



# **Estaciones meteorológicas estratégicas en bases militares de Colombia: Un enfoque en seguridad aérea y sostenibilidad ambiental**

Mayor (EJC) Jonathan Molina López

Artículo para optar al título profesional:  
Magister en Estrategia y Geopolítica

Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto"  
Bogotá D.C., Colombia  
2025

DATOS GENERALES	
<b>Nombre del estudiante</b>	: Mayor (EJC) Jonathan Molina López
<b>Identificación</b>	: 1.032.368.596
<b>Programa académico</b>	: Maestría en Estrategia y Geopolítica
<b>Tutor metodológico</b>	: Mag. Juan Carlos Aristizábal Murillo
<b>Tutor temático</b>	: Teniente Coronel (EJC) Henry Tamayo Berrio
<b>Fecha de entrega</b>	: 26 de agosto de 2025
<b>Extensión</b>	: 8.236 palabras

#### DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD Y CESIÓN DE DERECHOS

El autor declara que este artículo fue escrito de acuerdo con la normatividad de la Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto” (ESDEG) y no existe ningún potencial conflicto de interés relacionado con este. Las posturas y aseveraciones presentadas son resultado de un ejercicio académico e investigativo que no representan la posición oficial ni institucional de la ESDEG, las Fuerzas Militares de Colombia o el Ministerio de Defensa Nacional.

Este artículo es enteramente mi propio trabajo y no ha sido presentado para la obtención de un título en esta u otra Institución de Educación Superior. Se han referenciado todos los trabajos y puntos de vista de otros autores, así como los datos de otras fuentes utilizadas. No se emplearon herramientas de generación de contenido por Inteligencia Artificial para su elaboración.

El autor acepta ceder los derechos de publicación en favor de la ESDEG y su Sello Editorial de acuerdo con los términos de la licencia Creative Commons: Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas.

#### AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

El autor autoriza que este artículo sea publicado por el Sello Editorial ESDEG en su repositorio institucional y esté disponible bajo una modalidad de acceso abierto.

# Estaciones meteorológicas estratégicas en bases militares de Colombia: Un enfoque en seguridad aérea y sostenibilidad ambiental

## Strategic Meteorological Stations in Colombian Military Bases: An Approach to Flight Safety and Environmental Sustainability

**Jonathan Molina López**<sup>1</sup>

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

**Resumen:** Este artículo analiza el papel estratégico de estaciones meteorológicas en bases militares de Colombia, enfocándose en su impacto sobre la seguridad aérea y la sostenibilidad ambiental. Mediante una metodología exploratoria-descriptiva y una revisión sistemática de literatura bajo criterios PRISMA 2020, se seleccionaron 32 fuentes verificables. Entre los principales hallazgos, se identificó que al menos 12 de los 17 accidentes aéreos asociados a condiciones meteorológicas ocurrieron en bases sin este tipo de tecnología, lo que evidencia la urgencia de infraestructura climática. Asimismo, se encontró que la experiencia internacional en países como Canadá, Chile y Brasil, demuestra una reducción significativa de riesgos operacionales tras la implementación de este tipo de estaciones. El artículo propone la priorización técnica de 15 bases militares y vincula estos hallazgos con la necesidad de planificación y ejecución de misiones aéreas, sino que también permiten la gestión eficiente de recursos ambientales; consolidando la arquitectura de defensa climáticamente resiliente.

**Palabras clave:** Bases militares, estaciones meteorológicas, seguridad aérea, sostenibilidad ambiental, variabilidad climática.

**Abstract:** This article analyzes the strategic role of meteorological stations in Colombian military bases, focusing on their impact on air safety and environmental sustainability. Through an exploratory-descriptive methodology and a systematic literature review based on PRISMA 2020 criteria, 32 verifiable sources were selected. Among the main findings, it was identified that at least 12 out of 17 air accidents related to weather conditions occurred at bases without active meteorological stations, highlighting the urgent need for climate infrastructure. Additionally, international experiences in countries such as Canada, Chile, and Brazil show a significant reduction

---

<sup>1</sup> Mayor del Ejército Nacional de Colombia. Candidato a magíster en estrategia y geopolítica, Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”, Colombia. Profesional en Ciencias Militares, Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”, Colombia. <https://orcid.org/0000-0003-2004-7466> - Contacto: jonathan.molina@esdeg.edu.co.

**Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”**

Bogotá D.C., Colombia

in operational risks following the implementation of such stations. The article proposes the technical prioritization of 15 military bases and links these findings not only to improved planning and execution of aerial missions, but also to efficient water and energy management—consolidating the framework for a climate-resilient defense architecture.

**Keywords:** Meteorological stations, air safety, environmental sustainability, military bases, climate variability

## **Introducción**

La creciente inestabilidad climática y los desafíos geográficos del territorio colombiano han puesto en evidencia la necesidad de fortalecer las capacidades meteorológicas estratégicas de las Fuerzas Militares. La operación aérea en zonas de difícil acceso, combinada con la ausencia de infraestructura de observación atmosférica, ha derivado en riesgos operacionales significativos para el Ejército Nacional. En particular, la incidencia de accidentes aéreos en contextos meteorológicos adversos ha sido una constante documentada durante las últimas dos décadas. Según registros de la División de Aviación Asalto Aéreo (DAVAA, 2024), al menos 17 accidentes entre 1999 y 2024 están asociados a factores climáticos como turbulencia orográfica, baja visibilidad, lluvias intensas, niebla densa y eventos de brown-out. Estos eventos se concentran especialmente en bases ubicadas en zonas de alta montaña o intersecciones de corrientes de viento, como el Cerro Kennedy, el Páramo del Sumapaz o el Sur de Bolívar.

Este fenómeno no es exclusivo del contexto colombiano. A nivel internacional, el monitoreo atmosférico en entornos militares se ha convertido en una herramienta indispensable para la gestión de riesgos operacionales. En Canadá, el Ministerio de Defensa implementó una red de estaciones meteorológicas automatizadas en sus bases del norte ártico, lo que permitió reducir los incidentes aéreos en un 60% gracias a la mejora en la predicción de tormentas y la planificación de rutas tácticas (Government of Canada, 2022). Por su parte, la Fuerza Aérea de Chile logró disminuir un 45% de cancelaciones de misiones gracias a la instalación de sensores meteorológicos en zonas cordilleras críticas (Dirección Meteorológica de Chile [DMC], 2021). Estos ejemplos confirman que la incorporación de

estaciones meteorológicas no es solo un tema de avance tecnológico o técnico, sino una oportunidad estratégica para garantizar operaciones seguras y su implementación en gestión ambiental.

En el caso colombiano, las condiciones orográficas, la fragmentación territorial y la heterogeneidad climática hacen aún más urgente la implementación de estos sistemas. En regiones como la Amazonía, la Orinoquía, los Andes y las zonas costeras del Caribe y Pacífico, se presentan fenómenos atmosféricos intensos y cambiantes que pueden alterar drásticamente la seguridad aérea. Estas condiciones son particularmente graves en zonas de conflicto o de presencia limitada del Estado, donde las bases militares cumplen no solo funciones operacionales, sino de control territorial y articulación con la población civil.

Desde una perspectiva geopolítica, el despliegue de estaciones meteorológicas en zonas estratégicas también cumple un papel simbólico y táctico. Según Heymann (2016), durante la Guerra Fría, la instalación de infraestructura científica en regiones remotas sirvió como un medio de afirmación de soberanía. En esa línea, Goodsite et al. (2016) argumentan que la diplomacia científica y el control territorial se consolidan mediante el uso de instrumentos técnicos como las estaciones meteorológicas. En el contexto colombiano, esta infraestructura podría contribuir al fortalecimiento de la soberanía aérea, al apoyo a la aviación civil en zonas rurales, y a la consolidación de una arquitectura climática de defensa. La incorporación de estos sistemas, por tanto, no solo reduce los riesgos de vuelo, sino que permite afirmar presencia estatal en territorios donde la conectividad y la vigilancia son limitadas.

Este artículo se plantea como una contribución a la comprensión integral del valor estratégico de las estaciones meteorológicas en bases militares colombianas. Para ello, se

desarrollan tres ejes de análisis que estructuran la investigación. En primer lugar, se identifican las bases militares prioritarias en Colombia y se analizan los factores geográficos, operacionales y climáticos que justifican la instalación de estaciones meteorológicas en dichas ubicaciones. Este análisis se apoya en fuentes técnicas del Ejército Nacional, como la sabana de accidentes de la DAVAA (2024) y presentaciones oficiales de seguridad operacional (SEGOP), complementadas con cartografía climática nacional.

En segundo lugar, se examinan los beneficios concretos de estas estaciones en términos de seguridad operacional aérea y eficiencia en las misiones tácticas. Se revisan estudios de caso internacionales y nacionales que demuestran cómo la disponibilidad de datos en tiempo real puede anticipar fenómenos adversos, reducir incidentes y optimizar recursos logísticos. Se abordan también los impactos en la reducción de cancelaciones, mejoras en la visibilidad operacional, y prevención de eventos críticos como el brown-out o la niebla densa en zonas de aterrizaje.

Finalmente, se analiza el papel de las estaciones meteorológicas en la sostenibilidad ambiental de las operaciones militares, particularmente en lo que se refiere a la gestión hídrica, energética y climática. Aquí se vinculan las estaciones con procesos de eficiencia en el uso de agua en zonas áridas, regulación de sistemas de climatización y diseño de políticas de sostenibilidad adaptadas a la variabilidad climática. Las estaciones meteorológicas automatizadas aportan datos continuos sobre temperatura, humedad, precipitación y viento, fundamentales para optimizar el uso de recursos en bases militares, según informes técnicos y expertos consultados. Estos dispositivos permiten anticipar eventos climáticos extremos, mejorar la eficiencia hídrica y energética y apoyar la gestión ambiental de la base, en línea

con recomendaciones internacionales y experiencias nacionales reportadas en la literatura (Novák et al., 2025; WMO, 2015).

En función del objetivo planteado, se establece la siguiente pregunta orientadora: ¿Cómo contribuye la instalación de estaciones meteorológicas estratégicas en bases militares colombianas a mejorar la seguridad aérea y promover la sostenibilidad ambiental en regiones de alta complejidad climática? Esta pregunta guía una investigación exploratoria y descriptiva que busca evidenciar el valor táctico, ambiental e institucional de dichas estaciones, articulando dimensiones de seguridad, eficiencia y gobernanza territorial.

## **Metodología**

Esta investigación se desarrolló bajo un enfoque metodológico exploratorio-descriptivo, que permite analizar fenómenos poco estudiados o emergentes desde una perspectiva amplia, flexible y orientada a la comprensión del problema en su contexto real (Sampieri et al., 2014; Hernández & Mendoza, 2018). Dado que el estudio aborda la relación entre variables meteorológicas (temperatura, la humedad, la presión, el viento (velocidad y dirección) y la precipitación), riesgos aéreos y eficiencia operacional en zonas estratégicas del territorio colombiano, se aplicó una estrategia de investigación cualitativa con integración de evidencia empírica y documental. El enfoque exploratorio permitió reconocer factores críticos de riesgo y carencia de infraestructura, mientras que el carácter descriptivo facilitó organizar, clasificar e interpretar las fuentes primarias y secundarias según su aporte al problema.

Se adoptó una metodología mixta que combinó el análisis de datos institucionales, la revisión sistemática de literatura y entrevistas cualitativas. Para la revisión documental, se aplicó el protocolo PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and

Meta-Analyses), el cual es reconocido por promover la transparencia en la identificación y selección de fuentes (Page et al., 2021). Aunque originalmente se diseñó para estudios clínicos, el protocolo se ha adaptado con éxito a investigaciones interdisciplinarias con un enfoque aplicado (Moher et al., 2009). En esta investigación, se empleó una versión adaptada a una revisión sistemática de carácter exploratorio.

La búsqueda de documentos se llevó a cabo en bases académicas destacadas como Scopus, SciELO y Google Scholar, complementada con repositorios institucionales colombianos y fuentes oficiales de entidades como IDEAM, OMM y OACI. De los 92 documentos inicialmente encontrados, tras eliminar duplicados y filtrar por relevancia temática y calidad metodológica, se evaluaron 39 textos completos, de los cuales finalmente se seleccionaron 32 fuentes verificables con DOI o respaldo institucional.

Junto a la revisión bibliográfica, se emplearon fuentes primarias para reforzar la validez del estudio, conforme al principio de triangulación de datos propuesto por Denzin (2012), que sugiere utilizar múltiples fuentes para lograr mayor profundidad y precisión en la interpretación. En este caso se utilizó la base de datos de accidentes aéreos de la División de Aviación Asalto Aéreo (DAVAA), correspondiente al periodo 1999–2024, la cual permitió identificar patrones de siniestralidad vinculados a condiciones climáticas como niebla, viento cruzado o lluvia intensa. Esta información se organizó y analizó mediante codificación temática y análisis de frecuencia, método útil para establecer prioridades operacionales (Miles et al., 2014). Luego, los datos se confrontaron con los datos obtenidos con una entrevista semiestructurada a un suboficial experto del Ejército Nacional con formación en meteorología, sostenibilidad y tránsito aéreo militar. La entrevista fue tratada como fuente

cualitativa confidencial, y su contenido fue integrado al análisis como evidencia complementaria. Se citó conforme al estilo APA 7 como comunicación personal.

Todas las fuentes académicas e institucionales utilizadas fueron sometidas a verificación rigurosa. Las citas no rastreables o adaptadas sin evidencia documental fueron descartadas, en coherencia con las recomendaciones éticas de uso responsable de la información científica (Zamudio et al., 2022). Esta metodología permitió establecer un marco sólido y coherente para justificar, con respaldo empírico y conceptual, la instalación de estaciones meteorológicas estratégicas en bases militares con alta exposición a riesgo climático y baja cobertura instrumental.

## **1. Uso de Estaciones meteorológicas en bases militares prioritarias de Colombia.**

El presente apartado examina las condiciones técnicas, climáticas y operacionales que justifican la instalación de estaciones meteorológicas en bases militares prioritarias de Colombia. A partir del análisis de eventos atmosféricos que han afectado misiones aéreas entre 1999 y 2024, se identifican patrones de riesgo vinculados a la ausencia de monitoreo climático en tiempo real. Este vacío instrumental ha incidido directamente en la siniestralidad aérea y limita la capacidad de planificación táctica en zonas de alta complejidad geográfica.

Con base en datos de la División de Aviación Asalto Aéreo (DAVAA), informes del IDEAM y literatura especializada, se desarrolla una caracterización geoestratégica del territorio nacional que permite identificar regiones críticas. Posteriormente, se proponen criterios técnicos para priorizar aquellas bases con mayor exposición a fenómenos atmosféricos adversos, como niebla orográfica, lluvias intensas o vientos cruzados. Esta

sección aporta una base empírica y contextual para argumentar por qué y dónde deben instalarse estaciones meteorológicas estratégicas como parte de una arquitectura climática de defensa resiliente.

### **1.1 Caracterización geoestratégica y meteorológica del territorio colombiano**

Colombia, por su localización ecuatorial y geografía montañosa, presenta una notable variabilidad climática que impacta de manera directa la operación aérea militar. La interacción de cordilleras, selvas y zonas de altiplano genera múltiples microclimas que dificultan el desarrollo de misiones tácticas. Según el IDEAM (2021), el país cuenta con más de 300 microclimas distribuidos en cinco regiones hidroclimáticas, muchas de las cuales coinciden con zonas de despliegue de las Fuerzas Armadas.

Estas condiciones elevan la incertidumbre operacional y hacen imprescindible el monitoreo climático en tiempo real. Áreas como la Sierra Nevada de Santa Marta, el Páramo del Sumapaz y el Macizo Colombiano presentan fenómenos frecuentes como niebla orográfica, lluvias torrenciales, viento cruzado y turbulencia, los cuales afectan operaciones visuales (VFR), predominantes en muchas misiones del Ejército.

La Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2020) ha advertido que los sistemas montañosos tropicales presentan altas tasas de niebla baja y convección húmeda, consideradas entre las principales causas de pérdida de visibilidad operacional en entornos aéreos. Estas condiciones atmosféricas generan ventanas meteorológicas reducidas, turbulencias inesperadas y degradación de las condiciones visuales de vuelo (VFR), lo cual limita la maniobrabilidad y eleva la probabilidad de incidentes en fases críticas como el despegue, la aproximación o el aterrizaje. En ausencia de estaciones meteorológicas locales, la predicción climática suele depender de observaciones empíricas realizadas por el personal

en tierra, las cuales carecen de precisión instrumental y actualizaciones en tiempo real. Esta limitación incrementa la incertidumbre en la toma de decisiones tácticas y compromete la seguridad de las operaciones, especialmente en bases con alta actividad aérea y condiciones orográficas complejas.

De acuerdo con el Informe Técnico de Seguridad Operacional de la DAVAA (2024), entre 1999 y 2024 ocurrieron más de 250 eventos de aviación (accidentes e incidentes aéreos); 17 de ellos fueron atribuidos directamente a condiciones meteorológicas adversas como polvo en suspensión (brown-out), turbulencia orográfica o lluvias intensas. Estas situaciones se presentaron mayoritariamente en zonas sin cobertura instrumental. Bases como Cerro Kennedy, La Cominera, Páramo del Sumapaz y San Lucas registran los mayores niveles de siniestralidad meteorológica.

El caso del helicóptero EJC-3390, accidentado en Cerro Kennedy, es ilustrativo: ocurrió bajo confluencia de vientos orográficos no detectados, por falta de una estación meteorológica en el sitio. Según los libros Rojos de Seguridad Operacional de las unidades de aviación del Ejército Nacional, estos eventos no solo afectan la seguridad de vuelo, sino también la toma de decisiones tácticas en tiempo real.

Experiencias internacionales, como las de la EASA (2020) y la FAA (2019), muestran que la presencia de estaciones meteorológicas automáticas en bases aéreas ubicadas en terrenos complejos ha permitido reducir en un 45% los incidentes relacionados con fenómenos atmosféricos inesperados. Estas evidencias respaldan la urgencia de implementar sistemas de monitoreo climático robustos en zonas vulnerables del territorio colombiano.

Además, el IDEAM ha identificado “zonas ciegas” del sistema de vigilancia climática nacional, muchas de ellas coincidentes con bases militares. La baja densidad de estaciones

meteorológicas, tanto convencionales como automáticas, implica limitaciones técnicas, geopolíticas y operacionales (IDEAM, 2021). Esta brecha tecnológica obstaculiza el ejercicio de soberanía técnica, la articulación con la defensa civil y la implementación de sistemas de alerta temprana.

Por tanto, bases localizadas en corredores estratégicos como la Sierra Nevada, los páramos del centro del país y el piedemonte llanero requieren urgentemente infraestructura meteorológica especializada que alimente en tiempo real los sistemas de planificación táctica y reduzca la vulnerabilidad climática de las operaciones. Esta caracterización permite identificar condiciones estructurales que justifican priorizar ciertas bases como puntos críticos para la instalación de estaciones meteorológicas estratégicas.

## **1.2 Criterios técnicos para la priorización de bases militares en contextos de riesgo meteorológico**

La selección de bases militares prioritarias no puede ser arbitraria, sino que debe responder a criterios técnicos integrales basados en evidencia. La literatura sobre gestión de riesgos en entornos militares enfatiza la necesidad de priorizar con base en la frecuencia de incidentes, condiciones topográficas, intensidad operacional y ausencia de infraestructura climática (Atkinson, 1973; Aramendis & Rodríguez, 2021).

En el contexto colombiano, estos criterios fueron definidos a partir del cruce de tres fuentes primarias: la base de datos de accidentes de la DAVAA (2024), los Libros Rojos de Seguridad Operacional de las unidades de aviación del Ejército a nivel nacional, y los informes técnicos del IDEAM (2021) sobre brechas de cobertura meteorológica. Como resultado, se identificaron 15 bases con condiciones críticas desde el punto de vista climático-operacional.

De los 17 accidentes asociados a factores meteorológicos registrados entre 1999 y 2024, 12 ocurrieron en bases sin estaciones meteorológicas funcionales o con monitoreo dependiente de informes empíricos. La Base Militar La Cominera, en Miranda (Cauca), por ejemplo, ha registrado tres accidentes, dos de helicópteros UH-60 y uno de un Mi-17, bajo condiciones de visibilidad limitada, vientos cruzados y lluvias torrenciales. Reportes del IDEAM confirman la alta frecuencia de niebla y convección húmeda en esta región.

Zonas como Cerro Kennedy (Magdalena) o Cerro Santana (Cauca), con alta densidad de misiones tácticas, presentan condiciones atmosféricas volátiles que requieren información en tiempo real para minimizar riesgos. La intensidad operacional, reflejada en vuelos frecuentes de inserción, evacuación o apoyo logístico, constituye un criterio clave para justificar la instalación de estaciones meteorológicas.

Otro factor es la topografía. Bases ubicadas en crestas o cañones, como Cerro El Oso (La Guajira) y Tres Morros (Antioquia), enfrentan fenómenos como turbulencia orográfica, cizalladura del viento y downwash, que dificultan maniobras de aproximación. La información puntual y en sitio permite ajustar rutas y ventanas de vuelo con mayor precisión.

La conectividad climática también es un criterio relevante. Muchas de estas bases están en zonas sin estaciones del IDEAM o de otras entidades, lo que limita el acceso a datos atmosféricos confiables. Reforzar estas áreas con estaciones meteorológicas beneficiaría no solo a la Fuerza Pública, sino también a comunidades civiles y operadores aéreos regionales.

En el plano internacional, experiencias como la de Lukla en Nepal, uno de los aeropuertos más peligrosos del mundo, evidencian que la instalación de sensores automáticos redujo un 40% los incidentes de aproximación en condiciones adversas (ICAO, 2021). Dada la similitud topográfica, estos modelos son aplicables al contexto colombiano.

Por lo tanto, la priorización de bases militares no es una simple decisión logística, pues más que esto representa una oportunidad estratégica basada en evidencia que busca minimizar riesgos, mejorar la seguridad aérea y garantizar continuidad operacional en entornos ambientales complejos.

### **1.3 Implicaciones estratégicas y geopolíticas del despliegue meteorológico en bases militares prioritarias**

La instalación de estaciones meteorológicas en bases estratégicas colombianas tiene implicaciones que trascienden la dimensión operacional. En contextos de conflicto o presencia estatal limitada, estas infraestructuras funcionan como instrumentos de soberanía territorial y vigilancia ambiental. Durante la Guerra Fría, su instalación fue utilizada como un medio de control científico y político del espacio aéreo (Heymann, 2016).

En Colombia, muchas bases priorizadas se ubican en áreas de frontera, regiones con cultivos ilícitos o zonas históricamente afectadas por violencia armada. La presencia de estaciones meteorológicas en San Lucas (Sur de Bolívar) o Policarpa (Nariño), por ejemplo, fortalece la capacidad de anticipación táctica en operaciones contra grupos ilegales, a la vez que contribuye al control territorial.

La OMM (2020) y la OACI (2021) han recomendado integrar estaciones meteorológicas en nodos de alta actividad aérea y variabilidad climática, lo cual se alinea con las metas del Plan Nacional de Desarrollo 2022–2026 y las estrategias de modernización de capacidades de defensa (Ministerio de Defensa Nacional, 2022). Estas instalaciones reducen las brechas técnicas en regiones con baja institucionalidad y alta exposición a fenómenos climáticos extremos.

La cooperación civil-militar también se ve fortalecida. Muchas bases coinciden con corredores aéreos usados por la aviación civil sin cobertura radar ni meteorológica. Datos en tiempo real beneficiarían tanto a pilotos militares como comerciales, y permitirían desarrollar sistemas conjuntos de monitoreo con entidades como la Aeronáutica Civil, el IDEAM y el Servicio Geológico Colombiano (Aeronáutica Civil, 2023).

Casos como el de Canadá —donde el Departamento de Defensa estableció una red de estaciones en el Ártico— o Chile y Perú, que las han desplegado en zonas andinas, demuestran que su integración fortalece la logística y la resiliencia institucional frente al cambio climático (Goodsite et al., 2016; OMM, 2020).

En conjunto, estas estaciones consolidan una arquitectura climática de defensa, que no solo previene incidentes aéreos, sino que también articula objetivos de sostenibilidad, monitoreo ambiental y gobernanza territorial. Su instalación, por tanto, representa una afirmación técnica de soberanía y una respuesta estratégica a las vulnerabilidades climáticas contemporáneas.

Así las cosas, se presenta la tabla de priorización de bases militares en Colombia para la instalación de estaciones meteorológicas estratégicas. Esta tabla se construyó a partir del análisis de riesgos operacionales derivados de factores meteorológicos, los antecedentes de incidentes aéreos documentados por la División de Aviación Asalto Aéreo (DAVAA, 2024) y la geolocalización de cada instalación, complementado con coordenadas obtenidas a partir de mapas oficiales y registros geográficos:

**Tabla 1.** Priorización de bases militares colombianas con riesgo operacional debido a condiciones meteorológicas.

**Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”**  
Bogotá D.C., Colombia

N°	BASE MILITAR	COORDENADAS	RIESGO	FACTOR / EVENTO	FUENTE
1	BM. Cerro El Oso – La Guajira	11.3718, -72.3107	Medio	Confluencia de vientos – Brown Out	SEGOP DAVAA – Libro Rojo BMMA1
2	BM. Cerro Kennedy – Magdalena	11.1121, -74.0059	Alto	Confluencia de vientos – Accidente EJC 3390	SEGOP DAVAA – Libro Rojo BMMA1
3	BM. Chapinero – Cesar	9.6181, -73.3542	Medio	Neblina persistente – Baja visibilidad	SEGOP DAVAA – Libro Rojo BMMA1
4	Batallón Santander – Ocaña	8.2403, -73.3554	Alto	Lluvias intensas – Vientos cruzados	SEGOP DAVAA – Libro Rojo BMMA1
5	BM. San Lucas – Sur de Bolívar	7.9271, -74.0239	Alto	Mi-17 siniestrado por meteorología adversa	SEGOP DAVAA – Libro Rojo BMMA1
6	BM. Tres Morros – Antioquia	6.9427, -75.2998	Alto	Uh-60 accidentado – Corrientes térmicas	SEGOP DAVAA – Libro Rojo BMMA7
7	BM. Páramo del Sumapaz (BM. Nido de las Águilas)	3.6765, -74.4021	Alto	Mi-17 accidentado – Niebla espesa	SEGOP DAVAA – Libro Rojo BMMA5
8	BM. Colombia – Huila	2.2592, -75.6287	Medio	Lluvias estacionales y poca visibilidad	SEGOP DAVAA – Libro Rojo BMMA5
9	BM. Acevedo – Huila	1.8424, -75.9019	Medio	Precipitaciones torrenciales – Crecientes súbitas	SEGOP DAVAA – Libro Rojo BMMA5
10	BM. Barragán – Tuluá, Valle	4.1004, -76.2023	Alto	Tormentas eléctricas – Vientos variables	SEGOP DAVAA – Libro Rojo BMMA3
11	BM. Campanario – Armenia, Quindío	4.5028, -75.7332	Medio	Baja visibilidad – Condiciones cambiantes	SEGOP DAVAA – Libro Rojo BMMA3
12	BM. Cerro Santana – Popayán	2.4506, -76.6132	Alto	Bell 208 accidentado – Inestabilidad atmosférica	SEGOP DAVAA – Libro Rojo BMMA3
13	BM. Cerro Munchique – Popayán	2.4783, -76.6589	Alto	Neblina constante – Riesgo de impacto orográfico	SEGOP DAVAA – Libro Rojo BMMA3
14	BM. La Cominera – Miranda, Cauca	3.1695, -76.1344	Muy Alto	1 Mi-17 y 2 Uh-60 accidentados por condiciones climáticas	SEGOP DAVAA – Libro Rojo BMMA3
15	BM. Policarpa – Nariño	1.6871, -77.4936	Alto	Zona de montaña – Precipitaciones severas	SEGOP DAVAA – Libro Rojo BMMA3

*Fuente:* Elaboración propia con datos de SEGOP DAVAA (2024).

## **2. Beneficios de las estaciones meteorológicas en zonas de operaciones militares.**

La seguridad aérea en operaciones militares depende en gran medida de las condiciones meteorológicas, especialmente en escenarios con topografía compleja, nubosidad densa y visibilidad reducida. En Colombia, muchas de las áreas operacionales presentan precisamente estas características. Por ello, la instalación de estaciones meteorológicas estratégicas representa un componente fundamental para mitigar riesgos e incrementar la eficiencia táctica.

De acuerdo con Aramendis y Rodríguez (2021), aproximadamente el 22% de los incidentes aéreos en América Latina durante la última década han estado asociados a condiciones meteorológicas imprevistas. Esta cifra encuentra correlación con los datos recopilados por la División de Aviación Asalto Aéreo (DAVAA, 2024), que indican al menos 17 accidentes registrados desde 1999 con causas directamente relacionadas con fenómenos climáticos adversos, tales como niebla, lluvias intensas, turbulencia o vientos cruzados.

En contextos donde el vuelo visual (VFR) es predominante, la disponibilidad de información meteorológica actualizada resulta de gran importancia para los aviadores. Esta información permite planificar rutas de vuelo seguras, ajustar altitudes y decidir con mayor certeza cuándo despegar o aterrizar. Las estaciones meteorológicas cumplen aquí una función clave como nodos de inteligencia ambiental, facilitando una anticipación operacional más efectiva. En este sentido, Calvo (2020) señala que la disponibilidad de datos climáticos localizados mejora en un 45% la capacidad de respuesta táctica y puede reducir en hasta un 30% los incidentes ocasionados por pérdida de visibilidad o turbulencia inesperada.

En contextos donde predominan los vuelos bajo reglas de vuelo visual (VFR), la disponibilidad de información meteorológica en tiempo real es fundamental para planificar rutas seguras, ajustar altitudes y tomar decisiones precisas sobre despegue y aterrizaje. Las estaciones meteorológicas actúan como nodos esenciales de inteligencia ambiental, facilitando una anticipación operacional eficaz que mejora la seguridad aérea. Según Calvo (2020), el acceso a datos climáticos localizados incrementa en un 45% la capacidad de respuesta táctica y puede reducir hasta en un 30% los incidentes causados por pérdida de visibilidad o turbulencias inesperadas.

Las experiencias internacionales refuerzan esta perspectiva. El Ejército de los Estados Unidos ha utilizado estaciones meteorológicas portátiles TMQ-53 como parte de su estrategia de mitigación de riesgos. Estas estaciones han contribuido a disminuir en un 40% las misiones abortadas por condiciones meteorológicas no previstas (U.S. Army, 2018). Gracias a su integración con software de análisis predictivo, estas herramientas permiten una planificación proactiva incluso en entornos montañosos complejos, como aquellos que se encuentran en el territorio colombiano.

En Colombia, la carencia de estaciones meteorológicas en varias de las bases priorizadas ha dejado vacíos críticos en la información disponible para la toma de decisiones operacionales. Por ejemplo, la base militar de La Cominera, en el departamento del Cauca, ha registrado múltiples incidentes aéreos en las últimas dos décadas. En esta zona, la combinación de nubosidad densa, ráfagas de viento y relieve abrupto ha contribuido a abortos de misión y colisiones. La ausencia de medición meteorológica en el sitio ha dificultado la emisión de alertas anticipadas o la modificación oportuna de trayectorias de vuelo.

El impacto de las estaciones meteorológicas también se extiende a la eficiencia logística. Cueva y Corzo (2024) demostraron que contar con datos en tiempo real permite optimizar rutas, reducir el consumo de combustible y programar los vuelos con mayor precisión. En un contexto en el que los recursos de aviación son limitados y costosos, una operación mal planificada puede implicar pérdidas significativas de tiempo, equipo y personal.

En el caso de Ecuador, Chávez y Moreno (2022) documentaron que la instalación de redes meteorológicas en zonas selváticas logró disminuir en un 38% los incidentes durante operaciones de transporte logístico y evacuación médica. Aunque el entorno colombiano no es idéntico, sí comparte similitudes topográficas y climáticas en regiones como el Catatumbo, el sur del Meta y el sur de Bolívar, donde este tipo de estrategias podrían replicarse con resultados favorables.

La base de datos de la DAVAA (2024) revela que los incidentes asociados a condiciones meteorológicas adversas tienden a concentrarse en fases críticas del vuelo, como el ascenso, la aproximación y el aterrizaje. Esta tendencia coincide con estudios internacionales y refuerza la necesidad de contar con información climática precisa y localizada. En Noruega, país con una geografía comparable en términos de dificultad operacional, el uso de estaciones meteorológicas móviles en bases militares redujo en un 60% los tiempos de espera por mal clima y en un 35% los abortos de misión, según el informe del Norwegian Defence Research Establishment (NDRE, 2017).

En los casos documentados en Colombia, como los ocurridos en Cerro Kennedy, La Cominera y el Páramo del Sumapaz, no se evidenció apoyo de alguna estación meteorológica o instrumento de información climática. Esto implica que las decisiones operacionales

podieron haberse tomado con información incompleta o empírica, lo que aumenta la probabilidad de error en entornos altamente riesgosos. En estas zonas, donde se presentan nubes bajas, lluvias intensas, viento cruzado y fenómenos como el brown-out (reducción súbita de visibilidad por tierra o polvo levantado por el rotor de helicópteros), contar con sensores locales puede marcar la diferencia entre una misión exitosa y un accidente.

Desde una perspectiva económico-operacional, los beneficios también son evidentes. Según la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI, 2021), las cancelaciones y retrasos de vuelo ocasionados por condiciones meteorológicas pueden representar entre el 25% y el 35% de los costos indirectos en la aviación. Por ello, la instalación de estaciones automáticas en bases aéreas es una recomendación estratégica para reducir gastos, mejorar la planeación y fortalecer la capacidad de respuesta.

Además, las condiciones ambientales también afectan el mantenimiento de aeronaves. Variables como la humedad, la salinidad del ambiente o las temperaturas extremas inciden directamente en el desgaste de componentes sensibles. El monitoreo permanente de estos factores permite anticipar ciclos de mantenimiento, planificar revisiones técnicas más efectivas y evitar fallas por degradación no detectada. El Ejército de Australia, al integrar sistemas de mantenimiento predictivo con datos de estaciones meteorológicas, logró reducir en un 18% los fallos técnicos imprevistos (Australian Defence Force, 2021).

Otro beneficio relevante es la mejora en la coordinación entre unidades. Las estaciones meteorológicas permiten compartir datos estandarizados entre pilotos, centros de comando y personal táctico, reduciendo la incertidumbre y mejorando la toma de decisiones. Bermúdez (2014) explicó que, en bases como Apiay y Palanquero, la inclusión de datos

meteorológicos en la planificación de misiones ha mejorado significativamente la sincronización entre escuadrones y comandos.

Por otra parte, estas estaciones permiten construir bases de datos climáticas útiles para identificar patrones de riesgo en el entorno operacional. En el contexto colombiano, esta información posibilitaría generar mapas de riesgo por nubosidad, viento o precipitaciones estacionales, y así adaptar las operaciones a las condiciones del terreno. Rosero (2019) evidenció que el uso de sistemas de información geográfica (GIS) integrados a estaciones meteorológicas en entornos militares mejoró en un 35% la precisión en el análisis climático y la planificación táctica.

Las misiones de ayuda humanitaria o evacuación también se benefician con datos meteorológicos confiables. La Fuerza Aérea de Canadá, en su informe sobre la operación “Nanook” en el Ártico (2019), afirmó que “una estación meteorológica puede ser más valiosa que una escuadra de aeronaves si permite evitar un accidente”. Esta afirmación resume la importancia de contar con información meteorológica para reducir errores en contextos de alta vulnerabilidad.

En América Latina, algunos países ya han adoptado redes meteorológicas para apoyar operaciones militares en zonas remotas. En Chile, por ejemplo, la Dirección Meteorológica ha implementado estaciones automatizadas en zonas cordilleranas de uso conjunto militar y civil. Aguirre (2016) reporta que esta red ha reducido más del 50% los incidentes en vuelos tácticos gracias a datos disponibles en tiempo real y la emisión de alertas oportunas.

En Colombia, los principales desafíos operacionales incluyen fenómenos como nubosidad densa, lluvias torrenciales, vientos variables y eventos extremos como el white-out (ceguera por niebla o nieve en zonas de páramo) y el brown-out. Estas condiciones han

estado presentes en al menos 12 de los 17 accidentes con origen meteorológico documentados por la DAVAA (2024), afectando especialmente a helicópteros como los UH-60, Mi-17 y Bell 212, cuya operación depende en gran medida de la visibilidad.

La Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2021) ha advertido que América Latina es una de las regiones más expuestas a fenómenos meteorológicos extremos, por lo que recomienda invertir en infraestructura climática, en particular en el sector defensa. En respuesta a esta necesidad, Brasil ha implementado un sistema meteorológico nacional que combina estaciones fijas, sensores móviles y enlaces satelitales, logrando reducir en un 40% los incidentes durante operaciones en condiciones climáticas desfavorables (INMET, 2020).

La interoperabilidad institucional también representa un avance estratégico. Las estaciones meteorológicas modernas permiten compartir datos entre diferentes ramas de las Fuerzas Armadas y con entidades civiles como la Aeronáutica Civil o el IDEAM. Esta colaboración optimiza el uso de recursos, evita duplicación de esfuerzos y mejora la cobertura del espacio aéreo. En bases como Cerro Kennedy, se ha planteado que una estación conjunta militar y civil fortalecería el monitoreo en la región Caribe y serviría tanto a la aviación militar como a la comercial (Aeronáutica Civil, 2023).

También se ha identificado un impacto positivo en el consumo de combustible de aviación; Lozano et al. (2023), por ejemplo, estiman que la predicción precisa de vientos y presión atmosférica en altitud puede reducir en un 12% el gasto de combustible por vuelo. Este tipo de ahorro adquiere una relevancia estratégica en zonas con alta densidad de operaciones, como el Cauca, La Guajira o Antioquia.

Por último, las estaciones meteorológicas tienen un valor educativo. Las academias militares pueden emplear los datos generados en estas instalaciones para diseñar

simulaciones de entrenamiento adaptadas a las condiciones reales del territorio colombiano. Tejero (2025) encontró que el uso de simulaciones basadas en datos locales mejoró en un 30% la adaptación de los pilotos a escenarios climatológicos complejos.

En conclusión, los hallazgos de esta sección evidencian cómo la incorporación de estaciones meteorológicas fortalece directamente el cumplimiento del objetivo de la investigación, al contribuir con información precisa para la seguridad aérea, planificación táctica y prevención de accidentes. La relación entre condiciones meteorológicas críticas y siniestralidad aérea demuestra que estas estaciones no son solo dispositivos técnicos, sino componentes clave de la estrategia de defensa nacional.

### **3. Estaciones meteorológicas en apoyo la sostenibilidad ambiental**

En los contextos militares contemporáneos, las bases militares no solo cumplen funciones defensivas y estratégicas, sino que se han convertido también en actores clave en la implementación de agendas de sostenibilidad. En territorios como Colombia, caracterizados por una alta biodiversidad, zonas ambientalmente sensibles y presencia militar en áreas de difícil acceso, se hace indispensable articular herramientas que permitan la gestión ambiental con enfoque técnico. En este escenario, las estaciones meteorológicas emergen como dispositivos que pueden apoyar la sostenibilidad al generar datos clave sobre variables climáticas, facilitando una toma de decisiones más precisa en torno al uso de recursos como la energía, la vegetación y el agua.

La sostenibilidad ambiental en entornos militares no debe ser entendida únicamente desde una perspectiva de mitigación de impactos negativos, sino también como una oportunidad de ejercer liderazgo técnico sobre territorios sensibles. En este sentido, la

incorporación de estaciones meteorológicas en bases militares puede actuar como un catalizador de prácticas responsables en la gestión ambiental. Como se observa en los lineamientos de sostenibilidad del Ministerio de Defensa de Canadá , según Gilmour (2021), los datos atmosféricos obtenidos en terreno se utilizan para tomar decisiones sobre eficiencia energética, optimización de consumo hídrico y manejo de riesgos climáticos (Novák et al., 2025).

En el caso colombiano, donde muchas bases se encuentran en zonas montañosas, selváticas o de páramo —con gran vulnerabilidad ecológica—, la falta de infraestructura meteorológica limita la capacidad de comprender las dinámicas ambientales locales. Esta carencia repercute no solo en la seguridad operacional, como se ha evidenciado en objetivos previos, sino también en la sostenibilidad del funcionamiento cotidiano de las bases. Es en este punto donde el presente objetivo cobra sentido, al explorar cómo la instalación de estaciones meteorológicas puede aportar datos útiles para reducir la presión sobre el entorno, anticipar impactos ambientales y optimizar el uso de recursos naturales.

### **3.1 Aportes técnicos de las estaciones meteorológicas a la sostenibilidad ambiental**

Las estaciones meteorológicas, especialmente aquellas automatizadas (que funcionan sin intervención humana continua, recolectando y transmitiendo datos automáticamente), permiten la recolección continua y en tiempo real de datos climáticos como temperatura, humedad relativa, presión barométrica, radiación solar, viento y precipitación. Estos datos son fundamentales para la toma de decisiones ambientales basadas en evidencia, especialmente en bases militares ubicadas en ecosistemas frágiles. De acuerdo según la entrevista realizada a un suboficial del Ejército Nacional de Colombia, especialista en meteorología, servicios de información aeronáutica, comunicaciones aeronáuticas y control

de tránsito aéreo para este estudio (comunicación personal, 23 de marzo de 2025), “las estaciones meteorológicas ofrecen una base de datos climática detallada, útil no solo para planificar vuelos, sino también para entender los ciclos de lluvia, evaporación, nubosidad y radiación solar del entorno”. Esta perspectiva destaca una funcionalidad dual de las estaciones: técnica-operacional y ambiental-estratégica.

Uno de los principales beneficios en términos de sostenibilidad es la posibilidad de mejorar la eficiencia en el uso del agua. En zonas donde la recolección de agua lluvia es una práctica habitual, ya sea por escasez de fuentes permanentes o por condiciones logísticas, los datos sobre precipitación acumulada, intensidad y distribución temporal permiten planificar mejor la captación y el almacenamiento. Además, la información sobre humedad del aire y temperatura sirve para calcular tasas de evaporación, dato útil para prever pérdidas en tanques de almacenamiento o definir riegos en huertas militares, donde existan. Según la entrevista realizada al experto en sostenibilidad ambiental y meteorología, estos datos permiten “anticipar fenómenos de estrés hídrico o sobrecarga de drenajes pluviales, facilitando medidas preventivas” (comunicación personal, 23 de marzo de 2025).

Otra dimensión relevante es el uso energético. Las estaciones meteorológicas que miden radiación solar y velocidad del viento pueden aportar información clave para evaluar el potencial de energía renovable en las bases. Con datos precisos de radiación se puede dimensionar la capacidad necesaria de paneles solares, mientras que el monitoreo de vientos permite calcular la factibilidad técnica de turbinas eólicas en zonas altas o despejadas. Esto representa una oportunidad significativa para reducir la dependencia de combustibles fósiles, como el diésel usado en muchas bases alejadas del sistema eléctrico nacional. En contextos

como el de la base de Cerro El Oso, en La Guajira, esta información sería particularmente útil dada la exposición solar intensa y los vientos constantes.

Los datos climáticos también son útiles para anticipar eventos extremos que puedan afectar la integridad ambiental o la seguridad estructural de las bases militares. Por ejemplo, la detección temprana de lluvias intensas puede permitir reforzar taludes, proteger zonas de almacenamiento de residuos o evacuar áreas vulnerables. En zonas propensas a incendios forestales, como las sabanas del Meta o la Serranía del Perijá, los datos de humedad y viento son fundamentales para calcular el índice de peligro de incendios. Según la entrevista realizada al suboficial del Ejército Nacional de Colombia, “con estaciones meteorológicas bien calibradas, una base puede integrarse a sistemas regionales de alerta temprana ante eventos climáticos extremos, lo cual es una herramienta de sostenibilidad tanto para la base como para las comunidades aledañas” (comunicación personal, 23 de marzo de 2025). Esta perspectiva coincide con recomendaciones internacionales sobre la integración de datos meteorológicos en los sistemas de prevención y gestión de riesgos en instalaciones militares (World Meteorological Organization [WMO], 2015).

Además, las estaciones meteorológicas permiten establecer líneas de base climática y detectar cambios asociados al cambio climático o a la deforestación. Esta función es especialmente importante en regiones donde las bases militares representan las únicas plataformas técnicas de observación, dada la escasa presencia del Estado o la limitada cobertura de estaciones del IDEAM. En estos casos, los datos recopilados pueden ser compartidos con instituciones civiles, universidades o sistemas de alerta temprana regionales. Esta sinergia técnico-institucional contribuye no solo a la sostenibilidad interna de la base,

sino también al fortalecimiento de las capacidades ambientales del territorio (Restrepo, 2023; WMO, 2015).

### **3.2 Generación de conocimiento y soberanía ambiental desde las bases militares**

El aporte de las estaciones meteorológicas a la sostenibilidad ambiental no se limita a su dimensión técnica, sino que también cumplen un papel como instrumentos de generación de conocimiento y de soberanía ambiental (capacidad del Estado para gestionar y proteger los recursos ambientales en su territorio). En contextos donde el monitoreo ambiental es limitado o inexistente, como ocurre en muchas zonas de operación militar, estas estaciones permiten consolidar registros históricos que alimentan investigaciones climáticas, planes de ordenamiento ambiental y estrategias de mitigación. Según la entrevista realizada a un suboficial del Ejército Nacional de Colombia, especialista en meteorología y gestión aeronáutica, la instalación de estaciones meteorológicas en bases militares contribuye a la construcción de conocimiento localizado sobre el territorio, facilitando su aprovechamiento tanto por actores civiles como institucionales (comunicación personal, 23 de marzo de 2025). Esto se alinea con la literatura internacional sobre la función de las fuerzas armadas en la generación y difusión de conocimiento ambiental (Goodsite et al., 2016).

Esta idea refuerza la noción de que las fuerzas militares pueden asumir un rol activo en la gestión ambiental, especialmente en regiones marginadas. La participación en redes de monitoreo, la transferencia de datos a entidades ambientales o la cooperación en proyectos de sostenibilidad con comunidades vecinas puede ser facilitada por la existencia de estaciones meteorológicas tácticas. En este sentido, se articula la sostenibilidad con la gobernanza territorial: la información se convierte en un recurso estratégico compartido, y no solo en un insumo interno para operaciones militares.

Desde esta perspectiva, las estaciones meteorológicas forman parte fundamental de una arquitectura climática de defensa que integra no solo sensores y bases de datos, sino también protocolos operativos, formación especializada y coordinación interinstitucional. Esta red técnica permite anticipar, mitigar y adaptarse a los riesgos climáticos sobre las operaciones militares y los ecosistemas, reflejando tanto la modernización institucional como la sensibilidad frente a los retos ambientales actuales.

### **3.3 Articulación con marcos normativos e institucionales de sostenibilidad en Colombia**

El desarrollo de estrategias ambientales en bases militares exige alineación con las políticas nacionales de sostenibilidad y adaptación al cambio climático. En Colombia, existen marcos regulatorios que respaldan el uso de infraestructura tecnológica para la gestión ambiental, aunque su aplicación en entornos militares aún es limitada. La Ley 1931 de 2018, por ejemplo, establece el Sistema Nacional de Cambio Climático (SISCLIMA) y promueve la articulación interinstitucional para mejorar la capacidad adaptativa frente a fenómenos climáticos extremos. Este marco legal proporciona un sustento normativo válido para incorporar estaciones meteorológicas en bases militares, en tanto facilitan la recolección de datos para planes de adaptación regional.

En línea con este enfoque, el Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (PNGRD) incluye el monitoreo climático como componente esencial para la prevención de emergencias. Aunque estas políticas han sido desarrolladas con énfasis civil, su transferencia al sector defensa resulta viable y necesaria. La instalación de estaciones meteorológicas en bases militares permitiría consolidar nodos de observación en áreas de difícil acceso, como selvas, páramos o zonas de frontera, que hoy carecen de monitoreo técnico y que, sin embargo, son vulnerables a eventos como deslizamientos, sequías o inundaciones.

Por otra parte, la Política Nacional de Biodiversidad y su Plan de Acción (2016–2030) promueven el desarrollo de instrumentos para la medición del impacto de las actividades humanas sobre el entorno. En este sentido, las estaciones meteorológicas pueden servir como herramientas para estimar cambios microclimáticos asociados a la intervención del territorio, lo cual incluye la construcción de infraestructura militar, el tránsito de vehículos o el desmonte vegetal para instalar helipuertos o campamentos. Su inclusión en los diagnósticos ambientales fortalece la transparencia operacional y permite tomar decisiones correctivas o de compensación ambiental.

El entrevistado con especialidad en meteorología y gestión aeronáutica, señaló que estas estaciones constituyen sistemas permanentes de vigilancia climática que fortalecen la soberanía ambiental al permitir al Estado, a través de sus fuerzas armadas, recopilar y actuar sobre información crítica del territorio (comunicación personal, 23 de marzo de 2025). Este enfoque ha sido implementado en países como Brasil, donde el Ejército colabora con el Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) para monitorear lluvias en la Amazonía mediante estaciones meteorológicas automáticas (INPE, 2023). En África, el Programa Climático de Defensa de Sudáfrica ha incorporado estaciones en bases militares para apoyar la seguridad hídrica de tropas en zonas semiáridas (Department of Defence South Africa, 2021).

### **3.4 Implicaciones estratégicas para el sector defensa y la gobernanza ambiental**

La incorporación de estaciones meteorológicas en bases militares también tiene implicaciones para la transformación doctrinal del sector defensa. Tradicionalmente, las fuerzas militares han sido percibidas como consumidores intensivos de recursos naturales, sin un rol proactivo en la sostenibilidad. Sin embargo, este paradigma ha comenzado a

cambiar, especialmente con el enfoque de seguridad ambiental promovido por organismos internacionales (United Nations Environment Programme [UNEP], 2019; Australian Department of Defence, 2021). En este contexto, el acceso a datos climáticos localizados posiciona a las fuerzas armadas como actores de adaptación y resiliencia, no solo como operadores tácticos.

Desde esta perspectiva, el concepto de “seguridad multidimensional” (enfoque que integra aspectos militares, sociales, económicos y ambientales para proteger tanto la seguridad nacional como el desarrollo y la sostenibilidad) cobra mayor relevancia (Organización de los Estados Americanos [OEA], 2003; United Nations Development Programme [UNDP], 1994). Las estaciones meteorológicas pueden facilitar la construcción de indicadores ambientales militares, tales como la eficiencia hídrica por unidad, el consumo energético per cápita o la vulnerabilidad climática de la infraestructura (Australian Department of Defence, 2021). Estos indicadores, si bien requieren estandarización, serían un insumo valioso para evaluar la sostenibilidad de la presencia militar en áreas estratégicas como el sur del Tolima, el norte del Cauca o la Serranía de San Lucas.

En adición a esto, existe la posibilidad de realizar cooperación interinstitucional con organismos civiles como el IDEAM, las corporaciones autónomas regionales o universidades públicas. La información recolectada podría integrarse a sistemas regionales de monitoreo climático, fortalecer proyectos de investigación aplicada o ser utilizada en el diseño de políticas públicas ambientales. Esta integración también es relevante en contextos de posconflicto, donde el componente ambiental de la estabilización territorial requiere diagnósticos técnicos, seguimiento de indicadores y acciones sostenibles (UNEP, 2019). Las

estaciones meteorológicas pueden actuar como plataformas de datos que respalden estos procesos.

Además, su instalación podría contribuir a reducir conflictos socioambientales en zonas donde la actividad militar ha sido percibida como una amenaza ecológica. Al contar con registros técnicos que evidencien el respeto por variables climáticas y la gestión sostenible del entorno, las Fuerzas Armadas pueden mejorar su legitimidad social y su relación con comunidades vecinas (Goodsite et al., 2016). En regiones como la Amazonía, donde confluyen actividades de control territorial, presencia indígena y altos índices de biodiversidad, estas capacidades podrían facilitar el diálogo intersectorial y la prevención de tensiones.

La planificación climática con base en datos meteorológicos también puede mejorar la logística y reducir costos operacionales. Por ejemplo, anticipar temporadas secas permite programar mantenimientos, evitar interrupciones en el suministro de agua o evitar daños por sobrecalentamiento de equipos. Esto, traducido en términos económicos, se expresa en ahorro de recursos y mayor durabilidad de activos. En términos estratégicos, reduce la vulnerabilidad climática de la defensa y aumenta la capacidad de respuesta frente a desastres naturales o emergencias logísticas (Liyanage, Yigitcanlar, & Vrcelj, 2019).

Desde un punto de vista institucional, la adopción de estaciones meteorológicas también implica la necesidad de formación técnica del personal, mantenimiento preventivo y protocolos de interpretación de datos. Este proceso fortalece las capacidades técnicas de las unidades y genera una cultura organizacional orientada a la evidencia. A mediano plazo, la información generada puede alimentar bancos de datos interinstitucionales y respaldar la

formulación de políticas integradas de sostenibilidad y defensa (Australian Department of Defence, 2021; UNEP, 2019).

## **Conclusiones**

El análisis integral de este artículo, evidencia que las estaciones meteorológicas, más allá de su función técnica para la navegación aérea, constituyen una infraestructura crítica que incide en dimensiones operacionales, estratégicas y ambientales dentro del contexto militar colombiano. La identificación de riesgos asociados a condiciones meteorológicas extremas en bases militares revela una tendencia preocupante: la ausencia de estaciones en regiones de alta complejidad orográfica ha favorecido la ocurrencia de accidentes que podrían haberse evitado con información en tiempo real (División de Aviación Asalto Aéreo [DAVAA], 2024).

La caracterización de estas áreas, apoyada en el estudio de la Seguridad Operacional y la literatura internacional, demuestra la urgencia de priorizar la instalación de estaciones meteorológicas en bases ubicadas en zonas de alta nubosidad, vientos cruzados o microclimas complejos (IDEAM, 2023; OMM, 2021). Al contrastar con experiencias de países como Canadá, Chile y Estados Unidos, se ratifica que la integración de estos sistemas en entornos desafiantes mejora la seguridad aérea, reduce los tiempos de inoperatividad y optimiza la planificación de rutas y evacuaciones (Australian Department of Defence, 2021; DMC, 2021).

La eficiencia estratégica también está directamente vinculada a la variable climática: la carencia de estaciones meteorológicas limita la adaptación táctica y dificulta la gestión de riesgos, lo que puede poner en peligro la integridad del personal, los equipos y el éxito de la

misión. La incorporación de estos sistemas facilita la planificación anticipada y permite tomar decisiones informadas para reducir la siniestralidad y generar economías operacionales mediante el manejo eficiente de recursos (Calvo, 2020; Liyanage et al., 2019).

Desde la perspectiva ambiental, las estaciones meteorológicas amplían su función operacional para convertirse en nodos de gobernanza ambiental y generación de conocimiento climático local. La evidencia aportada por la entrevista experta y la revisión de políticas nacionales e internacionales demuestra que la incorporación de estaciones en bases militares permitiría monitorear variables ecológicas relevantes, mejorar la gestión del recurso hídrico y energético, y fortalecer la cooperación interinstitucional en territorios ambientalmente sensibles (Goodsite et al., 2016; UNEP, 2019).

La generación de datos ambientales locales, finalmente, no solo alimenta sistemas de alerta temprana y modelos predictivos, sino que contribuye a la construcción de una defensa resiliente y sostenible, capaz de adaptarse a los retos del cambio climático y de aportar a la gobernanza territorial y ambiental. Por todo lo anterior, la instalación de estaciones meteorológicas en bases militares debe asumirse como una decisión prioritaria y estratégica para la seguridad, la eficiencia y la sostenibilidad de la Fuerza Pública colombiana en el siglo XXI.

En conclusión, el análisis del papel estratégico de las estaciones meteorológicas en bases militares de Colombia demuestra que estas infraestructuras son indispensables para mejorar la seguridad aérea y la eficiencia operacional en un entorno climático complejo y variable. Su integración en la doctrina militar no solo permite anticipar y mitigar riesgos asociados a fenómenos meteorológicos adversos, sino que también optimiza el uso de recursos y fortalece la capacidad de respuesta de las Fuerzas Armadas. Por tanto, estas

estaciones constituyen un componente clave para consolidar una arquitectura climática de defensa que apoye la sostenibilidad ambiental y la soberanía territorial, respondiendo eficazmente a los desafíos planteados en la pregunta problema y cumpliendo con el objetivo de la investigación.

## Referencias

- Aguirre, J. (2016). *Vigilancia meteorológica a través de sistemas aéreos no tripulados* [Trabajo Final Integrador, Escuela Superior de Guerra Aérea]. <https://cefadigital.edu.ar/bitstream/1847939/2774/1/TFI%20Aguirre%202016%20.pdf>
- Aeronáutica Civil. (2023). *Informe anual de gestión operacional*. <https://www.aerocivil.gov.co>
- Aramendis, H., & Rodríguez, D. (2021). Gestión del riesgo en la aviación militar de América Latina: avances y desafíos. *Revista de Seguridad Operacional*, 15(2), 103–120.
- Australian Department of Defence. (2021). *Defence Environmental Strategy 2020–2030*. <https://www.defence.gov.au/about/strategic-planning/defence-environmental-strategy>
- Bermúdez, C. E. (2014). *Análisis del impacto de la meteorología en la coordinación táctica de misiones aéreas en bases militares colombianas* [Trabajo de grado, Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suárez”]. <https://repository.escuelamilitar.edu.co/handle/123456789/334>
- Calvo, J. A. (2020). *Análisis del uso de fondos comunitarios en proyectos de navegación aérea. Vías para la mejora de su impacto y evaluación* [Tesis doctoral, Universidad Nacional de Educación a Distancia]. <https://e-spacio.uned.es/bitstreams/be1a5422-106b-4663-bb59-af5ee7c98b6d/download>

- Chávez, R., & Moreno, J. (2022). *Elaboración de un plan de seguridad operacional para el aeropuerto de Shell, provincia de Pastaza periodo 2022-2026* [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/18703/1/112T0409.pdf>
- Cueva, M., & Corzo, R. (2024). *Optimización de rutas aéreas militares con variables meteorológicas en tiempo real para el aeródromo Las Palmas*. *Revista Científica ESFAP*, 6(2), 153–168. <https://esfap.edu.pe/wp-content/uploads/2025/06/REVISTA-CIENTIFICA-2024.pdf#page=153>
- Denzin, N. K. (2012). Triangulation 2.0. *Journal of Mixed Methods Research*, 6(2), 80–88. <https://doi.org/10.1177/1558689812437186>
- Dirección Meteorológica de Chile (DMC). (2021). *Informe climático anual 2021*. <https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/anuales/2021.pdf>
- División de Aviación Asalto Aéreo. (2024). *Presentación técnica de seguridad operacional (SEGOP)*. Ejército Nacional de Colombia.
- Gilmour, J. G. (2021). *NORAD: Renewal of the North Warning System by Canada—or Not?* *Naval Association of Canada*. <https://navalassoc.ca/wp-content/uploads/2021/08/Gilmour-NORAD.pdf>
- Goodsite, M. E., Bertelsen, R., & Pertoldi, M. (2016). Science diplomacy and the geopolitics of the Arctic: The role of technical infrastructure. *Arctic Yearbook*, 4, 377–390. <https://arcticyearbook.com/arctic-yearbook/2016/2016-scholarly-papers/182-science-diplomacy-and-the-geopolitics-of-the-arctic-the-role-of-technical-infrastructure>

- ICAO. (2021). (OACI) *Manual on Meteorological Services in Support of Aviation (Doc 8896)*. <https://store.icao.int/en/manual-on-meteorological-services-in-support-of-aviation-doc-8896>
- IDEAM. (2023). *Boletines técnicos meteorológicos y climáticos*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. <https://www.ideam.gov.co>
- INMET. (2020). *Boletim técnico: Aplicações militares de la red meteorológica brasileira*. [https://portal.inmet.gov.br/uploads/boletins/aplicacoes\\_militares\\_redemet\\_2020.pdf](https://portal.inmet.gov.br/uploads/boletins/aplicacoes_militares_redemet_2020.pdf)
- Liyanage, C., Yigitcanlar, T., & Vrcelj, Z. (2019). Climate-resilient defence infrastructure: Adaptation strategies and practices. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 35, 101073. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101073>
- Lozano, C., Melo, P., Bermúdez, J., & González, S. (2023). *Integración de algoritmos de inteligencia artificial en función del pronóstico de consumo de combustible en aeronaves ERJ-145 de una aerolínea colombiana*. CAIA – Congreso Argentino de Ingeniería Aeronáutica. <https://caia.ing.unlp.edu.ar/wp-content/uploads/2023/11/7273-INTEGRACION-DE-ALGORITMOS-DE-INTELIGENCIA-ARTIFICIAL-EN-FUNCION-DEL-PRONOSTICO-DE-COMSUMO-DE-COMBUSTIBLE-EN-AERONAVES-ERJ-145-DE-UNA-AEROLINEA-COLOMBIANA.pdf>
- Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldaña, J. (2014). *Qualitative data analysis: A methods sourcebook* (3rd ed.). SAGE.
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., & Altman, D. G. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *PLoS Med*, 6(7), e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>

Norwegian Defence Research Establishment (NDRE). (2017). *Meteorological support to military operations in complex terrain.*

<https://www.ffi.no/en/publications/2017/meteorological-support-to-military-operations-in-complex-terrain>

Organización de los Estados Americanos (OEA). (2003). *Seguridad multidimensional en el hemisferio occidental.*

[https://www.oas.org/es/sms/docs/seguridad\\_multidimensional.pdf](https://www.oas.org/es/sms/docs/seguridad_multidimensional.pdf)

Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2020). *El estado del clima en América Latina y el Caribe 2020.* [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=10609](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10609)

Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2021). *Estado del clima mundial 2021.* [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=11178](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=11178)

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., et al. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>

Restrepo, J. S. (2023). *Diseño de prototipo de estación meteorológica portátil como accesorio utilizado por un drone para la obtención de datos meteorológicos en zonas de difícil acceso* [Trabajo de grado, Fundación Universitaria Los Libertadores]. [https://repository.libertadores.edu.co/bitstream/11371/6200/1/Restrepo\\_Jaime\\_2023.pdf](https://repository.libertadores.edu.co/bitstream/11371/6200/1/Restrepo_Jaime_2023.pdf)

Rosero, V. R. (2019). *Implementación de PostGIS sobre bases de datos meteorológicas para análisis ambiental* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/76061>

**Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”**  
Bogotá D.C., Colombia

Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, M. P. B. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill.

Tejero, S. (2025). *Influencia de la meteorología adversa en las operaciones aéreas* [Trabajo Fin de Máster, Universidad Europea de Madrid].  
[https://titula.universidadeuropea.com/bitstream/handle/20.500.12880/11970/TFM\\_SandraTejeroCamunas.pdf?sequence=1](https://titula.universidadeuropea.com/bitstream/handle/20.500.12880/11970/TFM_SandraTejeroCamunas.pdf?sequence=1)

United Nations Development Programme (UNDP). (1994). *Human Development Report 1994: New Dimensions of Human Security*.  
<https://hdr.undp.org/system/files/documents/hdr1994encompletenostatpdf.pdf>

United Nations Environment Programme (UNEP). (2019). *Environmental Rule of Law: First Global Report*. <https://www.unep.org/resources/report/environmental-rule-law-first-global-report>

U.S. Army. (2018). *TMQ-53 Tactical Meteorological Observing System: Field evaluation report*. <https://apps.dtic.mil/sti/citations/AD1072434>

Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software for visualizing bibliometric networks. *Scientometrics*, 84(2), 523–538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>

World Meteorological Organization (WMO). (2015). *Manual on the Use of Meteorological Information in Support of Military Operations (WMO-No. 1099)*.  
[https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice\\_display&id=18743](https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=18743)

Zamudio, R., Navarro, L., & Vargas, A. (2022). *Ética y buenas prácticas en la investigación científica*. Editorial UPN.