Consolidación, captura de información métrica y generación de una base de datos a partir de sensores remotos multiespectral aerotransportadas en el proyecto Sierra Central del Perú para posteriores estudios y modelos hidrológicos



Autor

Jaime Alejandro Gaona Patiño

Director Interno

Rose Marie Aldana Boutin

Director externo

Blanca Cecilia Chaves Mazorra

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Ingeniería Topográfica

Bogotá, Colombia

marzo de 2026

Contenido

1. INTRODUCCIÓN 6
2. OBJETIVOS 8
2.1. Objetivo General 8
2.2. Objetivos Específicos 8
3. MARCO TEÓRICO 9
3.1. Fotogrametría 9
3.2. Fotografía aérea 9
3.3. Datos Ráster 9
3.4. Lidar 10
3.5. DTM 10
3.6. Teledetección 10
3.7. Sensores Remotos Multiespectrales: 10
3.8. Índices Espectrales 11
3.9. Herramientas de Análisis 13
3.9.1. QGIS: 13
3.9.2. Herramientas de QGIS 13
3.9.3. Herramientas para crear bases de datos 14
3.9.4. Python: 15
3.9.5. Editores de código visual studio code 18
3.9.6. CIVIL 3D 19
3.9.7. Herramientas de CIVIL 3D 19
3.10. Normativas y Estándares: 20

3.11. Estructura de los datos 21
4. METODOLOGÍA 25
4.1. Adquisición y verificación de imágenes multiespectrales aerotransportadas 27
4.2. Procesamiento digital y cálculo de índices espectrales mediante Python 28
4.3. Digitalización temática y estructuración vectorial en CIVIL 3D y QGIS 36
4.4. estructuración base de datos 43
4.5. Control de calidad y validación de la información geoespacial 51
4.6. Producto final consolidado de la pasantía 52
5. CONCLUSIONES 54
6. RECOMENDACIONES 56
7. ANEXOs 57
8. Bibliografía 58

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Espectro electromagnético en el rango visible utilizado en sensores multiespectrales. 11
Figura 2: diagrama conceptual de la base de datos. 24
Figura 3: Proceso metodológico para la obtención y consolidación de información métrica. 26
Figura 4: Carga de imágenes multiespectrales al SIG para verificación de bandas. 27
Figura 5: Inspección de bandas espectrales disponibles en el ráster. 28
Figura 6: Algoritmo en Python para cálculo índice de vegetación NDWI. 29
Figura 7: Resultados de ejecución del procesamiento de índices espectrales en consola. 31
Figura 8: Ajuste del script para la generación índice de vegetación NDVI. 31
Figura 9: Ajuste del script para la generación del índice de vegetación SAVI. 32
Figura 10: Orto imagen procesada del área de estudio. 32
Figura 11: Producto ráster del índice vegetal SAVI aplicado al área de estudio. 33
Figura 12: Leyenda de clasificación del índice vegetalSAVI. 33
Figura 13: Producto ráster del índice vegetal NDWI aplicado al área de estudio. 34
Figura 14: Leyenda de clasificación del índice vegetal NDWI. 34
Figura 15: Producto ráster del índice vegetal NDVI aplicado al área de estudio. 35
Figura 16: Leyenda de clasificación del índice vegetal NDVI. 35
Figura 17: Capas temáticas estructuradas para digitalización en CIVIL 3D 37
Figura 18: Captura vectorial de elementos territoriales a partir de orto imagen. 38
Figura 19: Configuración de exportación a formato SHP en CIVIL 3D. 39
Figura 20: Conjunto de elementos vectoriales exportados a SIG. 39
Figura 21: Modelo Digital del Terreno (DTM) empleado para análisis hidrológico. 40
Figura 22: Sistema de referencia y propiedades del DTM. 40
Figura 23: Preprocesamiento de drenaje mediante algoritmo Fill Sinks (SAGA). 41
Figura 24: Generación automática de red de drenajes. 42
Figura 25: Refinamiento de drenajes mediante corrección topológica. 43
Figura 26: Estructura carpeta entrega de producto. 53

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Herramientas SIG utilizadas para análisis y procesamiento ráster en QGIS. 14
Tabla 2: Herramientas SIG para estructuración de datos vectoriales. 15
Tabla 3: Librerías de Python aplicadas a análisis y automatización geoespacial. 17
Tabla 4: Elementos de programación empleados en la automatización de cálculos. 18
Tabla 5: Herramientas para digitalización de elementos cartográficos en CIVIL 3D. 19
Tabla 6: Herramientas para exportación de cartografía en formato interoperable. 20
Tabla 7: Estructura de atributos para la capa de ríos. 21
Tabla 8: Estructura de atributos para cuencas y quebradas hidrográficas. 22
Tabla 9: Estructura de atributos para lagunas y pantanos. 22
Tabla 10: Estructura de atributos para redes de drenaje. 22
Tabla 11: Especificación de atributos para estructuras de transmisión eléctrica. 44
Tabla 12: Especificación de atributos para redes de conducción y reservorios. 44
Tabla 13: Especificación de atributos para quebradas y muros de contención. 45
Tabla 14: Especificación de atributos para líneas de transmisión eléctrica. 45
Tabla 15: Especificación de atributos para cuerpos pantanosos. 46
Tabla 16: Especificación de atributos para estructuras metálicas. 46
Tabla 17: Especificación de atributos para centrales eléctricas. 47
Tabla 18: Especificación de atributos para la red vial. 47
Tabla 19: Especificación de atributos para red hidrográfica principal. 48
Tabla 20: Especificación de atributos para canales artificiales. 48
Tabla 21: Especificación de atributos para áreas de concreto. 49
Tabla 22: Especificación de atributos para infraestructura deportiva. 49
Tabla 23: Especificación de atributos para edificaciones. 50

1. INTRODUCCIÓN

La gestión sostenible de los recursos hídricos es un desafío central en el contexto del cambio climático, la urbanización acelerada y la presión sobre los ecosistemas. En regiones de alta complejidad geográfica como la Sierra Central del Perú, donde convergen factores topográficos, climáticos y socioeconómicos, resulta indispensable contar con información detallada y actualizada que permita comprender las dinámicas ambientales y sustentar procesos de planificación territorial. En este marco, los sensores remotos multiespectrales aerotransportadas se han convertido en herramientas clave para la obtención de datos confiables, de amplia cobertura y con una resolución adecuada para posteriores estudios hidrológicos y ambientales.

El presente informe de pasantía se centra en la captura y consolidación de información métrica y generación de una base de datos a partir de imágenes multiespectrales. El objetivo principal es general insumos técnicos que faciliten el desarrollo de modelos hidrológicos y posteriores análisis de gestión del agua, contribuyendo así a la toma de decisiones informadas en la región andina peruana. Para lograrlo, se estableció una metodología que combina la adquisición de imágenes, el procesamiento digital mediante software especializado, la generación de índices espectrales y la estructuración de información georreferenciada conforme a estándares nacionales e internacionales.

La importancia de este trabajo radica en que la Sierra Central del Perú es una región estratégica tanto por su riqueza hídrica como por su vulnerabilidad a fenómenos de variabilidad climática. Sequías, deslizamientos, inundaciones y procesos de degradación ambiental son problemáticas recurrentes que requieren de herramientas técnicas avanzadas para su monitoreo y mitigación. En este sentido, la aplicación de teledetección multiespectral, acompañada de Sistemas de Información Geográfica (SIG), ofrece una visión integral del territorio y posibilita analizar variables críticas como cobertura vegetal, humedad del suelo y dinámica de cuerpos de agua.

Durante la pasantía se emplearon herramientas como QGIS, Python y CIVIL 3D, que permitieron articular procesos de análisis RASTER y vectorial, automatizar cálculos mediante programación y consolidar bases de datos espaciales en formatos interoperables. El uso de índices espectrales, tales como NDVI, NDWI y SAVI, constituyó un aporte fundamental para la caracterización de la superficie terrestre, al facilitar la diferenciación de coberturas y el seguimiento de condiciones ambientales. Adicionalmente, se cumplió con las normativas establecidas por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y la Infraestructura de Datos Espaciales del Perú (IDEP), garantizando la pertinencia y aplicabilidad de los resultados en el ámbito institucional.

El documento se estructura en varias secciones que reflejan el desarrollo de la pasantía. Primero, se presentan los objetivos que guiaron el proceso. Luego, se describe el marco teórico, donde se abordan conceptos fundamentales de fotogrametría, teledetección y análisis espectral. Posteriormente, se detalla la metodología empleada para la captura, procesamiento y organización de la información geoespacial. Finalmente, se exponen los resultados alcanzados, las conclusiones y recomendaciones, que integran tanto los aprendizajes técnicos como los aportes para futuras investigaciones y proyectos relacionados.

En síntesis, este trabajo busca resaltar la relevancia de las tecnologías de teledetección y análisis geoespacial como soporte científico y técnico para la gestión de los recursos hídricos. Además, refleja la necesidad de formar profesionales capaces de integrar herramientas digitales y conocimiento disciplinar en favor del desarrollo sostenible. La experiencia adquirida en esta pasantía demuestra que el manejo adecuado de datos multiespectrales no solo fortalece la investigación académica, sino que también constituye un insumo esencial para enfrentar los retos ambientales y sociales en territorios de alta vulnerabilidad como la Sierra Central del Perú.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Consolidar y captura de información métrica, así como la generación de una base de datos a partir de sensores remotos multiespectrales aerotransportadas en el proyecto Sierra Central del Perú para estudios y modelación hidrológica.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Adquirir las imágenes multiespectrales que contenga las cuatro bandas RGB y infrarrojo.
- Capturar información métrica relevante usando índices espectrales como (NDVI, NDWI, SAVI, entre otros) con el uso de herramientas como Qgis y Python.
- Consolidar los datos obtenidos en un archivo .shp o geodatabases, con su respectiva tabla de atributos y compatible con herramientas que eventuales análisis hidrológico.

3. MARCO TEÓRICO

Para entender un poco del proceso y sus resultados se mencionan algunos conceptos relevantes que pueden dar un panorama general de la finalidad del proyecto:

3.1. FOTOGRAMETRÍA

Existen varias definiciones. el Instituto Geográfico De España lo define “la técnica cuyo fin es estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto cualquiera, utilizando esencialmente medidas hechas sobre una o varias fotografías de ese objeto” (España, 2020)

Otra definición es “La fotogrametría es la ciencia consistente en obtener mediciones fiables a partir de fotografías e imágenes digitales. La salida del proceso fotogramétrico suele generar mapas de orto mosaicos, mapas simbólicos, capas SIG o modelos tridimensionales (3D) de escenas u objetos del mundo real.” (Salazar, 2024)

3.2. FOTOGRAFÍA AÉREA

Se define como “Fotografía de la superficie terrestre tomada desde una plataforma que vuela por encima de la superficie, pero no está en órbita, normalmente una aeronave.” (Salazar, 2024). En este proyecto se utilizó una aeronave tripulada.

3.3. DATOS RÁSTER

La definición que se puede usar es “Son una matriz de celdas distribuidas en filas y columnas, en la que cada celda almacena un valor que contiene información. Los ráster pueden ser fotografías aéreas, imágenes de satélite, imágenes digitales o mapas escaneados.” (Salazar, 2024)

3.4. LIDAR

LIDAR (Light Detection And Ranging Laser) “es una clase de sensores remotos activos que envían millones de impulsos láser a una superficie terrestre que se pretende analizar; una vez, estos impulsos chocan con los objetos, la mayor parte de estos regresan al sensor (algunos se pierden) con una energía menor con la que fueron emitidos.” (Fagua, Campo, y Posada).

3.5. DTM

Por medio de orto mosaicos se puede crear modelos digitales de terreno o por medios de sensores LIDAR, y se define como “Un MDT se define como una representación estadística del terreno, en forma de números digitales, por medio de un conjunto de puntos con coordenadas x, y, z respecto a un sistema de georreferenciación conocido” (Felicísimo, 2015).

3.6. TELEDETECCIÓN

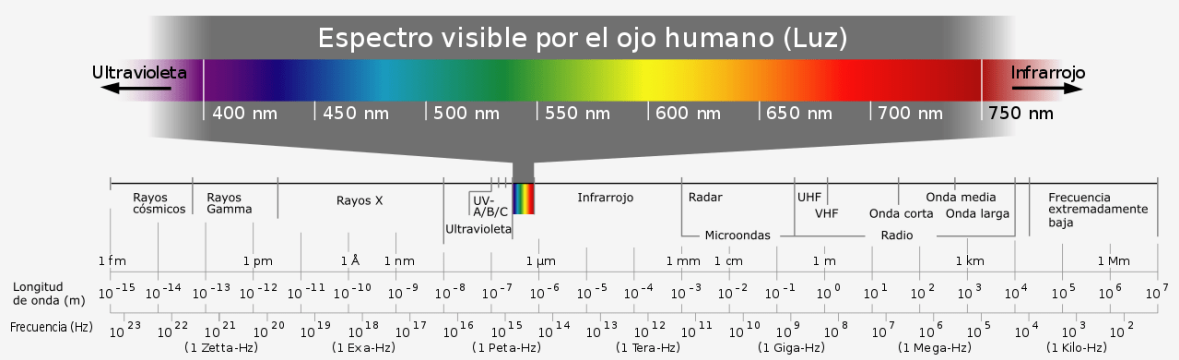
“La recopilación e interpretación de información acerca del entorno y la superficie de la Tierra desde una distancia, principalmente mediante la detección de la radiación emitida de forma natural o reflejada por la superficie terrestre o por la atmósfera, o bien mediante la detección de señales transmitidas por un dispositivo y reflejadas al mismo.” (Salazar, 2024)

3.7. SENSORES REMOTOS MULTIESPECTRALES:

- Principios básicos de la teledetección: La radiación solar es la fuente primaria de la energía para numerosos procesos biológicos que tienen lugar en las plantas. Las interacciones entre la radiación solar y las plantas pueden ser divididas en tres categorías: efectos térmicos, efectos fotosintéticos y efectos foto morfológicos de la radiación. (Torres & Jiménez, 2009)

- Tipos de sensores multiespectrales: hay dos tipos de sensores remotos: sensores activos (generan su propia radiación y la reciben rebotada) y sensores pasivos (reciben radiación emitida o reflejada por la Tierra). En este proyecto se emplea un sistema mixto: un emisor LiDAR, que mide distancias mediante rebotes, y un sensor pasivo que registra radiación en las bandas rojo, verde y azul, además de la banda infrarroja.

Figura 1: Espectro electromagnético en el rango visible utilizado en sensores multiespectrales.



Fuente: https://mappinggis.com/2019/05/combinaciones-de-bandas-en-imagenes-de-satelite-landsat-y-sentinel/

- Espectro electromagnético y bandas espectrales (RGB e infrarrojo): El espectro electromagnético es el rango completo de todas las posibles frecuencias de radiación electromagnética, que incluye desde ondas de radio hasta rayos gamma. En el presente proyecto se usa el espectro visible como se mostró en la figura 1, y el infrarrojo, el cual no pertenecen al rango visible para el ser humana, sin embargo, esos se pueden captar mediante sensores y usarlos para diferentes finalidades.

3.8. ÍNDICES ESPECTRALES

Son las combinaciones de diferentes longitudes de onda de la luz reflejada (reflectancia) que se utilizan para analizar y caracterizar diferentes características de la superficie terrestre.

Para el presente proyecto se emplean índices de vegetación y humedad derivados de reflectancia multiespectral, los cuales caracterizaran los diferentes elementos de la cartografía estudiada.

- **NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada):** Permite estimar la salud y densidad de la vegetación, útil para entender la cobertura vegetal en cuencas. En este apartado se usará imágenes .**tiff** que contengan la banda infrarroja y la banda roja, que se combinarán usando la siguiente fórmula:

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

- **NDWI (Índice de Humedad Normalizado):** Identifica áreas con presencia de agua superficial o vegetación con alto contenido de humedad. En este apartado se usará imágenes tipo .**tiff** que contenga la banda infrarrojo y Green, lo cual se combinará usando de la siguiente fórmula:

$$NDWI = \frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR}$$

- **SAVI (Índice de Vegetación Ajustado al Suelo):** Ideal para zonas con vegetación escasa y suelo expuesto, frecuente en áreas andinas. En este apartado se usará imágenes tipo .**tiff** que contenga la banda infrarrojo y Red, y usando el factor L que por defecto es 0.5, lo cual se combinará las bandas y el usando de la siguiente fórmula:

$$SAVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED + L} * (1 + L)$$

3.9. HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS

Para realizar los diferentes análisis y la captura de información se utilizarán los siguientes programas

3.9.1. QGIS:

Es un programa SIG de código abierto que permite la visualización, edición, análisis y gestión de datos geoespaciales.
En el caso del manejo de imágenes multiespectrales con **cuatro bandas** (rojo, verde, azul e infrarrojo cercano), QGIS facilita:

- **Carga y visualización** de imágenes satelitales o de dron en formato RASTER.
- **Composición de bandas** para crear imágenes en color verdadero o falso color (ej. para resaltar vegetación con NIR).
- **Cálculo de índices espectrales** como NDVI, NDWI y SAVI mediante el uso de la calculadora RASTER.
- **Generación de productos derivados** como mapas temáticos de vegetación, agua o estrés hídrico.

3.9.2. Herramientas de QGIS

En la siguiente tabla se muestran algunas de las herramientas que se usan en este proyecto.

Tabla 1: Herramientas SIG utilizadas para análisis y procesamiento ráster en QGIS.

Herramienta	Ubicación en QGIS	Función
Calculadora Raster	Menú Raster > Calculadora Raster	Permite realizar operaciones matemáticas con bandas raster para calcular índices como NDVI, NDWI y SAVI.
Composición de bandas	Propiedades de capa > Simbología > Renderizado multibanda	Asigna cada banda a un canal de color (R, G, B) para crear composiciones de falso o verdadero color.
Estadísticas por banda	Menú Raster > Miscelánea > Información de raster	Muestra valores mínimos, máximo, media y desviación estándar por banda.
Corte raster por máscara	Menú Raster > Extracción > Recortar raster por capa de máscara	Recorta la imagen para trabajar solo en un área de interés.

Fuente: https://QGIS.org/resources/hub/

3.9.3. Herramientas para crear bases de datos

Para crear una base de datos a partir de información vectorial (ej. Polígonos, líneas o puntos), los cuales representar elementos tomados de las imágenes procesadas, el software QGIS cuenta con herramientas que permiten alimentar dicha información con datos relevantes como pueden ser (áreas, perímetros, tipo de objeto, id, descripciones, Fuentes, sistema de coordenadas, etc.) para lo cual se puede usar algunas de las siguientes herramientas, descritas en la tabla 2:

Tabla 2: Herramientas SIG para estructuración de datos vectoriales.

Herramienta	Ubicación	Función
Editor de atributos	Panel de atributos > Alternar edición	Permite modificar o agregar valores a los campos existentes de un shapefile o geodatabase.
Calculadora de campos	Panel de atributos > Calculadora de campos	Crea nuevos campos y calcula valores automáticamente (ej. NDVI promedio de un polígono).
Unión por ubicación (Join attributes by location)	Menú Vectorial > Herramientas de administración de datos > Unir atributos por ubicación	Agrega datos de otra capa en función de la relación espacial (ej. unir NDVI promedio a parcelas).
Añadir capa a geodatabase	Menú Base de datos > Administrador de base de datos	Importa shapefiles o capas temporales a una geodatabase.
Formulario de atributos	Propiedades de capa > Formulario de atributos	Configura formularios para ingresar datos más rápido y de forma controlada.
Exportar capa con atributos	Botón derecho en capa > Exportar > Guardar como	Guarda una capa vectorial en formato Shapefile o Geopackage con los atributos calculados.

Fuente: https://QGIS.org/resources/hub/

3.9.4. Python:

Es un lenguaje de programación de alto nivel, fácil y legible en su código. Es un lenguaje paradigmático, es decir, que se puede aplicar en varias ramas de la programación como lo es programas imperativos, orientado a objetos, como programas funcionales, entre otros. En este proyecto se usará las siguientes librerías para el procesamiento de la información:

Uso de Python para el procesamiento y análisis de datos geoespaciales.

Python es uno de los lenguajes de programación más utilizados en el campo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) debido a su sintaxis sencilla, gran comunidad de

usuarios y amplia gama de librerías especializadas.
En el procesamiento y análisis de datos geoespaciales, Python permite:

- **Lectura y escritura de datos geográficos** en múltiples formatos (Shapefile, GeoJSON, KML, GeoTIFF, etc.).
- **Análisis espacial** como intersecciones, uniones espaciales, buffers y cálculos de distancias.
- **Procesamiento RASTER** para manipular imágenes satelitales y modelos digitales de terreno.
- **Automatización de flujos de trabajo** en GIS evitando procesos manuales repetitivos.
- **Visualización de datos geográficos** en mapas interactivos o estáticos.

Su integración con software como QGIS, ArcGIS, PostGIS o Google Earth Engine lo convierte en una herramienta clave para el análisis geoespacial profesional.

Las librerías simplifican la escritura del código: contienen funciones y estructuras que permiten realizar táreas complejas con pocas líneas, lo que aporta flexibilidad y legibilidad.”
Se usarán algunas de las siguientes librerías las cuales se mencionan en la tabla 3.

Tabla 3: Librerías de Python aplicadas a análisis y automatización geoespacial.

Librería	Descripción breve
GeoPandas	Extiende pandas para trabajar con datos espaciales vectoriales, permite operaciones de análisis y manejo de geometrías.
Shapely	Procesamiento y análisis geométrico de puntos, líneas y polígonos.
Rasterio	Lectura, escritura y análisis de datos raster (GeoTIFF, imágenes satelitales).
Fiona	Lectura y escritura de formatos vectoriales geoespaciales.
PyProj	Transformaciones y proyecciones de coordenadas.
GDAL/OGR	Conjunto de herramientas para manejo de datos raster y vectoriales.
Folium	Creación de mapas interactivos basados en Leaflet.js.
Matplotlib + Cartopy	Visualización de datos geográficos en gráficos y mapas.
Geemap	Interfaz de Python para Google Earth Engine.

Fuente: https://www.python.org/doc/

Para lograr crear un código se debe mencionar y usar algunas sintaxis que Python contiene. Como en otros lenguajes, los conceptos (variables, condicionales, bucles, funciones, clases, etc.) son similares. Sin embargo, difieren la sintaxis y la forma de escribir el código.A continuación, se muestra las principales funciones a usar en este proyecto, las cuales se menciona en la siguiente tabla:

Tabla 4: Elementos de programación empleados en la automatización de cálculos.

Elemento	Ejemplo	Descripción
Variable	area = 150.5	Espacio en memoria para almacenar datos (números, texto, listas, etc.).
if (condicional)	if area > 100: print("Área grande")	Ejecuta un bloque de código si una condición se cumple.
for (bucle)	for i in range(5): print(i)	Itera sobre una secuencia de valores, útil para procesar múltiples elementos.
while (bucle)	while x < 10: x += 1	Repite un bloque de código mientras se cumpla una condición.
def (función)	def calcular_area(base, altura): return base * altura	Define un bloque de código reutilizable.
import	import geopandas as gpd	Permite usar librerías externas.
list (lista)	coordenadas = [(-74.1, 4.6), (-74.2, 4.7)]	Estructura de datos para almacenar múltiples valores.
dict (diccionario)	atributos = {"nombre": "Río", "longitud": 120}	Estructura clave-valor para datos relacionados.

Fuente: https://www.python.org/doc/

3.9.5. Editores de código visual studio code

Visual Studio Code (VS Code) es un editor de código fuente gratuito y multiplataforma desarrollado por Microsoft. Está diseñado para soportar múltiples lenguajes de programación y tecnologías, ofreciendo funciones como resaltado de sintaxis, depuración, integración con sistemas de control de versiones (Git), terminal integrada y una amplia variedad de extensiones que permiten ampliar sus capacidades para entornos específicos como Python, JavaScript, HTML, C++, entre otros.

En este proyecto se realiza la instalación de la extensión de Python, ya que es el eje fundamental en la estructuración del código.

3.9.6. CIVIL 3D

Autodesk CIVIL 3D es un software de diseño y documentación de ingeniería civil que se utiliza para proyectos de topografía, carreteras, urbanismo, redes de servicios públicos y modelado de terrenos. Se basa en AUTOCAD, pero integra herramientas avanzadas para modelado 3D, análisis geoespacial, diseño paramétrico y generación de planos constructivos.

Su principal fortaleza es la **integración de datos topográficos, de diseño y de construcción** en un flujo de trabajo dinámico, permitiendo que cualquier cambio en el modelo se actualice automáticamente en todos los documentos asociados.

3.9.7. Herramientas de CIVIL 3D

En las siguientes tablas se menciona algunas herramientas que se usan para vectorizar elementos de una imagen y exportar esa información en archivos .SHP en el software en cuestión.

Tabla 5: Herramientas para digitalización de elementos cartográficos en CIVIL 3D.

Herramienta	Ubicación	Función
Raster Design (módulo adicional)	Insertar > Raster Tools	Permite insertar imágenes escaneadas y vectorizar manual o automáticamente líneas y contornos.
Polyline	Draw > Polyline	Dibuja líneas continúas siguiendo elementos visibles en un raster.
Feature Line	Home > Create Design > Feature Line	Crea líneas de referencia 3D a partir de puntos o geometrías vectorizadas.
Digitize Command	Raster Tools > Vectorization	Convierte entidades raster en líneas vectoriales automáticas o semiautomáticas.

Fuente: https://help.autodesk.com/view/CIV3D/2025/ENU/

Las siguientes herramientas servirán para hacer la exportación de los datos en formato .shp.

Tabla 6: Herramientas para exportación de cartografía en formato interoperable.

Herramienta	Ubicación	Función
Map Export	Comando: MAPEXPORT	Exporta capas o entidades seleccionadas a formato **.shp**, definiendo proyección y atributos.
Data Connect	Home > Data > Connect to Data	Permite conectar y gestionar datos GIS antes de exportarlos.
Drawing Cleanup	Map Cleanup	Limpia geometrías vectorizadas antes de la exportación para asegurar compatibilidad.
Assign Coordinate System	Map Setup > Coordinate System	Asigna un sistema de coordenadas antes de exportar a SHP.

Fuente: https://help.autodesk.com/view/CIV3D/2025/ENU/

3.10. NORMATIVAS Y ESTÁNDARES:

En el Perú la entidad que se encarga de normalizar la cartografía y manejarla es el IGN o Instituto Geográfico Nacional que está regido con las siguientes normas:

- **Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29338)**: Establece el Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos, bajo la Autoridad Nacional del Agua (ANA). Define los usos del agua, licencias, planificación del uso hidráulico y estándares de calidad del agua.
- **Decreto Supremo N° 069-2011-PCM**: Crea el portal GEOIDEP, parte del Sistema Nacional para el intercambio de información geoespacial entre entidades públicas.
- **Resolución Ministerial N° 241-2014-PCM**: Directiva sobre estándares de servicios web georreferenciados para el intercambio de datos espaciales en el sector público.
- **Infraestructura Nacional de Datos Espaciales del Perú (IDEP)**: Establece políticas, estándares, recursos humanos y tecnológicos para la producción, uso y acceso de información geográfica estatal.

- **IDESEP (Infraestructura de Datos Espaciales del SENAMHI)**: Plataforma institucional para gestionar información geoespacial hidrometeorológica estandarizada, interoperable y accesible.

3.11. ESTRUCTURA DE LOS DATOS

Para tener debidamente estructurado los datos para los posteriores análisis hidrológicos se maneja la siguiente estructura, el cual pide la **Autoridad Nacional del Agua (ANA)**, dado en las siguientes tablas:

Tabla 7: Estructura de atributos para la capa de ríos.

Campo	Descripción	Tipo de dato	Longitud
ID_RIO	Código único del río (asignado por ANA o cuenca)	Entero (Integer)	-
NOMBRE	Nombre oficial del río	Texto (String)	100
TIPO_RIO	Clasificación: Principal, Secundario, Quebrada	Texto (String)	30
LONG_KM	Longitud del tramo en kilómetros	Decimal (Float)	8,2
COD_CUEN	Código de cuenca hidrográfica (según ANA)	Texto (String)	10
PERMANEN	Si es permanente o temporal	Booleano (True/False)	-

Fuente: Normativa IDEP / ANA (Infraestructura de Datos Espaciales del Perú)

Tabla 8: Estructura de atributos para cuencas y quebradas hidrográficas.

Campo	Descripción	Tipo de dato	Longitud
ID_CUEN	Código único de cuenca (oficial ANA)	Entero	-
NOMBRE	Nombre de la cuenca	Texto	100
AREA_KM2	Área en km^2	Decimal (Float)	10,3
COD_HYD	Código hidrológico según norma ANA	Texto	10
TIPO	Macrocuenca, Subcuenca, Microcuenca	Texto	30

Fuente: Normativa IDEP / ANA (Infraestructura de Datos Espaciales del Perú)

Tabla 9: Estructura de atributos para lagunas y pantanos.

Campo	Descripción	Tipo de dato	Longitud
ID_PRESA	Código único	Entero	-
NOMBRE	Nombre oficial	Texto	100
ÁREA m2	Área del elemento	Decimal (Float)	15
CUENCA	Cuenca asociada	Texto	100

Fuente: Normativa IDEP / ANA (Infraestructura de Datos Espaciales del Perú)

Tabla 10: Estructura de atributos para redes de drenaje.

Campo	Descripción	Tipo de dato	Longitud
ID_DREN	Código único	Entero	-
NOMBRE	Nombre del dren	Texto	100
LONG_M	Longitud en metros	Decimal (Float)	12,2
MATERIAL	Hormigón, Tierra, Otro	Texto	50
ESTADO	Bueno, Regular, Malo	Texto	30

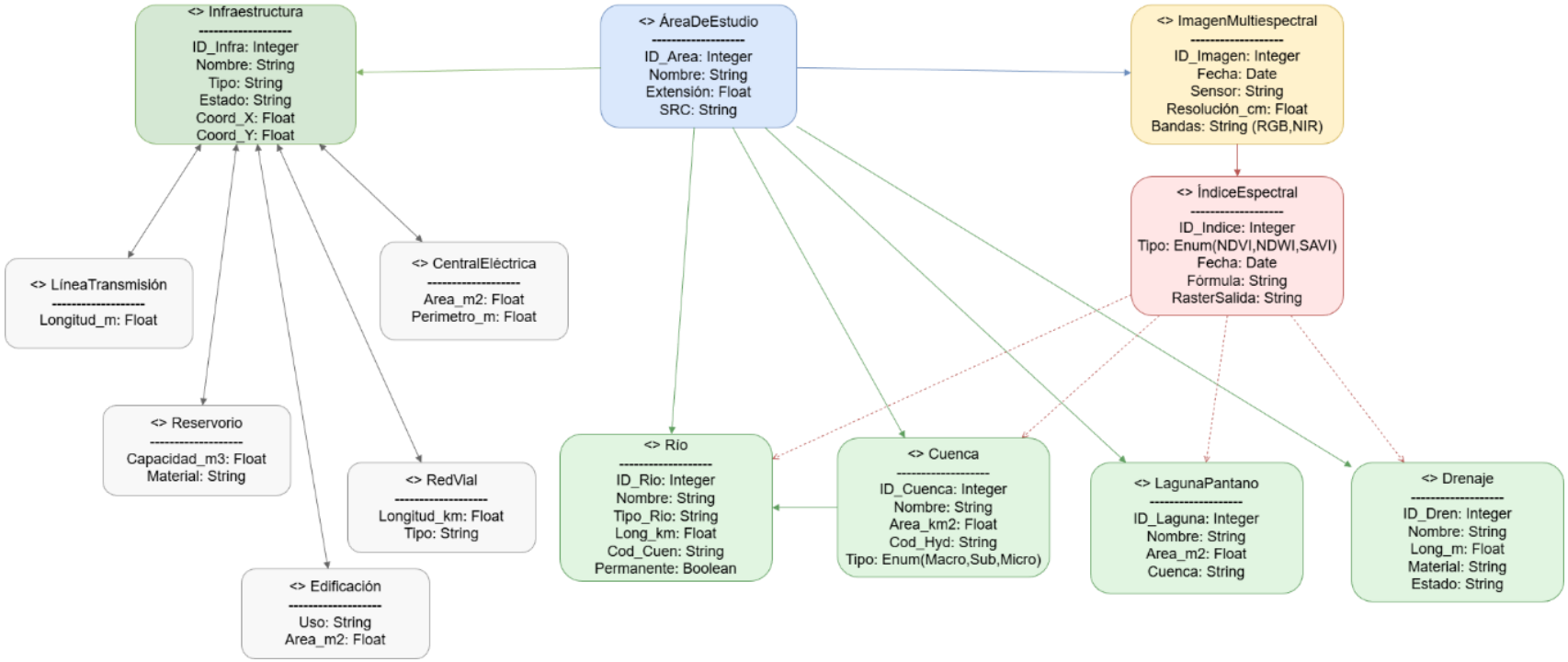
Fuente: Normativa IDEP / ANA (Infraestructura de Datos Espaciales del Perú)

Otras consideraciones en tener en cuenta para la entrega de proyectos de estas características son las siguientes:

- **Tipo de proyección**: WGS84 / UTM zona correspondiente (según ubicación del proyecto y normativa IGN).
- **Nomenclatura de campos**: usar mayúsculas, hasta 10 caracteres, sin espacios; emplear guiones bajos si es necesario.
- **Consistencia de datos**: Todos los valores numéricos deben estar en las mismas unidades (m, km, m^2, km^2, m^3).
- **Metadatos**: Cada capa debe incluir un archivo de metadatos según ISO 19115.

Para sintetizar los parámetros establecidos en la base de datos, se elaborará un **diagrama conceptual** que represente de manera estructurada las relaciones entre los diferentes elementos y atributos de la información geográfica.

Figura 2: diagrama conceptual de la base de datos.

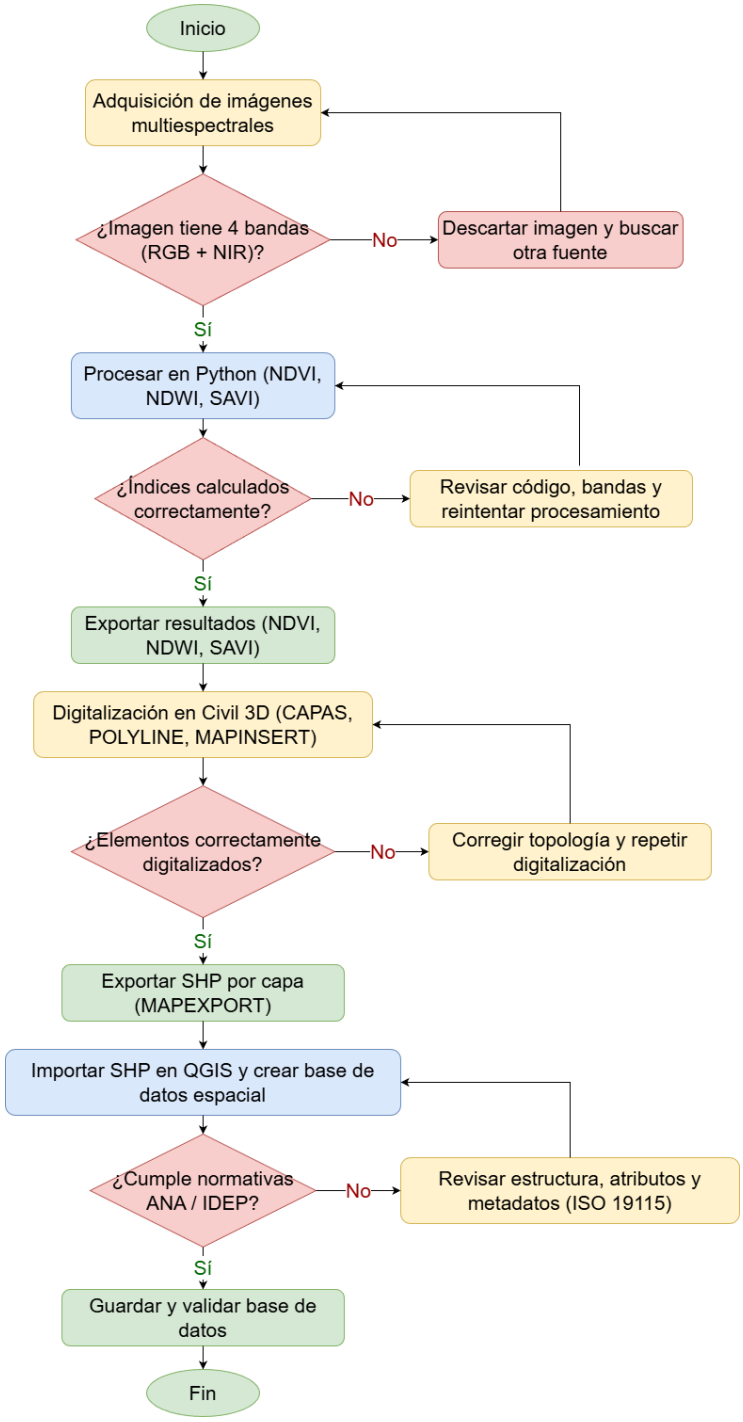


Fuente: elaboración propia.

4. METODOLOGÍA

La metodología para la consolidación y captura de información métrica mediante sensores remotos multiespectrales en el proyecto Sierra Central se divide en cuatro fases: planificación y adquisición de imágenes aerotransportadas, preprocesamiento de datos, extracción de métricas espectrales e índices, y consolidación de la información georreferenciada. Esta estructura busca asegurar que los datos recolectados sean técnicamente válidos y útiles para eventuales estudios hidrológicos. A continuación, se presenta un diagrama de flujo que sintetiza las actividades ejecutadas durante el desarrollo del proyecto.

Figura 3: Proceso metodológico para la obtención y consolidación de información métrica.



Fuente: elaboración propia.

4.1. ADQUISICIÓN Y VERIFICACIÓN DE IMÁGENES MULTIESPECTRALES AEROTRANSPORTADAS

Se adquirieron las imágenes procesadas y que contienen las principales bandas RGB e infrarrojo, para poder hacer la combinación de bandas para los diferentes índices espectrales.

Para conocer si tiene las 4 bandas requeridas debemos verificarlo mediante el software QGIS, para ellos cargaremos las imágenes bien sea arrastrándolas a la ventana del programa o cargándolo, siguiendo esta ruta añadir capa RASTER/conjunto de datos RASTER/ buscar la carpeta de los archivos y añadir.

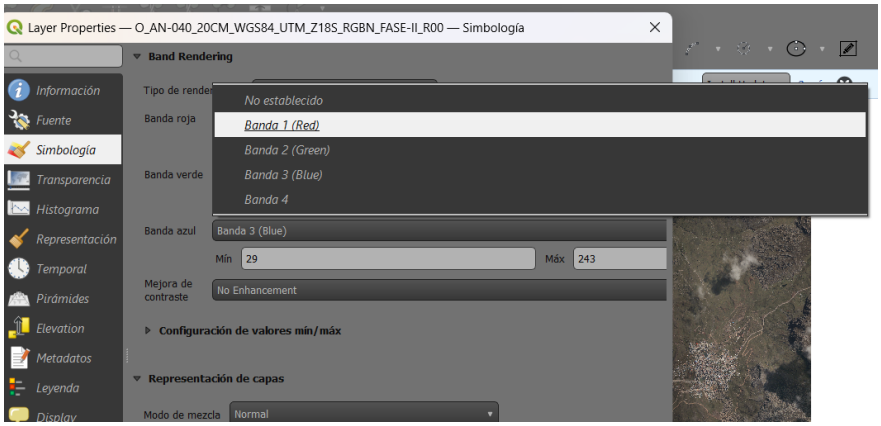
Figura 4: Carga de imágenes multiespectrales al SIG para verificación de bandas.



Fuente: elaboración propia.

Se hace la revisión de las capas que contenga cada imagen, para ello nos dirigimos en cada imagen y le damos las propiedades de esta, una vez abierto nos vamos a la pestaña de simbología y desplegamos la opción de bandas, deben ser 4, en la figura se muestra la representación.

Figura 5: Inspección de bandas espectrales disponibles en el ráster.



Fuente: elaboración propia.

4.2. PROCESAMIENTO DIGITAL Y CÁLCULO DE ÍNDICES ESPECTRALES MEDIANTE PYTHON

Una vez corroborado cada imagen que contenga las bandas RGB e infrarrojo procedemos a abrir el programa Visual Studio Code, en el instalaremos la extensión de Python para genera nuestro código de combinación de bandas y hallar los índices espectrales NDVI, NDWI Y SAVI. Para ellos debemos descargar el programa Python desde la página oficial, instalarlo y configurarlo en al editor de código Visual Studio Code. También se puede agregar otras extensiones que permitan completar el código o identificar errores de sintaxis, algunos de ellos pueden ser Pylance, el cual nos permite completar el código, desplegando funciones o variables dependiendo de la escritura, eso facilita la elaboración del código.

En Python como otros lenguajes de programación contiene librerías, las cuales permiten simplificar muchas funciones en pocas líneas, en este proyecto manejaremos la librería Rastario, la cual nos permitirá hacer análisis de los RASTER y la otra que usaremos será Numpy la cual se usa para hacer análisis matemáticos más complejos.

Se utilizan los siguientes comandos en consola para poderlos instalar en nuestra consola.

- pip install numpy: para instalar librería numpy
- pip install rastario: para instalar librería rastario

Se dará aceptar y se instalan automáticamente.

Una vez instalados se procede a vincular la carpeta o folder que contiene las imágenes multiespectrales, hecho esto empezaremos a generar nuestro código, el cual se muestra en la figura 4. Dentro del código se agrega una serie de comentario los cuales explican como este funcione línea a línea y que se puede cambiar dependiendo del tipo de índice que se esté aplicando.

Figura 6: Algoritmo en Python para cálculo índice de vegetación NDWI.

```python
import os
import rasterio
import numpy as np

# ==== 1. DEFINIR CARPETAS ====
# Ruta a la carpeta que contiene las imágenes de entrada
carpeta_entrada = "E:/imagenes_multibanda"  # <- CAMBIA ESTA RUTA

# Ruta a la carpeta donde se guardarán las salidas NDWI
carpeta_salida = "E:/salida_ndwi"  # <- CAMBIA ESTA RUTA

# Crea la carpeta de salida si no existe
os.makedirs(carpeta_salida, exist_ok=True)

# ==== 2. RECORRER TODOS LOS ARCHIVOS .TIF ====
for nombre_archivo in os.listdir(carpeta_entrada):
    if nombre_archivo.lower().endswith(".tif"):
        ruta_entrada = os.path.join(carpeta_entrada, nombre_archivo)
        print(f"Procesando: {ruta_entrada}")
```

```
        # ==== 3. ABRIR EL ARCHIVO Y LEER LAS BANDAS ====
        with rasterio.open(ruta_entrada) as src:
            try:
                green = src.read(2).astype('float32')  # <- CAMBIA si tu banda verde es otra
                nir = src.read(4).astype('float32')    # <- CAMBIA si tu banda NIR es otra
                perfil = src.profile
            except IndexError:
                print(f"⚠️  Error: {nombre_archivo} no tiene suficientes bandas.")
                continue  # Saltar archivo con problema

        # ==== 4. CALCULAR NDWI ====
        ndwi = (green - nir) / (green + nir + 1e-10)
        ndwi = np.clip(ndwi, -1, 1)

        # ==== 5. ACTUALIZAR PERFIL PARA NDWI ====
        perfil.update(
            dtype=rasterio.float32,
            count=1
        )
```

```
         # ==== 6. GUARDAR RESULTADO ====
         nombre_salida = f"ndwi_{nombre_archivo}"
         ruta_salida = os.path.join(carpeta_salida, nombre_salida)

         with rasterio.open(ruta_salida, "w", **perfil) as dst:
             dst.write(ndwi, 1)

         print(f"✅ NDWI guardado en: {ruta_salida}\n")

print("Proceso completado.")
```

Fuente: elaboración propia.

Se debe tener en cuenta que la estructura de la ruta debe ir en dos \\ que separe las diferentes carpetas. Por ejemplo:

D:\\PERU 2025\\SIERRA CENTRAL\\ANIMON\ORTOFOTOS\\001 RGBN GEOTIFF

El código ira haciendo las diferentes interacciones para cada imagen contenida en la carpeta, la terminal irá imprimiendo los resultados hasta que el proceso termine. La figura se muestras como va imprimiendo en consola cada iteración y si se está haciendo los cambios correspondientes en cada imagen.

Figura 7: Resultados de ejecución del procesamiento de índices espectrales en consola.



Fuente: elaboración propia.

Se reutiliza el código para hacer los otros índices de vegetacuón NDVI y SAVI, solo se modifica la formula y algunas variables para entender el código. En la figura se mira los cambios correspondientes a cada índice.

Figura 8: Ajuste del script para la generación índice de vegetación NDVI.

```
# ==== 3. ABRIR EL ARCHIVO Y LEER LAS BANDAS ====
with rasterio.open(ruta_entrada) as src:
    try:
        red = src.read(1).astype('float32')  # <- CAMBIA si tu banda verde es otra
        nir = src.read(4).astype('float32')    # <- CAMBIA si tu banda NIR es otra
        perfil = src.profile
    except IndexError:
        print(f"Error: {nombre_archivo} no tiene suficientes bandas.")
        continue  # Saltar archivo con problema

# ==== 4. CALCULAR NDWI ====
ndvi = (nir-red) / (red + nir + 1e-10)
ndvi = np.clip(ndvi, -1, 1)
```

Fuente: elaboración propia.

Figura 9: Ajuste del script para la generación del índice de vegetación SAVI.

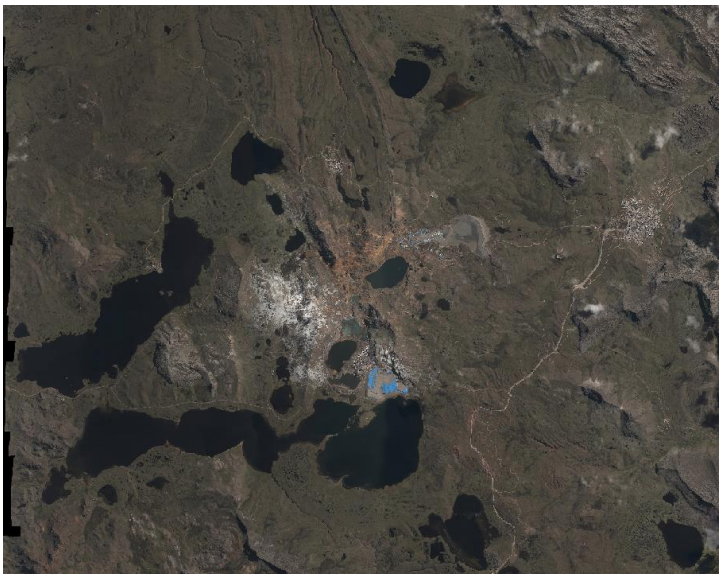
```
# ==== 3. ABRIR EL ARCHIVO Y LEER LAS BANDAS ====
with rasterio.open(ruta_entrada) as src:
    try:
        red = src.read(1).astype('float32')  # <- CAMBIA si tu banda verde es otra
        nir = src.read(4).astype('float32')    # <- CAMBIA si tu banda NIR es otra
        perfil = src.profile
    except IndexError:
        print(f" Error: {nombre_archivo} no tiene suficientes bandas.")
        continue  # Saltar archivo con problema

# ==== 4. CALCULAR NDWI ====
savi = ((nir-red) / (red + nir + 1e-10))*(1+0.5) # el 0.5 corresponde al factor L
savi = np.clip(savi, -1, 1)
```

Fuente: elaboración propia.

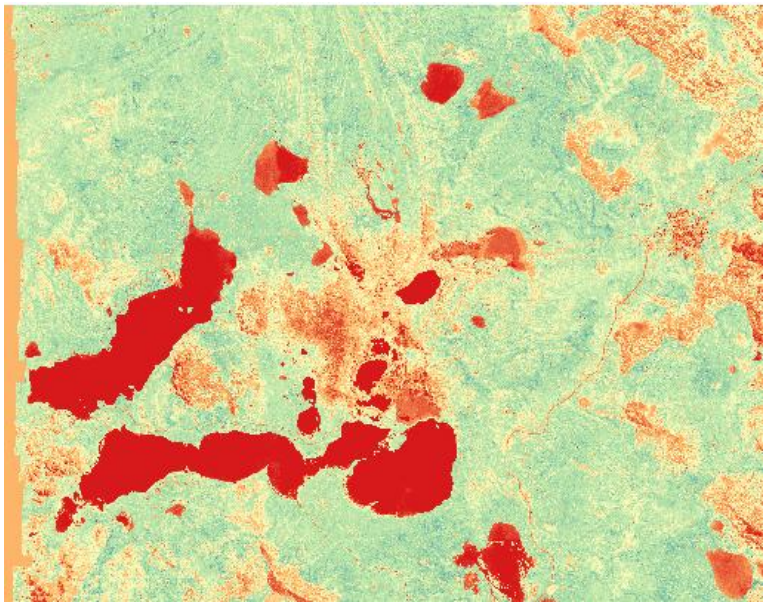
Una vez modificado los códigos y corrido satisfactoriamente los resultados obtenidos fueron los siguientes, de acuerdo con los diferentes índices espectrales, los cuales se muestran en las figuras.

Figura 10: Orto imagen procesada del área de estudio.



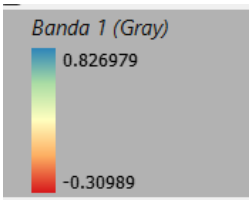
Fuente: elaboración propia.

Figura 11: Producto ráster del índice vegetal SAVI aplicado al área de estudio.



Fuente: elaboración propia.

Figura 12: Leyenda de clasificación del índice vegetalSAVI



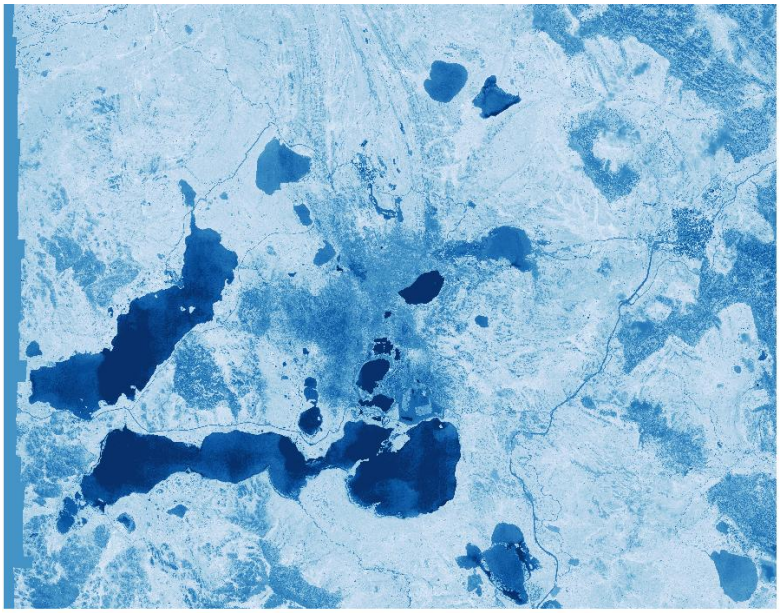
Fuente: elaboración propia.

interpretación de los valores: a continuación, se detallará que representa cada color para una fotointerpretación adecuada.

- **Valores bajos (cercanos a -1 - 0, de color rojo):** Agua, sombras, suelos húmedos, áreas sin vegetación.
- **Valores intermedios (0.2 - 0.4, de color verde claro / amarillo):** Suelos desnudos, pastos bajos, cultivos dispersos.

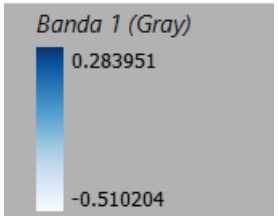
- **Valores altos (0.5 a 1, en verde intenso):** Vegetación densa y vigorosa (bosques, cultivos sanos, zonas húmedas con cobertura alta).

Figura 13: Producto ráster del índice vegetal NDWI aplicado al área de estudio.



Fuente: elaboración propia.

Figura 14: Leyenda de clasificación del índice vegetal NDWI.

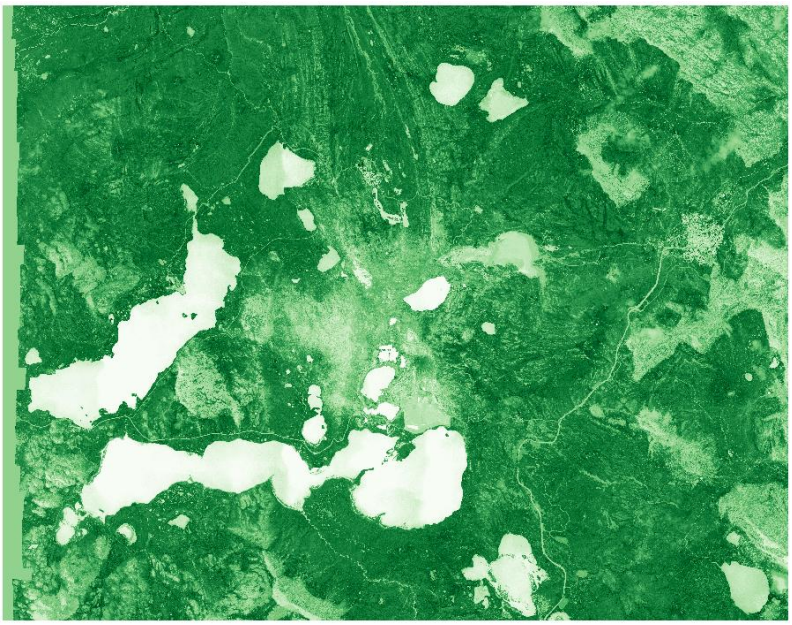


Fuente: elaboración propia.

Interpretación general de valores: Se detallará que representa cada color para una fotointerpretación adecuada.

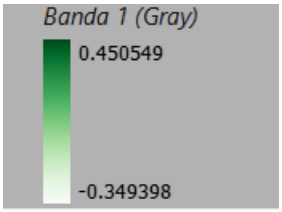
- **Valores positivos (cercanos a +1, color azul oscuro):** Alta presencia de agua superficial (lagos, ríos, embalses). También pueden indicar zonas con humedad muy alta o suelos saturados.
- **Valores cercanos a 0 (celeste claro):** Transición entre suelo húmedo y seco. Áreas agrícolas, suelos con cierta humedad o vegetación dispersa.
- **Valores negativos (valores cercanos a -1):** Suelo seco, áreas urbanas, vegetación densa (la vegetación refleja en gran medida el NIR).

Figura 15: Producto ráster del índice vegetal NDVI aplicado al área de estudio.



Fuente: elaboración propia.

Figura 16: Leyenda de clasificación del índice vegetal NDVI.



Fuente: elaboración propia.

Interpretación general de valores: Se detallará que representa cada color para una fotointerpretación adecuada.

- **Áreas blancas (valores muy bajos / negativos):** Son **cuerpos de agua** (lagos, lagunas) o zonas sin vegetación.
- **Áreas en verde claro (bajos a medios valores, 0.1 – 0.3):** Representan **suelos con cobertura escasa, vegetación rala o degradada**.
- **Áreas en verde más oscuro (valores medios-altos, 0.3 – 0.5 o más):** Son **zonas con vegetación más densa y saludable**, probablemente bosques o cultivos vigorosos.

4.3. DIGITALIZACIÓN TEMÁTICA Y ESTRUCTURACIÓN VECTORIAL EN CIVIL 3D Y QGIS

Ya con las imágenes procesadas se procede a cargar la información a civil3D para empezar a digitalizar los elementos relevantes, siguiendo los pasos a continuación:

1. se abre civil3D y se crean las siguientes capas, las cuales separaran la información ordenadamente. Se debe tener en cuenta que no todas las capas fueron digitalizadas; por razones del proyecto o por falta de información, algunos elementos se omiten.

Figura 17: Capas temáticas estructuradas para digitalización en CIVIL 3D



Fuente: elaboración propia.

2. Se agrega el sistema de referencia del proyecto, en este caso será WGS84 UTM zona 18 sur.
3. Se carga las imágenes usando el comando **MAPIINSERT**, se busca la dirección de la carpeta donde se encuentra las imágenes y se importan, este proceso puede tardar varios minutos que dependerá del tamaño de estas imágenes, que pueden llegar a varios gigabytes.

4. Una vez cargada la información se procede a hacer la digitalización de todos los elementos ponderan tés, usando el comando de **POLYLINE** (líneas consecutivas unidas entre sí), teniendo en cuenta la capa que se esté usando y deben quedar como se muestra en la figura.

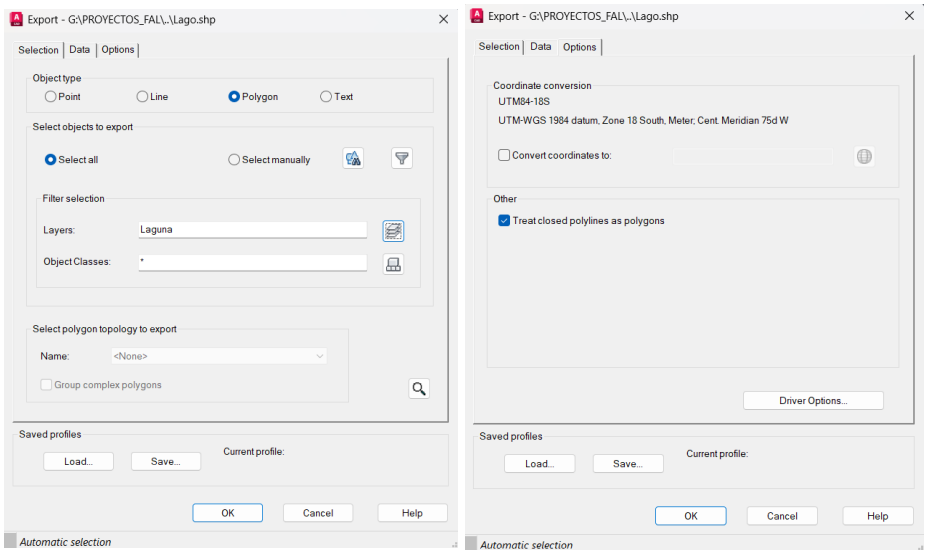
Figura 18: Captura vectorial de elementos territoriales a partir de orto imagen.



Fuente: elaboración propia.

5. Una vez se captura la información esta debe ser revisada cuidadosamente para que no haya problemas de topología o errores en el tipo de elemento que se encuentre relacionado, es decir, que por ejemplo lagos se encuentren en la capa de pantanos. Se tiene que hacer las revisiones y correcciones que sean necesarias para tener un buen resultado
6. Una vez hecha la captura se procede a exportar cada una de las capas, para ello usaremos el comando **MAPEXPORT**, se le dará el nombre del SHP, seleccionamos por los diferentes métodos la capa que queremos exportar y lo guardamos. El proceso se repite las veces que sean necesario para cada capa que se quiera exportar. En la figura se observa cómo debe quedar la configuración de cada elemento, solo haciendo el cambio de la capa.

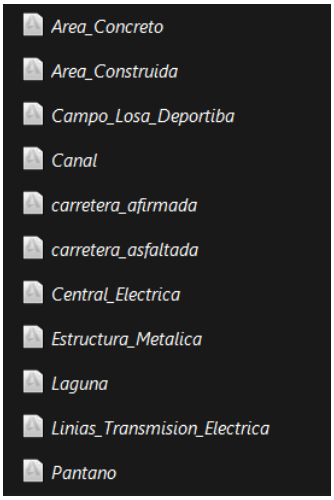
Figura 19: Configuración de exportación a formato SHP en CIVIL 3D.



Fuente: elaboración propia.

7. Ya exportados todos los elementos se procede a cargarlos en el software QGIS, para llenar los atributos de la base de datos que se piensa construir. En la figura se muestra todas las exportaciones.

Figura 20: Conjunto de elementos vectoriales exportados a SIG.



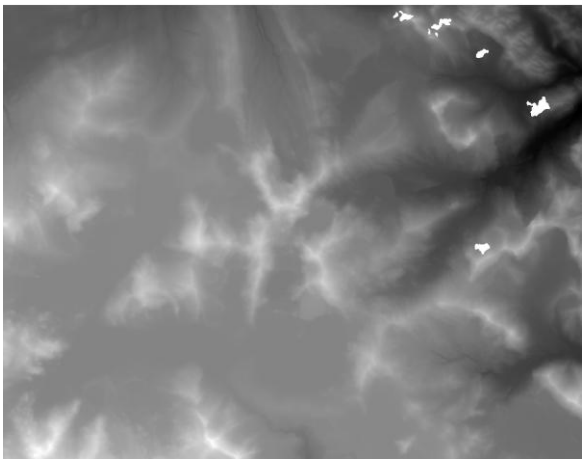
Fuente: elaboración propia.

8. Se carga los SHP al programa QGIS.

Para los drenajes o quebradas usaremos técnicas de análisis usando las herramientas de QGIS y DTM, las cuales se describen a continuación.

1. Se carga los DTM al programa QGIS.

Figura 21: Modelo Digital del Terreno (DTM) empleado para análisis hidrológico.



Fuente: elaboración propia.

2. Se corrobora que se encuentre en el sistema de coordenadas UTM Zona 18 sur, para ello nos dirigimos en propiedades, información y tendremos los datos correspondientes, como se muestra en la figura.

Figura 22: Sistema de referencia y propiedades del DTM.

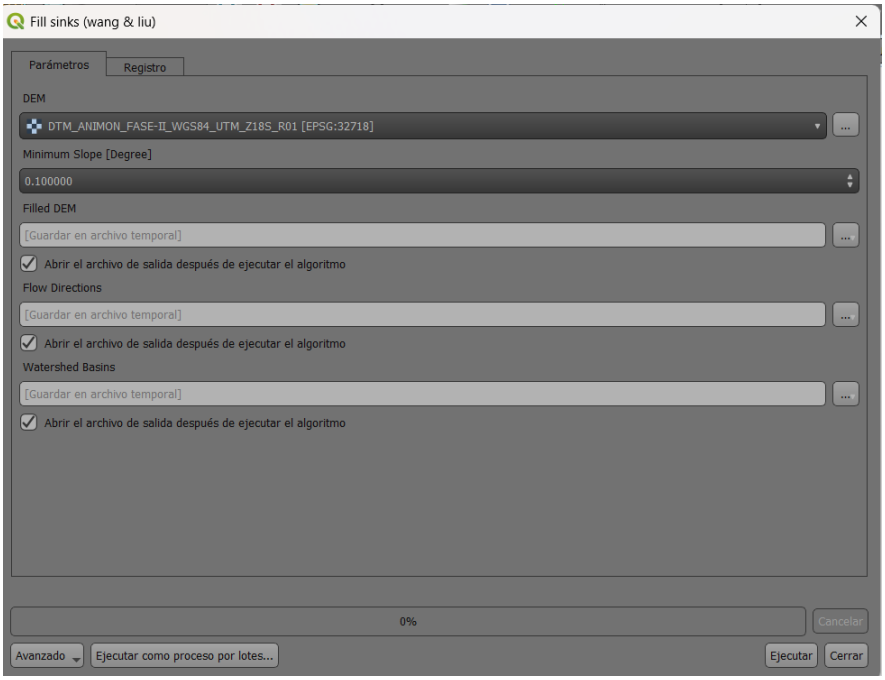
Sistema de referencia de coordenadas (SRC)

Nombre	EPSG:32718 - WGS 84 / UTM zone 18S
Unidades	metros
Método	Universal Transverse Mercator (UTM)
Celestial body	Earth
Precisión	Based on *World Geodetic System 1984 ensemble* (EPSG:6326), which has a limited accuracy of **at best 2 meters**.
Referencia	Dynamic (relies on a datum which is not plate-fixed)

Fuente: elaboración propia.

3. Ahora buscamos el siguiente comando que hará las correcciones llamado fill sinks (Wang & liu); se debe tener en cuenta que QGIS debe tener instalado la extensión SAGA, la cual contiene estos algoritmos. Se dejan los parámetros por defecto, como se muestra en la figura, se ejecuta la herramienta.

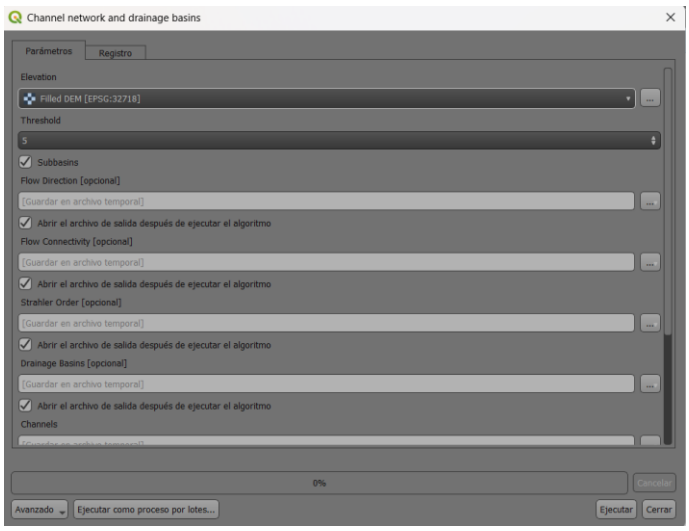
Figura 23: Preprocesamiento de drenaje mediante algoritmo Fill Sinks (SAGA).



Fuente: elaboración propia.

4. Una vez procesado se ejecuta la siguiente herramienta que hará todos los drenajes, el cual se llama "*channel network and drainage basins (herramienta de SAGA)"*. Trabajaremos con el archivo generado anteriormente llamado Filled DEM y la densidad de los drenajes lo dejaremos en 5, para no saturar el plano de líneas innecesarias, el resto lo dejamos por defecto. En la figura se muestra la configuración.

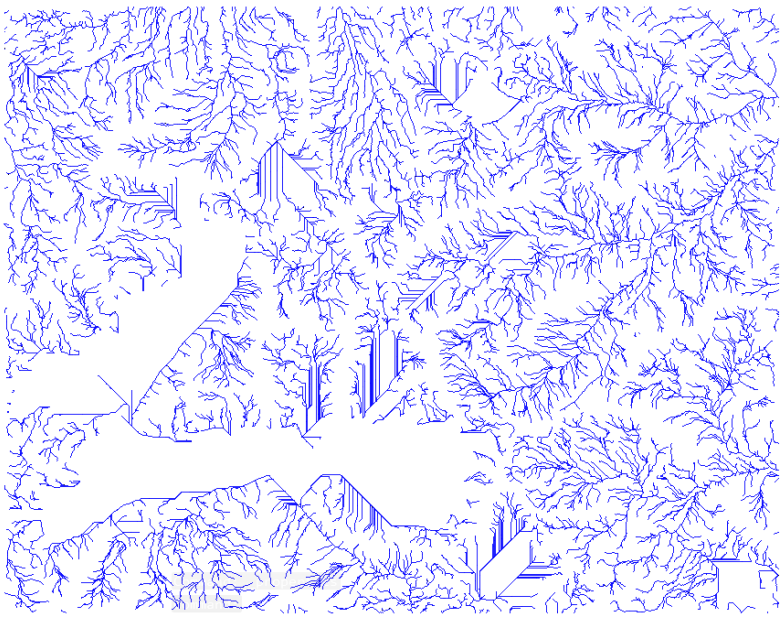
Figura 24: Generación automática de red de drenajes



Fuente: elaboración propia.

5. Se genera una serie de elementos, los cuales serán irrelevantes en este proyecto, exceptuando el SHP de línea llamado por defecto Channels, el cual lo exportaremos para posteriores análisis y se deberán limpiar los drenajes que se consideren no aptos o incoherentes. En la figura se muestra los resultados.

Figura 25: Refinamiento de drenajes mediante corrección topológica.



Fuente: elaboración propia.

4.4. ESTRUCTURACIÓN BASE DE DATOS

Para finalizar se realiza la estructuración de la base de datos, agregando los campos correspondientes a cada elemento, como pueden ser coordenadas, áreas, perímetros, nombres, descripciones, estado, etc. En las siguientes tablas se muestra una breve descripción de cómo está estructurado las tablas de atributos.

Tabla 11: Especificación de atributos para estructuras de transmisión eléctrica.

	ID	Descrip	Norte	Este
1	0	Torre_electrica	8777786.307	356074.822
2	1	Torre_electrica	8777544.065	355789.849
3	2	Torre_electrica	8776381.446	355445.093
4	3	Torre_electrica	8776214.893	355393.005
5	4	Torre_electrica	8775975.458	355322.258
6	5	Torre_electrica	8775585.238	355206.952
7	6	Torre_electrica	8772252.847	352056.583
8	7	Torre_electrica	8772357.975	352208.383
9	8	Torre_electrica	8772685.697	352660.319

Fuente: elaboración propia.

Tabla 12: Especificación de atributos para redes de conducción y reservorios.

	ID	Longitud
1	0	65.447
2	1	82.745
3	2	6.961
4	3	6.799
5	4	921.460
6	5	158.342
7	6	17.667
8	7	30.515
9	8	235.612
10	9	105.006
11	10	74.843

	FID	Area
1	0	107.940
2	1	74.545
3	2	237.232
4	3	1242.157
5	4	98.670
6	5	351.588
7	6	126.021
8	7	25.460
9	8	17.111
10	9	9.901
11	10	18.853

Fuente: elaboración propia.

Tabla 13: Especificación de atributos para quebradas y muros de contención.

	SEGMENT_ID	LENGTH
1	1	15.0000000000
2	2	5.0000000000
3	3	26.2132034360
4	4	22.0710678120
5	5	22.0710678120
6	6	219.8528137400
7	7	61.2132034360
8	8	48.2842712470
9	9	48.2842712470
10	10	148.6396103100
11	11	49.1421356240

	ID	Longitud
1	0	463.985
2	1	41.107
3	2	125.977
4	3	159.605
5	4	88.982
6	5	301.921
7	6	26.753
8	7	82.405
9	8	488.001
10	9	61.001
11	10	110.284

Fuente: elaboración propia.

Tabla 14: Especificación de atributos para líneas de transmisión eléctrica.

	ID	Longitud
1	0	3289.852
2	1	741.441
3	2	3661.179
4	3	4178.998
5	4	2520.040
6	5	3489.210
7	6	3592.923
8	7	437.276

Fuente: elaboración propia.

Tabla 15: Especificación de atributos para cuerpos pantanosos.

	FID	Area	Nombre	Cuenca
1	0	226.910	Sin nombre	Sin identificar
2	1	9942.509	Sin nombre	Sin identificar
3	2	9131.943	Sin nombre	Sin identificar
4	3	18858.110	Sin nombre	Sin identificar
5	4	1606.211	Sin nombre	Sin identificar
6	5	10338.573	Sin nombre	Sin identificar
7	6	3011.048	Sin nombre	Sin identificar
8	7	608.170	Sin nombre	Sin identificar
9	8	3412.477	Sin nombre	Sin identificar
10	9	121845.032	Sin nombre	Sin identificar

Fuente: elaboración propia.

Tabla 16: Especificación de atributos para estructuras metálicas.

	ID	Longitud
1	0	44.426
2	1	32.162
3	2	167.296
4	3	148.235
5	4	31.577
6	5	38.119
7	6	86.919
8	7	47.265
9	8	267.043
10	9	151.389
11	10	85.619

Fuente: elaboración propia.

Tabla 17: Especificación de atributos para centrales eléctricas.

	FID	Area	Perimetro
1	0	550.377	97.443
2	1	2445.980	249.853
3	2	19559.547	566.014
4	3	1585.804	178.722
5	4	283.486	78.235

Fuente: elaboración propia.

Tabla 18: Especificación de atributos para la red vial.

	ID	Longitud
1	0	1121.670
2	1	9021.391
3	2	8922.063
4	3	7832.200
5	4	8050.346
6	5	3128.205
7	6	3135.186
8	7	2424.004
9	8	7599.857
10	9	2471.279
11	10	3091.151

	ID	Longitud
1	0	1336.629
2	1	7611.122
3	2	1362.305
4	3	8654.572
5	4	5556.387
6	5	121.007
7	6	5569.167
8	7	5024.355
9	8	12066.421
10	9	13339.302
11	10	11143.668

Fuente: elaboración propia.

Tabla 19: Especificación de atributos para red hidrográfica principal.

	ID	nombre	Tipo_Rio	Longitud m	Cod_Cuen	Permanente
1	0	rio san rafael	meándricos	6531.662	13752	verdadero
2	1	rio san rafael	meándricos	4049.835	13752	verdadero
3	2	rio san rafael	meándricos	2299.720	13752	verdadero
4	3	rio mantaro	meándricos	4632.413	49792	verdadero
5	4	sin nombre	meándricos	6631.041	NULL	verdadero
6	5	sin nombre	meándricos	3032.660	NULL	verdadero
7	6	rio mantaro	meándricos	3940.738	49792	verdadero
8	7	sin nombre	meándricos	1073.475	NULL	verdadero
9	8	sin mombre	meándricos	2.953	NULL	verdadero
10	9	rio mantaro	meándricos	8244.013	49792	verdadero

Fuente: elaboración propia.

Tabla 20: Especificación de atributos para canales artificiales.

	ID ▲	Nombre	longitud	Material	Estado
1	0	sin nombre	2079.661	hormigon	bueno
2	1	sin nombre	1637.456	hormigon	bueno
3	2	sin nombre	1212.187	hormigon	bueno
4	3	sin nombre	137.231	hormigon	bueno
5	4	sin nombre	3613.534	hormigon	bueno
6	5	sin nombre	3616.806	hormigon	bueno
7	6	sin nombre	163.128	hormigon	bueno
8	7	sin nombre	25.618	hormigon	bueno
9	8	sin nombre	156.763	hormigon	bueno
10	9	sin nombre	612.731	hormigon	bueno
11	10	sin nombre	612.381	hormigon	bueno

Fuente: elaboración propia.

Tabla 21: Especificación de atributos para áreas de concreto.

	FID	Area	Perimetro
1	0	99	102.840
2	1	27	63.536
3	2	25	63.738
4	3	2	8.528
5	4	125	167.100
6	5	5	12.559
7	6	33	43.401
8	7	17	24.045
9	8	56	64.079
10	9	34	44.490

Fuente: elaboración propia.

Tabla 22: Especificación de atributos para infraestructura deportiva.

	ID	Area	Perimetro
1	0	561.159	99
2	1.000	693.812	110
3	2.000	635.613	104
4	3.000	4107.453	273
5	4.000	624.925	103

Fuente: elaboración propia.

Tabla 23: Especificación de atributos para edificaciones.

	ID	Area	Perimetro
1	0	100.023	46
2	1	66.522	35
3	2	12.357	14
4	3	64.365	34
5	4	144.599	48
6	5	207.382	58
7	6	33.521	23
8	7	115.572	43
9	8	80.114	38
10	9	131.482	46

Fuente: elaboración propia.

Una vez diligenciadas las tablas de atributos, la información fue consolidada en una estructura organizada de carpetas, que incluyó capas vectoriales, archivos ráster y documentación asociada.

Se realizó un control de calidad orientado a la verificación topológica de las capas, consistencia de atributos, validación del sistema de referencia espacial y cumplimiento de las especificaciones establecidas por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y la Infraestructura de Datos Espaciales del Perú (IDEP). Como resultado de este proceso, se efectuaron las correcciones necesarias para garantizar la coherencia geométrica y semántica de la base de datos geoespacial.

4.5. CONTROL DE CALIDAD Y VALIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN GEOESPACIAL

Con el fin de garantizar la confiabilidad, consistencia y aplicabilidad de la información generada, se implementó un proceso de control de calidad sobre los productos cartográficos y la base de datos geoespacial consolidada.

El control de calidad se realizó considerando los lineamientos establecidos por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), la Infraestructura de Datos Espaciales del Perú (IDEP) y las recomendaciones de la norma ISO 19115 para información geográfica.

En primer lugar, se efectuó la verificación del sistema de referencia espacial, comprobando que todas las capas vectoriales y ráster se encontraran proyectadas en el sistema WGS84 / UTM zona 18 Sur, evitando desplazamientos o inconsistencias espaciales.

Posteriormente, se realizó una validación topológica de las capas vectoriales mediante herramientas de QGIS, verificando la ausencia de geometrías inválidas, líneas superpuestas, polígonos no cerrados y errores de conectividad en redes de drenaje.

Adicionalmente, se revisó la consistencia semántica de las tablas de atributos, evaluando la correcta asignación de tipos de datos, unidades de medida homogéneas y cumplimiento de la nomenclatura definida (mayúsculas, longitud máxima de campos y ausencia de caracteres especiales).

Finalmente, se efectuó una revisión visual y cruzada entre los productos ráster derivados (índices NDVI, NDWI y SAVI), la cartografía vectorial digitalizada y el Modelo Digital del Terreno, con el propósito de identificar incoherencias espaciales y realizar las correcciones pertinentes. Como resultado de este proceso, se obtuvo una base de datos geoespacial coherente, validada y apta para su uso en análisis hidrológicos posteriores.

4.6. PRODUCTO FINAL CONSOLIDADO DE LA PASANTÍA

Como resultado del desarrollo de la pasantía, se consolidó un producto final consistente en una base de datos geoespacial estructurada, orientada a soportar estudios hidrológicos y análisis territoriales en el área del Proyecto Sierra Central del Perú.

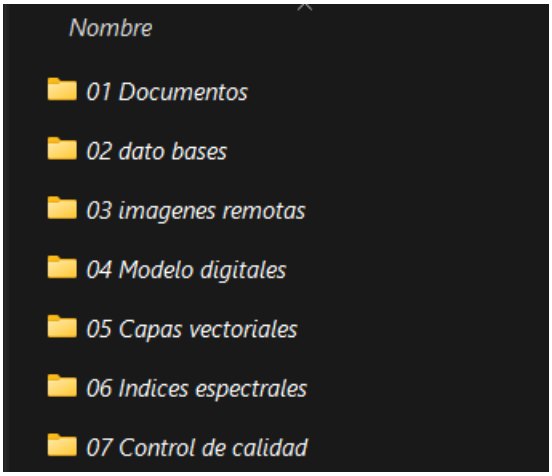
El producto final se organizó en una estructura jerárquica de carpetas que incluye:

- Capas vectoriales en formato SHP y/o GeoPackage, correspondientes a elementos hidrográficos, infraestructura, redes de drenaje y cobertura territorial.
- Productos ráster derivados, tales como ortoimágenes multiespectrales y mapas de índices NDVI, NDWI y SAVI en formato GeoTIFF.
- Tablas de atributos normalizadas, conforme a los lineamientos de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y la Infraestructura de Datos Espaciales del Perú (IDEP).
- Documentación técnica y metadatos, elaborados de acuerdo con la norma ISO 19115 para información geográfica.
- Control de calidad y observaciones hechas por los productos entregados.

Todos los archivos se encuentran georreferenciados en el sistema WGS84 / UTM zona 18 Sur y fueron sometidos a procesos de control de calidad espacial y semántica, garantizando su interoperabilidad y uso en entornos SIG.

En la figura se evidencia la estructura entregada del proyecto.

Figura 26: Estructura carpeta entrega de producto.



Fuente: elaboración propia

5. CONCLUSIONES

El desarrollo del proyecto permitió cumplir satisfactoriamente el objetivo planteado, mediante la consolidación y captura de información métrica proveniente de sensores remotos multiespectrales aerotransportadas en la zona de estudio del Proyecto Sierra Central del Perú. Se generó una base de datos geoespacial estructurada y validada, acorde con los requerimientos para estudios de gestión del recurso hídrico y modelación hidrológica.

A partir del procesamiento satelital y fotogramétrico se obtuvieron productos derivados relevantes, entre ellos índices espectrales como NDVI, NDWI y SAVI, los cuales facilitaron la identificación y diferenciación de coberturas: vegetación de alta densidad, suelos expuestos, cuerpos de agua y zonas húmedas. Los resultados mostraron coherencia espacial con las condiciones reales del terreno y aportan información clave para el análisis de la disponibilidad hídrica y del comportamiento de la cobertura vegetal en la cuenca.

Mediante la digitalización temática en QGIS y CIVIL 3D se crean capas vectoriales organizadas y normalizadas, lo que garantiza su utilización en procesos de interoperabilidad y análisis SIG. La integración de esta cartografía en una base de datos geográfica estructurada, junto con parámetros geométricos (áreas, perímetros, coordenadas), contribuye directamente al fortalecimiento del sistema de información para la toma de decisiones sobre la gestión del territorio.

El uso de herramientas de código abierto y automatización en Python permitió optimizar tiempos de procesamiento, garantizar reproducibilidad y reducir posibles errores manuales. Asimismo, se estandarizaron los procedimientos técnicos para la generación de insumos y productos geoespaciales, lo que facilita futuras actualizaciones e incrementa el valor operativo de la información.

Finalmente, los resultados obtenidos evidencian que los objetivos específicos fueron alcanzados: se adquirieron correctamente las imágenes multiespectrales del área de

estudio, se procesaron para generar índices espectrales, se capturó la información geográfica requerida y se consolidó en un entorno SIG adecuado para análisis posteriores. Por tanto, el proyecto dejó capacidades instaladas y una base técnica sólida que permitirá avanzar en estudios hidrológicos, monitoreo ambiental y gestión integral del recurso hídrico en la región.

6. RECOMENDACIONES

1. Continuar con procesos de formación en software especializado como QGIS, CIVIL 3D y lenguajes de programación como Python. La automatización de flujos de trabajo mediante código permite optimizar tiempos, minimizar errores y ampliar las posibilidades de análisis en proyectos futuros.
2. Para garantizar la vigencia y confiabilidad de la información, la base de datos consolidada debe ser actualizada de forma periódica, incorporando nuevas imágenes multiespectrales y verificando cambios en la cobertura del suelo, cuerpos de agua y redes de drenaje.
3. Es importante que los resultados se articulen con la Autoridad Nacional del Agua (ANA), el Instituto Geográfico Nacional (IGN) y otras entidades que gestionan recursos hídricos y territoriales. Esto asegurará la interoperabilidad, el acceso público a los datos y su uso en la planificación regional.
4. Implementar revisiones más exhaustivas en los procesos de digitalización, clasificación y llenado de atributos, con el fin de reducir inconsistencias y garantizar la precisión cartográfica y métrica de los datos.

7. ANEXOS

FAL INGENIEROS S.A.S.
NIT 860.075.480-4
FOTOGRAFIA AÉREA - CARTOGRAFÍA DIGITAL - CATASTRO
EMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA - ESTUDIOS Y DISEÑOS VIALES
INTERVENTORÍA Y CONSULTA

Bogotá, 22 de septiembre del 2025

SEÑORES

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Proyecto Curricular de Ingeniería Topográfica

Por medio de la presente, como responsable técnico del proyecto **"Consolidación, captura de información métrica y generación de una base de datos a partir de sensores remotos multiespectrales aerotransportados en el proyecto Sierra Central del Perú para posteriores estudios y modelos hidrológicos"**, emito el siguiente **concepto técnico** respecto a la pasantía realizada por el estudiante **Jaime Alejandro Gaona Patiño**, identificado con cédula de ciudadanía No. 1.033.743.256 de Bogotá.
Durante el desarrollo de su práctica profesional, el estudiante cumplió de manera satisfactoria con los objetivos propuestos, destacándose en los siguientes aspectos técnicos:

1. **Procesamiento y análisis de imágenes multiespectrales aerotransportadas**, obteniendo índices NDVI, NDWI y SAVI, fundamentales para la caracterización ambiental y el análisis hidrológico.
2. **Automatización de procesos con Python**, optimizando el tiempo de procesamiento y reduciendo posibles errores en la manipulación de datos raster y vectoriales.
3. **Captura y digitalización de información geoespacial en Civil 3D y QGIS**, lo que permitió consolidar un inventario detallado de elementos territoriales como ríos, drenajes, lagunas, infraestructuras y áreas de cobertura.
4. **Construcción de una base de datos espacial estructurada**, ajustada a las normas de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y la Infraestructura de Datos Espaciales del Perú (IDEP), garantizando la interoperabilidad de la información.
5. **Producción de insumos cartográficos y técnicos**, aplicables a la gestión de recursos hídricos, planificación territorial y futuros modelos hidrológicos en la Sierra Central del Perú.

En términos técnicos, el trabajo desarrollado evidencia un adecuado manejo de **herramientas SIG, programación y normativas oficiales**, asegurando la calidad de los productos obtenidos y su aplicabilidad en estudios ambientales e hidrológicos.
Por tanto, el desempeño del estudiante se considera **ALTAMENTE SATISFACTORIO**, demostrando competencias sólidas en teledetección, análisis espacial y estructuración de datos geográficos, además de una clara capacidad para integrar conocimiento académico con aplicaciones prácticas.

Cordialmente.

Blanca Cecilia Chaves Mazorra
Gerente General
FAL INGENIEROS S.A.S

BOGOTÁ – Carrera 7 No. 156-10, of 1707 (PBX) 601-2491690 / Cel 310 216 2740
Página web www.fal.com.co y E-Mail: info@fal.com.co.

8. BIBLIOGRAFÍA

España, G. d. (2020). *Instituto Geografico Nacional.* Madrid España.

Fagua, J. C., Campo, A., & Posada, E. (s.f.). *Desarrollo de dos metodologías para la generación de modelos digitales de terreno (MDT) y superficie (MDS) empleando datos LiDAR y programas de licencia libre.* Bogotá: Tecnologías geoespaciales al servicio del desarrollo territorial.

Felicísimo, Á. M. (2015). *La utilización de los MDT en los estudios del medio físico.*

Infante, C. (2010). *Guía para la presentación de proyectos de investigación.* Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Salazar, A. F. (2024). *Generación de ortomosaicos a partir de imágenes capturadas con dron, en el procedimiento de saneamiento predial, aplicado en los proyectos DMESR, GSRSC, FHB, usando información espacial de la Gobernación de Antioquia.* Medellín colombia: Universidad de Antioquia .

Torres, L. A., & Jiménez, A. (2009). *Caracterización de firma espectral a partir de sensores remotos para el manejo de sanidad vegetal en el cultivo de palma de aceite.* Bogotá: palmas.

Gillies, S., Van den Bossche, J., & Jordahl, K. (2023). *GeoPandas 0.14.0 documentation*. GeoPandas. https://geopandas.org/

Gillies, S., Taves, M., & otros. (2023). *RASTERio 1.3.8 documentation*. RASTERio. https://RASTERio.readthedocs.io/

Python Software Foundation. (2024). *Python 3.12.0 documentation*. https://docs.python.org/3/

OSGeo Foundation. (2023). *GDAL/OGR geospatial data abstraction library*. https://gdal.org/

Silva, M., & Ledo, L. (2022). *Introducción a Python para SIG y análisis de datos geoespaciales*. Editorial UPM. https://doi.org/10.20868/UPM.book.76472

MapScaping. (2025, agosto 11). *Calculating NDVI using QGIS*. https://mapscaping.com/

NASA Applied Remote Sensing Training Program (ARSET). (2025). *El cálculo de índices espectrales para aplicaciones terrestres y acuáticas usando QGIS*. NASA. https://appliedsciences.nasa.gov/

Gidahatari. (2017, diciembre 27). *Tutorial de cálculo de índice de vegetación (NDVI) e índice de agua (NDWI) con QGIS*. https://gidahatari.com

Microsoft. (2025). *Visual Studio Code documentation*. https://code.visualstudio.com/docs

Autodesk. (2025). *CIVIL 3D user guide*. https://help.autodesk.com/view/CIV3D/2025/

Autodesk. (2025). *Exporting drawing data to SHP files*. Autodesk Knowledge Network. https://knowledge.autodesk.com/

Comisión Permanente de Coordinación (PCM). (2014). *Resolución Ministerial N.° 241-2014-PCM: Directiva sobre estándares de servicios web de información georreferenciada*. https://www.gob.pe/pcm

Comisión Permanente de Coordinación (PCM). (2011). *Decreto Supremo N.° 069-2011-PCM: Creación del portal GEOIDEP*. https://www.gob.pe/pcm

Congreso de la República del Perú. (2009). *Ley N.° 29338: Ley de Recursos Hídricos*. https://www.gob.pe/

Presidencia del Consejo de Ministros. (2025). *Infraestructura de Datos Espaciales del Perú (IDEP)*. https://www.gob.pe/pcm

Instituto Geográfico Nacional del Perú (IGN). (2020). *Anexo N.° 1: Guía GIS – Manual de especificaciones técnicas*. https://www.gob.pe/ign