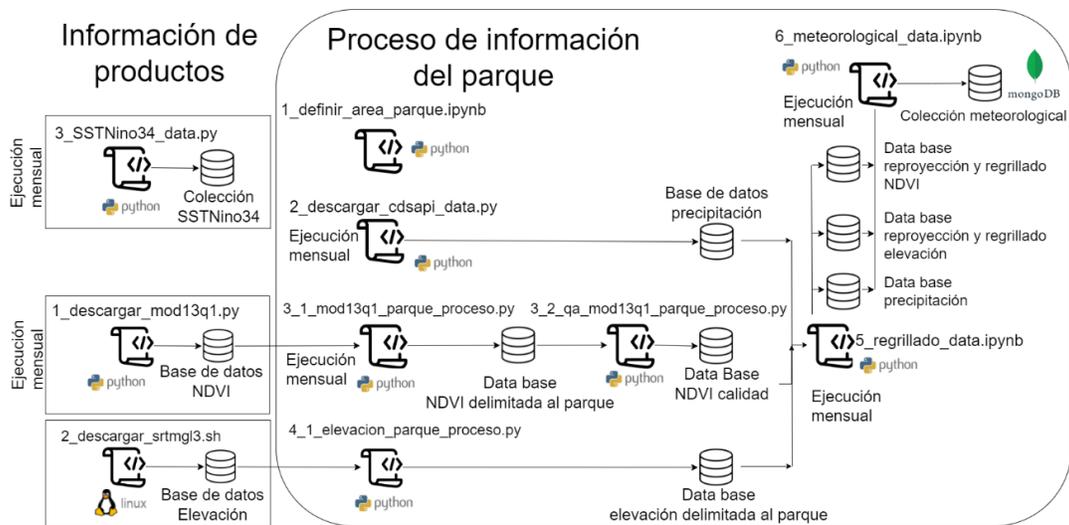


FIGURA 4. Flujo diseñado para la descarga y procesamiento de información del SSEV. Repositorio geet-metview. Fuente: elaboración propia, 2023

El mecanismo de recolección y tratamiento de la información fue implementado en los parques nacionales Cerro Saroche y Terepaima. A continuación, se describen los pasos llevados a cabo hasta alcanzar la consolidación de la base de datos *MongoDB* necesaria para el funcionamiento del SSEV:

- Descargar el polígono del parque nacional del producto *WCMC/WDPA/current/polygons* con el uso del código *1_definir_area_parque.ipynb* programado en *Python*.

- Utilizar como referencia a la grilla regular plana de cuadrícula $0,1^\circ \times 0,1^\circ$, correspondiente al producto *ERA5-Land*, en la creación de la grilla del parque, ya que es ampliamente aplicada en el estudio del clima y fenómenos meteorológicos. La grilla ajustada al parque estará constituida por las cuadrículas que intersecan con el polígono del parque. En la FIGURA 5 se presenta el área delimitada para el parque Cerro Saroche y Terepaima.

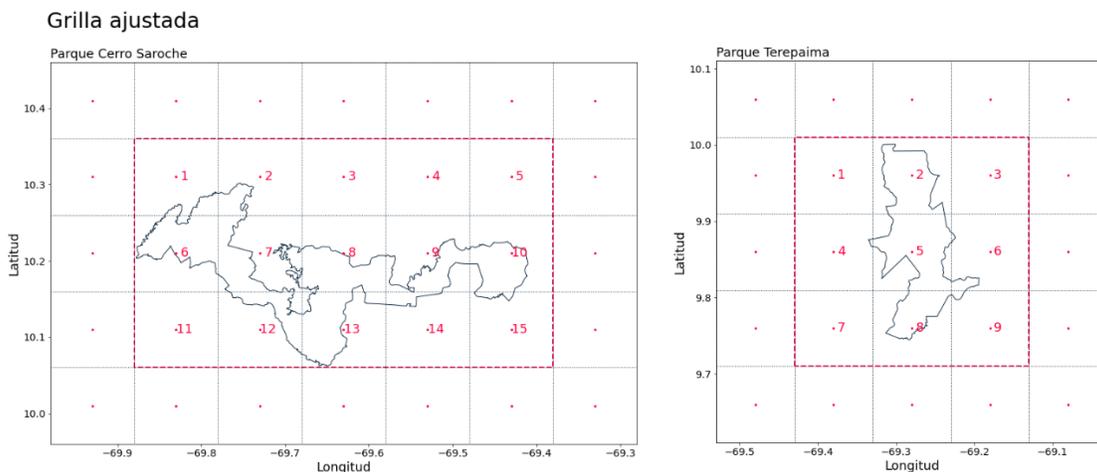


FIGURA 5. Grilla regular plana de cuadrícula $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ diseñada para los parques Cerro Saroche y Terepaima. Fuente: elaboración propia, 2023

- Descargar mensualmente la información de la precipitación total (producto *ERA5-Land* de *Copernicus*) vía *API REST* con el código *2_descargar_cdsapi_data.py* según la grilla o región delimitada para el parque. En la FIGURA 6 se muestra la precipitación total en milímetros para los parques Cerro Saroche y Terepaima en el mes de febrero del 2022.

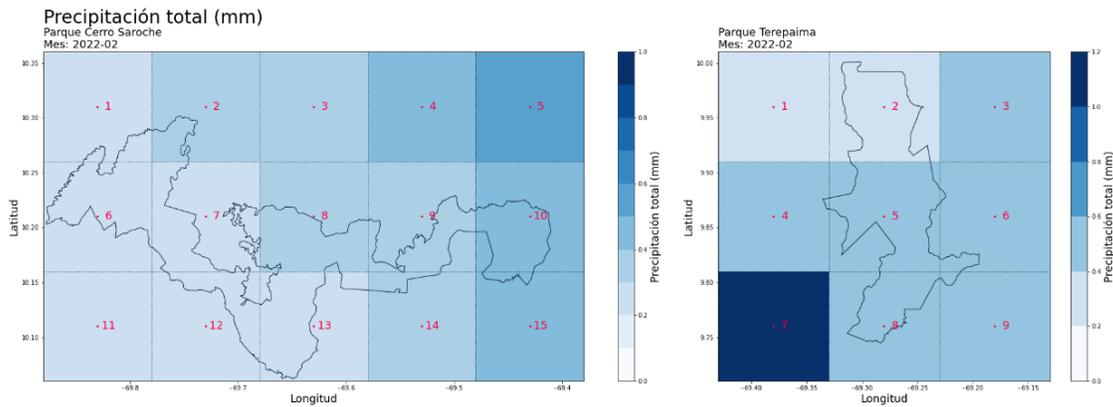


FIGURA 6. Precipitación total (mm) en los parques Cerro Saroche y Terepaima para el mes de febrero de 2022. Fuente: elaboración propia, 2023

- Utilizar los repositorios NASA *Earth Data* y USGS *Earth Explorer* en la búsqueda de los *datasets* fijados para la región en los productos `MOD13Q1-v006` (`1_descargar_mod13q1.py`) y `SRTMGL3-v003` (`2_descarga_srtmgl3.sh`), respectivamente.
- Llevar los datos del NDVI a la proyección del producto *ERA5-Land* y seleccionar la

información contenida en el polígono del parque filtrando según los criterios de calidad establecidos por la NASA (`3_1_mod13q1_parque_proceso.py` y `3_2_qa_mod13q1_parque_proceso.py`). En la FIGURA 7 se muestran los valores alcanzados para el parque Cerro Saroche y Terepaima para febrero del 2022.

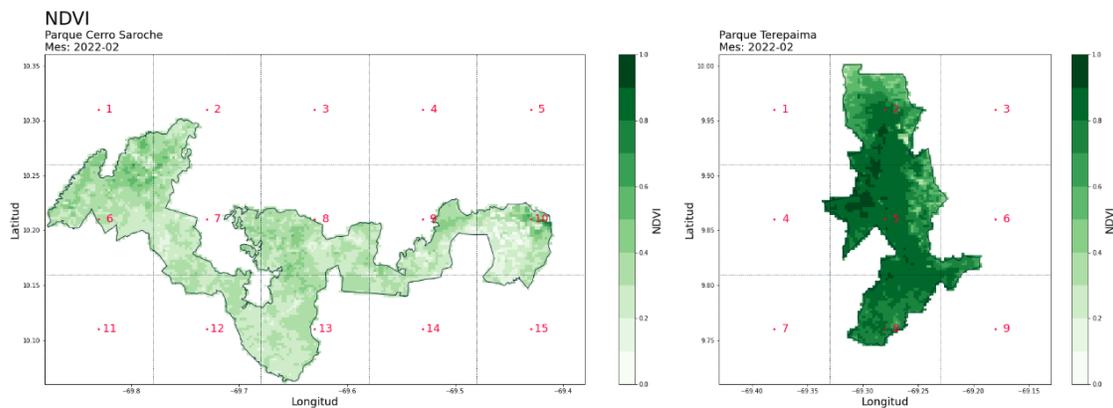


FIGURA 7. Ajuste del NDVI a la grilla de los parques Cerro Saroche y Terepaima para febrero de 2022. Fuente: elaboración propia, 2023

- Llevar a la proyección del producto *ERA5-Land* los datos de la elevación y seleccionar la información contenida en la grilla del parque o región de estudio

(`4_1_elevacion_parque_proceso.py`). En la FIGURA 8 se exhiben los valores de elevación en metros para las regiones delimitadas en el parque Cerro Saroche y Terepaima.

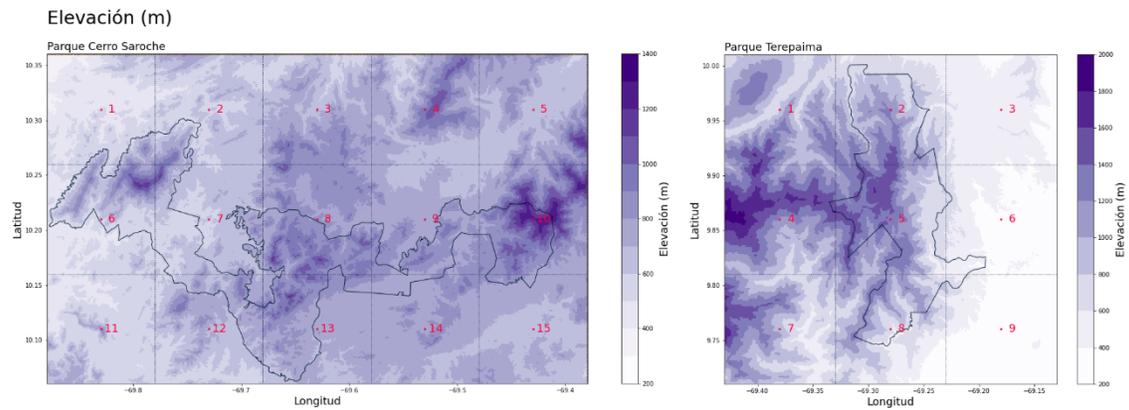


FIGURA 8. Elevación (m) ajustada a la grilla de los parques Cerro Saroche y Terepaima. Fuente: elaboración propia, 2023

- Realizar un regrillado para los datos de la elevación seleccionando el valor promedio por cuadrícula (*5_regrillado_data.ipynb*). En

la FIGURA 9 se muestra el regrillado para los datos del Cerro Saroche y Terepaima.

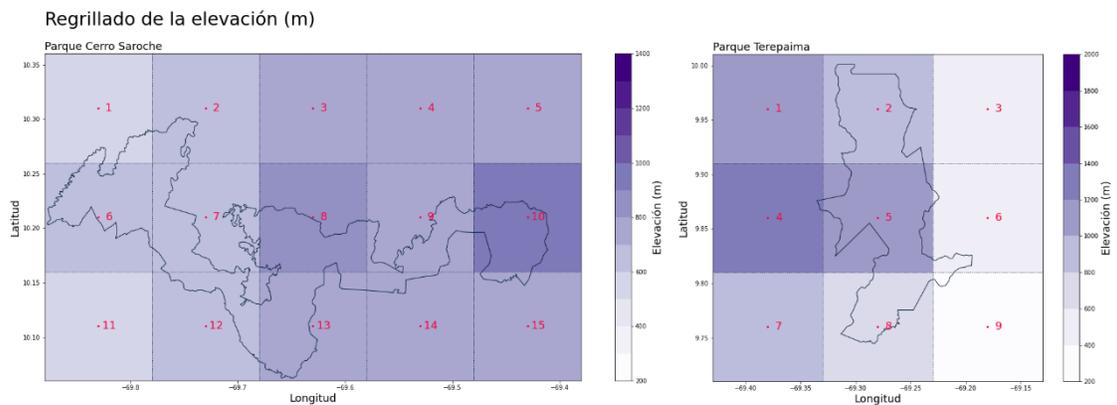


FIGURA 9. Grilla regular plana de cuadrícula $0,1^{\circ} \times 0,1^{\circ}$ para la elevación (metros) de los parques Cerro Saroche y Terepaima. Fuente: elaboración propia, 2023

- Realizar un regrillado para el NDVI seleccionando el promedio de los valores contenidos en la intersección de la cuadrícula con el polígono del parque (*5_regrillado_data.ipynb*). En la investigación se ha seleccionado a la media para el proceso de rebrillado fundamentado en el modelo de datos utilizado por Wu *et al.* (2019). En la FIGURA 10 se muestran los resultados para el parque Cerro Aroche y Terepaima para el mes de febrero de 2022.
- Recopilar la información procesada para luego insertarla en la base de datos MongoDB (*6_meteorological_data.ipynb*).

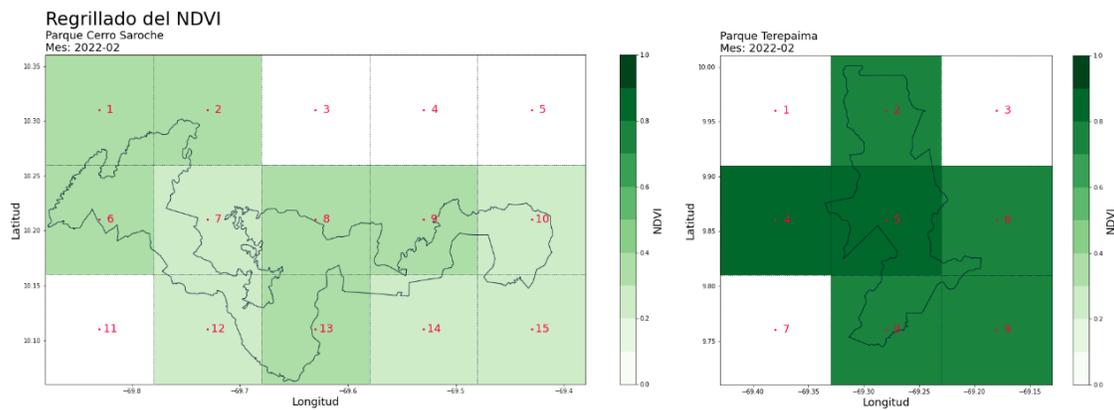


FIGURA 10. Grilla regular plana de cuadrícula $0,1^{\circ} \times 0,1^{\circ}$ para el NDVI (febrero, 2022) de los parques Cerro Saroche y Terepaima. Fuente: elaboración propia, 2023

El flujo propuesto para el procesamiento de la información es escalable a los distintos parques nacionales venezolanos según la disponibilidad de la información. El mecanismo de recolección y tratamiento de la información expuesto busca minimizar el consumo de recursos computacionales para evitar alzas económicas en los servicios en la nube.

3. Resultados

3.1. El Sistema para el Seguimiento de Ecosistemas Venezolanos (SSEV)

La aplicación *web* fue concebida bajo la percepción de producto mínimo viable (MVP) y, por tanto, se centraron esfuerzos en crear un producto que, desde su versión mínima, cumpla con las características básicas de funcionalidad, habilidad, usabilidad y diseño que hagan viable la inclusión progresiva de mejoras o actualizaciones en función de la retroalimentación con el cliente o público objetivo. Esta visión hizo posible la creación de una aplicación flexible para la incorporación paulatina, en cada paso de actualización del ciclo de vida del producto analítico, de nuevas variables climáticas.

En vista de la oportunidad de mejora y el papel protagónico del ENSO, el SSEV cuenta con la serie temporal de la temperatura promedio en la superficie del mar, región El Niño 3,4, para

estimar al Índice Niño Oceánico (ONI) y utilizarlo como indicador en la identificación de eventos El Niño, Neutro o La Niña.

A modo general, el SSEV facilita el ajuste de una grilla regular plana, de cuadrícula $0,1^{\circ} \times 0,1^{\circ}$, al parque o zona de interés siempre que esté disponible en el producto *WCMC/WDPA/current/polygons* dando la posibilidad de incluir una gran variedad de zonas protegidas de Venezuela o de otro país de ser preciso. El mecanismo diseñado consiste en descargar la información de la precipitación total, NDVI y elevación, según la región delimitada, seleccionando los datos con los niveles de calidad óptimos para su reproyección y regrillado. La data tratada es almacenada en un sistema de base de datos *NoSQL* orientado a documentos de código abierto *MongoDB* que avala alta velocidad en el flujo de información. La información histórica es consolidada en una base de datos robusta que suministra a la aplicación *web* la data relevante para la construcción de paneles de visualización dinámicos en el estudio temporal de la SST, el ONI y las anomalías SST, así como para el seguimiento del NDVI y la precipitación total desde una perspectiva temporal y espacio-temporal. Todos los gráficos y paneles de visualización que integran la página *web* del SSEV dan la posibilidad al usuario de

descargar imágenes creadas a medida a través del uso de filtros y la navegación interactiva.

La aplicación *web* del SSEV está disponible en <https://ms-ds-ssev.herokuapp.com/> y fue desarrollada con *Python* y la librería *Dash*. En la etapa de diseño se realizó un estudio profundo de los servicios en la nube evaluando costos y beneficios. Dado el alcance de la investigación, se adquirieron los servicios de un ambiente de pruebas en la plataforma *Heroku*, el cual tiene un costo en función de la demanda. Una de las principales ventajas de utilizar *Heroku* es la realización de *deploys* (lanzamientos) de aplicaciones *web* creadas con imágenes *Docker*.

Esta tecnología encapsula todo lo necesario para la ejecución del *software* incluyendo las librerías y complementos.

Como se puede notar en la FIGURA 11, la aplicación programada dispone de una conexión con *MongoDB*, específicamente, con las colecciones *SSTNino34* y *meteorological*. Los desarrollos son programados en la rama *Dev* del repositorio *seev-dash* y finalizadas las pruebas de ejecución los cambios son llevados a la rama *Master*. Es importante señalar que para el despliegue es suficiente enlazar la rama *Master* con *Heroku* el cual ejecutará una versión de la aplicación automáticamente.

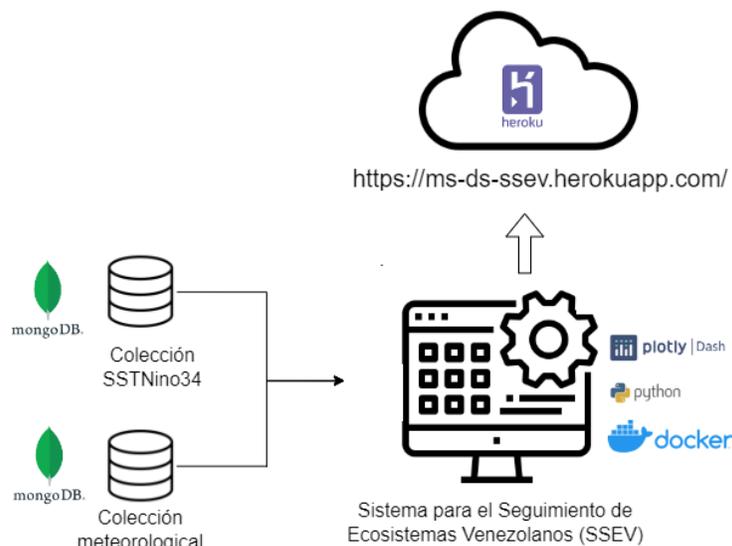


FIGURA 11. Diagrama de la aplicación *web* del SSEV. Fuente: elaboración propia, 2023

El diseño de la aplicación *web* del SSEV (FIGURA 12) está constituido por cinco áreas que integran el logo del proyecto, el encabezado, la información general de sensores remotos y dispositivos de teledetección, pie de página y el contenido. Por ejemplo, la sección El Niño-Oscilación del Sur despliega los resultados alcanzados tras el tratamiento de la información y el estudio predictivo del ONI, mientras que en la sección Seguimiento de Parques (FIGURA 13) el usuario puede seleccionar el área protegida de interés y

visualizar la localización geográfica en un gráfico interactivo que admite encontrar zonas aledañas y generar acercamientos estratégicos. Igualmente, se abordan las características de los parques nacionales habilitados resaltando el tipo de vegetación, fauna y relieve. Además, se muestra un análisis espacial y temporal para la precipitación total y NDVI sustentado en los desarrollos de los parques Cerro Saroche y Terepaima.



Logo

SSEV

Sistema para el Seguimiento de Ecosistemas Venezolanos

Contenido:

- 1.- Inicio
- 2.- El Niño-Oscilación del Sur
- 3.- Seguimiento de Parques

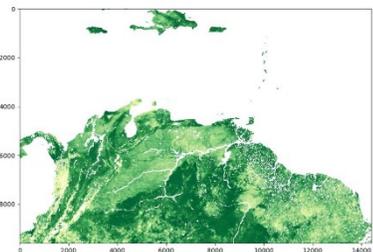
Contenido



Encabezado

El Sistema para el Seguimiento de Ecosistemas Venezolanos (SSEV)

El SSEV es un proyecto de investigación destinado al seguimiento y monitoreo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) de los parques nacionales venezolanos. Un índice de vegetación puede ser definido como un parámetro calculado a partir de los valores de la reflectancia a distintas longitudes de onda, y que es particularmente sensible a la cubierta vegetal. Estos pueden ser usados para determinar la evolución en el tiempo de la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación en las áreas protegidas.



Información



Universidad Simón Bolívar

Creadores:

Autor: [Javier Martínez](#)

Tutor: [Isabel Llatas](#)

Repositorios:

[geet-metview](#)

[seev-analytics](#)

[seev-dash](#)

Enlaces de interés:

[Dash](#)

[NOAA](#)

[Copernicus](#)

Pie de página

FIGURA 12. Página de inicio del SSEV (<https://ms-ds-ssev.herokuapp.com/>) imagen tomada el 09-02-2023. Fuente: elaboración propia, 2023





Seguimiento de parques

El SSEV es una herramienta diseñada para el seguimiento de la capa vegetal de los parques nacionales venezolanos a través del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). Con este objeto se emiten todos los recursos para producir la variación espacio-temporal del NDVI (ansado como variable exógena a la precipitación total).

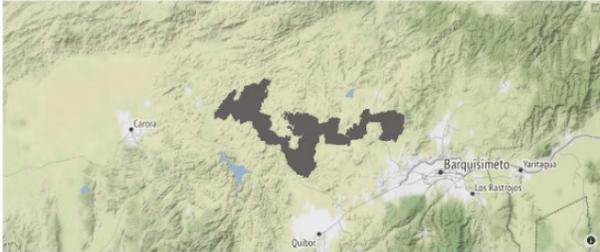
Seleccione el parque de interés:

Características

Parque Cerro Saroché

El Parque Nacional Cerro Saroché dispone de más de 32 mil hectáreas y se encuentra ubicado entre los municipios Iribarren, Torres y Jiménez de Estado Lara. Desde el punto de vista geográfico, el parque es una depresión rodeada por un sistema montañoso que funciona como una barrera natural para los vientos que suyen en direcciones diversas, lo que genera un clima árido predominante en el área. Las temperaturas oscilan entre 22 y 28 grados Celsius y la distribución de lluvias es irregular y aminorada.

La vegetación de Cerro Saroché corresponde con la de tipo xerófito (vegetación con vida en medio seco), donde predominan cardonales, espinas y matorrales. Se observan árboles de oaji, yuca, colapari, yuca y guayacán. En cuanto a la fauna, es común la presencia del sapo, el zorro, el oso hormiguero, caraguayo y el gato montés. Las aves predominantes son el tucará, el parulista, el cardenalito, el perico cola roja y la guacharaca. También se pueden encontrar reptiles como la cascabel y la coral, además de lagartos como la guana y el mato.

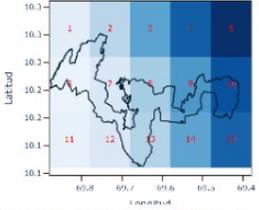


La precipitación y NDVI

Seleccione un periodo para la visualización espacial:

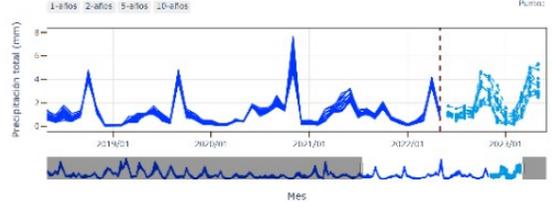
Precipitación
NDVI
Elevación

Visión espacial de la precipitación total (milímetros)



Serie temporal de la precipitación total (milímetros)

1-años 2-años 5-años 10-años
Periodo: All





Universidad Simón Bolívar

Creadores:

Autor: Javier Martínez

Autor: Isabel Llatas

Repositorios:

geot-martinez

ssev-analisis

ssev-tesis

Enlaces de interés:

Unib

IGMA

Copernicus

FIGURA 13. SSEV sección Seguimiento de Parques (<https://ms-ds-ssev.herokuapp.com/Park>) imagen tomada el 09-02-2023. Fuente: elaboración propia, 2023

4. Conclusiones

En este trabajo se presenta una aplicación *Web* de código abierto pensada para facilitar, a usuarios sin conocimientos previos, y a especialistas, la información necesaria para la elaboración de estudios profundos en el seguimiento de variables climáticas, índices de vegetación e índices macroclimáticos como el NDVI y el ONI, respectivamente, que pueden ser usados para hacer un seguimiento de la capa vegetal de zonas protegidas en Venezuela.

Los desarrollos que integran al SSEV (repositorios *geet-metview*, *seev-analytics* y *seev-dash*) son códigos autos-explicativos de libre acceso que otorgan a la comunidad científica la posibilidad de replicar fácilmente los procesos. En esta investigación se logró con éxito su implementación en los parques Cerro Saroche y Terepaima, pero vale destacar que es posible agregar nuevos parques nacionales o áreas protegidas a la aplicación insertando la data en la colección *meteorological*. Es decir, para sumar

nueva información a la plataforma no es necesario ejecutar un despliegue completo del SSEV, bastará insertar la nueva data a las colecciones *MongoDB* y, posterior a una actualización del *browser*, el usuario podrá visualizar los cambios.

Una de las limitantes que enfrenta la investigación científica venezolana es el ajustado presupuesto. Por ende, el SSEV está optimizado para ser ejecutado a totalidad en un ambiente de desarrollo local con conexión a internet, pero a su vez puede ser fácilmente llevado a servicios en la nube que cooperen en la instauración de una plataforma más automatizada. Si bien en la investigación se adquirieron los servicios de *Heroku* asumiendo un costo mensual, sujeto a uso, para realizar el despliegue en la *Web* de la aplicación en general no es necesario la contratación de servicios que causen un egreso económico en la réplica de los desarrollos tecnológicos creados.

5. Referencias citadas

- DIDAN, K.; BARRETO, A.; SOLANO, R. & A. HUETE. 2015. *MODIS vegetation index user's guide (MOD13 series)*. The University of Arizona. Disponible en: https://vip.arizona.edu/documents/MODIS/MODIS_VI_UsersGuide_June_2015_C6.pdf. [Consulta: abril, 2023]
- GARROUTTE, E.; HANSEN, A. & R. LAWRENCE. 2016. "Using NDVI and EVI to map spatiotemporal variation in the biomass and quality of forage for migratory Elk in the Greater Yellowstone Ecosystem". *Remote Sensing*, 8(5):404.
- HACHICHA, M.; LOUATI, M. & A. KALLEL. 2018. Forecasting of the normalized difference vegetation index time series in Jbeniana. *4th International Conference on Advanced Technologies for Signal and Image Processing (ATSIP)*, pp. 1-4. Sousse, Tunisia (21-24).
- HUANG, X.; XIE, B.; LONG, J.; CHEN, H.; ZHANG, H.; FAN, L.; CHEN, S.; CHEN, K. & WEI, Y. 2023. "Prediction of risk factors for scrub typhus from 2006 to 2019 based on random forest model in Guangzhou, China". *Trop Med Int Health*. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/tmi.13896>.
- MOHAMMAD, L.; BANDYOPADHYAY, J.; SK, R.; MONDAL, I.; NGUYEN, T.; LAMA, G. & D. ANH. 2023. "Estimation of agricultural burned affected area using NDVI and dNBR satellite-based empirical models". *Journal of Environmental Management*. 343(1): 118226. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118226>.

- NEPITA, M.; BERLANGA, C. & A. RUIZ. 2019. "Seasonal trend analysis (STA) of MODIS vegetation index time series for the mangrove canopy of the Teacapan-Agua Brava lagoon system". *GIScience and Remote Sensing*, 56(3): 338-361.
- NIETO, M. y A. CÁRDENAS. 2018. *Sistemas de información geográfica y teledetección: Aplicación en el análisis territorial*. Grupo de Investigación en Desarrollo Sostenible y Planificación Territorial de la Universidad de Extremadura. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=72166>. [Consulta: abril, 2023]
- ORMEÑO, S. 2006. *Teledetección Fundamental*. Universidad Politécnica de Madrid. Disponible en: <http://pdi.topografia.upm.es/santi/descarga/FunTeled.PDF>. [Consulta: abril, 2023].
- PAOLINI, J.; FELIPE, J.; SUREDA, B. y J. ROSALES. 2012. "Influencia del fenómeno El Niño-La Niña/Oscilación Sur (ENOS) y de la temperatura del Atlántico norte en los caudales del río Caura, Guayana Venezolana". *Revista de Climatología*, 12: 23-32.
- PONTOH, R. S.; TOHARUDIN, T.; RUCHJANA, B. N.; SIJABAT, N & M. D. PUSPITA. 2022. "Bandung rainfall forecast and its relationship with Niño 3.4 using nonlinear autoregressive exogenous neural network". *Atmosphere*, 13(2): 302.
- WU, T.; FENG, F.; LIN, Q. & H. BAI. 2019. "A spatio-temporal prediction of NDVI based on precipitation: an application for grazing management in the arid and semi-arid grasslands". *International Journal of Remote Sensing*, 41(6):2359-2373.

Lugar y fecha de finalización del artículo:
Caracas, Venezuela; junio, 2023