

# PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES MEDIANTE SOFTWARE Y SU APLICACIÓN EN ÁREAS DE LA INGENIERÍA

Juan Ignacio García Ruiz<sup>1</sup>, Jesús Manuel Bernal Camacho<sup>1</sup>, Edgar Omar Burgueño Sanchez<sup>1</sup>, Ana Paulina Alfaro Rodriguez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Ingeniería y Tecnología de Mazatlán (MÉXICO)

<sup>2</sup>Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Informática Mazatlán (MEXICO)

## Resumen

La cartografía terrestre basada en procesamiento de imágenes satelitales permite generar resultados cartográficos y estadísticos que dejan comprender de una manera simple el impacto y los cambios en el ambiente. El desarrollo de tecnologías a nivel aeroespacial en conjunto con los avances de la ingeniería de software, han detonado nichos de investigación que brindan un mayor alcance en la solución de problemas. Debido a lo anterior, resulta importante la implementación estratégica de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y su correcta aplicación para cada investigación según sea el caso por analizar. La presente investigación reúne información relacionada a las características de los satélites Landsat proveedores de imágenes raster, muestra las combinaciones de bandas, franjas espectrales y aplicaciones que se establecen al momento del procesamiento de una imagen satelital. Además, expone una breve implementación del software QGIS para el postproceso de rasters obtenidos de los satélites Landsat 7 y 9, con la finalidad de comparar la calidad de los resultados y destacar su aplicación en diferentes áreas científicas.

Palabras clave: Imagen vectorizada, landsat, ráster, SIG, teledetección.

## Abstract

The land cartography based on satellite image processing allows generating cartographic and statistical results to understand in a simple way the impact and changes in the environment. The development of aerospace technology, together with the advances in software engineering, have detonated research niches, providing greater scope for solving problems. The above is based on the ability to explore large territorial areas through satellite images combined with the advanced tools of software. The present research shows information related to the characteristics of the Landsat satellites which provide raster images, shows information related to the combinations of bands, spectral fringes and its applications that are established at the time of processing a satellite image. In addition, a brief implementation of the QGIS software for the post-processing of rasters obtained from the Landsat 7 and 9 satellites is presented, with the purpose of comparing the quality of the results and highlighting its application in different scientific areas

Keywords: Vectorized image, landsat, raster, SIG, remote sensing.

## 1 INTRODUCCIÓN

La constelación Landsat está formada por 7 satélites. El primero de ellos, fue puesto en órbita el 23 de julio de 1972 con el nombre de ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellite), y del satélite 2 al 7 los nombraron Landsat. Este último fue lanzado al espacio el año de 1998, actualmente se encuentra en operaciones. Dichos satélites provienen tanto conceptual como estructuralmente de los satélites para fines meteorológicos llamados Nimbus. Los cuales puestos en órbita llevaban diversos instrumentos para la mayor captación de información de la superficie terrestre, cada vez con mayor precisión y detalle [1], [2].

Actualmente se encuentran activos los Landsat 5 y 7. Los cuales son regidos por la Administración Nacional Espacial de los Estados Unidos de América (NASA), y la producción y comercialización de las imágenes es administrada por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Las imágenes se encuentran compuestas por siete u ocho bandas espectrales, que fueron seleccionadas para el monitoreo de la vegetación, aplicaciones geológicas y para el estudio de los recursos naturales. Éstas pueden combinarse

para producir distintas gamas de imágenes de color, que incrementarán la aplicabilidad en diversas áreas de estudio.

En relación a la construcción de los satélites Landsat, los tres primeros satélites fueron construidos a partir de modificaciones de los satélites NIMBUS, estos tenían una órbita circular, sincrónica con el sol y a una altura aproximada de 920 km, y hacían una órbita completa alrededor de la tierra en 103 minutos y 27 segundos. Cada 18 días pasaban sobre la misma posición de la tierra; cada satélite constaba de un sistema de cámaras de televisión que observaban y registraban una imagen de 185 km, de manera instantánea; la resolución espacial en ERTS-1 Y LANDSAT-2 fue de 80m x 80m, esto último equivale a la medida de un píxel; con tres bandas espectrales (rojo, verde e infrarrojo cercano). Mientras que el Landsat-3 tenía la resolución por píxel de 40m x 40m con una banda espectral (pancromática).

Los Landsat 4 y 5, se modificaron tanto en la forma de la plataforma como en sus características orbitales; la altitud fue modificada a 215 km menos que los primeros y el tiempo de paso se redujo 2 días, el periodo orbital fue reducido en 4.37 minutos, donde el sensor MMS (SISTEMA MULTI ESPECTRAL), el cual fue colocado en el Landsat-4, por insistencia de los investigadores del departamento de Agricultura de Estados Unidos, quienes buscaban un sistema multi espectral para estudios agrícolas. Se trata de un barredor óptico electrónico, que funciona operando en cuatro canales del espectro electromagnético. La imagen tomada por este sensor es de un área de 185 km, con una resolución espacial por píxel de 80m x 80m.

En el Landsat 5, el sensor TM (Modo Térmico), es un avanzado sensor de barrido multiespectral, creado para proporcionar una mayor resolución espacial y una mejor distinción entre los objetos de la superficie terrestre. Con una mayor fidelidad geométrica y a su vez con una mayor precisión radiométrica en relación con el sensor MSS. Estos operan simultáneamente en siete bandas espectrales, el cual tiene una resolución espacial de 30m por píxel y en las bandas del visible e infrarrojo medio y 120m por píxel, en la banda termal con su imagen terrestre de 185km.

Mientras el Landsat 7 fue diseñado para una vida útil de 5 años, pero desde 1998 está en operaciones. Tiene la capacidad de recolectar, y transmitir 532 imágenes por día. Cuenta con una órbita helio sincrónico, que significa que pasa siempre a la misma hora por un determinado lugar. Tiene una visión de toda la tierra en un tiempo de 15 días y realiza 232 órbitas. Además, posee una capacidad de almacenamiento de 100 imágenes, el instrumento esencial de este satélite es el Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+). Sus características espectrales son en el multiespectral y modo espectral pancromático en la banda 8 pancromática [2].

El Landsat 8 fue puesto en órbita el 11 de febrero del 2013, operado en colaboración de la NASA y el USGS. El estudio de las imágenes se realiza mediante dos sensores principales, el Operational Land Imagen (OLI), que usa 9 bandas espectrales, y el segundo es el Termal InfraRed Sensor (TIRS), que opera en el rango de infrarrojos de onda larga. El satélite proporciona imágenes con una resolución moderada que varía en diferentes bandas de 15m por píxel, en la más precisa hasta 100m en el infrarrojo de onda larga [3].

El Landsat 9 fue lanzado al espacio el día 27 de septiembre del 2021. Tomó su primera imagen el 31 de octubre del mismo año. Transportaba dos instrumentos principales, que son el OLI-2 que detecta la luz visible, el infrarrojo cercano y el infrarrojo de onda corta en nueve longitudes de onda; y el segundo instrumento es el TIRS-2, que detecta la radiación térmica en dos longitudes de onda, que son utilizadas para medir las temperaturas de la tierra y sus cambios. Otros datos importantes a destacar consisten en que con una resolución radiométrica de 14 bits, el Landsat 9 puede diferenciar más de 16,000 tonos de una longitud de onda dada; el Landsat 8 proporciona datos de 12 bits, y 4.096 tonos. Landsat 7, el satélite que está siendo remplazado, detecta solo 256 tonos y con una resolución de 8 bits [4].

Tabla 1. Sensores.

	<b>Bandas</b>	<b>Faja espectral</b>	<b>Aplicaciones</b>
<b>Los canales y sus aplicaciones</b>	1	Azul	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mapeo de aguas costeras</li> <li>• Diferenciación entre suelo y vegetación</li> <li>• Diferencia entre vegetación conífera y decidua</li> </ul>

	<b>Bandas</b>	<b>Faja espectral</b>	<b>Aplicaciones</b>
	2	Verde	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mapeo de vegetación</li> <li>• Calidad del agua</li> </ul>
	3	Rojo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Absorción de la clorofila</li> <li>• Áreas urbanas y uso del suelo</li> <li>• Agricultura</li> <li>• Calidad del agua</li> </ul>
	4	Infrarrojo cercano	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Delimitación de cuerpos de agua</li> <li>• Mapeo geomorfológico y geológico</li> <li>• Identificación de áreas de incendios y áreas húmedas</li> <li>• Agricultura y vegetación</li> </ul>
	5	Infrarrojo termal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso del suelo</li> <li>• Medición de la humedad en la vegetación</li> <li>• Diferenciación entre nubes y nieve</li> <li>• Agricultura</li> <li>• Vegetación</li> </ul>
	6	Infrarrojo termal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mapeo térmico en plantas</li> <li>• Corrientes marinas</li> <li>• Propiedades térmicas del suelo</li> </ul>
	7	Infrarrojo medio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación de minerales</li> <li>• Mapeo hidrotermal</li> </ul>

*Tabla 2. Combinaciones de bandas RGB y sus aplicaciones para raster de Landsat 1-7.*

<b>Combinación de bandas</b>	<b>Aplicaciones</b>
1, 2, 3	<p>Esta combinación que utiliza las bandas de porción visible del espectro electromagnético es la que más se aproxima a los colores reales.</p> <p>Es ideal para la información del agua: corrientes, sedimentos en suspensión, turbidez. En esta imagen las tonalidades azules representan el agua y mientras las tonalidades marrones representan las áreas urbanas y las verdes la vegetación.</p>
2, 3, 4	<p>La banda infrarrojo cercano es útil para identificar los límites entre el suelo y el agua. Los cuerpos de agua con sedimentos suspendidos se reflejan en tonalidades azul claro y por lo contrario los que poseen pocos sedimentos en azul oscuro. Donde las áreas urbanas se muestran de igual manera en tonos azules y la banda 4 es sensible a la clorofila la cual se representa en tonos rojos permitiendo observar las variaciones de vegetación.</p>
3, 4, 5	<p>Esta combinación de dos bandas en la región del infrarrojo muestra una mayor diferenciación entre el agua y la superficie terrestre, donde la vegetación se representa en diferentes tonalidades de verdes y rosas que varían en función de la ubicación. Las áreas urbanas se representan en tonos rosados, donde el agua independientemente de la suspensión de sedimentos se muestra en color negro.</p>
3, 5, 4	<p>Esta combinación con una banda en la región visible y dos en el infrarrojo, utiliza las mismas combinaciones 3,4 y 5; donde asociada a colores diferentes la cual permite una diferenciación de colores como la vegetación se representa en tonos marrones, verdes y amarillos y las áreas urbanas en tonos azul claro, donde de igual manera las aguas en tonos azul oscuro.</p>

Tabla 3. Combinaciones de bandas RGB y sus aplicaciones para raster de Landsat 8/9.

Combinación de bandas	Aplicaciones
4, 3, 2	Color natural
5, 6, 2	Vegetación saludable
5, 6, 4	Tierra/agua
7, 5, 3	Natural con remoción atmosférica
7, 5, 4	Infrarrojo de onda corta

Asimismo, resulta importante definir las imágenes Ráster, como una imagen compuesta por distintas formas o formatos como son las imágenes de satélites o Landsat, fotografías aéreas digitales, entre otros [5]. De igual forma las imágenes vectorizadas se definen como una imagen compuesta principalmente por fórmulas matemáticas y formas geométricas cuya principal finalidad es generar imágenes con mayor nitidez, sin distorsionarse. Lo que proporciona mejores resultados [5].

## 2 METODOLOGÍA

A continuación, se presenta una búsqueda exhaustiva de los principales softwares empleados para el tratamiento de imágenes satelitales. Estos se caracterizan por ser de código abierto, representan un apoyo para la realización de cualquier aplicación de la ingeniería, partiendo de las imágenes Landsat o digitales.

Asimismo, se prosiguió con la descarga de los ráster mediante la página del servicio geológico de los estados unidos (USGS) Earth Explorer, donde se descargaron imágenes de la zona del puerto de Mazatlán, Sinaloa. En formato Landsat 7 (Figura 1 y 3) y Landsat 9 (Figura 2 y 4), para hacer una comparativa de la resolución de cada imagen ya que anteriormente se describió la capacidad de tonalidades y el procesamiento en bits de cada satélite, y con esto poder determinar las bondades de trabajar con uno u otro ráster. Asimismo, se implementó la utilización del QGIS, con el objetivo de mostrar las equiparaciones de los ráster procesados y las diferencias más importantes detectadas durante su análisis.

### 2.1 QGis

Este software desarrolla numerosas funcionalidades y formatos en el caso de ráster, vector y base de datos, el cual lo hace destacar por la sencillez de sus elementos y la velocidad de operación. Desarrolla cartografía, producción de mapas, y herramientas de generación de informes como los atlas de riesgo, informes con mapas entre otros. Se utiliza en computadoras de escritorio y en teléfonos móviles con sus aplicaciones. De esta forma, se puede compartir con mayor facilidad la información con la comunidad que utiliza este software [6].

### 2.2 GRASS GIS (Sistema de Soporte para el Análisis de Recursos Geográficos)

Se utiliza principalmente para la gestión y el análisis de datos geoespaciales, así como para el procesamiento de imágenes, la producción de mapas y gráficos, visualización y modelado espacial [7]. Es ideal para aplicarse en el modelado de terrenos y ecosistemas, en el área de hidrología tiene una visualización de datos ráster y vectoriales, además de hacer una gestión y análisis de datos geoespaciales y un procesamiento de imágenes satelitales y sus áreas de entrada. Ofrece un marco temporal para el procesamiento avanzado de series de tiempo y es compatible con Python para un post proceso más rápido y eficiente [8].

### 2.3 SAGA (Sistema para Análisis Geo-científicos Automatizados)

Es un Sistema de Información Geográfica (SIG) usado para el análisis y edición de datos geográficos. Incluye un gran número de módulos para el análisis vectorial (puntos, líneas y polígonos), puede trabajar con tablas y datos ráster [9].

## 2.4 R Y R Studio

R es un entorno de software libre y lenguaje de programación para realizar análisis estadísticos. Es uno de los lenguajes de programación más utilizados en investigaciones por la comunidad estadística. Sin embargo, cabe destacar que, aunque tiene una excelente flexibilidad, no resulta fácil de trabajar así que se decidió adicionar un entorno de desarrollo integrado, R Studio, que permite programar en R. Lo anterior deriva a la implementación del lenguaje de programación con R y GIS, que se ha utilizado en clases para datos espaciales, lectura y escritura de datos espaciales, análisis de patrones de puntos, geoestadística, regresión espacial, análisis ecológico, algoritmos de procesamientos ráster, detección remota, teledetección remota y teledetección Light Detección and Ranging (LiDAR) [8].

## 2.5 White Box

Es un software de análisis de datos geoespaciales desarrollado originalmente por el grupo de investigación de Geomorfometría e Hidrogeomática, de la Universidad de Guelph en Canadá. Contiene más de 550 herramientas para el proceso de datos geoespaciales, además cuenta con características como su amplio uso de computación paralela, que no necesita la instalación de otras bibliotecas y se conecta con facilidad a los entornos de scripting y a otros software-b de Sistema de Información Geográfica (SIG). Se emplea emplear para realizar tareas comunes de análisis de teledetección y Sistema de Información Geográfica (SIG). También cuenta con herramientas avanzadas para el análisis hidrológico espacial y el procesamiento de datos LiDar [10].

## 2.6 PostGIS

PostGIS es la extensión de PostgreSQL que es la base de datos de código abierto más avanzada. Tiene capacidades espaciales, convirtiéndolo en una base de datos espacial. La combinación de ambos es una solución para el almacenamiento, gestión y mantenimiento de datos espaciales. Estas últimas, incluyen herramientas para convertir sistemas de coordenadas, áreas y distancias, superposiciones y creación de geometrías nuevas. Además, es compatible con la mayoría de software de Sistema de Información Geográfica (SIG) [8].

## 2.7 MapServer

Es una plataforma de código abierto para publicar datos espaciales y aplicaciones de mapeo interactivo en la web. Fue desarrollado en los años 90 en la Universidad de Minnesota. No es un Sistema de Información Geográfica (SIG) [11].

## 2.8 Cartopy

Es un paquete de Python diseñado para el procesamiento de datos geoespaciales, con el fin de producir mapas y otros análisis de datos. Emplea las potentes bibliotecas PROJ, NumPy, Shapely e incluye una interfaz programática construida sobre Matplotlib para la creación de mapas de calidad para publicaciones. Sus funciones están orientados a objetos y su capacidad para transformar puntos, líneas, vectores, polígonos e imágenes entre otras proyecciones. Originalmente fue creado en la oficina de meteorología del Reino Unido, para permitir a los científicos visualizar sus datos en mapas de forma rápida y sencilla y con precisión [12].

## 2.9 MxSIG

Plataforma de software que ofrece el INEGI para generar Sistemas de Información Geográfica. Consiste en código abierto para la web, desarrollada para implementar soluciones geomáticas que faciliten el uso, integración, interpretación, publicación y análisis de la información geográfica y estadística. Está desarrollada utilizando módulos robustos de software de código abierto o libres. De las librerías que dan soporte son las siguientes: PostgreSQL, PostGIS, MapServer, OpenLayers, jQuery. Su lenguaje de desarrollo es en: HTML5 (JavaScript y CSS), Java. Así mismo ofrece servicios estandarizados como son: Web Map Service (WMS), Web Map Tile Service (WMTS) y Representational State Transfer (REST) [13].

Entre sus principales funcionalidades tienes ser buscador, medir área, medir distancia, digitalizar, análisis, importar/exportar KML, cruces de información, leyendas, identificar, área de control de escala y desplazamiento, mapa completo, mapa de referencia, acceso y control de las capas de información, capas de información, acceso a capas activas, línea del tiempo, mapa base, descarga de vista, imprimir [13].

## 2.10 Implementación del software QGIS en el tratamiento de imágenes satelitales

Las imágenes utilizadas son de Mazatlán, Sinaloa, México y sus zonas circundantes, estos raster se obtuvieron de Landsat 7 y 9 a través del sitio USGS Earth Explorer. El post proceso se realizó con el software QGIS de licencia abierta, con la finalidad de implementar diferentes combinaciones de banda de acuerdo a las Tablas 2 y 3 y comparar sus resultados.

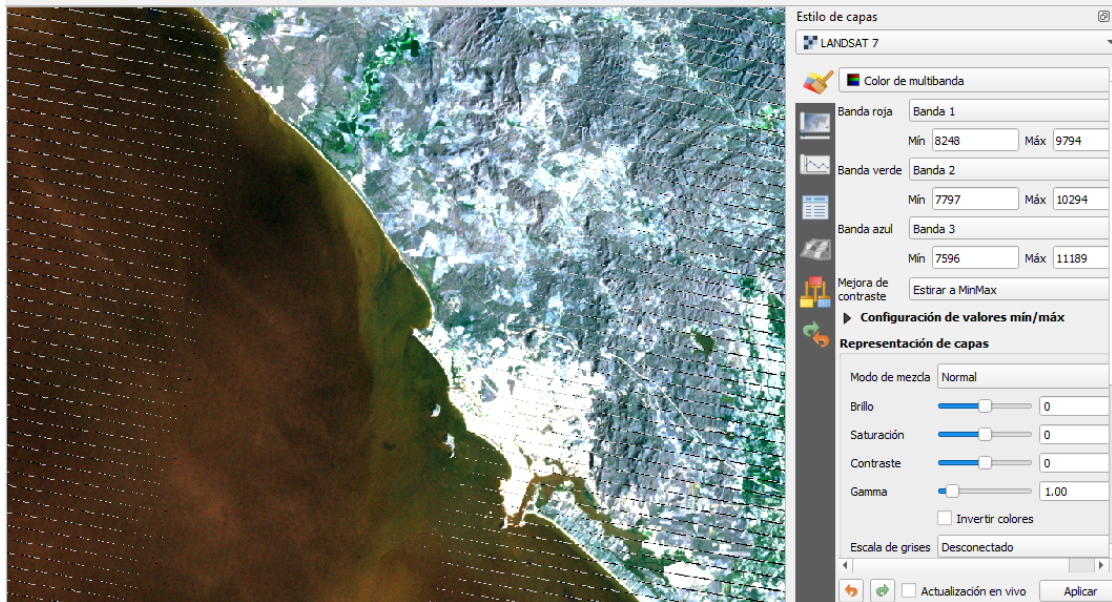


Figura 1. Landsat 7, Combinación de bandas RGB (1, 2, 3).

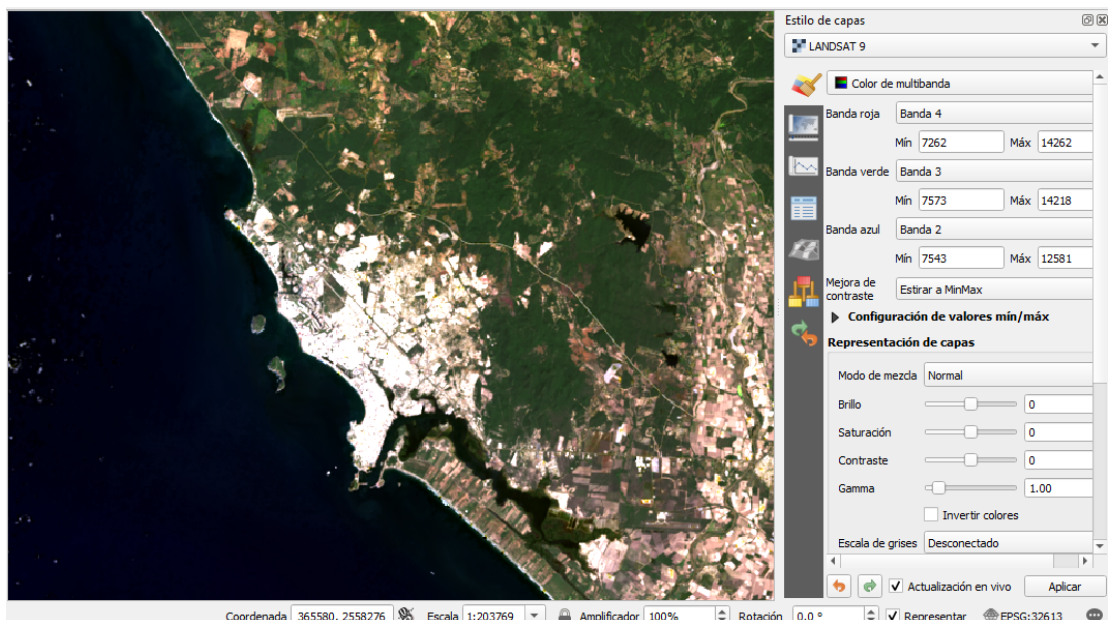


Figura 2. Landsat 9, Combinación de Bandas RGB (4, 3, 2).

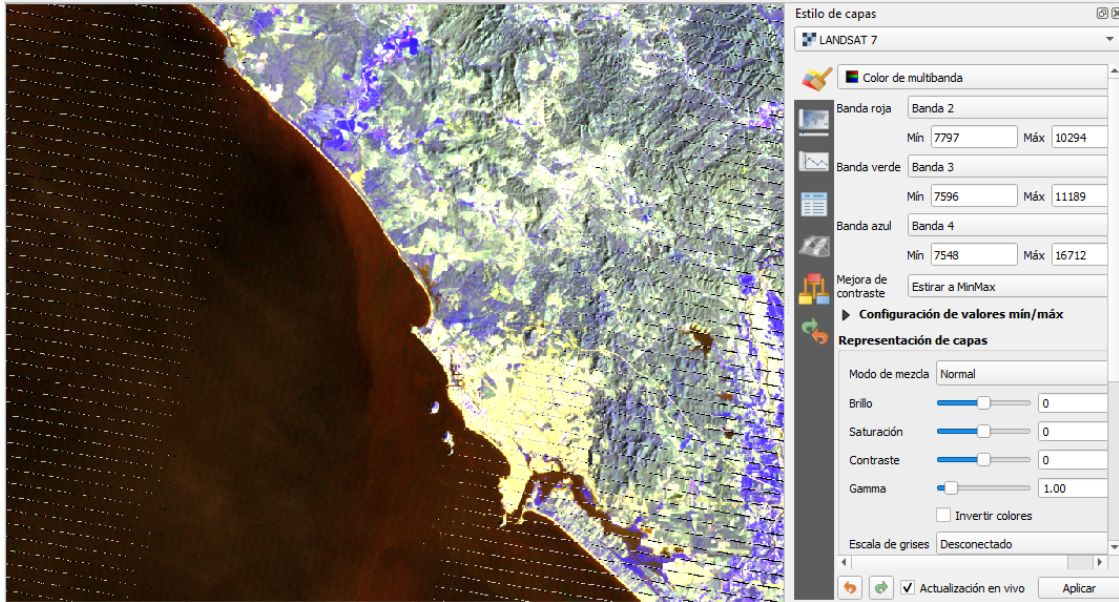


Figura 3. Landsat 7, Combinación de Bandas RGB (2, 3, 4).

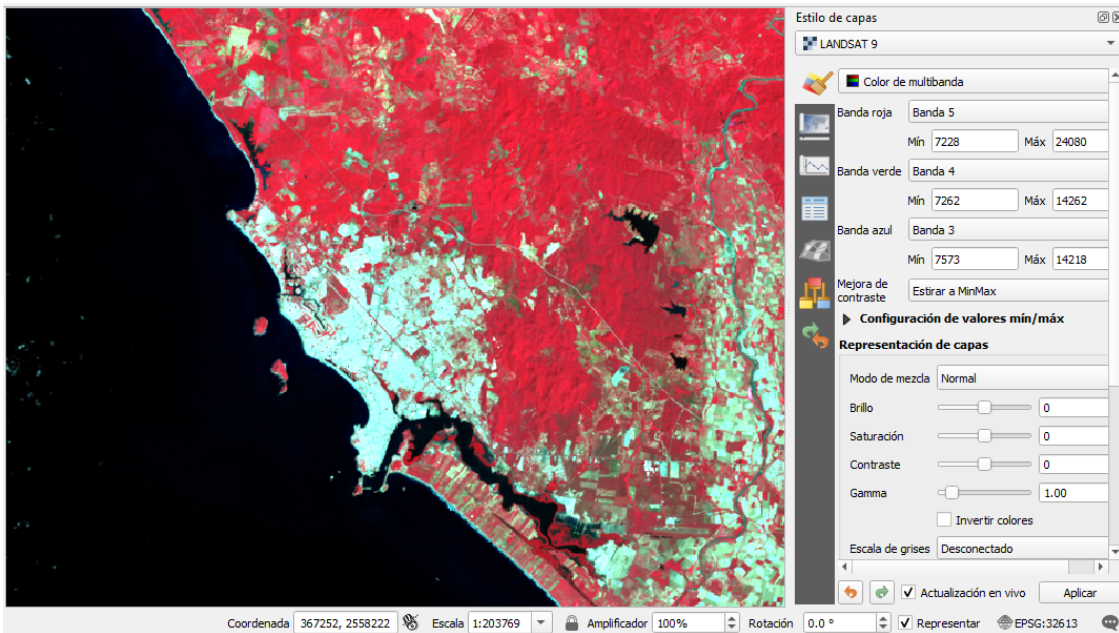


Figura 3. Landsat 9, Combinación de Bandas RGB (5, 4, 3)

### 3 RESULTADOS

En la Figura 1, se muestra el resultado del postproceso en QGIS con combinaciones de banda 1,2,3 del raster obtenido mediante el satélite Landsat 7. De acuerdo a la Tabla 2 esta combinación permite observar los colores reales de la imagen, se puede observar que la calidad de la imagen no es muy buena ya que se muestra con algunas inconsistencias debido al ruido (se describe como falta de información en los píxeles y muestran inconsistencias en la imagen ráster). Lo anterior, puede afectar el análisis de la imagen ya que, en esos píxeles sin información, podrían ser causantes de malas decisiones al emitir resultados sin sustento; Estos desperfectos se pueden corregir mediante códigos de programación como Python, Júpiter o R. Los cuales después de procesar dichas imágenes nos muestran imágenes más nítidas. Con ellas se

puede realizar la inspección o toma de decisiones sobre lo que se investigue. Las tonalidades que representa esta combinación de bandas no son tan precisas o cercanas a la realidad ya que están en tonos verdes, blancos, grises y marrones.

En la Figura 2, se muestra el resultado del postproceso en QGIS con combinaciones de banda 4,3,2 del raster obtenido mediante el satélite Landsat 9, de acuerdo a la Tabla 3 esta combinación permite observar los colores reales de la imagen. Se observa una mayor nitidez, sin ruido y con colores más realistas, lo cual se considera lógico ya que es una imagen que se obtiene a partir de la percepción de las 16,000 tonalidades o colores captadas. Los colores que se muestran son en tonalidades verdes para las áreas de selva baja caducifolia y áreas verdes, dentro y fuera de la ciudad; las tonalidades marrones son de las áreas parceladas y de agricultura, las áreas de color más claro son las que reflejan la ciudad y su mancha urbana y rural; así como los tonos azules para las aguas del mar, el canal de navegación, arroyos y presas.

En la Figura 3, se muestra el resultado del postproceso en QGIS con combinaciones de banda 2,3,4 del raster obtenido mediante el satélite Landsat 7. De acuerdo a la Tabla 2 esta combinación permite observar combinación de infrarrojo; hay tonos claros y amarillos para la zona de la ciudad, tonos azules para zonas deshabitadas y colores verdes en zonas de cerros y selva baja caducifolia, mostrando tonalidades marrones para las aguas del mar y canal de navegación, marismas, arroyos y presas.

En la Figura 4, se muestra el resultado del postproceso en QGIS con combinaciones de banda 5,4,3 del raster obtenido mediante el satélite Landsat 9. De acuerdo a la Tabla 3 esta combinación permite observar combinación de infrarrojo; podemos constatar las tonalidades rojas para representar la vegetación y las zonas agrícolas, en colores azul claro y blancos la zona de la mancha urbana y rural, y a su vez los tonos de las zonas de agua se representan en color obscuro o negro.

De acuerdo a los resultados obtenidos del postproceso en QGIS de las diferentes combinaciones de banda y tomando en cuenta su origen, ya sea Landsat 7 o 9, se observa claramente que las imágenes manifiestan calidades muy distintas. Los raster de Landsat 7 requieren un proceso más de análisis para lograr limpiar la imagen y tener información de mayor calidad, en cambio los raster de Landsat 9 permiten apreciar con mayor nitidez las diferencias entre entornos que predominan en los raster, esto permite explotar con mayor amplitud los beneficios de dicha información.

## 4 CONCLUSIONES

El conjunto de sistemas satelitales Landsat, provee imágenes que permiten realizar una gran cantidad de estudios científicos mediante el uso de bandas espectrales. Entre las áreas multidisciplinarias que se pueden abordar está el monitoreo de la vegetación, aplicaciones geológicas, estudio de los recursos naturales, catastro, urbanismo, agricultura, deforestación, contaminación, ingeniería marítima, entre otras aplicaciones ingenieriles.

El tipo de raster obtenido por los diferentes satélites Landsat influye de manera sustancial en la calidad de las imágenes obtenidas posterior al análisis. Resulta importante recomendar el uso de imágenes Landsat 8/9, ya que en su obtención se implementa mayor tecnología y su precisión se refleja en la calidad de los resultados.

De acuerdo a la información analizada, se ha podido observar versatilidad con respecto a la aplicación de software relacionados con Sistema de Información Geográfica (SIG). Cada uno de ellos, está enfocado a un área de estudio en específico, implementando distintas herramientas para su correcto funcionamiento. Estos avances tecnológicos han permitido al usuario tener una visión, y datos confiables que ayudan en la toma de decisiones permitiendo una buena gestión de los recursos analizados.

Los grandes avances tecnológicos en las diferentes disciplinas, han significado una suma de esfuerzos para la realización de proyectos de investigación cada vez más rigurosos y exactos, logrando resultados que anteriormente no habrían sido posibles de obtener. El área de la Ingeniería Civil en su rama de la Ingeniería Marítima, se ha visto beneficiada de manera significativa mediante la realización de estudios que consideran la evolución de imágenes durante importantes periodos de tiempo. Además de tener la capacidad de estudiar grandes áreas gracias a la cobertura que brindan las imágenes satelitales.



## REFERENCIAS

- [1] C. X. Molo y O. D. Cardozo, “Análisis de la dinámica de las coberturas de la tierra en el este chaqueño entre 2015 y 2019”, *Geográfica digital*, vol. 18, núm. 36, 2021, Doi: 10.30972/geo.18365822
- [2] “Aspectos\_tecnicos\_landsa”.
- [3] EOS DATA ANALYTICS, [https://eos.com/es/blog/bandas-Landsat-8/#:~:text=Landsat%20es%20un%20sat%C3%A9lite,t%C3%A9rmico%20\(de%20onda%20larga\)](https://eos.com/es/blog/bandas-Landsat-8/#:~:text=Landsat%20es%20un%20sat%C3%A9lite,t%C3%A9rmico%20(de%20onda%20larga)).
- [4] NASA.GOV, <https://ciencia.nasa.gov/ciencias-terrestres/una-vista-de-los-angeles-Landsat-9/>
- [5] Esri, “<https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/manage-data/raster-and-images/what-is-raster-data.htm>”, <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/manage-data/raster-and-images/what-is-raster-data.htm>.
- [6] QGis, <https://qgis.org/project/overview/>
- [7] Grass Gis, <https://grass.osgeo.org/learn/manuals/>
- [8] Mapping gis, [https://mappinggis.com/2019/02/r-y-gis-que-es-r-y-su-relacion-con-los-sig/#Ejemplo\\_de\\_creacion\\_de\\_un\\_mapa\\_con\\_R](https://mappinggis.com/2019/02/r-y-gis-que-es-r-y-su-relacion-con-los-sig/#Ejemplo_de_creacion_de_un_mapa_con_R)
- [9] saga, <https://saga-gis.sourceforge.io/en/index.html>
- [10] Whitebox, <https://www.whiteboxgeo.com/>
- [11] MapServer, <https://www.mapserver.org/>
- [12] Cartopy, <https://scitools.org.uk/cartopy/docs/latest/>
- [13] INEGI, <https://www.inegi.org.mx/servicios/mxsig.html>