

Empleo de nuevas tecnologías para el reconocimiento técnico de ingenieros militares: fotografía aérea, sistemas de información geográfica y análisis multicriterio

Use of new technologies for the technical recognition of military engineers: aerial photography, geographic information systems, and multicriteria analysis

David Alexander Calderón Arregui¹, Juan Pablo Gómez Espinoza^{1,2}

¹Universidad de las Fuerzas Armadas- ESPE - dacalderon07@gmail.com

²Ejército Ecuatoriano - jpgomeze@ejercito.mil.

Resumen

El objetivo principal de este estudio consistió en describir el uso de nuevas tecnologías en el reconocimiento técnico de ingenieros. Para lograr este propósito se empleó una metodología cuantitativa de alcance descriptivo con un diseño de corte transversal. En este estudio, se abordaron tres aspectos fundamentales: en primer lugar, se detallaron las operaciones relacionadas con el reconocimiento técnico de ingenieros; en segundo lugar, se examinaron las nuevas tecnologías que pueden ser aplicadas en dicha actividad; por último, se presentó la aplicación práctica de estas tecnologías en casos reales en el campo. Los resultados obtenidos destacan la relevancia de las nuevas tecnologías en la recopilación de información llevada a cabo por los equipos de reconocimiento. Estas tecnologías permiten la digitalización de la infraestructura, la cartografía de accidentes geográficos y su posterior procesamiento mediante análisis multicriterio. Todo ello se traduce en la capacidad de determinar con precisión las áreas óptimas para la ejecución de operaciones del arma de Ingeniería.

Palabras Claves: Reconocimiento técnico, Tecnología, SIG, Ingeniería Militar, Ecuador.

Abstract

The main aim of this study has been to describe the use of new technologies in engineers' technical reconnaissance. To achieve this purpose, a quantitative methodology with a descriptive scope and a cross-sectional design was employed. Hereby, three fundamental aspects were addressed, being first, the operations related to the technical reconnaissance of engineers were detailed, secondly, the new technologies that are able to be applied in this activity were examined, and finally, the practical application of these technologies in real-world cases in the field were presented. The results obtained highlight the relevance of new technologies in the collection of information performed by reconnaissance teams. These technologies enable the digitization of infrastructure, the mapping of geographical accidents, and their subsequent processing through multicriteria analysis. This allowed to determine optimal areas for the accurate execution of engineering operations.

Keywords: Technical recognition, Technology, GIS, Military Engineering, Ecuador.



Fecha de Recepción: 10/06/2023 - Aceptado: 16/06/2023 – Publicado: 30/06/2023
ISSN: 2477-9253 – DOI: <http://dx.doi.org/10.24133/RCS.D.VOL08.N02.2023.02>

I. Introducción

El arma de Ingeniería cumple misiones de movilidad, contra movilidad, supervivencia, ingeniería general e ingeniería geográfica, lo que denota la especialización y el conocimiento que tienen los soldados del castillo dorado. Dentro de las misiones de ingeniería en general, se encuentra la construcción de vías, puentes, edificaciones, y demás infraestructura necesaria para el cumplimiento de las misiones de la propia arma y de las demás (Comando de Educación y Doctrina del Ejército, 2020).

La fortaleza del arma de Ingeniería está en la flexibilidad que tiene para combinar áreas de conocimiento. El manual de empleo del arma de ingeniería señala que la ingeniería geográfica comprende las misiones destinadas a evaluar y proveer información detallada acerca del terreno, permitiendo al comandante visualizar de mejor forma el escenario del campo de batalla y posicionar sus medios (Comando de Educación y Doctrina del Ejército, 2020). El dominio de los sistemas de información geográfica permite ahorrar tiempo, recursos humanos y financieros, ya que se puede obtener información geográfica en cuestión de minutos, sin necesidad de tener que desplazarse grandes distancias.

Conforme López et al. (2015), citados por López et al. (2019), un Sistema de Información Geográfica (SIG) se define como “un conjunto de herramientas compuesto por hardware, software, datos y usuarios, que permite la captura, almacenamiento, gestión y análisis de información digital, así como la generación de gráficos y mapas, y la representación de datos alfanuméricos” (p. 5). Esto, sin lugar a duda, es una de sus fortalezas, y debería ser aprovechada en las operaciones que ejecutan las Fuerzas Armadas de Ecuador y de todo el mundo.

En la toma de decisiones de los diferentes niveles de mando, el terreno es sin lugar a duda un aspecto a considerar. El avance de la tecnología hace cada vez más fácil esta tarea, ya que pone a disposición aplicaciones, programas, páginas web, y demás recursos que permiten procesar y almacenar una gran cantidad de información geográfica.

A esto se suma, la ventaja de poder utilizar vehículos aéreos no tripulados para la obtención de información geográfica. Según Escalante et al. (2016) los vehículos aéreos no tripulados (UAV por su sigla en inglés) son una de las herramientas tecnológicas de mayor investigación y aplicación en áreas como la fotogrametría aérea y de percepción remota, presentándose como una importante alternativa para la captura de imágenes de alta resolución espacial y temporal.

En el terremoto del 16 de abril del 2016, este tipo de dispositivos permitieron obtener información al instante del estado en el que se encontraba cada una de las ciudades afectadas por este hecho telúrico. La captura de imágenes de alta resolución espacial y temporal permitió obtener información que posteriormente fue procesada para determinar los lugares más afectados, con la finalidad de orientar las decisiones de evacuación y de evaluación de seguridad de la infraestructura (Baquero y Vásquez, 2019). Con el uso de los sistemas de información geográfica se podía mantener actualizada la información, y esta podía ser utilizada por diferentes sectores en todo el país.

Sin embargo, el uso de estos sistemas no es reciente, ya que han sido desarrollados y empleados desde finales de los años cincuenta en el campo militar para tareas de reconocimiento, vigilancia y misiones en territorios hostiles. Hoy en día forman parte también de actividades civiles de monitoreo, mediciones atmosféricas, evaluación de daños, agricultura, mapeo y cartografía entre otras; como lo señalan Bendea et al., (2008) y Chiabrando et al. (2011), ambos citados por Escalante et al. (2016).

Esto destaca la importancia del empleo de nuevas tecnologías como los sistemas de información geográfica y vehículos aéreos no tripulados para el reconocimiento técnico de ingenieros que cumplen las unidades militares del arma de ingeniería, ya que su empleo permite orientar las operaciones de ingeniería en el campo de batalla. Por este motivo, se plantean las siguientes preguntas que orientan el desarrollo de este trabajo:

- ¿En qué consiste el reconocimiento técnico de ingenieros militares?
- ¿Cuáles son las nuevas tecnologías que se pueden utilizar para el reconocimiento técnico de ingenieros militares?
- ¿Cuál es la aplicación de las herramientas tecnológicas en el reconocimiento técnico de ingenieros militares?

Para contestar estas preguntas se plantean como objetivo general, realizar la descripción del empleo de nuevas tecnologías para el reconocimiento técnico de ingenieros militares, esto será alcanzado a través de los siguientes objetivos específicos:

- Describir en qué consiste el reconocimiento técnico de ingenieros militares.
- Describir las nuevas tecnologías utilizadas para el reconocimiento técnico de ingenieros militares.
- Describir la aplicación de las nuevas tecnologías para el reconocimiento técnico de Ingenieros militares.

El resto del artículo se estructura de la siguiente manera: En el primer apartado se describe en qué consiste el reconocimiento técnico de ingenieros. En el segundo apartado se describen las nuevas tecnologías para el reconocimiento técnico de ingenieros. En el tercer apartado se describe la aplicación de las nuevas tecnologías para el reconocimiento técnico de ingenieros. Finalmente, se describen las conclusiones a las que se ha llegado en este artículo.

II. Materiales y Métodos

La metodología utilizada fue cuantitativa, de alcance descriptivo, ya que se realizó la búsqueda de información que permita describir el empleo de nuevas tecnologías para el reconocimiento técnico de ingenieros. Esto fue complementado con un estudio de campo de corte transversal, ya que se puso en práctica la teoría para determinar el procedimiento a seguir para la recolección de información necesaria para el empleo de las unidades de ingeniería. Los casos prácticos se desarrollaron utilizando fotografía aérea con el empleo de drones, Pix4Dcapture, Agisoft Metashape para el procesamiento de las imágenes, Avenza Maps para la recolección de puntos en ruta. Dentro de los sistemas de información geográfica se emplearon Argis y Google Earth. Estas herramientas tecnológicas permitieron destacar las bondades que prestan para el reconocimiento técnico de ingenieros.

III. Resultado y análisis

3.1. Reconocimiento técnico de ingenieros militares

Los reconocimientos de Ingenieros son operaciones que tienden a la recolección de datos relacionados al terreno, a los recursos, las instalaciones y a toda la información que, de manera general, interese a las operaciones del Arma de Ingenieros y a las necesidades específicas del Mando, a fin de que este pueda decidir con base en los elementos positivos de juicio (Comando de Educación y Doctrina del Ejército, 2017).

Además, un reconocimiento proporciona información actual del campo de batalla que ayuda a un comandante a planificar y llevar a cabo operaciones tácticas (Department of the Army Washington, 1998).

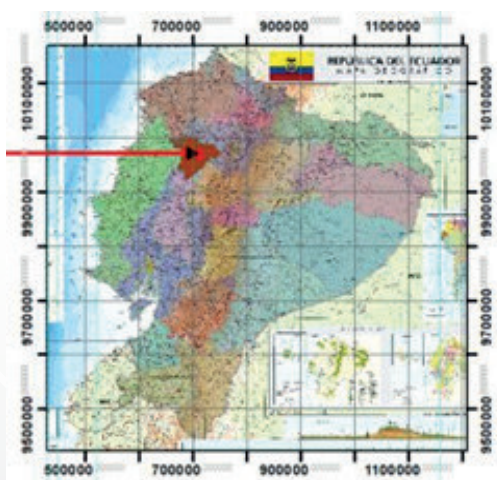
Los elementos de reconocimiento de ingenieros pueden consistir en un pelotón de ingenieros, escuadrón, equipo u otro elemento. Durante las operaciones militares, el ingeniero puede ser llamado para ayudar a la fuerza de maniobra durante las misiones de reconocimiento. Estas misiones normalmente son ejecutadas por equipos de reconocimiento de ingenieros. Los equipos de reconocimiento de ingenieros pueden operar independientemente; sin embargo, normalmente aumentan los pelotones de exploración de caballería; pelotones de exploración mecanizados, con ruedas o desmontados u otras unidades de maniobra directamente involucradas en operaciones de reconocimiento.

Los reconocimientos técnicos especiales están orientados a obtener información de rutas e itinerarios, carreteras, vías férreas y caminos, aeropuertos, helipuertos, puentes, vados, balsas, obstáculos, aspectos militares del terreno, materiales y equipo de ingenieros, actualización de cartas, localidades, cursos de agua, establecimiento de barreras, áreas de estacionamiento, depósito de combustibles, instalaciones, puertos, locales de construcción, túneles, recursos locales, ductos, entre otros (Comando de Educación y Doctrina del Ejército, 2017).

3.2. Aplicación de nuevas tecnologías para el reconocimiento técnico de ingenieros militares

Para iniciar con este estudio se procedió a determinar la ubicación del sector de reconocimiento de acuerdo con su sistema de coordenadas UTM (Figura 1).

Figura 1: Ubicación en coordenadas UTM17S WGS84 del sector de reconocimiento



Nota. Elaboración propia en base al mapa geográfico del Ecuador

3.2.1. Empleo de fotografía aérea para el reconocimiento técnico de ingenieros militares

La fotografía aérea ha sido una herramienta valiosa para el reconocimiento militar durante décadas. Inicialmente, se utilizaban aviones tripulados para capturar imágenes desde el cielo, pero con la llegada de los vehículos aéreos no tripulados (UAV), también conocidos como drones, se ha revolucionado la forma en que se lleva a cabo el reconocimiento. Esta es una herramienta visual primordial que permite la toma de decisiones en diferentes tipos de áreas (Instituto Geográfico Militar, n.d.). Esto es posible gracias a los vehículos aéreos no tripulados, que son manejados por los equipos de reconocimiento, y que permiten recopilar información del sector requerido a través de los drones.

Según Baquero y Vásquez (2019), existen varios medios de reconocimiento aéreo, pero los principales que utilizan las Fuerzas Armadas en el Ecuador son los Drones Mavic Pro, Phantom 3 y 4, Inspire 1 y 2 y Matrice 100 (Figura 2). Los cuales permiten obtener imágenes de alta resolución y en tiempo real, lo que proporciona una visión detallada de áreas geográficas específicas. Esta capacidad es especialmente útil para la planificación y el análisis de objetivos, la identificación de posibles amenazas y la evaluación de daños en zonas afectadas por desastres naturales o conflictos.

En este caso, los integrantes del equipo de reconocimiento operan en binomios. El piloto es quien realiza el vuelo y el copiloto es quien dirige el despegue y el aterrizaje, además que ayuda en la calibración del dron antes de realizar el vuelo.

Figura 2: Drones utilizados por Fuerzas Armadas de Ecuador para realizar reconocimiento aéreo



Nota. Obtenido de Baquero y Vásquez (2019)

Se procedió a tomar una fotografía aérea del sector de reconocimiento empleando el dron Inspire 1 (Figura 3). Para lo cual, una vez identificado el sector de reconocimiento, se procedió hacer el montaje del dron, y su calibración. Con la ayuda de la aplicación Pix4Dcapture se realizó la planificación del vuelo programado. Para Blanco Pérez (2020) el software Pix4D es trascendental para las fotografías tomadas con dron pues supone la base para el mapeado vectorial ulterior. Además, permite al usuario amplias opciones en cada uno de los pasos del proceso. Y ofrecen también una gran variedad de formatos de salida del modelo 3D (Charquero Ballester, 2016). Dentro de esta aplicación se delimitó el área a reconocer y se configuró altura de vuelo. Es importante, identificar la altura mínima a la que debe volar el dron con la finalidad de evitar choques con objetos o árboles del sector. Posterior a esto, se procedió a ejecutar el reconocimiento.

Figura 3: *Drone Inspire 1*

Las fotografías tomadas fueron procesadas en la aplicación Agisoft Metashape y se obtuvo un orto mosaico del sector a reconocer (Figura 4), el mismo que posteriormente se cargó en la aplicación ARCGIS.

Figura 4: *Orto mosaico del sector de reconocimiento*

3.2.2. Empleo de Avenza Maps en el reconocimiento técnico de ingenieros militares

Los equipos de reconocimiento realizan el reconocimiento de rutas para obtener información detallada sobre una ruta específica y el terreno a ambos lados de la ruta que el enemigo podría influir en el movimiento. Aquí surge la utilidad de la aplicación Avenza Maps™ y otras aplicaciones como estas, para registrar la ruta con los lugares característicos del sector a ambos lados (Department of the Army Washington, 1998). GeoEnergy (n.d.) describe a la aplicación Avenza Maps™ como un software de cartografía móvil que te permite descargar mapas para usarlos sin conexión en tu teléfono o tableta iOS y Android. Utiliza el GPS integrado de tu herramienta para situarte en cualquier mapa. Traza e informa sobre áreas, importa y exporta marcas de posición, mide distancias y lugares o incluso traza imágenes.

Para complementar la información obtenida en el orto mosaico, se procedió a realizar un estudio de campo para determinar las características y atributos de la infraestructura del sector de reconocimiento. Esto se realizó con el uso de la aplicación Avenza Maps, la misma que permite obtener la ruta de reconocimiento con la información geográfica que ingresa el equipo de reconocimiento, de cada uno de los puntos levantados y sus coordenadas.

En esta actividad se tomaron fotografías y se registraron los aspectos más importantes de cada espacio, que luego fueron procesados y colocados dentro de los atributos de cada infraestructura en los sistemas de información geográfica. En gabinete se procedió a exportar el archivo de la aplicación Avenza Maps, y se lo cargó en Google Earth, esto permitió visualizar la ruta de reconocimiento y los puntos levantados (Figura 5).

Además, se verificó que las instalaciones que se visualizan en el orto mosaico son similares a las que aparecen en Google Earth, por lo que se constató que la información de Google Earth se encontraba actualizada.

Figura 5: Reconocimiento de instalaciones en el sector de reconocimiento



Nota: Elaboración propia en Google Earth.

3.2.3. Empleo de sistemas de información geográfica en el reconocimiento técnico de ingenieros militares.

Los Sistemas de Información Geográfica son herramientas que permiten capturar, almacenar, analizar y mostrar datos geospaciales en forma de mapas interactivos. Para los ingenieros militares, los SIG son esenciales para integrar la información proveniente de diversas fuentes, incluyendo la fotografía aérea, datos de teledetección y datos terrestres.

Al combinar datos geospaciales, los ingenieros pueden crear mapas detallados y visualmente ricos que ayudan a comprender mejor la topografía del terreno, la infraestructura existente, los recursos naturales y otros factores relevantes para la toma de decisiones en el campo de batalla. Los SIG también facilitan la planificación de rutas, la ubicación de bases militares y la identificación de áreas estratégicas para desplegar equipos y recursos.

3.2.3.1 Digitalización del terreno

La información vectorial generada a partir de la técnica de digitalización se caracteriza por tener, en primer lugar, una geometría particular asociada a la forma y función de la información y, en segundo lugar, una cadena de atributos asociada a las dimensiones y tipo de registros (Alvarado Rivas, 2015).

Según López Lara et al. (2019) la representación espacial en un modelo vectorial se basa en la localización de puntos individuales según determinadas coordenadas, viniendo definida por funciones matemáticas, por lo que se pueden representar puntos, líneas parábolas, polígonos. Así, la digitalización del terreno refiere al levantamiento de la información existente en cuanto a infraestructura, terreno y demás condiciones existentes en la superficie de estudio.

Se identificaron tres categorías en el levantamiento de la información del sector de reconocimiento: infraestructura, vías y áreas exteriores.

Dentro de los reconocimientos es importante obtener información de la infraestructura existente en el sector para posteriormente digitalizarlas según su finalidad en ARCGIS. La digitalización de este tipo de infraes-

estructuras permite al equipo de reconocimiento generar una base de datos con las características propias de cada elemento. Además, que se puede determinar el área, perímetro y coordenadas; información relevante para las operaciones de ingeniería. Por ejemplo, en el caso del área de estudio, se identificaron áreas de entrenamiento, salud, administrativa, deportiva, dormitorios, hangares, operaciones y bodegas (Figura 6).

Figura 6: *Infraestructura en el sector de reconocimiento*



Nota. Elaboración propia en base a orto mosaico del sector de reconocimiento.

Además, en el sector de reconocimiento se identificaron dos tipos de viviendas que son utilizadas por el personal militar y sus familias. El primer tipo de viviendas son destinadas para el personal de oficiales, mientras que las demás están destinadas para el personal de tropa (Figura 7).

Figura 7: *Vivienda fiscal del sector de reconocimiento*



Nota. Elaboración propia en base a orto mosaico del sector de reconocimiento

Por lo general, estas viviendas son departamentos que cuentan con sala, comedor, cocina, dormitorios y baños. En el momento de levantar la información se observó que se encuentra avanzando un proyecto de mantenimiento de la vivienda fiscal. En general, las viviendas se encuentran en buen estado, exceptuando algunas que denotan una falta de mantenimiento, debido al reducido presupuesto destinado para este fin. Entre los atributos principales se encuentran: nombre, usuario, tipo, unidad, área, perímetro, coordenadas y estado.

El reconocimiento de vías es una de las capacidades que tiene el equipo de reconocimiento, ya que permite obtener información relevante de las vías de comunicación, como, por ejemplo: la longitud, el ancho, altura

máxima, estructura del pavimento y tipo, entre otros criterios importantes para las operaciones de ingeniería en general, que se centran en mantener en óptimas condiciones las vías de comunicación entre el puesto de mando y las unidades de maniobra que se encuentra en el frente. En este caso, el reconocimiento permitió determinar que las vías de comunicación del sector de reconocimiento permiten el desplazamiento hacia los diferentes tipos de infraestructura existente. Se caracteriza por tener una vía principal. A partir de esta vía principal, aparecen ramificaciones que conectan con las instalaciones que se encuentran en los extremos de esta unidad, y a partir de estas, aparecen otras que conectan hacia los dormitorios más alejados, en relación a la parte céntrica de la unidad, como se indica en la figura 8.

Figura 8: Red vial del sector de reconocimiento



Nota. Elaboración propia en base a orto mosaico del sector de reconocimiento

Las vías principales, secundarias y terciarias se caracterizan por estar en un estado regular, lo que denota la necesidad de llevar a cabo un proyecto de mantenimiento de las vías en el sector de reconocimiento. Se identifica que existen vías pavimentadas, adoquinadas, lastradas, y otras mixtas, debido a que se componen de dos tipos de vías. Una vez que se obtiene toda esta información es importante digitalizarla y generar una base de datos en la tabla de atributos de ARCGIS para determinar la longitud, las coordenadas de inicio y fin, el tipo, la clase y estado de cada una de las vías. Además, esto podrá ser incluido en el informe de reconocimiento que presenta el comandante del equipo.

Es importante determinar también las áreas exteriores que se encuentran en el sector de reconocimiento, ya que inciden al momento de hacer un análisis multicriterio. En este caso, los accidentes geográficos que se determinaron son: bosques, ríos y la red de energía, como se indica en la figura 9.

Figura 9: Áreas exteriores del sector de reconocimiento



Nota. Elaboración propia en base a orto mosaico del sector de reconocimiento.

3.2.3.2. Análisis multicriterio para determinar rutas y áreas óptimas

Los sistemas de información geográfica mediante el procesamiento de información, permite realizar un análisis multicriterio, que consiste en el conjunto de operaciones orientadas a la toma de decisiones, considerando simultáneamente varios criterios o condicionantes.

El análisis multicriterio es una técnica que permite evaluar múltiples variables y criterios al tomar decisiones. En el contexto militar, esta metodología se aplica para resolver problemas complejos y tomar decisiones estratégicas basadas en datos cuantitativos y cualitativos.

Al emplear el análisis multicriterio junto con la fotografía aérea y los SIG, los ingenieros militares pueden priorizar objetivos, identificar áreas de alto riesgo, optimizar la distribución de recursos y evaluar posibles cursos de acción. Este enfoque integrado mejora significativamente la efectividad y precisión de la planificación de operaciones militares.

A continuación, se presentan diferentes situaciones que se han planteado acorde a las misiones y operaciones que realizan las unidades del arma de Ingeniería, con la finalidad de explicar en qué consiste este tipo de estudios.

En este primer situacional se utilizó el análisis multicriterio para determinar el área óptima en la que se puede construir un campo de instrucción y entrenamiento en el sector de reconocimiento. Para esto se elaboró la carta a escala del área de estudio y se procedió a realizar el reconocimiento utilizando la aplicación Avenza Maps, marcando el punto de salida, los puntos de control del campo de instrucción y el punto de llegada, como se indica en la tabla 1.

Tabla 1: Puntos de control para el reconocimiento del campo de entrenamiento en el área de estudio

Nombre	Descripción	X	Y
Punto de partida	Punto de partida del reconocimiento	711723,207	9969599,24
PC1	Primer punto de control del polígono	711210,12	9969583,08
PC2	Segundo punto de control del polígono	711224,229	9969557,35
PC3	Tercer punto de control del polígono	711200,048	9969547,58
PC4	Cuarto punto de control del polígono	711188,153	9969580,12
Llegada	Punto de llegada del reconocimiento	711628,261	9969753,95

Nota. Elaboración propia en base a información obtenida utilizando ArcGIS Map.

Como resultado se tiene que el área aproximada del campo de entrenamiento determinado es de 750.90 m². En su contorno se realizó un desfase de 75 metros para marcar el área de riesgo. Adicional, se ha establecido un área de seguridad ubicada al exterior del área de seguridad inicial, con un desfase de 25 metros. Se determinó que las instalaciones más cercanas a este sector son las siguientes: la oficina de la Unidad de Ingeniería de Construcciones Santo Domingo a una distancia de 47.81 metros, el comedor a una distancia de 67.17 metros, y la zona de espera del retén a una distancia de 67.77 metros; por lo que se considera que el área estudiada es adecuada para este propósito (Figura 10).

Figura 10: Reconocimiento de instalaciones en el área de estudio

Nota. Elaboración propia en base a información obtenida utilizando ArcGIS Map.

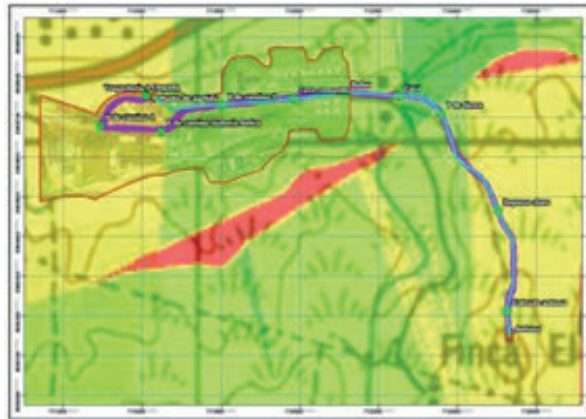
El análisis multicriterio además de permitir realizar un análisis del terreno para determinar un área que cumplan ciertas condicionantes, también permite realizar el análisis para determinar las vías o rutas más óptimas para desplazarse de un punto hacia otro. Con este fin se llevó a cabo una práctica que permita determinar la ruta más óptima para desplazarse desde el sector de reconocimiento hacia la antena que se encuentra en las inmediaciones de este campamento. Durante el trayecto hacia la antena se fue marcando puntos de control con coordenadas de lugares característicos del sector hasta llegar a la antena, empleando la aplicación de Avenza Maps.

Tabla 2: Puntos de control del reconocimiento a la antena en inmediaciones del área de estudio

Nombre	Descripción	X	Y
PP	Punto de partida	711630,034	9969750,2
PC1	Y de camino 1	711493,187	9969679,04
PC2	Y de camino material bélico	711648,004	9969664,22
PC3	Y de camino 3	711802,057	9969730,36
PC4	Casa comando	711984,286	9969746,69
PC5	Reten	712116,916	9969761,23
PC6	Casa	712251,921	9969753,39
PC7	Y de tierra	712356,975	9969709,27
PC8	Ingreso claro	712502,348	9969465
PC9	Entrada antena	712526,561	9969212,96
PC10	Antena	712532,281	9969147,34
PF	Llegada	711611,715	9969753,77
T	Trayectoria 1	711610,987	9969753,36

Según el análisis multicriterio se concluye la ruta elegida para el desplazamiento desde la zona de reconocimiento hasta la antena que se encuentra en sus inmediaciones es una ruta óptima, ya que se encuentra dentro de pendientes leves en el rango de las tres primeras clases (1-5:5-10:10-15). En la figura 11 se representa la ruta más óptima para realizar el reconocimiento de la antena aledaña al área de estudio. Se podría acortar camino tomando los graderíos que se encuentran detrás de las aulas para salir directamente al punto 4 de la tabla. Esto implicaría no ir por la vía, pero permitiría acortar el tiempo y distancia de desplazamiento.

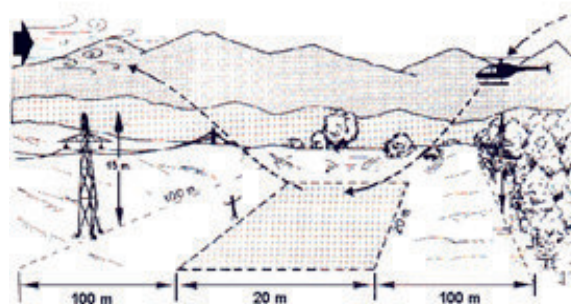
Figura 11: Reconocimiento de la ruta óptima a la antena ubicada en inmediaciones del área de estudio



Nota. Elaboración propia basada en el orto mosaico del sector de reconocimiento

Las prácticas previas permitieron realizar un análisis multicriterio para determinar el lugar más óptimo para la implementación y construcción de un helipuerto en el sector de reconocimiento. Según la Dirección General de Protección Civil y Emergencias (2015), para la construcción de un helipuerto se deben considerar factores como: la situación orográfica, elevación, vientos, visibilidad y obstáculos. En la figura 12 se indica el esquema propuesto por la Dirección General de Protección Civil y Emergencias (2015) para la construcción de helipuertos.

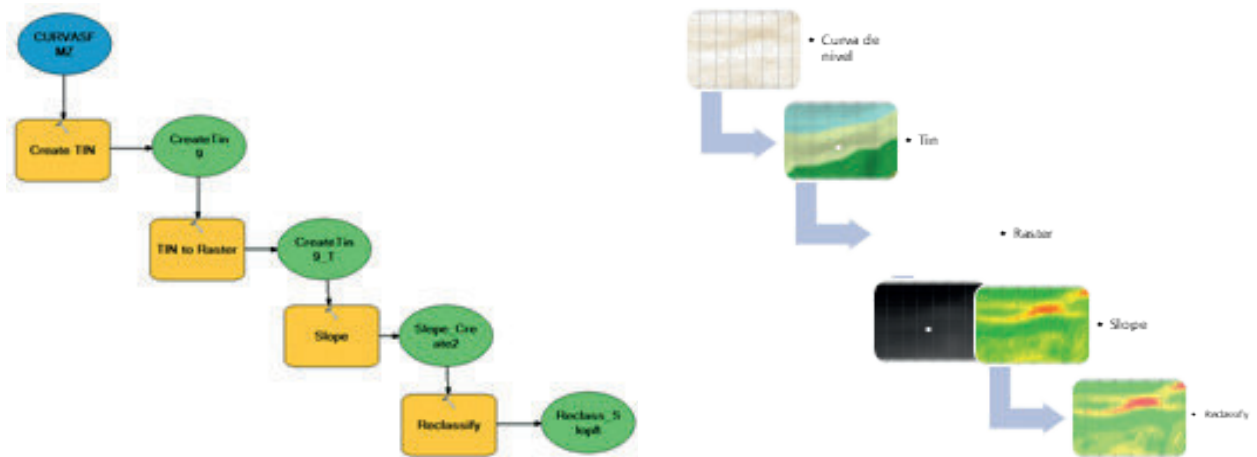
Figura 12: Esquema de los criterios que debe cumplir un helipuerto



Nota. Obtenido de la Dirección General de Protección Civil y Emergencias (2015)

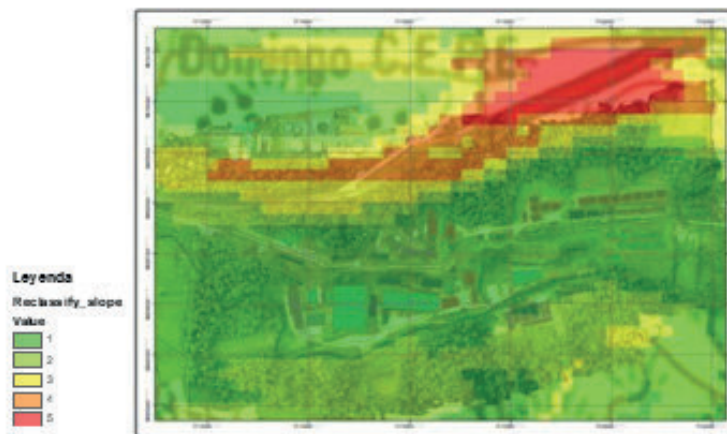
Para iniciar se procedió a realizar el modelamiento del terreno empleando las curvas de nivel del sector. Las curvas de nivel utilizadas tienen un intervalo de 5 metros, entre las curvas secundarias. Con las curvas de nivel se empleó el modelo cartográfico para obtener el mapa de elevaciones y el mapa de pendientes (Figura 13).

Figura 13: Modelo cartográfico para el análisis multicriterio de la pendiente



Como resultado de este proceso se obtuvo el mapa de pendientes, y se las clasificó en cinco categorías, la categoría en rojo representa una pendiente severa, y la categoría en verde representa una pendiente suave. En la figura 14 se indica el resultado del análisis multicriterio de pendientes del sector de reconocimiento.

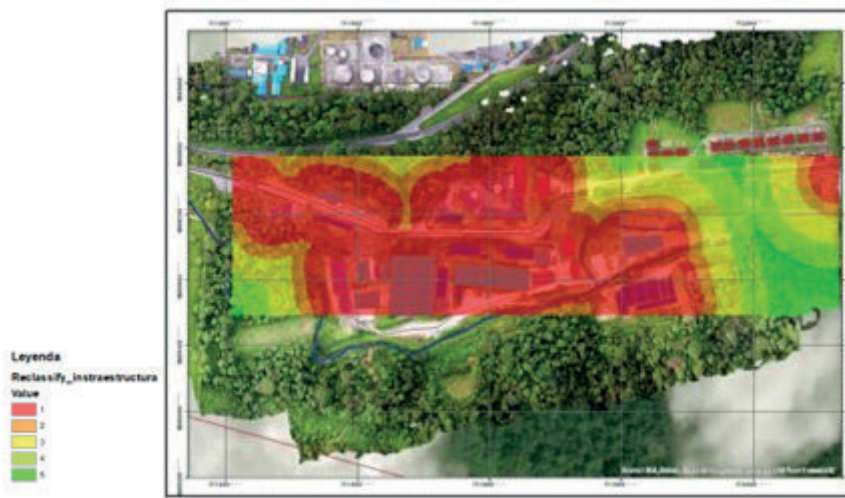
Figura 14: Análisis multicriterio de las pendientes del sector de reconocimiento



Nota. Elaboración propia en base a las curvas de nivel 1:500000 del Instituto Geográfico Militar (2022) y orto mosaico del sector de reconocimiento.

Para determinar las áreas restringidas debido a las instalaciones existentes en el sector de reconocimiento, se empleó la herramienta de distancia euclidiana y posteriormente se reclasificó en cinco categorías, empleando el programa ArcGIS. Como resultado de este proceso se obtuvo el mapa categorizado con la distancia de influencia. En todos los casos, se consideró como distancia máxima para este proceso 200 metros, y una distancia mínima de 40 metros en la primera categoría, debido que según la Dirección General de Protección Civil y Emergencias (2015), no deben encontrarse obstáculos a menos de 30 m del lugar de aterrizaje y con una altura no superior a los 10 m (postes, árboles, tendidos de cables, etc.). En la figura 15 se indica el resultado del análisis multicriterio utilizado para determinar el área restringida por infraestructura.

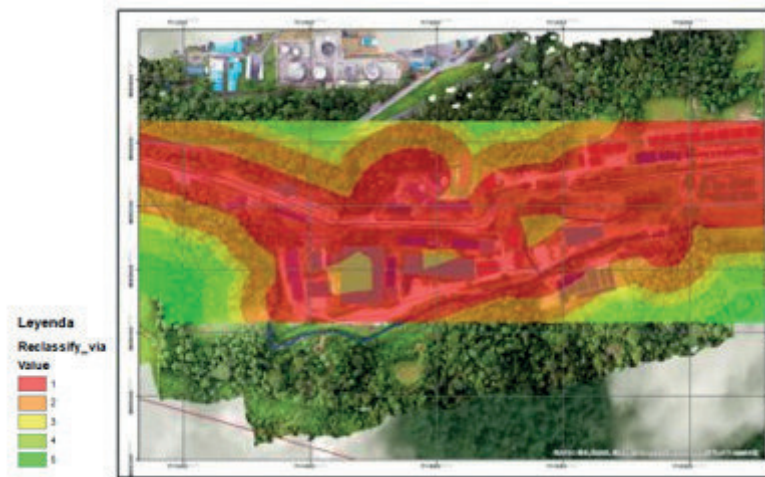
Figura 15: *Análisis multicriterio de la infraestructura en el sector de reconocimiento*



Nota. Elaboración propia en base a orto mosaico del sector de reconocimiento.

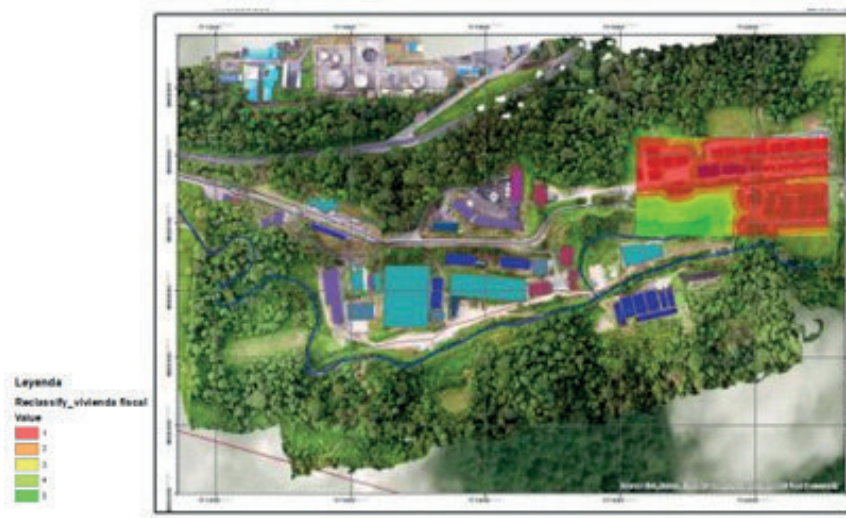
Para determinar las áreas restringidas debido a las vías en el sector de reconocimiento, se empleó la herramienta de distancia euclidiana y posteriormente se reclasificó en cinco categorías, empleando el programa ArcGIS. Esto se realizó considerando que, durante todo el tramo vial, existen postes y cableado de energía eléctrica que podrían poner en riesgo al momento de un aterrizaje del helicóptero. Se obtuvo como resultado el mapa categorizado, en el que se muestra el área restringida por las vías (Figura 16).

Figura 16: *Análisis multicriterio de las vías en el sector de reconocimiento*



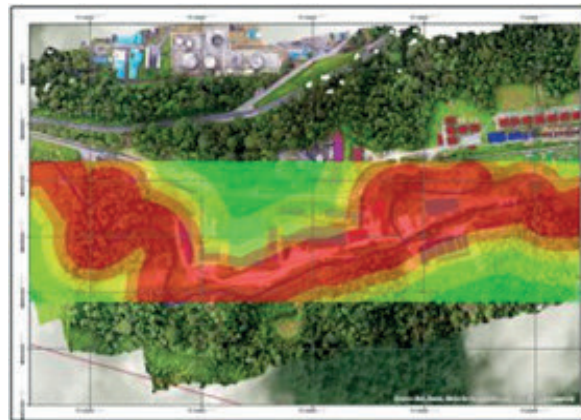
Nota. Elaboración propia en base a orto mosaico del sector de reconocimiento

Para determinar las áreas restringidas debido a la vivienda fiscal del sector de reconocimiento, se empleó la herramienta de distancia euclidiana y posteriormente se reclasificó en cinco categorías, empleando el programa ArcGIS. Esto se realizó considerando que el área de vivienda fiscal es un área en la que viven las familias del personal militar, y que un accidente podría poner en riesgo su bienestar. Se obtuvo como resultado el mapa categorizado, en el que se muestra el área restringida (Figura 17).

Figura 17: *Análisis multicriterio de la vivienda fiscal en sector de reconocimiento*

Nota. Elaboración propia en base a orto mosaico del sector de reconocimiento

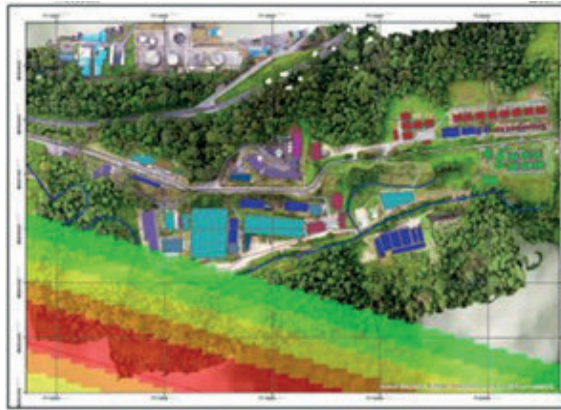
Para determinar las áreas restringidas debido a los ríos existentes en las inmediaciones del sector de reconocimiento, se empleó la herramienta de distancia euclidiana y posteriormente se reclasificó en cinco categorías, empleando el programa ArcGIS. Esto se realizó considerando que en esta área se podría poner en riesgo el aterrizaje de un helicóptero, por lo que se requiere mantener una distancia mínima de 30 metros para precautelar la seguridad de la tripulación del helicóptero y del campamento. Se obtuvo como resultado el mapa categorizado, en el que se muestra el área restringida (Figura 18).

Figura 18: *Análisis multicriterio de los ríos del sector de reconocimiento*

Nota. Elaboración propia en base a orto mosaico del sector de reconocimiento

Para determinar las áreas restringidas debido a la red eléctrica existente en las inmediaciones del sector de reconocimiento, se empleó la herramienta de distancia euclidiana y posteriormente se reclasificó en cinco categorías, empleando el programa ArcGIS. Esto se realizó considerando que la red eléctrica implica un riesgo al momento de que un helicóptero este por aterrizar, por lo que se debe prever la distancia suficiente para evitar cualquier tipo de contratiempo, por lo que se consideró una distancia mínima de 40 metros para precautelar la seguridad de la tripulación del helicóptero y del campamento. Se aplicó el mismo criterio señalado anteriormente, y se obtuvo como resultado el mapa categorizado, en el que se muestra el área restringida (Figura 19).

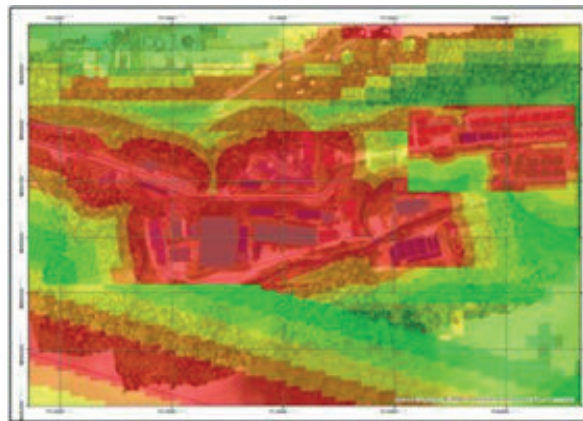
Figura 19: *Análisis multicriterio de la antenna aledaña al sector de reconocimiento*



Nota. Elaboración propia en base a orto mosaico del sector de reconocimiento

Una vez que se obtuvieron estos resultados, se procedió a combinar estos mapas para identificar las áreas restringidas y las áreas no restringidas en el sector de reconocimiento, como se indica en la figura 20.

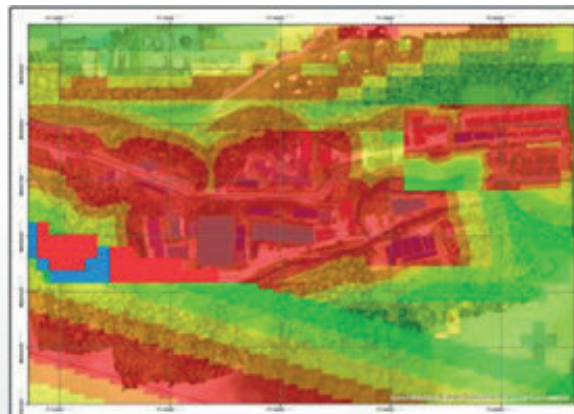
Figura 20: *Combinación del análisis multicriterio en el sector de reconocimiento*



Nota. Elaboración propia en base a orto mosaico del sector de reconocimiento

En ArcGIS se empleó la herramienta Weighted Overlay, y se determinaron dos categorías reducidas en las que se indica el área en el que podría ser construido el helipuerto, como se indica en la figura 21.

Figura 21: *Análisis multicriterio y tipo de terreno en el sector de reconocimiento*



Estos resultados se compararon con el mapa combinado, y se determinó el área óptima para materializar el helipuerto en el sector de reconocimiento, el mismo que se encuentra en el área verde cercana al polígono de tiro, como se indica en la figura 22.

Figura 22: *Ubicación óptima para el helipuerto en el sector de reconocimiento*



Nota. Elaboración propia en base a orto mosaico del sector de reconocimiento

Finalmente, se hizo un reconocimiento en campo para verificar que el lugar determinado cumple con los criterios planteados para materializar un helipuerto (Figura 23). Se concluye que el terreno determinado como óptimo en el análisis multicriterio, cumple con las condiciones iniciales. Por lo que, se propone materializar el helipuerto del sector de reconocimiento en esta ubicación, la misma que tiene un área de 8.971,52 metros cuadrados.

Figura 23: *Fotografía de ubicación óptima para la materialización del helipuerto*



3.3. Discusión

El reconocimiento técnico de ingenieros militares es una parte crucial de las operaciones del Arma de Ingenieros y del Mando en general. El objetivo principal de los reconocimientos es recopilar datos e información relacionados con el terreno, recursos, instalaciones y otros elementos que sean relevantes para la planificación y ejecución de operaciones militares. Esta información actualizada del campo de batalla ayuda a los comandantes a tomar decisiones tácticas informadas y estratégicas.

Para mejorar la eficiencia y precisión de los reconocimientos, el empleo de nuevas tecnologías ha demostrado ser fundamental. En particular, el uso de fotografía aérea, sistemas de información geográfica (SIG) y análisis multicriterio ha revolucionado la forma en que se llevan a cabo estos procesos.

La fotografía aérea ha evolucionado con el advenimiento de vehículos aéreos no tripulados (UAV) o drones. Estos dispositivos permiten capturar imágenes de alta resolución y en tiempo real, lo que proporciona una visión detallada de áreas geográficas específicas. Los drones son una herramienta valiosa para el reconocimiento militar, ya que permiten obtener información del terreno y de las infraestructuras de manera rápida y segura. Además, el uso de software como Pix4Dcapture y Agisoft Metashape ha facilitado el procesamiento y análisis de las imágenes capturadas, lo que contribuye a una mejor toma de decisiones.

En cuanto al empleo de Avenza Maps, esta aplicación móvil se ha vuelto esencial para registrar rutas y áreas de interés durante el reconocimiento. Permite a los equipos de reconocimiento capturar información geográfica en tiempo real, tomar fotografías y registrar atributos relevantes de infraestructuras y puntos de interés. Avenza Maps ofrece una valiosa herramienta para la recopilación de datos en campo y su posterior análisis en los SIG.

Los sistemas de información geográfica (SIG) son cruciales para la integración y análisis de datos geoespaciales. Permiten a los ingenieros militares crear mapas detallados y visualmente ricos que facilitan la toma de decisiones. La digitalización del terreno y la generación de modelos vectoriales permiten obtener información detallada sobre la infraestructura existente, rutas y áreas exteriores. Asimismo, el análisis multicriterio, que combina múltiples variables y criterios, ayuda a priorizar objetivos, identificar áreas de riesgo y optimizar la distribución de recursos.

El estudio presentado demuestra cómo se ha aplicado el empleo de nuevas tecnologías en el reconocimiento técnico de ingenieros militares en un caso específico. Se muestra cómo se utilizó fotografía aérea con drones para obtener información del terreno, se emplearon aplicaciones como Avenza Maps para el registro de puntos de interés, y se utilizó el análisis multicriterio junto con los SIG para determinar áreas óptimas y restringidas para ciertas operaciones.

En resumen, el uso de nuevas tecnologías ha mejorado significativamente el reconocimiento técnico de ingenieros militares. Estas herramientas permiten una recopilación más eficiente y precisa de datos, facilitan el análisis y la toma de decisiones, y contribuyen a una planificación más efectiva de las operaciones militares. Es evidente que la integración de fotografía aérea, sistemas de información geográfica y análisis multicriterio es una combinación poderosa que ha mejorado la capacidad de los ingenieros militares para llevar a cabo sus misiones de manera más efectiva y segura.

IV. Conclusiones

En el transcurso de esta investigación sobre el reconocimiento técnico de ingenieros en el ámbito militar, se han alcanzado varios resultados significativos que resaltan la importancia de las nuevas tecnologías y su impacto en las operaciones de ingeniería. A través del empleo de herramientas como la fotografía aérea, los sistemas de información geográfica y el análisis multicriterio, se ha demostrado cómo estas tecnologías emergentes han revolucionado la forma en que se lleva a cabo el reconocimiento técnico.

En primer lugar, se ha evidenciado que el acceso a imágenes aéreas y datos geoespaciales precisos proporciona información detallada y actualizada sobre el terreno, lo que ha permitido tomar decisiones más

informadas y estratégicas en el campo de batalla. La disponibilidad de estos datos en tiempo real mejora la capacidad de los ingenieros militares para planificar operaciones consecuentes de manera más efectiva.

Además, el uso de sistemas de información geográfica ha facilitado la creación de una base de datos geoespaciales, lo que a su vez ha permitido calcular la geometría de los elementos reconocidos con mayor precisión. Esto se traduce en una planificación más eficiente de áreas de vivac, rutas y avenidas de aproximación óptimas, así como ubicación de helipuertos y otras capacidades de las unidades de ingeniería.

La implementación del análisis multicriterio también ha sido un avance significativo en el reconocimiento técnico, ya que permite evaluar múltiples factores de manera conjunta para tomar decisiones más sólidas. Esta metodología ha demostrado su eficacia en la identificación de soluciones más equilibradas y óptimas, especialmente en situaciones complejas donde se deben considerar diversas variables.

Sin embargo, a pesar de los avances logrados, es esencial destacar que la adopción exitosa de estas tecnologías depende en gran medida de la capacitación adecuada del personal militar. La formación constante y actualizada es fundamental para que los ingenieros puedan utilizar estas herramientas de manera efectiva y aprovechar todo su potencial en el campo de batalla.

Los resultados de esta investigación han arrojado luz sobre el impacto positivo y la relevancia del uso inteligente y coordinado de tecnologías emergentes en el ámbito del reconocimiento técnico de ingenieros militares. Ha quedado claro que la aplicación de estas tecnologías ha experimentado avances significativos, lo que ha culminado en mejoras notables en la eficiencia y efectividad de las operaciones militares.

La capacidad de recopilar información detallada y precisa mediante herramientas de vanguardia, así como la habilidad para realizar un análisis avanzado de datos, ha demostrado ser un factor crucial para una toma de decisiones más informada y estratégica en el ámbito militar. Estos avances no solo han proporcionado una ventaja táctica, sino que también han contribuido a minimizar riesgos y optimizar recursos, lo que en última instancia repercute en la seguridad de las Fuerzas Armadas y la población civil.

No obstante, es esencial subrayar que el trabajo futuro debe seguir centrado en la mejora continua de estas tecnologías. La evolución tecnológica es constante, y para mantener la ventaja competitiva, se debe continuar investigando, desarrollando e implementando nuevas soluciones. Además, se debe prestar una atención especial a la interoperabilidad y la seguridad cibernética, dado que la dependencia de tecnologías avanzadas también conlleva riesgos.

Un aspecto crítico es la capacitación constante del personal militar. A medida que las tecnologías evolucionan, es necesario garantizar que el personal esté debidamente capacitado y actualizado para utilizar estas herramientas de manera efectiva y segura. La inversión en la formación y el desarrollo de habilidades técnicas será esencial para mantener la superioridad tecnológica.

En última instancia, solo a través de un enfoque continuo en la innovación tecnológica, la seguridad cibernética, la interoperabilidad y la formación del personal militar se podrán abordar con éxito los desafíos futuros. Esto no solo garantizará la seguridad y el bienestar de las Fuerzas Armadas, sino que también contribuirá a la protección de la población en general y al mantenimiento de la paz y la estabilidad en un mundo en constante cambio.

Referencias

- Alvarado Rivas, E. J. (2015). Digitalización o vectorización de mapas. <https://www.monografias.com/trabajos105/digitalizacion-o-vectorizacion-mapas/digitalizacion-o-vectorizacion-mapas>
- Baquero Montoya, P., & Vásquez Briones, R. (2019). Empleo De Los Uav , En Operaciones De Seguridad Y Vigilancia En Las Áreas Estratégicas En El Ecuador. *Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa*, *IV*(4), 86–100. <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/revista-seguridad-defensa/article/view/RCSDV4N4ART05/pdf>
- Bendea, H., Boccardo, P., Dequal, S., Tonolo, F. G., Marenchino, D., & Piras, M. (2008). Low cost UAV for post-disaster assessment. Proceedings of The XXI Congress of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Beijing China 311 July 2008, XXXVII, 1373–1380. http://www.isprs.org/congresses/beijing2008/proceedings/8_pdf/14_ThS-20/37.pdf
- Blanco Pérez, M. (2020). Fotografía aérea con tecnología drone. Tipología y aplicaciones. *Discursos Fotográficos*: Vol. 16 (29) (pp. 76–101). <https://idus.us.es/handle/11441/105551>
- Charquero Ballester, A. M. (2016). Práctica y usos de la fotogrametría digital en arqueología. <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/59158>
- Chiabrando, F., Nex, F., Piatti, D., & Rinaudo, F. (2011). UAV and RPV systems for photogrammetric surveys in archaeological areas: Two tests in the Piedmont region (Italy). *Journal of Archaeological Science*, *38*(3), 697–710. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2010.10.022>
- Comando de Educación y Doctrina del Ejército. (2017). Nota de aula de reconocimiento técnico de ingenieros.
- Comando de Educación y Doctrina del Ejército. (2020). *Manual de empleo del arma de ingeniería en apoyo a las operaciones militares* (2020th ed.).
- Department of the Army Washington, D. (1998). FM 5-170 *Engineer Reconnaissance* (Vol. 170). <https://www.globalsecurity.org/military/library/policy/army/fm/5-170/index.html>
- Dirección General de Protección Civil y Emergencias. (2015). Vademecum Remer - Helizonas o helisuperficies. Ministerio Del Interior - España. Red Nacional de Radio de Emergencia - REMER. <https://www.proteccioncivil.es/catalogo/carpeta02/carpeta24/vademecum19/vdm023.htm>
- Escalante Torrado, J. O., Cáceres Jiménez, J. J., & Porras Díaz, H. (2016). Ortomosaicos y modelos digitales de elevación generados a partir de imágenes tomadas con sistemas UAV. *Revista Tecnura*, 1199–140. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/Tecnura/article/view/11566/12825>
- GeoOilEnergy. (n.d.). Avenza Maps. Retrieved December 18, 2022, from <https://www.geoilenergy.com/es/software/geosoluciones/avenza>
- Instituto Geográfico Militar. (n.d.). Fotografía Aérea, aplicaciones y características. Retrieved December 18, 2022, from <http://www.geograficomilitar.gob.ec/fotografia-aerea-aplicaciones-y-caracteristicas/>
- Instituto Geográfico Militar. (2022). Curvas de nivel Escala 1:50000.

López Lara, E., Posada Simeón, C., & Moreno Navarro, J. (2019). Sistemas De Información Geográfica. *Sistemas De Información Geográfica*, 789–804. <https://doi.org/10.33262/cde.3>

López Trigal, L., Río Fernandes, J., & Savério Sposito, E. (2015). *Diccionario de geografía aplicada y profesional: terminología de análisis, planificación y gestión del territorio* - Dialnet. Universidad de León. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=569936>