



Interfaz gráfica en Matlab para determinar los índices de vegetación y agua de diferencia normalizada en imágenes multiespectrales del satélite PerúSAT-1

Graphical interface in Matlab to determine the vegetation and water indexes of normalized difference in multispectral images of the PeruSAT-1 satellite

Paulo Daniel Ramírez Vera, Pedro Freddy Huamaní Navarrete

RECIBIDO: 01 septiembre de 2024
ACEPTADO: 01 de diciembre 2024

RESUMEN

Este trabajo tuvo como objetivo el cálculo y la visualización de los índices de vegetación (NDVI) y de agua (NDWI) de diferencia normalizada, a partir del procesamiento de imágenes satelitales multiespectrales proporcionadas gratuitamente del satélite PerúSAT-1. Las imágenes correspondieron a la zona litoral y tres distritos del sur de Lima, en Perú. La metodología aplicada consistió en el procesamiento de imágenes en la interfaz gráfica App Designer del software Matlab, y empleó técnicas de segmentación y análisis multiespectral para extraer datos relevantes de las bandas espectrales disponibles RGB y NIR. Asimismo, se realizaron la corrección y mejora de la calidad de las imágenes, que aseguró que los datos extraídos fueran precisos y útiles para los análisis posteriores. Además, la aplicación desarrollada permitió, aparte de la visualización de los índices NDVI y NDWI, la representación de los histogramas de las cuatro bandas espectrales, del perfil y del promedio de reflectancia.

Palabras claves: Imágenes multiespectrales, PerúSAT-1, Matlab, índice de vegetación, índice de agua de diferencia normalizada.

Cómo citar

P. F. Huamaní Navarrete y P. D. Ramírez Vera, «Interfaz gráfica en Matlab para determinar los índices de vegetación y agua de diferencia normalizada en imágenes multiespectrales del satélite PerúSAT-1», *Perfiles_Ingeniería*, vol. 21, n.º 22, pp. 101–119, dic. 2024.

ABSTRACT

This research aimed to calculate and visualize the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and the Normalized Difference Water Index (NDWI) by processing freely available multispectral satellite images from the PeruSAT-1 satellite. The images covered the coastal area and three districts in southern Lima, Peru. The methodology applied image processing using MATLAB's App Designer interface under segmentation and multispectral analysis techniques to extract relevant data from the available RGB and NIR spectral bands.

Image correction and enhancement, meticulously performed, were also carried out to ensure the extracted data were accurate and useful for subsequent analyses. Additionally, the developed application enabled the visualization of the NDVI and NDWI indexes. It provided representations of the histograms of the four spectral bands and the profile and average reflectance.

Keywords: Multispectral Images, PeruSAT-1, MATLAB, Vegetation Index, Normalized Difference Water Index.

© Los autores. Este artículo Open Access está publicado bajo la Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC-BY 4.0).



1. Introducción

El análisis de los patrones hídricos y las densidades vegetales en entornos urbanos y periurbanos se presenta como una necesidad fundamental para la gestión eficiente de los recursos naturales, así como para la planificación territorial sostenible. Particularmente, en ciertas zonas de la ciudad de Lima en el Perú, estos retos se agravan por el crecimiento demográfico vertiginoso, la expansión desordenada de áreas urbanas y los impactos directos e indirectos del cambio climático.

Además, la carencia de herramientas precisas y automatizadas que permiten un monitoreo continuo y una evaluación detallada de tales patrones genera un vacío significativo en el proceso de toma de decisiones, tanto para las autoridades locales como para los gestores ambientales. Por ello, esa falta de información actualizada dificulta la implementación de estrategias efectivas para la gestión y conservación de los recursos naturales en cierta región del país. También la complejidad del entorno urbano y la diversidad de las coberturas terrestres en ciertas zonas de la ciudad de Lima añaden un desafío extra al análisis de las imágenes satelitales. Por ello, los métodos tradicionales de análisis manual no solo resultan ineficientes, sino también propensos a errores, lo que subraya la urgencia de desarrollar métodos automatizados y eficaces que superen estas limitaciones y proporcionen una visión holística y precisa de la situación ambiental en la región de interés.

De esta manera, se planteó como objetivo determinar los índices NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) y NDWI (Índice de Agua de Diferencia Normalizada), a partir del procesamiento multiespectral de imágenes satelitales proporcionadas por el satélite PerúSAT-1, para luego visualizar de manera interactiva patrones hídricos, densidades vegetales, perfil de reflectancia, reflectancia promedio e histogramas por banda espectral de ciertas áreas de algunos distritos de la ciudad de Lima, haciendo uso de la interfaz gráfica App Designer del Matlab.

Es así como, tomando como referencia investigaciones relacionadas al cálculo de los índices de diferencia normalizada en [1], se halló la exploración a las capacidades del satélite PerúSAT-1 para estimar los índices de vegetación, agua y nieve. Además, identificó una limitación en el análisis de ciertos minerales debido a la falta de información en ciertas longitudes de onda. Luego, en [2], se propuso un modelo de clasificación para identificar, a nivel de píxeles, elementos relevantes en las imágenes de PerúSAT-1, como vegetación, agua, suelo y áreas urbanas. La base de datos cruda estuvo compuesta por 3 imágenes de satélite que fueron recortadas en imágenes más pequeñas de 1,000x1,000 píxeles, con la finalidad de reducir el costo computacional en el proceso de generación de la base de datos.

Igualmente, en [3], se propuso un nuevo enfoque para segmentar las superficies de agua a partir de imágenes satelitales, utilizando redes neuronales convolucionales sobre una base de datos de alta resolución del satélite Sentinel-2 y de muy alta resolución del PerúSAT-1. Luego, en [4], se desarrolló e implementó un sistema de procesamiento de imágenes multiespectrales que utiliza la herramienta App Designer del Matlab, orientado al cálculo del NDVI a partir de cámaras multiespectrales o imágenes satelitales. Por otro lado, en [5], se emplearon técnicas de procesamiento digital en imágenes satelitales para estimar el área superficial de un glaciar en Perú, en los que se utilizaron datos del satélite PeruSAT-1. Y, en [6], se exploró el uso de imágenes satelitales LANDSAT-8 y ÁSTER-GDEM para identificar

zonas de recarga hídrica subterránea en la cuenca del Jequetepeque, que contrastan los resultados con pozos inventariados.

2. Marco conceptual

Imagen satelital. También se las conoce como imágenes de observación de la Tierra o fotografías tomadas desde el espacio a través de un satélite. Se definen como el producto obtenido por un sensor instalado a bordo de un satélite artificial, mediante la captación de la radiación electromagnética emitida o reflejada por un cuerpo, que posteriormente se transmite a estaciones terrenas para su visualización, procesamiento y análisis [7].

Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). Es un parámetro calculado a partir de los valores de la reflectancia a distintas longitudes de onda, con la finalidad de ser utilizado en la estimación de la cantidad y calidad de la vegetación en un área de estudio; dicho índice se basa en la teoría comprobada de la absorción de radiación solar llevada a cabo por las especies vegetales en el proceso de fotosíntesis [8].

Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI). Es un parámetro que se calcula al maximizar la reflectancia del agua usando para ello la banda del Infrarrojo Cercano y la absorción de la vegetación y de suelo adyacente en la banda del verde. Por eso, se utiliza para resaltar el aspecto de las masas de agua en una imagen satelital [1].

Sistema satelital peruano PerúSAT-1. Es el primer sistema satelital óptico de observación terrestre submétrico del Perú, cuyos beneficios abarcan múltiples campos desde la seguridad y defensa hasta diversas actividades productivas. Este sistema satelital es operado desde el Centro Nacional de Operaciones de Imágenes Satelitales, en Pucusana, por ingenieros y especialistas peruanos [9]. Además, el satélite genera imágenes con 70 centímetros de resolución utilizando una cámara ligera y resistente a las temperaturas extremas del espacio. Su órbita se encuentra a 702.5 Km. y tiene una velocidad de desplazamiento de 7.5 km/s [9].

3. Metodología

Esta investigación es del tipo tecnológica y aplicada porque se usaron los conocimientos científicos para dar soluciones innovadoras a problemas prácticos [10]; igualmente, se utilizó un método de investigación empírico y experimental porque los datos adquiridos de un medio digital fueron manipulados experimentalmente con la aplicación de técnicas matemáticas de procesamiento de imágenes, en el software de computación numérica Matlab.

Por otro lado, la metodología propuesta y desarrollada se representa a través del diagrama de bloques de la figura 1. Como primera actividad se tiene la recopilación de imágenes multiespectrales del satélite peruano PerúSAT-1, seguido del preprocesamiento con el Sistema de Información Geográfica de software libre QGIS y del uso de herramientas matemáticas con apoyo del Toolbox Image Processing del Matlab para determinar los índices de vegetación y agua de diferencia normalizada, así como la reflectancia y visualización de los histogramas, a partir de cuatro bandas espectrales. Finalmente, se diseñó e implementó la interfaz gráfica de visualización en el entorno gráfico App Designer del Matlab.

3.1. Base de datos de imágenes multiespectrales

La base de datos estuvo constituida por un conjunto de imágenes proporcionadas gratuitamente por la Dirección de Aplicaciones Espaciales y Geomática (DIAPG) de la Agencia Espacial del Perú (CONIDA), después de solicitarlas formalmente. A continuación, la tabla 1 muestra el rango y resolución espectral de cada una de las bandas que componen las imágenes del satélite PerúSAT-1.

Tal como se observa en la tabla, las primeras cuatro bandas multiespectrales presentan una resolución espacial de 2.8m, por lo cual cada pixel representa aproximadamente 7.84m² de la superficie de la tierra [11]. Seguidamente, en la figura 2, se muestran dos de las veinte imágenes satelitales proporcionadas gratuitamente por la CONIDA, y utilizadas en el desarrollo de este trabajo. Estas dos imágenes pertenecen a uno de los distritos de la zona sur y al litoral de la ciudad de Lima.

Figura 1

Diagrama de bloques general de la metodología planteada

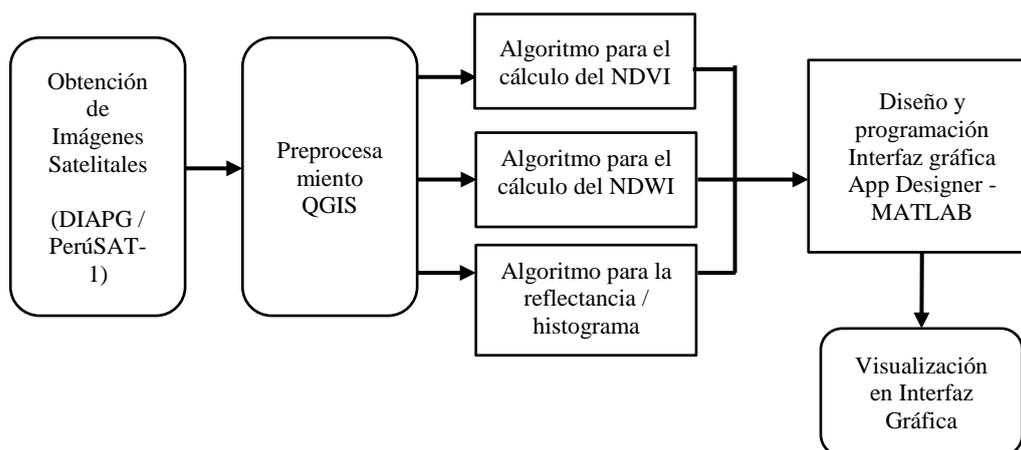


Tabla 1

Descripción de las bandas espectrales del PerúSAT-1

Banda espectral	Rango (nm)	Resolución espacial(m)
Azul	450-520	2.8
Verde	450-520	2.8
Rojo	630-700	2.8
Infrarrojo cercano	752-885	2.8
Pancromático	450-520	0.7

Nota: Tomado de [11]

3.2. Preprocesamiento de las imágenes multiespectrales

El preprocesamiento de las imágenes satelitales es una de las principales tareas, porque permite asegurar la calidad y consistencia de los datos antes de realizar el análisis. Este proceso incluyó la realización de dos etapas, las cuales se comentan a continuación.

Segmentación de imágenes. Utilizando el Sistema de Información Geográfica, QGIS, se realizó la segmentación manual de las imágenes. Estas fueron divididas en regiones de interés mejor manejables y específicas correspondientes a una resolución de 1595 x 1561 píxeles. Además, la segmentación permitió enfocar el análisis en áreas concretas, como cuerpos de agua o zonas vegetales, lo que mejoró la eficiencia del posterior procesamiento.

Corrección del orden de las bandas espectrales. Como es de conocimiento, las imágenes multiespectrales obtenidas del PerúSAT-1 pueden presentar variaciones en el orden de las bandas espectrales. Por lo tanto, es importante reorganizar estas bandas para asegurar que los cálculos de los índices de vegetación y agua se realicen correctamente. Por tal razón, el sistema de Información Geográfica (QGIS) también fue utilizado para corregir y verificar el orden de las bandas, y las alineó conforme a los estándares esperados: bandas multiespectrales RGB y NIR.

Figura 2

Visualización de dos imágenes satelitales del PerúSAT-1 pertenecientes a uno de los distritos de la zona sur y del litoral de la ciudad de Lima



Nota: Tomado de [12]

3.3. Índices de diferencia normalizada (NDVI y NDWI)

Los índices de diferencia normalizada, específicamente el NDVI y NDWI, son componentes cruciales en el análisis de imágenes satelitales para la identificación de patrones hídricos y densidades vegetales. Estos índices proporcionan información valiosa sobre la cobertura vegetal y la presencia de agua, lo que permite una evaluación precisa de las condiciones ambientales en la zona de estudio. Para este cálculo, se utilizó el software Matlab con los Toolbox de Mapping e Image Processing [13].

3.3.1. Cálculo del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

Es un indicador que se utiliza ampliamente para evaluar la densidad y el estado de la vegetación. Se calcula utilizando las bandas del espectro rojo (R) y del infrarrojo cercano (NIR) de las imágenes satelitales. La fórmula estándar para el cálculo del NDVI es:

$$NDVI = \frac{NIR-R}{NIR+R} \quad (1)$$

Donde R es la luz reflejada o reflectancia en el rango rojo del espectro visible; NIR, la luz reflejada en el espectro infrarrojo cercano.

Además, este índice está definido por valores situados entre -1.0 y 1.0, donde los valores negativos están formados principalmente por nubes, nieve, rocas, arena y/o suelo descubierto. Por otro lado, los valores moderados (de 0.2 a 0.3) representan arbustos y praderas, mientras que los valores grandes (de 0.6 a 0.8) indican bosques templados y tropicales [14].

Por lo tanto, utilizando el software Matlab y sus respectivos Toolbox, el proceso de cálculo del NDVI inició con la importación y lectura de los archivos de imágenes en formato TIF mediante la utilización del Mapping Toolbox del software Matlab. Luego, se procedió a extraer y almacenar las bandas espectrales en matrices de datos para su posterior procesamiento. Posteriormente, con apoyo del Image Processing Toolbox se aplicaron operaciones aritméticas a las matrices de datos correspondientes a las bandas NIR y R, a partir de la ecuación expresada en (1). Dicho resultado dio origen a una imagen de índice NDVI, en la que cada píxel representó el valor del índice calculado y determinó las áreas con alta y baja densidad de vegetación.

3.3.2. Cálculo del índice de agua de diferencia normalizada (NDWI)

El NDWI se utiliza para resaltar la presencia de agua en las imágenes satelitales. Se calcula, para el caso de las imágenes proporcionadas por el satélite PerúSAT-1, mediante la siguiente expresión, en la que G es la luz reflejada en el rango verde del espectro, y NIR la luz reflejada en el espectro infrarrojo cercano.

$$NDWI = \frac{G-NIR}{G+NIR} \quad (2)$$

Además, este índice está definido por valores situados entre -1.0 y 1.0; los valores negativos corresponden a sequía y superficies sin agua o sequía moderada; luego, valores positivos y cercanos a cero corresponden a inundación y humedad, mientras que mayores valores representan a superficies de agua [15].

Por lo tanto, utilizando el software Matlab y sus respectivos Toolbox, el proceso de cálculo del NDWI inició con la importación y lectura de los archivos de imágenes en formato TIF utilizando el Mapping Toolbox del software Matlab. Luego, se procedió a extraer y almacenar las bandas espectrales en matrices de datos para su posterior procesamiento. Posteriormente, con apoyo del Image Processing Toolbox se aplicaron operaciones aritméticas a las matrices de datos correspondientes a las bandas NIR y G, a partir de la ecuación expresada en (2). Dicho resultado dio origen a una imagen de índice NDWI en la que cada píxel representó el valor del índice calculado y destacó las áreas con presencia de agua.

3.4. Diseño de la Interfaz Gráfica de usuario en App Designer

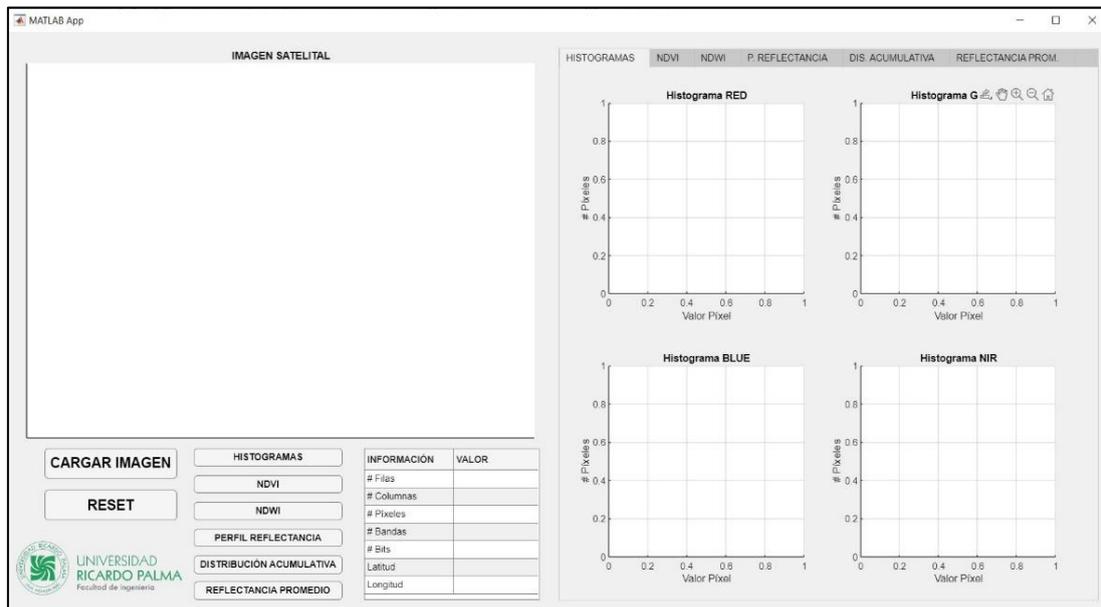
La aplicación interactiva desarrollada en MATLAB con App Designer facilitó la visualización de los histogramas, el perfil de reflectancia, la distribución acumulativa, la reflectancia promedio, y los resultados obtenidos de los índices NDVI y NDWI de las imágenes satelitales. De esta manera, para el diseño de tal interfaz gráfica, como se aprecia en la figura 3, se optó por utilizar un panel de configuración conformado por componentes del tipo Slider, Image, Button, Label, Tab Group y Edit Field, que permitieron cargar, procesar y visualizar imágenes satelitales de la base de datos empleada. Asimismo, fue posible analizar los índices de vegetación y agua calculados. Seguidamente, se describe el desarrollo de cada etapa de la interfaz gráfica.

3.4.1. Visualización de imágenes satelitales

Esta opción permitió cargar y visualizar las imágenes multiespectrales del satélite PerúSAT-1, previamente preprocesadas con el Sistema de Información Geográfica de software libre QGIS. Por eso, fue posible mostrar y permitir al usuario explorar las diferentes áreas mediante controles de zoom y desplazamiento. En cuanto al código fuente utilizado en la interfaz gráfica App Designer, se emplearon funciones del toolbox Image Processing para separar las bandas, conversión a punto flotante, obtención de la profundidad de los bits por píxel y de las coordenadas del píxel central, ajuste del contraste, normalización y escalamiento de las bandas. A continuación, se muestra parte del código fuente utilizado. En la figura 4, se visualiza la imagen satelital después de presionar el botón CARGAR IMAGEN.

Figura 3

Interfaz gráfica desarrollada en el App Designer del Matlab



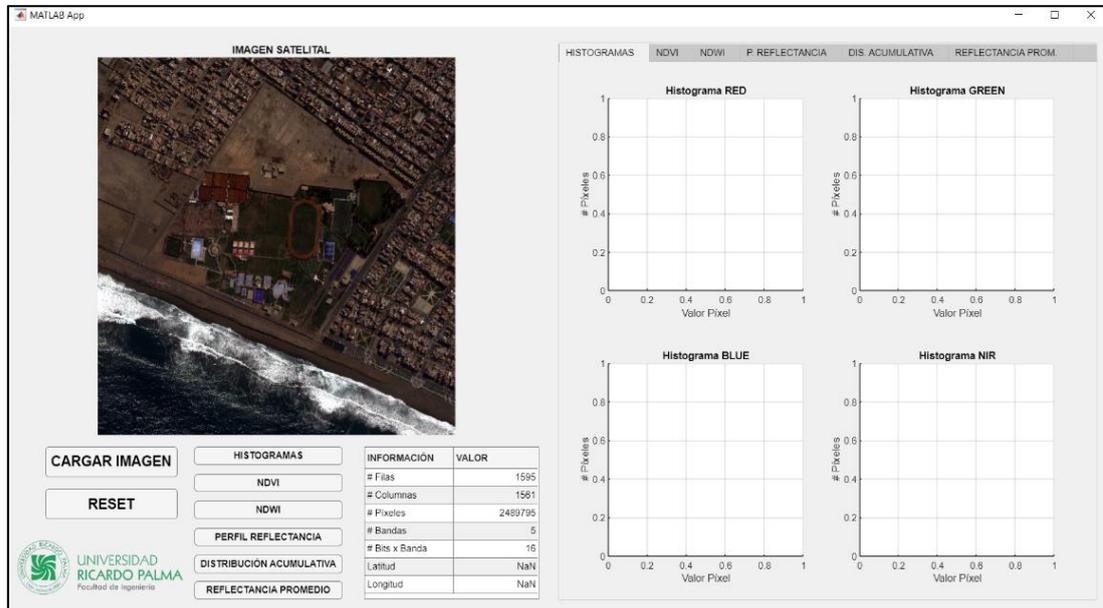
Nota: Tomado de una captura de pantalla en Matlab

% PARTE DEL CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN PARA LA VISUALIZACIÓN DE LAS IMÁGENES

```
=====
app.imagen_sat = imread(filepath);
% Separar las bandas
app.blue_band = app.imagen_sat(:,:,1);
app.green_band = app.imagen_sat(:,:,2);
app.red_band = app.imagen_sat(:,:,3);
app.nir_band = app.imagen_sat(:,:,4);
% Normalizar cada banda en función de su valor máximo
app.red_band_n = app.red_band_d / max (app.red_band_d(:));
app.green_band_n = app.green_band_d / max (app.green_band_d(:));
app.blue_band_n = app.blue_band_d / max (app.blue_band_d(:));
app.nir_band_n = app.nir_band_d / max (app.nir_band_d(:));
```

Figura 4

Visualización de una imagen satelital en la interfaz gráfica desarrollada en el App Designer del Matlab



Nota: Tomado de una captura de pantalla de una simulación en Matlab

3.4.2. Cálculo y visualización de índices NDVI y NDWI

Tal como fue mencionado anteriormente, para el cálculo dinámico de los índices NDVI y NDWI se utilizó el software Matlab y el Mapping Toolbox e Image Processing Toolbox. Los resultados fueron mostrados a través de tres mapas de colores conocidos como turbo, hsv y hot, representados por arreglos de tres columnas y proporcionados por el software Matlab. De esta manera, se facilitó la interpretación visual de las áreas con diferentes densidades de vegetación y presencia de masas de agua.

A continuación, se muestra parte del código fuente utilizado en la interfaz gráfica App Designer para la realización del cálculo del índice de diferencia normalizada de vegetación para una imagen satelital, a partir de la ecuación (1) mencionada en la sección anterior.

```
% CÁLCULO DEL ÍNDICE NDVI DE LA IMAGEN MULTIESPECTRAL
%=====
app.NDVI = (app.nir_band_n - app.red_band_n) ./ (app.nir_band_n + app.red_band_n);
% Contar píxeles en los rangos especificados
ndvi_pix_1 = sum(app.NDVI(:) >= -1 & app.NDVI(:) <= 0);
ndvi_pix_2 = sum(app.NDVI(:) > 0 & app.NDVI(:) <= 0.33);
ndvi_pix_3 = sum(app.NDVI(:) > 0.33 & app.NDVI(:) <= 0.66);
ndvi_pix_4 = sum(app.NDVI(:) > 0.66 & app.NDVI(:) <= 1);
```

De igual forma, se muestra parte del código fuente utilizado en la interfaz gráfica App Designer para la realización del cálculo del índice de diferencia normalizada de agua para una imagen satelital, a partir de la ecuación (2) mencionada en la sección anterior.

```
% CÁLCULO DEL ÍNDICE NDWI DE LA IMAGEN MULTIESPECTRAL
%=====
app.NDWI = (app.green_band_n - app.nir_band_n) ./ (app.green_band_n + app.nir_band_n);
% Contar píxeles en los rangos especificados
ndwi_pix_1 = sum(app.NDWI(:) >= -1 & app.NDWI(:) <= -0.3);
ndwi_pix_2 = sum(app.NDWI(:) > -0.3 & app.NDWI(:) <= 0);
ndwi_pix_3 = sum(app.NDWI(:) > 0 & app.NDWI(:) <= 0.2);
ndwi_pix_4 = sum(app.NDWI(:) > 0.2 & app.NDWI(:) <= 1);
```

3.4.3. Histogramas de bandas espectrales

Asimismo, con la finalidad de alcanzar un mejor análisis del comportamiento espectral por cada banda espectral, se optó por desarrollar un código fuente para visualizar los histogramas de cada una de las bandas espectrales. De esta manera, tales histogramas permitieron dar un mejor entendimiento de la distribución de los valores de reflectancia en cada una de las bandas. En el siguiente párrafo, se muestra el código fuente de programa utilizado en la interfaz gráfica App Designer para el trazado y visualización de los histogramas de las cuatro bandas espectrales independientes.

```
% Histograma banda RED
%=====
histogram(app.histogramared, app.red_band(:), 'FaceColor', 'r', 'FaceAlpha', 1, 'EdgeColor', 'none');
xlim(app.histogramared, [min(app.red_band(:)), max(app.red_band(:))]);
% Histograma banda GREEN
histogram(app.histogramagreen, app.green_band(:), 'FaceColor', 'g', 'FaceAlpha', 1, 'EdgeColor', 'none');
xlim(app.histogramagreen, [min(app.green_band(:)), max(app.green_band(:))]);
% Histograma banda BLUE
histogram(app.histogramablue, app.blue_band(:), 'FaceColor', 'b', 'FaceAlpha', 1, 'EdgeColor', 'none');
xlim(app.histogramablue, [min(app.blue_band(:)), max(app.blue_band(:))]);
% Histograma banda NIR
histogram(app.histogramanir, app.nir_band(:), 'FaceColor', 'm', 'FaceAlpha', 1, 'EdgeColor', 'none');
xlim(app.histogramanir, [min(app.nir_band(:)), max(app.nir_band(:))]);
```

3.4.4. Perfil de reflectancia

De igual forma, para contribuir con el análisis de la variación de los valores de reflectancia en diferentes áreas o secciones de una imagen espectral, se desarrolló un código fuente para visualizar el perfil de reflectancia a lo largo de cada fila de una imagen seleccionada. Para ello, se añadió una leyenda que permita identificar por color diferente cada una de las bandas espectrales. Adicionalmente, se representó por medio de un componente del tipo slider horizontal la selección manual de la fila a analizar. Es decir, a través de una representación gráfica se mostró la reflectancia versus la posición del pixel para las cuatro bandas espectrales. A continuación, se muestra parte del código fuente de programa utilizado en la interfaz gráfica App Designer para visualizar el perfil de reflectancia por fila, en una de las imágenes satelitales, según la selección realizada manualmente a través del componente slider.

```

% SELECCIONAR UNA LÍNEA DE PÍXELES PARA EXTRAER EL PERFIL DE REFLECTANCIA
% =====
line_row = round(app.FILASlider.Value);
app.filanum.Value = line_row;
% Extracción del perfil de reflectancia
reflectance_profile = [app.red_band(line_row, :); app.green_band(line_row, :); app.blue_band(line_row, :);
app.nir_band(line_row, :)];
% Colores para las líneas del gráfico
% =====
colores = {'r', 'g', 'b', 'm'};
% Mostrar el perfil de reflectancia en el UIAxes
hold(app.preflectancia, 'on');
for i = 1:size(reflectance_profile, 1)
    plot(app.preflectancia, reflectance_profile(i, :), 'Color', colores{i}, 'LineWidth', 1);
end
hold(app.preflectancia, 'off');
% Configuración de los límites del eje X
% =====
xlim(app.preflectancia, [1 size(app.red_band, 2)]); % Número de columnas de la imagen

```

3.4.5. Reflectancia promedio y distribución acumulativa

De igual modo, para conocer más aún el tema relacionado a la reflectancia, se desarrolló un código de programa que permitió visualizar en el componente Axes de la interfaz gráfica App Designer del Matlab, el cálculo y la distribución acumulativa de los valores de reflectancia y el promedio de esta para las áreas seleccionadas. Esto proporcionó una medida resumida en la imagen satelital seleccionada. Se comparte parte del código fuente utilizado.

```

% CÁLCULO DE LA REFLECTANCIA PROMEDIO DE CADA BANDA PARA TODA LA IMAGEN
% =====
mean_red_band = mean(app.red_band(:));
mean_green_band = mean(app.green_band(:));
mean_blue_band = mean(app.blue_band(:));
mean_nir_band = mean(app.nir_band(:));
% Graficar la reflectancia promedio de cada banda en el UIAxes
b = bar(app.reflecprom, [mean_red_band, mean_green_band, mean_blue_band, mean_nir_band]);

% Asignación de color a cada barra según la banda espectral
% =====
b.FaceColor = 'flat';
b.CData(1,:) = [1 0 0]; % Rojo para la banda roja
b.CData(2,:) = [0 1 0]; % Verde para la banda verde
b.CData(3,:) = [0 0 1]; % Azul para la banda azul
b.CData(4,:) = [1 0 1]; % Morado para la banda NIR

```

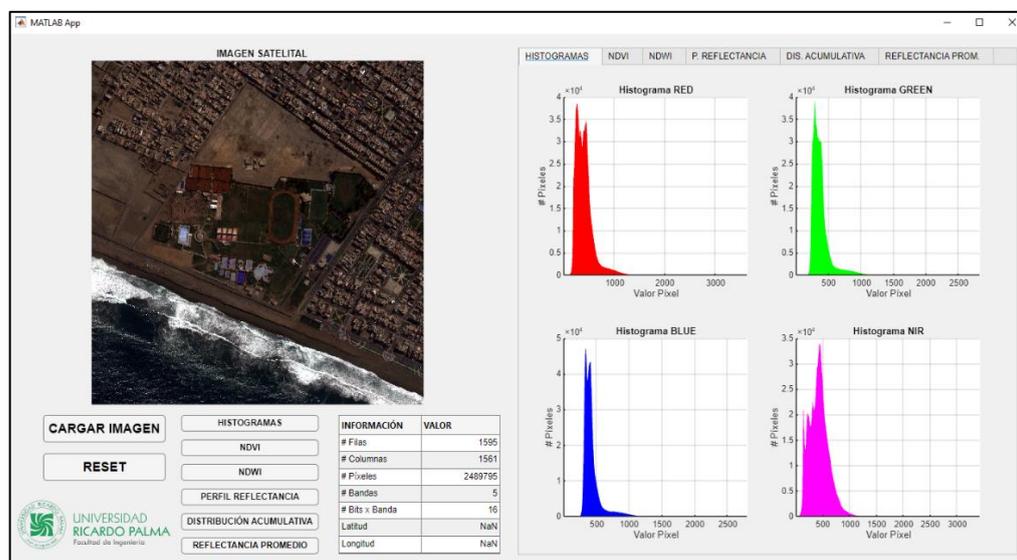
4. Resultados

Los resultados alcanzados después de la realización de la programación y el diseño de la aplicación en la interfaz gráfica App Designer permitieron leer y analizar cualquiera de las 20 imágenes satelitales proporcionadas gratuitamente por el PerúSAT-1. A continuación, se muestran algunos resultados obtenidos de acuerdo con el algoritmo propuesto.

Botón - opción HISTOGRAMAS. Permite visualizar la distribución de valores de reflectancia de las distintas bandas espectrales (rojo, verde, azul, NIR). Un histograma representa la frecuencia de aparición de estos valores, y facilita la detección de patrones y anomalías en los datos. Esta herramienta es esencial para la mejora y corrección de imágenes, así como para la clasificación de uso del suelo y cobertura terrestre. La implementación de este botón incluye la verificación de la carga de datos y la generación de histogramas para cada banda, lo que proporciona una representación visual clara y detallada de la información espectral. A continuación, se muestra un ejemplo en la figura 5.

Figura 5

Visualización del histograma de las cuatro bandas espectrales de una imagen satelital en la interfaz gráfica App Designer del Matlab



Nota: Tomado de una captura de pantalla de una simulación en Matlab

Botón – opción NDVI. Permite calcular y visualizar el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), una métrica clave en la teledetección para evaluar la salud y densidad de la vegetación. El NDVI se calcula utilizando las bandas roja y NIR, y sus valores varían entre -1 y 1. Entre estos, los valores cercanos a 1 indican vegetación densa y saludable. Este botón no solo muestra el NDVI en un gráfico con diferentes estilos de colormap, sino que también clasifica los píxeles en rangos específicos, y actualiza una tabla con estos datos, lo que facilita la interpretación y análisis cuantitativo de la vegetación en la imagen. Seguidamente, la figura 6 muestra un ejemplo de la representación del cálculo del índice normalizado NDVI de una de las imágenes satelitales del PerúSAT-1.

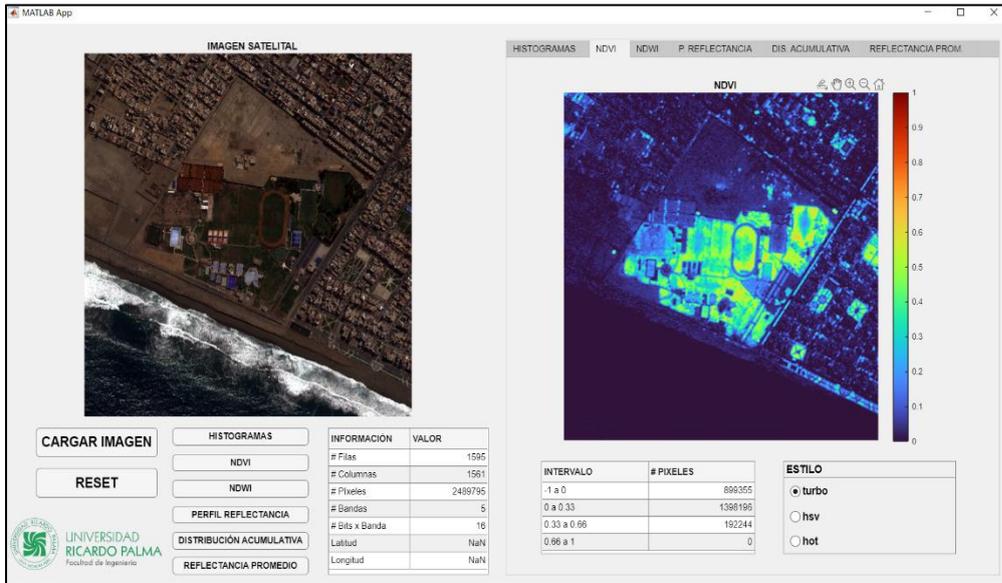
Botón - opción NDWI. Permite calcular y visualizar el Índice de diferencia normalizada de agua (NDWI), una métrica crucial en la teledetección para detectar cuerpos de agua y medir el contenido de agua en la vegetación. El NDWI se calcula utilizando las bandas verde y NIR, con valores que oscilan entre -1 y 1. Entre estos, los valores más altos indican una mayor presencia de agua. Este botón muestra el NDWI en un gráfico y aplica diferentes estilos de colormap. También clasifica los píxeles en rangos específicos, y actualiza una tabla con estos datos para facilitar el análisis cuantitativo y la interpretación de la presencia y distribución del

Interfaz gráfica en Matlab para determinar los índices de vegetación y agua de diferencia normalizada en imágenes multispectrales del satélite PerúSAT-1

agua en la imagen. Seguidamente, la figura 7 muestra un ejemplo de la representación del cálculo del índice normalizado NDWI de una de las imágenes satelitales del PerúSAT-1.

Figura 6

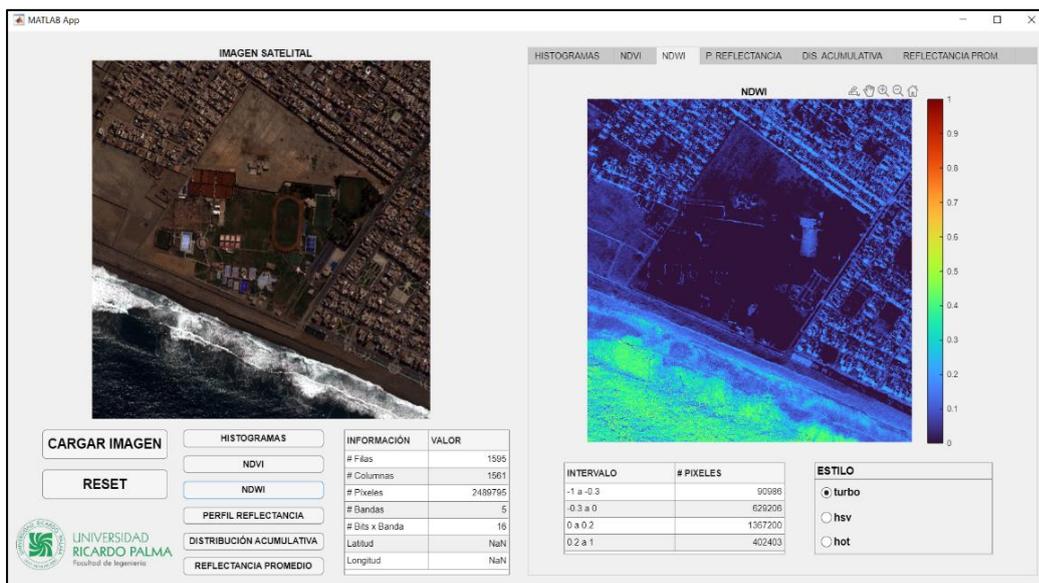
Visualización del índice de diferencia normalizada de vegetación para una imagen satelital del litoral de la ciudad de Lima, en la interfaz gráfica App Designer del Matlab



Nota: Tomado de una captura de pantalla de una simulación en Matlab

Figura 7

Visualización del índice de diferencia normalizada de agua para una imagen satelital del litoral de la ciudad de Lima, en la interfaz gráfica App Designer del Matlab

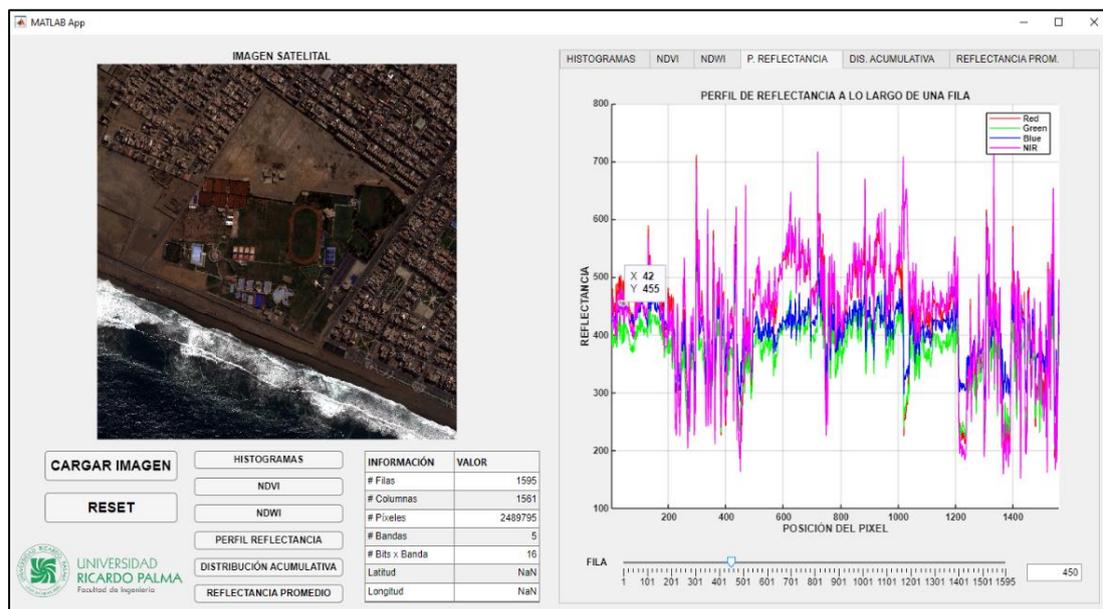


Nota: Tomado de una captura de pantalla de una simulación en Matlab

Botón - opción **PERFIL REFLECTANCIA**. Permite seleccionar una línea específica de píxeles en la imagen para extraer y graficar el perfil de reflectancia de las cuatro bandas espectrales (roja, verde, azul y NIR). Este perfil muestra la variación de la reflectancia a lo largo de una fila de píxeles, lo que proporciona información sobre las características espectrales de los objetos presentes en esa línea seleccionada. Tal es así que, al desplazar el slider o control deslizante, el gráfico y el campo de edición numérica se actualizan en tiempo real. Esto facilita un análisis dinámico y detallado de las variaciones espectrales dentro de la imagen. A continuación, la figura 8 muestra un ejemplo de la representación del perfil de reflectancia a lo largo de la fila número 450 de la imagen satelital correspondiente a un sector del litoral de la ciudad de Lima.

Figura 8

Visualización del perfil de reflectancia a lo largo de la fila N.º450 de una imagen satelital del litoral de la ciudad de Lima, en la interfaz gráfica App Designer del Matlab



Nota: Tomado de una captura de pantalla de una simulación en Matlab

Botón – opción **DISTRIBUCIÓN ACUMULATIVA**. Permite visualizar en la interfaz de usuario, desarrollada en App Designer, la generación de curvas de distribución acumulativa para cada banda espectral (roja, verde, azul y NIR). Estas curvas representan la acumulación de la frecuencia de los valores de píxeles desde el mínimo hasta el máximo, lo que permite visualizar la distribución y concentración de los valores de reflectancia. Este análisis es esencial para comprender la variabilidad y las características estadísticas de las bandas espectrales, pues facilita la identificación de patrones y anomalías en la imagen. A continuación, la figura 9 muestra un ejemplo de la representación visual de la distribución acumulativa de una imagen satelital correspondiente al litoral de la ciudad de Lima.

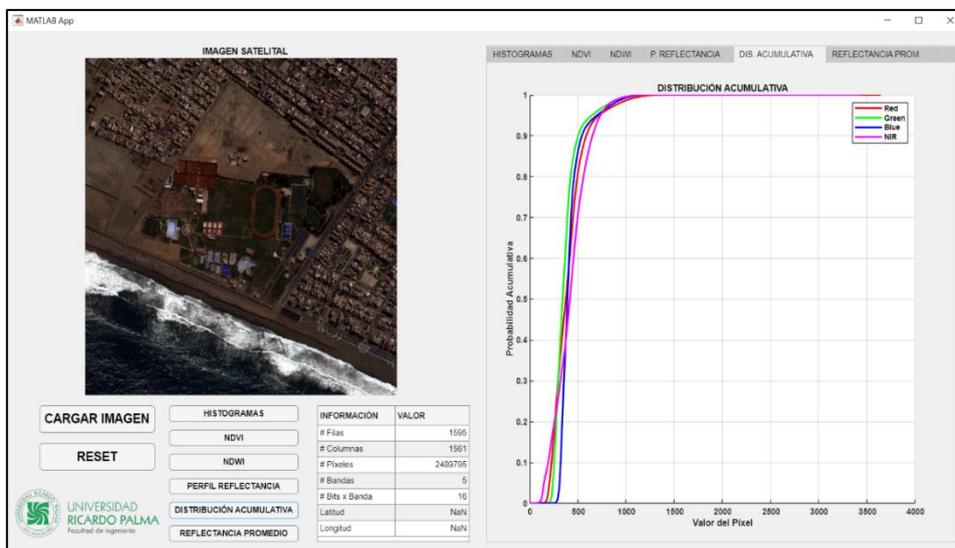
Botón de **REFLECTANCIA PROMEDIO**. Permite visualizar en la interfaz de usuario, desarrollada en App Designer, el cálculo de la reflectancia promedio de cada banda espectral (roja, verde, azul y NIR) de la imagen completa. Este análisis proporciona una visión global de la reflectancia media de la superficie terrestre capturada, lo que permite evaluar y comparar

Interfaz gráfica en Matlab para determinar los índices de vegetación y agua de diferencia normalizada en imágenes multispectrales del satélite PerúSAT-1

la respuesta espectral general de diferentes bandas. Además, esta información es fundamental para la interpretación de las propiedades y características del terreno en estudios de teledetección. A continuación, la figura 10 muestra un ejemplo de la representación visual de la reflectancia promedio en una imagen satelital correspondiente al litoral de la ciudad de Lima.

Figura 9

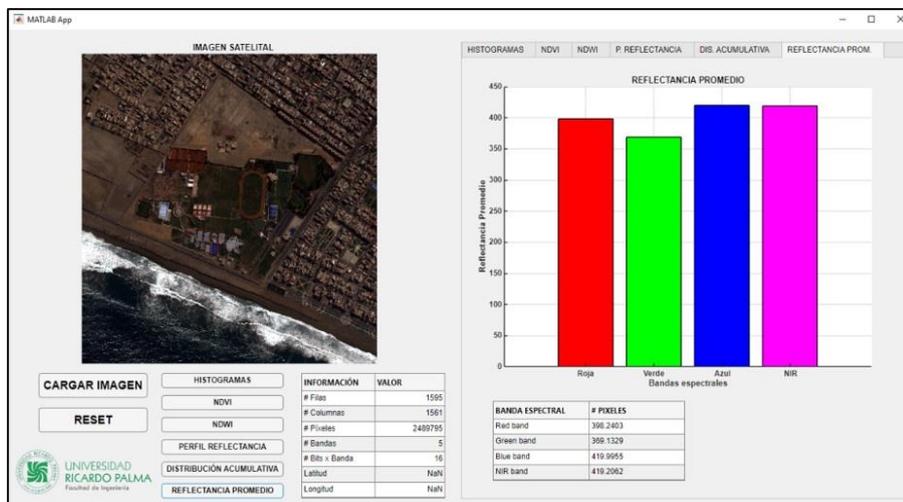
Visualización de la distribución acumulativa de una imagen satelital del litoral de la ciudad de Lima en la interfaz gráfica App Designer del Matlab



Nota: Tomado de una captura de pantalla de una simulación en Matlab

Figura 10

Visualización de la reflectancia promedio de una imagen satelital del litoral de la ciudad de Lima en la interfaz gráfica App Designer del Matlab



Nota: Tomado de una captura de pantalla de una simulación en Matlab

5. Conclusiones

Este trabajo permitió el cálculo de los índices de diferencia normalizada NDVI y NDWI a partir del procesamiento multiespectral de imágenes satelitales de PerúSAT-1 para un sector del litoral y ciertos distritos en la zona sur de Lima. La utilización del software Matlab y sus herramientas específicas facilitó la generación precisa de estos índices. Esto permitió una visualización detallada de la densidad de vegetación y la presencia de agua en las áreas de estudio, así como también otros datos relevantes como histogramas, perfiles de reflectancia y distribuciones acumulativas. De esta manera, la aplicación desarrollada proporciona una interfaz intuitiva para la interpretación de los resultados, lo que facilita el análisis basado en los datos procesados.

Asimismo, es viable la ampliación de las funcionalidades de la aplicación interactiva desarrollada en la interfaz App Designer, que incluye la posibilidad de exportar los resultados en formatos compatibles con sistemas de información geográfica (SIG). Además, se recomienda integrar la aplicación con bases de datos geoespaciales para realizar análisis más integrales y automatizados.

También es considerable la incorporación de métodos de procesamiento en la nube para reducir el tiempo de cómputo y gestionar eficientemente grandes volúmenes de datos. Esto podría facilitar la realización de análisis en tiempo real en futuras aplicaciones de monitoreo ambiental y agricultura de precisión.

Referencias bibliográficas

- [1]. R. Giraldo, “Análisis de aplicaciones espectrales derivados de imágenes satelitales PerúSAT-1”, *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, Vol. 24, Núm. 47, pp. 75-81, Junio 2021. [En línea]. Disponible en <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/20653>
- [2]. A. Ramirez, A. Pacheco and J. Telles, “Mapping vegetation, water bodies and urban areas in PeruSAT-1 satellite imagery”, 2019 XXII Symposium on Image, Signal Processing and Artificial Vision (STSIVA), Bucaramanga, Colombia, 2019, pp. 1-4, doi: [10.1109/STSIVA.2019.8730269](https://doi.org/10.1109/STSIVA.2019.8730269).
- [3]. J. Gonzalez, K. Sankaran, V. Ayma and C. Beltran, “Application of Semantic Segmentation with Few Labels in the Detection of Water Bodies from Perusat-1 Satellite’s Images”, 2020 IEEE Latin American GRSS & ISPRS Remote Sensing Conference (LAGIRS), Santiago, Chile, 2020, pp. 483-487, doi: [10.1109/LAGIRS48042.2020.9165643](https://doi.org/10.1109/LAGIRS48042.2020.9165643).
- [4]. D. Hernández y J. Gulfo, *Procesamiento de Imágenes Multiespectrales adquiridas con drones para la caracterización de sistemas agroambientales*, Informe Final de Trabajo de Grado, Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia, 2018.
- [5]. L. García-Bazán, L. Jiménez-Troncoso and J. Nilton Montoya, “Digital Processing Techniques for PeruSat-1 Satellite Images for Estimation of the Surface Area of a Glacier”, 2023 International Conference on Mechatronics, Control and Robotics (ICMCR), Jeju, Korea, Republic of, 2023, pp. 49-53, doi: [10.1109/ICMCR56776.2023.10181032](https://doi.org/10.1109/ICMCR56776.2023.10181032).

- [6]. S. Díaz Cruz, *Análisis multispectral mediante imágenes satelitales para identificar zonas de recarga hídrica subterránea en la cuenca Jequetepeque*, Tesis para optar el título de Ingeniero Geólogo, Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú, 2018.
- [7]. AXESS Networks, “Las imágenes satelitales y sus aplicaciones en la vida cotidiana”, Febrero 2021. [En línea]. Disponible en: <https://axessnet.com/las-imagenes-satelitales-y-sus-aplicaciones-en-la-vida-cotidiana/>.
- [8]. Ministerio de Transportes y Comunicaciones, “Mapeo con imágenes del satélite peruano PerúSAT-1 y clasificación de la carretera central”, Noviembre 2017. [En línea]. Disponible en: https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/Imagen_Satelital/6%20Mapeo_Imag_PeruSat-1_PE_22_San_Bartolome_Matucana_Nov-2017.pdf
- [9]. Agencia Espacial del Perú CONIDA, “Sistema Satelital Peruano PerúSAT-1 y sus aplicaciones”, s.f. [En línea]. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2051150/Per%C3%BASAT-1%20y%20sus%20aplicaciones.pdf.pdf>
- [10]. A. Quispe, J. Vela y P. Huamaní, “Algoritmos de visión computacional e inferencia difusa en App Designer de Matlab para probable diagnóstico de melanoma”, *Revista Scientia*, vol. 25, núm. 25, 2023.
- [11]. A. Ramírez, A. Pacheco y J. Telles, “Mapping vegetation, water bodies and urban áreas in PeruSAT-1 satellite imagery”, 2019 XXII Symposium on Image, Signal Processing and Artificial Vision (STSIVA), Colombia, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8730269>
- [12]. Plataforma Digital Única del Estado Peruano, “Acceder a imágenes satelitales a través del sistema COF”, Diciembre 2023, [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.pe/8545-acceder-a-imagenes-satelitales-a-traves-del-sistema-cof>
- [13]. The Math Works, Inc. “Image Processing Toolbox”, 1994-2024. [En línea]. Available: <https://la.mathworks.com/products/image-processing.html>
- [14]. EOS DATA ANALYTICS, “NDVI: Índice de vegetación de diferencia normalizada”, diciembre 2023, [En línea]. Disponible en: <https://eos.com/es/make-an-analysis/ndvi/>
- [15]. EOS DATA ANALYTICS, “NDWI: Índice de agua de diferencia normalizada”, Setiembre 2021, [En línea]. Disponible en: <https://eos.com/es/make-an-analysis/ndwi/>

Trayectoria académica

Paulo Daniel Ramírez Vera

Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú

Egresado de la carrera de Ingeniería Electrónica en la Universidad Ricardo Palma, con planteamiento de tesis en proceso para la obtención del título de Ingeniero Electrónico. Experiencia profesional en redes, seguridad electrónica y programación. Interés en las áreas de procesamiento digital de imágenes y redes neuronales artificiales.

Autora corresponsal: paulo.ramirez@urp.edu.pe

Orcid: <https://orcid.org/0009-0008-1694-5865>

Pedro Freddy Huamaní Navarrete

Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú

Ingeniero Electrónico titulado por la Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú (1999). Magíster en Ingeniería Eléctrica por la Pontificia Universidad Católica de Río de Janeiro, Brasil (1997). Doctor en Ingeniería de Sistemas por la Universidad Alas Peruanas, Lima, Perú (2013). Experiencia profesional en investigación y desarrollo en las áreas de Digital Signal Processing, Machine Learning, y Automatic Control, en empresas del sector público y privado. Experiencia académica como docente y asesor de tesis a nivel de pregrado y posgrado en universidades públicas y privadas. Publicaciones de artículos en IEEE Xplore y en revistas/actas de congresos indizados a SCOPUS. Revisor de artículos para revistas y congresos nacionales e internacionales. Ponente en diversos eventos académicos. Docente investigador en la Universidad Ricardo Palma. Miembro del Colegio de Ingenieros del Perú y Coordinador-Investigador principal de un Grupo de Investigación en la Universidad Ricardo Palma.

phuamani@urp.edu.pe

Orcid: <https://orcid.org/phuamani@urp.edu.pe>

Contribución de autoría

Paulo Daniel Ramírez Vera

- Recopilación de las imágenes satelitales proporcionadas por el satélite PerúSAT-1.
- Implementación de rutinas de programación relacionados al procesamiento digital de imágenes utilizando el Toolbox Image Processing del software Matlab.
- Implementación de algoritmos para la determinación de los perfiles de reflectancia, distribuciones acumulativas y visualización de histogramas.
- Implementación de interfaz gráfica de usuario en App Designer del Matlab.

Pedro Freddy Huamaní Navarrete

- Implementación de algoritmos de extracción de características en las imágenes recogidas del satélite PerúSAT-1.
- Asesoría para elegir los algoritmos computacionales relacionados al procesamiento digital de imágenes utilizando el Toolbox Image Processing del software Matlab.
- Asesoría para la implementación de la interfaz de usuario en la plataforma App Designer del Matlab.

Redacción y revisión a nivel de publicación científica, lo que asegura que los resultados sean rigurosos, confiables y relevantes para la comunidad científica en el primer y segundo artículo de investigación.

Financiamiento

La presente investigación ha sido realizada con recursos propios de los coautores de la investigación.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses en la presente investigación.

Responsabilidad ética y legal

El desarrollo de la investigación se realizó bajo la conformidad de los principios éticos del conocimiento, y respetó las normas de:

- Uso de la NORMA IEEE
- Acceso al repositorio RENATI
- Acceso al repositorio ALICIA
- Acceso al IEEE Xplore Digital Library

Agradecimiento

A la Dirección de Aplicaciones Espaciales y Geomática (DIAPG) de la Agencia Espacial del Perú (CONIDA) por las facilidades otorgadas al proporcionarnos imágenes satelitales del PerúSAT-1, con la finalidad de desarrollar este trabajo de investigación; y, en especial, al Técnico de Segunda F.A.P. Juan Carlos Tejada Carrillo, Operador Asistente de Aplicaciones Espaciales y Geomática del DIAPG-CONIDA, quien correspondió con su ayuda desinteresada para la manipulación e interpretación de las imágenes utilizadas.

Correspondencia: paulo.ramirez@urp.edu.pe