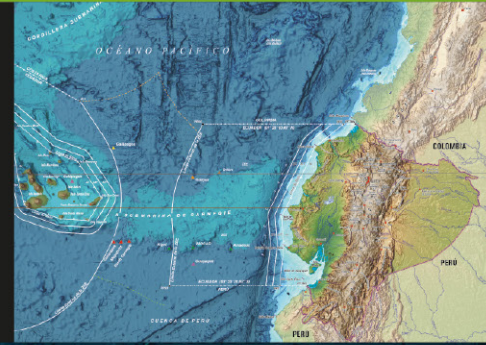


REVISTA **GEO** & CIENCIAS **DATOS**

INSTITUTO • GEOGRÁFICO • MILITAR



14va. EDICIÓN | abril 2026

Escuela Hugo Alemán

Centro Pastoral
Católico San Antonio

Rancho Alto

3343

3168

75

Hostería San Jorge

Carreras

Santa Rosa de

Capilla

Salud Cotacachi

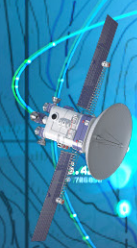
de Familia



Atucucio

3633

3251







Revista Geociencias & Geodatos, Año 2026
Instituto Geográfico Militar
14.^a edición
Diseño y Diagramación: Dirección Geográfica

ISSN: 2477-9040
ISBN: 978-9942-7467-7-1



CÓDIGO QR PARA LA DESCARGA
DE LA REVISTA DIGITAL





Hugo F. Avilés L.
CRNL EMC.
DIRECTOR DEL INSTITUTO
GEOGRÁFICO MILITAR

Editorial

En un entorno global donde la información geoespacial es un recurso estratégico para la toma de decisiones, la planificación territorial, la gestión del riesgo y la seguridad del Estado, el Instituto Geográfico Militar (IGM) reafirma su papel como ente rector en cartografía, geodesia y ciencias geoespaciales de Ecuador. Desde esta responsabilidad institucional, el IGM mantiene el firme compromiso de generar información geográfica y cartográfica precisa, confiable y oportuna, orientada a fortalecer el desarrollo sostenible, la soberanía y el progreso nacional.

En este contexto, la revista *Geociencias & Geodatos 2026* constituye un espacio de difusión científica y técnica destinado a compartir con la comunidad especializada los avances, investigaciones e innovaciones vinculadas a las competencias institucionales. Esta edición refleja el compromiso institucional con el fortalecimiento del conocimiento científico, la innovación tecnológica y la mejora continua de los procesos institucionales, evidenciando el alto nivel profesional de los especialistas que contribuyen, desde diversas áreas, al desarrollo de soluciones al servicio del Estado y de la sociedad.

Esta edición reúne valiosos aportes en los ámbitos de la cartografía, geodesia, análisis territorial, seguridad documental y el desarrollo tecnológico. Entre los temas abordados destacan investigaciones relacionadas con el marco de referencia geodésico del Ecuador, incluyendo el desarrollo y consolidación del sistema GNSS cinemático, el establecimiento del marco de referencia geodésico vertical y los estudios asociados a la geodesia satelital en el país.



Se presentan, también, estudios vinculados con el uso de la inteligencia artificial en la infraestructura de datos espaciales para la planificación territorial, así como aportes sobre la importancia de la cartografía y la geoinformación en los procesos de planificación. Asimismo, se incluyen trabajos orientados a la innovación tecnológica, como el desarrollo de prototipos de software para optimizar procesos institucionales relacionados con la prepersonalización de tarjetas electrónicas, junto con estudios sobre seguridad documental multinivel en la producción de especies valoradas y documentos de seguridad.

Finalmente, se incorporan estudios aplicados al análisis territorial, como la evaluación de la capacidad de acogida del territorio de la ciudad de Saraguro, además de reflexiones sobre la segunda misión geodésica y su vínculo con el IGM, resaltando el valor histórico y científico en el conocimiento del territorio ecuatoriano.

Invitamos a la comunidad técnica, académica e institucional a recorrer las páginas de esta revista con espíritu crítico y vocación de conocimiento, convencidos de que la construcción colectiva del saber fortalece la cooperación interinstitucional y contribuye al desarrollo de un Ecuador más planificado, seguro y sostenible.

Reafirmamos así nuestra determinación de continuar impulsando la innovación, la modernización de procesos y el fortalecimiento del liderazgo del IGM, con la certeza de que los servicios y productos, así como el conocimiento generado, seguirán siendo un pilar estratégico para la seguridad, la planificación y el progreso nacional.

Hugo Fernando Avilés León
CRNL EMC.
DIRECTOR DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR





Christian D. Mullo A.
MAYO ELEC.
PRESIDENTE DEL COMITÉ
CIENTÍFICO - IGM 2026

Presentación

El Instituto Geográfico Militar (IGM) conmemora 98 años de una destacada trayectoria al servicio del país, cuya misión ha trascendido las fronteras del tiempo y la geografía. En los albores de su institucionalidad, el levantamiento cartográfico y la delimitación limítrofe consolidaron su presencia a nivel nacional y regional.

Con una visión transformadora, la incorporación progresiva de tecnología y una acertada vinculación internacional han impulsado la continua modernización de la producción cartográfica y geográfica. Esto ha permitido brindar al país información confiable y de alta calidad, constituyéndose en un soporte técnico fundamental para la toma de decisiones estratégicas en el desarrollo económico, la planificación territorial y la gestión de riesgos.

Al aproximarse el primer centenario de existencia, se reafirma el compromiso institucional con la innovación y las buenas prácticas, impulsando la adopción de herramientas de vanguardia y el desarrollo de metodologías orientadas a la prestación de servicios de excelencia. El fortalecimiento de la cooperación interinstitucional y la articulación con actores clave, garantizan la accesibilidad permanente, la interoperabilidad y el intercambio de información a nivel nacional y regional.

Asimismo, se han incorporado procesos de impresión de alta seguridad y lineamientos normativos que respaldan la calidad y confiabilidad en la producción de especies valoradas y documentos oficiales. Por otro lado, la astronomía y las ciencias afines se han fortalecido mediante la incorporación de tecnología avanzada de proyección digital, que promueve el aprendizaje práctico de conceptos complejos, brindando una experiencia inmersiva y novedosa a los usuarios.



En este marco, se presenta la decimocuarta edición de la revista Geociencias & Geodatos, publicación que ratifica el compromiso institucional con la divulgación científica y técnica, compartiendo investigaciones de alto impacto estratégico para el desarrollo nacional, la seguridad del Estado y el bienestar de todos los ecuatorianos.

El Instituto expresa su profundo agradecimiento y reconocimiento a todos quienes lo integran, por su dedicación diaria y compromiso permanente, así como a la comunidad técnica, usuarios y lectores por su confianza permanente. La presente publicación constituye un nuevo testimonio del trabajo sostenido al servicio del Ecuador y de sus Fuerzas Armadas.

Christian David Mullo Aimacaña
MAYO ELEC.
PRESIDENTE DEL COMITÉ CIENTÍFICO





INSTITUTO
GEOGRÁFICO
MILITAR



PEDRO VICENTE MALDONADO

Fue un científico y geógrafo ecuatoriano, reconocido por su participación en la Primera Misión Geodésica Francesa, donde colaboró en la medición de la circunferencia de la Tierra en el Ecuador.



Créditos

Autoridades:

CRNL. EMC. *Hugo Fernando Avilés León* - Director del IGM
TCRN. EM. *Augusto Marcelo Torres Garzón* - Subdirector del IGM

Comité Científico:

MAYO. ELEC. *Christian Mullo*, MSc.
Dra. Martha Villagomez
MSc. *Tatiana Merino*
Dr. *José Luis Carrión*
MSc. *Francisco Guerrero*
Ing. *Camilo Quiroga*

Diseño y Diagramación:

Dis. *Xavier Vivas*

Revisor Ideomático:

Sp. *Juan Carlos Tobar*

Revista Geociencias & Geodatos, año 2026
Instituto Geográfico Militar - 14.^a edición
ISSN: 2477-9040
ISBN: 978-9942-7467-7-1

Se autoriza su reproducción con mención de la fuente.

Las ideas y opiniones contenidas en los trabajos y artículos son de responsabilidad exclusiva de los autores y no expresan necesariamente el punto de vista del Instituto Geográfico Militar.

Impresión:

Dirección de Imprenta de Geoinformación y Seguridad Documentaria



Índice



	ACTUALIZACIÓN Y ARMONIZACIÓN DEL CATÁLOGO DE OBJETOS GEOGRÁFICOS PARA CARTOGRAFÍA BASE: EXPERIENCIA METODOLÓGICA DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR DEL ECUADOR	13
	CAPACIDAD DE ACOGIDA DEL TERRITORIO DE LA CIUDAD DE SARAGURO	21
	CONSOLIDACIÓN DEL MARCO DE REFERENCIA GNSS CINEMÁTICO DEL ECUADOR (2008-2025): INTEGRACIÓN DE REDES CONTINUAS Y PPP, CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN	29
	DE LA RESTITUCIÓN MANUAL A LA GEOAI: REVISIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA DETECCIÓN DE CAMBIOS EN LA GEOGRAFÍA ECUATORIANA	37
	DETECCIÓN DE ISLAS FLUVIALES MEDIANTE TÉCNICAS DE CLASIFICACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES EN EL SOFTWARE ENVI	49
	ECONOMÍA GEOESPACIAL EN ECUADOR: NUEVOS MODELOS DE COMERCIALIZACIÓN Y POSICIONAMIENTO ESTRATÉGICO DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR	59
	ESPECIES VALORADAS Y DOCUMENTOS DE SEGURIDAD COMO MECANISMOS DE PREVENCIÓN DE LA CORRUPCIÓN EN EL SECTOR PÚBLICO ECUATORIANO	65
	ESTABLECIMIENTO DEL MARCO DE REFERENCIA GEODÉSICO VERTICAL DE ECUADOR	71
	IGM, 30 AÑOS DE GEODESIA SATELITAL. MARCO DE REFERENCIA GEODÉSICO SIRGAS ECUADOR ITRF2020, CAMPO DE VELOCIDADES VEC_EC 2025	81
	INCORPORACIÓN DE TECNOLOGÍA DE GRABADO LÁSER DIRECTO (DLE) EN LA IMPRESIÓN INTAGLIO DEL PASAPORTE ECUATORIANO	107
	LA CARTOGRAFÍA, LA GEOINFORMACIÓN Y SU IMPORTANCIA EN LA PLANIFICACIÓN TERRITORIAL	117
	LA CÉDULA DE IDENTIDAD ECUATORIANA COMO DOCUMENTO DE ALTA SEGURIDAD	125
	PROTOTIPO DE SOFTWARE DESARROLLADO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE PREPERSONALIZACIÓN DE TARJETAS ELECTRÓNICAS INTELIGENTES	132
	SEGURIDAD DOCUMENTAL MULTINIVEL EN LA PRODUCCIÓN DE ESPECIES VALORADAS Y DOCUMENTOS DE IDENTIDAD	142
	TAMAÑOS MÍNIMOS DE EXTRACCIÓN PARA LA CARTOGRAFÍA OFICIAL MULTIESCALA DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR DE ECUADOR	148
	USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN INFRAESTRUCTURA DE DATOS ESPACIALES PARA LA PLANIFICACIÓN TERRITORIAL	157





León, Fernanda.
fernanda.leon@geograficomilitar.gob.ec

Enríquez, Fernanda.
fernanda.enriquez@geograficomilitar.gob.ec

Herrera, Tania.
tania.herrera@geograficomilitar.gob.ec

Tamayo, Carolina.
carolina.tamayo@geograficomilitar.gob.ec



INSTITUTO
GEOGRÁFICO
MILITAR

ACTUALIZACIÓN Y ARMONIZACIÓN DEL CATÁLOGO DE OBJETOS GEOGRÁFICOS PARA CARTOGRAFÍA BASE: EXPERIENCIA METODOLÓGICA DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR DEL ECUADOR

UPDATE AND HARMONIZATION OF THE GEOGRAPHIC OBJECTS CATALOGUE FOR BASE CARTOGRAPHY: METHODOLOGICAL EXPERIENCE OF THE MILITARY GEOGRAPHIC INSTITUTE OF ECUADOR

RESUMEN

La estandarización de los objetos geográficos constituye un proceso fundamental para garantizar la calidad, la interoperabilidad y la sostenibilidad de la información geoespacial utilizada en la producción de cartografía base. El presente estudio describe la experiencia metodológica desarrollada por el Instituto Geográfico Militar del Ecuador para la actualización y armonización del Catálogo de Objetos Geográficos Institucional, orientada a mejorar la consistencia en la captura de datos y fortalecer su alineación con la Infraestructura Ecuatoriana de Datos Geoespaciales (IEDG).

La metodología aplicada incluyó un diagnóstico técnico del catálogo vigente, análisis comparativo con estándares internacionales, nacionales y documentos técnicos institucionales, revisión conceptual y semántica de objetos geográficos, normalización de atributos y dominios, y validación técnica mediante mesas especializadas. El resultado

ABSTRACT

Standardizing geographic objects is essential to ensure the quality, interoperability, and long-term sustainability of geospatial information used in base cartography production. This study presents the methodological approach implemented by the Military Geographic Institute of Ecuador to update and harmonize its Institutional Geographic Objects Catalogue, with the objective of improving data capture consistency and strengthening alignment with the Ecuadorian Spatial Data Infrastructure (IEDG).

The methodology combined a technical assessment of the existing catalogue, comparative analysis against international and national standards and institutional technical documents, conceptual and semantic harmonization of geographic objects, attribute and domain normalization, and technical validation through specialized expert working groups. The process resulted in a structurally coherent catalogue aligned with ISO 19109, ISO



obtenido es un catálogo estructuralmente coherente y alineado con las normas ISO 19109, ISO 19110 e ISO 19126, con el objetivo de optimizar la captura y uso de datos y fortalecer la interoperabilidad institucional y la gobernanza del dato geoespacial.

Palabras clave: cartografía base, catálogo de objetos geográficos, infraestructura de datos espaciales, interoperabilidad, ISO 19110.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la cartografía base constituye el soporte estructural de múltiples procesos de planificación territorial, desarrollo, seguridad nacional y toma de decisiones en diversos ámbitos. La calidad de estos productos depende directamente de la consistencia conceptual del modelo de datos subyacente.

Los catálogos de objetos geográficos permiten formalizar la representación del territorio mediante definiciones estandarizadas de entidades geográficas, atributos y dominios de valores. Según la norma ISO 19110, un catálogo de objetos geográficos es un componente esencial para garantizar la coherencia semántica en los sistemas de información geográfica (ISO, 2016). Asimismo, la ISO 19109 establece reglas para el desarrollo de esquemas de aplicación que aseguren consistencia conceptual y estructural en el modelamiento de datos geográficos (ISO, 2015).

En el contexto de la Infraestructura de Datos Espaciales (IDE), la armonización de catálogos de objetos geográficos constituye un requisito fundamental para alcanzar la interoperabilidad semántica (Nebert, 2004; Rajabifard et al., 2002). En Ecuador, la consolidación de la Infraestructura Ecuatoriana de Datos Geoespaciales (IEDG) requiere modelos de datos compatibles y normalizados.

Bajo este marco, el Instituto Geográfico Militar (IGM) emprendió un proceso integral de actualización y armonización del catálogo de objetos geográficos institucional para cartografía base, desarrollando un proceso metodológico orientado a mejorar

19110, and ISO 19126 standards, enhancing data consistency, institutional interoperability, and geospatial data governance.

Keywords: base mapping, geographic object catalog, spatial data infrastructure, interoperability, ISO 19110.

la consistencia de captura, eliminar ambigüedades y fortalecer la interoperabilidad nacional, en cumplimiento de los estándares y lineamientos nacionales e internacionales adaptados a la realidad del país.

1. Marco conceptual y normativo.

Para contextualizar el trabajo desarrollado, se estableció un marco de referencia sustentado en la normativa y en los documentos técnicos vigentes. Estas fuentes constituyeron el punto de partida para el análisis, permitiendo definir los objetivos de alineación y el legado técnico que sería objeto de evaluación.

Se identificaron tres niveles normativos con sus respectivos documentos de referencia:

a. Nivel internacional.

- ISO 19109: Reglas para la construcción de esquemas de aplicación, basados en modelos conceptuales formales, que garantizan la consistencia estructural en los sistemas de información geográfica (International Organization for Standardization [ISO], 2015).
- ISO 19110: Metodología para la catalogación de objetos geográficos que establece los componentes esenciales de un catálogo, tales como definición conceptual, atributos, dominios y relaciones entre objetos geográficos (ISO, 2016).
- ISO 19126: Marco para registros y diccionarios conceptuales de



objetos geográficos, utilizado como referencia para la armonización y la consistencia semántica (ISO, 2009).

- Manual de extracción y catalogación del MGCP, versión 4.6 (2020): Referencia técnica histórica para la definición y codificación de objetos cartográficos (MGCP, 2020).

b. Nivel nacional.

- Políticas Nacionales de Información Geoespacial (CONAGE, 2010).
- Catálogo Nacional de Objetos Geográficos v2.0 (CONAGE, 2013).
- Lineamientos para la implementación de catálogos institucionales (CONAGE, 2016).
- Protocolo de revisión de catálogos sectoriales o institucionales (CONAGE, 2022).

c. Nivel institucional.

- Catálogo de objetos geográficos del IGM para cartografía base escala 1:5.000 (IGM, 2011).
- Resolución IGM-IGM-2025-0092-R sobre tamaños mínimos de representación (IGM, 2025a).
- Informe del grupo de trabajo para la actualización del catálogo de objetos geográficos institucional (IGM, 2025b).

En conjunto, estos documentos orientaron la selección de definiciones, la formulación de reglas de codificación, la estructuración de dominios controlados y la interpretación de las reglas de representación geométrica en coherencia con la Resolución de Tamaños Mínimos del IGM.

2. Metodología utilizada.

El proceso metodológico se estructuró en cinco fases principales, desarrolladas de manera secuencial (Figura 1).

a. Fase 1 - Diagnóstico técnico del catálogo vigente.

Se realizó un análisis exhaustivo del catálogo de objetos geográficos institucional existente, mediante el cual se identificaron:

- Duplicidades entre objetos geográficos.
- Inconsistencias en la nomenclatura/codificación.
- Diferencias semánticas en las definiciones.
- Heterogeneidad en atributos y dominios.
- Ausencia de correspondencia directa con estándares vigentes.

Este diagnóstico permitió determinar las principales brechas conceptuales y estructurales que afectaban la consistencia en la captura y la interoperabilidad del modelo de datos.

b. Fase 2 - Análisis comparativo.

Se efectuó un análisis comparativo entre el catálogo institucional vigente, los estándares ISO y los lineamientos nacionales aplicables, identificando equivalencias conceptuales y diferencias estructurales. Este proceso permitió establecer varios criterios técnicos para la adopción, modificación o eliminación de objetos geográficos.

c. Fase 3 - Armonización conceptual.

Durante esta fase se revisaron las definiciones de los objetos geográficos, priorizando la unicidad conceptual y su correspondencia con la realidad territorial representada. Razón por la cual se eliminaron redundancias y se redefinieron objetos con base en criterios operativos utilizados en la producción cartográfica.



d. Fase 4 - Normalización de atributos y dominios.

Se ejecutó la revisión integral de los atributos asociados a cada objeto geográfico, estableciendo dominios controlados y orientados a reducir ambigüedades en la captura de información. Esta normalización permitió mejorar la consistencia entre los equipos de producción y fortalecer los procesos de validación.

e. Fase 5 - Validación técnica.

La propuesta resultante fue revisada mediante mesas técnicas con especialistas institucionales, garantizando coherencia conceptual, aplicabilidad operativa y alineación con los procesos productivos institucionales.

Finalmente, se consolidó la versión armonizada del catálogo de objetos

geográficos para cartografía base del IGM (Figura 2) completamente armonizado y actualizado conforme con los lineamientos nacionales y las normas internacionales. La siguiente etapa planificada consiste en la prueba piloto de implementación con pruebas en procesos reales de captura y control de calidad.

3. Impacto y beneficios.

La actualización y armonización del catálogo de objetos geográficos para cartografía base generó mejoras sustanciales en la consistencia conceptual del modelo de datos institucional. Entre los principales resultados se destacan:

a. Reducción de inconsistencias conceptuales.

El análisis comparativo permitió identificar y corregir redundancias conceptuales, consolidando objetos que representaban entidades equivalentes bajo distintas denominaciones; esto

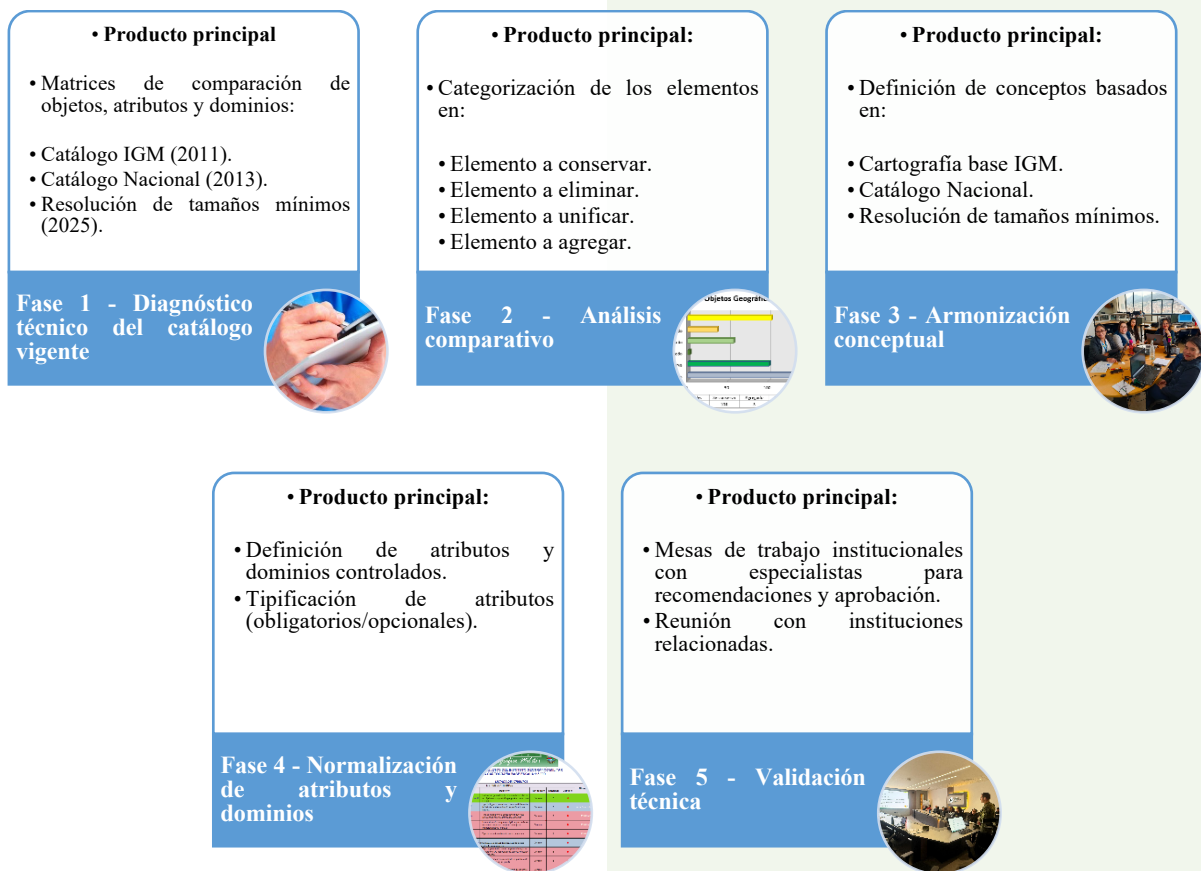


Figura 1. Fases metodológicas y principales productos.

Fuente: Elaboración propia.



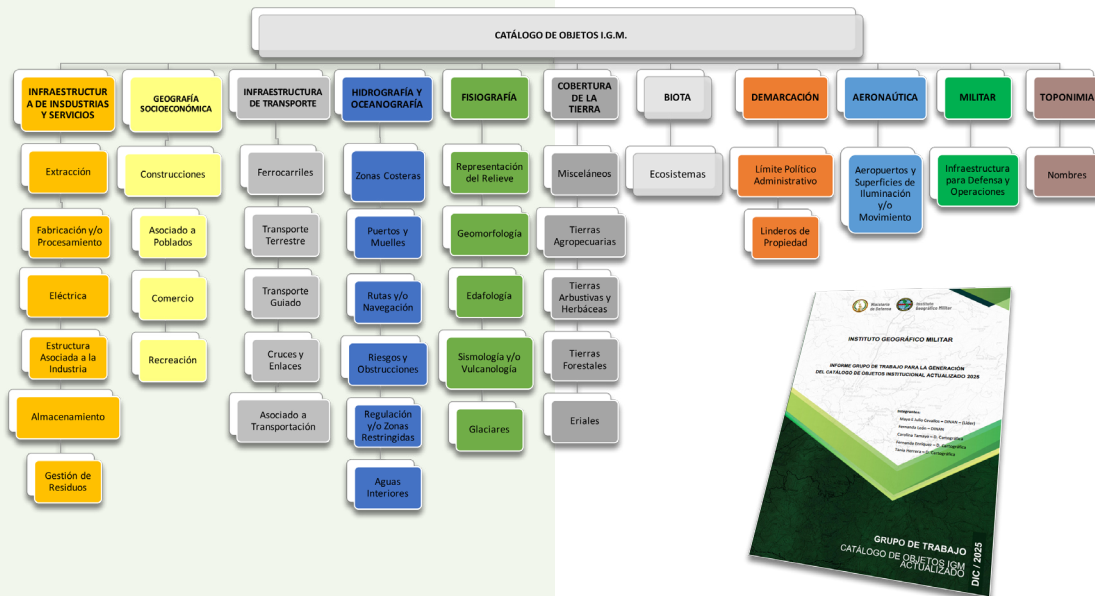


Figura 2. Informe y catálogo de objetos geográficos IGM 2025.

Fuente: Elaboración propia.

contribuyó a fortalecer la coherencia semántica del catálogo.

En la Tabla 1 se presenta una síntesis comparativa entre el catálogo 2011 y el catálogo 2025.

b. Estandarización de atributos y dominios.

La definición de atributos y dominios controlados y armonizados con la realidad nacional permitirá reducir la variabilidad en la captura de datos,

disminuyendo errores asociados a la interpretación subjetiva y fortaleciendo los mecanismos de control.

c. Mejora en la consistencia de la captura de datos.

La armonización conceptual permitió establecer varios criterios homogéneos de captura, lo que se traduce en mayor coherencia entre los conjuntos de datos generados por distintos equipos técnicos.

Aspecto	Catálogo 2011	Catálogo 2025
Definiciones	Variabilidad conceptual	Definiciones normalizadas
Atributos	Heterogéneos	Estandarizados
Dominios	Valores abiertos o no acordes al territorio	Dominios controlados y adaptados a la realidad nacional
Consistencia de captura	Variable	Homogénea
Interoperabilidad	Limitada/propia	Si/alineada al Catálogo Nacional 2.0

Tabla 1. Comparación de mejoras entre el catálogo 2011 y el catálogo 2025.

Fuente: Elaboración propia.



Estos resultados coinciden con lo planteado por Rajabifard et al. (2002), quienes destacan que la estandarización estructural contribuye a mejorar la interoperabilidad y la sostenibilidad de los sistemas geoespaciales. Asimismo, la experiencia confirma que la armonización de catálogos trasciende el ámbito estrictamente técnico y se configura como un proceso de gobernanza del dato geoespacial, en el cual la interoperabilidad semántica depende del consenso conceptual y de la aplicación de estándares formales (Nebert, 2004).

En complemento al análisis cualitativo, se desarrolló una evaluación cuantitativa de los objetos, atributos y dominios del catálogo considerando el total inicial y los elementos conservados, agregados, eliminados y unificados (Figura 3).

La aplicación de la metodología de actualización del catálogo de objetos geográficos para cartografía base del IGM obtuvo una reducción del:

- 47,21 % para objetos geográficos, pasando de 197 a 104. En referencia al total inicial, 101 fueron conservados, 57 fueron eliminados,

3 fueron incorporados y 37 fueron unificados.

- 61,87 % para atributos, pasando de 139 a 53. En referencia al total inicial, 38 fueron conservados, 101 fueron eliminados y 15 fueron agregados.
- 63,46 % para dominios, pasando de 104 a 38.

En conjunto, estos resultados evidencian un proceso efectivo de depuración y normalización del modelo de datos, orientado a fortalecer la consistencia semántica y la interoperabilidad del catálogo institucional.

CONCLUSIONES

La actualización del catálogo de objetos geográficos del IGM permitió consolidar un modelo conceptual coherente, alineado con estándares nacionales e internacionales y orientado a fortalecer la interoperabilidad institucional.

El proceso metodológico aplicado constituye una experiencia replicable para instituciones

Análisis cuantitativo comparativo de la actualización del catálogo de objetos geográficos

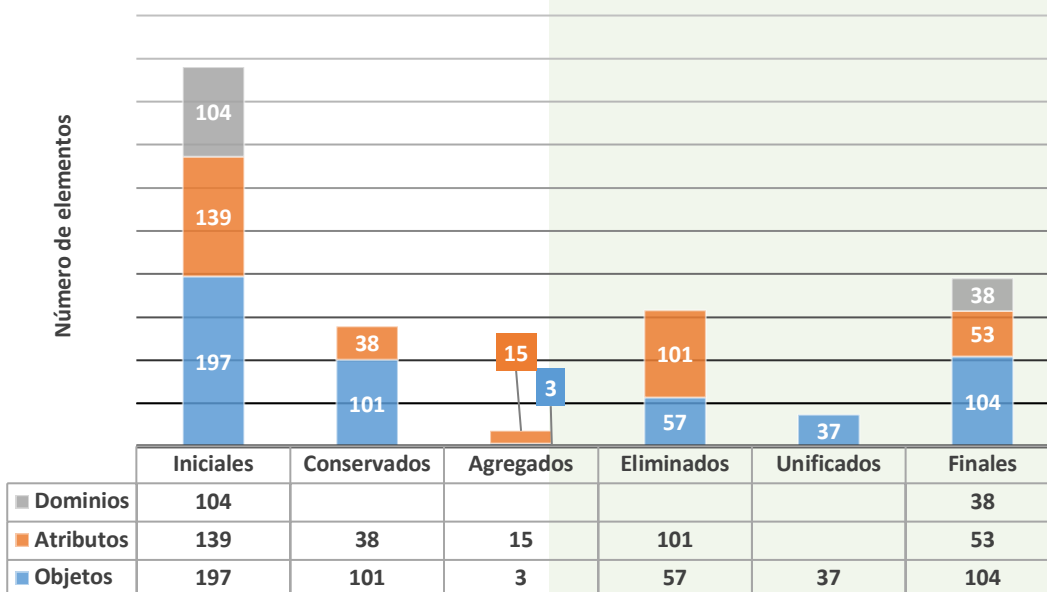


Figura 3. Análisis cuantitativo comparativo de la actualización del catálogo de objetos geográficos.

Fuente: Elaboración propia.



responsables de la gestión de información geoespacial. No obstante, la etapa de prueba piloto se reconoce como un componente fundamental para evaluar el desempeño del catálogo en escenarios operativos reales y definir mejoras sustanciales en los procesos de captura de información y control de calidad.

El estudio evidenció que la actualización de catálogos de objetos geográficos no puede abordarse únicamente desde una perspectiva técnica. La participación de especialistas de distintas áreas e instituciones permitió integrar criterios operativos reales, favoreciendo la adopción efectiva del catálogo actualizado.

La sinergia entre referentes como ISO, MGCP, CONAGE-IEDG e IGM demuestra la importancia de contar con un marco documental y normativo robusto para garantizar la interoperabilidad a nivel institucional y nacional.

Asimismo, el proceso generó un modelo híbrido sólido que equilibra estándares nacionales e internacionales con las necesidades operativas institucionales.

El análisis cuantitativo confirma que el proceso de actualización redujo el número de objetos, atributos y dominios hasta en un 63 %, evidenciando la efectividad del enfoque metodológico para fortalecer la interoperabilidad semántica. Este proceso fortaleció la coherencia conceptual, disminuyó la redundancia semántica y mejoró la consistencia en la captura de datos.

En consecuencia, el catálogo actualizado incrementa su capacidad de interoperabilidad y su alineación con la IEDG, constituyéndose en una base técnica sólida para su implementación institucional y validación operativa.

Finalmente, la experiencia desarrollada confirma que los catálogos de objetos geográficos deben concebirse como instrumentos dinámicos sujetos a una actualización periódica, en función de la evolución tecnológica, normativa y de la demanda institucional.

BIBLIOGRAFÍA

- Consejo Nacional de Geoinformática (CONAGE). (2010). *Políticas nacionales de información geoespacial* (Registro Oficial No. 269). https://iedg.presidencia.gob.ec/wp-content/uploads/2022/06/Estandares_de_informacion_geografica_cap1.pdf
- Consejo Nacional de Geoinformática (CONAGE). (2013). *Catálogo nacional de objetos geográficos* (Versión 2.0). https://iedg.presidencia.gob.ec/wp-content/uploads/2022/06/catalogo_nacional_de_objetos_geograficos_v2.pdf
- Consejo Nacional de Geoinformática (CONAGE). (2016). *Lineamientos para la implementación de catálogos institucionales*. https://iedg.presidencia.gob.ec/wp-content/uploads/2022/06/lineamiento_catalogo_objetos_institucional.pdf
- Consejo Nacional de Geoinformática (CONAGE). (2022). *Protocolo de revisión de catálogos de objetos geográficos sectoriales o institucionales* (Versión 1.0). <https://iedg.presidencia.gob.ec/wp-content/uploads/2023/04/Protocolo-de-revision-de-Catalogo-de-Objetos-sectoriales-e-institucionales.zip>
- Instituto Geográfico Militar. (2011). *Catálogo de objetos geográficos del IGM para cartografía base escala 1:5.000*. Geoportal IGM. https://www.geoportaligm.gob.ec/portal/?wpfb_dl=62
- Instituto Geográfico Militar. (2025a). *Resolución Nro. IGM-IGM-2025-0092-R: Tamaños mínimos de representación cartográfica*.
- Instituto Geográfico Militar. (2025b). *Informe del grupo de trabajo para la actualización del catálogo de objetos geográficos institucional*.
- International Organization for Standardization. (2009). *ISO 19126: Geographic information—*



Feature concept dictionaries and registers.

- *International Organization for Standardization. (2015). ISO 19109: Geographic information—Rules for application schema.*
- *International Organization for Standardization. (2016). ISO 19110: Geographic information—Methodology for feature cataloguing.*
- *Multinational Geospatial Co-production Program. (2020). Extraction and attribution specification (Version 4.6).*
- *Nebert, D. D. (Ed.). (2004). Developing spatial data infrastructures: The SDI cookbook (Version 2.0). Global Spatial Data Infrastructure Association. https://www.fgdc.gov/international/sdi_cookbook*
- *Rajabifard, A., Feeney, M. E. F., & Williamson, I. P. (2002). Future directions for SDI development. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 4(1), 11–22. [https://doi.org/10.1016/S0303-2434\(02\)00002-8](https://doi.org/10.1016/S0303-2434(02)00002-8)*



Andrade, Soledad.
soledad.andrade@geograficomilitar.gob.ec

CAPACIDAD DE ACOGIDA DEL TERRITORIO DE LA CIUDAD DE SARAGURO

TERRITORIAL CARRYING CAPACITY OF THE CITY OF SARAGURO

RESUMEN

La determinación de la capacidad de acogida territorial constituye una herramienta técnica para orientar el uso equilibrado del suelo de acuerdo con sus potencialidades y limitaciones. La metodología se fundamenta en estudios científicos de ecología de paisaje donde la unidad geomorfológica espacializada es la unidad básica para el análisis territorial; es decir, se basa en un análisis sistémico y holístico del territorio. Además, integra datos espaciales (imágenes y ortofotos), información del censo nacional 2022 y trabajos de campo, que mediante el cruce y análisis de las variables que conforman los componentes físicos, bióticos y socioeconómicos, se desprenden los modelos de Aptitud Física Constructiva, Conflictos de Uso y Capacidad de Acogida. En este contexto, en la ciudad de Saraguro predomina una capacidad de acogida muy baja (41,58%) debido a las fuertes pendientes y riesgo de deslizamientos, evidenciando severas limitaciones para la expansión urbana.

Palabras clave: aptitud física constructiva, capacidad de acogida, geoinformación temática, Saraguro.

ABSTRACT

Determining the carrying capacity of a territory allows for the balanced land use in accordance with its potential and limitations. The methodology is based on scientific studies of landscape ecology, where the spatialized geomorphological unit is the basic unit for territorial analysis; that is, it is based on a systemic and holistic analysis of the territory. In addition, it integrates spatial data (images and orthophotos), information from the 2022 national census, and fieldwork. By cross-referencing and analyzing the variables that make up the physical, biotic, and socioeconomic components, models of Physical Construction Suitability, Land Use Conflicts, and Carrying Capacity are derived. In this context, the city of Saraguro has a very low carrying capacity (41.58%) due to steep slopes and the risk of landslides, highlighting severe limitations for urban expansion.

Keywords: constructive physical aptitude, capacity to receive, thematic geoinformation, Saraguro.

INTRODUCCIÓN

El Instituto Geográfico Militar (IGM), durante el período 2022-2025, desarrolló el proyecto “Determinación de la capacidad de acogida del territorio con fines de desarrollo urbano mediante la generación de geoinformación temática a escala 1 : 5 000”, con el propósito de generar información geoespacial detallada de 200 ciudades (cabeceras cantonales) que corresponden a 10 267,35 km². El proyecto se concibió para determinar la capacidad de acogida del territorio mediante el análisis y uso de geotecnologías como sistemas de información geográfica, teledetección y sistemas de posicionamiento global que permiten manejar la geoinformación del territorio de manera eficiente. Se integraron múltiples capas temáticas como: geología, geomorfología, suelos, cobertura y uso de las tierras y estudios socioeconómicos para finalmente realizar un modelamiento de variables físicas y bióticas, generando tres productos de síntesis: Aptitud Física Constructiva (APFC), Capacidad de Acogida (CA) y Conflictos de Uso (CU), siendo los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs) los usuarios directos de estos insumos de diagnóstico y planificación.

En este contexto, se presenta este estudio con el objetivo de comprender la dinámica de los procesos de la ecología de paisaje en el sur del país (provincia de Loja) y los insumos metodológicos utilizados en su obtención.

DESARROLLO

1. Objetivo.

Determinar la capacidad de acogida del territorio para fines de desarrollo urbano mediante la generación de información geoespacial multipropósito (escala 1 : 5 000) en el área de la cabecera cantonal de Saraguro.

2. Ámbito de estudio y aspectos geográficos.

El área de estudio abarca 5 086,04 Ha y se localiza en la provincia de Loja (Figura 1), perteneciente a la región interandina, cuya cabecera cantonal corresponde a la ciudad de Saraguro. Su posición geográfica y la conformación biofísica de su territorio determinan su clima, así como su riqueza ecológica y paisajística única en la región. El rango altitudinal varía entre 1 600 a 3 500 m. s. n. m.

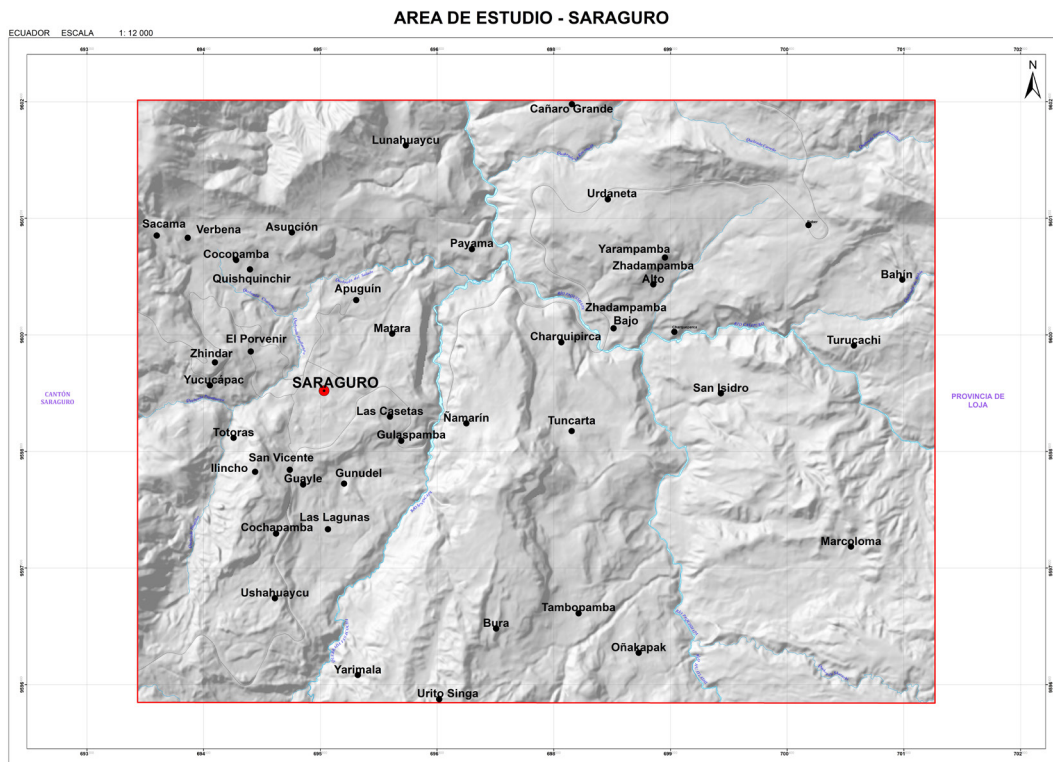


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

Fuente: IGM (2025).



3. Metodología.

Se fundamenta en estudios científicos de ecología del paisaje (Zonneveld, 1989 y Kwa, 2018) donde la unidad geomorfológica espacializada es la unidad básica para el análisis territorial (Zinck, 2012); es decir, la metodología se basa en un análisis sistémico y holístico del territorio, la cual analiza la mayoría de aspectos del paisaje mediante el estudio de unidades de tierras con características homogéneas. Esta homogeneidad se determina mediante el análisis de cinco variables temáticas: geomorfología, suelos, cobertura y uso de las tierras, capacidad de uso de las tierras y nivel socioeconómico. Una vez obtenidos estos insumos, se analizan entre sí, para generar los modelos de síntesis.

En el modelamiento de la APFC se utiliza un modelo cualitativo en el que se analizan dos variables geomorfológicas (pendiente y factor geológico) y cuatro variables de suelos (nivel freático, textura, drenaje y pedregosidad en la superficie), obteniendo siete categorías (muy alta, alta, media alta, media, baja, muy baja y no apta), las cuales reflejan las zonas con mayores o menores limitaciones para el establecimiento de edificaciones. De este modo, se pretende valorar las características del terreno en función de su idoneidad para la edificación y sus condicionantes técnicas.

En la determinación del modelo de CA se aplicó el método impacto/aptitud, donde se construye una matriz de doble entrada basada en el análisis de las amenazas naturales por inundaciones, deslizamientos y erupciones volcánicas, agrupadas en cuatro niveles de multiamenazas y siete rangos de APFC. El propósito para establecer las categorías de capacidad de acogida es determinar y conocer la compatibilidad o no de las condiciones naturales y físicas del territorio para la ampliación urbanística.

En cuanto al modelamiento de los CU, se utilizó la información de cobertura y uso de la tierra y la capacidad de uso de las tierras (CUT), el cual permite conocer las potencialidades y limitaciones de la tierra y la CA. Con ese objetivo, se elaboró una matriz en la que se consignó la decisión para evaluar concordancia, compatibilidad o discrepancia

en el uso mediante el proceso de confrontar ordenadamente cada par: vocación de uso - uso actual.

RESULTADOS

La ciudad de Saraguro se encuentra ubicada en dos paisajes morfológicos: a) Las estribaciones y las vertientes rectilíneas y disectadas de los valles, y, b) Las vertientes inferiores de los valles con rellenos escalonados (Winckell et al., 1997).

El origen de las unidades geomorfológicas corresponde a siete procesos (Figura 2):

- *Volcánico* (relieve volcánico colinado muy alto y relieve volcánico colinado bajo).
- *Gravedad y movimientos en masa* (escarpe de deslizamiento, coluvión reciente, superficie de coluvión reciente).
- *Erosivo* (vertiente heterogénea).
- *Deposicional* (superficie de cono de deyección antiguo y vertiente de cono de deyección antiguo).
- *Erosión fluvial* (garganta y barranco).
- *Poligénicas* (picos y afloramientos rocosos, superficie horizontal, cerro testigo).
- *Tecnogénesis* (superficie intervenida).

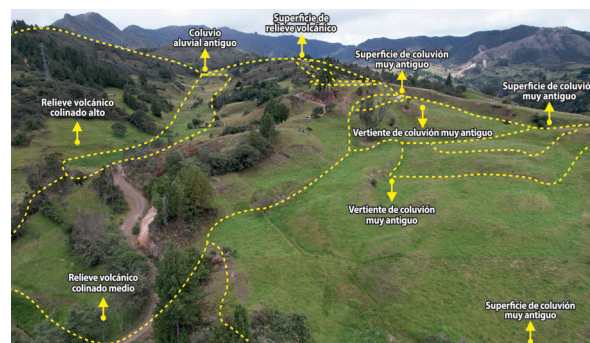


Figura 2. Geoformas de origen volcánico y gravedad y movimientos en masa (sector Urdaneta).

Fuente: IGM (2025).



En cuanto a su geología, se presentan las siguientes unidades geológicas: Rocas subvolcánicas, Rocas intrusivas, Unidad Río Sinincapa, Unidad Urdaneta, Unidad El Tambo, Unidad Quebrada Tasqui, Unidad Carboncillo y Depósitos superficiales como: aluvial, coluvial, coluvio aluvial, De detritos, De derrubios, Aluvial tipo torrencial y De glaciés.

En referencia a los suelos, el análisis textural a más de 50 cm de profundidad reflejó una variabilidad significativa en el área de estudio, identificándose once clases texturales: a) arcilloso, b) franco arcilloarenoso, c) arcilla pesada, d) arcillo arenoso, e) franco arcilloso, f) sin suelo, g) franco arenoso, h) franco arcillo-limoso, i) arcillo-limoso, j) arena y k) areno francoso.

Esta distribución de las texturas refleja los distintos procesos geológicos que han actuado en la zona y la naturaleza de los materiales depositados.

El estudio del drenaje natural indica una clara dominancia del drenaje bueno, mientras que la pedregosidad (fragmentos gruesos) en la superficie presenta seis tipos: a) nula, b) pocas, c) frecuentes, d) muy

pocas e) pedregoso y f) abundantes. En el nivel freático se presentan dos categorías: a) sin evidencia y b) moderadamente profundo. Se determinaron siete clases de CUT que van desde la Clase II hasta la Clase VIII.

El pastizal permanente es la cobertura con mayor predominancia, aproximadamente 1 974,42 Ha (38,83 %) (Gráfico 1), conformado por pastos como: kikuyo (*Cenchrus clandestinus* syn. *Pennisetum clandestinum*) y alfalfa (*Medicago sativa*) (Figura 3).

En segundo lugar, se encuentra la plantación forestal permanente cuyo uso es protección o producción y representa 817,92 Ha (16,07%).

Se encuentra conformado por especies como: eucalipto (*Eucalyptus* spp), pino (*Pinus* spp), misceláneo forestal, aliso (*Alnus acuminata*) y ciprés (*Cupressus* spp). Según el Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador (Ministerio del Ambiente [MAE], 2013) en la zona de estudio se encuentra el Arbustal siempreverde montano del sur de los Andes.

PRINCIPALES COBERTURAS (OTMP)

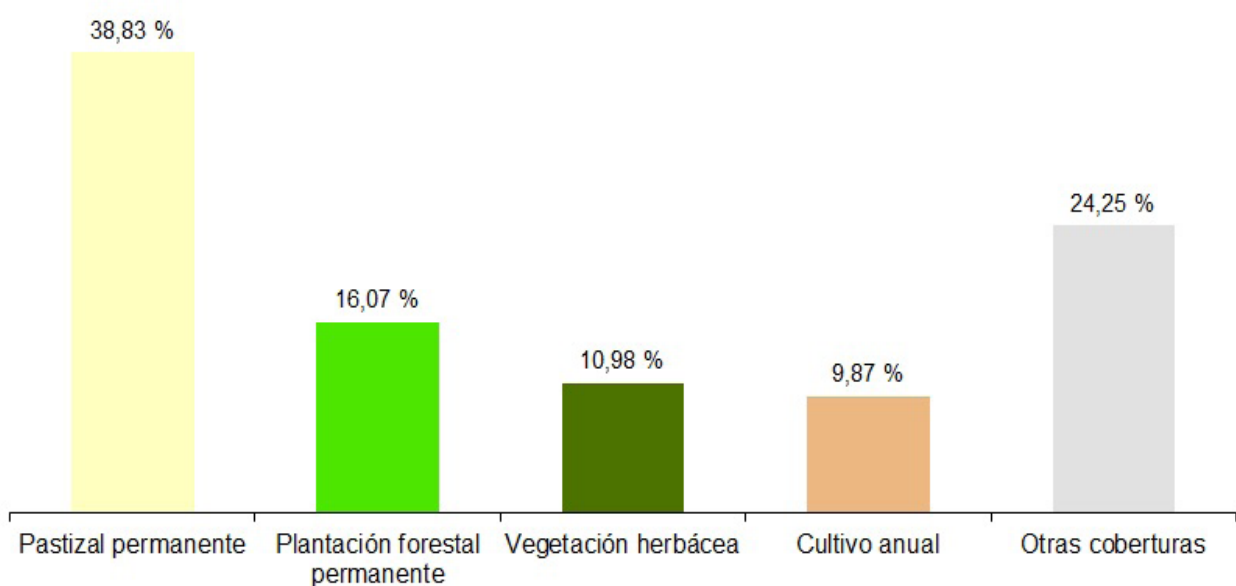


Gráfico 1. Principales coberturas en Saraguro.

Fuente: IGM (2025).





Figura 3. Pastizal permanente Kikuyo en Tambopamba.

Fuente: IGM (2025).

La relación entre el uso del territorio y los niveles socioeconómicos revela que el nivel bajo es el predominante en términos de ocupación territorial y concentración demográfica. Esta categoría no solo abarca la mayor superficie, sino también concentra la mayor porción de población y viviendas (Tabla 1).

Se sugiere una concentración de personas con menores recursos en áreas más extensas, lo cual podría reflejar procesos de ocupación informal, falta de planificación urbana o expansión en zonas rurales o periféricas. Una vez obtenidos los insumos establecidos en la metodología, se presentan los modelos de

Nivel socioeconómico	Superficie (Ha)	Personas	Viviendas
Medio Alto	2,74	210	63
Medio	100,1	3 107	898
Medio Bajo	1 608,28	4 773	1 378
Bajo	3 347,28	5 716	1 600

Tabla 1. Distribución territorial y demográfica por nivel socioeconómico.

Fuente: IGM (2025).

síntesis obtenidos a partir del cruce y análisis de las temáticas empleadas como insumos para la generación de la APFC y CA.

1. Aptitud Física Constructiva (APFC).

Las categorías de aptitud en la ciudad de Saraguro, de acuerdo a sus limitaciones, fueron seis: a) alta; b) media-alta; c) media; d) baja; e) muy baja y f) no apta para construcción.

2. Capacidad de Acogida (CA).

Las clases de capacidad de acogida constructiva encontradas en la ciudad Saraguro fueron cuatro: a) alta; b) media; c) baja; y, d) muy baja (Figura 4).

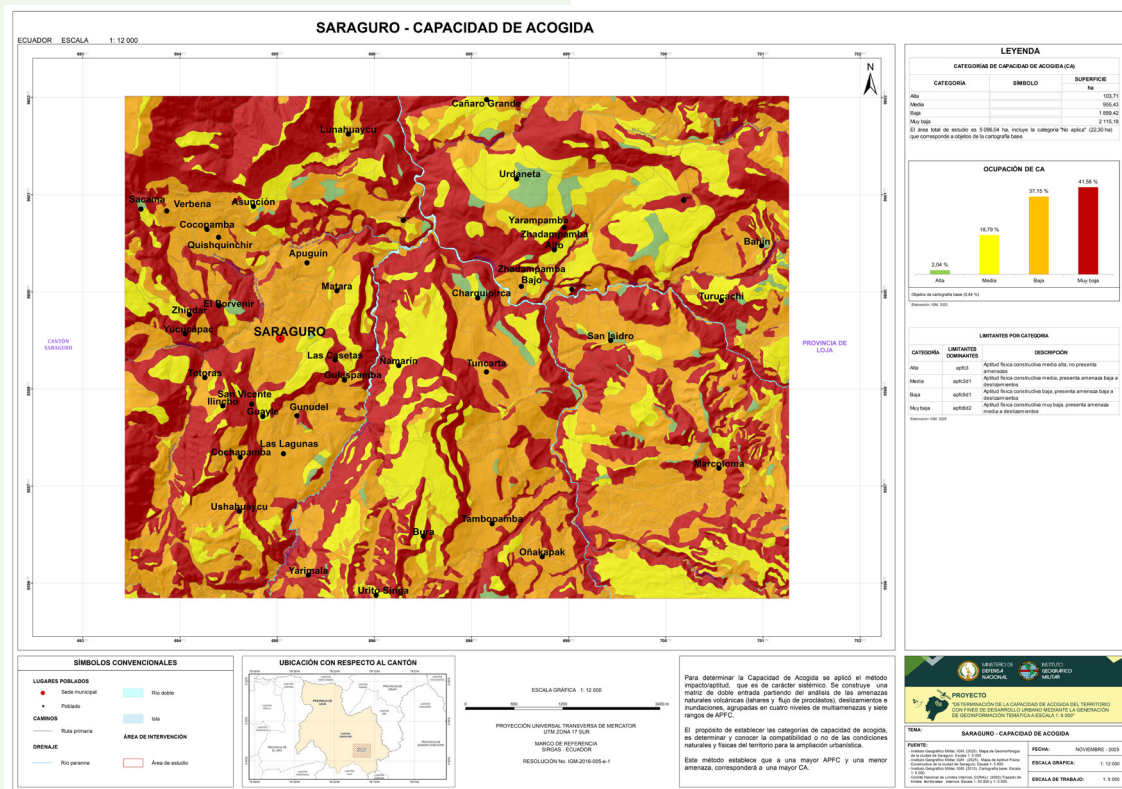


Figura 4. Clases de capacidad de acogida.

Fuente: IGM (2025).



A continuación, se describen las categorías en la zona de estudio:

a. CA alta.

La APFC es alta y media alta (ligeras a moderadas limitaciones) y no presenta amenazas naturales.

b. CA media.

La APFC presente en esta categoría es media y media alta, con ligeras a moderadas limitaciones para la construcción. La amenaza a deslizamientos que se presenta en el área de estudio es de categoría media y baja.

c. CA baja.

Poseen una APFC baja y muy baja, presentando severas y extremas limitaciones, con categoría baja y

media en amenazas naturales por deslizamientos y amenaza baja para inundaciones.

d. CA muy baja.

Se sitúan en zonas con severas y extremas limitaciones constructivas, así como zonas no aptas para la construcción donde la amenaza por deslizamiento es media y alta.

3. Conflictos de Uso (CU).

Las clases de CU en la ciudad de Saraguro enfocadas en la zona de expansión fueron cinco: a) uso adecuado; b) subutilizado; c) sobreutilizado ligero; d) sobreutilizado moderado; y, e) sobreutilizado severo.

A continuación, se presenta la estadística en porcentajes de ocupación de las diferentes categorías de APFC, CA y CU (Gráficos 2, 3 y 4).

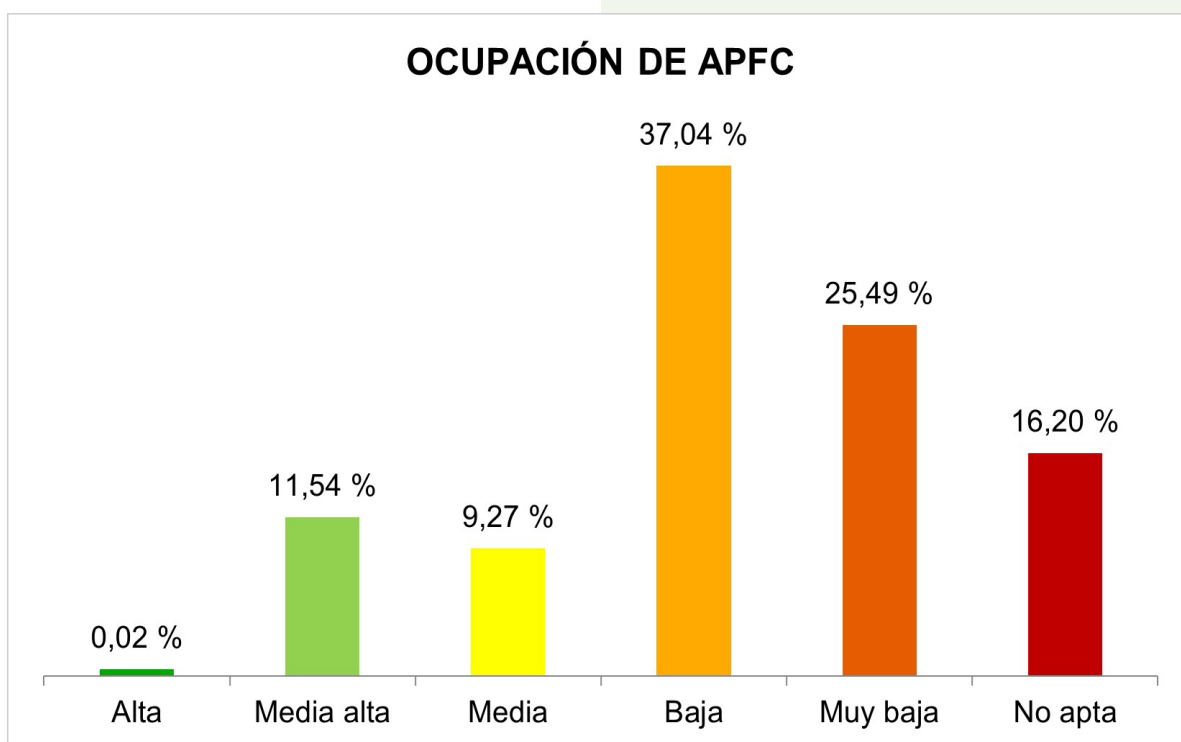


Gráfico 2. Porcentaje de ocupación de las clases de APFC.

Fuente: IGM (2025).



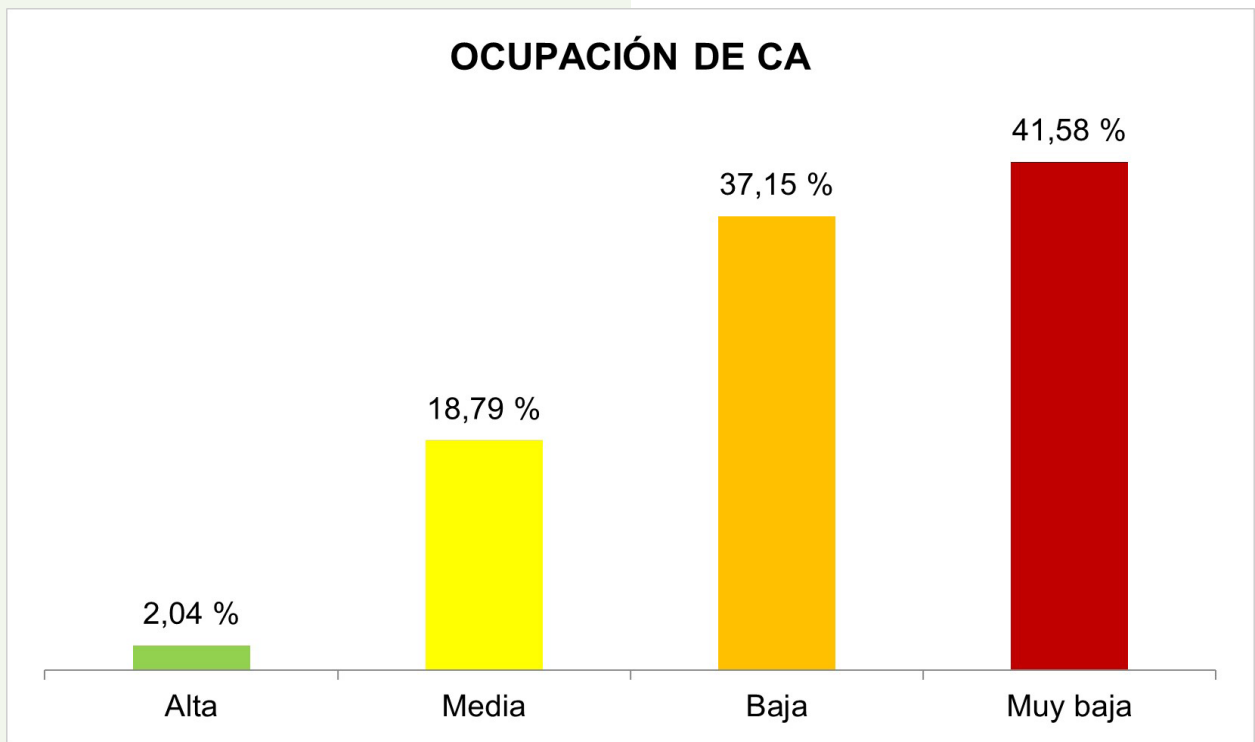


Gráfico 3. Porcentaje de ocupación de las clases de CA.

Fuente: IGM (2025).

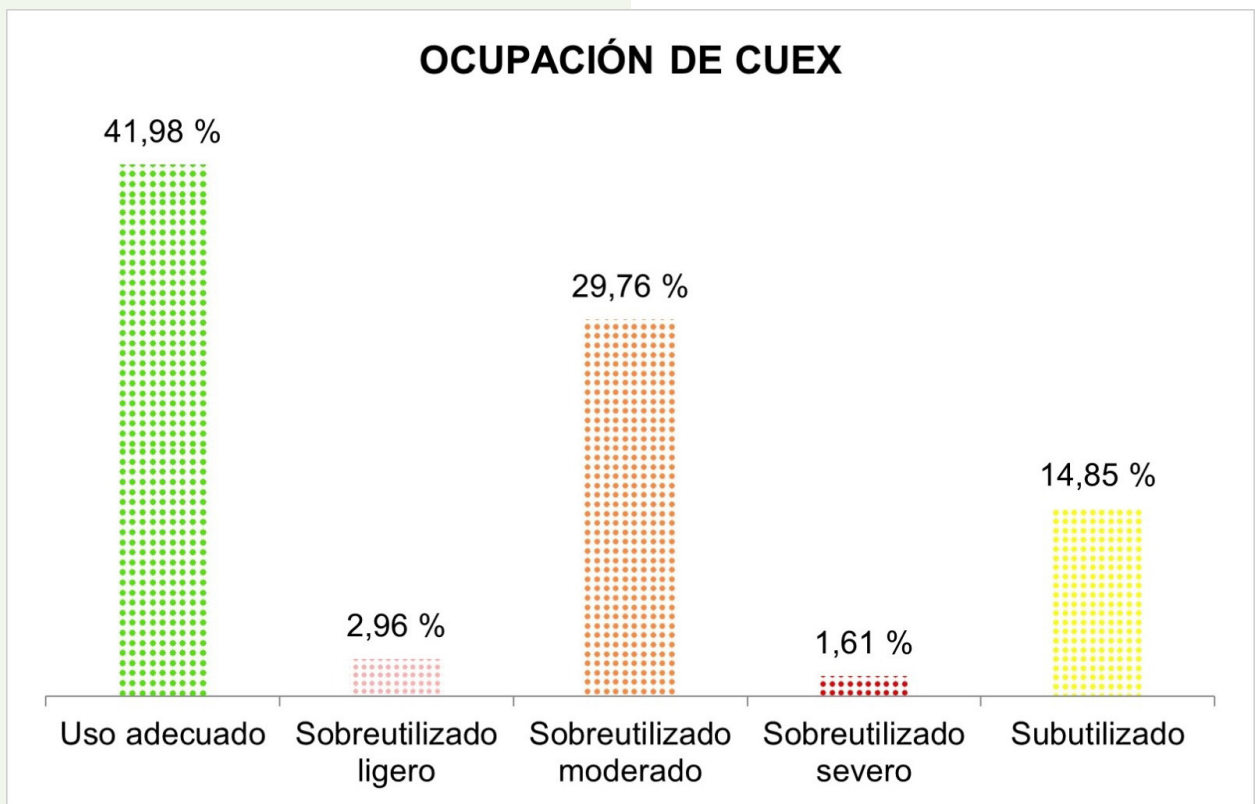


Gráfico 4. Porcentaje de ocupación de las clases de CU.

Fuente: IGM (2025).



CONCLUSIONES

El análisis fisiográfico y geológico del cantón Saraguro revela una marcada heterogeneidad del territorio, tanto en su morfología como en su composición litológica. Las geoformas de origen volcánico predominan, destacando el relieve colinado alto y el relieve colinado muy alto.

A nivel geológico, la Unidad Quebrada Tasqui y los depósitos coluviales son ampliamente representadas. El factor geológico domina con condiciones medias y malas, lo que refleja una predominancia de terrenos con limitaciones geotécnicas.

En los suelos, la predominancia de textura es arcillosa con drenaje bueno en gran parte del área de estudio. La clase dominante de CUT es la VIII, limitado por profundidades efectivas muy superficiales (> 0 a 10 cm) y pendientes muy escarpadas.

La cobertura que predomina en la zona de estudio es kikuyo (pastizal permanente) destinado principalmente a uso pecuario, seguido por la cobertura de eucalipto (plantación forestal permanente) de uso protección o producción. Las áreas naturales corresponden a bosque nativo húmedo con niveles de alteración medianamente alterado y muy alterado, debido a la intervención antrópica.

Se determinó que la categoría predominante de la APFC es baja por presentar pendientes fuertes, variables que, junto a la presencia

de amenazas a deslizamientos, dan como resultado una categoría de CA muy baja.

BIBLIOGRAFÍA

- Instituto Geográfico Militar. (2025). *Memoria técnica de la ciudad de Saraguro: Proyecto "Determinación de la capacidad de acogida del territorio con fines de desarrollo urbano mediante la generación de geoinformación temática a escala 1:5 000"*. <https://goo.su/rtVxGoq>
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2013). *Sistema de clasificación de los ecosistemas del Ecuador continental*. <http://ide.ambiente.gob.ec/mapainteractivo/>
- Winckell, A., Zebrowski, C., & Sourdat, M. (1997). *Las regiones y paisajes del Ecuador (Vol. 2)*. Centro Ecuatoriano de Investigación Geográfica. <https://bit.ly/2PpojIH>
- Zinck, J. A., Metternicht, G., Bocco, G., & Del Valle, H. F. (2016). *Geopedology*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-19159-1>
- Zonneveld, I. S. (1989). *The land unit: A fundamental concept in landscape ecology and its applications*. *Landscape Ecology*, 3(2), 67–86. <https://doi.org/10.1007/BF00131171>





Rodríguez, Vladimir.
vladimir.rodriguez@geograficomilitar.gob.ec

CONSOLIDACIÓN DEL MARCO DE REFERENCIA GNSS CINEMÁTICO DEL ECUADOR (2008-2025): INTEGRACIÓN DE REDES CONTINUAS Y PPP, CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN

NATIONAL GNSS KINEMATIC REFERENCE FRAMEWORK CONSOLIDATION IN ECUADOR (2008-2025): INTEGRATION OF CONTINUOUS NETWORKS AND PPP, CALIBRATION, AND VALIDATION

RESUMEN

Las series Global Navigation Satellite System (GNSS) de la red REGME (2008-2025) presentan discontinuidades que degradan el marco nacional. Este trabajo consolida un marco cinemático integrando series REGME y soluciones PPP (AUSPOS), homogenizadas a ITRF2020 mediante transformación de Helmert. En coordenadas ENU se estimaron tendencias seculares, estacionalidad armónica y offsets por estación, añadiendo un término exponencial post-sísmico para eventos mayores. La validación operacional demostró discrepancias milimétricas y un RMSE horizontal menor a 5,00 mm en las estaciones de mayor exigencia geodinámica. El flujo reproducible en Python propone un estándar para el mantenimiento autónomo del producto geodésico oficial.

Palabras clave: AUSPOS, ITRF2020, offsets, REGME, series GNSS.

ABSTRACT

Global Navigation Satellite System (GNSS) time series from the REGME network (2008-2025) exhibit discontinuities that degrade the national framework. This study consolidates a kinematic reference integrating REGME series and PPP solutions (AUSPOS), homogenized to the ITRF2020 via Helmert transformation. In ENU coordinates, we estimated secular trends, harmonic seasonality, and station-specific offsets, adding an exponential post-seismic term for major events. Operational validation demonstrated millimeter-level discrepancies and a horizontal RMSE less than 5.00 mm at stations with high geodynamic demands. The reproducible Python workflow establishes a standard for the autonomous maintenance of the official geodetic product.

Keywords: AUSPOS, ITRF2020, REGME, offsets, GNSS series.



INTRODUCCIÓN

Ecuador dispone de una Red Geodésica de Monitoreo Continuo (REGME) que sustenta la estimación de posiciones, velocidades y la materialización práctica del marco de referencia nacional horizontal. En un entorno tectónicamente activo, dominado por la subducción de la placa de Nazca, la consistencia temporal de las coordenadas exige controlar la estacionalidad, el ruido y las discontinuidades asociadas a cambios instrumentales o estrategias de procesamiento.

En la práctica institucional, la integración de series de distintos orígenes, como soluciones históricas tipo SIRGAS-CON y reprocesamientos de Posicionamiento Preciso de Puntos (PPP), puede introducir sesgos espaciales y temporales si el empalme no se realiza bajo un esquema matemático trazable. Estas incongruencias se amplifican cuando el ciclo sísmico y los cambios de equipamiento alteran la trayectoria observada, afectando la interoperabilidad de productos derivados y la actualización consistente de coordenadas oficiales.

A pesar de la existencia histórica de series temporales GNSS en Ecuador, no se dispone de un procedimiento operativo documentado y validado que integre datos heterogéneos, corrija discontinuidades y preserve la coherencia temporal a escala de red. En respuesta a este vacío, el objetivo de este trabajo es consolidar un producto cinemático nacional normalizado a ITRF2020 para el periodo 2008-2025 y validarlo mediante métricas cuantitativas de ajuste. Para ello, se implementa un flujo reproducible en Python que integra series semanales, transforma coordenadas, aplica una descomposición aditiva en componentes topocéntricas Este-Norte-Arriba (ENU) y estima una matriz de offsets por estación, incorporando además un término exponencial post-sísmico para representar relajaciones no lineales en eventos mayores.

Este estudio contribuye con:

- Procedimiento operacional para homogeneizar e integrar series

GNSS multi-fuente a un marco objetivo común.

- Esquema de corrección por estación basado en offsets trazables y criterios QA/QC medibles.
- Validación cuantitativa a escala de red que soporta el mantenimiento y la actualización progresiva del marco cinemático nacional para uso institucional.

DATOS Y METODOLOGÍA

1. Red y cobertura temporal.

En el estudio se analizaron 42 estaciones GNSS de monitoreo continuo distribuidas estratégicamente en los tres dominios geodinámicos del Ecuador continental (Figura 1). La serie temporal abarca desde la semana GPS 1500 hasta la 2350, consolidando el periodo 2008-2025. Las estaciones fueron seleccionadas en función de su continuidad temporal, estabilidad operacional y representatividad geodinámica a escala nacional. Las épocas se manejaron en semanas GPS para garantizar la consistencia en la integración de series semanales y en la detección de discontinuidades.

2. Normalización de marcos y homogeneización a ITRF2020.

Con la finalidad de integrar soluciones heterogéneas derivadas de distintos marcos de origen (IGS05, IGS08, IGS14), las coordenadas semanales se normalizaron a la realización ITRF2020. La homogeneización se ejecutó aplicando la transformación de Helmert de siete parámetros (tres traslaciones, tres rotaciones y un factor de escala) dependiente de la época de observación.

Los parámetros oficiales y sus respectivas tasas de variación fueron extraídos de las matrices de transformación universales publicadas por el Institut National de l'Information Géographique et Forestière (IGN) (Altamimi et al., 2023), garantizando que el empalme temporal sea rigurosamente trazable sin necesidad de estimar parámetros locales artificiales.



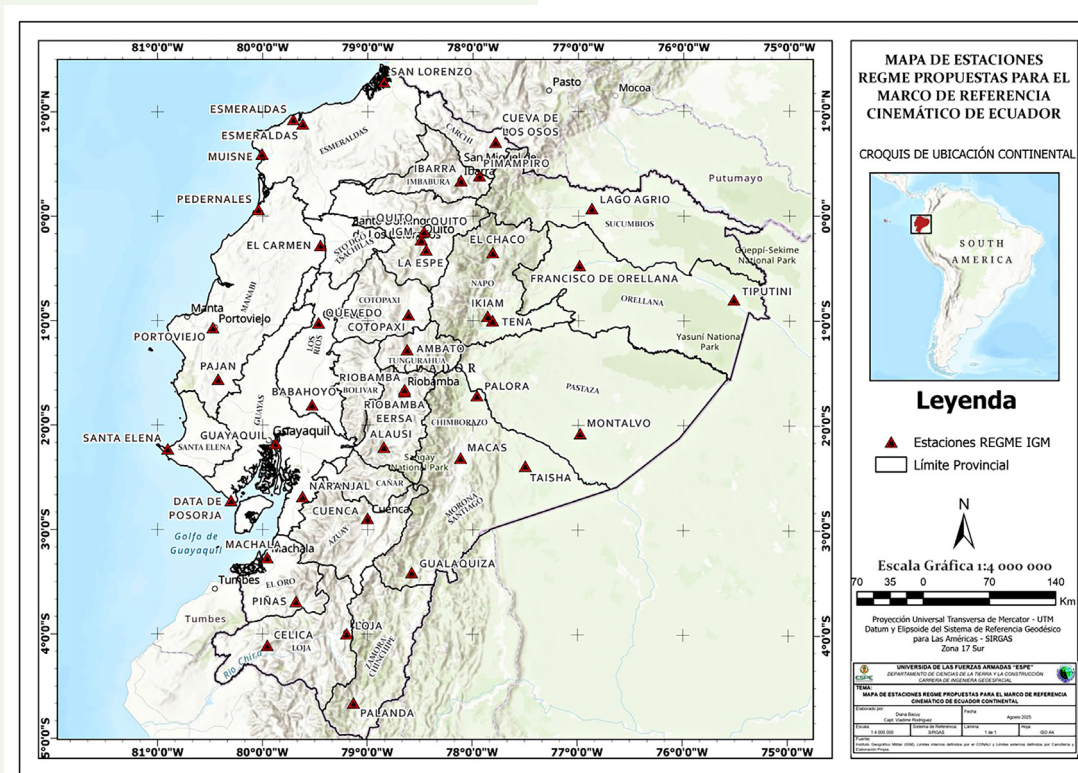


Figura 1. Distribución espacial de las 42 estaciones GNSS de la red REGME analizadas y su cobertura temporal agregada.

Fuente: Elaboración propia.

3. Automatización de procesamiento adicional con AUSPOS.

Con el fin de completar ventanas de observación o densificar series temporales, se empleó AUSPOS (Geoscience Australia, 2020) como servicio de procesamiento de PPP. El pipeline desarrollado automatiza la carga masiva de archivos RINEX y la descarga de resultados.

Con el propósito de garantizar la integridad de las series continuas en la automatización, se implementó un estricto filtro de calidad: aquellas soluciones AUSPOS que presentaron un error de raíz cuadrada media (RMSE) superior a 10,00 mm o archivos RINEX con menos de 24 horas de observación útil fueron excluidas del ajuste cinemático final, reduciendo la introducción de ruido en la red, empleando órbitas y relojes precisos del Integrated Global Service (IGS).

En la campaña de procesamientos masivos con AUSPOS se procesaron 4 638 archivos RINEX y se obtuvieron 4 575 soluciones válidas, lo que corresponde a una tasa de rechazo aproximada de 1,36 %.

Los vacíos temporales se gestionaron creando semanas faltantes y aplicando imputación mediante interpolación lineal bidireccional, para preservar la continuidad semanal requerida en la descomposición estacional. (Figura 2.)

4. Series temporales en East-North-Up (ENU) y descomposición aditiva.

El análisis se realizó en componentes topocéntricas ENU. Para aislar la señal tectónica y separar componentes sistemáticas, se aplicó la descomposición aditiva (Bevis & Brown, 2014):

$$y(t) = y_0 + v(t - t_0) + \sum_{k=1}^n [a_k \sin(\omega_k t) + b_k \cos(\omega_k t)] + \sum_{j=1}^m O_j H(t - t_j) + \varepsilon(t)$$



Arquitectura Metodológica para el Marco Cinemático del Ecuador

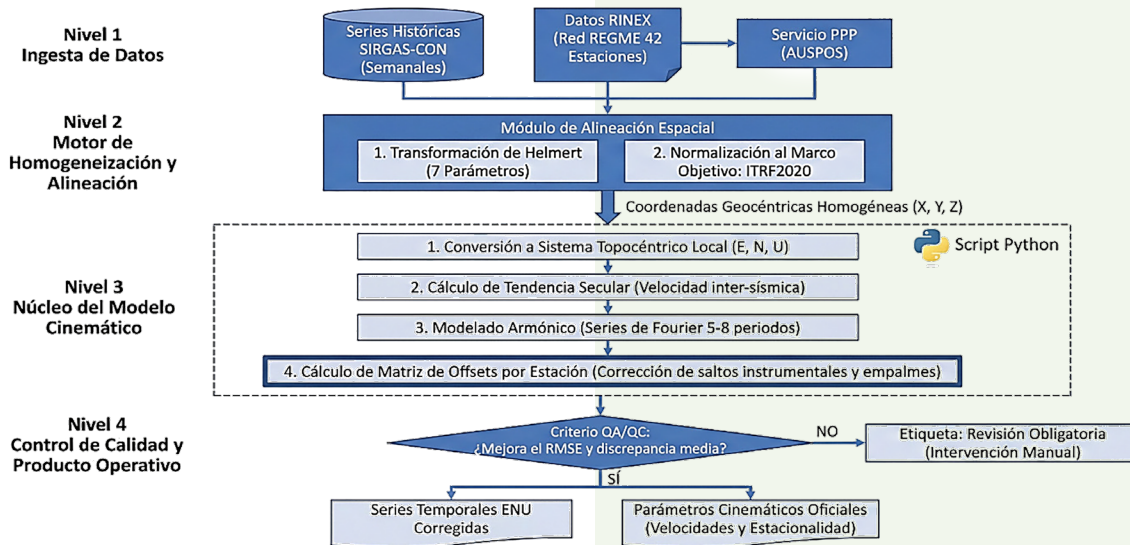


Figura 2. Arquitectura del flujo de procesamiento implementado en Python para la calibración de offsets y alineación de marcos heterogéneos.

Fuente: Elaboración propia.

Donde $y(t)$ es la coordenada observada en una componente ENU; y_0 es la posición en la época de referencia t_0 ; v es la velocidad secular intersísmica; t es la época de observación. La primera sumatoria representa la estacionalidad, modelada con n armónicos (anual y semestral) mediante series de Fourier. Los coeficientes empíricos de amplitud a_k y b_k , así como las frecuencias angulares ω_k , se estiman de manera individual dentro del ajuste. Finalmente, la sumatoria de offsets corrige discontinuidades en épocas t_j , donde O_j es la magnitud del salto y $H(\cdot)$ es la función escalón de Heaviside; $\varepsilon(t)$ representa el error residual. Los parámetros se estimaron mediante mínimos cuadrados ponderados (WLS).

5. Tratamiento de deformaciones post-sísmicas.

Debido a la alta sismicidad de la región, el modelo incorporó un término de relajación viscoelástica para eventos de gran magnitud ($M_w \geq 7,0$), como el terremoto de Pedernales (2016). Basado en los principios de relajación litosférica documentados en la literatura geodésica (Freed et al., 2006), la deformación post-sísmica se modeló mediante una función de decaimiento exponencial:

$$Y_{\text{post}}(t) = A \left(1 - e^{-\frac{t-t_{\text{eq}}}{\tau}} \right) H(t - t_{\text{eq}})$$

Donde t_{eq} es la época del evento sísmico. La estimación de la amplitud A de la relajación y el tiempo característico de relajación τ se resolvió de forma empírica e individualizada para cada estación afectada dentro del ajuste WLS. Este enfoque dinámico permite asimilar la curvatura de recuperación específica de estaciones como ABEC sin forzar tiempos de relajación regionales predefinidos.

6. Calibración de offsets (matriz por estación) y criterio operacional.

El criterio operacional establece que un offset se acepta cuando se cumplen simultáneamente dos condiciones:

- La discrepancia media post-corrección (μ) se mantiene dentro de la variabilidad residual histórica de la estación (umbrales operativos típicos de $\mu \leq 1,20$ mm y $\sigma \leq 0,60$ mm).
- El RMSE de la componente horizontal post-corrección es estrictamente menor que el RMSE pre-corrección.

En caso contrario, el evento se etiqueta como "Revisión obligatoria" y se aísla para análisis manual dentro del flujo QA/QC.



RESULTADOS

1. Efecto de la calibración de offsets y del modelado post-sísmico.

La calibración mediante offsets corrigió discrepancias sistemáticas asociadas a la integración de coordenadas provenientes de soluciones históricas y procesamientos PPP (AUSPOS), preservando la consistencia interna a escala de estación. Operacionalmente, los offsets se estimaron sobre ventanas temporales estables y se verificó su coherencia mediante la dispersión por componente; esto respalda su uso como, una corrección trazable sin imponer un único patrón nacional, debido a la variabilidad regional y los cambios instrumentales.

Adicionalmente, la respuesta de estaciones ante eventos mayores exhibe discontinuidades y relajación no lineal que no es adecuadamente representada por aproximaciones estrictamente lineales.

En la Figura 3, se sintetiza este comportamiento para el terremoto de Pedernales (2016): en ECEC se observa el salto cosísmico (semana GPS 1893) y, en ABEC, el modelo exponencial reproduce la curvatura post-sísmica en la componente Este. El funcionamiento resulta relevante para la predicción cinemática operacional, al reducir sesgos acumulativos en periodos de recuperación post-evento.

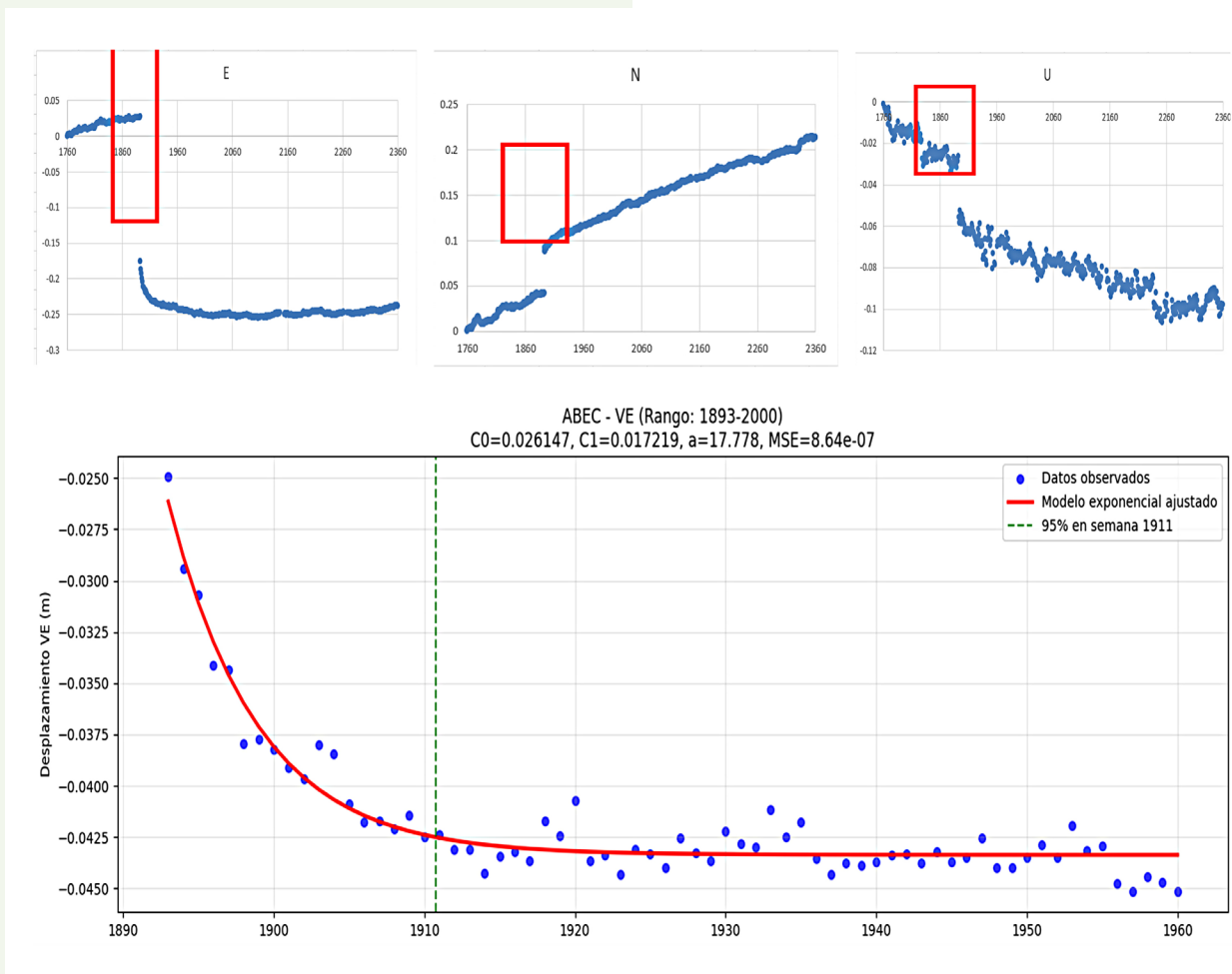


Figura 3. Evidencia cosísmica y modelado post-sísmico en series GNSS de la red REGME asociadas al terremoto de Pedernales (2016) en el intervalo post-evento analizado. (a) Serie temporal topocéntrica en la estación ECEC, donde se observa un salto cosísmico en la semana GPS 1893 (Pedernales, 16 de abril de 2016). (b) Ajuste exponencial en la componente Este de la estación ABEC, mostrando la curva ajustada sobre los datos observados en el intervalo post-evento analizado.

Fuente: Elaboración propia.



2. Métricas RMSE y validación estadística.

Los resultados presentados en la Tabla 1 corresponden a un subconjunto representativo de cinco estaciones con alta exigencia geodinámica, empleado para verificar de forma trazable el efecto de la calibración. A partir de los RMSE de las componentes Este y Norte, se definió el RMSE horizontal como $RMSE_H = \sqrt{((RMSE_E^2 + RMSE_N^2) / 2)}$. En este subconjunto, el RMSE_H promedio fue de 3,38 mm, con un percentil 95 de 4,58 mm (máximo 4,75 mm), evidenciando la mejora post-corrección.

La REGME registra 48 estaciones activas; sin embargo, la evaluación cuantitativa presentada en este manuscrito se restringe al subconjunto con continuidad temporal suficiente y alta exigencia geodinámica, seleccionado para una verificación trazable del efecto de la corrección.

3. Producto operacional.

El procesamiento arrojó un producto operacional que incluye: series ENU corregidas, parámetros de velocidad secular estandarizados, términos estacionales y un registro de offsets por semana GPS. Este paquete es asimilable para el mantenimiento

del marco nacional y actualización oficial de coordenadas.

DISCUSIÓN

1. Valor metodológico y transferibilidad.

El aporte de esta investigación radica en su aplicabilidad operacional, consolidando una estrategia replicable para agencias estatales que integran series de múltiples orígenes sin depender de infraestructura masiva de cómputo externo (Blewitt et al., 2018). Las velocidades seculares estimadas reproducen el patrón regional de deformación reportado para el bloque norandino en estudios GNSS previos (Nocquet et al., 2014), en términos de orientación y gradiente espacial.

El presente establece a la comparación como un control de coherencia regional, la validación cuantitativa se centra en la consistencia interna y en la reducción del RMSE tras la calibración de offsets.

2. Limitaciones y control de calidad (QA/QC) para el IGM.

Entre las limitaciones del estudio se encuentra la distribución irregular de

Estación REGME	RMSE Este (mm)	RMSE Norte (mm)	RMSE Vertical (mm)	Años efectivos de datos
IKEC (Ibarra)	2,85	2,71	7,92	16,2
INEC (Ibarra)	2,44	2,38	6,85	14,5
PSEC (Quito)	3,92	3,85	9,41	17
RIOP (Riobamba)	3,15	3,02	8,22	12,8
ESEC (Esmeraldas)	4,88	4,62	11,45	10,4

*Nota: Valores calculados como la relación de semanas válidas procesadas sobre las 52 semanas del año, garantizando la representatividad temporal.

Tabla 1. RMSE absoluto por componente topocéntrica tras la calibración de offsets y modelado armónico.

Fuente: Elaboración propia.



estaciones (con vacíos en la Amazonía sur) y la incertidumbre en offsets históricos no documentados. Además, el filtrado de Fourier debe responder a la realidad validada de cada dominio geodinámico, evitando generalizaciones.

Con la finalidad de abordar estas limitantes en trabajos futuros, se recomienda la densificación de la red instrumental en zonas desprovistas de cobertura y el fortalecimiento del flujo QA/QC mediante trazabilidad completa de metadatos (cambios de antena/receptor, mantenimientos, incidencias) para reducir offsets no documentados y mejorar la interpretabilidad de la señal. Una medida inmediata para mitigar estas variables es la adopción institucional del siguiente protocolo de Aseguramiento y Control de Calidad (QA/QC) para el IGM en su proceso de Geodesia:

1. Verificación de continuidad semanal y vacíos (gaps).
2. Detección preliminar de saltos empíricos.
3. Ajuste estacional y de tendencia.
4. Aplicación de la matriz de offsets.
5. Cálculo de residuales y RMSE.
6. Etiquetado operativo (Aceptado, Aceptado con observación, Revisión obligatoria).

CONCLUSIONES

- La integración de series de la red REGME con soluciones AUSPOS exige una homogeneización estricta al ITRF2020 mediante transformaciones de Helmert para consolidar un producto coherente a escala de red.
- La descomposición aditiva en el sistema ENU permite separar la tendencia tectónica, estacionalidad y discontinuidades, mientras que la calibración de offsets por estación corrige empalmes sin imponer errores regionales.

- La integración del modelo exponencial post-sísmico demostró ser imprescindible para mantener la validez cinemática de las coordenadas en zonas costeras tras sismos de subducción.
- La validación operacional, aplicada al subconjunto representativo de cinco estaciones con mayor exigencia geodinámica, demostró consistencia interna y mejoras sistemáticas tras la calibración. A partir de los RMSE de las componentes Este y Norte (Tabla 1), el RMSE horizontal ($RMSE_H = \sqrt{(RMSE_E^2 + RMSE_N^2)/2}$) presentó un promedio de 3,38 mm y un percentil 95 de 4,58 mm (máximo 4,75 mm), manteniéndose por debajo de 5,00 mm en todas las estaciones del subconjunto. Esto respalda la robustez del flujo automatizado en Python para la consolidación y mantenimiento operativo del marco cinemático.

BIBLIOGRAFÍA

- Altamimi, Z., Rebischung, P., Collilieux, X., Métivier, L., & Chanard, K. (2023). ITRF2020: An augmented reference frame refining the history of Earth orientation parameters and station motions. *Journal of Geodesy*, 97(8), 75. <https://doi.org/10.1007/s00190-023-01763-w>
- Bevis, M., & Brown, A. (2014). Trajectory models for rapid updating of GNSS reference frames. *Journal of Geodesy*, 88(3), 211–231. <https://doi.org/10.1007/s00190-013-0671-2>
- Blewitt, G., Hammond, W. C., & Kreemer, C. (2018). Harnessing the GPS data explosion for interdisciplinary science. *Eos*, 99. <https://doi.org/10.1029/2018EO104623>
- Freed, A. M., Bürgmann, R., Calais, E., Freymueller, J., & Hreinsdóttir, S. (2006). Implications of deformation following the 2002 Denali, Alaska, earthquake for postseismic relaxation processes and lithospheric rheology.



Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 111(B1). <https://doi.org/10.1029/2005JB003894>

- Gazeaux, J., Williams, S., King, M., Bos, M., Dach, R., Moore, M., ... & Wöppelmann, G. (2013). Detecting offsets in GPS time series: First results from the DOGEx experiment. *Journal of Geodesy*, 87(8), 715–736. <https://doi.org/10.1007/s00190-013-0645-4>
- Geoscience Australia. (2020). AUSPOS: Online GPS processing service. Government of Australia. <http://www.ga.gov.au/scientific-topics/positioning-navigation/geodesy/auspos>
- Klein, E., Fleitout, L., Vigny, C., & Garaud, J. D. (2019). Afterslip and viscoelastic relaxation model of postseismic deformation following the 2010 Mw 8.8 Maule earthquake (Chile). *Geophysical Journal International*, 205(3), 1455-1472. <https://doi.org/10.1093/gji/ggw086>
- Nocquet, J. M., Villegas-Lanza, J. C., Chlieh, M., Mothes, P. A., Shuler, A., Jarrín, P., ... & Segovia, M. (2014). Motion of continental slivers and creeping subduction in the northern Andes. *Nature Geoscience*, 7(4), 287–291. <https://doi.org/10.1038/ngeo2099>
- Sánchez, L., & Drewes, H. (2016). SIRGAS reference frame: realizations and maintenance. *IAG Symposia*, 143, 71–78. https://doi.org/10.1007/1345_2015_190
- Williams, S. D. P. (2003). The effect of coloured noise on the uncertainties of rates estimated from block ties or GPS measurements. *Journal of Geodesy*, 76(9), 483-494. <https://doi.org/10.1007/s00190-002-0287-1>
- Wolf, H. (1963). Geometric connection and orientation of different terrestrial networks. *Bulletin Géodésique*, 68(1), 165–169. <https://doi.org/10.1007/BF02526136>



GeoAI

Jaramillo, Lenin.
lenin.jaramillo@geograficomilitar.gob.ec

DE LA RESTITUCIÓN MANUAL A LA GEOAI: REVISIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA DETECCIÓN DE CAMBIOS EN LA GEOGRAFÍA ECUATORIANA

*FROM MANUAL RESTITUTION TO GEOAI: REVIEW OF NEW TECHNOLOGIES FOR
DETECTING CHANGES IN ECUADORIAN GEOGRAPHY*

RESUMEN

La actualización de la cartografía oficial es un desafío crítico para la planificación territorial en Ecuador, tradicionalmente limitada por condiciones climáticas adversas como la nubosidad persistente en la región andina.

El presente realiza una revisión del estado del arte sobre la integración de la Inteligencia Artificial (IA) en los flujos de trabajo fotogramétricos, enfocándose en la innovación cartográfica dentro del Instituto Geográfico Militar (IGM). Se analiza el rendimiento de arquitecturas de Deep Learning como U-Net, CNN y el modelo disruptivo Segment Anything Model (SAM) para la extracción automática de edificaciones, redes viales e hidrografía.

También, se discute la transición tecnológica hacia el uso de drones de ala fija (WingtraOne) y la viabilidad de la computación en la nube para superar limitaciones de infraestructura física. Se concluye que, si bien la IA no reemplaza la precisión del restituidor humano, su implementación en la detección de cambios multitemporales permite una actualización

ABSTRACT

The updating of official cartography is a critical challenge for territorial planning in Ecuador, traditionally hindered by adverse climatic conditions such as persistent cloud cover in the Andean region.

This paper presents a state-of-the-art review regarding the integration of Artificial Intelligence (AI) into photogrammetric workflows, focusing on cartographic innovation within the Military Geographical Institute (IGM). The performance of Deep Learning architectures such as U-Net, CNN, and the disruptive Segment Anything Model (SAM) for the automated extraction of buildings, road networks, and hydrography is analyzed.

Furthermore, the technological transition towards the use of fixed-wing drones (WingtraOne) and the feasibility of cloud computing to overcome physical infrastructure limitations are discussed. It is concluded that while AI does not replace the precision of the human photogrammetrist, its implementation in multi-temporal change detection enables efficient and selective updates, ensuring the validity of the national cartographic database.

selectiva y eficiente, garantizando la vigencia de la base cartográfica nacional.

Palabras clave: Deep Learning, fotogrametría, innovación cartográfica, inteligencia artificial.

Keywords: Deep Learning, photogrammetry, cartographic innovation, artificial intelligence.

INTRODUCCIÓN

La cartografía oficial constituye un insumo estratégico para la planificación territorial, la gestión de riesgos, el desarrollo de infraestructura y la toma de decisiones públicas. En el contexto actual de transformación digital, las instituciones cartográficas enfrentan el desafío de producir información geoespacial actualizada, precisa y oportuna frente a procesos dinámicos como la expansión urbana, el cambio en el uso del suelo y el desarrollo de nuevas infraestructuras.

Tradicionalmente, la actualización cartográfica se ha basado en procesos como la restitución fotogramétrica manual y la foteointerpretación detallada de imágenes aéreas. Aunque estos métodos han demostrado altos niveles de precisión, también implican tiempos prolongados de producción, elevados costos operativos y fuerte dependencia de personal altamente especializado.

En Ecuador, el Instituto Geográfico Militar (IGM) cumple un papel central en la generación y mantenimiento de la cartografía oficial a diferentes escalas. Sin embargo, factores geográficos y climáticos como la nubosidad persistente en regiones andinas y amazónicas han condicionado históricamente los procesos de captura y actualización de información geoespacial. Estas condiciones dificultan la obtención de imágenes ópticas de alta calidad y pueden extender significativamente los ciclos de producción cartográfica.

Frente a estas limitaciones, la incorporación de nuevas tecnologías como sensores remotos, vehículos aéreos no tripulados (UAV) y plataformas de procesamiento en la nube han comenzado a transformar los flujos de trabajo cartográfico en diversas instituciones a nivel internacional.

Durante los últimos años, la integración de Inteligencia Artificial (IA) con el análisis geoespacial ha impulsado el desarrollo de metodologías orientadas a la generación automática de información territorial, particularmente en el procesamiento de imágenes satelitales y datos espaciales (Alshiha, 2024; Mortaheb & Jankowski, 2023).

En este contexto, el Deep Learning (DL) se ha consolidado como una de las innovaciones más relevantes en el campo de la geoinformación. La Geospatial Artificial Intelligence (GeoAI) combina técnicas de ciencia de datos, aprendizaje automático y análisis geoespacial para automatizar procesos de clasificación, segmentación y detección de cambios en imágenes satelitales, fotogrametría aérea y bases de datos geográficas. Organizaciones científicas internacionales como la International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) y el Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) han impulsado el desarrollo de estas tecnologías, evidenciando mejoras significativas en la extracción automática de edificaciones, redes viales, hidrografía y cobertura del suelo.

Diversos estudios han demostrado que arquitecturas de redes neuronales convolucionales (CNN) y modelos de segmentación semántica como U Net, DeepLabV3+ y Segment Anything Model (SAM) pueden alcanzar niveles de precisión comparables a los métodos tradicionales de foteointerpretación en determinados escenarios.

No obstante, la literatura científica evidencia una brecha importante en la documentación de experiencias aplicadas en países en desarrollo y, particularmente, en contextos geográficos complejos como los sistemas andinos y tropicales. En América Latina, la



adopción de estas tecnologías aún presenta diferencias significativas entre instituciones, condicionadas por factores como infraestructura tecnológica, disponibilidad de datos geoespaciales y formación de talento humano especializado.

En el caso ecuatoriano, la evidencia científica sobre la implementación de IA en flujos de trabajo cartográfico institucionales sigue siendo limitada. Esta situación dificulta la evaluación objetiva de su viabilidad técnica y operativa dentro de organismos públicos responsables de la producción cartográfica.

En este sentido, resulta pertinente analizar de manera sistemática los avances recientes en el uso de IA aplicados a la generación y actualización de cartografía, con el propósito de identificar tendencias tecnológicas, oportunidades de implementación y posibles desafíos para instituciones geoespaciales.

Por lo tanto, el objetivo del presente es realizar una revisión del estado del arte sobre la integración de IA en los procesos de producción cartográfica, con énfasis en la extracción automática de elementos topográficos y la detección de cambios multitemporales. Asimismo, se busca evaluar la viabilidad de estas tecnologías dentro del contexto ecuatoriano y su potencial aplicación en los procesos de innovación cartográfica del IGM.

METODOLOGÍA DE LA REVISIÓN

El estudio corresponde a una revisión del estado del arte de tipo descriptivo y analítico orientado a identificar los avances recientes en el uso de la IA para la generación y actualización de cartografía, con énfasis en potenciales aplicaciones para el contexto ecuatoriano. La revisión se desarrolló siguiendo un enfoque sistemático basado en lineamientos adaptados de investigaciones estructuradas en Ingeniería Geográfica.

1. Estrategia de búsqueda.

La búsqueda bibliográfica se realizó entre los meses de enero y febrero de 2026, considerando publicaciones científicas del periodo 2021-2025 con el objetivo de garantizar la actualidad tecnológica del análisis. Se utilizaron bases

de datos académicas como Google Scholar y ResearchGate.

Se emplearon descriptores en inglés y español relacionados con la temática, combinados mediante operadores booleanos (AND - OR) entre los que destacan:

- “Deep learning for topographic mapping”
- “Geospatial Artificial Intelligence”
- “Automated building extraction”
- “Change detection in cartography”
- “Semantic segmentation remote sensing”
- “IA en fotogrametría”
- “Cartografía automática”

2. Proceso de selección.

En la fase inicial se identificaron 63 potenciales publicaciones. Posteriormente, se realizó una depuración basada en la revisión de títulos, resúmenes y palabras clave, reduciendo su número a 32 publicaciones. Finalmente, tras un análisis detallado se seleccionaron 18 publicaciones que cumplen con los criterios metodológicos y aportan evidencia relevante para la automatización cartográfica mediante IA.

3. Limitaciones del estudio.

Entre las principales limitaciones se reconoce la escasa disponibilidad de investigaciones aplicadas directamente al territorio ecuatoriano, lo que evidencia la necesidad de fortalecer la producción científica regional en el campo de la GeoAI y la cartografía automatizada.

DESARROLLO

La integración de flujos de trabajo automatizados no solo busca la rapidez, sino también la creación de datos 3D vinculados espacialmente que reduzcan la brecha entre la fotogrametría pura y los



Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Fortin et al., 2025). Esto es especialmente relevante al abordar geometrías complejas en entornos urbanos y de patrimonio, donde la segmentación semántica basada en IA permite una clasificación más detallada de los objetos geográficos (Battina, 2025).

La Figura 1 esquematiza un flujo de trabajo integrado diseñado para optimizar la cadena de producción cartográfica del IGM. El proceso inicia con la captura de datos de alta resolución, por ejemplo, mediante vehículos aéreos no tripulados (UAV), superando las limitaciones climáticas de la región andina. Posteriormente, el flujo de datos se

traslada hacia un entorno de computación en la nube donde se despliegan modelos avanzados de DL (como U-Net, CNN y SAM) para la segmentación automática de objetos geográficos. Este entorno permite la detección de cambios multitemporales mediante la comparación automatizada entre la base cartográfica histórica y el vuelo de actualización reciente. Finalmente, el resultado es la generación de cartografía dinámica y gemelos digitales, que no desplazan al restituidor humano, sino que actúan como una capa de preprocesamiento inteligente que aumenta la eficiencia operativa y garantiza la vigencia de la información territorial.

FLUJO DE TRABAJO CARTOGRÁFICO ASISTIDO POR IA

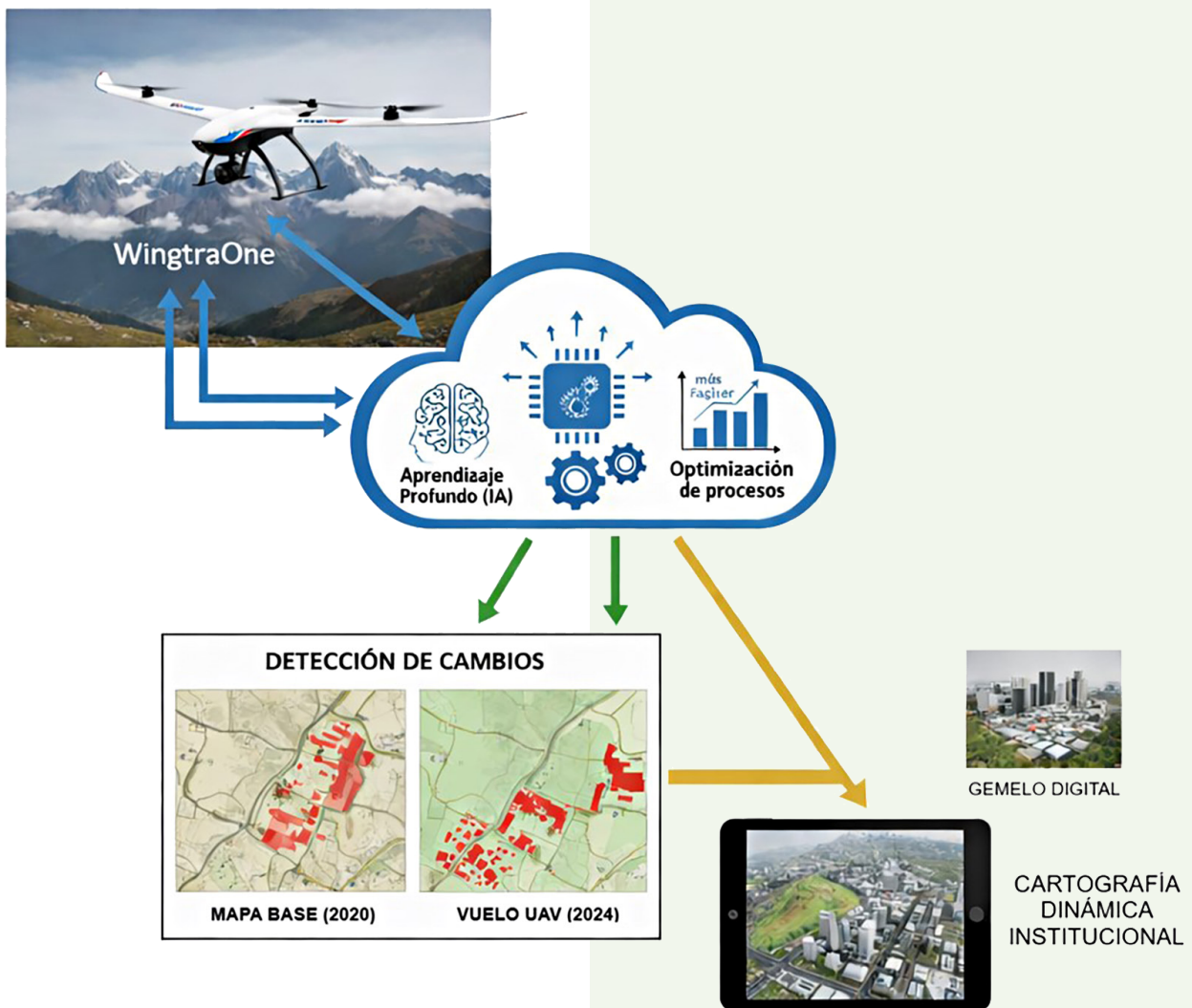


Figura 1. Esquema del ecosistema de GeoAI propuesto para procesamiento en la nube mediante modelos de Deep Learning.

Fuente: Elaboración propia.



1. Automatización de la extracción de elementos antrópicos: edificaciones y redes viales.

La identificación y actualización de estructuras urbanas y redes viales son los componentes más críticos y demandantes en la actualización de la cartografía base, pues son los que demandan mayor cantidad de tiempo y recursos técnicos dentro de la cadena de producción cartográfica. En la actualidad, este paradigma está experimentando una transformación profunda gracias a la implementación de CNN. Estas arquitecturas permiten procesar volúmenes masivos de datos con precisiones que en entornos controlados superan el 90% en la delimitación de coberturas antrópicas, facilitando una respuesta más ágil ante la dinámica de crecimiento urbano del país (Sariturk et al., 2023).

Dentro de este ecosistema de DL, la arquitectura U-Net se ha vuelto la herramienta estándar para la segmentación semántica de imágenes de muy alta resolución. Estudios recientes demuestran que la segmentación de imágenes capturadas por UAV en áreas urbanas alcanza niveles de precisión óptimos mediante el uso de arquitecturas U-Net adaptadas (Majidzadeh et al., 2023). El procesamiento de imágenes de muy alta resolución (VHR) mediante estas técnicas de DL ha permitido que la extracción de la huella de los edificios sea más robusta frente a las variaciones de iluminación y sombras (Rastogi et al., 2022). Una de las características más relevantes de la arquitectura U-Net es su ruta de expansión simétrica, la cual recupera detalles espaciales que otros modelos suelen perder. Razón por la cual, los bordes de las edificaciones quedan mucho más limpios y fieles a lo que realmente existe en el terreno (Alsabhan et al., 2022). Esta capacidad es crítica para el IGM, ya que la precisión posicional es un requisito no negociable para la validez de la cartografía oficial.

Respecto a la red vial, la complejidad aumenta debido a las variaciones de reflectancia y las oclusiones generadas por la vegetación o el relieve andino. Para solventar esto, el estado del arte sugiere el uso de modelos como DeepLabV3+ y PSPNet, los cuales emplean convoluciones atroces para capturar

estructuras lineales continuas. Esta tecnología permite identificar caminos y senderos en zonas rurales que anteriormente requerían una interpretación humana exhaustiva y repetitiva, optimizando así la labor del personal técnico (Rajamani et al., 2023).

Finalmente, el uso de redes preentrenadas bajo el esquema de transfer learning, como ResNet50, permite que el IGM no tenga que empezar de cero en cada proyecto. Al utilizar estos “extractores de características” ya entrenados en millones de imágenes, se reduce drásticamente la necesidad de generar inmensos volúmenes de datos de entrenamiento locales, una ventaja operativa fundamental considerando la diversidad geográfica y climática del Ecuador (Sariturk et al., 2023). Esta integración tecnológica, apalancada por la computación en la nube, es la que finalmente permitirá a una entidad transitar de una digitalización puramente manual a un modelo de supervisión de resultados automatizados, garantizando una base cartográfica nacional vigente en forma continua (Alshiha, 2024).

Debido a esto, aunque la literatura internacional demuestre un alto potencial técnico, la transferibilidad directa de estos modelos al contexto ecuatoriano requiere validaciones locales y adaptación de datasets específicos; buscando un equilibrio adecuado entre la complejidad del modelo y el costo computacional requerido, el cual es un factor clave para instituciones que procesan grandes volúmenes de datos como el IGM.

2. Detección de cambios y segmentación multiespectral.

La actualización cartográfica eficiente requiere mecanismos precisos para la detección de cambios. La revisión bibliográfica destaca una convergencia entre la fotogrametría aérea tradicional y las nuevas plataformas de bajo costo (UAV). Los sensores aerotransportados y las series temporales de satélites como Landsat y Sentinel permiten un monitoreo multitemporal a escala regional. En cambio los UAV proporcionan la resolución necesaria para validar cambios en infraestructura detallada.



En este ámbito, los algoritmos de segmentación han evolucionado hacia arquitecturas de alto rendimiento. El uso de ResNet50 preentrenado en ImageNet como red troncal (backbone) se identifica como una práctica común para potenciar modelos como DeepLabV3+, PSPNet y Pyramid Attention Network (PAN). Estos modelos permiten extraer con alta precisión redes viales y cuerpos de agua, superando las limitaciones de la clasificación espectral tradicional (Sariturk et al., 2023).

Si bien las arquitecturas basadas en ResNet50 y DeepLabV3+ muestran resultados robustos en la segmentación multiespectral, la mayoría de estudios analizados se desarrollan en entornos controlados o utilizando imágenes con baja interferencia atmosférica. En el caso ecuatoriano, la nubosidad persistente, la topografía abrupta y la variabilidad ecosistémica pueden introducir ruido radiométrico y geométrico que afecta la generalización del modelo. Esto sugiere la necesidad de integrar técnicas de corrección atmosférica avanzada o combinar datos ópticos con sensores radar de apertura sintética (SAR) para mejorar la detección de cambios en regiones montañosas y amazónicas. Así, el uso de imágenes multifuente permite la extracción automática de superficies hídricas incluso en ríos de montaña con cauces variables (Xue et al., 2022). Además, la aplicación de IA explicable en el mapeo de susceptibilidad no solo ayuda a identificar el agua, sino a predecir dinámicas de inundación que resulta vital para la gestión de riesgos en el territorio nacional (Wang et al., 2025).

Sin embargo, el avance más significativo documentado es la integración del SAM. Este modelo fundacional de visión por computadora permite realizar segmentaciones interactivas o automáticas de cualquier elemento cartográfico sin necesidad de reentrenar la red para cada escenario geográfico (Moghimi et al., 2024). La combinación del SAM con modelos especializados de DL como U-Net y LinkNet abre la posibilidad de flujos de trabajo de actualización cartográfica “híbridos”, donde la IA identifica las áreas de cambio y el operador cartográfico valida o refina los resultados en tiempos significativamente menores a los métodos convencionales.

El SAM representa un avance significativo al permitir segmentaciones “zero-shot” sin necesidad de reentrenamiento específico. Su rendimiento depende en gran medida de la calidad de las imágenes de entrada y puede presentar sobresegmentación en escenas complejas. Además, la utilización de modelos fundacionales plantea interrogantes relacionados con la soberanía tecnológica y la dependencia de plataformas desarrolladas en contextos externos. En las instituciones públicas, este aspecto debe considerarse dentro de una estrategia de adopción tecnológica sostenible.

Con el objetivo de sintetizar los hallazgos de esta revisión y facilitar la comprensión de las capacidades de cada modelo, se presenta un análisis comparativo de las arquitecturas de IA más relevantes para la cartografía moderna (Tabla 1). En ella se detallan las aplicaciones específicas desde la extracción de edificaciones hasta la generación de gemelos digitales, vinculándolas con las ventajas operativas y las referencias científicas que sustentan su viabilidad técnica. Esta comparativa permite identificar la arquitectura más idónea según el objeto geográfico a restituir, optimizando así la toma de decisiones en la planificación de nuevos proyectos dentro del IGM.

3. Síntesis crítica de tendencias tecnológicas.

El análisis comparativo de la literatura revela tres tendencias principales: (1) consolidación de arquitecturas de segmentación semántica como estándar en la cartografía automatizada; (2) transición hacia modelos fundacionales de gran escala; y (3) integración progresiva entre fotogrametría tradicional y DL. Sin embargo, al respecto se identifican brechas relevantes como:

- Escasa investigación aplicada en países andinos.
- Limitada disponibilidad de datasets abiertos para entrenamiento en contextos tropicales.
- Poca evaluación de costos operativos reales en instituciones públicas.

Las brechas evidencian que, más allá del avance algorítmico, el principal desafío para



Aplicación cartográfica	Arquitectura / Algoritmo	Ventaja principal	Referencia clave
Extracción de edificios	U-Net / ResNet50	Precisión en bordes y equilibrio computacional.	Sariturk et al. (2023)
Segmentación hidrográfica	SAM (Segment Anything)	Segmentación "zero-shot" sin reentrenamiento previo.	Moghimi et al. (2024)
Modelado 3D urbano	NeRF (Neural Radiance Fields)	Reconstrucción continua y realista de infraestructuras.	Atencio et al. (2026)
Clasificación de cobertura	Deep Learning / Sentinel-2	Alta precisión en ecosistemas complejos (Andinos).	Arrechea-Castillo et al. (2023)
Detección de vías	DeepLabV3+ / PSPNet	Captura eficiente de estructuras lineales y redes.	Rajamani et al. (2023)
Análisis de fachadas	GeoAI / ResNet	Identificación de patrones urbanos a nivel de calle.	De La Cruz et al. (2025)

Tabla 1. Resumen de las arquitecturas analizadas y su aplicación específica en la producción cartográfica moderna.

Fuente: Elaboración propia.

la adopción de la GeoAI en Ecuador no es únicamente tecnológico, sino institucional y estratégico.

DISCUSIÓN Y PERSPECTIVAS FUTURAS

Los resultados de la revisión evidencian que la IA está modificando progresivamente los modelos tradicionales de producción cartográfica. La transición desde procesos manuales hacia flujos de trabajo parcialmente automatizados, ha sido ampliamente documentada en distintos contextos internacionales.

Sin embargo, a pesar de los avances persisten desafíos relacionados con la disponibilidad de datos, la transferibilidad de los modelos y la interpretabilidad de los resultados (Moghimi et al., 2024; Mortaheb & Jankowski, 2023), por lo cual la aplicabilidad de estos avances en países en desarrollo requiere un análisis crítico que considere factores técnicos, institucionales y socioeconómicos.

En el caso ecuatoriano, la adopción de herramientas de GeoAI representa una oportunidad para mejorar la eficiencia en la actualización de la cartografía oficial. No obstante, su implementación debe abordarse desde una perspectiva integral que incluya gobernanza de datos, fortalecimiento de capacidades técnicas y planificación estratégica de la infraestructura digital.

Precisamente por eso, el modelo estratégico de implementación de GeoAI para la actualización cartográfica en Ecuador se presenta como una propuesta para el IGM (Figura 2). Este esquema visual sintetiza la manera de combinar la precisión de la captura de los datos, la agilidad de la computación en la nube y el criterio de los modelos de segmentación, proyectando una transición ordenada hacia una cartografía moderna que responda con rapidez a la realidad del territorio.

En el contexto actual, la incorporación de tecnologías de GeoAI representa una oportunidad estratégica para optimizar la actualización de la cartografía oficial.



Modelo Estratégico de Implementación de GeoAI para la Actualización Cartográfica en Ecuador

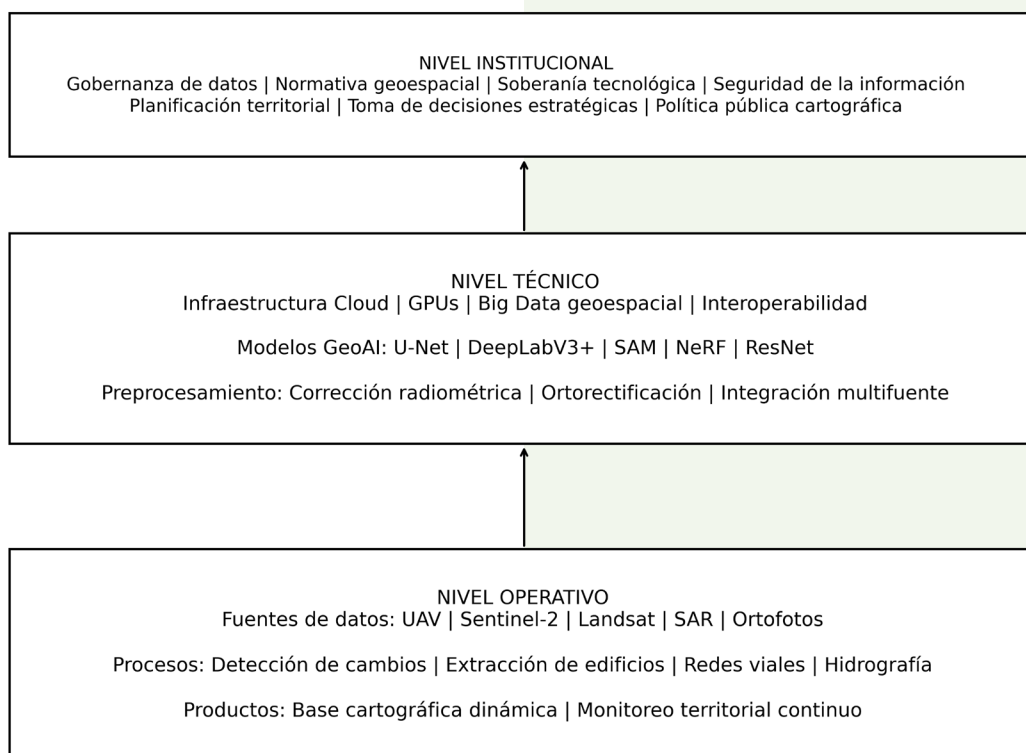


Figura 2. Modelo estratégico de implementación de GeoAI para la actualización cartográfica en Ecuador.

Fuente: Elaboración propia.

A pesar de ello, su implementación no puede entenderse únicamente desde una perspectiva tecnológica. Diversos estudios internacionales destacan que la adopción exitosa de estas herramientas depende de la articulación entre infraestructura digital, gobernanza de datos, talento humano especializado y sostenibilidad institucional. En este sentido, el principal desafío para el IGM no radica exclusivamente en la disponibilidad de algoritmos, sino en la consolidación de un ecosistema geoespacial que permita la integración de modelos de inteligencia artificial en los procesos productivos existentes.

Un aspecto crítico identificado en la literatura es la brecha tecnológica entre países con alta inversión en investigación y aquellos con limitaciones presupuestarias. Mientras que en Europa y Asia se han desarrollado plataformas nacionales de GeoAI con acceso a grandes volúmenes de datos geoespaciales, en América Latina la implementación aún es incipiente y heterogénea. Organismos

científicos internacionales como ISPRS y asociaciones técnicas como IEEE han señalado que la democratización de la IA geoespacial requiere estrategias de cooperación, interoperabilidad y acceso abierto a datos, aspectos que aún presentan limitaciones en la región.

En relación con las condiciones geográficas del Ecuador, la nubosidad persistente en los Andes y la Amazonía constituye una barrera estructural para la fotogrametría óptica. La literatura revisada sugiere que la integración de sensores multifuente, incluyendo SAR, imágenes ópticas y plataformas UAV puede mejorar la robustez de los sistemas de detección de cambios. Esta estrategia multimodal permitiría reducir la dependencia de ventanas climáticas específicas y fortalecer los sistemas de monitoreo territorial continuo.

En este contexto, la incorporación de modelos fundacionales como el SAM plantea nuevas oportunidades para la



automatización cartográfica. Sin embargo, también introduce riesgos relacionados con la dependencia tecnológica y la soberanía de los datos geoespaciales. Por lo tanto, resulta fundamental promover el desarrollo de modelos adaptados a realidades locales y fomentar la creación de repositorios nacionales de datos geográficos que permitan entrenar algoritmos en escenarios tropicales y andinos.

Desde una perspectiva operativa, la migración hacia la infraestructura tecnológica en base a la realidad del sector público ecuatoriano y los tiempos de contratación estatal sugieren que la implementación de servidores locales con GPUs de alto rendimiento es un camino complejo. La alternativa de la computación en la nube se perfila como la solución más viable. El trabajo en la nube permitiría al IGM escalar la capacidad de procesamiento de algoritmos como EfficientNet-B5 sin la necesidad de adquirir hardware costoso, el cual corre el riesgo de quedar obsoleto antes de completar su proceso de compra.

Por otra parte, la evidencia científica coincide en que la IA no reemplaza el conocimiento experto del restituidor fotogramétrico, sino que redefine su rol hacia tareas de supervisión, validación y control de calidad. Este cambio implica la necesidad de procesos de capacitación continua y actualización curricular en programas de Ingeniería Geográfica, con énfasis en ciencia de datos, programación y análisis geoespacial avanzado.

Finalmente, se identifican varias líneas de investigación futuras para el contexto ecuatoriano:

- Desarrollo de datasets nacionales abiertos para entrenamiento de modelos GeoAI.
- Evaluación comparativa de algoritmos en escenarios tropicales y montañosos.
- Integración de IA con sistemas de monitoreo de riesgos naturales y cambio climático.
- Análisis del impacto económico de la automatización cartográfica en instituciones públicas.

- Diseño de marcos normativos para la adopción responsable de la IA geoespacial.

En conclusión, la implementación de la GeoAI en la producción cartográfica del Ecuador debe concebirse como un proceso gradual, estratégico y multidimensional, en el que la innovación tecnológica se articule con la gobernanza de datos, la formación de talento humano y la sostenibilidad institucional. Este enfoque permitirá consolidar un modelo de cartografía dinámica que responda a las necesidades del desarrollo territorial y la planificación sostenible.

CONCLUSIONES

- La revisión del estado del arte confirma que la integración de la IA, especialmente mediante arquitecturas como U-Net y el modelo SAM, permite una transición necesaria en el flujo de trabajo desde la digitalización manual exhaustiva hacia la actualización cartográfica automatizada por detección de cambios. Esto no sustituye el rigor del restituidor, sino que optimiza su labor y permite a la institución reducir los tiempos de entrega de la cartografía oficial.
- Ante el reto de la nubosidad existente en la cordillera de los Andes y sus estribaciones, la combinación de drones y/o imágenes satelitales y modelos de DL demuestra ser la estrategia más eficaz. La capacidad de los modelos para procesar datos de alta resolución obtenidos bajo la capa de nubes garantiza la continuidad de la producción cartográfica nacional, superando las limitaciones de la fotogrametría aérea convencional.
- Desde una perspectiva operativa, para el sector público ecuatoriano la computación en la nube representa actualmente una de las alternativas más viables para implementar este tipo de tecnologías. Al externalizar la necesidad de hardware de procesamiento (GPUs), el IGM puede implementar algoritmos de vanguardia de forma inmediata, evitando barreras burocráticas y financieras para la adquisición de equipos, y asegurando



que la infraestructura tecnológica del país esté siempre a la vanguardia de la GeoAI.

BIBLIOGRAFÍA

- Alsabhan, W., Alotaiby, T., & Dudin, B. (2022). Detecting buildings and nonbuildings from satellite images using U-Net. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022, 4831223. <https://doi.org/10.1155/2022/4831223>
- Alshiha, A. A. M. (2024). A review of the integration between geospatial artificial intelligence and remote sensing. *Iraqi Journal for Computer Science and Mathematics*, 5(3), 19–29. <https://doi.org/10.52866/ijcsm.2024.05.03.002>
- Arrechea-Castillo, D. A., Solano-Correa, Y. T., Muñoz-Ordóñez, J. F., Pencue-Fierro, E. L., & Figueroa-Casas, A. (2023). Multiclass land use and land cover classification of Andean sub-basins in Colombia with Sentinel-2 and deep learning. *Remote Sensing*, 15(10), 2521. <https://doi.org/10.3390/rs15102521>
- Atencio, E., Duarte, F., Lozano-Galant, F., Porras, R., & Xia, Y. (2026). AI-based 3D modeling strategies for civil infrastructure: Quantitative assessment of NeRF and photogrammetry. *Sensors*, 26(3), 852. <https://doi.org/10.3390/s26030852>
- Battina, S. (2025). Navigating geometric complexity in digital heritage: A review of AI-based semantic segmentation. *Journal of Information Technology in Construction*, 30, 1707–1727. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2025.070>
- Feizizadeh, B., Omarzadeh, D., Kazemi Garajeh, M., Lakes, T., & Blaschke, T. (2023). Machine learning data-driven approaches for land use/cover mapping and trend analysis using Google Earth Engine. *Journal of Environmental Planning and Management*, 66(3), 665–697. <https://doi.org/10.1080/09640568.2022.2039919>
- Fortin, J., Meacham, S., Rissolo, D., Rosland, A., & Dorshow, W. (2025). Bridging photogrammetry and GIS through workflow automation: A scalable approach for spatially linked 3D data. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 48, 497–502. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-2025-497-2025>
- García, J., López, M., & Rodríguez, P. (2022). Deep learning for urban land use mapping in Latin American cities. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 26, 100734. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100734>
- Gómez, C., & Fernández, S. (2021). Artificial intelligence in remote sensing for environmental monitoring in South America. *Environmental Modelling & Software*, 145, 105190. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2021.105190>
- Majidizadeh, A., Hasani, H., & Jafari, M. (2023). Semantic segmentation of UAV images based on U-Net in urban areas. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 10, 451–457. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-2023-451-2023>
- Morales, L., Díaz, A., & Sánchez, C. (2024). UAV-based photogrammetry and deep learning for urban monitoring in developing countries. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 205, 156–169. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2023.11.011>
- Moghimi, A., Welzel, M., Celik, T., & Schlurmann, T. (2024). A comparative performance analysis of deep learning models and segment anything model (SAM) for river segmentation. *IEEE Access*, 12, 52067–52085. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3387922>



- Mortaheb, R., & Jankowski, P. (2023). Smart city reimagined: City planning and GeoAI in the age of big data. *Journal of Urban Management*, 12(1), 4–15. <https://doi.org/10.1016/j.jum.2023.01.001>
- Rajamani, T., Sevugan, P., & Ragupathi, S. (2023). Automatic building footprint extraction and road detection from hyperspectral imagery. *Journal of Electronic Imaging*, 32(1), 011005. <https://doi.org/10.1117/1.JEI.32.1.011005>
- Rastogi, K., Bodani, P., & Sharma, S. A. (2022). Automatic building footprint extraction from very high-resolution imagery using deep learning techniques. *Geocarto International*, 37(5), 1501–1513. <https://doi.org/10.1080/10106049.2020.1869983>
- Sariturk, B., Kumbasar, D., & Seker, D. Z. (2023). Comparative analysis of CNN models for building segmentation from satellite and UAV images. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 89(2), 97–105. <https://doi.org/10.14358/PERS.89.2.97>
- Wang, J., Sanderson, J., Iqbal, S., & Woo, W. L. (2025). Accelerated flood susceptibility mapping through explainable deep learning. *Remote Sensing*, 17(9), 1540. <https://doi.org/10.3390/rs17091540>
- Xue, Y., Qin, C., Wu, B., Li, D., & Fu, X. (2022). Automatic extraction of mountain river surface using multisource imagery. *Remote Sensing*, 14(10), 2370. <https://doi.org/10.3390/rs14102370>



Elizalde, Ricardo.
ricardo.elizalde@geograficomilitar.gob.ec

Pullas, Giovana.
giovana.pullas@geograficomilitar.gob.ec

DETECCIÓN DE ISLAS FLUVIALES MEDIANTE TÉCNICAS DE CLASIFICACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES EN EL SOFTWARE ENVI

DETECTION OF FLUVIAL ISLANDS USING SATELLITE IMAGE CLASSIFICATION TECHNIQUES IN THE ENVI SOFTWARE

RESUMEN

El estudio analiza la detección de islas fluviales en el río Putumayo mediante técnicas de clasificación de imágenes satelitales en ENVI. Se desarrolló un enfoque multitemporal integrando cartografía histórica, fotografías aéreas e imágenes satelitales entre 1930 y 2024. Se compararon los métodos K-Means y Random Forest, evidenciando diferencias significativas en la precisión de clasificación. La técnica de Random Forest presentó mayor coherencia temática, lo que permitió una delimitación consistente de agua, sedimentos y vegetación. Los resultados muestran una alta dinámica fluvial con cambios espaciales relevantes, aportando información estratégica para la gestión territorial, la seguridad y la definición del Límite Político Internacional Ecuador-Colombia.

Palabras clave: Clasificación supervisada, dinámica fluvial, islas fluviales, K-Means, Random Forest.

ABSTRACT

The study analyzes the detection of river islands in the Putumayo River using satellite image classification techniques in ENVI. A multitemporal approach was developed, integrating historical cartography, aerial photographs, and satellite images between 1930 and 2024. The K-Means and Random Forest methods were compared, revealing significant differences in accuracy and reliability. The Random Forest technique showed greater thematic coherence, allowing for consistent delimitation of water, sediments, and vegetation. The results show high river dynamics with relevant spatial changes, providing strategic information for territorial management, security, and the definition of the Ecuador-Colombia International Political Boundary.

Keywords: Supervised classification, river dynamics, fluvial island, K-Means, Random Forest.

INTRODUCCIÓN

La delimitación de fronteras naturales en regiones amazónicas presenta desafíos asociados a la dinámica geomorfológica de los ríos, cuyos procesos de erosión, sedimentación y migración lateral generan cambios constantes en el cauce fluvial.

En el caso del río Putumayo, establecido como límite internacional mediante el Tratado Muñoz Vernaza-Suárez de 1916, la formación y evolución de islas fluviales introduce complejidades en la interpretación espacial del límite político, lo que demanda metodologías técnicas robustas para su monitoreo (Ministerio de Relaciones Exteriores y Movilidad Humana, 2016).

En este contexto, el uso de sensores remotos y técnicas de clasificación de imágenes satelitales ha demostrado ser una herramienta eficaz para el análisis multitemporal de coberturas terrestres. La clasificación supervisada, particularmente mediante algoritmos de aprendizaje automático como Random Forest, permite mejorar la discriminación entre clases espectralmente similares, incrementando la precisión temática en comparación con métodos tradicionales (Jensen, 2015).

Asimismo, la integración de geoinformación multifuente fortalece la interpretación de cambios espacio-temporales en sistemas fluviales, aportando insumos clave para la gestión territorial y la toma de decisiones en zonas de frontera.

En este marco, el presente aplica técnicas de clasificación de imágenes satelitales mediante el uso del software ENVI, para analizar la permanencia y dinámica de las islas fluviales en el río Putumayo, contribuyendo a la generación de información estratégica para la seguridad, la defensa y el desarrollo del Estado. El objetivo del estudio se enfoca en evaluar la eficacia de los métodos de clasificación K-Means y Random Forest en la detección y delimitación de islas fluviales en el río Putumayo, mediante el procesamiento multitemporal de imágenes satelitales en el software ENVI.

DESARROLLO

1. Área de estudio.

El área de estudio corresponde al tramo del río Putumayo que actúa como Límite Político Internacional Ecuador-Colombia, desde el meridiano de Coembí hasta la desembocadura del río Güeppí (Figura 1).



Figura 1. Delimitación de la zona de estudio (tramado verde).

Fuente: Elaboración propia.



2. Recopilación de datos.

El estudio se sustentó en la integración de registros, documentos y cartografía histórica, fotografías aéreas e imágenes satelitales de diferentes misiones y resoluciones espaciales. Estos insumos fueron seleccionados en función de su disponibilidad, calidad geométrica y pertinencia para el análisis multitemporal, permitiendo establecer un marco de referencia comparable entre períodos.

Para facilitar la representación cartográfica y el análisis visual, el área de estudio fue subdividida en sectores homogéneos con base en la cobertura de las cartas topográficas del Instituto Geográfico Militar (IGM) a escala 1:50 000, cuya dimensión estándar posibilita un tratamiento sistemático y preciso del territorio. La recopilación y sistematización incluyó el inventario, digitalización y depuración de fuentes analógicas previas al año 2000, complementadas posteriormente con imágenes satelitales, fortaleciendo el seguimiento y la validación de los cambios fluviales observados en el período reciente. Considerando que distintos períodos de análisis utilizan imágenes satelitales de fuentes coincidentes, se presenta

el inventario de los insumos geoespaciales empleados, sistematizados según su fuente de origen (Figura 2).

3. Modelo conceptual.

Para evaluar la concordancia entre métodos de clasificación que involucran dos o más clases temáticas se emplea el índice Kappa, que evalúa la concordancia entre una clasificación y los datos de referencia, considerando únicamente los aciertos que superan lo esperado por azar. Este es un indicador robusto de la calidad temática que, según la escala propuesta por Landis y Koch (1977), se interpreta de la siguiente manera: < 0,00 sin concordancia; 0,00-0,20 insignificante; 0,21-0,40 baja; 0,41-0,60 moderada; 0,61-0,80 sustancial y 0,81-1,00 casi perfecta (Murillo, 2020).

En adición, se emplearon tecnologías geoespaciales para el pre-procesamiento y procesamiento de imágenes satelitales, aprovechando la resolución espectral y la información multitemporal disponible (Figura 3).

Independientemente del tipo de insumo utilizado, se verificó que todos los datos

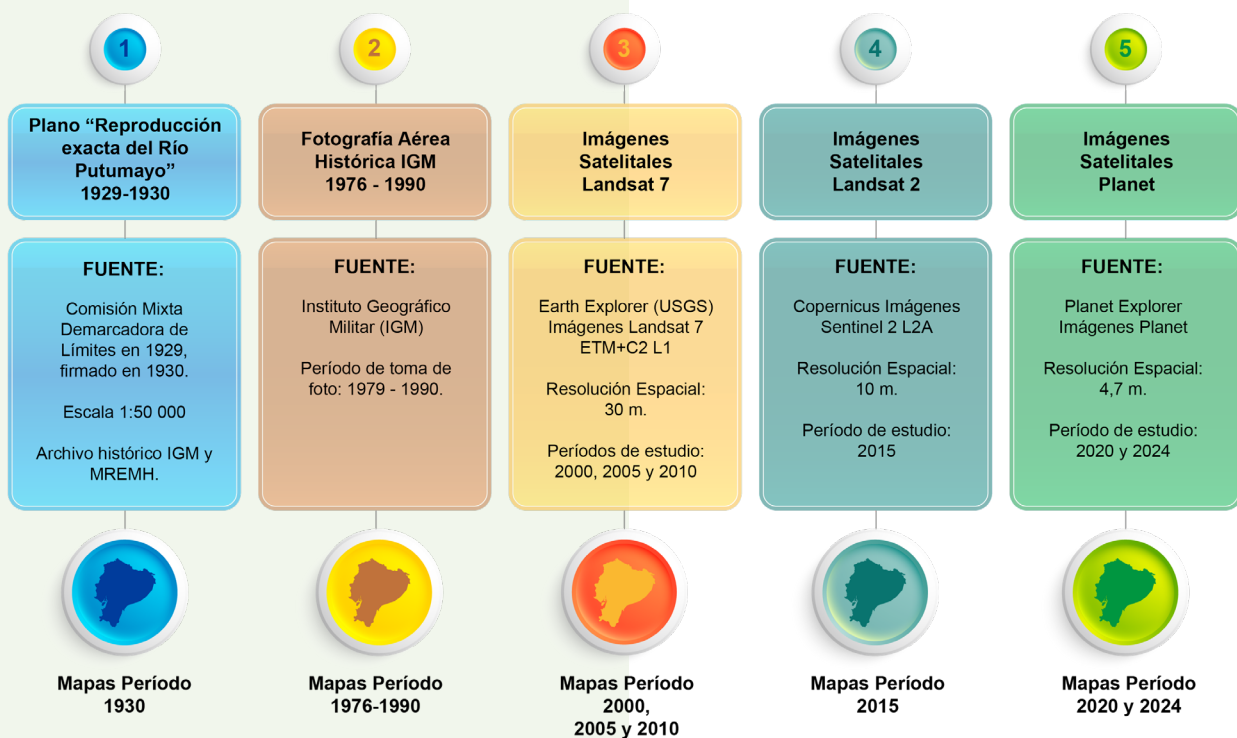


Figura 2. Insumos empleados agrupados por fuente de datos.

Fuente: Elaboración propia.



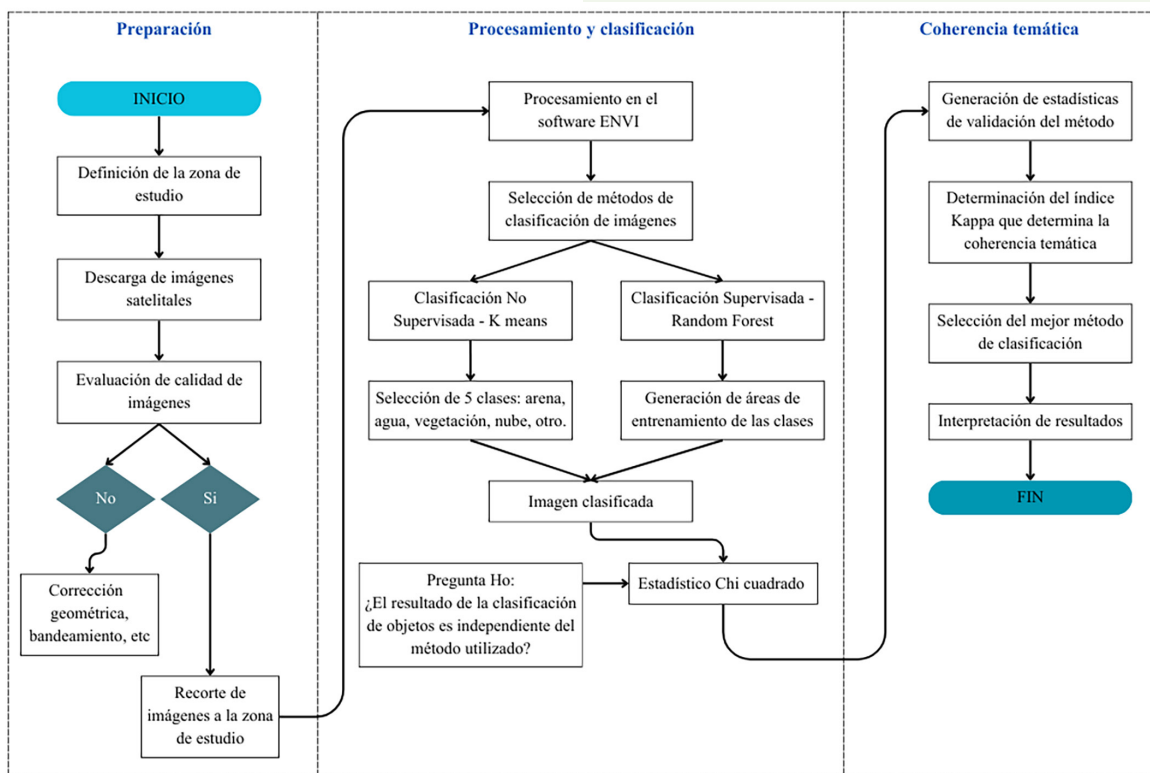


Figura 3. Diagrama de proceso.

Fuente: Elaboración propia.

cumplieran con los requisitos mínimos para su procesamiento, incluyendo la aplicación de correcciones geométricas, atmosféricas y radiométricas. En el caso de las imágenes Landsat, se aplicó adicionalmente la corrección de bandeamiento (striping), con el fin de eliminar el ruido presente en los márgenes de las imágenes.

De manera complementaria, se emplearon técnicas de refinamiento de la resolución espectral, considerando que las imágenes satelitales presentan bandas con diferentes resoluciones espaciales. En este sentido, se homogenizó la resolución espacial tanto

para las imágenes Landsat como para las imágenes Sentinel-2, con el fin de garantizar la comparación de los insumos.

Dado que la zona de estudio abarcaba múltiples escenas, como en el caso de las imágenes Planet, se realizó el mosaico correspondiente. En contraste, cuando la cobertura (swath) de las imágenes (Landsat y Sentinel-2) excedía el área de análisis, se aplicó el recorte o enmascaramiento de las escenas a la zona de interés, lo cual permitió optimizar los tiempos de procesamiento y mejorar la eficiencia del análisis (Figura 4). Con el fin de optimizar el procesamiento



Figura 4. Recorte de imágenes a la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia.



y su validación, se aplicaron dos métodos de clasificación de imágenes satelitales utilizando el software ENVI. En una primera etapa, se ejecutó una clasificación no supervisada mediante el método K-Means, considerando el uso de cinco clases (Figura 5). Este algoritmo agrupa los píxeles en k clases a partir de similitud espectral, sin requerir información previa de entrenamiento.

Posteriormente, se implementó una clasificación supervisada utilizando el método Random Forest, basado en conjuntos de árboles de decisión que utilizan muestras de entrenamiento para asignar clases a los píxeles, lo cual permitió refinar la

identificación de las clases y mejorar la precisión del análisis (Figura 6).

En este proceso, se agregaron polígonos de entrenamiento de coberturas, también denominados ROIs, tales como: vegetación (verde), agua (azul) y arena (rojo), los cuales se incorporaron en el flujo de trabajo del software ENVI.

Se realizó una comparación de los resultados obtenidos mediante cada método de clasificación (Figura 7). A la izquierda, se muestra el resultado obtenido mediante el método K-Means (clasificación no supervisada). En contraste, a la derecha se

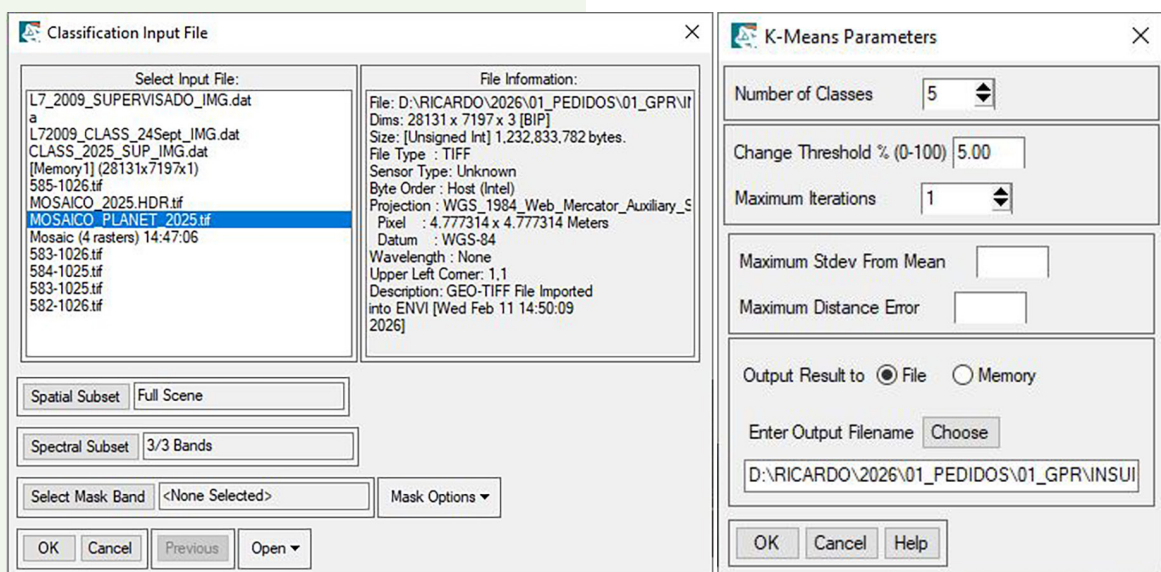


Figura 5. Ajuste de parámetros del método K-Means.

Fuente: Elaboración propia.

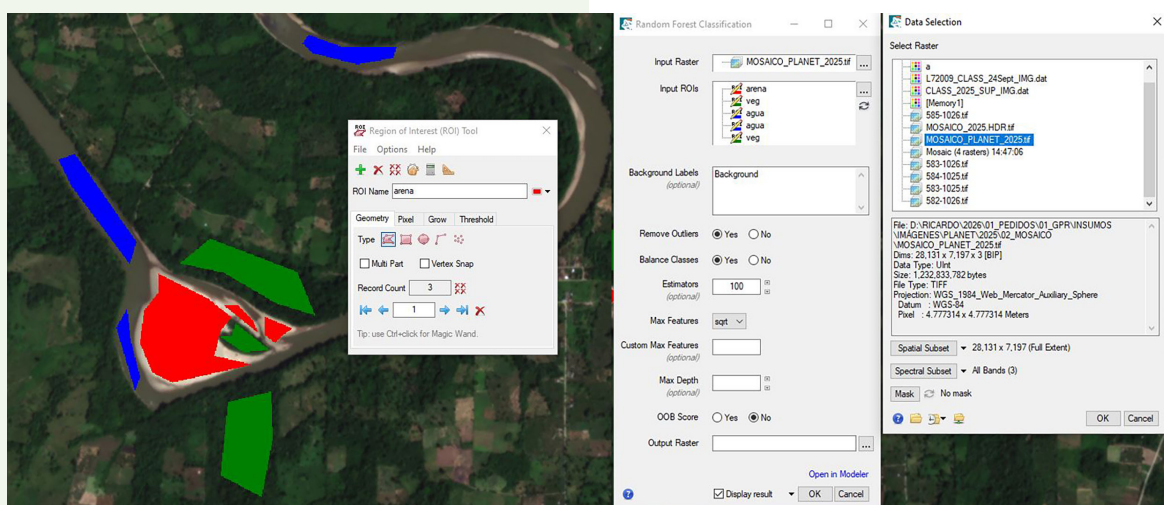


Figura 6. Ajuste de parámetros del método Random Forest.

Fuente: Elaboración propia.



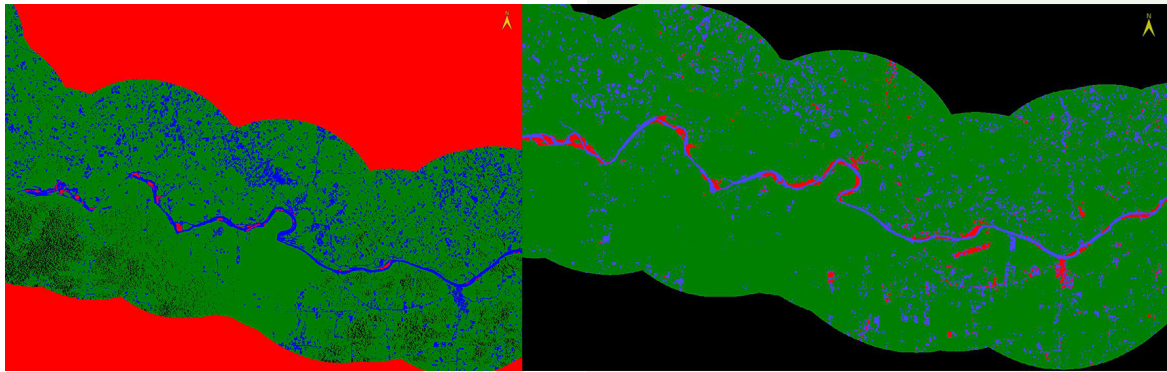


Figura 7. Resultados del procesamiento de imágenes satelitales.

Fuente: Elaboración propia.

muestra el resultado obtenido mediante el método Random Forest (clasificación supervisada). A continuación, se presenta la comparativa entre las diferencias de

ambos métodos de clasificación de imágenes satelitales aplicada a la detección de islas fluviales en ENVI (Tabla 1).

Criterio	<i>K-Means</i>	<i>Random Forest</i>
Requerimiento de información previa	No requiere muestras de entrenamiento.	Requiere ROIs representativas y definición previa de clases.
Control y clases	Control limitado (definición del número de clases).	Mayor control sobre clases, variables y parámetros del modelo.
Precisión y confiabilidad	Media, genera clases mixtas o espectralmente similares.	Alta, disgregación entre agua, sedimentos y vegetación.
Sensibilidad al ruido	Sensible a variabilidad espectral y ruido.	Robusto ante ruido y alta variabilidad ambiental.
Aplicación en islas fluviales	Útil para exploración inicial y diferenciación general de coberturas.	Más adecuado para delimitación precisa y análisis multitemporal.
Tiempo de implementación	Rápido y automatizado.	Requiere mayor tiempo por fase de entrenamiento.
Comprobación en campo	Requiere validación para interpretar correctamente las clases generadas, debido a la ausencia de datos de entrenamiento previos.	Permite validación directa mediante comparación con datos de campo (<i>ground truth</i>), facilitando la evaluación de precisión (matriz de confusión, exactitud global, índice <i>Kappa</i>).

Tabla 1. Características de los métodos de clasificación de imágenes satelitales.

Fuente: Elaboración propia.



RESULTADOS

Con el propósito de determinar si existían diferencias estadísticamente significativas entre los métodos de clasificación K-Means y Random Forest, se aplicó una prueba Chi-cuadrado (χ^2) de independencia estructurada en función del número de objetos generados por período de estudio (Tabla 2).

Período	K-Means	Random Forest	Total
1976–1990	5 816	282	6 098
2000	1 584	138	1 722
2005	565	247	812
2010	3 149	270	3 419
2015	5 404	459	5 863
2020	4 076	345	4 421
2024	13 350	324	13 674
Total	33 944	2 065	36 009

Tabla 2. Tabla de datos por período y método de clasificación.

Fuente: Elaboración propia.

Se formularon las siguientes hipótesis:

- Hipótesis nula: El resultado de la clasificación de objetos es independiente del método utilizado.
- Hipótesis alternativa: El resultado de la clasificación de objetos depende del método utilizado.

El estadístico se calculó mediante la expresión: $\chi^2 = \sum (O-E)^2/E$, donde O representa la frecuencia observada y E la frecuencia esperada. El valor obtenido fue de $\chi^2 = 2\,023,6$ con 6 grados de libertad (gl), donde los $gl = (filas-1)(columnas-1)$, y un nivel de significancia $\alpha = 0,05$. El valor crítico de la distribución de Chi-cuadrado es 12,59.

Dado que el estadístico χ^2 es mayor al $\chi^2_{crítico}$ se rechaza la hipótesis nula y se evidencia que la distribución del número de objetos clasificados no es independiente del método utilizado, por lo tanto, existe una diferencia significativa al emplear los métodos K-Means y Random Forest. Con base en este enfoque, se calculó el índice Kappa utilizando el software ENVI (herramienta Confusion Matrix Using Ground Truth ROIs), el cual permite realizar la evaluación de exactitud temática inmediatamente después del proceso de clasificación, empleando los mismos ROIs definidos durante la clasificación supervisada. Dado que los distintos períodos fueron procesados bajo la misma metodología y parámetros de clasificación, la validación de un período resulta representativa para sustentar la confiabilidad del método aplicado. En este contexto, se presentan los resultados correspondientes al período 2024, elaborado a partir de imágenes Planet. Se contrastó la cobertura resultante del proceso de clasificación de imágenes satelitales con los polígonos de entrenamiento cuya clase temática es conocida con certeza, estableciendo así la correspondencia entre la clasificación obtenida y la referencia utilizada (Figura 8).

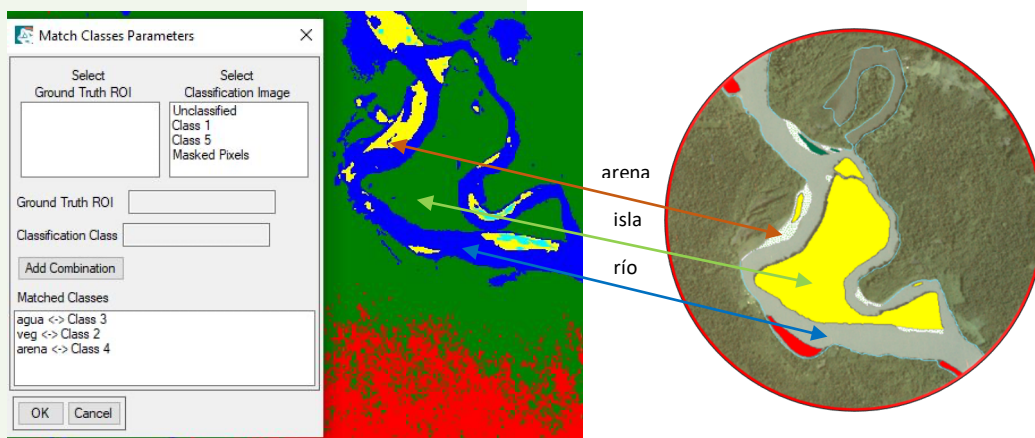


Figura 8. Correlación de coberturas (estimada a la izquierda y real a la derecha) en el software ENVI.

Fuente: Elaboración propia.



El procesamiento se efectuó para los dos métodos de clasificación de imágenes satelitales (supervisada y no supervisada), detallando las imágenes empleadas y los resultados obtenidos en la matriz de confusión (Tabla 3).

El análisis de exactitud temática (Gráfico 1) se sustenta en la precisión global y en el índice Kappa. Estos resultados reflejan que la clasificación no supervisada posee una concordancia deficiente e implica que el modelo no ha logrado capturar de forma consistente la estructura espectral de las coberturas, generando una clasificación con baja confiabilidad temática y escasa validez para análisis espaciales de detalle.

El segundo método alcanza un índice Kappa que evidencia una concordancia más ajustada,

reflejando una correspondencia sólida y estadísticamente fiable entre la clasificación y el terreno, con una notable reducción de errores de asignación entre clases y una mejor diferenciación de coberturas espectralmente similares.

En consecuencia, los resultados del procesamiento de la imagen satelital respaldan la coherencia de los resultados obtenidos mediante la clasificación supervisada, confirmando su capacidad para representar con precisión la distribución espacial de las coberturas analizadas y consolidando su idoneidad para aplicaciones de análisis multitemporal y generación de cartografía temática (Figura 9).

Resultados del geoprocesamiento	Clasificación no supervisada	Clasificación supervisada
Precisión general en píxeles	118 799 de 337 469	130 204 de 130 795
Precisión general en porcentaje	35,20 %	99,55 %
Índice Kappa	0,06	0,99

Tabla 3. Resultados de la matriz de confusión.

Fuente: Elaboración propia.

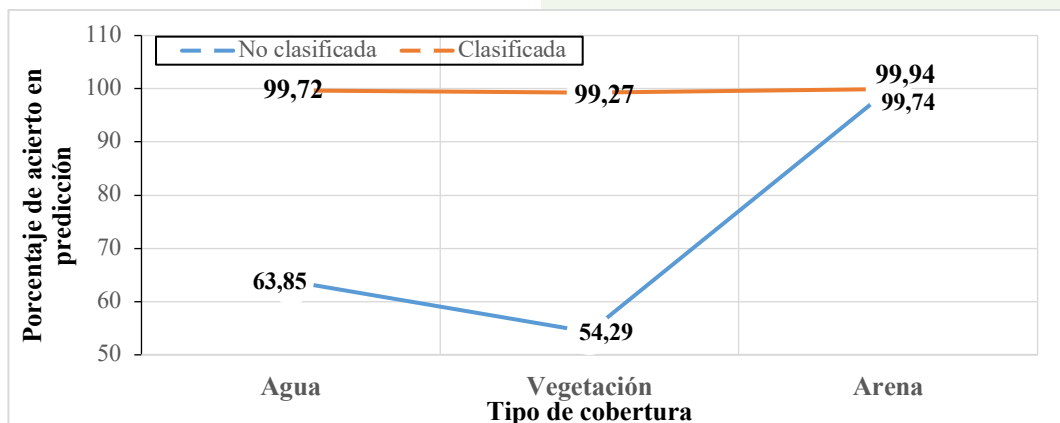


Gráfico 1. Porcentaje de predicción de los métodos de clasificación por tipo de cobertura.

Fuente: Elaboración propia.



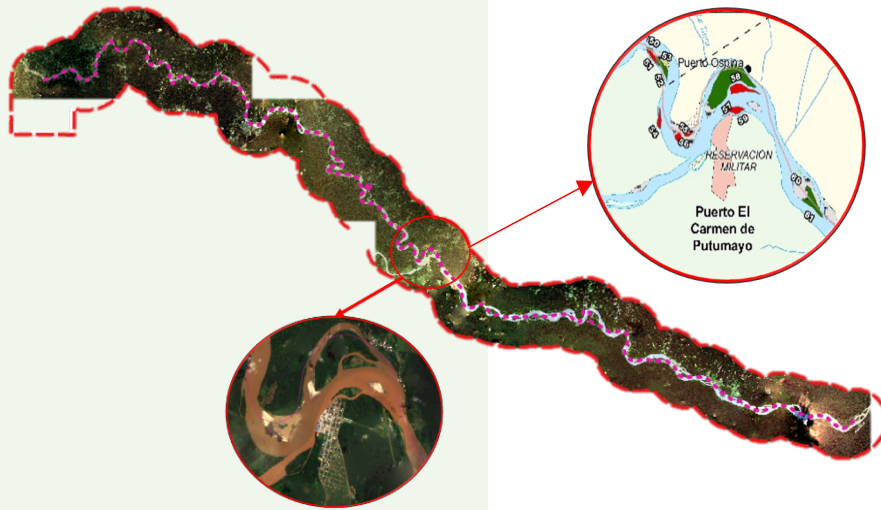


Figura 9. Acierto en la predicción por tipo de cobertura.

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

El proceso comparativo entre los métodos de clasificación permitió evidenciar diferencias sustanciales tanto en el desempeño estadístico como en la coherencia temática de los resultados obtenidos.

El método K-Means resultó útil como aproximación exploratoria inicial, al facilitar el reconocimiento de patrones espectrales dominantes dentro de las imágenes. No obstante, su capacidad de discriminación temática fue limitada, especialmente en clases con alta similitud espectral como agua, bancos de arena y vegetación ribereña. Esta restricción metodológica se reflejó en una delimitación menos consistente de las islas fluviales en el análisis multitemporal.

En contraste, el método Random Forest mostró un comportamiento significativamente superior, evidenciando mayor estabilidad en la asignación de clases y una diferenciación temática más precisa entre coberturas con respuestas espectrales cercanas. Esta mejora se tradujo en una representación cartográfica más coherente y confiable del sistema fluvial, fortaleciendo la consistencia espacial y temporal de los resultados.

Desde el punto de vista estadístico, la prueba Chi-cuadrado confirma que la distribución de los objetos clasificados depende directamente

del método aplicado. La magnitud del estadístico χ^2 demuestra que las diferencias observadas no son producto del azar, sino que responden a la capacidad estructural de cada algoritmo para modelar la variabilidad espectral.

RECOMENDACIONES

Se recomienda adoptar el método de clasificación supervisada Random Forest como base para la generación de los productos cartográficos temáticos finales en los que se determinen islas fluviales, dado que presenta el mayor índice Kappa y, por tanto, la mayor concordancia real con los datos de referencia. Este resultado garantiza mayor coherencia temática y solidez estadística en la representación de las coberturas.

Además, se puede complementar la evaluación mediante un análisis de exactitud por clase, considerando métricas como precisión del productor y del usuario, a fin de identificar posibles errores de omisión y comisión que no se evidencian en el coeficiente κ global, fortaleciendo así la calidad temática del producto final.

Finalmente, se recomienda incorporar datos obtenidos de comprobación en terreno como parte del proceso de clasificación de imágenes satelitales, ya que el uso de datos de campo o ground truth fortalece la precisión



de los modelos durante su entrenamiento y validación. Esto permite contrastar los resultados, reducir la incertidumbre y garantizar la confiabilidad de los productos cartográficos para la toma de decisiones.

BIBLIOGRAFÍA

- European Space Agency. (2015). *Sentinel-2 Level-1C (Tile: T18NUF; 2015-12-11) [Conjunto de datos]*. Disponible en línea en Copernicus Open Access Hub: <https://scihub.copernicus.eu/>
- Instituto Geográfico Militar. (1970-2000). *Cartografía Histórica. Fotografía Aérea*. Dirección Cartográfica. Quito, Ecuador.
- Jensen, J. R. (2015). *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*.
- Ministerio de Relaciones Exteriores y Movilidad Humana. (2016). *Documentos Históricos de las Relaciones Internacionales del Ecuador. Relaciones Bilaterales entre las Repúblicas de Ecuador y Colombia. (Vols. I 1830-1916)*. Quito, Ecuador. Editorial FACSIMILAR.
- Murillo Castañeda, R. A. (2021). *Implementación del método máquinas de soporte vectorial en bases de datos espaciales para análisis de clasificación supervisada en imágenes de sensores remotos*. *Revista cartográfica*, (102), 27-42. <https://doi.org/10.35424/rcarto.i102.830>
- Planet Labs (2020). *Planet Scope Scene (Scene ID since 589-1023 until 595-1026) [Conjunto de datos]*. Disponible en línea en Planet Explorer: <https://insights.planet.com/data>
- Planet Labs (2025). *Planet Scope Scene (Scene ID since 589-1023 until 595-1026) [Conjunto de datos]*. Disponible en línea en Planet Explorer: <https://insights.planet.com/data>
- U.S. Geological Survey. (2000). *Landsat 7 ETM+ Scene (Path 8, Row 60). Scene ID: LE07_L2SP_008060_20000830_20200918_02_T1*. [Conjunto de datos]. Disponible en línea en USGS Earth Explorer: <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- U.S. Geological Survey. (2005). *Landsat 7 ETM+ Scene (Path 8, Row 60). Scene ID: LE07_L1TP_008060_20050116_20200915_02_T1* [Conjunto de datos]. Disponible en línea en USGS Earth Explorer: <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- U.S. Geological Survey. (2009). *Landsat 7 ETM+ Scene (Path 8, Row 60). Scene ID: LE07_L1TP_008060_20090924_20200911_02_T1* [Conjunto de datos]. Disponible en línea en USGS Earth Explorer: <https://earthexplorer.usgs.gov/>





Vinueza, Alexander.
alexander.vinueza@geograficomilitar.gob.ec

ECONOMÍA GEOESPACIAL EN ECUADOR: NUEVOS MODELOS DE COMERCIALIZACIÓN Y POSICIONAMIENTO ESTRATÉGICO DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR

*THE GEOSPATIAL ECONOMY IN ECUADOR: EMERGING COMMERCIALIZATION
MODELS AND STRATEGIC POSITIONING OF THE MILITARY GEOGRAPHIC INSTITUTE*

RESUMEN

La geoinformación es un conjunto integrado de datos de posicionamiento, atributos descriptivos y metadatos que permite el análisis espacial y modelamiento territorial para la toma de decisiones (UN-GGIM, 2023). Esta constituye un activo estratégico para la economía digital y la gobernanza territorial, al sustentar la planificación, la inversión pública y la gestión sostenible. En el contexto ecuatoriano, el Instituto Geográfico Militar como responsable de la cartografía nacional, enfrenta el desafío de transitar desde un modelo tradicional de producción cartográfica hacia esquemas de comercialización basados en servicios geospaciales digitales y generación de valor agregado.

El presente estudio analiza los modelos internacionales de comercialización de geoinformación mediante revisión documental especializada, análisis comparativo de casos institucionales y evaluación del mercado potencial ecuatoriano en sectores estratégicos como: ordenamiento territorial, gestión de riesgos, catastro, energía y agricultura. Se

ABSTRACT

Geoinformation is an integrated set of positional data, descriptive attributes, and metadata that enables spatial analysis and territorial modeling for decision-making (United Nations Committee of Experts on Global Geospatial Information Management, 2023). It constitutes a strategic asset for the digital economy and territorial governance, supporting planning, public investment, and sustainable management. In the Ecuadorian context, the Military Geographic Institute, as the national cartography authority, faces the challenge of transitioning from a traditional cartographic production model to commercialization schemes based on digital geospatial services and value-added products.

This study examines international geoinformation commercialization models through a review of specialized literature, a comparative analysis of institutional case studies, and an assessment of the potential Ecuadorian market in strategic sectors such as land-use planning, risk management, cadastre, energy, and agriculture. Global trends related to interoperable platforms, subscription-



examinan tendencias globales vinculadas a plataformas interoperables, servicios bajo suscripción y economía de datos territoriales.

Los resultados evidencian que la sostenibilidad institucional depende de la adopción de modelos híbridos que combinen acceso abierto a datos base con comercialización de productos y servicios especializados de alto valor agregado. Se concluye que el fortalecimiento tecnológico, normativo y comercial permitirá consolidar la soberanía cartográfica del Estado, dinamizar el ecosistema geoespacial nacional y posicionar al país en la economía geoespacial regional.

Palabras clave: cartografía oficial, geoinformación, mercado geoespacial, planificación territorial, servicios digitales geoespaciales.

INTRODUCCIÓN

El artículo examina el carácter estratégico de la geoinformación en la economía basada en datos, destacando su capacidad para integrar territorio, infraestructura, población y recursos naturales en un sistema analítico que sustenta la planificación, la gestión de riesgos y la toma de decisiones públicas y privadas. Los organismos internacionales como el United Nations Committee of Experts on Global Geospatial Information Management (UN-GGIM) la reconocen como infraestructura crítica para el desarrollo sostenible.

La información geoespacial constituye un activo económico y un insumo técnico esencial para la eficiencia estatal y la competitividad territorial. En el Ecuador, el Instituto Geográfico Militar (IGM) como responsable técnico nacional en materia cartográfica, produce y custodia la cartografía oficial que sustenta la planificación, regulación e inversión pública, garantizando estandarización y referencia territorial uniforme para las entidades del Estado, reduciendo duplicidad e inconsistencias.

En este marco, el análisis de tendencias internacionales de comercialización

based services, and the geospatial data economy are also analyzed.

The results show that institutional sustainability depends on adopting hybrid models that combine open access to foundational data with the commercialization of high value-added geospatial products and services. The study concludes that strengthening the technological, regulatory, and commercial capacities will reinforce the State's cartographic sovereignty, stimulate the national geospatial ecosystem, and position Ecuador within the regional geospatial economy.

Keywords: official cartography, geoinformation, geospatial market, territorial planning, digital geospatial services.

geoespacial y del mercado potencial nacional es necesario para fortalecer la sostenibilidad institucional y consolidar su rol como proveedor estratégico de información territorial. El propósito es evaluar dichas tendencias, examinar su rol estructural y proponer estrategias de fortalecimiento alineadas a su marco legal. La metodología utilizada es analítico-descriptiva, sustentada en revisión documental técnica, análisis comparado internacional y evaluación normativa nacional.

DESARROLLO

La evolución del mercado geoespacial puede estructurarse en tres etapas de desarrollo y madurez institucional, en función de los servicios de geoinformación ofertados (Figura 1).

Esta evolución no constituye únicamente una transformación tecnológica, sino un cambio estructural en el modelo de generación de valor de la geoinformación. La transición hacia servicios geoespaciales integrados redefine el rol de las instituciones cartográficas, desplazando el enfoque desde la venta de productos hacia la provisión continua de infraestructura digital, analítica y transaccional.





1. Tradicional

- Venta mapas impresos
- Productos digitales básicos, georreferenciación limitada y sin capacidades analíticas.

2. Digital inicial

- Distribución de datos vectoriales y raster bajo licencia.
- Productos digitales georreferenciados y análisis básicos.



3. Servicios geoespaciales integrados

- Plataformas interoperables y API
- Bajo suscripción o pago por demanda.
- Provisión dinámica de datos y servicios analíticos.

Figura 1. Etapas de desarrollo y madurez de instituciones productoras de geoinformación.

Fuente: Elaboración propia.

La comprensión de estas etapas permite identificar brechas de madurez institucional, evaluar oportunidades de modernización y orientar estrategias que alinien la gestión geoespacial con las exigencias actuales de interoperabilidad, eficiencia estatal y sostenibilidad económica.

1. Situación actual institucional en el mercado.

El IGM ha consolidado los niveles 1 y 2 del mercado geoespacial, correspondientes al

modelo cartográfico tradicional y al modelo digital inicial. En el nivel 3, relativo a servicios geoespaciales integrados, se ha implementado un geoportal institucional.

El geoportal institucional constituye una plataforma de gestión y difusión de información geoespacial oficial, ya que integra en un único entorno digital datos cartográficos, metadatos y servicios geográficos interoperables (Figura 2). Su principal beneficio radica en facilitar el acceso



Figura 2. Prestaciones del geoportal institucional.

Fuente: IGM, Manual de usuario del visualizador.



y uso estandarizado de la geoinformación por parte de instituciones públicas, sector privado y academia, reduciendo duplicidad de esfuerzos y mejorando la eficiencia en la planificación territorial, la gestión de riesgos y la toma de decisiones.

Desde una perspectiva estratégica, un geoportal correctamente gestionado no solo es un repositorio de mapas, sino que se convierte en la infraestructura digital del territorio, el equivalente geoespacial de una red de datos que alimenta políticas públicas, economía digital y soberanía cartográfica. En este contexto, el siguiente paso es lograr su fortalecimiento integral mediante la incorporación de capacidades analíticas avanzadas, la publicación completa del acervo cartográfico institucional, la implementación de mecanismos de adquisición en línea, la segmentación de usuarios conforme a niveles diferenciados de acceso y la integración del pago electrónico.

2. Mercado mundial de geoinformación.

Las tendencias internacionales evidencian una transición estructural desde la comercialización de datos aislados hacia servicios geoespaciales digitales interoperables, centrados en analítica, integración y modelos recurrentes de suscripción.

En mercados consolidados, el valor económico ya no radica únicamente en el dato cartográfico, sino en su capacidad de procesamiento, actualización en tiempo real e integración con ecosistemas tecnológicos. Las empresas relacionadas con este ámbito han fortalecido esquemas Software as a Service (SaaS) donde el núcleo es la inteligencia geoespacial; Google monetiza geoinformación mediante la Interfaz de Programación de Aplicaciones (APIs) integradas en plataformas globales; Trimble Inc. combina hardware GNSS con servicios de corrección en tiempo real bajo modelos recurrentes y Maxar Technologies estructura su negocio en imágenes satelitales de alta resolución y análisis aplicado.

En el ámbito público, el Ordnance Survey (agencia cartográfica del Reino Unido) adoptó un modelo híbrido que libera datos fundamentales para fomentar innovación y

comercializa productos especializados para sectores estratégicos. En contraste, el mercado ecuatoriano presenta demanda creciente en planificación territorial, infraestructura, gestión ambiental y agricultura tecnificada, lo que evidencia una oportunidad crítica para evolucionar hacia servicios integrados que respondan a los estándares internacionales y a las exigencias de la economía digital contemporánea.

3. Cambios necesarios para reposicionar al IGM.

El reposicionamiento del IGM exige una transformación estructural orientada a consolidarlo como proveedor estratégico de infraestructura geoespacial digital, superando el enfoque centrado en productos y migrando hacia un modelo de servicios interoperables, escalables y transaccionales. En el contexto de la economía de datos y de los lineamientos internacionales promovidos por el United Nations Committee of Experts on Global Geospatial Information Management, la sostenibilidad institucional depende de su capacidad para integrarse a ecosistemas digitales nacionales e internacionales mediante estándares abiertos y servicios API.

En el ámbito tecnológico, es imprescindible transformar al geoportal institucional en una plataforma integral que permita acceso segmentado por perfiles de usuario, comercialización en línea, suscripciones, pagos electrónicos y provisión automatizada de datos y servicios analíticos. Lo mencionado implica fortalecer la infraestructura de servidores, adoptar arquitecturas interoperables, implementar mecanismos robustos de ciberseguridad y asegurar una actualización continua de bases cartográficas y geodésicas.

En el plano normativo y de gobernanza, se requiere consolidar políticas claras de datos abiertos para información base estratégica, combinadas con esquemas de monetización de productos de valor agregado. Este modelo híbrido permitiría fomentar innovación, investigación y desarrollo privado, sin comprometer la sostenibilidad financiera institucional.



Desde la perspectiva organizacional, se debe fortalecer capacidades en analítica avanzada, inteligencia territorial y modelos de negocio digitales, incorporando talento especializado en ciencia de datos, arquitectura de sistemas geoespaciales y gestión comercial tecnológica. La transformación no es únicamente técnica, sino cultural; se demanda una orientación al usuario, medición de desempeño basada en servicios y enfoque de mercado sin desnaturalizar su función pública.

No obstante, este proceso de modernización puede enfrentar condicionantes estructurales propias de la gestión pública. En el ámbito financiero-normativo, la incorporación de pagos en línea debe alinearse con las directrices nacionales de gobierno digital y con los sistemas oficiales de recaudación electrónica del Estado, lo que implica integración tecnológica, cumplimiento de estándares de seguridad y procedimientos administrativos que garanticen control fiscal y trazabilidad de los recursos.

De igual forma, la transición hacia modelos basados en servicios geoespaciales interoperables requiere avances progresivos en modernización tecnológica, actualización metodológica y fortalecimiento de la coordinación institucional en la gestión de datos territoriales. Estas condiciones forman parte de un proceso de evolución institucional que, adecuadamente gestionado, permitirá consolidar una infraestructura geoespacial digital robusta, alineada con estándares internacionales y con las demandas emergentes de la economía de datos territoriales.

4. Potencial mercado para el reposicionamiento y la expansión institucional.

El mercado geoespacial ecuatoriano presenta una oportunidad estratégica para el reposicionamiento del IGM como proveedor central de infraestructura de información territorial. La creciente demanda en planificación urbana, infraestructura vial, gestión ambiental, catastro, energía, telecomunicaciones y agricultura tecnificada evidencia que la geoinformación ya no es un insumo adicional, sino un componente crítico para la eficiencia productiva y la toma de decisiones basada en datos.

A nivel internacional, la transición hacia modelos digitales interoperables y servicios analíticos ha demostrado que el valor económico se concentra en la integración, actualización y explotación inteligente del dato, más que en su simple comercialización. Este escenario abre para la entidad un espacio de expansión hacia esquemas de suscripción, servicios especializados por sector, provisión de APIs institucionales y alianzas público-privadas orientadas a innovación territorial.

El mercado potencial no se encuentra limitado al sector público. Los gobiernos autónomos descentralizados, consultoras, constructoras, sector agrícola, aseguradoras y empresas tecnológicas requieren datos oficiales confiables, actualizados y con respaldo técnico estatal. La ausencia de una oferta digital integral genera vacíos que son cubiertos por proveedores privados nacionales o internacionales, lo que representa tanto una pérdida de posicionamiento institucional como de oportunidades de generación de ingresos sostenibles.

En este contexto, el fortalecimiento comercial y tecnológico institucional no responde únicamente a una aspiración, sino a una necesidad estratégica del Estado para consolidar soberanía cartográfica, reducir dependencia externa y dinamizar un mercado geoespacial nacional alineado con estándares internacionales.

CONCLUSIONES

- La geoinformación se ha consolidado como infraestructura estratégica en la economía digital, donde el valor se genera a través de servicios interoperables, analítica avanzada y modelos recurrentes de provisión. La experiencia internacional evidencia que la competitividad institucional depende de la transición desde la comercialización de productos hacia plataformas digitales integradas.
- El IGM ha alcanzado una madurez en modelos tradicionales y digitales iniciales, pero mantiene brechas en servicios geoespaciales plenamente integrados, limitando la interoperabilidad, monetización digital y posicionamiento



estratégico en el ecosistema tecnológico actual.

- El mercado nacional presenta una creciente demanda en sectores clave, configurando una oportunidad para fortalecer soberanía cartográfica, sostenibilidad institucional y eficiencia estatal. El reposicionamiento institucional exige una transformación tecnológica, organizacional y de modelo de negocio. Esta transformación permitirá consolidar a la institución como proveedor central de infraestructura geoespacial del Estado, alineado con estándares internacionales y con la economía de datos contemporánea.

BIBLIOGRAFÍA

- *International Cartographic Association.* (2019). *Definition of cartography.* <https://icaci.org/mission>
- *Open Geospatial Consortium.* (2023). *OGC standards and supporting documents.* <https://www.ogc.org/standards>
- *United Nations Committee of Experts on Global Geospatial Information Management.* (2023). *Future trends in geospatial information management (3rd ed.).* <https://ggim.un.org/meetings/GGIM-committee/13th-Session/documents/Future-Trends-Third-Edition.pdf>
- *World Bank.* (2018). *The power of data in development: Geospatial and digital transformation.* <https://www.worldbank.org/>





Masabanda, Juan Carlos.
juancarlos.masabanda@geograficomilitar.gob.ec

ESPECIES VALORADAS Y DOCUMENTOS DE SEGURIDAD COMO MECANISMOS DE PREVENCIÓN DE LA CORRUPCIÓN EN EL SECTOR PÚBLICO ECUATORIANO

VALUED INSTRUMENTS AND SECURITY DOCUMENTS AS CORRUPTION PREVENTION MECHANISMS IN THE ECUATORIAN PUBLIC SECTOR

RESUMEN

El presente artículo examina la seguridad documental del Instituto Geográfico Militar en la producción de especies valoradas y documentos de seguridad como mecanismo de prevención de la corrupción en el sector público ecuatoriano. Con un enfoque cualitativo basado en revisión normativa, análisis documental y evaluación de resultados institucionales, se examina la centralización productiva, la gestión de captación y la trazabilidad. Los resultados evidencian que la producción técnica especializada fortalece la integridad institucional, reduce riesgos documentales y protege los recursos públicos.

Palabras clave: documentos de seguridad, especies valoradas, prevención de la corrupción.

ABSTRACT

This article analyzes the role of the Military Geographic Institute in the production of valued instruments and security documents as a corruption prevention mechanism in Ecuador's public sector. Using a qualitative approach based on regulatory review and institutional analysis, it examines centralized production, outreach management, and traceability. Results show that specialized technical production strengthens institutional integrity, reduces documentary risks, and safeguards public resources.

Keywords: security documents, valued instruments, corruption prevention.

INTRODUCCIÓN

Se analiza el rol estratégico del Instituto Geográfico Militar (IGM) en la producción

de especies valoradas y documentos de seguridad dentro del sector público ecuatoriano. Estos instrumentos poseen valor económico y efectos jurídicos

convirtiéndose en componentes críticos del sistema administrativo estatal y, a la vez, en puntos sensibles frente a riesgos de falsificación, uso indebido o discrecionalidad administrativa.

La relevancia de este estudio radica en que la producción y gestión de especies valoradas y documentos de seguridad impactan directamente en la transparencia institucional y en la protección de los recursos públicos.

La ausencia de controles técnicos adecuados en estos documentos incrementa la vulnerabilidad documental y eleva el riesgo de irregularidades administrativas. Por el contrario, la centralización técnica y la producción especializada fortalecen los mecanismos de control, reducen espacios de discrecionalidad y contribuyen a la integridad institucional.

El análisis abarca una revisión de la normativa vigente, particularmente la reforma suscitada en el año 2025 a la Ley Orgánica del Sistema Nacional de Contratación Pública, así como el examen de información institucional correspondiente al período 2023-2025.

Este enfoque se complementa con información de entidades internacionales en el ámbito de gobernanza y contratación pública (OECD, 2020; World Bank, 2021; Transparency International, 2022), lo que permite contrastar la experiencia nacional con estándares internacionales.

La relación causa-efecto que estructura el estudio establece que la producción técnica especializada de especies valoradas y documentos de seguridad genera mayor control documental. Este control fortalece la trazabilidad y supervisión institucional, reduciendo las irregularidades y consolidando la integridad del sector público.

DESARROLLO

1. *Especies valoradas y documentos de seguridad en el sector público.*

Las especies valoradas y los documentos de seguridad son instrumentos oficiales que incorporan valor económico, numeración única y elementos técnicos de protección

como: sustratos especiales, tintas de seguridad, controles gráficos, entre otros.

El artículo 227 de la Constitución de la República del Ecuador (2008) establece que la administración pública se rige por principios de eficiencia, eficacia y transparencia. En el mismo sentido, el Código Orgánico Administrativo (2017) refuerza la seguridad jurídica como eje fundamental del accionar estatal. La ausencia de controles técnicos en la producción de especies valoradas y documentos de seguridad aumenta la vulnerabilidad documental.

Según Transparency International (2022), los entornos administrativos con débil trazabilidad presentan mayor exposición a riesgos de corrupción.

En este sentido, la Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2020) sostiene que la planificación estratégica y la estandarización técnica reducen espacios de discrecionalidad en la contratación pública.

2. *Marco normativo vigente.*

La Ley Orgánica Reformativa a la Ley Orgánica del Sistema Nacional de Contratación Pública publicada en el Cuarto Suplemento Nro. 140 del Registro Oficial de 07 de octubre de 2025, introduce la Disposición General Décima Primera referente a la contratación de trabajos de impresión de especies valoradas que establece:

“Los trabajos de impresión de especies valoradas o documentos con valor podrán ser contratados con el Instituto Geográfico Militar siempre que cuente con capacidad técnica y tecnológica para realizarlos. En caso contrario, la entidad requirente certificará este particular e iniciará el procedimiento correspondiente conforme la ley”.

De igual manera, en la Disposición Derogatoria Segunda se deroga el Decreto Legislativo N° 014 emitido por la Asamblea Nacional Constituyente el 10 de marzo de 1967.

Lo anteriormente mencionado, establece un nuevo escenario jurídico institucional (Gráfico 1).





Gráfico 1. Nuevo escenario jurídico institucional.

Fuente: Elaboración propia.

La norma refuerza el principio de especialidad técnica y la obligación institucional de sustentar su competencia operativa.

3. Gestión de captación y planificación contractual.

La Dirección de Difusión Geoespacial y Captación gestiona la articulación interinstitucional para la producción de especies valoradas y documentos de seguridad. Su responsabilidad se enfoca en planificar, ejecutar y controlar las actividades de vinculación interinstitucional, atención al cliente, captación y comercialización de productos y/o servicios generados por el IGM en el mercado nacional e internacional.

Sus principales actividades son la gestión de relaciones institucionales con entidades públicas, gobiernos autónomos descentralizados, organismos electorales, entre otros, así como la coordinación de procesos contractuales.

En el año 2025, se administraron aproximadamente doscientos contratos respecto a especies valoradas y documentos de seguridad. Uno de los aspectos a destacar es la planificación anticipada y estructurada respecto de los procesos de contratación (Gráfico 2), lo cual genera:

- Programación técnica de producción.

- Asignación controlada de rangos de numeración.
- Registro documental.
- Seguimiento contractual.
- Trazabilidad desde la impresión hasta la entrega final.

4. Ventas ejecutadas y sostenibilidad institucional (período 2023-2025).

La producción de especies valoradas y documentos de seguridad genera sostenibilidad financiera y capacidad tecnológica, reflejadas en las ventas ejecutadas por el IGM que incluyen los procesos electorales nacionales contratados por parte del Consejo Nacional Electoral (CNE) (Tabla 1).

Año	Ventas ejecutadas
2023	\$ 26 208 711,31
2024	\$ 37 875 087,86
2025	\$ 24 201 809,66
TOTAL	\$ 88 285 608,83

Tabla 1. Evolución de ventas ejecutadas (período 2023-2025).

Fuente: Elaboración propia.



Gráfico 2. Planificación de los procesos de contratación.

Fuente: Elaboración propia.



La variación de valores radica en los procesos electorales nacionales considerados como proyectos especiales, los cuales se han desarrollado de manera continua en los últimos años (Gráfico 3).

Los contratos más representativos durante los últimos tres años corresponden a los contratados con la Dirección General de Registro Civil, Identificación y Cedulación (DIGERCIC) y con el CNE. La primera institución contrata cédulas de identidad y pasaportes electrónicos, y la segunda contrata papeletas de votación y otros documentos electorales.

5. Seguridad integral en los procesos electorales nacionales.

La producción de especies valoradas y documentos de seguridad representa un proceso de contratación de alta sensibilidad institucional que implica:

a. Custodia militar permanente.

Control que garantiza la protección física de los insumos, maquinaria, documentos en proceso y productos terminados, reduciendo riesgos de acceso no autorizado, sustracción o manipulación indebida.

b. Instalaciones con videovigilancia.

Las áreas de producción y almacenamiento disponen de sistemas de videovigilancia continua para el monitoreo permanente de las actividades operativas.

Estos sistemas facilitan la supervisión de los procesos productivos y constituyen un mecanismo adicional de control y trazabilidad institucional.

Distribución de contratos ejecutados (período 2023-2025)

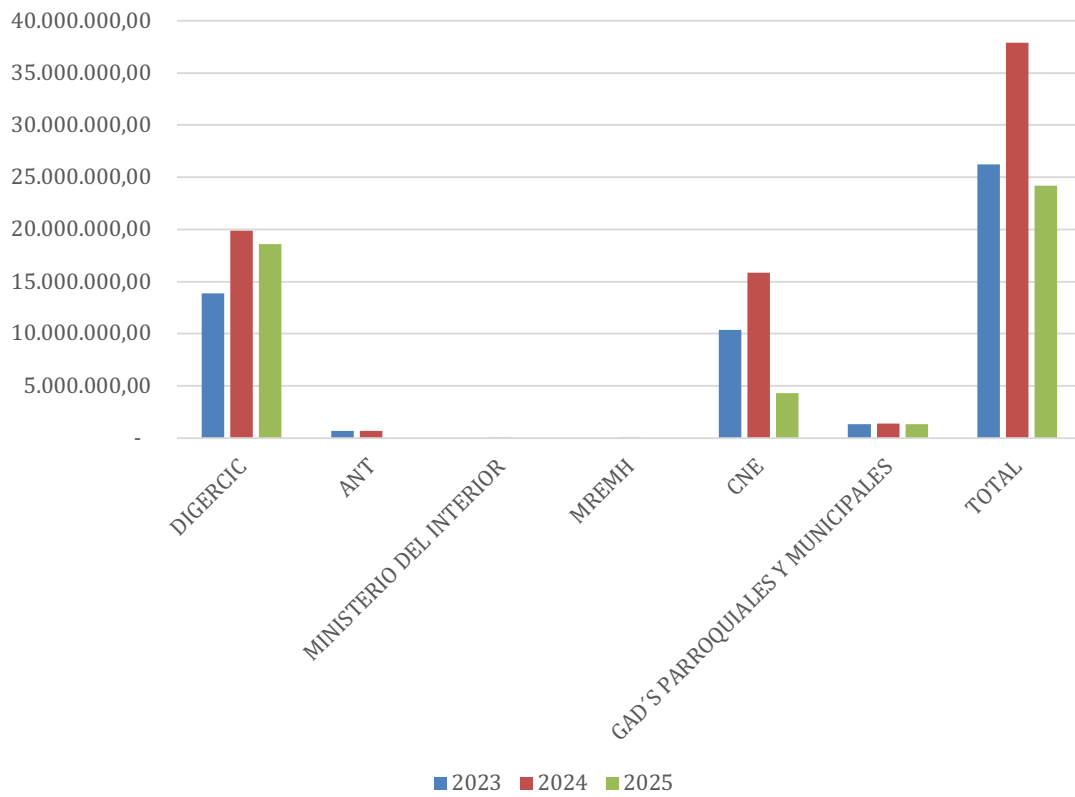


Gráfico 3. Distribución de contratos ejecutados (período 2023-2025).

Fuente: Elaboración propia.



c. Control de accesos restringidos.

El ingreso a las distintas áreas se encuentra limitado mediante sistemas de control para el acceso. Solamente personal autorizado ingresa, permitiendo preservar un entorno seguro para el manejo de la información y los materiales sensibles.

d. Personal técnico especializado.

Participación de personal técnico con formación especializada en artes gráficas, impresión de documentos de seguridad y manejo de protocolos para protección documental. El conocimiento técnico permite garantizar estándares de calidad, precisión y seguridad en cada etapa de producción.

e. Suscripción de acuerdos de confidencialidad.

El personal involucrado en el proceso productivo y en el manejo de información sensible suscribe acuerdos de confidencialidad que establecen responsabilidades respecto al uso y protección de datos, diseños y características técnicas de los documentos.

f. Papel de seguridad certificado.

El proceso productivo utiliza papel de seguridad con características técnicas especiales que dificultan su falsificación o reproducción no autorizada.

Este tipo de sustrato incorpora elementos como fibras de seguridad, marcas de agua u otros componentes que permiten verificar la autenticidad del documento.

g. Tintas especiales antifalsificación.

Empleo de tintas especiales que incorporan elementos de protección tales como tintas visibles bajo luz ultravioleta, tintas reactivas, microimpresiones, entre otras. Estos recursos técnicos fortalecen la autenticidad del documento y dificultan su reproducción ilícita.

h. Protección de artes y diseños.

Los diseños gráficos y artes son manejados bajo estrictos protocolos de seguridad. Se incluye la protección de archivos digitales, control de acceso y resguardo de los elementos gráficos que forman parte de la identidad visual de cada documento.

i. Resguardo de la trazabilidad del producto.

Finalizado el proceso de impresión, los documentos producidos son sometidos a controles de inventario, verificación y custodia hasta su entrega final a la empresa integradora o entidad asignada. Esto permite mantener la trazabilidad desde su producción hasta su distribución final. Esta cadena de seguridad física, tecnológica y administrativa fortalece la trazabilidad y reduce los riesgos de filtración o reproducción indebida (Gráfico 4). La International IDEA (2022) señala que la seguridad en la cadena de producción electoral es determinante para la integridad democrática.

6. Riesgos institucionales.

En el caso que la verificación técnica no sea ejecutada adecuadamente (Gráfico 5), se pueden generar los siguientes riesgos:



Gráfico 4. Proceso de trazabilidad de productos.

Fuente: Elaboración propia.





Gráfico 5. Riesgos de la verificación técnica inadecuada.

Fuente: Elaboración propia.

- Fragmentación productiva.
- Proveedores sin especialidad técnica.
- Debilidades en el control documental.

Los informes públicos institucionales generados por la Contraloría General del Estado (CGE) en el período 2020-2024 han evidenciado que las debilidades en el control documental podrían derivar en observaciones administrativas.

CONCLUSIONES

Las especies valoradas y documentos de seguridad constituyen mecanismos estructurales de prevención de la corrupción cuando su producción se desarrolla bajo esquemas técnicos especializados y centralizados.

En este sentido, la reforma realizada en el año 2025 a la Ley Orgánica del Sistema Nacional de Contratación Pública reconoce la contratación de este tipo de documentación con el IGM, condicionada a la verificación de su capacidad técnica y tecnológica, lo cual fortalece el principio de especialidad institucional.

Los datos estadísticos de los contratos ejecutados en el período 2023-2025 demuestran la capacidad operativa, sostenibilidad financiera y participación institucional en procesos de alta sensibilidad nacional.

En virtud de lo mencionado, el IGM se consolida como un actor estratégico en

la producción de especies valoradas y documentos de seguridad, contribuyendo directamente a la integridad del sector público ecuatoriano.

BIBLIOGRAFÍA

- Contraloría General del Estado. (2020–2024). *Informes públicos institucionales*.
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). Registro Oficial No. 449, 20 de octubre de 2008.
- International Institute for Democracy and Electoral Assistance. (2022). *Electoral integrity and security standards*. International IDEA.
- Ley Orgánica Reformatoria a la Ley Orgánica del Sistema Nacional de Contratación Pública. (2025). Registro Oficial, Cuarto Suplemento No. 140, 7 de octubre de 2025.
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2020). *Preventing corruption in public procurement*. OECD Publishing.
- Transparency International. (2021). *Global corruption report*. Transparency International.
- Transparency International. (2022). *Corruption risks in public administration*. Transparency International.
- World Bank. (2021). *Enhancing government effectiveness and transparency*. World Bank.



Carrión, José.
jose.carrion@geograficomilitar.gob.ec

Rodríguez, Freddy.
freddy.rodriguez@geograficomilitar.gob.ec

Flores, Fredy.
fredy.flores@geograficomilitar.gob.ec

Álvarez, David.
david.alvarez@geograficomilitar.gob.ec

Eraza, Víctor.
victor.eraza@geograficomilitar.gob.ec



INSTITUTO
GEOGRÁFICO
MILITAR



ESTABLECIMIENTO DEL MARCO DE REFERENCIA GEODÉSICO VERTICAL DE ECUADOR

ESTABLISHMENT OF ECUADOR'S VERTICAL GEODETIC REFERENCE FRAME

RESUMEN

La Red de Control Vertical de Ecuador materializa la componente vertical del Marco de Referencia Geodésico Nacional. La observación de desniveles geométricos y gravedad sobre esta red posibilita el cálculo de números geopotenciales para la obtención de alturas físicas. Este trabajo detalla el procedimiento empleado para su compensación mediante el método de mínimos cuadrados de los errores de las observaciones geodésicas intrínsecas al cálculo de desniveles y números geopotenciales. El Marco de Referencia Geodésico Vertical se establece con base en la determinación de números geopotenciales y alturas físicas ajustadas en las marcas geodésicas que conforman la Red de Control Vertical de Ecuador.

Palabras clave: alturas normales, Marco de Referencia Geodésico Vertical, números geopotenciales, Red de Control Vertical de Ecuador.

INTRODUCCIÓN

La Red de Control Vertical de Ecuador (RCVE) materializa el Sistema de Referencia

ABSTRACT

The Ecuador Vertical Control Network embodies the vertical component of the National Geodetic Reference Framework. The observation of geometric height differences and gravity within this network facilitates the calculation of geopotential numbers, which are essential for deriving physical heights. This article delineates the methodology employed for the least squares adjustment of the intrinsic geodetic observation errors involved in the computation of height differences and geopotential numbers. The Vertical Geodetic Reference Framework is constructed based on the determination of geopotential numbers and the adjusted physical heights at the geodetic marks constituting the Ecuador Vertical Control Network.

Keywords: normal heights, Vertical Geodetic Reference Frame, geopotential numbers, Ecuadorian Vertical Control Network.

Vertical (SRV) mediante la propagación de las diferencias de elevación desde el mareógrafo de La Libertad (Datum Vertical Ecuatoriano - DVE) para determinar alturas.



La implementación de un SRV facilita, entre otras aplicaciones, la ejecución de proyectos de ingeniería y la creación de cartografía utilizando una referencia vertical oficial para representar la componente vertical del territorio.

El Instituto Geográfico Militar (IGM) ha determinado alturas niveladas en Ecuador mediante nivelación trigonométrica y geométrica desde los años 70. En adelante, el IGM ha trabajado en mantener y establecer puntos de referencia a nivel nacional. Las actividades para establecer la RCVE se han llevado a cabo conforme a las directrices de la Asociación Internacional de Geodesia (IAG) y bajo la supervisión del Grupo de Trabajo III del Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS).

Estas directrices abordan aspectos relacionados con las precisiones mínimas requeridas, parámetros, estándares, métodos de cálculo, el Sistema de Referencia Geodésico (SRG), el Sistema de Marea Permanente, el Sistema de Referencia Gravimétrica (SRGr) y la implementación del Datum Vertical. Sin embargo, es fundamental tener en cuenta que estas directrices y recomendaciones deben adaptarse a las condiciones específicas de cada país.

Dado que las alturas niveladas son el insumo fundamental, pero no el resultado final en la determinación de la componente vertical de un Marco de Referencia Geodésico (MRG), es crucial señalar que una vez determinadas las alturas niveladas, se debe realizar una serie de procedimientos, cálculos y observaciones adicionales.

Según la teoría de errores, incluso con precauciones y cuidados especiales en las observaciones geodésicas, estas mediciones siempre están sujetas a errores de medición causados por imperfecciones del equipo, errores humanos, condiciones ambientales y otros factores. Estos errores se clasifican en errores groseros, sistemáticos y accidentales (aleatorios) (Dalmolin, 2010). Según Gemael et al. (2015), es prácticamente imposible determinar el valor real de cualquier observación geodésica. Las observaciones, incluso cuando se repiten en condiciones supuestamente idénticas, siempre vienen

acompañadas de “errores de medición inevitables” que pueden atribuirse a errores humanos, imperfecciones del equipo o influencia de las condiciones ambientales. El ajuste de observaciones es una rama de las matemáticas aplicadas que busca una solución única a problemas donde las observaciones (mediciones) son redundantes y el sistema de ecuaciones es inconsistente. La inconsistencia del sistema surge de fluctuaciones probabilísticas en las observaciones, causando que un subconjunto de datos produzca valores diferentes a otro.

El método de mínimos cuadrados (MMC), desarrollado independientemente por Gauss (1795) y Legendre (1805), resuelve estos problemas generando valores para las incógnitas y estimando su precisión.

Este estudio describe el procedimiento empleado para la compensación de errores en la RCVE. La red se ajustó para compensar los errores aleatorios inherentes a las observaciones geodésicas y así obtener alturas normales basadas en los valores geopotenciales ajustados.

La RCVE se establece mediante puntos de referencia instalados aproximadamente cada 1,5 km a lo largo de las principales carreteras del país (Figura 1). Dado que la distribución de las referencias de nivel (puntos de nivelación) depende de la red vial, la mayoría de las líneas de nivelación se encuentran en las regiones costeras y montañosas. En contraste, la región amazónica cuenta con una red vial más dispersa, debido a las grandes áreas destinadas a la conservación y cubiertas de vegetación nativa.

Desde su origen la red se basa en registros de la estación mareográfica ubicada en el puerto de La Libertad. Esta estación fue fundada en 1948 por el IGM, con la asesoría y colaboración del Estudio Geodésico Interamericano (EGI). En 1970, las responsabilidades de administración y mantenimiento de la estación mareográfica fueron transferidas al entonces Servicio Hidrográfico de Faros y Boyas, actualmente conocido como el Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada (INOCAR) (Paredes, 1986).





Figura 1. Red de Control Vertical.

Fuente: Elaboración propia.

La base de datos de la RCVE, excluyendo los registros históricos, incluye datos de observaciones gravimétricas, nivelaciones geométricas y posicionamiento GNSS. Estos datos han sido recopilados en las últimas dos décadas mediante campañas geodésicas realizadas por la Dirección Cartográfica del IGM. Dado que las observaciones geodésicas necesarias para establecer la Red de Control Vertical (RCV) se realizan en puntos de

referencia instalados aproximadamente cada 1.5 km, los cuales cubren una parte de las principales rutas de transporte del país y que estas observaciones se actualizan de forma regular, el volumen de datos en la base es considerable.

La Tabla 1. presenta las principales características de la estructura de la RCV.



Parámetro	Descripción
Circuitos de nivelación	19
Líneas de nivelación	53
Puntos nodales	35
Referencias de nivel	4 215
Kilómetros de nivelación	6 507
Tolerancia de cierre	2 mm \sqrt{k}
Altura nivelada máxima	4 390,067 m
Datum Vertical	Mareógrafo de La Libertad

Tabla 1. Principales características actuales de la Red de Control Vertical.

Fuente: Elaboración propia.

DESARROLLO

1. El método de mínimos cuadrados (MMC).

Los errores en las observaciones geodésicas obedecen a las leyes de la probabilidad; es decir, siguen una distribución normal, por lo tanto, deben ajustarse de tal manera que sigan estas leyes matemáticas. Aunque la media se ha utilizado ampliamente a lo largo de la historia, los primeros trabajos sobre mínimos cuadrados comenzaron a finales del siglo XVIII. Su primera aplicación fue principalmente para el ajuste de observaciones celestes.

Laplace investigó el tema por primera vez y sentó sus bases en 1774. El primer artículo publicado sobre el tema, titulado "Méthode des moindres quarrés" (MMC), fue escrito en 1805 por Legendre. Sin embargo, es bien sabido que aunque Gauss no publicó hasta 1809, desarrolló y utilizó el método ampliamente como estudiante en la Universidad de Göttingen a partir de 1794 y, por lo tanto, se le da crédito por el desarrollo de la temática (Ghilani, 2010).

La aplicación del MMC para ajuste de observaciones tiene sentido solamente cuando se dispone de observaciones abundantes o superabundantes (Dalmolin, 2010). Con el MMC se estiman las variables incógnitas X (parámetros) y su precisión \sum_x , a partir de observaciones (L_b) con precisión \sum_{L_b} :

Dados: L_b y $\sum_{L_b} \Rightarrow$ estimar X y \sum_x

2. El principio del Método de Mínimos Cuadrados (MMC).

Considerando el sistema de ecuaciones lineales:

$$AX=L \quad (1)$$

Donde A (de tamaño $n \times u$) corresponde a la matriz de coeficientes, X (de tamaño u) el vector de los parámetros o incógnitas y L (de tamaño n) el vector de los términos conocidos. Considere ahora que los elementos de L fueron obtenidos mediante medidas u observaciones, y por tanto están afectados por fluctuaciones aleatorias (Dalmolin, 2010).

En este caso: $L = L_b$

Y la expresión (1) para este caso es escrita como (2):

$$AX=L_b \quad (2)$$

La discrepancia entre L (valor final) y L_b (valor medido) es conocida como residuo (V):

$$V=L-L_b \quad (3)$$

De tal forma que si este residuo fuese conocido, las observaciones podrían ser corregidas de acuerdo a (4):



$$L=L_b+V \quad (4)$$

Obteniendo, a partir de la ecuación (2) el sistema consistente (5):

$$AX=L_b+V \quad (5)$$

Con:

$$AX=L_a \quad (6)$$

Siendo L_a el vector de observaciones ajustadas.

El sistema de la ecuación (5) tiene a diferencia del sistema de la ecuación (2), (u + n) incógnitas. De esta forma este sistema tiene más incógnitas (u + n) que ecuaciones (n), aumentándose una incógnita (residuo) por cada ecuación del sistema.

El principio del MMC establece que “la suma de los cuadrados de los residuos sea mínima” (7):

$$\Phi=V^T V=\min \quad (7)$$

$$\Phi=V^T P V=\min \quad (8)$$

Donde V es el vector de los residuos y P es una matriz simétrica de los pesos dada por (9):

$$P=(\sigma_0)^2 \Sigma_L^{-1} \quad (9)$$

Donde $(\sigma_0)^2$ es la varianza de la unidad de peso (un escalar normalmente 1) y Σ_L^{-1} es la matriz varianza-covarianza de las observaciones.

a. Interpolación gravimétrica.

Teniendo en cuenta que no todas las referencias de nivel están correlacionadas con observaciones gravimétricas (744 de 4 215, lo que representa que un 17,7 % no dispone de valores de gravedad), es imperativo asignarles valores de gravedad mediante interpolación utilizando los datos gravimétricos. Además, cabe señalar que los registros identificados como valores atípicos (202 registros) también son reemplazados por valores interpolados; por lo tanto, un total de 946 valores requieren interpolación. Los cálculos para la predicción de la gravedad se realizan mediante el método de colocación por mínimos cuadrados y utilizando el programa PREDGRAV, que utiliza los 50 puntos más cercanos a la ubicación del objetivo para la interpolación. Alternativamente, si este método no es factible, se consideran todos los puntos dentro de un radio de 100 km. Una vez que las anomalías de gravedad de Bouguer han sido interpoladas en los puntos de interés, se convierten en valores de gravedad mediante el cálculo inverso.

$$\bar{g}_{obs} = \Delta \bar{g}_B - C_{AL} + C_B + \gamma \quad (10)$$

Luego de realizar la interpolación, los valores de gravedad están disponibles para todos los puntos de nivelación de la RCVE (4 192). Con la finalidad de validar los valores de gravedad interpolados y evaluar la eficacia del método de predicción de variables, los valores interpolados se compararon con las anomalías del Modelo Global de Geopotencial (GGM) XGM2019e. Los resultados estadísticos de este análisis se presentan en la Tabla 2.

Parámetro	Descripción
Número de registros	946
Desviación estándar (mGal)	35,4767
Media (mGal)	-2,8986
Max. (mGal)	60,7014
Min. (mGal)	-115,2978
Correlación (Δg_{interp} Vs. $\Delta g_{XGM2019e}$)	0,9324

Tabla 2. Estadísticas para las diferencias $\Delta g_{interp} - \Delta g_{XGM2019e}$.

Fuente: Elaboración propia.



b. Números geopotenciales.

Considerando las diferencias de altura no ajustadas (dH) entre los puntos de nivelación de la RCV y los valores de gravedad correspondientes a cada referencia, ya sean observados o interpolados, resulta factible calcular las diferencias de geopotencial (dC). El cálculo de las diferencias de geopotencial se realiza de acuerdo con la siguiente expresión:

$$dC_{AB} = (g_A + g_1)/2 \, dH_{A1} + (g_1 + g_2)/2 \, dH_{12} + (g_2 + g_n)/2 \, dH_{2n} + (g_n + g_B)/2 \, dH_{nB} \quad (11)$$

Las diferencias de geopotencial entre nodos para cada línea de nivel se calculan utilizando sus respectivas desviaciones estándar (σ , precisiones). El programa NUMGEO POT calcula los números geopotenciales y las precisiones estimadas basándose en métodos de propagación de errores (Sánchez & Drewes, 2022).

c. Ajuste de la Red de Control Vertical en función de los números geopotenciales.

La realización de levantamientos geodésicos que incluyan observaciones gravimétricas y nivelaciones geométricas, los cuales se densifican para la RCV, facilita la determinación de diferencias de elevación y números geopotenciales. Este proceso permite posteriormente corregir los errores inherentes a las observaciones geodésicas mediante la aplicación del método de mínimos cuadrados.

- *Ajuste de nodos (red).*

En la fase inicial del ajuste de la RCV, los números geopotenciales se compensan para cada uno de los puntos nodales utilizando el método paramétrico. Este ajuste se fundamenta en las diferencias de geopotencial calculadas para cada línea de nivelación, específicamente las diferencias entre los puntos nodales. El ajuste de la red respecto a los números geopotenciales en los puntos nodales se realiza empleando el programa COMPNGP (Sánchez & Drewes, 2022).

Las alturas normales (12) se calculan utilizando los números geopotenciales ajustados (C) y el valor medio de la gravedad teórica (γ_m), determinado a lo largo de la línea normal que conecta el geoide y el elipsoide (Heiskanen & Moritz, 1967; Torge & Müller, 2012).

$$H^N = C/\gamma_m = 1/H^N \int_0^{H^N} \gamma dH^N \quad (12)$$

- *Ajuste de líneas (interno).*

La segunda fase de ajuste de la RCV consiste en compensar los vértices internos de cada línea según los números geopotenciales ajustados para cada punto nodal.

En consecuencia, este ajuste proporciona los números geopotenciales, las alturas normales y sus respectivas precisiones para cada referencia de nivel. Además, este procedimiento se realiza utilizando el software COMPNGP (Sánchez & Drewes, 2022), empleando específicamente el módulo de ajuste de líneas.

La compensación de líneas se realiza mediante el método paramétrico para ajustar los números geopotenciales de los vértices internos de cada línea, mientras que los números geopotenciales de los nodos ajustados previamente durante la fase de ajuste de la red se mantienen.

La Figura 2 presenta la distribución de la precisión de las alturas normales ajustadas de los puntos de referencia dentro de la RCV.

La Tabla 3 enumera las precisiones de los números geopotenciales ajustados para los vértices internos de las líneas de nivelación que oscilan entre 0,28 y 0,70 m^2/s^2 , con valores promedio cercanos a 0,42 m^2/s^2 . En consecuencia, las precisiones de las alturas normales ajustadas varían entre 3 y 7 cm, con valores promedio aproximados a 4 cm.



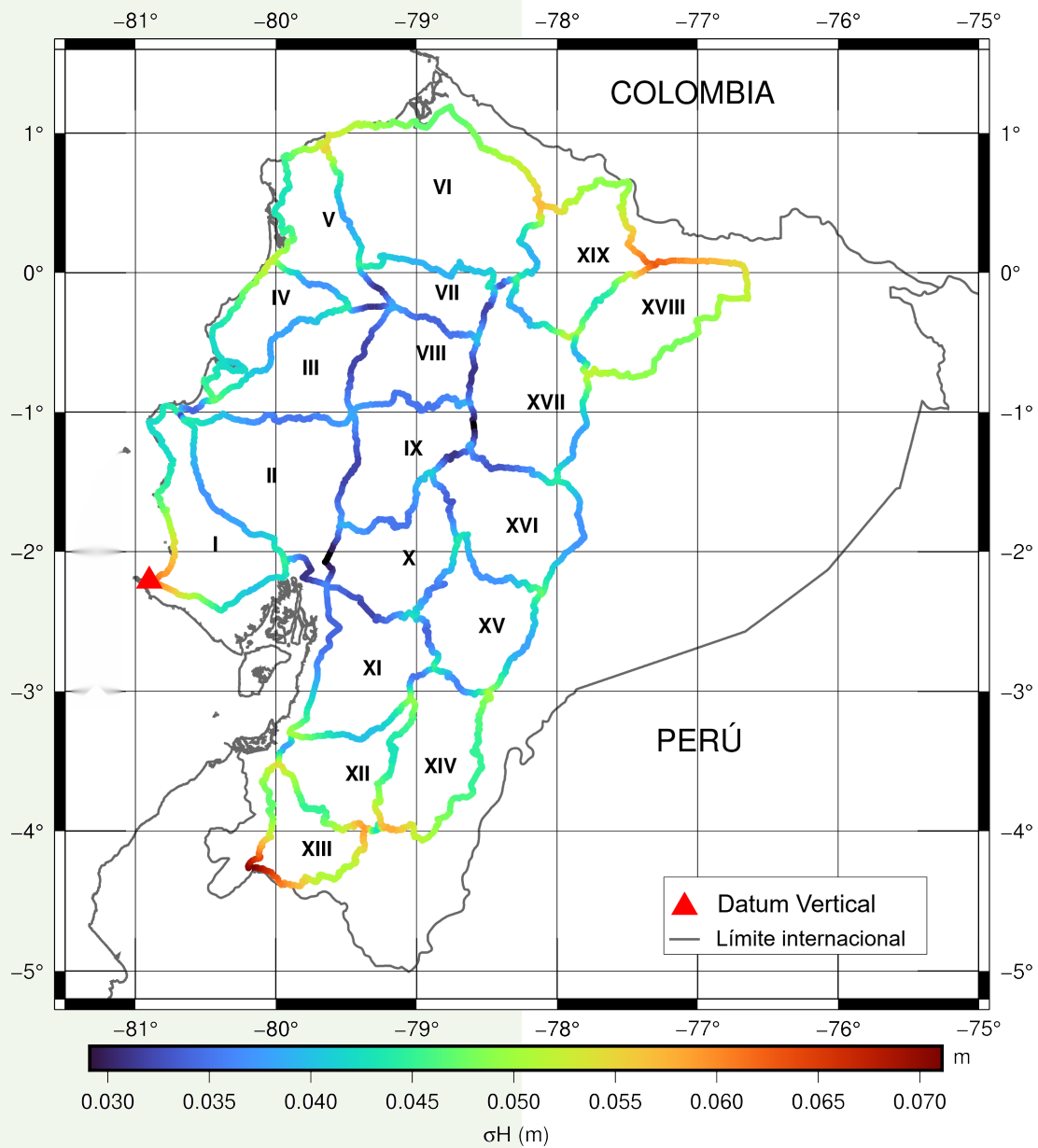


Figura 2. Precisiones para las alturas normales ajustadas de las referencias de nivel.

Fuente: Elaboración propia.

	σ_C (m^2/s^2)	σ_{H_N} (m)
Max.	0,7030	0,0719
Min.	0,2850	0,0291
Media	0,4233	0,0433
Número de referencias de nivel	4 191	

Tabla 3. Precisiones de los números geopotenciales y alturas normales para las referencias de nivel.

Fuente: Elaboración propia.



Tras el ajuste de la red y las líneas de nivelación, y una vez disponibles los números geopotenciales para todos los puntos de referencia que componen la RCV, se realiza el cálculo de las alturas normales ajustadas. La Figura 3 muestra la distribución de las alturas normales ajustadas para todas las referencias de nivel.

Tras el ajuste de la RCV y el cálculo de las alturas normales basadas en los números geopotenciales ajustados, los errores de cierre calculados como la suma de las diferencias de alturas

normales en cada circuito de nivelación se minimizan.

RESULTADOS

El proceso de compensación de la red se llevó a cabo utilizando diferencias de alturas niveladas para obtener alturas niveladas ajustadas, y diferencias de geopotencial para determinar alturas normales ajustadas. Se tuvo en cuenta la arquitectura existente de la RCVE para este análisis. Un total de 4 215 puntos de nivelación están distribuidos en

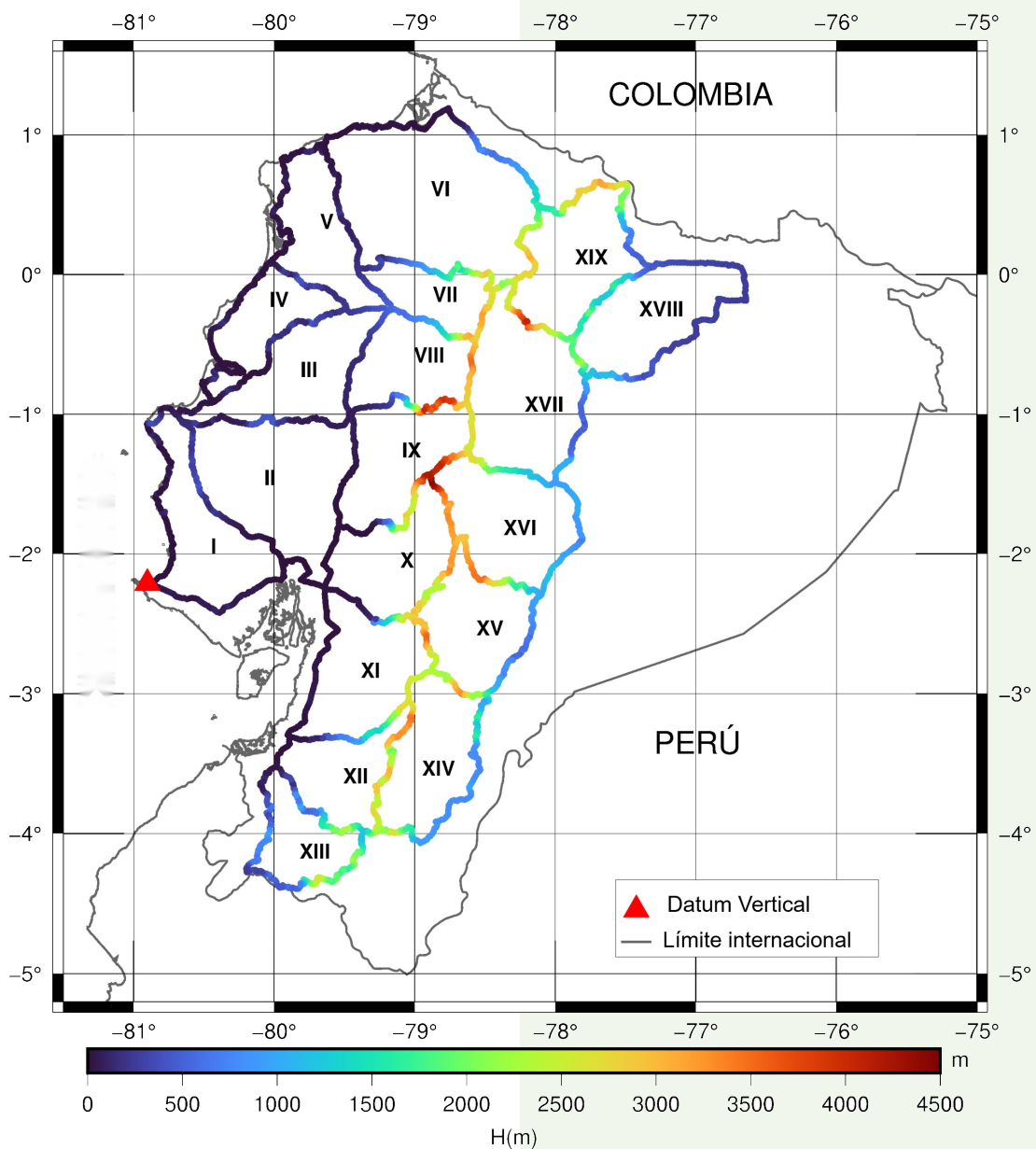


Figura 3. Alturas normales ajustadas de las referencias de nivel.

Fuente: Elaboración propia.



53 líneas de nivelación, que posteriormente conforman 19 circuitos (Tabla 1).

Las alturas de la RCVE están referidas al datum vertical local de La Libertad. Actualmente, el IGM está realizando campañas de densificación gravimétrica en la región adyacente a la estación, la cual será considerada a futuro como el nuevo datum vertical vinculado al Marco de Referencia de Altura Internacional (IHRF). Tras el establecimiento del nuevo datum, las alturas niveladas y las diferencias de geopotencial de la RCVE deberán ser recalculadas para garantizar que las alturas derivadas de ellas estén referidas al datum vertical global IHRF.

De acuerdo con los estándares establecidos por SIRGAS a través de la IAG en relación con la implementación de un Sistema de Referencia Vertical Global, las alturas derivadas para la RCVE deben basarse en el cálculo de números de potencial y estar vinculadas a un datum vertical global. Este datum se materializa mediante una superficie geopotencial con valor $W_0 = 62\,636\,853,4 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ (Ihde et al., 2017).

Por lo tanto, el Sistema de Referencia Vertical de Ecuador (SVRE) debe adaptarse a los principios establecidos por la IAG y difundidos en toda Sudamérica a través de SIRGAS. En consecuencia, el establecimiento del datum vertical para el RCVE debería basarse en el cálculo del potencial (W_{0i}) en una o varias estaciones fundamentales (estaciones IHRF). Como resultado, el nivel medio del mar (nmm) en la estación de mareógrafo en La Libertad ya no servirá como referencia fundamental para la determinación de alturas en territorio ecuatoriano.

La progresión hacia la implementación de un datum vertical global ha impulsado a numerosas naciones a iniciar esfuerzos destinados a establecer estaciones de referencia asociadas con el Datum Vertical Global (estaciones IHRF), centrándose principalmente en el cálculo de la discrepancia $\delta W = W_0 - W_{0i}$. Dentro del marco de SIRGAS, los países miembros han llevado a cabo actividades para establecer un sistema de referencia de alturas con características físicas correlacionadas con un Datum Vertical Global. Estas iniciativas se

concentran actualmente principalmente en identificar las ubicaciones óptimas para las estaciones fundamentales y en la posterior determinación del geopotencial en dichas estaciones.

Ecuador, a través de iniciativas de la Dirección Cartográfica del IGM, busca adoptar un nuevo datum vertical correlacionado con el DVG establecido para el IHRF (W_0). Para ello, se han realizado campañas para llevar a cabo levantamientos gravimétricos con el fin de densificar la región del IHRF.

Desde 2019, el IGM ha llevado a cabo campañas gravimétricas como parte del proceso de densificación gravimétrica para la adopción del nuevo datum vertical. Se debe destacar que, además de los datos recopilados durante estas campañas, ya existía una base de datos gravimétrica establecida en el marco de otros proyectos. En consecuencia, para el 2025 se han acumulado un total de 4 569 registros de gravedad en la región del IHRF; sin embargo, aún son insuficientes para calcular el geopotencial en la estación fundamental RIOP (estación IHRF).

Los vacíos de datos gravimétricos se sitúan principalmente en la región montañosa y en la cuenca del Amazonas. Estas deficiencias corresponden a áreas de difícil acceso debido a una infraestructura vial insuficiente, zonas protegidas, densidad forestal y otros factores.

Para mejorar la distribución espacial y la cantidad de datos gravimétricos necesarios para los cálculos relacionados con la adopción del nuevo datum geodésico, es imprescindible continuar con campañas de densificación gravimétrica y, en última instancia, emplear métodos de aerogravimetría.

La aerogravimetría permitiría coleccionar un gran volumen de registros gravimétricos en la totalidad de la región contigua a la estación IHRF, o incluso en todo el territorio nacional, lo que permitiría contar con una distribución espacial adecuada y eliminando las regiones con grandes vacíos de información gravimétrica. Los registros gravimétricos, colectados desde un sensor aerotransportado, presentan errores de omisión propios de la técnica lo cual hace que tengan exactitudes inferiores a la observación



gravimétrica in situ. No obstante, estos registros complementan a los levantamientos gravimétricos terrestres, con el fin de contar con información gravimétrica suficiente y adecuadamente distribuida para el cálculo del geopotencial en la estación IHRF (nuevo datum vertical).

El ajuste de la red se ha realizado utilizando el método paramétrico, considerando de manera integral dos etapas: el ajuste de la red destinado a compensar las discrepancias de elevación entre los puntos nodales y el ajuste de línea para tener en cuenta las elevaciones distribuidas internamente entre las referencias de nivelación de cada línea de nivelación.

CONCLUSIONES

- El ajuste de la RCVE se realiza mediante el método paramétrico y permite distribuir los errores aleatorios a lo largo de la red con el objetivo de garantizar la coherencia entre las alturas niveladas, normales y ortométricas, reduciendo así los errores de cierre en los circuitos de nivelación.
- La interpolación gravimétrica se realiza en 946 puntos de referencia con una precisión media de 16,07 mGal.
- En cuanto a las alturas niveladas, las alturas de los nodos (ajuste de red) se ajustan con una precisión media de aproximadamente 6 cm, mientras que el ajuste de línea registra una precisión media de 2 cm. Para las alturas físicas, se documenta una precisión de ajuste media de unos 4 cm, aplicable tanto al ajuste de red como al ajuste interno o de línea.
- Actualmente, las alturas niveladas, normales y ortométricas se refieren al datum vertical local La Libertad; sin embargo, los objetivos futuros incluyen enlazar el RCVE con el datum vertical global W0 mediante el establecimiento de la estación RIOP como parte de la red IHRF. Para ello, el IGM realiza campañas de densificación gravimétrica en las inmediaciones de esta estación, con el fin de determinar el geopotencial local (WP) cuando la cantidad y la distribución de datos gravimétricos sean suficientes.
- El IGM lleva a cabo regularmente campañas de gravimetría y nivelación geométrica para mantener la integridad del RCVE, recuperar hitos destruidos y obtener registros gravimétricos para referencias de nivel que carecen de datos de gravedad.
- Se espera que la recopilación continua de nuevos datos de campo (nivelación geométrica y gravimetría) facilite futuros ajustes periódicos del RCVE, actualizando así los valores de las alturas ajustadas.

BIBLIOGRAFÍA

- Dalmolin, Q. (2010). *Ajustamento por mínimos cuadrados* (3.^a ed.). Imprensa Universitária UFPR.
- Gemael, C., Muriel, Á., & Wandresen, R. (2015). *Introdução ao ajustamento de observações: Aplicações geodésicas* (2.^a ed.). Editora UFPR.
- Ghilani, C. D. (2010). *Adjustment computations: Spatial data analysis* (5th ed.). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470586266>
- Heiskanen, W. A., & Moritz, H. (1967). *Physical geodesy*. W. H. Freeman.
- Ihde, J., Sánchez, L., Barzaghi, R., Drewes, H., Foerste, C., Gruber, T., Liebsch, G., Marti, U., Pail, R., & Sideris, M. (2017). *Definition and proposed realization of the International Height Reference System (IHR)*. *Surveys in Geophysics*, 38, 549–570. <https://doi.org/10.1007/s10712-017-9409-3>
- Paredes, N. (1986). *Determinación del datum vertical en La Libertad, Ecuador*.
- Sánchez, L., & Drewes, H. (2022). *Taller sistema de referencia vertical: NUMGEOPOT program*. SIRGAS.
- Torge, W., & Müller, J. (2012). *Geodesy* (4th ed.). De Gru





Cisneros, David.
david.cisneros@geograficomilitar.gob.ec

Torres, Marcelo.
marcelo.torres@geograficomilitar.gob.ec

IGM, 30 AÑOS DE GEODESIA SATELITAL. MARCO DE REFERENCIA GEODÉSICO SIRGAS ECUADOR ITRF2020, CAMPO DE VELOCIDADES VEC_EC 2025

*IGM, 30 YEARS OF SATELLITE GEODESY. SIRGAS ECUADOR ITRF2020 GEODETIC
REFERENCE FRAME, VEC_EC 2025 VELOCITY FIELD*

RESUMEN

En Ecuador, las primeras actividades de geodesia satelital basadas en el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) iniciaron a comienzos de la década de 1990, en el marco del proyecto Central and South America GPS Geodesy (CASA) (Kellogg & Dixon, 1990). Posteriormente, el IGM participó en 1994 en las campañas iniciales del proyecto SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para América del Sur), actualmente denominado Sistema de Referencia Geodésico para las Américas (SIRGAS, 2021), consolidando su integración al marco de referencia geocéntrico regional. Durante las últimas tres décadas, el IGM ha desarrollado y fortalecido de manera continua las actividades geodésicas, basándose en el procesamiento de señales enviadas por los satélites artificiales que forman parte de las distintas constelaciones del Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) para la determinación con alta precisión de coordenadas oficiales vinculadas al Marco de Referencia Geodésico Nacional, así como sus variaciones asociadas a la geodinámica local. La geodesia satelital

ABSTRACT

In Ecuador, the first satellite geodesy activities based on the Global Positioning System (GPS) began in the early 1990s, within the framework of the Central and South America GPS Geodesy (CASA) project (Kellogg & Dixon, 1990). Subsequently, in 1994, the IGM (National Geographic Institute) participated in the initial campaigns of the SIRGAS project (Geocentric Reference System for South America), now called the Geodetic Reference System for the Americas (SIRGAS, 2021), consolidating its integration into the regional geocentric reference frame. Over the last three decades, the IGM has continuously developed and strengthened its geodetic activities, based on the processing of signals sent by artificial satellites belonging to the various constellations of the Global Navigation Satellite System (GNSS) for the highly accurate determination of official coordinates linked to the National Geodetic Reference Frame, as well as their variations associated with local geodynamics. Satellite geodesy currently forms the scientific and technical basis for Ecuador's official georeferencing system, supporting strategic applications in cartography, infrastructure,



constituye actualmente la base científica y técnica para la realización del sistema de georreferencia oficial del Ecuador, sustentando aplicaciones estratégicas en cartografía, infraestructura, catastro, ordenamiento territorial, gestión de riesgos y estudios geodinámicos. Entre los principales hitos alcanzados destacan: la implementación de la Red Nacional GPS del Ecuador (RENAGE, red pasiva) y la Red GNSS de Monitoreo Continuo (REGME, red activa), concebidas como las plataformas fundamentales de referencia geodésica del país. Estas acciones han permitido la modernización progresiva del sistema geodésico nacional, alineándolo con los estándares internacionales vigentes. Asimismo, mediante campañas GNSS multitemporales y procesamiento científico de alta precisión, el IGM ha materializado la nueva realización del Marco de Referencia Geodésico SIRGAS Ecuador alineado al ITRF2020, junto con su componente cinemático representado en el campo de velocidades VEC_EC 2025. Este producto constituye un insumo esencial para modelar el movimiento cortical, la transformación de coordenadas en diferentes épocas y para todas las aplicaciones geoespaciales que requieren consistencia espacio-temporal a nivel nacional y regional.

Palabras clave: ITRF, GNSS, GPS, REGME, RENAGE, SIRGAS.

INTRODUCCIÓN

La geodesia satelital constituye el marco conceptual y tecnológico para la determinación precisa de la geometría, orientación, campo de gravedad y variaciones temporales de la Tierra mediante observaciones espaciales. En particular, los Sistemas Globales de Navegación por Satélite (GNSS) han permitido la materialización de marcos de referencia geocéntricos tridimensionales con exactitudes milimétricas, fundamentales para la definición del International Terrestrial Reference Frame (ITRF) y su mantenimiento por el International Earth Rotation and Reference Systems Service (IERS) (Altamimi et al., 2016; Hofmann-Wellenhof et al., 2008; Seeber, 2003). La estimación simultánea de

cadastre, land-use planning, risk management, and geodynamic studies. Key achievements include the implementation of Ecuador's National GPS Network (RENAGE, a passive network) and the Continuous Monitoring GNSS Network (REGME, an active network), conceived as the country's fundamental geodetic reference platforms. These initiatives have enabled the progressive modernization of the national geodetic system, aligning it with current international standards. Furthermore, through multi-temporal GNSS campaigns and high-precision scientific processing, the IGM has materialized the new realization of the SIRGAS Ecuador Geodetic Reference Frame aligned to ITRF2020, along with its kinematic component represented in the VEC_EC 2025 Velocity Field. This product constitutes an essential input for modeling crustal motion, coordinate transformation in different epochs, and for all geospatial applications that require spatio-temporal consistency at the national and regional levels.

Keywords: ITRF, GNSS, GPS, REGME, RENAGE, SIRGAS.

coordenadas y velocidades a partir de series temporales GNSS ha consolidado un enfoque dinámico de los sistemas de referencia, en el cual la componente temporal es esencial para garantizar la coherencia global.

En América Latina, el proceso de modernización geodésica se intensificó a comienzos de la década de 1990 con la incorporación sistemática del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) en aplicaciones científicas y cartográficas. Hasta ese momento, los marcos nacionales se sustentaban en redes clásicas establecidas mediante triangulación, trilateración, observaciones astronómicas y nivelación geométrica; métodos que, si bien eran robustos en su época, presentaban limitaciones en precisión, homogeneidad y compatibilidad internacional.



En este contexto, Ecuador inició la transición hacia técnicas satelitales mediante campañas estáticas de alta precisión desarrolladas en el marco del proyecto Central and South America GPS Geodesy (CASA), orientado al estudio de la deformación cortical andina (Kellogg & Dixon, 1990). Posteriormente, la participación del país en la campaña continental SIRGAS 1995 permitió su integración formal al Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas consistente con el ITRF (Drewes et al., 2009). Este hito marcó el inicio de la adopción de un marco geodésico geocéntrico, dinámico y alineado con estándares internacionales.

Durante la década del 2000, el fortalecimiento de la infraestructura geodésica nacional se materializó mediante la implementación progresiva de estaciones GNSS de operación continua (CORS), integradas posteriormente a la red SIRGAS-CON. La creación de la Red GNSS de Monitoreo Continuo del Ecuador (REGME), administrada por el Instituto Geográfico Militar (IGM), permitió disponer de observaciones continuas, redundantes y multianuales, condición indispensable para la estimación robusta de coordenadas y velocidades mediante ajuste por mínimos cuadrados y análisis de series temporales (Drewes et al., 2009; SIRGAS, 2020).

Desde el punto de vista metodológico, la actualización de un marco de referencia nacional requiere: (i) el procesamiento homogéneo de observaciones GNSS bajo estándares internacionales (modelos de órbitas precisas, correcciones atmosféricas, mareas terrestres y carga oceánica); (ii) la alineación al ITRF mediante estaciones fiduciales estables; (iii) la estimación simultánea de parámetros geométricos y cinemáticos; y (iv) la evaluación estadística de la estabilidad de las estaciones a partir de sus series temporales. Este enfoque garantiza coherencia interna, trazabilidad internacional y consistencia espacio-temporal.

La relevancia de la geodesia satelital en Ecuador se acentúa por su localización en el margen convergente entre la placa de Nazca y la placa Sudamericana, una de las zonas de subducción más activas del planeta. Las observaciones GNSS continuas han permitido caracterizar el campo de velocidades

corticales, analizar procesos intersísmicos y post-sísmicos, y modelar la acumulación de la deformación elástica asociada a grandes terremotos andinos (Nocquet et al., 2014). En consecuencia, el mantenimiento de un marco de referencia actualizado no solo responde a necesidades cartográficas y de ingeniería, sino también a requerimientos propios de estudios geodinámicos y de gestión del riesgo.

El presente artículo describe la metodología implementada por el IGM para la actualización del Marco de Referencia Geodésico SIRGAS-Ecuador alineado al ITRF2020 y la estimación de una nueva versión del campo de velocidad VEC_EC 2025. Para ello, se emplean series temporales GNSS multianuales, provenientes de la red activa REGME y observaciones episódicas de la red pasiva RENAGE, procesadas bajo un esquema homogéneo y alineadas al ITRF vigente. El producto resultante constituye una realización precisa y consistente de las coordenadas y velocidades oficiales del país, apta para aplicaciones en cartografía, catastro, obras de infraestructura, monitoreo geodinámico y gestión del riesgo sísmico, garantizando su compatibilidad con los estándares internacionales actuales.

DESARROLLO

Las realizaciones del ITRF (IGN-LAREG, 2022) se actualizan periódicamente, utilizando las observaciones del GPS como una de las técnicas de la geodesia espacial. En los últimos 34 años, desde 1988, se han establecido 11 realizaciones del ITRF, siendo la última el ITRF2020 (basado en las cuatro técnicas de geodesia espacial VLBI, SLR, GNSS, DORIS). Todas las realizaciones incluyen posiciones y velocidades, considerando además discontinuidades. Adicionalmente, desde la realización del ITRF2014, se toma en cuenta una evolución paramétrica de la variación de las coordenadas durante los años después de la ocurrencia de fuertes sismos. Todas las soluciones del ITRF se relacionan mediante parámetros de transformación.

El marco geodésico de referencia terrestre es establecido mediante un conjunto de coordenadas de puntos densificados en



la superficie de la Tierra, con el objeto de materializar las convenciones y definiciones de un International Terrestrial Reference System (ITRS).

La evolución del ITRF en sus diferentes realizaciones (Tabla 1), implica variaciones significativas a ser consideradas para el establecimiento de un Marco de Referencia Geodésico Nacional. Todas las realizaciones incluyen las posiciones de las estaciones constitutivas del marco (determinadas para una época de referencia), junto con las correspondientes velocidades que posibilitan conocer su evolución en el tiempo. Las distintas realizaciones se encuentran relacionadas mediante parámetros de transformación, que permiten comparar (o migrar de un ITRF a otro) las coordenadas determinadas para diferentes soluciones y/o considerando distintas épocas de observación, por lo cual el ITRF se actualiza

Realizaciones del ITRF
ITRF 92
ITRF 93
ITRF 94 - SIRGAS 95 - Ajuste RENAGE
ITRF 96
ITRF 97
ITRF 2000
ITRF 2005
ITRF 2008 - Ajuste REGME (post-terremoto del 2016)
ITRF 2014
ITRF 2020 - Nueva Realización Reporte 75

Tabla 1. Evolución del ITRF

Fuente: Elaboración propia.

constantemente.

El ITRF2020 es la nueva realización del ITRS. Conforme al procedimiento ya utilizado para soluciones anteriores, el ITRF2020 utiliza como datos de entrada soluciones completamente reprocesadas (Repro3), series temporales de las posiciones de estaciones, y Parámetros de Orientación de la Tierra (EOP) proporcionados por los centros de cálculo de las cuatro técnicas geodésicas espaciales: Very Long Baseline Interferometry

(VLBI), Satellite Laser Ranging (SLR), Global Navigation Satellite System (GNSS) y Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite (DORIS). El ITRF2020 es una solución mejorada en comparación con el ITRF2014, y fue adoptado a nivel global a partir del 2022 según <https://itrf.ign.fr/en/solutions/ITRF2020>.

Este cambio al igual que las anteriores actualizaciones del ITRS genera un salto en las series de tiempo de las estaciones, puesto que a partir de esta fecha los productos calculados por el IGS tales como las efemérides satelitales, los parámetros de orientación terrestre EOP y las correcciones a los relojes de los satélites están dados en este nuevo marco de referencia vigente.

1. Análisis de estabilidad de las coordenadas oficiales SIRGAS Ecuador.

Está claro que las coordenadas oficiales pierden su consistencia y el nivel de incertidumbre aumenta con el transcurso del tiempo. Los efectos inducidos por la cinemática de placas tectónicas, actividad volcánica, sismos, movimiento de fallas, deformación local, cambio de equipos (antenas GNSS), entre otros, contribuyen directamente en la variabilidad de las coordenadas y por ende de las distancias medidas en el terreno.

La evolución del ITRF, en sus diferentes realizaciones, también genera diferencias en las coordenadas (<https://itrf.ign.fr/en/solutions/ITRF2020>) lo que produce un salto en las series temporales de las estaciones. Para este análisis, se realizó el procesamiento de datos GPS/GNSS en formato RINEX, de la información histórica disponible durante los últimos 30 años, tanto de la RENAGE como de la REGME; obteniendo las series temporales que permiten evaluar la estabilidad, variabilidad, consistencia e incertidumbre de la infraestructura geodésica oficial a nivel nacional (Figura 1).

Con la finalidad de estimar la estabilidad de las coordenadas oficiales en los últimos 30 años, a partir de la época 1995.4 hasta la época 2021.8, se tomaron las coordenadas obtenidas del procesamiento GPS/GNSS y ajuste realizado en los diferentes ITRF



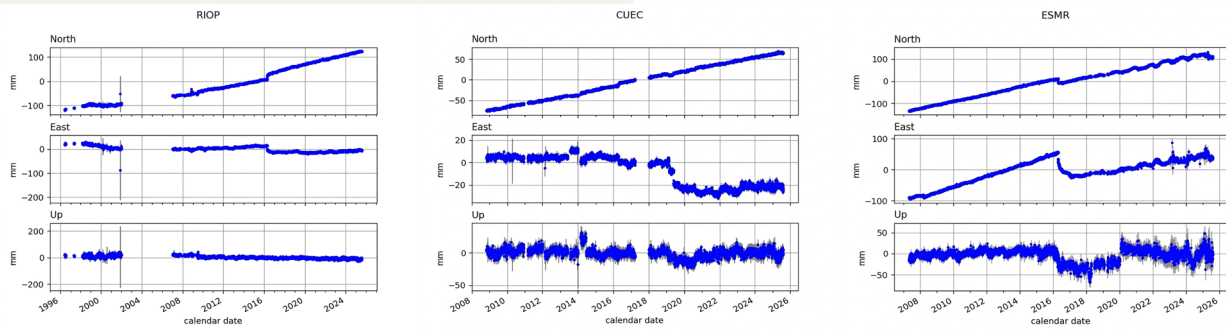


Figura 1. Series de tiempo a partir de datos GPS/GNSS para las estaciones Riobamba-RIOP, Cuenca-CUEC, Esmeraldas-ESMR.

Fuente: Elaboración propia.

y épocas de referencia del Ecuador. Este análisis permite obtener una aproximación de la variabilidad para entender la evolución de las coordenadas en el tiempo.

a. ITRF94, época de referencia 1995.4 respecto al ITRF08, época 2012.0.

El primer análisis comprende la fase intersísmica, a partir de la primera campaña RENAGE en 1994 y se extiende hasta el 2012: $(t_0-t_1) 2012.0-1995.4 = 16.6$ años.

De acuerdo al Reporte 73 (Urbina et al, 2000), los resultados del procesamiento de la campaña RENAGE 1994 tienen una discrepancia de 3 a 5 cm en la componente

horizontal. Sin embargo, el cálculo realizado estima una variación promedio de ~ 21 cm para el período de 16 años analizado (Tabla 2).

La Figura 2 muestra el desplazamiento de las coordenadas entre la época 1995.4 y 2012.0, estimadas en dos marcos de referencia (ITRF94 e ITRF2008). Para esta comparación, se utilizaron puntos comunes de la RENAGE (mojones) puesto que la REGME aún no existía. Se observa que la zona oriental, asentada sobre la Amazonía, se extiende en sentido NE - SE y tiene una variabilidad de coordenadas en el orden de ~ 5 a ~ 7 cm en 16 años, lo que concuerda con la baja tasa de deformación estimada por el modelamiento de los procesos geofísicos en ésta zona del país.

		Vector XY (m)	
1995.4 ITRF94 vs 2012.0 ITRF08	Min	0,111	
	Max	0,367	
	Media	0,210	

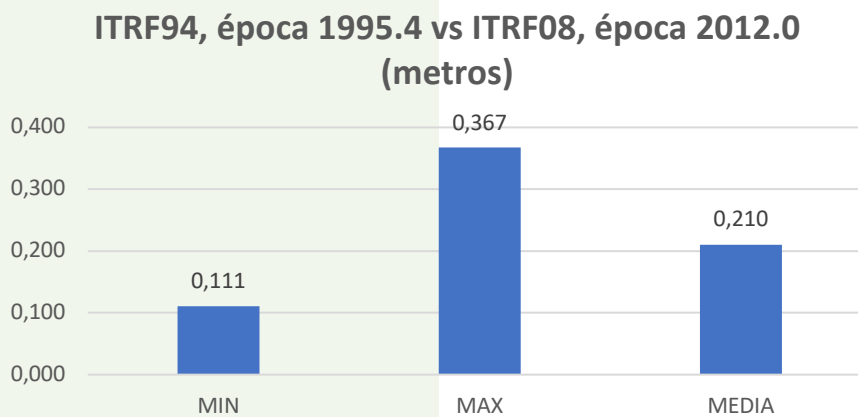


Tabla 2. Variabilidad de las coordenadas a los 16.6 años.

Fuente: Elaboración propia.



VARIACIÓN DE LAS COORDENADAS

ITRF94, época 1995.4 - ITRF14 / ITRF20, época 2021.8

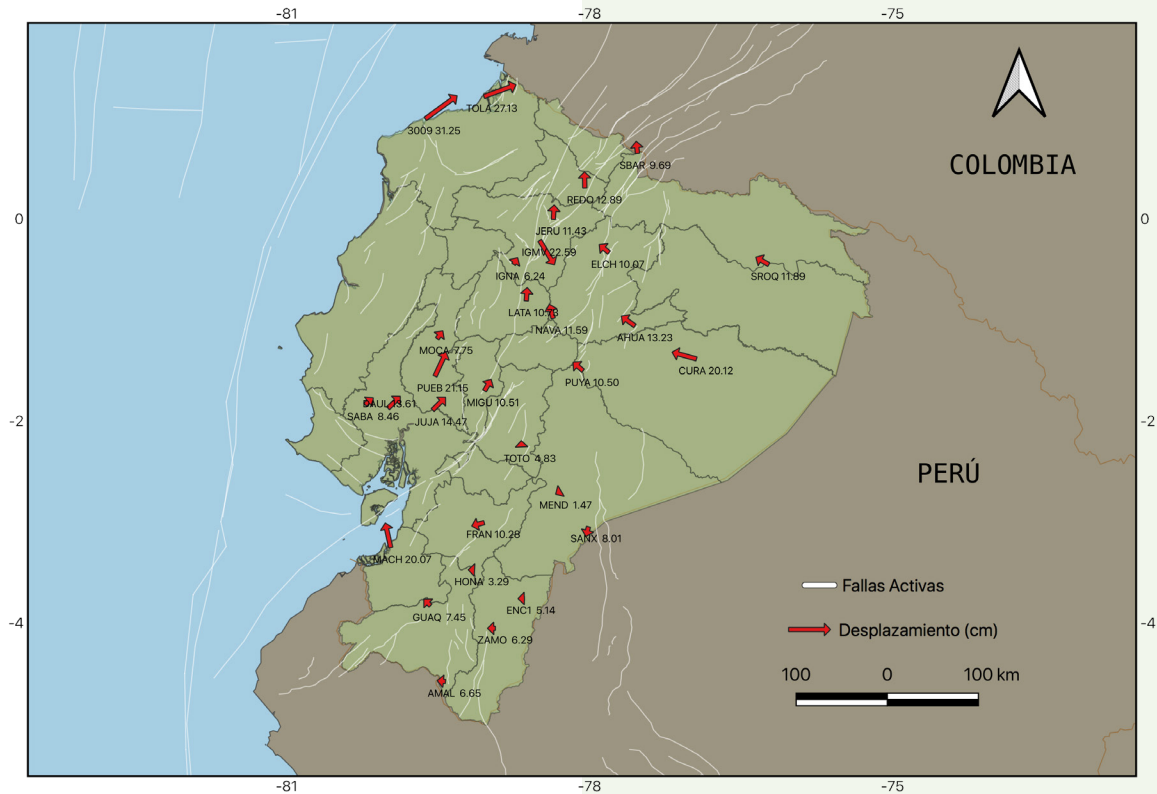


Figura 2. Mapa de variabilidad de las coordenadas a los 16.6 años.

Fuente: Elaboración propia.

En la Zona Costera se observa un patrón de variación sistemático con un movimiento en el orden de ~20 a ~30 cm con dirección NE, compatible con la traslación del Bloque Norandino propuesto por varios estudios (Nocquet, 2014; Jarrin, 2021).

A pesar de tener pocos puntos comunes en el Valle Interandino, se estima un desplazamiento de las coordenadas en el orden de ~8 a ~11 cm, igualmente compatible con el movimiento rígido de un micro bloque y la presencia de deformación interna de la zona (Jarrin et al. 2023).

Alrededor del Golfo de Guayaquil, presenta un patrón irregular sin una tendencia dominante clara ni un comportamiento definido que explique el desplazamiento de las coordenadas. Tal movimiento podría estar relacionado con procesos de deformación local y efectos de subducción. Finalmente, la variabilidad de las coordenadas en 16 años, a escala nacional, es compatible con la etapa intersísmica considerando que no han existido grandes terremotos que induzcan cambios bruscos en las coordenadas.

b. ITRF94, época de referencia 1995.4 respecto al ITRF20, época 2021.8.

El segundo análisis comprende la fase post-sísmica, a partir de la primera campaña RENAGE 1994 y se extiende hasta la última campaña del 2021: $(t_0-t_1) 2021.8-1995.4 = 26.4$ años.

En el transcurso del tiempo, el ITRF tuvo varias realizaciones y las coordenadas oficiales del Ecuador se actualizaron a partir del ITRF94, ITRF2008, ITRF2014 y la nueva realización ITRF2020. De acuerdo al Reporte 73 (Tremel H., 2000), los resultados del procesamiento de la campaña RENAGE 1994 tienen una discrepancia de ~3 y ~5 cm en el componente horizontal; sin embargo, la estimación calculada sugiere una variación promedio de ~34 cm y una variación superior al metro como valores máximos en 26 años (Tabla 3).

La Figura 3 muestra el desplazamiento de las coordenadas entre la época 1995.4 y 2021.8, estimadas para tres marcos de



1995.4 ITRF94 vs 2021.8 ITRF14	Vector XY (m)	
	Min	0,205
	Max	1,064
	Media	0,340

ITRF94 época 1995.4 vs ITRF14/20, época 2021.8 (metros)

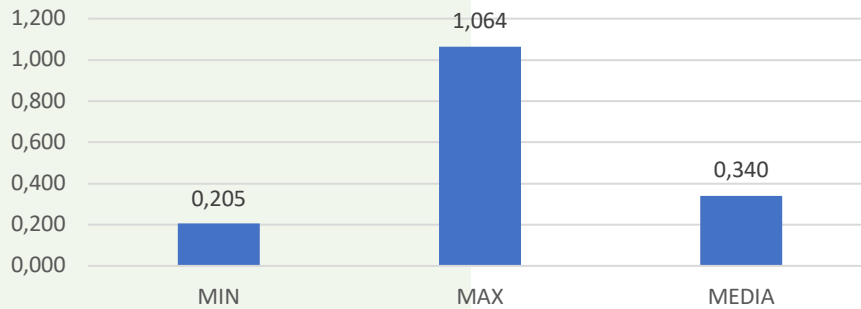


Tabla 3. Variabilidad de las coordenadas a los 26.4 años.

Fuente: Elaboración propia.

referencia (ITRF94, ITRF2014, ITRF2020). Adicionalmente, existe la contribución del terremoto de Pedernales 7.8 Mw del 16 abril

de 2016, cuyo efecto post-sísmico aún se encuentra presente.

VARIACIÓN DE LAS COORDENADAS

ITRF94, época 1995.4 - ITRF14 / ITRF20, época 2021.8

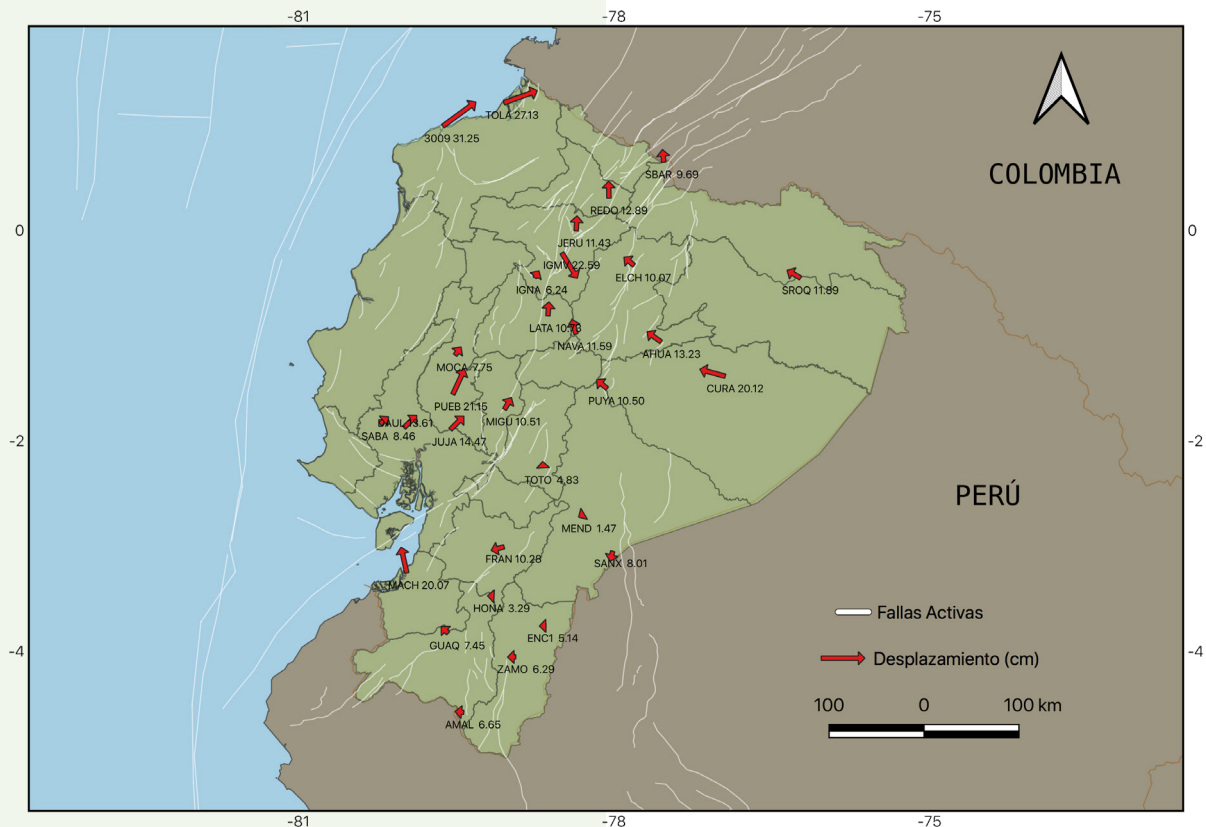


Figura 3. Mapa de variabilidad de las coordenadas a los 26.4 años.

Fuente: Elaboración propia.



En la Zona Oriental, la variabilidad de coordenadas es del orden de ~ 5 a ~ 12 cm en 26 años, lo cual responde a los procesos geofísicos que establecen una baja deformación en ésta zona del país.

Se observa el punto Curaray - CURA con una considerable variación de ~ 20 cm, lo cual se atribuye a procesos relacionados con la componente hidrológica del lugar y un posible outsider que sesga la variabilidad en el sector.

En la Zona Costera, se observa principalmente la fase intersísmica y la contribución del efecto post-sísmico del terremoto de Pedernales (Nocquet et al, 2016), con una variabilidad de las coordenadas en el orden de ~ 8 a ~ 50 cm con dirección NE, compatible con la traslación del bloque norandino (Noquet 2014, Jarrin 2021).

En el sitio San Ignacio - IGNA se observa un patrón aleatorio y sistemático. Este muestra el comportamiento y presenta el desplazamiento de las coordenadas. Se atribuye a procesos de deformación local, principalmente por su ubicación en la cordillera entre Santo Domingo de los Colorados y Quito. En el Valle Interandino se estima un desplazamiento de las coordenadas en el orden de ~ 5 a ~ 12 cm, compatible con el movimiento rígido del bloque, la deformación interna de la zona y los procesos asociados con la actividad volcánica de la cordillera de los Andes (Jarrin, 2021).

La variabilidad de las coordenadas en 26 años a nivel nacional es compatible con la etapa intersísmica, los efectos post-sísmicos del terremoto de Pedernales, y adicionalmente, los saltos producidos por la actualización de las realizaciones del ITRF. Se estima una mayor deformación cercana al metro en los sitios aledaños al epicentro sísmico de Pedernales.

c. ITRF08, época referencial 2016.4 respecto al ITRF2020, época 2021.8.

Posterior al terremoto de Pedernales, se ejecutó el procesamiento de 31 estaciones permanentes de la REGME y se obtuvo una solución estabilizada al ITRF08, época 2016.4, con una incertidumbre de 2 mm en la componente horizontal y 4 mm en la componente vertical. Acorde a la metodología

propuesta (Cisneros & Nocquet, 2019), se analizó la variabilidad a partir de las coordenadas post-sísmicas y la evolución en los últimos 5 años hasta la campaña del 2021: $(t_0-t_1) 2016.4- 2021.8 = 5.4$ años.

En la Tabla 4, se presenta la variabilidad estadística de las coordenadas en los últimos 5 años a nivel nacional.

La Figura 4 muestra el desplazamiento de las coordenadas post-sísmicas entre la época 2016.4 y 2021.8, estimadas en dos marcos de referencia (ITRF08 e ITRF2020). Para el análisis se utilizaron las estaciones comunes de la red activa REGME.

No existe un patrón de variación específico, la estación Tiputini - TPEC ubicada al NE oriental tiene una variación de ~ 7 cm, mientras que la estación Gualaquiza - GZEC ubicada al SE tiene una variación de ~ 3 cm.

En el Litoral, se observan las estaciones cercanas a la línea de costa, por ejemplo, San Lorenzo - SNLR ubicada al norte tiene una variación de coordenadas ~ 4 cm, mientras que la estación Santa Elena - SEEC ubicada al sur tiene una variación inferior al centímetro.

Las estaciones ubicadas en el Valle Interandino muestran diferentes variaciones de coordenadas, en el orden de ~ 2 a ~ 5 cm.

En términos generales, la variabilidad de las coordenadas en los últimos 5 años a nivel nacional presenta un promedio de ~ 5 cm y una variación máxima de ~ 9 cm.

2. Campaña de observación GNSS de la Red Pasiva RENAGE y Red Activa REGME, a nivel nacional para la actualización del Marco de Referencia del Ecuador.

Con el propósito de obtener una nueva solución geodésica alineada al ITRF, el IGM ejecutó en 2021 una campaña nacional de observaciones GNSS. Estas actividades se desarrollaron cinco años después del terremoto de Pedernales en 2016, con el objetivo de evaluar y actualizar la consistencia del marco de referencia geodésico nacional tras los posibles desplazamientos corticales asociados a dicho evento sísmico.



2016.4 ITRF08 vs 2021.8 ITRF14	Vector XY (m)	
	Min	0,031
	Max	0,088
	Media	0,057

ITRF08 época 2016.4 vs ITRF14/20, época 2021.8 (metros)

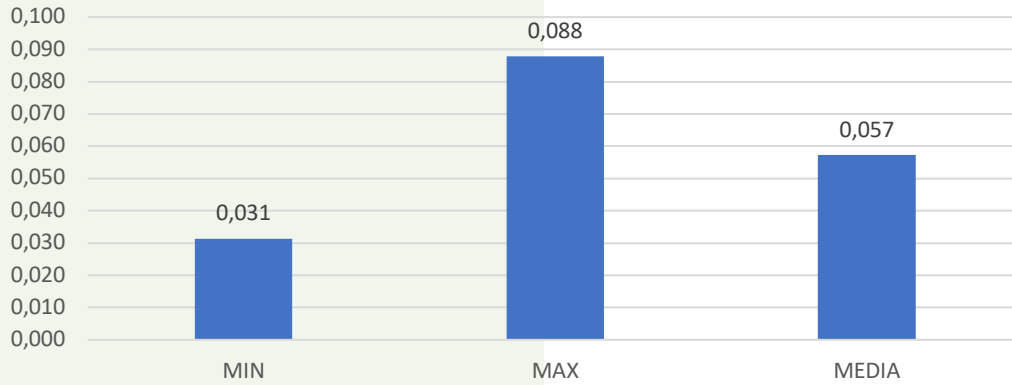


Tabla 4. Variabilidad de las coordenadas a los 5.4 años.

Fuente: Elaboración propia.

VARIACIÓN DE LAS COORDENADAS

ITRF08, época 2016.4 - ITRF14 / ITRF20, época 2021.8

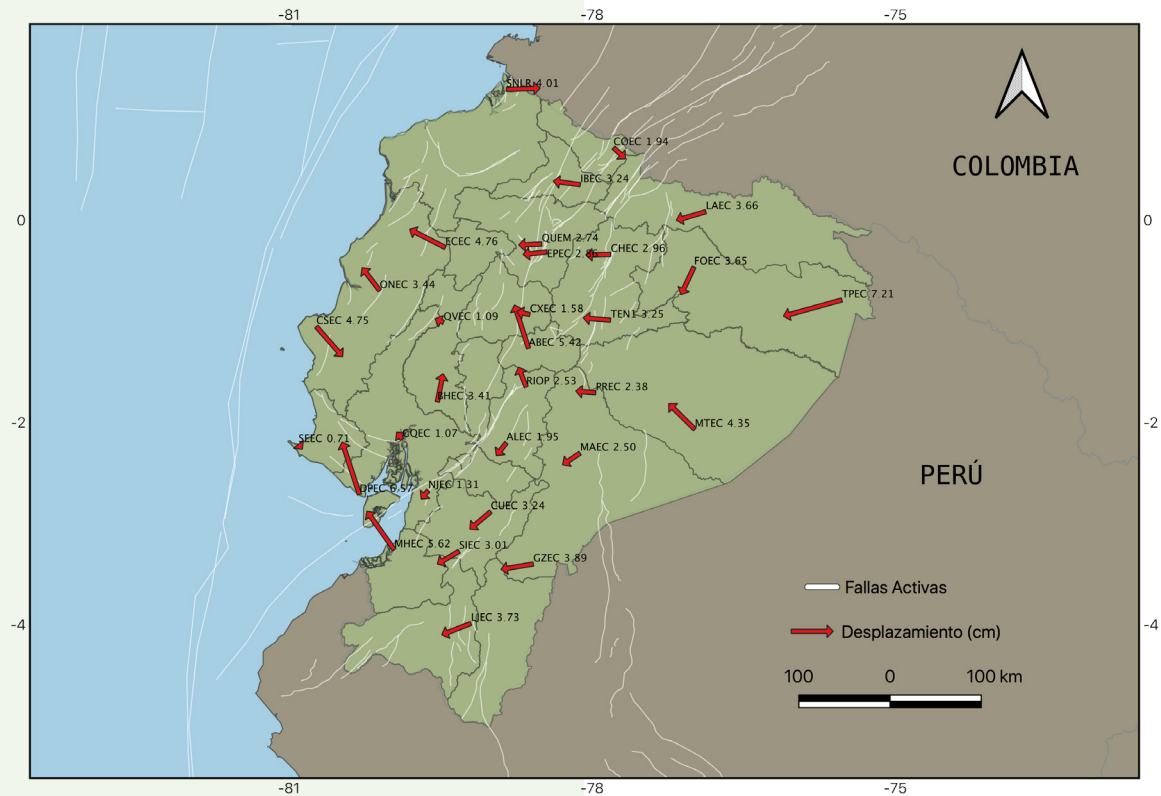


Figura 4. Mapa de variabilidad de las coordenadas a los 5.4 años.

Fuente: Elaboración propia.



En términos generales, se puede mencionar que de los 130 puntos de la primera campaña RENAGE de 1994 aún existen un total de 42 vértices originales en buen estado. Por otro lado, de los puntos de la campaña RENAGE del 2014 - 2015, se recuperaron 76 puntos y fue necesaria la construcción de 23 nuevos mojones en el año 2021 para completar el total de 140 puntos que conforman la nueva red pasiva (Figura 5).

La campaña GNSS se desarrolló del 15 de julio al 23 de octubre del 2021. En total se observaron 141 puntos de la red pasiva RENAGE durante 48 horas de posicionamiento GNSS continuo, con equipos receptores de doble-frecuencia Trimble Alloy y antenas Trimble Zephyr 3 Geodetic. Igualmente, existen 45 estaciones GNSS correspondientes a la red permanente REGME (Figura 6).

Con el objetivo de garantizar la realización de la campaña de campo, inicialmente se dividió al país en 8 bloques, cada uno conformado por 15 vértices, y adicional un bloque de 10 vértices en la región amazónica. En las Islas Galápagos, se estableció un bloque de 10 puntos (Figura 7).

3. Descripción y tratamiento del set de datos usados en el proyecto.

Todos los datos en formato original (formato nativo binario) provenientes de las mediciones GNSS descritas en cada bloque de la campaña RENAGE+REGME (Figura 8) fueron convertidos a formato universal RINEX versión 2.11, mediante el uso de la herramienta The Multi-Purpose Toolkit for GPS/GLONASS Data - TEQC (Estey & Meertens, 1999). Posteriormente, todos los archivos RINEX de observación (sitedoy0.yyo)



Figura 5. Construcción de un mojón IGM tipo B en el GADM
Pedro Vicente Maldonado (2021).

Fuente: Elaboración propia.



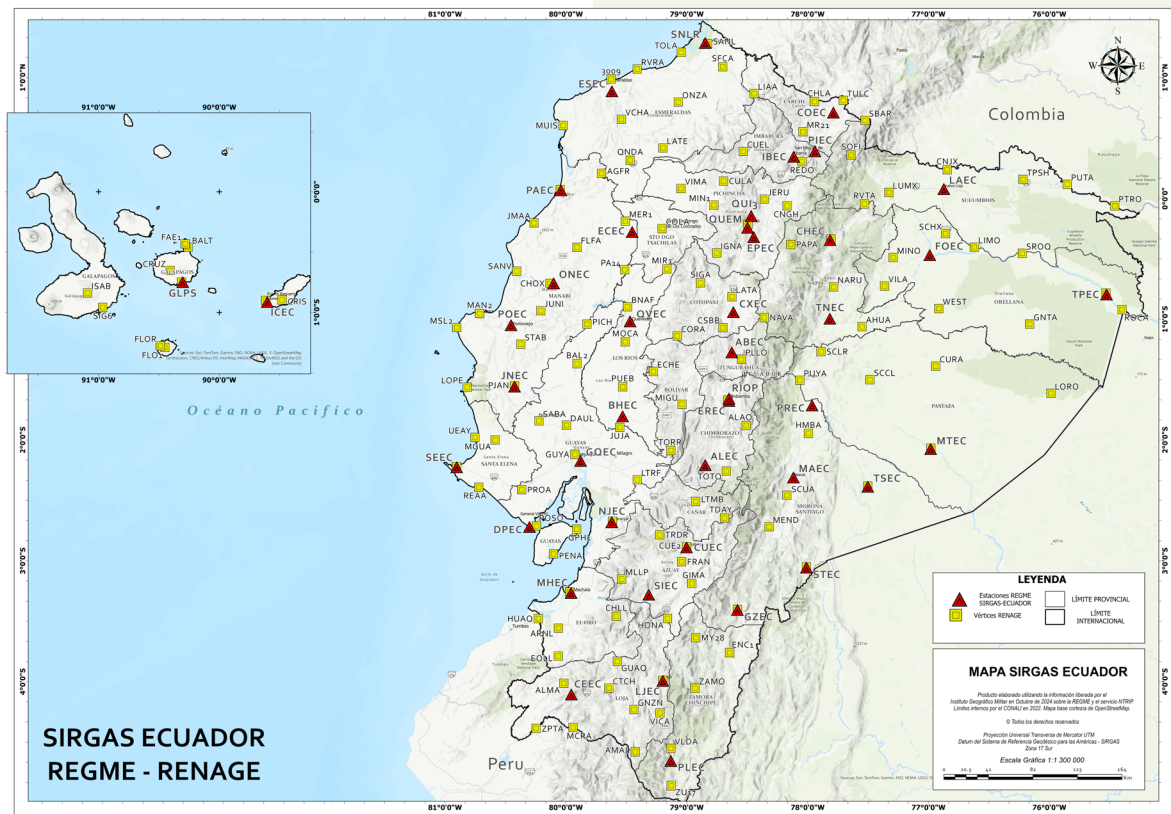


Figura 8. Ubicación geográfica REGME+RENAGE.

Fuente: Elaboración propia.

fueron sometidos a un estricto control de calidad QC con el fin de filtrar únicamente los datos óptimos para el procesamiento de las soluciones libres, y finalmente ser almacenados con una doble compresión utilizando HATANAKA+ Zip.

Respecto a la red SIRGAS-CON, se usaron datos de estaciones permanentes de países vecinos para mejorar la cobertura de la red a nivel regional e identificar a esta escala movimientos o desplazamientos provocados por fenómenos geofísicos (principalmente efectos de la subducción). La detección de estos desplazamientos permite aplicar correcciones necesarias para evitar la distorsión de las coordenadas finales.

Finalmente, se usaron datos de estaciones CORS de la Red Global IGS que se encontraban dentro de la solución oficial ITRF2020, siendo estas usadas como referencia para estabilizar y alinear las soluciones libres dentro del ITRF (Figura 9). A continuación, se presenta un detalle del set de datos (Tabla 5).

4. Procesamiento y ajuste GNSS científico PYACS GAMIT / GLOBK.

El procesamiento de datos GNSS se ejecutó por medio del software GAMIT/GLOBK (Herring et al 2015, 2018) utilizando una estrategia de cálculo implementada en el entorno PYACS (Nocquet, 2022), el cual se encuentra conformado por un conjunto de scripts y módulos de Python diseñados para analizar y modelar datos geodésicos en un ecosistema de tipo clúster.

GAMIT realiza el cálculo de soluciones libres (libre de un marco de referencia) en el espacio y estabilización de las soluciones en un marco de referencia, para lo cual utiliza dobles diferencias de fase entre las estaciones y satélites para cancelar completamente los efectos de las variaciones del reloj. Además, GAMIT incorpora un algoritmo de mínimos cuadrados ponderados para calcular las posiciones relativas de un conjunto de estaciones.

La estrategia de procesamiento adoptada incluye la aplicación de variables que



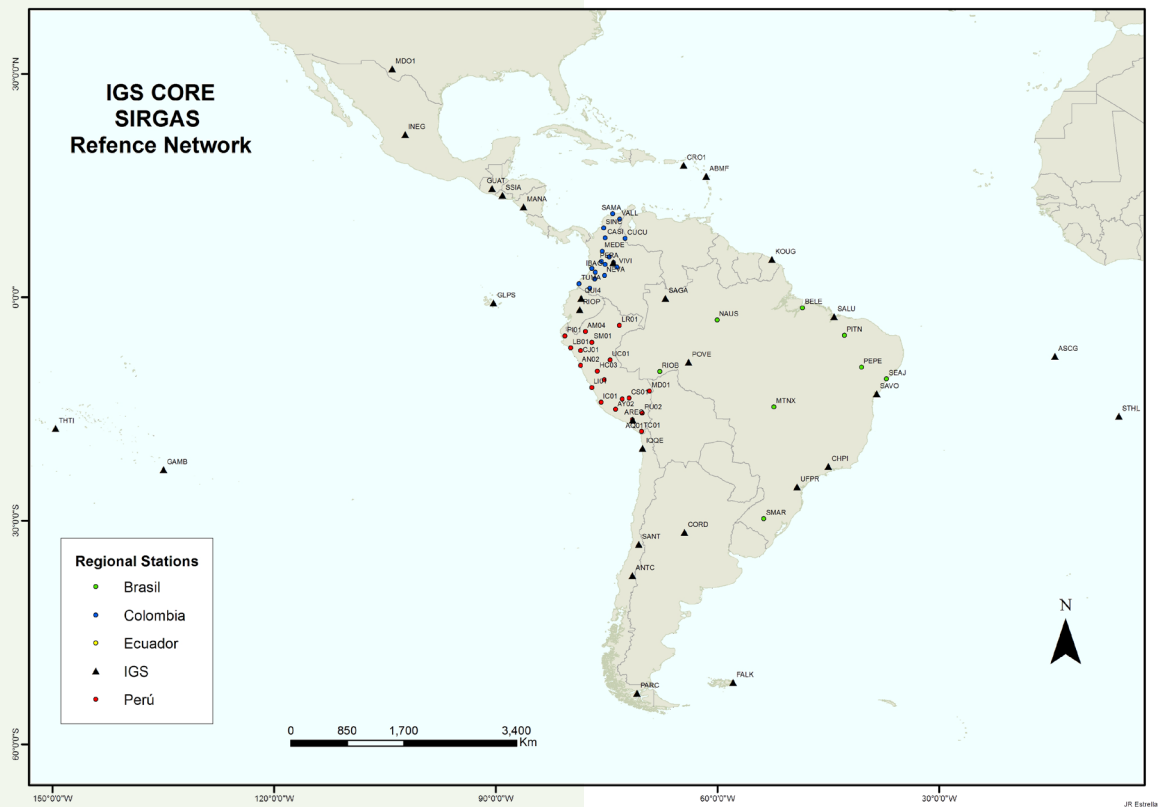


Figura 9. Ubicación geográfica de las estaciones IGS CORE - SIRGAS.

Fuente: Elaboración propia.

Red	No. de sitios disponibles	Descripción
RENAGE	141	Red Nacional GNSS Ecuador (Red Pasiva)
REGME	45	Red GNSS de Monitoreo Continuo Ecuador (Red Activa)
RENGEO	22	Red Nacional Geodésica - IGEPN
SIRGAS-CON COLOMBIA	16	IGAC_COLOMBIA
SIRGAS-CON PERÚ	19	IGN PERÚ
SIRGAS-CON BRASIL	12	IBGE BRASIL
REFERENCE NETWORK IGS	28	IGS CORS
Total	283	

Tabla 5. Sitios de campaña y estaciones CORE.

Fuente: Elaboración propia.



intervienen en un procesamiento científico, a través de la inclusión (download) de los Parámetros de Rotación de la Tierra (EOP), Órbitas Precisas del IGS 3rd Data Reprocessing Campaign (efemérides Reprocesadas-repro3), Grillas Atmosféricas, Carga Oceánica y efectos de las mareas de la Luna y del Sol (ut1, luntab, soltab) respecto al Marco de Referencia.

Para estabilizar las soluciones libres mediante el modelo de transformación de Helmert se calculan 7 parámetros (3Rx, 3Tx, 1fe) utilizando estaciones del IGS como referencia, tomando en cuenta una buena geometría; es decir, cuya ubicación cubra toda el área del proyecto por niveles de distancia en los cuatro cuadrantes (en lo posible las más cercanas). Se debe además considerar únicamente las estaciones que no sufran efectos geodinámicos o estén afectadas por fenómenos geofísicos transitorios (cambios bruscos de la posición con respecto al movimiento lineal).

5. Evaluación de la calidad de los resultados obtenidos del procesamiento.

Para evaluar la calidad de los resultados del procesamiento hay dos opciones, la desviación estándar que se obtiene de la matriz varianza y covarianza de las coordenadas y la repetibilidad diaria (REP), la cual es el promedio ponderado del error cuadrático. A pesar de que la desviación estándar es el primer indicador de la calidad del procesamiento, por lo general proporciona valores muy optimistas por la calidad de los parámetros; sin embargo, la repetibilidad proporciona una medida más realista de la precisión de las coordenadas de las estaciones permanentes y los puntos de campaña, y es un indicador de la dispersión de las soluciones de todos los días (Nocquet. JM, 2008).

La repetibilidad permite cuantificar la magnitud en términos de la diferencia y variación de la coordenada de un mismo punto en el transcurso del tiempo, considerando todos los agentes externos que puedan provocar un salto importante en las series de tiempo de esta estación. El cálculo de la repetibilidad y las series temporales se expresan en el Marco de Referencia aplicado en la estabilización de las soluciones. Una buena repetibilidad garantiza un buen procesamiento de datos GPS.

a. Repetibilidad REGME.

En la Tabla 6 se presenta la evaluación del nivel de repetibilidad para las estaciones permanentes REGME, obtenido en el proceso de estabilización ITRF2020.

ITRF 2020			
wrms N (mm)	wrms E (mm)	wrms Up (mm)	REGME 44 sitios
0,32	0,34	1,98	Min
2,92	3,12	12,64	Max
0,94	0,98	3,87	Media
0,94	0,96	3,64	Mediana
0,42	0,50	1,86	Desv
CUARTILES			
wrms N (mm)	wrms E (mm)	wrms Up (mm)	REGME 44 sitios
0,32	0,34	1,98	Q0
0,70	0,70	2,75	Q1 (25%)
0,94	0,96	3,64	Q2 (50%)
1,10	1,10	4,19	Q3 (75%)
2,92	3,12	12,64	Q4

Tabla 6. Resumen general estadístico de Repetibilidad REGME.

Fuente: Elaboración propia.

Acorde al Gráfico 1 y la Tabla 6, se observa que la componente horizontal tiene una media de repetibilidad ~ 1 mm y en la componente vertical de ~ 4 mm, lo cual garantiza un excelente nivel en el procesamiento de datos GNSS para las estaciones REGME.

b. Repetibilidad RENAGE.

En la Tabla 7 se presenta la evaluación del nivel de repetibilidad para los sitios de campaña RENAGE, obtenido en el proceso de estabilización ITRF2020.

ITRF 2020			
wrms N (mm)	wrms E (mm)	wrms Up (mm)	RENAGE 133 sitios
0,01	0,01	0,07	Min
5,49	6,42	18,46	Max
1,02	1,27	4,36	Media
0,81	0,91	3,14	Mediana
0,89	1,23	3,83	Desv
CUARTILES			
wrms N (mm)	wrms E (mm)	wrms Up (mm)	RENAGE 133 sitios
0,01	0,01	0,07	Q0
0,38	0,45	1,22	Q1 (25%)
0,81	0,91	3,14	Q2 (50%)
1,49	1,71	6,39	Q3 (75%)
5,49	6,42	18,46	Q4

Tabla 7. Resumen general estadístico de Repetibilidad RENAGE.

Fuente: Elaboración propia.

Acorde al Gráfico 2 y la Tabla 7, se observa que la componente horizontal tiene una media de repetibilidad ~ 1 mm, y en la componente



vertical de ~4 mm, lo cual garantiza un excelente nivel en el procesamiento de datos GNSS para los puntos RENAGE.

Finalmente, se muestra la variación del wrms (helmert_wrms_sum.dat) obtenida en

el proceso de estabilización (alineación) de la solución libre mediante Helmert para cada día de la campaña GPS (Tabla 8 y Gráfico 3).

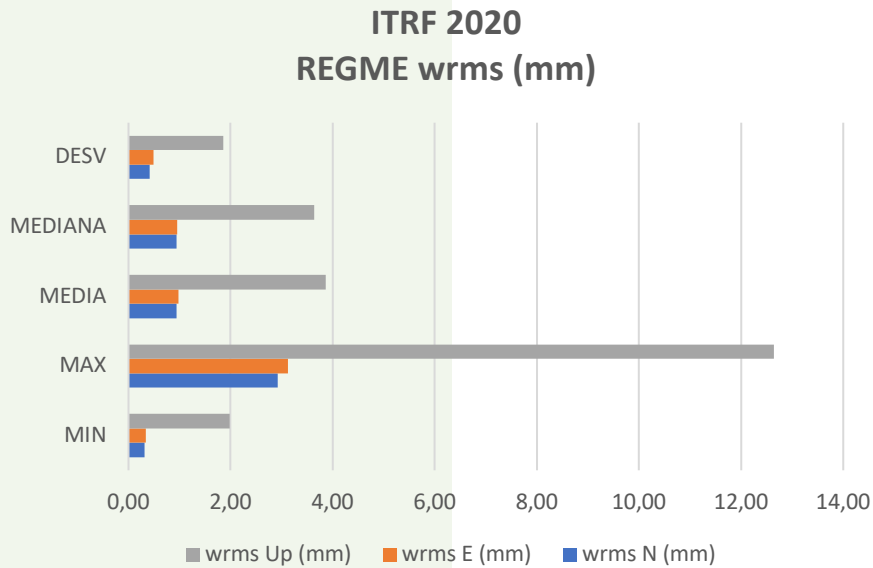


Gráfico 1. Repetibilidad REGME.

Fuente: Elaboración propia.

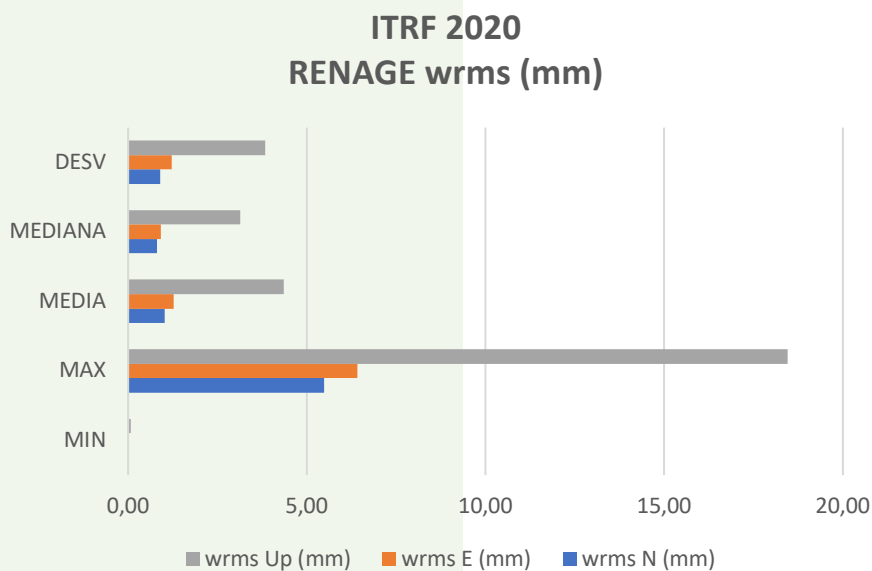


Gráfico 2. Repetibilidad RENAGE.

Fuente: Elaboración propia.



Estabilización ITRF 2020			
Helmert E wrms (mm)	Helmert N wrms (mm)	Helmert h wrms (mm)	
1,09	1,40	5,45	Min
2,31	2,66	12,21	Max
1,80	1,93	8,28	Media
1,78	1,86	8,62	Mediana
0,36	0,35	1,72	Desv

Tabla 8. Resumen de estabilización Helmert para la solución ITRF2020.

Fuente: Elaboración propia.

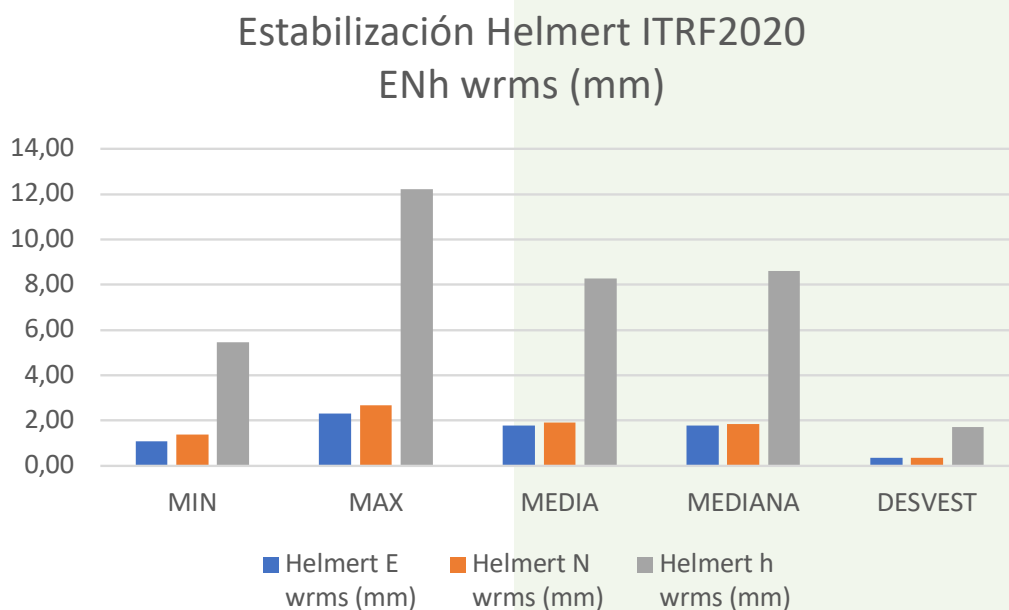


Gráfico 3. Estabilización Helmert.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 10, se observa que la solución ITRF2020 tiene un nivel de estabilización en

el orden de los milímetros para cada día de la campaña GPS (a partir del DOY 197 al 296).

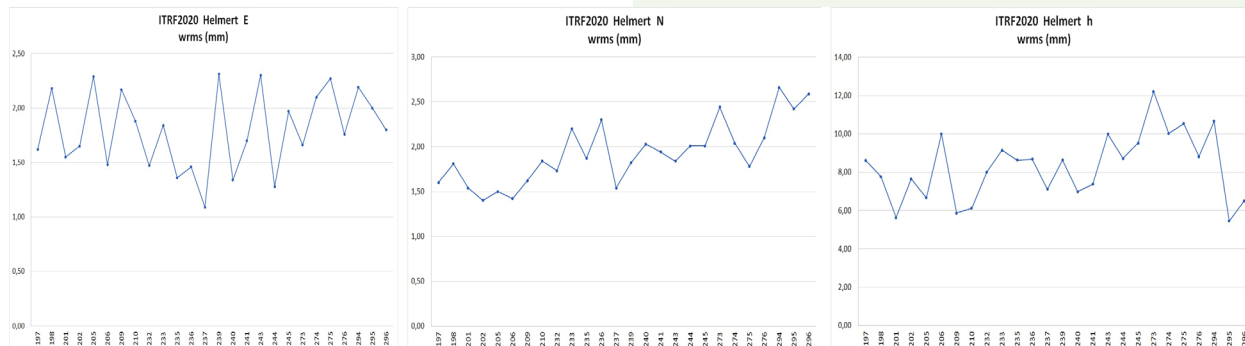


Figura 10. Estabilización Helmert ITRF2020 para cada día de la campaña Eje X = DOY (Day of Year, campaña 2021).

Fuente: Elaboración propia.



6. Obtención de las coordenadas oficiales que materializan el nuevo Marco de Referencia Geodésico del Ecuador.

a. Primera solución.

A partir del procesamiento de las campañas de campo RENAGE-REGME, se obtienen las soluciones libres para cada día, posteriormente se ejecuta la estabilización de cada solución libre para alinearla al ITRF2020. De esta manera, se obtienen las coordenadas diarias para cada punto.

Cada punto de la red pasiva RENAGE se midió en 2 sesiones, cada sesión tuvo una duración de 24 horas (dos días de observación GNSS). Por tal razón, se obtienen dos coordenadas estabilizadas y alineadas al ITRF para cada punto, cuya época de referencia corresponde a la fecha en la cual fueron observados los datos.

Las estaciones permanentes REGME proporcionan datos todos los días a lo largo de las campañas y por ende se obtuvo una coordenada y una época diaria, para cada día mientras duró la campaña de 11 semanas.

La primera solución sirve principalmente para trabajar con estaciones permanentes de redes activas (REGME, RENGEO, SIRGAS, IGS CORS) porque generan datos de observaciones GNSS a diario, durante largos periodos de tiempo que facilita la disponibilidad de información para el procesamiento rutinario.

b. Segunda solución

A partir del procesamiento de cada día que involucra las campañas de campo de la red pasiva RENAGE y la red activa REGME, se

obtienen las soluciones libres para cada día, y a partir de aquello se ejecuta la Combinación de la Solución Acumulada Final.

Para estabilizar la Solución Acumulada Final, dentro de un Marco de Referencia Global, utilizamos GLOBK. Por medio del modelo de transformación de Helmert se calcula 7 parámetros de transformación: 3 Rotaciones (R), 3 Traslaciones (T), 1 Factor de Escala (D). De esta manera, la solución acumulada final se alinea al ITRF, obteniendo una coordenada para cada punto de la RENAGE y para cada estación de la REGME.

La segunda solución, sirve para trabajar con redes pasivas cuyos puntos se miden en cortas y esporádicas campañas de campo (por ejemplo, RENAGE) y redes activas que generan datos de observaciones GNSS a diario, durante largos periodos de tiempo (por ejemplo, REGME, RENGEO, SIRGAS, IGS CORS, etc.). La solución combinada de las redes es más robusta, porque toma todas las soluciones libres, calculadas para cada día de observación de la campaña GPS, y acumula progresivamente coordenadas de todas las soluciones diarias, por medio de la estimación secuencial de mínimos cuadrados y teniendo en cuenta los procesos estocásticos, para obtener una Solución Acumulada Final, referida a una época específica, que coincide con el último día de la campaña RENAGE del 2021.8 (23/10/2021).

A continuación, se presenta un resumen general de la diferencia existente entre los dos métodos (solución diaria y solución combinada) para la obtención de las coordenadas cartesianas XYZ de las estaciones REGME y los sitios RENAGE (Tabla 9 y Gráfico 4).

DIF X (mm)	DIF Y (mm)	DIF Z (mm)	
5,330	9,970	6,780	Min
5,350	28,640	1,980	Max
0,402	1,876	2,821	Media
0,320	1,650	2,930	Mediana
1,632	4,953	1,363	Desv

Tabla 9. Diferencia entre las dos soluciones (diaria y combinada).

Fuente: Elaboración propia.



Diferencia entre las dos soluciones (Media mm.)

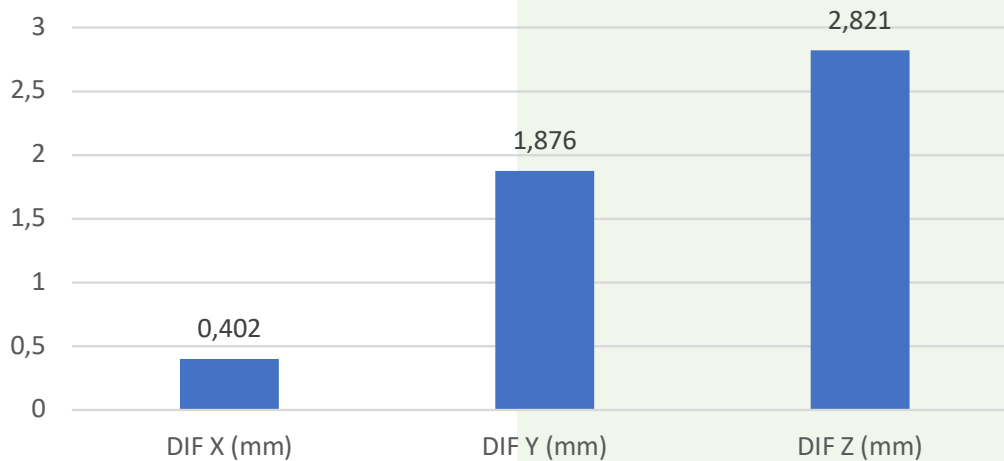


Gráfico 4. Representación gráfica de las diferencias en las dos soluciones.

Fuente: Elaboración propia.

7. Nivel de acuerdo e incertidumbre de las coordenadas.

Aplicando de manera rigurosa la estrategia de análisis, procesamiento y ajuste, se obtuvieron las coordenadas de las 43 estaciones de la REGME y las coordenadas de los 140 sitios de la RENAGE, determinadas con un nivel de incertidumbre (repetibilidad + wrms) de 2 milímetros en la componente horizontal y 4 milímetros en la componente vertical.

Para evaluar el nivel de acuerdo de nuestra Solución Final de la semana GPS 2180 obtenida con PYACS-GAMIT/GLOBK respecto a la Solución Semanal SIRGAS sir21P2180.crd, se tomaron las estaciones GNSS comunes de ambas soluciones (Tabla 10 y Gráfico 5).

NIVEL DE ACUERDO SOLUCIÓN COMBINADA PYACS/GAMIT-GLOBK week 2180 sir21P2180.crd		
Media (mm)		
X	0,115	MEDIA (mm)
Y	0,653	
Z	0,954	

Tabla 10. Nivel de acuerdo de las coordenadas finales.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos del procesamiento muestran un excelente nivel de acuerdo y precisión, para las tres componentes XYZ se presenta una media correspondiente a milímetros.

8. Componente Cinemático. Estimación de velocidad de las estaciones REGME a través de mediciones GPS de los últimos 5 años (2020 - 2025).

Las velocidades son vectores de tasa de desplazamiento que tienen una dirección y una magnitud definida. Se tomaron las soluciones libres calculadas para cada día de observación GPS y se ingresó al filtro de Kalman, el cual por medio de la estimación secuencial de mínimos cuadrados y teniendo en cuenta los procesos estocásticos, acumula progresivamente coordenadas y velocidades de todas las soluciones libres (filtra únicamente las soluciones que mantienen un valor X^2 aceptable) obteniendo una Solución Acumulada final.

El filtro de Kalman toma la primera época de medida t_1 y la asocia con la segunda época de medida t_2 , obteniendo la primera solución acumulada SA1. A continuación, toma esta primera solución acumulada SA1 y la asocia con la tercera época de medida t_3 , obteniendo la segunda solución



**NIVEL DE ACUERDO
SOLUCIÓN COMBINADA
PYACS/GAMIT-GLOBK week 2180
sir21P2180.crd
Media (mm)**

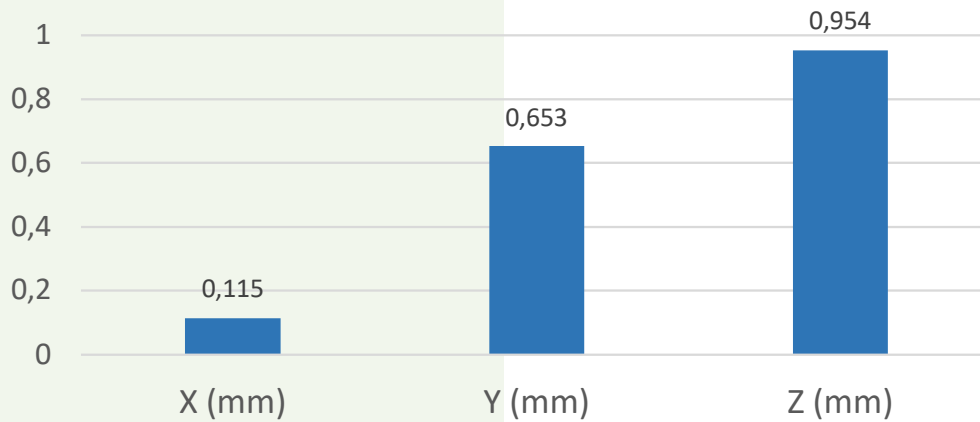


Gráfico 5. Estadística del nivel de acuerdo de las coordenadas finales.

Fuente: Elaboración propia.

acumulada SA2 y continúa el mismo proceso acumulando progresivamente coordenadas y velocidades de todas las épocas de medida t_n hasta llegar a obtener una solución acumulativa final SAF.

En cada solución acumulativa, el filtro de Kalman realiza el cálculo de mínimos cuadrados verificando un nivel de acuerdo y filtra únicamente las soluciones que mantienen un valor X^2 aceptable ($X^2 < 1$; el valor óptimo es igual a 0.7), garantizando de esta manera una solución acumulada final con un nivel de precisión fiable.

Esta solución acumulada final posee las coordenadas y las velocidades de los sitios (dirección y magnitud) durante los últimos 5 años de mediciones GPS. Esta solución se encuentra libre en el espacio (en un lugar cuyos ejes son totalmente desconocidos) por tal razón es necesario estabilizarla dentro de un Marco de Referencia definido, el cual tiene un origen, velocidades y posiciones conocidas (parámetros calculados por el ITRF).

En esta etapa, se analizan los saltos que aparecen en las series temporales mediante el “Ruido de Markov”, se evalúa la correlación temporal de un sitio en el transcurso de

varios días de observación GPS (cambio de la coordenada de un sitio en el transcurso de varios días de observación). Esta etapa es importante para obtener al final desviaciones estándar que reflejen el nivel de precisión de las velocidades, siendo importante atribuir un “peso realista” a cada observación incluida en el cálculo de la solución final.

Para estabilizar la Solución Acumulada, se asume el modelo de transformación de Helmert: 3 Rotaciones (R), 3 Traslaciones (T), 1 Factor de Escala (D) y sus respectivas tasas de variación (R1, R2, R3, T1, T2, T3 y D) con respecto al ITRF.

Estos parámetros son usados para estabilizar la Solución Acumulada (libre) dentro de un Marco de Referencia Global, por tal razón la solución acumulada está referida a un ITRF y una época de referencia definida.

En geodesia, este procedimiento se define generalmente como “estabilización”, pero más conocido como “Marco de Referencia”. Por lo tanto, la solución está bien definida dentro de un marco de referencia mundial, y se la puede utilizar para evaluar y obtener con precisión las velocidades de las estaciones GNSS y definir un marco de referencia muy estable.



9. Campo de velocidades del Ecuador VEC_EC 2025.

Bajo estas consideraciones y resumiendo el proceso descrito en los párrafos anteriores, se presenta a continuación el campo de velocidades del Ecuador denominado VEC_EC 2025, obtenido a través de datos GNSS de los últimos 5 años (2020-2025) para 44 estaciones REGME del territorio continental y 2 estaciones insulares. Las velocidades están expresadas con respecto al Marco de Referencia Global y corresponde con la realización ITRF2020 (Figura 11 y 12).

Las velocidades estimadas para las componentes horizontales están determinadas al nivel de 1-2 mm/año y las velocidades verticales 5 mm/año.

10. Interpolación y modelamiento de velocidades a partir de 44 estaciones GNSS del IGM Ecuador, REGME continental.

Con la finalidad de modelar y estimar estadísticamente una interpolación preliminar del campo de velocidad, se utilizaron las velocidades de 44 estaciones REGME distribuidas en el territorio continental. Se utilizó el método Kriging como técnica geoestadística ampliamente empleada para estimar valores de una variable espacial continua a partir de observaciones discretas, incorporando explícitamente la estructura de correlación espacial de los datos (Goovaerts, 1997) (Cressie, 1993).

En estudios geodésicos y geodinámicos, este método resulta particularmente apropiado para el modelado de campos de velocidad derivados de observaciones GNSS, ya que dichas velocidades reflejan procesos físicos continuos asociados a la deformación de la corteza terrestre (Blewitt G et al., 2018).

En el Ecuador, el IGM opera y mantiene la REGME cuyas observaciones permiten estimar series temporales de alta precisión para las componentes norte, este y vertical. A partir del análisis y procesamiento de estas observaciones, es posible estimar vectores de velocidad geodésica que describen el movimiento relativo de la superficie terrestre en distintas regiones del país, referidos a un marco de referencia geocéntrico compatible

con SIRGAS (Altamimi, Z., Sánchez, L., & SIRGAS Working Group, 2018) (Sánchez L et al, 2016). No obstante, la distribución espacial de las estaciones GNSS del IGM cada 50 km no es completamente homogénea, lo que hace necesario el uso de técnicas de interpolación espacial para obtener una representación continua del campo de velocidades a nivel nacional.

El método Kriging se fundamenta en el análisis del variograma, el cual describe la dependencia espacial entre las velocidades observadas en las estaciones GNSS del IGM en función de la distancia que las separa (Cressie, 1993; Kitanidis, 1997). El variograma experimental se calcula a partir de las diferencias cuadráticas entre las componentes de velocidad estimadas en pares de estaciones, y posteriormente se ajusta un modelo teórico (esférico, exponencial o gaussiano) que caracteriza el comportamiento espacial del campo de velocidades geodésicas en el territorio ecuatoriano (Goovaerts, 1997).

Una vez definido el modelo de variograma, el método Kriging permite estimar las componentes de velocidad geodésica en ubicaciones donde no existen estaciones GNSS, mediante una combinación lineal ponderada de las observaciones disponibles de la red GNSS del IGM. Los pesos asignados a cada estación se obtienen resolviendo un sistema de ecuaciones que garantiza estimaciones sin sesgo y de varianza mínima, considerando la estructura de correlación espacial previamente modelada (Kitanidis, 1997). Este enfoque ha demostrado ser eficaz para la interpolación de velocidades GNSS y la generación de campos cinemáticos continuos en distintos contextos geodinámicos, en función de la densidad y distribución de las estaciones GNSS (Le Hénaff, 2015).

La aplicación del método Kriging al campo de velocidades geodésicas derivado de las estaciones GNSS del IGM, permite generar superficies continuas de velocidad horizontal y vertical que describen de manera coherente los patrones de deformación cortical asociados a la convergencia entre la placa Nazca y la placa Sudamericana, así como a la deformación interna del margen andino (Nocquet JM et al., 2014) (Alvarado et al., 2016). Estas superficies interpoladas



REGME ITRF2020 horizontal velocity (mm/yr) after 2020

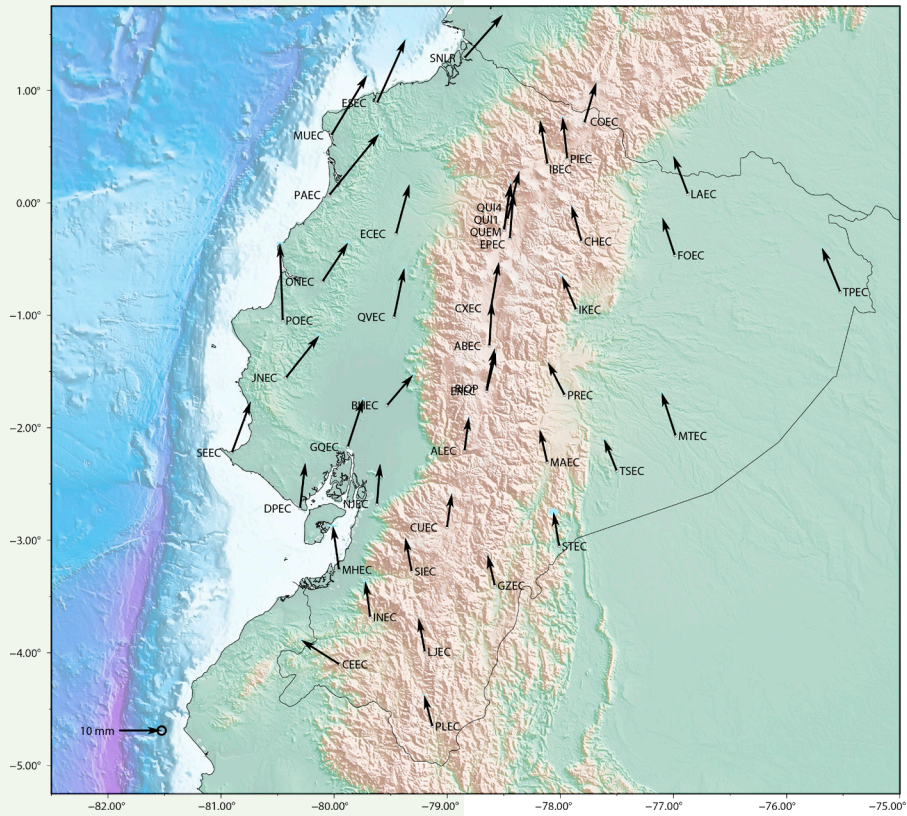


Figura 11. Campo de velocidades VEC_EC 2025 (velocidad horizontal).

Fuente: Elaboración propia.

REGME ITRF2020 vertical velocity (mm/yr) after 2020

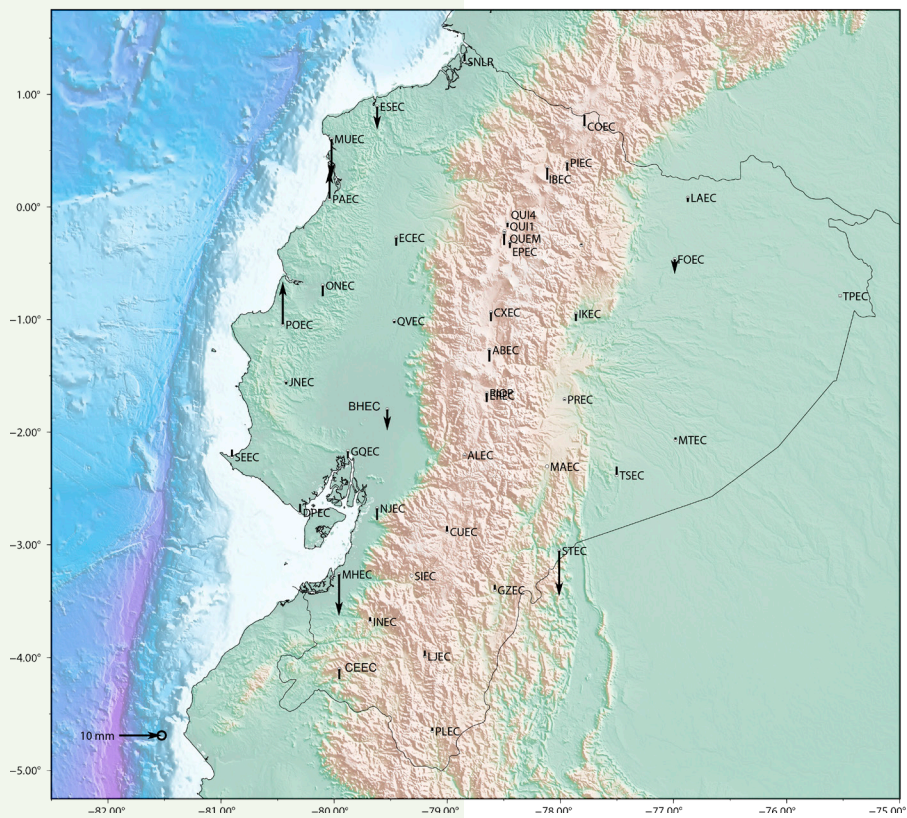


Figura 12. Campo de velocidades VEC_EC 2025 (velocidad vertical).

Fuente: Elaboración propia.



constituyen un insumo fundamental para el análisis de la cinemática regional, la identificación de zonas con gradientes elevados de deformación y la integración de la información GNSS nacional en estudios geodinámicos y geofísicos de mayor escala.

Los resultados de la interpolación permiten visualizar el comportamiento (preliminar) de las velocidades estimadas a nivel nacional por medio de 44 estaciones REGME, cuyas componentes horizontales Este y Norte son representadas en las Figuras 13 y 14, respectivamente.

RESULTADOS

1. Nuevo Marco de Referencia Geodésico SIRGAS-Ecuador (Reporte 75).

El principal resultado obtenido son las nuevas coordenadas para las 43 estaciones de la REGME y los 140 sitios de la RENAGE, con una incertidumbre horizontal de ~ 2 mm y una vertical de ~ 4 mm. Por lo tanto, se entrega una solución combinada, definida y alineada dentro del marco de referencia global con la siguiente realización:

- Marco de Referencia: SIRGAS - ECUADOR.
- ITRF2020 (nueva realización vigente del ITRF).
- Elipsoide de Referencia: GRS80.
- Época de Referencia: 2021.8.
- Descripción de la época de referencia: 2021-10-23.
- GPS WEEK 2180.
- DOY 296 (día final de la campaña, último día de la combinación de la solución acumulada).

2. Componente cinemático del marco geodésico.

Se proporciona el campo de velocidades VEC_{EC} 2025, obtenido a partir de datos GNSS de los últimos 5 años (2020-2025) para 44 estaciones REGME del territorio continental

y 2 estaciones insulares. Las velocidades estimadas para las componentes horizontales, están determinadas al nivel de 1-2 mm/año y las velocidades verticales al nivel de 5 mm/año. Todas ellas están expresadas con respecto al Marco de Referencia Global y corresponden con la realización ITRF2020.

CONCLUSIONES

- A partir de los datos GNSS obtenidos de la campaña 2021, se realizó el análisis, procesamiento y ajuste de la información de la RENAGE y estaciones de la REGME.
- Se obtuvieron nuevas coordenadas para 43 estaciones de la REGME y 140 sitios de la RENAGE, alineados con la nueva realización del ITRF2020, época de referencia 2021.8 con una incertidumbre horizontal de 2mm y vertical de 4 mm.
- Se obtuvo el nuevo campo de velocidades VEC_{EC} 2025 para 44 estaciones continentales y 2 estaciones insulares de la REGME.
- En términos generales, la variabilidad de las coordenadas en los 30 años de geodesia satelital (1990 - 2026) presentan discrepancias cercanas a un metro; sin embargo, en los últimos 5 años (2016 - 2021) muestran un promedio de ~ 5 cm con una variación máxima de ~ 9 cm.
- Los procesos de deformación post-sísmica (post-terremoto de Pedernales 2016), aún están presentes a lo largo del país de acuerdo al análisis presentado en las series de tiempo.
- El procesamiento preciso de datos GNSS requiere que las coordenadas de las estaciones de referencia se encuentren en la misma época en que se adelanta la medición, de igual manera que estén asociadas al mismo marco de referencia de las órbitas satelitales.
- Las nuevas coordenadas obtenidas permiten actualizar el servicio REGME-IP, para mejorar la precisión en las actividades de posicionamiento en tiempo real mediante el protocolo NTRIP.



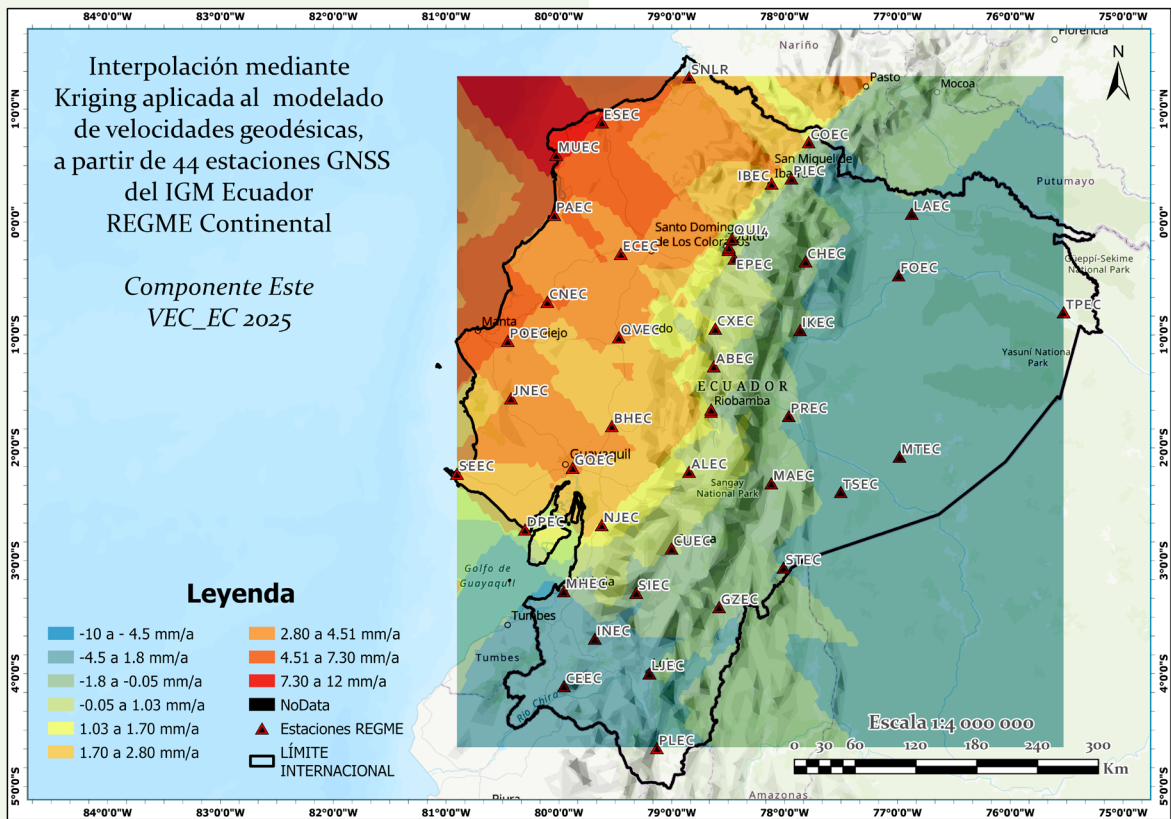


Figura 13. Interpolación de velocidad en la componente Este (método Kriging).

Fuente: Elaboración propia.

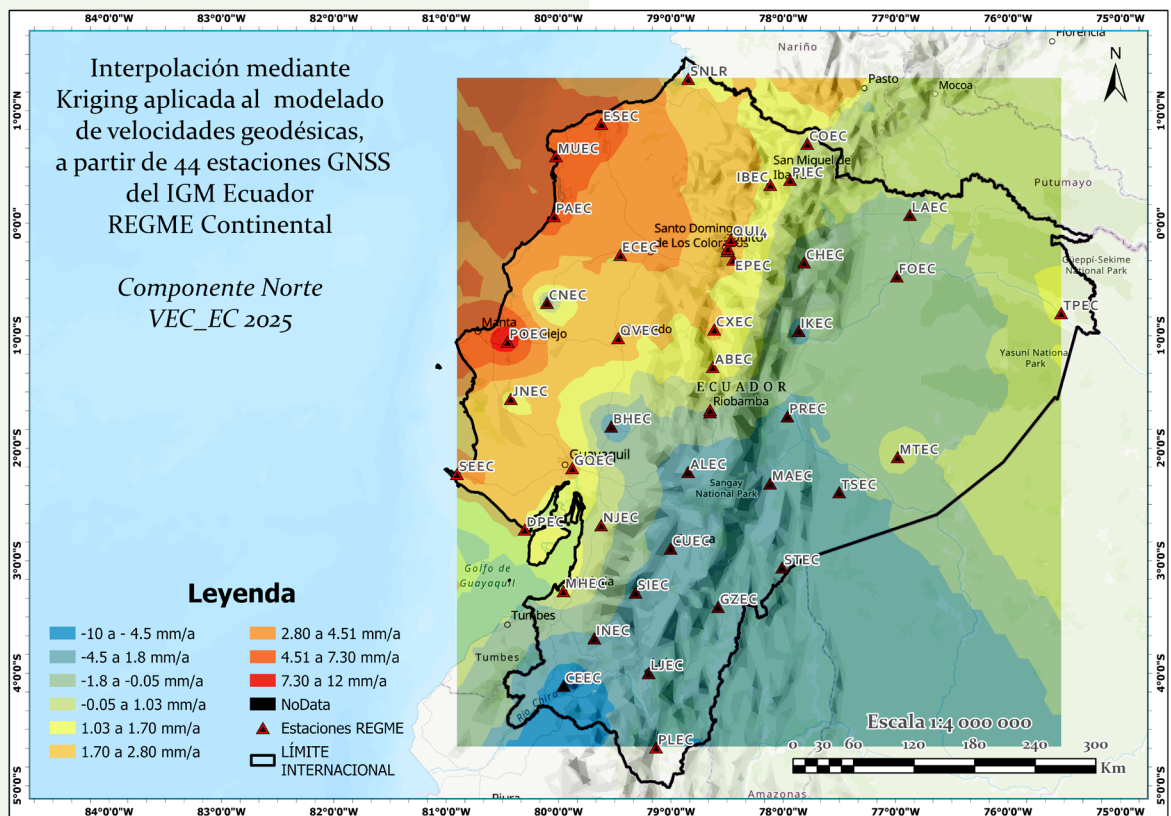


Figura 14. Interpolación de velocidad en la componente Norte (método Kriging).

Fuente: Elaboración propia.



- Las coordenadas obtenidas para las estaciones REGME y los sitios RENAGE constituyen el insumo principal para la adopción del nuevo Marco Geodésico de Referencia Nacional (información disponible en el Reporte 75, propuesto por Cisneros, Nocquet 2026), referido a la época actual y compatible con las técnicas de medición satelital vigentes en la actualidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Altamimi, Z., Rebischung, P., Métivier, L., & Collilieux, X. (2016). ITRF2014: A new release of the international terrestrial reference frame modeling nonlinear station motions. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 121(8), 6109–6131. <https://doi.org/10.1002/2016JB013098>
- Altamimi, Z., Sánchez, L., & SIRGAS Working Group. (2018). SIRGAS: A geodetic reference system for Latin America and the Caribbean. *International Association of Geodesy Symposia*, 136, 503–512.
- Alvarado, A., et al. (2016). Partitioning of oblique convergence in the northern Andes subduction zone: Migration of the North Andean Sliver. *Tectonics*, 35(9), 1958–1984.
- Blewitt, G., Hammond, W. C., & Kreemer, C. (2018). Harnessing the GPS data explosion for interdisciplinary science. *Eos*, 99. <https://doi.org/10.1029/2018EO104623>
- Cisneros, D., & Nocquet, J.-M. (2019). Actualización preliminar del sistema nacional de referencia espacial SIRGAS-Ecuador posterior al terremoto de Pedernales (Mw 7.8) del 16 de abril de 2016. *Revista Geofísica*, 67, 41–79.
- Cressie, N. (1993). *Statistics for spatial data*. John Wiley & Sons.
- Drewes, H., Sánchez, L., Blitzkow, D., Freitas, S., et al. (2009). The geocentric reference system for the Americas (SIRGAS): Objectives and results. *Journal of Geodesy*, 83, 611–620. <https://doi.org/10.1007/s00190-008-0273-x>
- Estey, L., & Meertens, C. (1999). TEQC: The multi-purpose toolkit for GPS/GLONASS data. *GPS Solutions*. <https://link.springer.com/article/10.1007/PL00012778>
- Goovaerts, P. (1997). *Geostatistics for natural resources evaluation*. Oxford University Press.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Wasle, E. (2008). *GNSS – Global navigation satellite systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more*. Springer.
- International Earth Rotation and Reference Systems Service (IERS). (2013). *International Earth rotation and reference systems service*. https://www.iers.org/IERS/EN/Home/home_node.html
- IGN-LAREG. (2022). *International terrestrial reference frames*. <https://itrf.ign.fr/>
- Kellogg, J. N., & Dixon, T. H. (1990). Central and South America GPS geodesy (CASA): Project overview and tectonic implications. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 71(46), 1589–1590.
- Kitanidis, P. K. (1997). *Introduction to geostatistics: Applications in hydrogeology*. Cambridge University Press.
- Le Hénaff, M. C. (2015). Spatial interpolation of GPS velocities using Kriging methods. *Journal of Geodesy*, 89(11), 1107–1124.
- Mothes, P., et al. (2018). Seismic, volcanic and geodetic networks in Ecuador: Building capacity for monitoring and research.
- Nocquet, J.-M., et al. (2014). Motion of continental slivers and creeping



- subduction in the northern Andes. Nature Geoscience*, 7, 287–291.
- Nocquet, J.-M. (2022). PYACS: Python tools for geodetic analysis. <https://github.com/JMNocquet/pyacs36>
 - Nocquet, J.-M., & Monfret, T. (2008). *Geodesia, geodinámica y ciclo sísmico en Ecuador*. Quito.
 - Sánchez, L., et al. (2016). *The SIRGAS reference frame realization. Scientific Technical Report STR*. GFZ German Research Centre for Geosciences.
 - Seeber, G. (2003). *Satellite geodesy: Foundations, methods, and applications (2nd ed.)*. Walter de Gruyter.
 - Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS). (2020). *SIRGAS-CON: Technical reports and reference frame solutions*. <http://www.sirgas.org>
 - Sistema de Referencia Geodésico para las Américas (SIRGAS). (2021). *Sistema de referencia geodésico para las Américas*. <https://sirgas.ipgh.org/>
 - Tremel, H., & Urbina, R. (2000). *Processing of the Ecuadorian national GPS network within the SIRGAS reference frame*. DGFI.



Mantilla, Roberto.
roberto.mantilla@geograficomilitar.gob.ec

INCORPORACIÓN DE TECNOLOGÍA DE GRABADO LÁSER DIRECTO (DLE) EN LA IMPRESIÓN INTAGLIO DEL PASAPORTE ECUATORIANO

INCORPORATION OF DIRECT LASER ENGRAVING TECHNOLOGY (DLE) IN THE INTAGLIO PRINTING OF THE ECUADORIAN PASSPORT

RESUMEN

La seguridad documental representa un componente crítico marcado por el incremento de la movilidad humana, la digitalización de servicios públicos y la sofisticación del fraude documental. Los pasaportes, instrumentos de identidad y movilidad, requieren sistemas de protección que integren tecnologías físicas y electrónicas, entre ellos destaca el intaglio como uno de los métodos más confiables y difíciles de falsificar. El Instituto Geográfico Militar, responsable de la producción de documentos de seguridad a nivel nacional, ha incorporado la máquina MultiDX! 320 de Lüscher Technologies AG que fortalece la producción del pasaporte ecuatoriano. La adquisición representa un hito tecnológico que posiciona al país en la vanguardia regional de la impresión de documentos de seguridad.

Palabras clave: documentos de viaje, impresión intaglio, pasaporte, seguridad documental.

ABSTRACT

Document security is a critical component, marked by increased human mobility, the digitization of public services, and the sophistication of document fraud. Passports, instruments of identity and mobility, require protection systems that integrate physical and electronic technologies, among these intaglio stands out as one of the most reliable and difficult-to-counterfeit methods. The Military Geographic Institute, responsible for the production of security documents nationwide, has incorporated the MultiDX! 320 de Lüscher Technologies AG machine, which strengthens the production of Ecuadorian passports. This acquisition represents a technological milestone that positions the country at the forefront of regional security document printing.

Keywords: travel documents, intaglio printing, passport, document security.

INTRODUCCIÓN

El presente artículo analiza la relevancia técnica, documental, institucional y estratégica de la impresión intaglio, evaluando su impacto en la seguridad documental y la soberanía tecnológica del Estado ecuatoriano. Además, se evidencia su aporte al fortalecimiento institucional y al cumplimiento de estándares internacionales en la producción de documentos de viaje (Figura 1).



Figura 1. Seguridad en documentos de viaje para evitar fraudes o suplantación de identidad.

Fuente: Elaboración propia.

Durante las últimas décadas, el incremento del flujo de movilidad internacional ha transformado a la seguridad documental en un tema prioritario a nivel mundial. Según la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), más de 1 500 millones de viajes internacionales se realizan anualmente, lo que exige sistemas más robustos para la verificación de identidad para evitar falsificación, adulteración, duplicación y suplantación (FADS).

El fraude documental evoluciona en forma paralela al avance tecnológico. Entre las técnicas de falsificación más utilizadas se encuentran:

- Impresión digital de alta resolución.
- Manipulación química de documentos.
- Sustitución de páginas internas del documento.
- Clonación de chips electrónicos.
- Robo de identidad.

En los elementos de seguridad actuales, el intaglio ocupa una posición esencial en los procesos productivos, lo cual ha permitido fortalecer la credibilidad en la información y minimizar posibles aspectos vulnerables. Frente a estas amenazas, los países y las grandes empresas especializadas en seguridad documental han innovado las técnicas de impresión y desarrollado varios sistemas de seguridad basados en múltiples capas:

- Seguridad del sustrato.
- Seguridad de impresión.
- Seguridad óptica.
- Seguridad electrónica.
- Seguridad biométrica.

DESARROLLO

1. Evolución histórica de la impresión intaglio.

Llamada también impresión calcográfica, tiene sus raíces en el siglo XV con los primeros grabados en cobre utilizados para arte y cartografía. Con el tiempo, esta técnica evolucionó hacia aplicaciones de seguridad, especialmente en la impresión de moneda (Figura 2). Durante el siglo XIX, la impresión intaglio fue adoptada por bancos centrales debido a su dificultad para la falsificación; desde aquella época su uso se ha extendido a documentos de identidad y pasaportes.



Figura 2. Impresión intaglio aplicada a un rostro en un billete.

Fuente: Monday Merch (s.f.).

Tradicionalmente, las placas intaglio se grababan manualmente por artistas especializados (Figura 3). Este proceso, aunque en gran medida artístico, implicaba algunas limitaciones:

- Altos tiempos de producción.
- Dependencia del talento humano.
- Dificultad en la replicación exacta.



Figura 3. Detalle de placa intaglio grabada a mano.

Fuente: Kings Wild Project (s.f.).

La incorporación del grabado láser directo (DLE) en placas metálicas de cobre, acero, zinc o aluminio revolucionó el proceso; sin embargo, la forma para su aplicación se mantiene hasta la actualidad, con una significativa reducción de tiempo en la elaboración de la matriz metálica, lo que aumenta la exactitud en cada reproducción.

Esta técnica de impresión o estampado es una compleja adición de líneas muy finas y microelementos que pueden ser verificados mediante una lupa o microscopio, lo cual conjuntamente con el diseño estructural fortalece la idoneidad y autenticidad del documento (Figura 4).



Figura 4. Detalle de impresión intaglio en un documento de seguridad.

Fuente: A1 Security Print (s.f.).

El intaglio consiste en la grabación de una placa que genera hendiduras en el grabado, las mismas que servirán para obtener el relieve de la tinta al ser impresa sobre la superficie; es así que se obtiene una matriz a ser utilizada en la reproducción de miles de ejemplares (Figura 5). Por esta razón, se lo realiza con una presión y precisión establecidas con el objetivo que el estampado sea óptimo y la tinta genere un relieve sutil a la vista, pero reconocible fácilmente con el tacto. El proceso involucra los siguientes aspectos (Figura 6):

- Grabado de la matriz metálica.
- Aplicación de tinta de alta viscosidad y limpieza superficial de la placa mediante rodillos.
- Transferencia de la tinta mediante presión extrema.
- Secado controlado.



Figura 5. Retrato de la Reina Isabel grabado en una matriz para impresión calcográfica (billete de 50 libras).

Fuente: Getty Images (s.f.).



PROCESO Intaglio

También llamada calcografía, técnica de impresión utilizado en documentos de viaje como pasaportes, billetes y documentos de seguridad.



Alta seguridad

Detalle extremo

Impresión táctil

Figura 6. Proceso de impresión intaglio.

Fuente: Elaboración propia.

La presión ejercida genera un relieve característico que produce sombras naturales, reflejos variables y sensación táctil verificable fácilmente por la alta saturación de tinta. Estas características son extremadamente difíciles

de replicar mediante la impresión digital, por lo cual la técnica es utilizada mundialmente en diversos productos; por gobiernos, bancos centrales y casas de moneda (Figura 7).





Figura 7. Detalle de relieve en la impresión intaglio (billetes de 5 sucres).

Fuente: Elaboración propia.

Al ser una técnica exclusiva del campo de la impresión de seguridad, no todas las empresas involucradas en el ámbito de las artes gráficas la pueden realizar. La producción del pasaporte ecuatoriano incluye un conjunto complejo de diferentes técnicas de impresión para generar un documento extremadamente seguro. Entre las más comunes se encuentran el diseño integrado con líneas muy finas, los microtextos, los elementos ocultos, la impresión en arcoíris, entre otras, difíciles de reproducir por su complejidad gráfica cuyo efecto minimiza los intentos de replicación (Figura 8).



Figura 8. Complejidad del diseño en impresión intaglio.

Fuente: Formas Inteligentes (s.f.).

2. El pasaporte ecuatoriano como documento de alta seguridad.

El Instituto Geográfico Militar (IGM) cuenta con una amplia experiencia en la impresión de especies valoradas y documentos de seguridad, por lo que opera bajo rigurosos

protocolos técnicos y estrictos controles de calidad. Además, cuenta con tecnología de última generación, adecuada infraestructura y personal calificado que garantizan la integridad del producto final en un entorno controlado y seguro (Figura 9).



Figura 9. Impresión intaglio en las contratapas del pasaporte.

Fuente: Banco de imágenes del área de Pre-prensa.

El pasaporte ecuatoriano representa el producto gráfico más relevante producido por la institución. En la actualidad, es uno de los documentos de identidad más seguros a nivel regional y mundial, cumpliendo con los estándares normativos y las recomendaciones establecidas por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) y su normativa 9303, la cual se encarga de normalizar y controlar las prácticas del transporte aéreo en más de 190 países (Figura 10).





Figura 10. Tipos de pasaportes utilizados actualmente en el Ecuador.

Fuente: Banco de imágenes del área de Pre-prensa.

El pasaporte incorpora en su estructura de diseño y en su impresión más de treinta medidas de seguridad, integrando tecnología física y gráfica para dificultar de manera significativa cualquier intento de FADS. Entre las medidas de seguridad se incluyen papel de seguridad con fibras visibles e invisibles, marcas de agua, tintas de seguridad reactivas a luz ultravioleta, microtextos, fondos de alta complejidad, guilochés, numeración perforada cónica, imágenes latentes, elementos ópticamente variables, laminados de protección con dispositivos holográficos y mecanismos de impresión calcográfica (Figura 11).

Además, se integra un chip electrónico que almacena de forma segura la información biométrica del titular, fortaleciendo los controles de identidad y permitiendo la verificación automatizada en los puntos de control migratorio.



Figura 11. Seguridades del pasaporte.

Fuente: Banco de imágenes del área de Pre-prensa.

En virtud del conjunto integral de seguridades, no se han registrado casos documentados de falsificación sistemática del pasaporte ecuatoriano, consolidándose como un documento de identidad confiable y seguro. Su diseño no solo refleja elementos de identidad cultural y patrimonial, sino que también representa un compromiso institucional con la protección de la identidad, la soberanía documental y la seguridad del Estado.

3. MultiDX! 320 de Lüscher Technologies AG: revolución en el grabado de seguridad.

El sistema MultiDX! 320 de origen estadounidense (Figura 12) que incorpora tecnología Direct Laser Engraving (DLE), utiliza un láser de alta precisión para grabar directamente las placas metálicas con el objetivo de implementar múltiples técnicas de impresión con resoluciones de al menos 10000 dpi, la cual constituye una característica primordial de las impresiones de alta seguridad.

Además, el sistema está compuesto de la Flat Stamping Intaglio Press System (Figura 13), prensa encargada de la impresión del intaglio y el estampado en pan de oro y plata de las percalinas (cubiertas del pasaporte).

Las características de estos equipos permitirán garantizar una trazabilidad completa del proceso, generando una reducción del tiempo de producción, control en los insumos y materiales conformes y no conformes, organización en los tiempos de impresión, adecuada distribución del personal operativo y un cronograma riguroso de los procesos internos de la Dirección de Imprenta de Geoinformación y Seguridad Documentaria (DIGSD).

Este contexto posiciona al IGM como el principal proveedor de pasaportes del país, concentrando alrededor del 80 % de la producción total, lo que ha contribuido a modernizar la impresión de seguridad a nivel nacional y a consolidar a la institución como referente regional en seguridad documental.

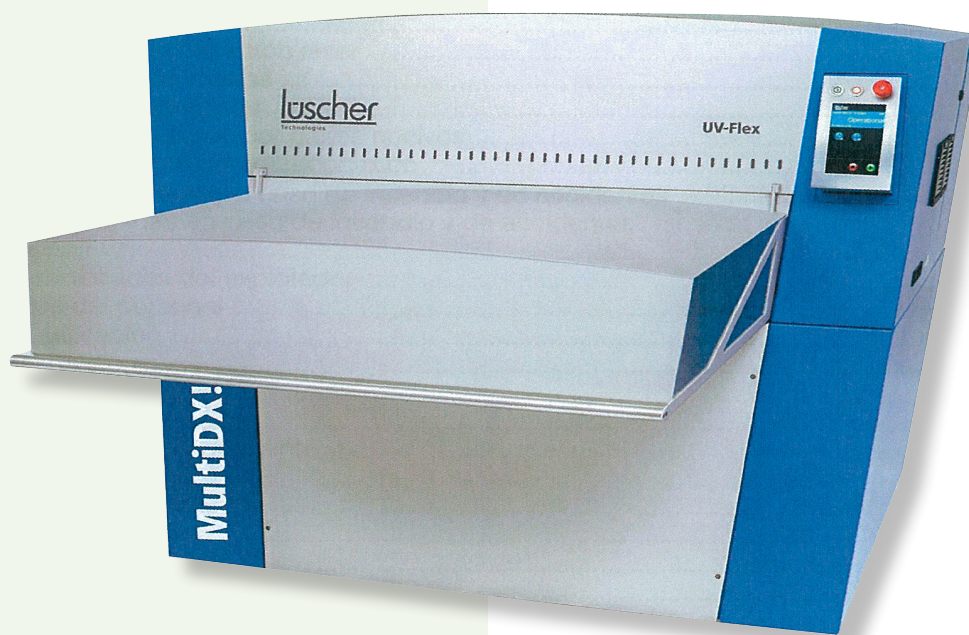


Figura 12. Máquina MultiDX! 320 de Lüscher Technologies AG.

Fuente: Elaboración propia.

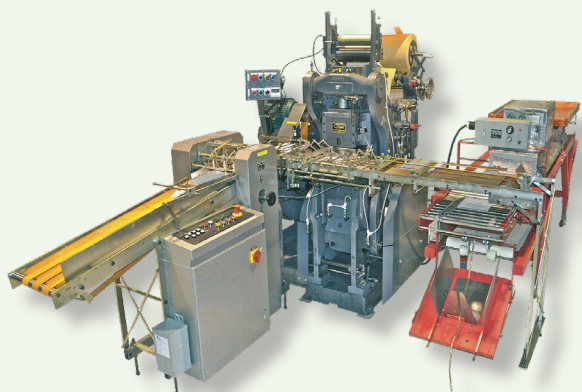


Figura 13. Prensa Flat Stamping Intaglio Press System.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 14. Involucramiento de instituciones públicas para la emisión y control del pasaporte.

Fuente: Radio Pichincha (2024).

4. Beneficios para las instituciones públicas nacionales.

El impulso por parte del IGM en este ámbito, fomenta la independencia tecnológica y genera una producción nacional confiable, segura y oportuna respecto a la impresión de especies valoradas y documentos de seguridad para entidades públicas nacionales, evitando la externalización de documentos sensibles (Figura 14).

Inicialmente, la implementación de esta clase de tecnología es costosa. Sin embargo, la producción local reducirá significativamente los valores operativos y logísticos, brindando agilidad en la obtención de documentos de calidad e incrementando la inversión nacional.

El fortalecimiento de la seguridad nacional es un objetivo del IGM, considerando a la modernización tecnológica como un paso necesario hacia la obtención de este propósito.



Las especies valoradas y los documentos de seguridad reducen los delitos y minimizan las posibilidades para falsificaciones o suplantaciones de información (Figura 15). El trabajo conjunto y articulado en la cadena de producción refuerza el compromiso institucional con el Ecuador.



Figura 15. Fortalecimiento tecnológico, biométrico y físico para una correcta autenticación de datos.

Fuente: Diario Expreso (2024).

5. Futuro del pasaporte ecuatoriano.

El Ecuador, en búsqueda de un paso significativo en la modernización de sus documentos de viaje, viene trabajando desde el año 2023 en un nuevo diseño de pasaporte que responda a las exigencias y estándares internacionales vigentes (Figura 16).

Este documento, cuya producción está alineada con las especificaciones técnicas de la OACI, representa un avance tecnológico significativo en materia de seguridad y control documental que busca asegurar no solo la identidad de los ciudadanos ecuatorianos, sino también facilitar su tránsito seguro a través de fronteras internacionales.

La elaboración de un nuevo pasaporte se realizará con el soporte técnico y operativo del IGM, responsable de la impresión de especies valoradas y documentos de seguridad, en coordinación con entidades como el Ministerio de Relaciones Exteriores y Movilidad Humana (MREMH) y la Dirección General de Registro Civil, Identificación y Cedulación (DIGERCIC).



Figura 16. Nuevo diseño del pasaporte ecuatoriano.

Fuente: Elaboración propia.

El nuevo pasaporte mantiene las características de lectura mecánica y datos biométricos protegidos por un chip RFID electrónico que permite la verificación automática y segura de la identidad del titular. Esta tecnología asegura que la información demográfica y biométrica como la imagen facial, huellas dactilares y firma digital cumpla con los parámetros técnicos definidos por la OACI.

Estos parámetros buscan reforzar las seguridades contra la suplantación de identidad y la falsificación, incrementando la confianza tanto de la ciudadanía como de los organismos migratorios nacionales e internacionales. La impresión intaglio constituye un elemento clave para la nueva imagen del Ecuador ante el mundo, con los nuevos equipos tecnológicos adquiridos se podrá realizar el diseño, implementación e impresión de este elemento de seguridad.

El diseño del nuevo pasaporte incorpora medidas de seguridad avanzadas que dificultan su alteración o reproducción no autorizada. Entre estas se incluyen



mecanismos de impresión arcoíris de alta complejidad gráfica, un diseño de seguridad renovado con énfasis en la cultura, flora, fauna e identidad ecuatoriana, así como la aplicación de tintas de seguridad, dispositivos holográficos; materiales de seguridad, códigos de lectura mecánica estandarizados y tecnología para datos biométricos electrónicos que permiten una validación confiable del documento en puntos fronterizos automatizados (Figura 17).

El uso del sistema automatizado de captura de identidad biométrica (ABIS) respalda la generación de estos pasaportes, integrando robustos controles de calidad y verificación conforme a los estándares internacionales de seguridad.



Figura 17. Proceso de generación digital de elementos para impresión intaglio.

Fuente: Elaboración propia.

Más allá de la mejora en la protección documental, este nuevo diseño forma parte de una estrategia más amplia que busca reforzar la seguridad ciudadana, agilizar los procesos migratorios y fortalecer la presencia estatal en acuerdos internacionales (Figura 18).

La adopción de documentos biométricos con altos niveles de seguridad contribuye también a facilitar relaciones bilaterales y multilaterales, como las negociaciones para la exoneración de visados (espacio Schengen).



Figura 18. Detalle simulado del intaglio en las contratas del nuevo pasaporte.

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

La incorporación de la tecnología de DLE mediante el sistema MultiDX! 320 de Lüscher Technologies AG, en conjunto con la prensa Flat Stamping Intaglio Press System, constituye un hito tecnológico en la modernización de la seguridad documental nacional y en el fortalecimiento de las capacidades productivas del IGM. Este avance consolida la producción nacional de documentos de viaje con altos estándares de precisión, confiabilidad y control.

La impresión intaglio, modernizada a través de tecnologías digitales de alta resolución, se reafirma como uno de los métodos más robustos para la protección de documentos de viaje debido a sus características táctiles, ópticas y gráficas, las cuales resultan altamente resistentes frente a técnicas avanzadas de falsificación, adulteración, duplicación y suplantación de identidad.

La adopción del sistema MultiDX! 320 de Lüscher Technologies AG permite optimizar los tiempos de producción, mejorar la trazabilidad de los procesos, garantizar uniformidad en la elaboración de matrices y reducir la dependencia de técnicas manuales tradicionales, fortaleciendo la eficiencia operativa y el control de calidad.



Desde una perspectiva estratégica, esta incorporación tecnológica contribuye al fortalecimiento de la soberanía tecnológica del Estado ecuatoriano, al disminuir la externalización de procesos sensibles y consolidar capacidades técnicas internas para la producción de documentos de seguridad.

Finalmente, la modernización de la impresión intaglio posiciona al pasaporte ecuatoriano en concordancia con los estándares internacionales establecidos por la OACI, proyectando una imagen de confiabilidad, innovación y solidez institucional, que respalda la inserción segura del país en los sistemas internacionales de control migratorio y movilidad global.

BIBLIOGRAFÍA

- *Bundesdruckerei. (2023). Passport security features. Bundesdruckerei Group.*
- *Crane Currency. (2023). Intaglio security printing. Crane Currency.*
- *De La Rue. (2022). Security printing technologies. De La Rue plc.*
- *International Civil Aviation Organization. (2023). Machine readable travel documents (Doc 9303). ICAO.*
- *Interpol. (2022). Travel document security guide. INTERPOL.*
- *Keesing Technologies. (2022). Identity document handbook. Keesing Technologies.*
- *Lüscher Technologies. (2024). Direct laser engraving systems. Lüscher Technologies AG.*
- *Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2021). Identity fraud report. OECD Publishing.*



Vinueza, Washington.
washington.vinueza@geograficomilitar.gob.ec

Reyes, David.
mauriciodavidreyespoza@gmail.com

LA CARTOGRAFÍA, LA GEOINFORMACIÓN Y SU IMPORTANCIA EN LA PLANIFICACIÓN TERRITORIAL

*CARTOGRAPHY, GEOINFORMATION, AND THEIR IMPORTANCE IN TERRITORIAL
PLANNING*

RESUMEN

Este artículo examina críticamente el rol de la cartografía y la geoinformación como soporte técnico para la planificación territorial. Desde la ciencia de la información geográfica, aborda los fundamentos de representación espacial (modelos de datos, escala, generalización, exactitud y calidad) y los procesos que transforman datos en conocimiento para la decisión pública (modelos multicriterio). Se integra evidencia de estudios ecuatorianos recientes a escala 1:5000 (geomorfología, suelos y validación cartográfica) y un caso de zonificación de susceptibilidad a desertificación, discute sus alcances y limitaciones en PDOT y PUGS. En conclusión, se establece que la utilidad depende de calidad, transparencia, validación y gobernanza interoperable.

Palabras clave: capacidad de acogida, cartografía temática, geoinformación, Infraestructura de Datos Espaciales, planificación territorial.

ABSTRACT

This article critically examines the role of cartography and geoinformation as technical support for territorial planning. From the perspective of geographic information science, it addresses the foundations of spatial representation (data models, scale, generalization, accuracy, and quality) and the processes that transform data into knowledge for public decision-making (multi-criteria models). It integrates evidence from recent Ecuadorian studies at a 1:5 000 scale (geomorphology, soils, and cartographic validation) and a case of desertification susceptibility zoning, discussing their scope and limitations within PDOT and PUGS instruments. It concludes that practical usefulness depends on data quality, transparency and validation, and interoperable governance frameworks.

Keywords: carrying capacity, thematic cartography, geoinformation, Spatial Data Infrastructure, territorial planning.

INTRODUCCIÓN

La planificación territorial es un proceso de toma de decisiones públicas que busca orientar el uso, la ocupación y la transformación del espacio, conciliando objetivos de desarrollo socioeconómico, reducción de riesgos y sostenibilidad ambiental. En la práctica, este proceso depende de la capacidad de los actores institucionales para describir, medir y modelar fenómenos espacialmente distribuidos como: expansión urbana, aptitud del suelo, funcionamiento hidrológico, accesibilidad, amenazas naturales, servicios ecosistémicos y desigualdades socio-territoriales.

La cartografía (ciencia y técnica de representación del territorio) y la geoinformación (conjunto de datos, metadatos, modelos y servicios que describen el espacio geográfico) constituyen el lenguaje operativo con el cual la planificación territorial convierte problemas complejos en diagnósticos verificables y en reglas de intervención.

En el campo de la ciencia de la información geográfica (GIScience), la cartografía no se reduce a un producto visual; es un sistema de abstracción que impone ontologías, escalas, reglas de generalización y métricas de calidad, condicionando la interpretación y la acción (Goodchild, 1992). Por esta razón, el valor de la geoinformación para el desarrollo territorial no reside únicamente en “tener mapas”, sino en disponer de representaciones espaciales con escala adecuada, consistencia temática, exactitud cuantificable, interoperabilidad y trazabilidad metodológica.

En Ecuador, varios trabajos recientes han reforzado la necesidad de geoinformación temática de alta resolución para instrumentos como los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) y los Planes de Uso y Gestión del Suelo (PUGS). En particular, el proyecto de “Determinación de la Capacidad de Acogida del Territorio con fines de Desarrollo Urbano mediante la Generación de Geoinformación Temática a Escala 1:5 000” ejecutado por el Instituto Geográfico Militar (IGM) ha articulado cartografía biofísica y socioeconómica a escala 1:5 000 para apoyar decisiones urbanas y mitigación de amenazas (Cascante

Almeida & Reyes Pozo, 2024; Reyes, 2022). Asimismo, se han propuesto y evaluado metodologías de fotointerpretación geomorfológica 3D y delimitación de geomorfología y suelos como insumos directos para el ordenamiento territorial (Calvache Delgado et al., 2023; Cueva et al., 2024), y se ha cuantificado la validez de cartografía temática mediante métricas como el índice Kappa (Reyes Pozo et al., 2024). En paralelo, se ha aplicado análisis geoespacial para zonificar susceptibilidad a desertificación con base en variables climáticas y edáficas, mostrando su potencial para priorizar medidas de manejo y adaptación (Cascante et al., 2019).

Este artículo desarrolla un marco técnico integrador que vincula cartografía, geoinformación e instrumentos de planificación territorial, enfatizando la transformación de datos a conocimiento y las condiciones necesarias para que los productos cartográficos sean defendibles, replicables y útiles en la gestión del territorio.

DESARROLLO

1. Cartografía y geoinformación: fundamentos técnicos para la planificación.

En términos operativos, la cartografía es el proceso de diseñar y producir representaciones del espacio geográfico, seleccionando variables, simbolización, escala y proyección para comunicar relaciones espaciales. La geoinformación amplía este concepto al incorporar el ciclo completo de vida del dato: captura, estructuración (modelo vectorial y ráster, topología, redes), documentación (metadatos), análisis, distribución y servicios (WMS/WFS/tiles) hasta su consumo en sistemas de decisión.

El tránsito histórico desde la cartografía analógica hacia los Sistemas de Información Geográfica (SIG) consolidó una plataforma científica que integra medición, modelamiento y comunicación espacial (Longley et al., 2015).

En la planificación territorial, tres propiedades cartográficas son críticas: (a) escala y unidad mínima cartografiable que determinan el nivel de detalle y el tipo de decisiones que



el mapa puede sostener; (b) referencia espacial (datum, sistema de coordenadas y proyección) que asegura consistencia geométrica y compatibilidad entre capas y (c) calidad y exactitud que expresan el grado de incertidumbre y error tolerable según el uso. En instrumentos normativos, el error no es un detalle técnico, es una condición que puede invalidar una zonificación, generar conflictos legales o inducir inversiones en áreas inadecuadas.

Desde GIScience, la representación espacial implica modelar entidades (objetos) y campos (continuos), así como manejar la incertidumbre asociada a mediciones y clasificación temática (Goodchild, 1992). Esto se traduce en decisiones concretas: un mapa de aptitud física constructiva exige coherencia entre pendiente, litología/geomorfología, suelos y drenaje; un mapa de riesgos debe incorporar la dinámica del proceso (frecuencia, magnitud) y no solo su huella histórica, y un mapa de conflictos de uso requiere reglas explícitas de comparación entre cobertura/uso actual y capacidad de uso del suelo.

2. Modelos territoriales derivados de cartografía temática.

La planificación territorial rara vez se decide a partir de variables aisladas, sino a partir de síntesis. Por ello, una función central de la geoinformación es la producción de “temáticas de conocimiento”, es decir, capas derivadas que expresan aptitudes, restricciones o conflictos, construidas mediante reglas analíticas transparentes. En el proyecto “Determinación de la Capacidad de Acogida del Territorio con fines de Desarrollo Urbano mediante la Generación de Geoinformación Temática a Escala 1:5 000” se enfatiza explícitamente la transformación de los datos generados mediante el uso de productos de sensores remotos y datos recolectados en campo para la producción de información temática (geoinformación) y la generación de conocimiento, elaborando productos como aptitud física constructiva, conflictos de uso y capacidad de acogida (Instituto Geográfico Militar, 2025).

En términos técnicos, este paso suele implementarse con:

- Análisis multicriterio espacial: ponderación y combinación de variables normalizadas.
- Reglas determinísticas (umbrales): clasificación por rangos (pendiente, textura, nivel freático).
- Modelos estadísticos o de aprendizaje automático: calibración con datos observados.

El desafío metodológico es doble. Primero, la selección de criterios debe estar anclada en relaciones biofísicas y socioeconómicas plausibles, evitando “modelos caja negra” imposibles de auditar. Segundo, el resultado debe validarse, porque la complejidad territorial produce errores sistemáticos en zonas de transición o alta heterogeneidad (áreas periurbanas o ambientes aluviales).

Un ejemplo complementario es la zonificación de susceptibilidad a desertificación en Ibarra, donde la cartografía derivada integra precipitación (P), evapotranspiración (ETP), relación P/ETP, pendiente y textura del suelo para clasificar susceptibilidad (Almeida et al., 2019). El estudio cuantifica la extensión de clases (alta, media, baja, nula) y vincula los patrones espaciales con déficit hídrico y degradación antrópica, lo que permite priorizar acciones de manejo de suelo/agua y adaptación climática.

3. Escala 1:5 000, fotointerpretación geomorfológica y de suelos: por qué importa para el ordenamiento territorial.

La escala no es una preferencia estética; es un requisito funcional. A escalas medianas o pequeñas (Figura 1), fenómenos críticos para el ordenamiento urbano -microrelieves, terrazas aluviales, abanicos, depósitos coluviales, cambios abruptos de pendiente o drenaje- quedan generalizados o invisibles. Esto puede producir diagnósticos incompletos y decisiones subóptimas, como ubicar infraestructura en zonas con alta susceptibilidad a inundación o deslizamiento.

Trabajos ecuatorianos recientes han argumentado que la ausencia de cartografía temática 1:5 000 limita la planificación y contribuye a patrones de expansión urbana



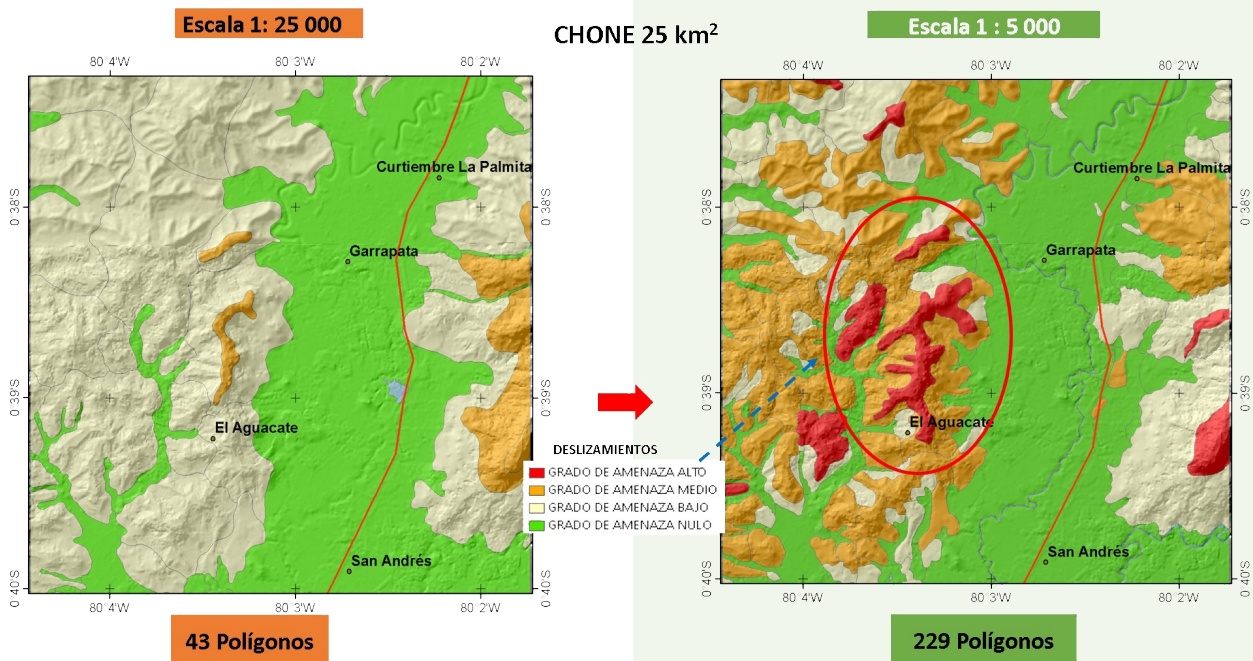


Figura 1. Diferencia entre escala semidetallada y escala de detalle en la modelación de amenaza por deslizamientos.

Fuente: Elaboración propia.

mal regulados (Cueva et al., 2024). En Durán, la fotointerpretación geomorfológica 3D a 1 : 5 000 (Instituto Geográfico Militar, 2025) se plantea como insumo directo para el desarrollo territorial, al delimitar geformas y relacionarlas con suelos, drenaje y riesgo (Calvache Delgado et al., 2023). En Otavalo, la delimitación conjunta de geomorfología y suelos a 1 : 5 000 se presenta como punto de partida para productos como capacidad de uso de las tierras, aptitud física constructiva y conflictos de uso (Cueva et al., 2024).

Desde el punto de vista cartográfico, la fotointerpretación geomorfológica 3D realizada por el IGM agrega valor al incorporar indicadores de forma, textura y contexto (morfometría, patrón de drenaje, continuidad de laderas), y al permitir distinguir unidades de terreno con significado funcional. Para que este proceso sea técnicamente defendible en planificación, se debe incluir:

- Criterios explícitos de interpretación y leyenda.
- Verificación de campo y muestreo.
- Coherencia topológica y control de calidad.

- Metadatos que declaren escala efectiva, fuentes y limitaciones.

4. Calidad, validación e incertidumbre: condiciones de uso de la cartografía en decisiones públicas.

La cartografía para planificación territorial debe ser evaluada con criterios de calidad acordes al impacto de la decisión. En general, se distinguen dimensiones de calidad posicional (error geométrico), calidad temática (clasificación correcta), consistencia lógica (topología, reglas), completitud, temporalidad (vigencia) y linaje (trazabilidad del proceso). Estas dimensiones permiten responder la pregunta clave: ¿en qué medida el mapa representa correctamente el fenómeno y con qué incertidumbre?

En el caso de cartografía temática derivada, la validación es particularmente relevante. El estudio de validación de cartografía temática aplicada a capacidad de acogida en tres ciudades del Ecuador reporta porcentajes de coincidencia y valores del índice Kappa diferentes entre ciudades, evidenciando que el desempeño del modelo puede variar por contexto geomorfológico, urbano y por disponibilidad/calidad de datos de



entrada (Reyes et al., 2024). Esta evidencia tiene implicaciones directas: un producto cartográfico con desempeño bajo en un territorio específico no debe trasladarse mecánicamente a normativa sin recalibración, fortalecimiento de muestreo o ajuste de criterios.

De forma complementaria, la validación debe entenderse como un ciclo de mejora: (a) diseñar el modelo con criterios y supuestos explícitos; (b) aplicar validación independiente (campo, muestreo estratificado); (c) cuantificar error y fuentes de incertidumbre y (d) actualizar reglas, pesos y/o insumos. Este enfoque reduce el riesgo de decisiones basadas en cartografía aparentemente precisa pero conceptualmente frágil.

5. Infraestructuras de Datos Espaciales: gobernanza e interoperabilidad para planificación.

Aun con excelente cartografía, la planificación territorial falla si la información no es accesible, interoperable y gobernada. Las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDEs) se definen como arreglos institucionales y técnicos -políticas, normas, estándares, plataformas y acuerdos- orientados a facilitar el descubrimiento, acceso, integración y uso de datos geoespaciales (Consejo Nacional de Geoinformática -CONAGE-, 2013). Desde una perspectiva de sistemas, las IDEs son infraestructura habilitante para economía, gestión ambiental y estabilidad social.

La literatura sobre IDEs e interoperabilidad enfatiza la naturaleza multinivel de estos medios a nivel local, nacional, regional y global, y la importancia de relaciones de cooperación y estándares para evitar duplicación y fragmentación (Williamson et al., 2003). En el plano contemporáneo, el Marco Integrado de Información Geoespacial de Naciones Unidas (UN-IGIF) propone lineamientos estratégicos para integrar y fortalecer la gestión de información geoespacial, reducir brechas digitales y maximizar el valor público (United Nations Committee of Experts on Global Geospatial Information Management [UN-GGIM], n.d.).

En planificación territorial, una IDE madura permite:

- Consistencia de bases de referencia (geodesia, límites administrativos, topografía).
- Servicios interoperables para PDOT/PUGS (capas oficiales, metadatos, versiones).
- Auditoría del linaje del dato (quién produjo, cuándo, con qué método).
- Integración con estadística y catastros (interoperabilidad semántica).

El beneficio práctico es claro: reduce el tiempo de preparación de diagnósticos, evita decisiones con datos obsoletos o no oficiales y fortalece la transparencia y la reproducibilidad del análisis.

DISCUSIÓN

Los casos ecuatorianos a escala 1:5 000 revisados convergen en una tesis: la planificación territorial requiere geoinformación de alta resolución y modelos de síntesis que traduzcan condiciones biofísicas y socioeconómicas en reglas de uso del suelo defendibles. Esta afirmación es coherente con lo planteado por Longley et al. (2015), quienes sostienen que la utilidad del análisis espacial depende de la adecuación entre escala, fenómeno y decisión. En contextos urbanos y periurbanos, la resolución espacial condiciona la capacidad de discriminar heterogeneidades morfoodinámicas que influyen directamente en la aptitud constructiva y en la exposición al riesgo.

El énfasis en geomorfología y suelos como base para capacidad de acogida refleja un principio ampliamente discutido en geografía física aplicada: las unidades de terreno constituyen la matriz estructural del territorio (Zinck, 2012). Desde la perspectiva de la cartografía funcional, la delimitación detallada de geoformas y clases edáficas mejora la correspondencia entre mapa y proceso territorial. Esto coincide con lo señalado por McHarg (1969) en su enfoque de planificación ecológica, donde la superposición sistemática de capas



biofísicas permite identificar restricciones y potencialidades. La diferencia actual radica en que los SIG y modelos multicriterio formalizan matemáticamente lo que en el enfoque clásico era analógico.

Asimismo, la literatura sobre evaluación multicriterio en SIG (Malczewski, 1999; 2006) respalda la idea de que la síntesis territorial debe integrar variables ponderadas bajo criterios explícitos y reproducibles. En los estudios ecuatorianos, la capacidad de acogida y los conflictos de uso responden a esta lógica; sin embargo, Malczewski advierte que la subjetividad en la asignación de pesos puede afectar resultados, lo que refuerza la necesidad de validación y análisis de sensibilidad.

En relación con la susceptibilidad a desertificación, los modelos climáticos-edáficos basados en umbrales son consistentes con metodologías FAO y UNEP para evaluación de degradación de tierras (FAO, 1976; UNEP, 1997). No obstante, como señalan Eastman (2024) y Jiang & Eastman (2000), los modelos determinísticos pueden amplificar errores de entrada, particularmente cuando la interpolación climática o la resolución del DEM no representan adecuadamente la variabilidad local. En este sentido, la incorporación de análisis temporal (series NDVI, cambios de cobertura) se alinea con enfoques más dinámicos de evaluación ambiental.

La validación de cartografía temática mediante índice Kappa y matrices de confusión se fundamenta en principios de evaluación de exactitud ampliamente aceptados (Congalton & Green, 2019).

La variabilidad entre ciudades observada en estudios ecuatorianos confirma que la exactitud temática es dependiente del contexto espacial y de la complejidad geomorfológica. Esto coincide con lo planteado por Goodchild (2007) sobre la naturaleza incierta y contextual de la información geográfica, donde la calidad no es absoluta sino dependiente del uso.

Finalmente, la discusión sobre IDE e interoperabilidad y marcos como el Marco Integrado de Información Geoespacial (UN-

IGIF) amplía el enfoque técnico hacia una dimensión institucional. Williamson et al. (2003) sostienen que las IDEs son sistemas sociotécnicos donde estándares, metadatos, políticas y capacidades humanas determinan el valor público de la geoinformación.

De igual forma, el marco del Comité Regional de las Naciones Unidas sobre la Gestión Global de la Información Geoespacial para las Américas (UN-GGIM: Américas), (UN-GGIM, 2018) enfatiza que la gobernanza geoespacial es un habilitador del desarrollo sostenible, integrando datos fundamentales, interoperabilidad y sostenibilidad financiera. Desde esta perspectiva, la planificación territorial efectiva no depende únicamente de la calidad cartográfica, sino de la capacidad institucional para mantener, actualizar y compartir información.

En síntesis, los casos ecuatorianos se alinean con tendencias internacionales en ciencia geoespacial: (a) primacía de la escala adecuada y la unidad de terreno como base analítica, (b) formalización de modelos multicriterio con transparencia metodológica, (c) necesidad de validación rigurosa de productos cartográficos, y (d) consolidación de marcos de gobernanza e interoperabilidad.

La convergencia entre evidencia local e internacional refuerza la tesis de que la geoinformación de alta calidad es condición necesaria, aunque no suficiente, para una planificación territorial robusta, sostenible y defendible técnicamente.

CONCLUSIONES

La cartografía y la geoinformación constituyen la infraestructura técnica del ordenamiento territorial, al permitir describir, medir y modelar fenómenos espaciales con criterios de escala, referencia y calidad que condicionan la validez de las decisiones.

La utilidad de la geoinformación para planificación se materializa cuando los datos se transforman en capas de conocimiento (aptitud, conflictos, capacidad de acogida, susceptibilidad), mediante reglas analíticas transparentes y auditables.



La escala 1:5 000 es crítica para gestión urbana y periurbana porque captura heterogeneidad del terreno y procesos geomorfológicos relevantes. Su ausencia puede inducir diagnósticos incompletos y aumento de riesgos.

La validación cartográfica debe considerarse requisito mínimo para productos que alimentan normativa y zonificación. Las métricas como el índice Kappa, acompañadas de muestreo estratificado y análisis de error, permiten gestionar incertidumbre y mejorar modelos.

La sostenibilidad y el impacto de la cartografía en el desarrollo territorial dependen de la existencia de IDEs e instrumentos de gobernanza que garanticen interoperabilidad, acceso, linaje del dato y continuidad institucional.

BIBLIOGRAFÍA

- Almeida, P. G. C., Muñoz, L. B. A., & Pozo, M. D. R. (2019). Determinación de zonas susceptibles al fenómeno de desertificación en el cantón Ibarra, provincia de Imbabura. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 4(6), 208-228. <https://doi.org/10.23857/pc.v4i6.1007>
- Cascante Almeida, G., & Reyes Pozo, D. (2024). Cartografía y datos geográficos de suelos en el desarrollo territorial, caso de estudio proyecto capacidad de acogida. *Siembra*, 11.
- Congalton, R. G., & Green, K. (2019). *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429052729>
- Consejo Nacional de Geoinformática (CONAGE). (2013). *Estándares de información geográfica*. Ecuador.
- Cueva, Z. M., Pozo, M. D. R., & Calvache, P. (2024). La delimitación de Geomorfología y Suelos a escala 1: 5.000, como insumo para el Ordenamiento Territorial de la ciudad de Otavalo-Ecuador. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 25(3).
- Delgado, P. C., Tenempaguay, L. M. M., Albarracín, P. S. G., & Pozo, M. D. R. (2023). 3D geomorphological photointerpretation at a scale of 1: 5000 as an input for the territorial development of the city of Duran. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 24(4).
- Eastman, J. R. (2024). *TerrSet-Geospatial Monitoring and Modeling System, Manual*, Clark University.
- FAO. (1976). *A framework for land evaluation*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. *A framework for land evaluation*
- Goodchild, M. F. (1992). Geographical information science. *International journal of geographical information systems*, 6(1), 31-45.
- Goodchild, M. F. (2007). Citizens as sensors: the world of volunteered geography. *GeoJournal*, 69(4), 211-221. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10708-007-9111-y>
- Instituto Geográfico Militar. (2025). *Memoria técnica del Cantón Zumbi. MEMORIA TÉCNICA - Archivos - Geoportal IGM*
- Jiang, H., & Eastman, J. R. (2000). Application of fuzzy measures in multicriteria evaluation in GIS. *International journal of geographical information science*, 14(2), 173-184. <https://doi.org/10.1080/136588100240903>
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2015). *Geographic information science and systems*. John Wiley & Sons.
- Malczewski, J. (1999). *GIS and multicriteria decision analysis*. John Wiley & Sons. <https://scispace.com/papers/gis-and-multicriteria-decision-analysis-3kkng4pcev>



- Malczewski, J. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. *International journal of geographical information science*, 20(7), 703-726. <https://doi.org/10.1080/13658810600661508>
- McHarg, I. L. (1969). *Design with nature* (pp. 7-17). New York: American Museum of Natural History.
- Reyes, D. (2022). La importancia de la geoinformación de suelos en la planificación territorial. Caso de estudio: Proyecto capacidad de acogida. Ecuador es calidad: *Revista científica ecuatoriana*, 9(1), 30-31.
- Reyes Pozo, D., Moreno Izquierdo, J., Flores Vaca, A., & Vinueza Burbano, W. (2024). Validación de cartografía temática. Caso de estudio: capacidad de acogida del territorio en tres ciudades del Ecuador. *Revista Geográfica de América Central*, (73), 26-43.
- UN-GGIM. (2018). *Integrated Geospatial Information Framework (IGIF)*. United Nations Committee of Experts on Global Geospatial Information Management. UNSD — UN-GGIM
- United Nations Committee of Experts on Global Geospatial Information Management. (n.d.). *United Nations Integrated Geospatial Information Framework (UN-IGIF)*. United Nations. <https://ggim.un.org/UN-IGIF/>
- UNEP. (1997). *World atlas of desertification* (2nd ed.). United Nations Environment Programme. *World atlas of desertification /*
- Williamson, I. P., Rajabifard, A., & Feeney, M. E. F. (2003). *Developing spatial data infrastructures: from concept to reality*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780203485774>
- Zinck, J. A. (2012). The geopedologic approach. In *Geopedology: An Integration of Geomorphology and Pedology for Soil and Landscape Studies* (pp. 35-67). Cham: Springer International Publishing.





Revelo, Paúl.
paul.revelo@geograficomilitar.gob.ec

LA CÉDULA DE IDENTIDAD ECUATORIANA COMO DOCUMENTO DE ALTA SEGURIDAD

THE ECUADORIAN IDENTITY CARD AS A HIGH-SECURITY DOCUMENT

RESUMEN

La cédula de identidad constituye el principal documento oficial de identificación personal en el Ecuador y representa un elemento clave dentro del sistema de identidad nacional. En las últimas décadas, su evolución ha estado marcada por la incorporación de tecnologías avanzadas de seguridad documental, materiales especializados y procesos de personalización de alta complejidad, orientados a prevenir la falsificación, el fraude y la suplantación de identidad. El presente analiza la cédula de identidad ecuatoriana desde un enfoque técnico y académico, abordando su marco institucional, características físicas, normativas internacionales aplicables y, especialmente, los sistemas de seguridad documentaria integrados en su diseño y producción. Asimismo, se examina su rol como instrumento estratégico dentro del ecosistema de seguridad del Estado y su impacto en la protección de la identidad ciudadana.

Palabras clave: cédula de identidad, documentos de seguridad, identificación civil, policarbonato.

ABSTRACT

The national identity card constitutes the primary official personal identification document in Ecuador and represents a key element within the national identity system. In recent decades, its evolution has been marked by the incorporation of advanced document security technologies, specialized materials, and highly complex personalization processes aimed at preventing counterfeiting, fraud, and identity theft. This article analyzes the Ecuadorian identity card from a technical and academic perspective, addressing its institutional framework, physical characteristics, applicable international standards, and especially the document security systems integrated into its design and production. Likewise, its role as a strategic instrument within the State's security ecosystem and its impact on the protection of citizens' identity are examined.

Keywords: national identity card, security documents, civil identification, polycarbonate.

INTRODUCCIÓN

La identificación civil es uno de los pilares fundamentales para el funcionamiento del Estado moderno. A través de los documentos oficiales de identificación, los gobiernos garantizan el reconocimiento legal de las personas, el ejercicio de los derechos civiles y políticos, y el acceso a servicios públicos y privados. En este contexto, la cédula de identidad se elige como el documento más importante de identificación personal dentro del territorio nacional.

Sin embargo, la creciente sofisticación de las redes de falsificación documental y del fraude de identidad ha obligado a los Estados a fortalecer sus documentos de identificación.

Esto se logra mediante la adopción de tecnologías de seguridad documentaria de múltiples niveles. La cédula de identidad no es la excepción, ya que ha transitado desde formatos básicos en papel o materiales plásticos simples hacia un documento de alta seguridad basado en policarbonato y personalización láser.

Este artículo tiene como objetivo analizar, desde una perspectiva técnica y académica, la cédula de identidad como documento de seguridad, profundizando en sus componentes materiales, normativos y tecnológicos, así como en los principios de seguridad documental que sustentan su diseño y producción.

DESARROLLO

La emisión de la cédula de identidad en el Ecuador es competencia del Registro Civil, Identificación y Cedulación, entidad pública encargada de la gestión integral de la identidad ciudadana. Esta institución administra el ciclo completo del documento, que incluye el enrolamiento biométrico, la producción, la personalización, la entrega y el control de autenticidad.

Desde el punto de vista normativo, la cédula de identidad se enmarca en los siguientes ámbitos:

- Legislación nacional sobre identidad y registro civil: Este marco jurídico regula la gestión de la identidad de las personas naturales, estableciendo los principios de unicidad, veracidad y obligatoriedad del registro. Se definen las competencias institucionales para la emisión de documentos de identificación, los procedimientos de enrolamiento biométrico y los mecanismos de actualización, renovación y anulación del documento, garantizando seguridad jurídica y validez legal.
- Normas de protección de datos personales: La normativa de protección de datos regula el tratamiento, almacenamiento y custodia de la información personal y biométrica contenida en la cédula de identidad. Establece principios como confidencialidad, finalidad, proporcionalidad y seguridad de la información, obligando a las entidades responsables a implementar medidas técnicas y organizativas que prevengan accesos no autorizados, filtraciones o usos indebidos.
- Estándares internacionales de documentos de viaje e identificación: Normas técnicas que establecen parámetros sobre dimensiones, resistencia física, interoperabilidad y características de seguridad de las tarjetas de identificación. En este contexto, normas como ISO/IEC 7810 garantizan uniformidad en el formato físico (ID-1), facilitando su compatibilidad con sistemas automatizados de lectura, validación y control tanto a nivel nacional como internacional.

En términos técnicos, el documento se ajusta al formato ID-1 definido por la norma ISO/IEC 7810, lo que garantiza su interoperabilidad con sistemas de validación, lectura mecánica y control institucional tanto a nivel nacional como internacional.

Históricamente, la cédula de identidad ha experimentado diversas transformaciones, motivadas por:

- Cambios en la tecnología de impresión.



- Incremento de riesgos asociados al fraude documental.
- Necesidades de interoperabilidad digital.

Las primeras cédulas de identidad se elaboraron en papel o cartulina, con medidas de seguridad básicas como sellos húmedos y firmas manuscritas. Posteriormente, se incorporaron soportes plásticos y técnicas de impresión offset y tipográfica.

El salto tecnológico más significativo se produce con la adopción del policarbonato multicapa y la personalización por grabado láser, tecnologías que colocan a la cédula de identidad dentro del grupo de documentos de identificación de alta seguridad utilizados a nivel internacional.

El policarbonato es un polímero termoplástico de alta resistencia mecánica y estabilidad térmica, utilizado en la fabricación de tarjetas de identificación de alta seguridad. Su estructura multicapa se fusiona mediante laminación térmica sin adhesivos, formando un cuerpo monolítico difícil de manipular. Además, permite la personalización por grabado láser, integrando datos permanentes dentro del material y reforzando la protección contra la falsificación.

La personalización por grabado láser en tarjetas de policarbonato consiste en modificar la estructura molecular del material mediante un láser infrarrojo, generando imágenes y textos permanentes en su interior. Este proceso integra los datos variables dentro de la estructura multicapa, sin uso de tintas ni adhesivos. Esto permite que la información no pueda ser alterada sin dañar físicamente el documento, aumentando significativamente su nivel de seguridad.

1. Elemento de sustancia.

La cédula de identidad se fundamenta en un sistema de seguridad multinivel que integra de manera coordinada el diseño gráfico, los materiales, los procesos de personalización y los mecanismos de verificación. Este enfoque estructural se basa en una arquitectura integral en la que cada componente cumple una función específica dentro del esquema de seguridad, en lugar de depender de la

incorporación aislada de elementos de protección.

De esta manera, el documento combina medidas visibles, semiocultas y estructurales que actúan de forma complementaria para prevenir la falsificación, la alteración de datos y la suplantación de identidad.

2. Elemento de datos.

Los datos constituyen un componente esencial en la concepción técnica de la cédula de identidad. El documento no solo cumple la función de soporte físico de identificación, sino que actúa como un sistema estructurado de información que integra datos personales, biométricos y administrativos vinculados de manera única a cada ciudadano.

Desde el punto de vista documentario, los datos biográficos incorporados en la cédula de identidad incluyen el nombre completo del titular, número único de identificación, fecha y lugar de nacimiento, nacionalidad, fecha de emisión y fecha de caducidad del documento. Estos datos son definidos bajo criterios de normalización institucional, garantizando coherencia, legibilidad y compatibilidad con sistemas informáticos de validación y registro. En términos de seguridad documental, la gestión de datos se fortalece mediante la personalización por grabado láser, técnica que incorpora los datos variables directamente en la estructura del policarbonato. Este método asegura la inalterabilidad de la información, ya que cualquier intento de modificación implica la destrucción física del soporte, lo que permite detectar intentos de fraude.

La ISO/IEC 7810 es una norma internacional emitida por la International Organization for Standardization (ISO) y la International Electrotechnical Commission (IEC) que establece las características físicas de las tarjetas utilizadas a nivel mundial. Su principal objetivo es garantizar la uniformidad dimensional, mecánica y estructural de las tarjetas de identificación, de modo que sean compatibles con sistemas de lectura, verificación y uso institucional. Desde una perspectiva técnica, la ISO/IEC 7810 no regula el contenido de los datos ni los sistemas electrónicos internos. Se enfoca exclusivamente en el soporte físico



del documento, definiendo parámetros que aseguran interoperabilidad, durabilidad y funcionalidad.

a. Soporte físico y materiales de seguridad.

• **Policarbonato multicapa.**

Polímero termoplástico de alta resistencia mecánica, estabilidad térmica y durabilidad, características esenciales para documentos de identificación que deben soportar años de uso continuo (Figura 1). A diferencia de los documentos laminados, el policarbonato:

- No utiliza adhesivos.
- Se fusiona mediante calor y presión.
- Permite la integración estructural de los datos.

Estas características convierten a la cédula de identidad en un cuerpo sólido y homogéneo, extremadamente difícil de manipular sin evidencias visibles de alteración.

• **Ventajas técnicas del policarbonato.**

Desde el punto de vista de la seguridad documental, el policarbonato ofrece (Figura 2):

- Alta resistencia a la deslaminación.
- Imposibilidad de sustitución de la fotografía.
- Integración de ventanas transparentes y elementos ópticos.



Figura 2. Pruebas de resistencia.

Fuente: Elaboración propia.

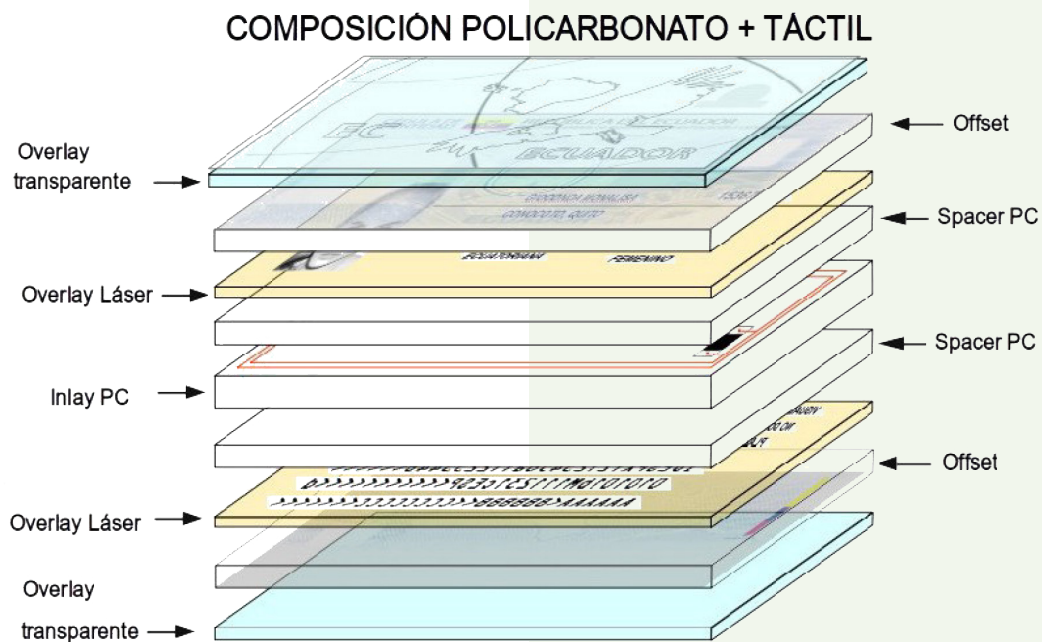


Figura 1. Composición del policarbonato en la cédula de identidad.

Fuente: Elaboración propia.



- Mayor vida útil frente a documentos plásticos tradicionales.
- **Seguridad de primer nivel (visible).**

Son elementos verificables a simple vista, sin necesidad de herramientas (Figura 3):

- Diseño guilloché de fondos.
- Microtextos integrados en líneas gráficas.
- Imagen fantasma del titular.
- Fotografías múltiples grabadas por láser.
- Tipografías de seguridad.

Estos elementos dificultan la reproducción mediante escáneres o impresoras comerciales.



Figura 3. Microtexto.

Fuente: Elaboración propia.

- **Seguridad de segundo nivel (semi-oculta).**

Requiere herramientas simples para su verificación (Figura 4):

- Elementos visibles bajo luz ultravioleta.
- Imágenes latentes perceptibles por cambio de ángulo.
- Tintas reactivas.
- Patrones invisibles integrados en el diseño.



Figura 4. Elemento visible bajo la luz UV.

Fuente: Elaboración propia.

b. Personalización y grabado láser.

La personalización del documento se realiza mediante tecnología láser, que modifica la estructura molecular del policarbonato para generar imágenes y textos permanentes. Las ventajas del grabado láser son:

- Los datos no pueden borrarse ni alterarse.
- La información forma parte del material.
- Alta resolución y durabilidad.
- Integración de imágenes en escala de grises y color.

Este proceso elimina riesgos asociados a la sustitución de datos variables, una de las principales vulnerabilidades de los documentos tradicionales (Figuras 5 y 6).



Figura 5. Personalización láser.

Fuente: Elaboración propia.





Figura 6. Tarjeta personalizada.

Fuente: Elaboración propia.

c. Producción, control y trazabilidad.

Desde la perspectiva de la seguridad documental, la producción de la cédula de identidad se rige por estrictos controles industriales (Figura 7):

- Serialización única de cada documento.
- Control de lotes y registros de producción.
- Auditorías internas y externas.



Figura 7. Control de calidad.

Fuente: Elaboración propia.

- Protocolos de destrucción de material defectuoso.

Estos mecanismos garantizan la integridad del proceso y la confiabilidad del documento emitido mediante las características anteriormente detalladas (Tabla 1).

CONCLUSIONES

La cédula de identidad ecuatoriana constituye un documento estratégico de alta seguridad, resultado de la convergencia entre ingeniería de materiales, tecnologías de personalización avanzada y principios modernos de protección documental.




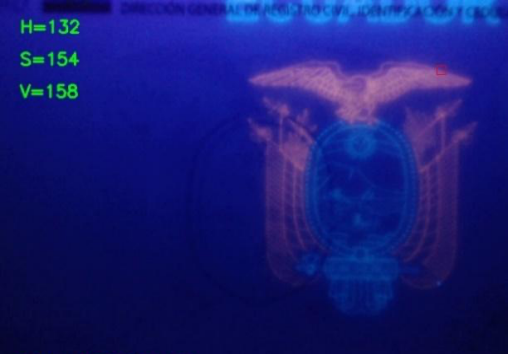
El uso de policarbonato multicapa, grabado láser y arquitectura multinivel posiciona al documento dentro de estándares internacionales de identificación segura. Su evolución responde a una política pública orientada a fortalecer la identidad ciudadana y reducir riesgos asociados al fraude y la suplantación.

En consecuencia, la cédula de identidad no solo cumple una función administrativa, sino que representa un componente esencial del sistema de gobernanza, seguridad jurídica y protección de derechos en el Estado ecuatoriano.

BIBLIOGRAFÍA

- Instituto Geográfico Militar. (2020). *Seguridad documentaria y especies valoradas: fundamentos técnicos y aplicaciones.*
- International Organization for Standardization (ISO). (2019). *ISO/IEC 7810: Identification cards — Physical characteristics.*
- International Organization for Standardization (ISO). (2020). *ISO/IEC 7816: Identification cards — Integrated circuit cards.*

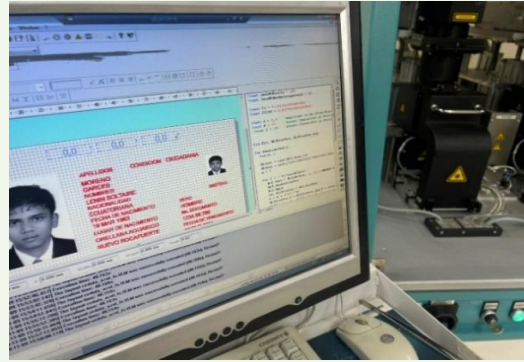


Elemento de seguridad y descripción	Referencia gráfica
<p><i>Impresión offset en policarbonato</i></p> <p>La impresión <i>offset</i> en policarbonato es un proceso de alta precisión utilizado para la aplicación de seguridades, guilochés y microtextos en las capas internas del documento.</p>	
<p><i>Microtexto</i></p> <p>El microtexto es un elemento de seguridad gráfica que consiste en la incorporación de textos de tamaño extremadamente reducido, visibles únicamente con aumento óptico.</p>	
<p><i>Tinta serigráfica</i></p> <p>La tinta serigráfica es utilizada en documentos de seguridad para aplicar elementos gráficos específicos mediante el proceso de serigrafía, que permite depositar capas de tinta más densas y controladas.</p>	
<p><i>Impresión invisible (UV)</i></p> <p>Las tintas UV en documentos de identidad son formulaciones especiales que reaccionan ante la luz ultravioleta, emitiendo fluorescencia visible solo bajo este tipo de iluminación.</p>	



Personalización láser

La personalización láser en policarbonato es un proceso tecnológico que utiliza un láser infrarrojo de alta precisión para modificar la estructura interna del material, generando imágenes, textos y datos variables permanentes.



Laminación con relieve

La laminación con relieve es un proceso de acabado que incorpora patrones táctiles o estructuras en alto y bajo relieve sobre la superficie del documento durante la etapa de prensado térmico.

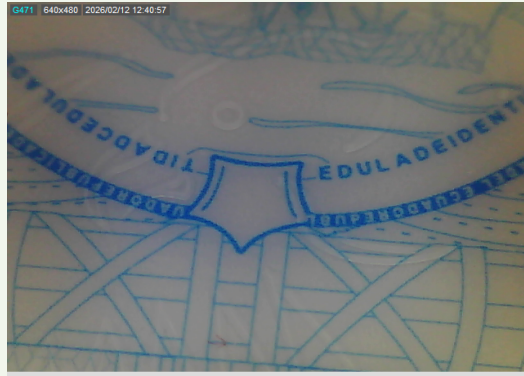


Tabla 1. Cuadro de especificaciones técnicas.

Fuente: Elaboración propia.

Mullo, Christian.
christian.mullo@geograficomilitar.gob.ec

Játiva, Mercedes.
mercedes.jativa@geograficomilitar.gob.ec

Vaca, Fernando.
fernando.vaca@geograficomilitar.gob.ec

Morán, Santiago.
santiago.moran@geograficomilitar.gob.ec



INSTITUTO
GEOGRÁFICO
MILITAR

RFID



PROTOTIPO DE SOFTWARE DESARROLLADO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE PRE-PERSONALIZACIÓN DE TARJETAS ELECTRÓNICAS INTELIGENTES

*SOFTWARE PROTOTYPE DEVELOPED TO OPTIMIZE THE PRE-CUSTOMIZATION PROCESS
OF SMART ELECTRONIC CARDS*

RESUMEN

La fábrica de tarjetas electrónicas de la Dirección de Imprenta de Geoinformación y Seguridad Documentaria del Instituto Geográfico Militar ejecuta distintos procesos de producción que permiten la producción de la cédula de identidad. El equipo de desarrollo de software de la Dirección de Tecnologías de la Información y Comunicación participó con la implementación de soluciones tecnológicas para el control de producción, generación de actas de entrega y ejecución del proceso denominado “prepersonalización del chip”. En el modelo operativo actual, este proceso se ejecuta mediante un software desarrollado internamente que interactúa con un lector de Radio Frequency Identification (RFID) dedicado por estación de trabajo.

El estudio presenta el diseño e implementación de un prototipo de software orientado a la optimización del proceso de prepersonalización, mediante el uso de múltiples lectores conectados a una sola estación de trabajo que permite

ABSTRACT

The electronic card factory of the Geoinformation and Document Security Printing Directorate of the Military Geographic Institute carries out various production processes to produce the national identity card. The software development team of the Information and Communication Technologies Directorate participated by implementing technological solutions for production control, generating delivery receipts, and executing the process known as “chip pre-customization”. In the current operating model, this process is executed using internally developed software that interacts with a dedicated Radio Frequency Identification (RFID) reader at each workstation.

This study presents the design and implementation of a software prototype aimed at optimizing the pre-customization process by using multiple readers connected to a single workstation, enabling controlled parallel processing. The solution was developed in Java 21 LTS using specialized libraries for communication with USB devices and smart cards.



el procesamiento paralelo controlado. La solución fue desarrollada en Java 21 LTS utilizando librerías especializadas para comunicación con dispositivos USB y tarjetas inteligentes.

El prototipo permite la detección dinámica de lectores, gestión concurrente de múltiples sesiones APDU y el control centralizado del proceso de pre-personalización. Se espera que esta arquitectura incremente significativamente la productividad por estación, reduzca tiempos y mejore la trazabilidad operativa. La propuesta sienta las bases para futuras integraciones en procesos de control de calidad y automatización industrial.

Palabras clave: HSM, JAVA CARD, pre-personalización, RFID, tarjetas inteligentes.

INTRODUCCIÓN

En el año 2014, el Instituto Geográfico Militar (IGM) dio un salto tecnológico importante al pasar de la elaboración de las cédulas de identidad en papel a documentos electrónicos seguros que incorporan un chip inteligente.

El proceso de pre-personalización de la fábrica de tarjetas electrónicas consiste en preparar el chip inteligente con la inicialización, instalación de aplicaciones e implantación de claves de acceso.

El modelo actual opera bajo un esquema de una tarjeta procesada por cada lector con una duración promedio de seis segundos por unidad. Este enfoque secuencial genera una limitación estructural en la escalabilidad del proceso, debido a que el aumento de producción depende directamente del incremento físico de estaciones de trabajo y de lectores.

Ante esta restricción, el equipo de la Dirección de Tecnologías de la Información y Comunicación (DTIC) ha desarrollado un prototipo que aprovecha herramientas modernas de desarrollo de software, mediante el cual se optimiza el uso de estaciones de trabajo y lectores RFID con un modelo de procesamiento paralelo controlado que permite gestionar múltiples lectores desde una única estación.

The prototype allows for dynamic reader detection, concurrent management of multiple APDU sessions, and centralized control of the pre-customization process. This architecture is expected to significantly increase productivity per station, reduce downtime, and improve operational traceability. The proposal lays the groundwork for future integrations in quality control processes and industrial automation.

Keywords: HSM, JAVA CARD, pre-customization, RFID, smart cards.

El prototipo contempla reducir los tiempos de ejecución, incrementar la confiabilidad de las operaciones y asegurar la trazabilidad de los datos generados durante el procedimiento.

DESARROLLO

1. Proceso actual.

El proceso actual de pre-personalización utiliza un software propio, el cual se instala en cada una de las estaciones de trabajo de la fábrica de tarjetas electrónicas con el uso de lectores RFID y un equipo HSM.

El software realiza el respectivo proceso, asegurando la entrega de cédulas funcionales que incluyen aplicaciones tales como ICAO, PKI, Match on Card y manejo de archivos (monedero electrónico). De igual manera, se utiliza el generador de criptografía HSM para realizar el proceso de cambio de claves seguras.

El proceso toma alrededor de 6 segundos y dependiendo de la producción requerida se instala en un número definido de estaciones de trabajo. En la Figura 1, se observa el proceso actual de pre-personalización del chip inteligente de la cédula de identidad.



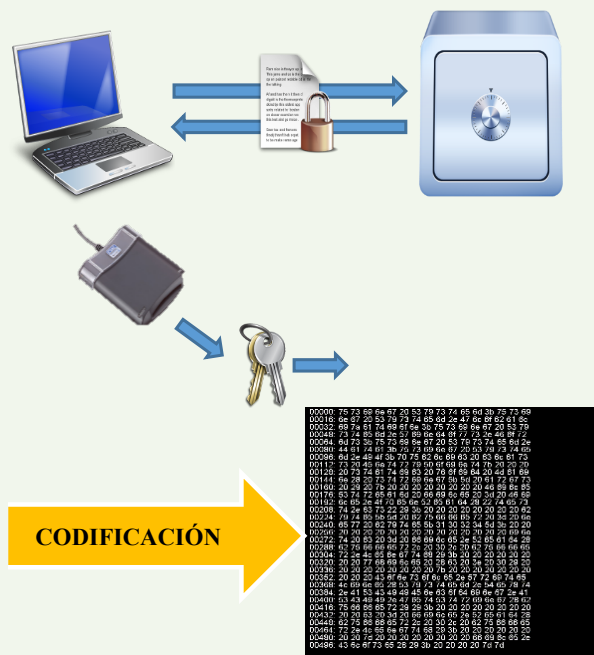


Figura 1. Proceso actual de pre-personalización.

Fuente: DTIC (2026).

2. Proceso propuesto.

Acorde a la actualización tecnológica, cada año se liberan nuevas versiones de software y hardware que permiten aumentar la seguridad y mejorar la eficiencia de los procesos. En este sentido, el proceso actual de pre-personalización fue desarrollado originalmente sobre la versión de Java 1.8 y el entorno NetBeans 8.0.2, tecnologías que en su momento ofrecían estabilidad y compatibilidad con los dispositivos utilizados. Java surgió como un lenguaje robusto y multiplataforma, con versiones como Java 1.8 que ofrecían estabilidad y amplia compatibilidad. Con el tiempo, versiones más recientes como Java 21 LTS han incorporado mejoras en rendimiento, seguridad, manejo de memoria y soporte a largo plazo, lo cual permite desarrollar aplicaciones más escalables y preparadas para entornos modernos de concurrencia. El proceso de migración a esta nueva versión representa un avance importante para el equipo de desarrollo de software de DTIC. La actualización hacia Apache NetBeans 28 representa un salto significativo respecto a sus primeras versiones, como NetBeans 8.0.2, que en su momento fue un entorno de desarrollo confiable para proyectos tradicionales con

integración básica de Java y herramientas de desarrollo. Actualmente, NetBeans se ha transformado en una plataforma completa y moderna, capaz de trabajar con arquitecturas modulares, ofrecer integración avanzada con sistemas de control de versiones CI/CD y proporcionar análisis estático de código más potente, lo cual incrementa la calidad, la estabilidad y el mantenimiento del software desarrollado.

La evolución de las plataformas de desarrollo no solo responde a una actualización tecnológica, sino que constituye una estrategia orientada a garantizar sostenibilidad, mantenibilidad y compatibilidad futura del sistema de pre-personalización.

En este contexto, surgió la necesidad de desarrollar un prototipo de software orientado a optimizar la productividad en el proceso de pre-personalización del chip de tarjetas inteligentes con las nuevas versiones de software.

A continuación, se presenta un cuadro comparativo del hardware y software utilizado y el propuesto (Tabla 1).

La iniciativa se fundamenta en la identificación de oportunidades de mejora derivadas de las tecnologías actuales, las cuales permiten implementar arquitecturas más escalables, automatizar tareas críticas y garantizar una eficiente integración con los sistemas existentes. De esta manera, se busca establecer una solución que no solo eleve la eficiencia operativa, sino que también sienta las bases para futuras ampliaciones y estándares de calidad en el área.

El prototipo desarrollado es un software capaz de gestionar la pre-personalización del chip de tarjetas inteligentes mediante el uso de múltiples lectores conectados simultáneamente a una sola estación de trabajo (Figura 2). La solución aprovecha la capacidad de procesamiento paralelo para incrementar el volumen de tarjetas atendidas en cada ciclo, reducir los tiempos de espera y garantizar una mayor estabilidad en la comunicación entre dispositivos. Entre las mejoras más significativas de las nuevas herramientas de software se detallan las siguientes:



	Proceso actual	Proceso propuesto
Equipos de hardware N = Número	1 estación de trabajo	1 estación de trabajo
	1 lector de chip con tecnología RFID por estación	N lectores de chip con tecnología RFID por estación, se incluye un MINI HUB.
	1 servidor HSM	1 servidor HSM
Herramientas de software	Netbeans IDE 8.02	Netbeans IDE 28
	Java 1.8	Java 21
	JCOP 4	JCOP 4
	HSM Safenet 4.2.0 DLL.	HSM Safenet 4.2.0 DLL.

Tabla 1. Comparativo del hardware y software.

Fuente: DTIC (2026).

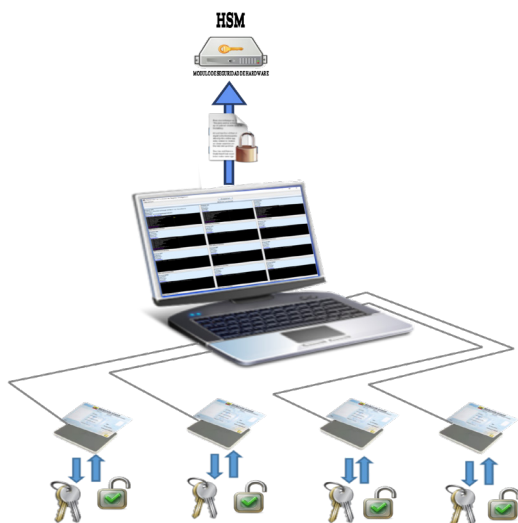


Figura 2. Proceso propuesto de pre-personalización.

Fuente: DTIC (2026).

- Compatibilidad extendida desde Java 21 en adelante y mejoras para proyectos modulares.
- Integración mejorada con GitHub Actions y CI/CD.
- Mejor soporte para Spring Boot 3.x.
- Nuevas funciones de inspección de código y análisis estático.

- Mayor estabilidad en proyectos multiplataforma.

Otro elemento importante en este proyecto es el uso de lectores de tarjetas inteligentes, para lo cual se han empleado diversos tipos de lectores con que cuenta el IGM, siendo los más utilizados los siguientes:

a. Lector Identiv uTrust 3700 F Contactless.

En la Figura 3 se muestra el lector cuyas características más significativas son:

- Tecnología contactless y NFC (13.56 MHz).
- Compatible con ISO/IEC 14443 A/B.
- Soporta una amplia gama de credenciales: tarjetas inteligentes, tokens y dispositivos móviles NFC.
- Optimizado para tiempos de transacción rápidos con soporte de hasta 848 kbps bajo ISO/IEC 14443.
- Permite una transición fluida desde tecnologías tradicionales hacia aplicaciones modernas basadas en NFC.



- Plug-and-Play en Windows y soporte de drivers para los principales sistemas operativos.

Este lector fue seleccionado por su capacidad de reducir los tiempos de transacción y facilitar la migración hacia tecnologías NFC modernas, lo cual mejora la velocidad y la escalabilidad del proceso de personalización.

b. Lector HID OMNIKEY 5422 Dual Interface (Figura 4).

En la Figura 4 se muestra el lector cuyas características más significativas son:

- Dual interfaz que combina en un solo dispositivo la lectura/escritura de tarjetas inteligentes contacto (ISO 7816) y contactless (13.56 MHz, ISO 14443 A/B).
- Amplia compatibilidad que soporta tecnologías de alta frecuencia como iCLASS®, MIFARE®, MIFARE DESFire®, Seos®, entre otras.
- Cumple con estándares modernos de autenticación sin contraseña (FIDO2 y NFC).



Figura 3. Lector Identiv uTrust 3700 F Contactless.

Fuente: DTIC (2026).

- Utiliza controladores CCID nativos del sistema operativo que permiten una integración sencilla.

Este lector fue seleccionado por su versatilidad y compatibilidad dual, lo que permite integrar en un mismo flujo tarjetas de contacto y sin contacto, reduciendo la necesidad de múltiples dispositivos y aumentando la eficiencia del proceso.

c. Lector MSCL001 Contactless.

En la Figura 5 se muestra el lector cuyas características más significativas son:

- Tecnología contactless multiprotocolo (13.56 MHz).
- Compatibilidad con NFC.
- PC/SC compliant (funciona con controladores estándar del sistema operativo).
- Firmware actualizable en campo que prolonga la vida útil del dispositivo.



Figura 4. Lector HID OMNIKEY 5422 Dual Interface.

Fuente: DTIC (2026).





Figura 5. Lector MSCL001 Contactless.

Fuente: DTIC (2026).

Este dispositivo aporta flexibilidad y bajo costo de mantenimiento gracias a su firmware actualizable, lo cual asegura una vida útil prolongada y adaptación a nuevas credenciales sin reemplazar hardware, optimizando la inversión frente al proceso actual.

3. Librerías utilizadas.

A nivel de desarrollo, en este proyecto se enfatiza en el uso de dos librerías específicas para trabajar con lectores de tarjetas inteligentes, las cuales son:

a. *jnasmartcardio*.

Conocida como “smartcardio”, es una reimplementación de la API estándar de Java “javax.smartcardio”.

Su propósito es permitir la comunicación con tarjetas inteligentes a nivel de APDU dentro de aplicaciones Java.

Fue creada como alternativa a la implementación incluida en el JDK, usando JNA para interactuar con PC/SC en sistemas operativos.

b. *usb4java*.

Librería independiente que proporciona acceso a dispositivos USB desde Java, basada en libUsb. Su enfoque es la comunicación genérica con hardware USB, lo cual constituye una característica clave de la solución tecnológica.

En su estado actual, el prototipo permite identificar de manera automática los dispositivos USB conectados al equipo, filtrando únicamente aquellos que corresponden a lectores de tarjetas inteligentes.

El sistema obtiene información relevante de cada lector, como la marca y el modelo a partir de su identificador USB, y es capaz de reconocer dispositivos conectados tanto en puertos principales como en subpuertos de hubs externos. Asimismo, detecta la presencia de tarjetas en cada lector y extrae sus datos básicos, lo cual constituye la base funcional sobre la cual se implementará la fase de pre-personalización.

Este enfoque garantiza una detección precisa y una gestión centralizada de múltiples lectores, estableciendo un entorno controlado y escalable que permitirá evolucionar hacia procesos más complejos de personalización en etapas posteriores.

A continuación, se presenta una galería del ambiente de ejecución (Figura 6), la fase de desarrollo (Figura 7) y la fase de pruebas del prototipo desarrollado (Figuras 8, 9 y 10).

4. Iniciativas futuras.

Una vez implementado este prototipo durante el presente año, surgen nuevas iniciativas las cuales apuestan por innovar incluso el proceso de control de calidad en el armado de la plancha previo al troquelado de tarjetas. En este proceso no solo se validaría si el chip está funcional o no como actualmente se lo realiza, sino que se incluiría en esta fase el proceso de pre-personalización del chip.



Ambiente de ejecución



Figura 6. Ambiente de ejecución.

Fuente: DTIC (2026).

Fase de desarrollo

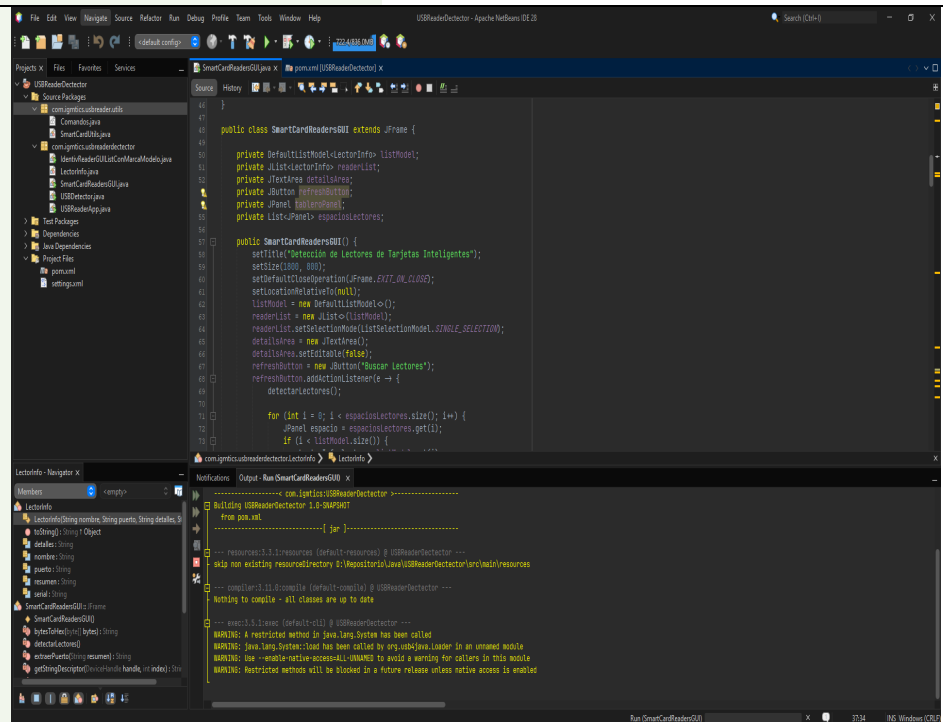


Figura 7. Infraestructura de Datos Espaciales de desarrollo.

Fuente: DTIC (2026).



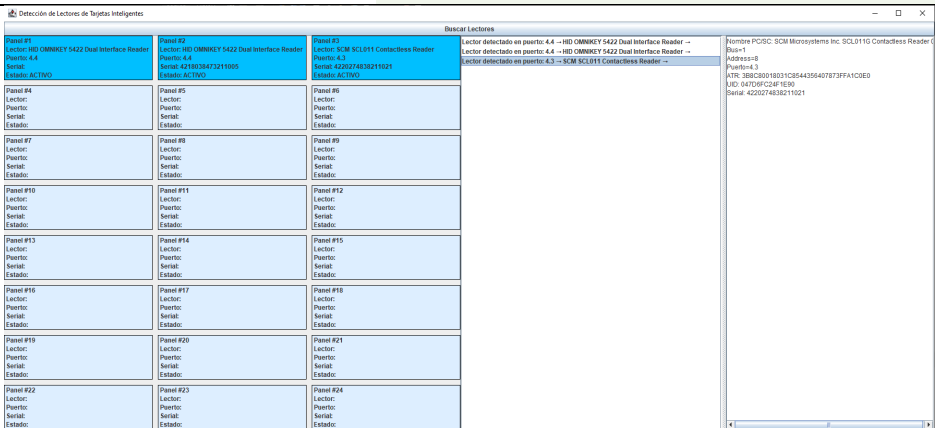


Figura 8. Interfaz de pruebas inicial (múltiples lectores).

Fuente: DTIC (2026).

Fase de pruebas

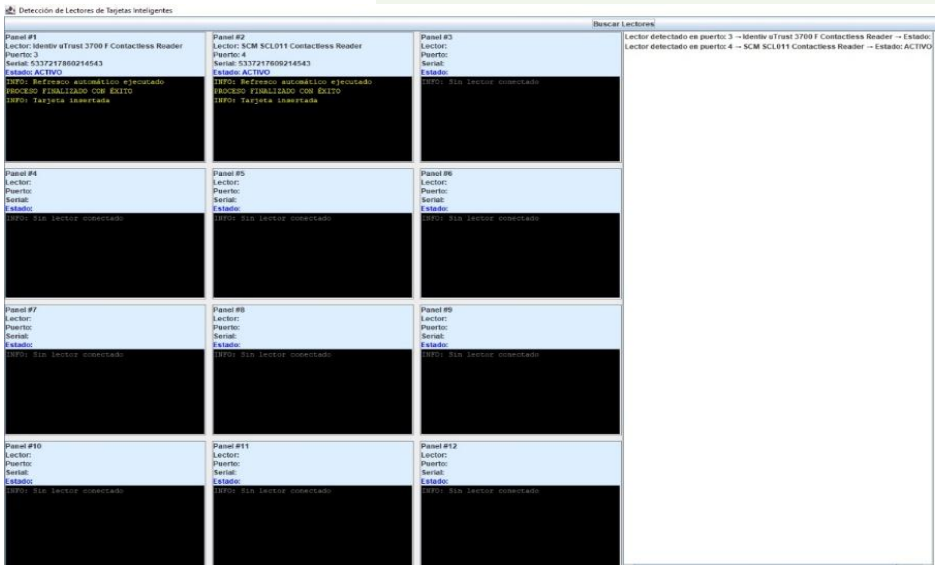


Figura 9. Interfaz de pruebas Fase I (reconocimiento de lectores)

Fuente: DTIC (2026).

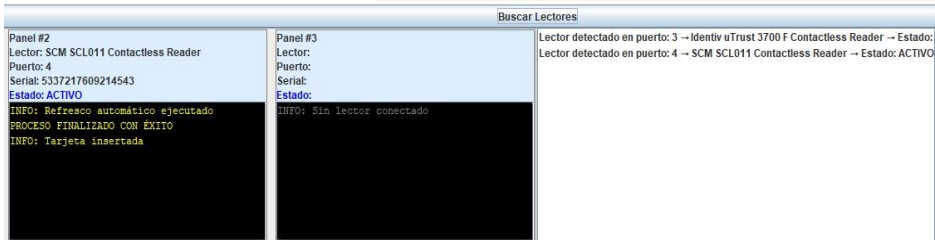


Figura 10. Interfaz de pruebas Fase II (reconocimiento del contenido de la tarjeta).

Fuente: DTIC (2026).



El reto consiste en reemplazar los lectores de la actual mesa de control de calidad por procesadores, requiriendo la conformación de un equipo multidisciplinario integrado por ingenieros de desarrollo de software, electrónica y control.

En la institución ya se implementó una primera versión de la mesa de control de calidad con utilización de microtransreceptores y microcontroladores, utilizada hasta la actualidad producto del trabajo realizado por parte de un equipo multidisciplinario. La incorporación de procesadores en lugar de lectores permitirá incrementar la productividad en la fábrica de tarjetas y ajustar los procesos de control de calidad (QA) mediante una gestión eficiente de los recursos tecnológicos.

CONCLUSIONES

El desarrollo del nuevo prototipo basado en lectores RFID constituye una innovación técnica que optimiza el proceso de personalización de tarjetas inteligentes. La solución aprovecha herramientas de software actualizadas y la experiencia del equipo técnico para acelerar la producción en la fábrica de tarjetas, mejorar la eficiencia de los procesos de calidad (QA) y sentar las bases para futuras mejoras relacionadas con el chip.

BIBLIOGRAFÍA

- Buendía Rincón, D. (2024). *Prototipo de sistema de control de acceso utilizando tecnología RFID*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. <https://repository.udistrital.edu.co/items/83428614-5f80-44dd-b89d-f7371a1e4043>

- HID Global. (2021). *OMNIKEY® 5422 dual interface reader: Datasheet*.
- <https://www.variustech.com/wp-content/uploads/2021/04/omnikey-5422-reader-ds-en.pdf>
- HID Global. (2026). *HID OMNIKEY 5422 dual interface reader*.
- <https://www.hidglobal.com/products/omnikey-5422>
- Identiv. (2014). *uTrust 370xF contactless smart card reader: User manual*. https://files.identiv.com/products/smart-card-readers/contactless/3700/uTrust_370xF_User_Manual.pdf
- Identiv. (2017). *uTrust 3700 F contactless smart card reader: Datasheet*. https://files.identiv.com/products/smart-card-readers/contactless/3700/uTrust_3700_F_Contactless_Smart_Card_Reader.pdf
- Oracle. (2023). *Java SE 21 documentation*. <https://docs.oracle.com/en/java/javase/21>
- Rauh, E. (2016). *jnasmartcardio – A re-implementation of javax.smartcardio API*. GitHub. <https://github.com/jnasmartcardio/jnasmartcardio>
- Reimer, K. (2018). *usb4java – USB library for Java based on libusb*. GitHub. <https://github.com/usb4java/usb4java>
- SCM Microsystems GmbH. (2011). *SCL011 contactless reader: Datasheet*. https://www.lumens.info/descargas/25_lumens.pdf



Zumárraga, Miguel.
miguel.zumarraga@geograficomilitar.gob.ec

SEGURIDAD DOCUMENTAL MULTINIVEL EN LA PRODUCCIÓN DE ESPECIES VALORADAS Y DOCUMENTOS DE IDENTIDAD

MULTILEVEL DOCUMENT SECURITY IN THE PRODUCTION OF VALUABLE SPECIES AND IDENTITY DOCUMENTS

RESUMEN

El presente artículo examina la seguridad documental multinivel con la finalidad de garantizar la integridad de las especies valoradas estatales. Con base en un análisis descriptivo y normativo, se explora la convergencia entre diseño, sustratos y procesos de impresión bajo los estándares de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) y el marco legal ecuatoriano. Finalmente, se concluye que la eficacia contra la falsificación no radica en elementos aislados, sino en un ecosistema que combina controles técnicos, operativos e institucionales para prevenir la falsificación documental y generar confianza en la ciudadanía.

Palabras clave: control de calidad, documentos de viaje, especies valoradas, impresión de seguridad, seguridad documental.

INTRODUCCIÓN

El texto analiza cómo se aplica la seguridad documental multinivel en documentos

ABSTRACT

This paper examines multi-level document security with the aim of guaranteeing the integrity of state-valued species. Based on a descriptive and normative analysis, it explores the convergence between design, substrates, and printing processes under the standards of the International Civil Aviation Organization (ICAO) and the Ecuadorian legal framework. Finally, it concludes that effectiveness against counterfeiting does not lie in isolated elements, but in an ecosystem that combines technical, operational, and institutional controls to prevent document counterfeiting and build public trust.

Keywords: quality control, travel documents, valuable items, security printing, document security.

oficiales del Estado ecuatoriano, debido al aumento de falsificaciones. Además, se busca impulsar la evolución de los mecanismos de protección hacia sistemas integrales.

La relevancia del análisis radica en que la seguridad documental no depende de elementos aislados, sino de la convergencia coordinada entre el diseño, los sustratos y los procesos de impresión, componentes que garantizan la autenticidad institucional.

Con la finalidad de cumplir con este propósito, se emplea una metodología descriptiva y de análisis normativo, la cual permite examinar la alineación de las capacidades técnicas nacionales con los estándares internacionales establecidos por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) en el documento 9303 (2021).

La eficacia contra el fraude no reside únicamente en la tecnología de punta, sino en la estructuración de un ecosistema que combine controles técnicos, operativos e institucionales, asegurando así la integridad de la identidad y la propiedad estatal en el contexto contemporáneo.

DESARROLLO

1. Marco normativo e institucional.

La producción de especies valoradas y documentos de seguridad e identidad en el Ecuador se encuentra respaldada por un marco normativo específico.

La Ley Orgánica Reformatoria a la Ley Orgánica del Sistema Nacional de Contratación Pública establece que los trabajos de impresión de especies valoradas podrán ser contratados con el Instituto Geográfico Militar, siempre y cuando exista capacidad técnica y tecnológica suficiente (Asamblea Nacional del Ecuador, 2026).

Asimismo, el Estatuto Orgánico de Gestión Organizacional por Procesos del Instituto Geográfico Militar (IGM) define como misión de la Dirección de Imprenta de Geoinformación y Seguridad Documentaria: “Diseñar, imprimir e innovar procesos productivos de documentos de seguridad bajo estándares de calidad y tecnología de punta” (Instituto Geográfico Militar, 2023).

2. Seguridad documental multinivel.

El modelo de seguridad documental multinivel se fundamenta en la integración estructurada de capas de protección, clasificadas según su método de verificación y complejidad técnica.

En este sentido, la invulnerabilidad no reside en un único elemento, sino en la sinergia de múltiples medidas que generan una resistencia progresiva frente al fraude.

Según el documento 9303 de la OACI (Figura 1), la eficacia de un documento de viaje o identidad depende del equilibrio estratégico entre estos niveles y su correcta implementación durante todo el ciclo de vida del soporte. Al respecto se especifica lo siguiente:

“La detección de los elementos de seguridad puede darse en cualquiera o en la totalidad de los siguientes tres niveles de inspección:

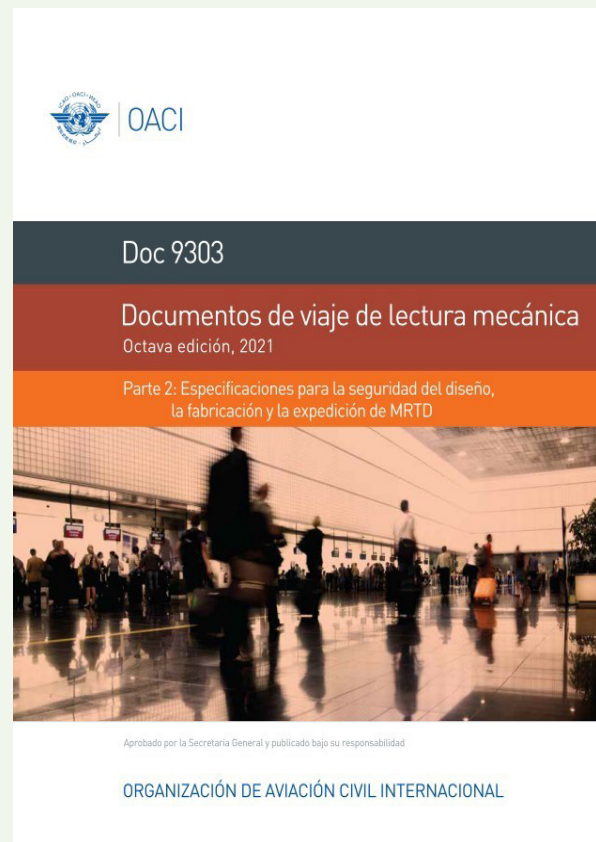


Figura 1. Doc 9303 - Especificaciones para la seguridad del diseño, la fabricación y la expedición de MRTD.

Fuente: Organización de Aviación Civil Internacional (2021).



- **Nivel 1** - Examen superficial para la inspección rápida en el punto de uso (elementos visuales o táctiles fácilmente identificables);
- **Nivel 2** - Examen por inspectores capacitados con equipo sencillo; y
- **Nivel 3** - Inspección por especialistas forenses.

a. Nivel 1: Elementos de verificación pública.

Son la primera línea de defensa y permiten verificar los documentos de forma rápida mediante la vista y el tacto, sin necesidad de herramientas externas. Su objetivo es facilitar una inspección ágil en controles masivos.

- **Tintas ópticamente variables (OVI).**

Elementos que presentan cambios de color al variar el ángulo de observación o la incidencia de la luz, lo que permite una verificación visual inmediata y dificulta su reproducción mediante métodos de impresión convencionales o copia digital (Consejo de la Unión Europea, 2021).

- **Relieves táctiles mediante calcografía (Intaglio).**

Genera relieves perceptibles al tacto mediante la transferencia de tinta desde grabados sometidos a alta presión. Estas texturas permiten validar la autenticidad del documento mediante inspección táctil y visual bajo luz rasante (Consejo de la Unión Europea, 2021).

- **Fondos con guilloché.**

Consisten en patrones geométricos formados por líneas finas entrelazadas de alta precisión (Figura 2), diseñados para dificultar la reproducción mediante escaneo o impresión digital. Se consideran como una forma adicional de prevenir la copia fraudulenta (Consejo de la Unión Europea, 2021).



Figura 2. Títulos habilitantes para matriculación vehicular (fondo con guilloché).

Fuente: Elaboración propia.

b. Nivel 2: Elementos de verificación técnica.

Requieren el uso de herramientas sencillas de inspección como lupas, lámparas UV o luces de incidencia lateral. Además de contar con personal que tenga una capacitación básica en seguridad documental, estos elementos elevan el costo y la dificultad técnica para el falsificador.

- **Reacción a la luz ultravioleta (UV).**

Consisten en fibras o tintas especiales que permanecen invisibles bajo iluminación normal y se hacen visibles únicamente cuando el documento es expuesto a luz UV de distinta longitud de onda (Figura 3), lo que permite la autenticación mediante inspección técnica simple (Consejo de la Unión Europea, 2021).

- **Imágenes latentes.**

Elementos diseñados para ser visibles solamente desde un ángulo específico





Figura 3. Contratapa del pasaporte con reacción a luz ultravioleta.

Fuente: Elaboración propia.

o bajo luz rasante, generando efectos ópticos que dificultan su reproducción mediante sistemas de impresión convencionales (Consejo de la Unión Europea, 2021).

- **Microimpresión.**

Textos extremadamente pequeños que a simple vista aparentan ser líneas continuas, pero que pueden leerse claramente mediante aumento óptico (Figura 4). Permite detectar reproducciones fraudulentas debido a la pérdida de definición en procesos de copia o escaneo (Consejo de la Unión Europea, 2021).

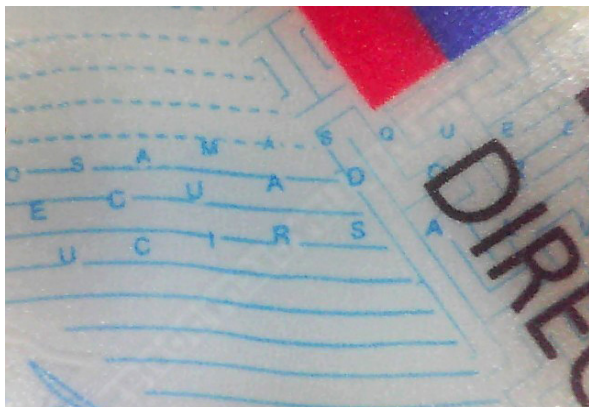


Figura 4. Cédula de identidad con microimpresión.

Fuente: Elaboración propia.

- **c. Nivel 3: Elementos de verificación forense.**

Elementos de alta complejidad destinados exclusivamente a laboratorios de criminalística y análisis pericial especializado. Varios de estos elementos son de carácter confidencial, lo que garantiza su eficacia incluso si el resto de los niveles han sido comprometidos.

- **Marcadores químicos.**

Sustancias o compuestos integrados en el sustrato o en las tintas del documento (Figura 5), detectables únicamente mediante reactivos o sensores especializados. Su identificación

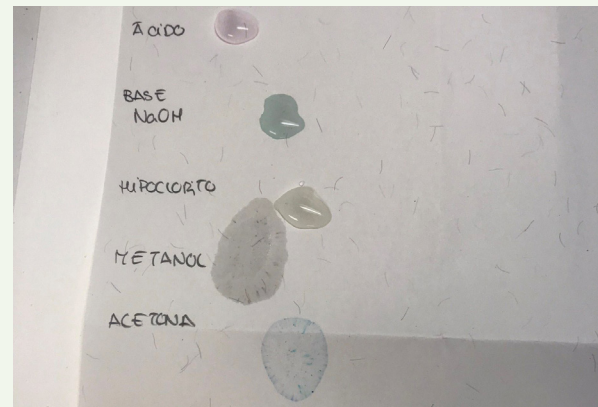


Figura 5. Reacción química del papel a diferentes sustancias.

Fuente: Elaboración propia.



requiere equipamiento técnico específico y procedimientos periciales controlados (Consejo de la Unión Europea, 2021).

- **Circuito integrado sin contacto (microchip).**

Mecanismo de autenticación electrónica aplicado a circuitos integrados sin contacto, donde los datos almacenados se validan mediante procesos criptográficos pasivos y activos que garantizan la integridad y origen de la información (Consejo de la Unión Europea, 2021).

- **Errores intencionales de diseño.**

Los errores intencionales de diseño consisten en variaciones gráficas o tipográficas incorporadas deliberadamente durante la elaboración del documento de seguridad, tales como modificaciones sutiles en caracteres, líneas o patrones que simulan defectos de impresión.

Estos elementos actúan como medidas de seguridad encubiertas conocidas únicamente por la autoridad emisora y se verifican mediante comparación técnica con modelos de referencia oficiales, permitiendo detectar reproducciones fraudulentas incluso cuando otras seguridades visibles han sido imitadas con alto grado de precisión (Organización de Aviación Civil Internacional, 2021).

3. Integración en los procesos productivos.

La seguridad documental se integra de forma transversal desde la selección del sustrato, elaboración de diseño, impresión, producción, personalización y control de calidad, incorporando soportes como papeles de seguridad, tintas especiales y microimpresión que reducen riesgos de alteración o reproducción ilícita (Figura 6). En este sentido, el glosario técnico especializado del Consejo de la Unión Europea permite estandarizar conceptos y comprender la función específica de cada elemento dentro del sistema de protección documental. Desde la experiencia en la Dirección de Imprenta de Geoinformación y de Seguridad Documentaria

(DIGSD), la seguridad documental se entiende como un proceso dinámico en constante evolución, orientado a la mejora continua en el uso de materiales, el diseño, las tecnologías de impresión y los controles de calidad para anticipar nuevas técnicas de falsificación.

Este enfoque fortalece la integración entre diseño, producción y verificación documental, evidenciando que la innovación y la capacitación técnica son claves para garantizar la confiabilidad de las especies entregadas por la institución al Estado ecuatoriano.



Figura 6. Integración de múltiples niveles de seguridad en el pasaporte.

Fuente: Elaboración propia.

Acorde a lo anteriormente descrito, es prioritario exponer los avances desarrollados por parte de la DIGSD en documentos de viaje como el pasaporte ecuatoriano. En el primer nivel de seguridad, el documento cuenta con impresión serigráfica con tinta OVI, perceptible visualmente, e impresión calcográfica (Intaglio), perceptible táctilmente.

En el segundo nivel, en el soporte de las hojas internas se presentan fibrillas que son observables mediante el uso de lámparas UV y microtextos de impresión offset de seguridad observables con lupas. Finalmente, en el tercer nivel se presenta la sensibilidad química del soporte que reacciona a diferentes compuestos (alcohol, acetona, borrratintas, entre otras).



CONCLUSIONES

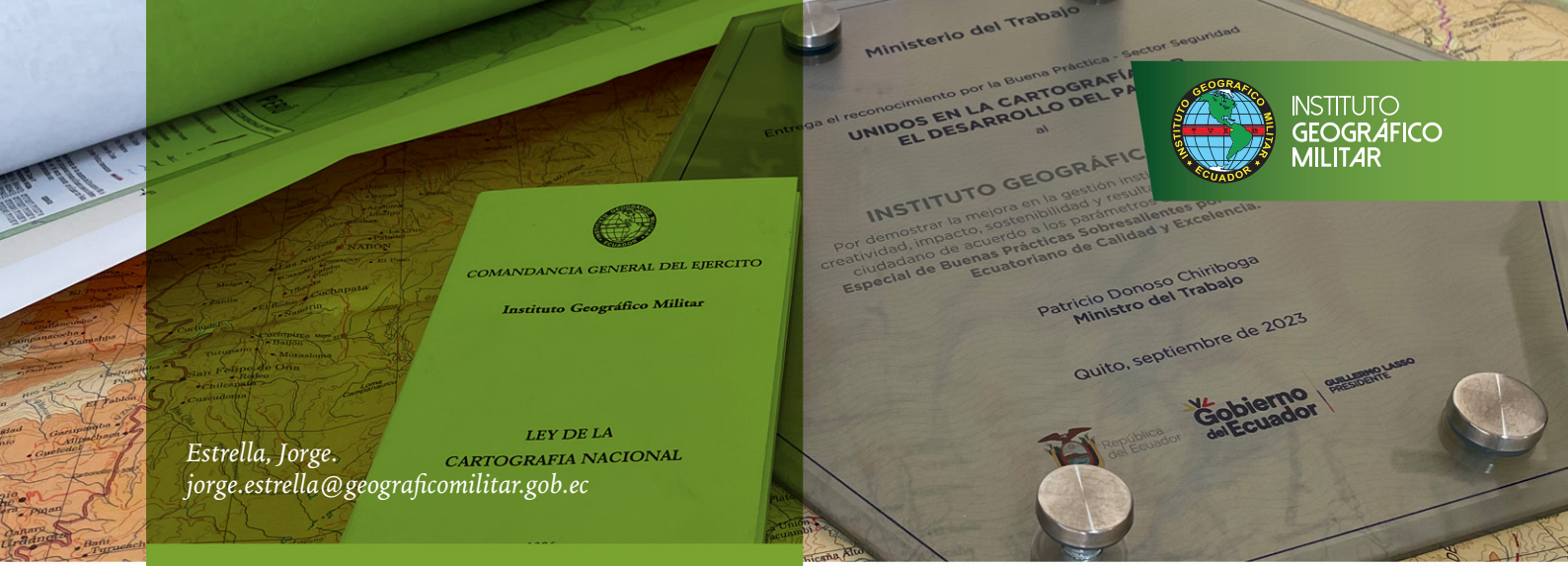
El marco normativo ecuatoriano respalda al IGM en la producción especializada de especies valoradas y documentos de seguridad e identidad, consolidando su rol técnico institucional en la protección y fortalecimiento de la confianza pública. En concordancia con este respaldo legal, la seguridad documental multinivel se configura como la integración estructurada de diversas capas de protección, clasificadas según su método de verificación y su nivel de complejidad técnica.

Este enfoque fortalece el cumplimiento de la normativa nacional e internacional y consolida al IGM, por su capacidad técnica y tecnológica, como la imprenta de seguridad del Estado ecuatoriano.

BIBLIOGRAFÍA

- Asamblea Nacional del Ecuador. (2026). *Ley Orgánica Reformatoria a la Ley Orgánica del Sistema Nacional de Contratación Pública*.
- Instituto Geográfico Militar. (s.f.). *Instituto Geográfico Militar. IGM continúa con la entrega de pasaportes y cédulas de ciudadanía*.
- <http://www.geograficomilitar.gob.ec/igm-continua-con-la-entrega-de-pasaportes-y-cedulas-de-ciudadania/>
- Consejo de la Unión Europea. (2021). *Glosario: Términos técnicos relacionados con las medidas de seguridad y los documentos de seguridad en general (PRADO)*. Secretaría General del Consejo de la Unión Europea.
- Instituto Geográfico Militar. (2023). *Resolución Nro. IGM-IGM-2023-0202-R: Codificación del Estatuto Orgánico de Gestión Organizacional por Procesos*. Registro Oficial No. 481.
- Organización de Aviación Civil Internacional. (2021). *Documentos de viaje de lectura mecánica (Doc 9303)*. OACI.





Estrella, Jorge.
jorge.estrella@geograficomilitar.gob.ec

TAMAÑOS MÍNIMOS DE EXTRACCIÓN PARA LA CARTOGRAFÍA OFICIAL MULTIESCALA DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR DEL ECUADOR

MINIMUM EXTRACTION SIZES FOR THE OFFICIAL MULTISCALE CARTOGRAPHY OF THE MILITARY GEOGRAPHIC INSTITUTE OF ECUADOR

RESUMEN

La cartografía oficial multiescala requiere criterios técnicos homogéneos que garanticen la legibilidad, la coherencia geométrica y la exactitud posicional de los objetos geográficos representados. El presente expone el análisis técnico desarrollado por el Instituto Geográfico Militar (IGM) del Ecuador para la definición de tamaños mínimos de extracción cartográfica en las escalas 1:5 000, 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:250 000, 1:500 000 y 1:1 000 000. La metodología se fundamenta en el factor de graficismo, la proporcionalidad cartográfica y la adopción de estándares internacionales del programa Multinational Geospatial Co-production Program (MGCP) de la National Geospatial-Intelligence Agency (NGA), complementados con referencias regionales. Los resultados permiten establecer parámetros técnicos consistentes, alineados con prácticas internacionales y adaptados al contexto ecuatoriano, fortaleciendo la interoperabilidad y el control de calidad de la cartografía oficial.

Palabras clave: cartografía multiescala, graficismo, MGCP, tamaños mínimos.

ABSTRACT

Official multiscale cartography requires homogeneous technical criteria to ensure legibility, geometric coherence, and positional accuracy of represented geographic features. This article presents the technical analysis conducted by the Military Geographic Institute of Ecuador to define minimum extraction sizes for cartographic production at scales 1:5,000, 1:10,000, 1:25,000, 1:50,000, 1:100,000, 1:250,000, 1:500,000, and 1:1,000,000. The methodology is based on the cartographic graphic tolerance factor, scale proportionality, and the adoption of international standards from the NGA's MGCP program, complemented by regional references. The results establish consistent technical parameters aligned with international practices and adapted to the Ecuadorian context, strengthening interoperability and quality control of official cartography.

Keywords: multiscale cartography, minimum legible size, MGCP, minimum sizes.



INTRODUCCIÓN

El Instituto Geográfico Militar (IGM), como organismo rector de la cartografía oficial del Ecuador, tiene la responsabilidad técnica y legal de garantizar que los productos cartográficos nacionales representen de forma precisa, coherente y estandarizada la realidad geográfica del territorio. Esta responsabilidad implica no solo la generación y actualización de información geoespacial, sino también la definición de criterios técnicos que regulen su representación gráfica en las distintas escalas oficiales, asegurando la consistencia entre productos y la confiabilidad para los usuarios institucionales y externos.

La cartografía multiescala constituye una herramienta fundamental para la planificación territorial, la gestión del riesgo, la defensa nacional, el ordenamiento territorial y la formulación de políticas públicas. Cada escala responde a un nivel distinto de detalle y, por tanto, requiere reglas específicas de representación que permitan describir la realidad sin perder información esencial. En este sentido, la extracción y su posterior generalización cartográfica no constituye un proceso arbitrario, sino una decisión técnica sustentada en criterios objetivos, entre los cuales el tamaño mínimo cartografiable ocupa un rol central.

Uno de los problemas recurrentes en la producción cartográfica es la representación de objetos geográficos cuya dimensión real es inferior a la capacidad gráfica de la escala de trabajo. La inclusión indiscriminada de estos objetos genera saturación visual, ambigüedad geométrica y posibles interpretaciones erróneas, mientras que su exclusión sin criterios claros puede ocasionar pérdida de información relevante. De ahí la necesidad de establecer parámetros técnicos normalizados que orienten la extracción y representación de objetos geográficos.

En este contexto, el estudio tiene como propósito describir y fundamentar la metodología adoptada por el IGM para la definición de tamaños mínimos de extracción cartográfica digital en un entorno multiescala. Se exponen los principios técnicos empleados, las referencias normativas y los estándares internacionales considerados, así como una

comparación con prácticas regionales para demostrar la pertinencia y solidez de los criterios propuestos.

DESARROLLO

1. Marco normativo y técnico.

La elaboración de la cartografía oficial del Ecuador se encuentra regulada por la Ley de la Cartografía Nacional y su reglamento, que confieren al IGM la competencia exclusiva para planificar, coordinar, elaborar y controlar la cartografía oficial del país. Este marco jurídico establece que los productos cartográficos deben reflejar la realidad geográfica y cumplir con normas y especificaciones técnicas reconocidas a nivel nacional e internacional.

Adicionalmente, el marco legal se complementa con disposiciones del Código Orgánico de Planificación y Finanzas Públicas, que reconoce a la información geoespacial oficial como un insumo fundamental para la planificación del desarrollo y la formulación de políticas públicas. En este ámbito, las políticas emitidas por el Consejo Nacional de Geoinformática (CONAGE) refuerzan la necesidad de estandarizar la producción geoespacial, garantizar la calidad de los datos y promover la interoperabilidad entre instituciones del Estado.

Desde el punto de vista técnico, el IGM adopta normas internacionales de la ISO 19100, las cuales establecen lineamientos sobre calidad de datos, exactitud posicional, metadatos y modelos de información geográfica. Estas normas proporcionan un marco conceptual que respalda la definición de especificaciones técnicas internas, adaptadas a las condiciones geográficas y operativas del Ecuador.

Asimismo, el IGM mantiene una alineación técnica con estándares internacionales ampliamente utilizados, como los desarrollados por la National Geospatial-Intelligence Agency (NGA) de los Estados Unidos, en particular aquellos asociados al programa Multinational Geospatial Cooperation Program (MGCP). La adopción de estos estándares permite asegurar compatibilidad metodológica, facilitar



procesos de coproducción y fortalecer la interoperabilidad regional e internacional de la cartografía ecuatoriana.

2. Fundamento del tamaño mínimo cartografiable.

El tamaño mínimo cartografiable es un concepto fundamental en la teoría y práctica de la cartografía, que se refiere a la dimensión mínima que debe tener un objeto geográfico para ser representado gráficamente de manera legible y significativa en una determinada escala. Este criterio está directamente relacionado con la percepción visual, la resolución gráfica o espacial y la exactitud posicional de los datos.

El factor de graficismo (1) constituye la base para la determinación de este tamaño mínimo. Se define como la mínima distancia que puede ser representada en el mapa sin perder claridad ni generar ambigüedad, y generalmente se expresa en milímetros sobre el papel. Este valor absorbe tanto los errores inherentes al proceso de representación como las limitaciones propias de los dispositivos de visualización e impresión.

$$FG = M \cdot \varepsilon \quad (1)$$

Donde:

FG = Factor de graficismo (m).

M = Denominador de la escala dimensionado (1 mm de la escala del mapa en terreno).

ε = Valor mínimo que una distancia real puede ser representada en un mapa a una escala determinada, la cual corresponde a un quinto del valor de un milímetro por la escala del mapa. En otras palabras, cualquier valor por debajo de esta dimensión será considerado como despreciable a la escala de representación; por lo tanto, en relación con lo descrito este criterio también se aplica para determinar el valor del tamaño mínimo cartografiable (Millán, 2006, pág. 48).

Históricamente, el IGM ha adoptado un valor ε de 0,30 mm, el cual ha demostrado ser adecuado para equilibrar la legibilidad y la precisión en la cartografía oficial. Este valor se encuentra dentro de los rangos aceptados

internacionalmente, considerando que otros estándares como la National Standard for Spatial Data Accuracy (NSSDA) emplean valores cercanos a 0,25 mm, mientras que enfoques más estrictos de la teoría cartográfica proponen 0,20 mm (Millán, 2006).

La aplicación del factor de graficismo permite establecer un umbral objetivo para decidir cuándo un objeto debe ser representado, generalizado o excluido en función de la escala. De esta manera, el tamaño mínimo cartografiable no solo contribuye a la claridad visual del mapa, sino que también actúa como un mecanismo de control de calidad y coherencia técnica.

3. Metodología de evaluación multiescala.

La metodología adoptada para la definición de tamaños mínimos de extracción cartográfica se fundamenta en un análisis multiescala que combina referencias internacionales, criterios geomáticos y experiencia institucional acumulada. Como punto de partida, se tomaron los valores establecidos en el documento MGCP Topographic Reference Data versión 4.6 (TRD4 v4.6), los cuales están definidos para las escalas 1:50 000 y 1:100 000.

A partir de estas escalas de referencia, se aplicó el principio de proporcionalidad cartográfica para derivar los tamaños mínimos correspondientes a escalas mayores y menores. Este principio establece que existe una relación lineal directa entre la escala de representación, el factor de graficismo (1) y las dimensiones mínimas de los objetos en el terreno, lo que permite extrapolar valores de manera consistente y técnicamente justificable (2).

$$TM = M \cdot RP \quad (2)$$

Donde:

TM = Tamaño mínimo representado en terreno (m).

RP = Representación en papel (mm).

M = Denominador de la escala dimensionado (1 mm de la escala del mapa en terreno).



El análisis consideró las principales geometrías utilizadas en la cartografía básica: puntos, líneas y polígonos. En cada tipo de geometría se evaluó su comportamiento gráfico en función de la escala, determinando las dimensiones mínimas en el terreno que garantizan una representación clara y sin ambigüedades. Este enfoque permitió construir una matriz multiescala aplicable a las escalas oficiales del IGM, desde 1:5 000 hasta 1:1 000 000 (Figura 1).

Adicionalmente, se integraron insumos provenientes del catálogo de objetos geográficos y del Manual de Generalización Cartográfica institucional, lo que aseguró coherencia entre los criterios de extracción, clasificación y representación de los objetos geográficos. La metodología resultante no solo es técnicamente sólida, sino también operativamente viable para su aplicación en procesos de producción y control de calidad.

4. Comparación regional.

En el marco del proceso de validación técnica de los tamaños mínimos de extracción cartográfica propuestos, se realizó una comparación detallada con los criterios adoptados por instituciones cartográficas

homólogas en la región sudamericana. Este análisis comparativo tuvo como objetivo verificar el grado de alineación del enfoque técnico del IGM con las prácticas regionales vigentes, así como identificar similitudes, diferencias y tendencias en la aplicación de criterios de extracción y generalización cartográfica.

La comparación se centró principalmente en objetos lineales (Tablas 1 y 2), tales como ríos y cursos de agua, ya que este tipo de elementos representa uno de los mayores desafíos en la cartografía multiescala. Los objetos lineales presentan una alta variabilidad morfológica, una continuidad espacial extensa y una fuerte dependencia del contexto topográfico, lo que obliga a aplicar criterios rigurosos de selección, simplificación y tamaño mínimo para evitar tanto la saturación gráfica como la pérdida de información significativa.

Colombia define tamaños mínimos para la extracción y representación de la red hidrográfica que privilegian la legibilidad del producto cartográfico, especialmente en escalas 1:25 000 y 1:50 000. Sus especificaciones técnicas establecen umbrales claros para la inclusión de cursos de aguas permanentes e intermitentes,

COD	CATEGORÍA	COD	SUBCATEGORÍA	COD	OBJETO	Tamaño en papel (mm)	Escala 1:5 000			
							GEOMETRÍA	Tamaño en territorio	Unl	Observación
01	Infraestructura de Industrias y Servicios	01.01	Extracción	AA012	Cantera	2,5	Polígono	156,25	m2	N/A
				AA010	Mina	2,5	Polígono	156,25	m2	N/A
				AA050	Pozo	0	Punto	N/A		Todos los requeridos a escala 1:5 000
				AM040	Pila Mineral	0,8	Polígono	16	m2	N/A
				AA040	Instalación Petrolera	0,5	Punto / Polígono	6,25	m2	Si la dimensión es menor a lo detallado, el objeto será representado por punto
		01.02	Fabricación y/o Procesamiento	BB241	Astillero	2,5	Polígono	156,25	m2	N/A
				AA052	Campo Hidrocarburos	2,5	Polígono	156,25	m2	N/A
				AC00	Planta de Procesamiento	2,5	Polígono	156,25	m2	N/A
				BH040	Planta de Tratamiento de Agua	2,5	Polígono	156,25	m2	N/A
				AE010	Planta Ensambladora	2,5	Polígono	156,25	m2	N/A
				AC030	Tanque de Decantación / Piscina no	2,5	Polígono	156,25	m2	N/A
		01.03	Agropecuaria	AJ030	Corral	0,5	Polígono	6,25	m2	N/A
				AL019	Establo	0,5	Polígono	6,25	m2	N/A
		01.04	Eléctrica	AD010	Central Eléctrica	2,5	Polígono	156,25	m2	N/A
				AT030	Línea de Transmisión Eléctrica	7	Línea	35	m	N/A
				AD020	Panel Solar	2,6	Polígono	169	m2	N/A
				AD050	Planta Termica	2,5	Polígono	156,25	m2	N/A
				AJ051	Turbina Eólica	0,5	Polígono	6,25	m2	N/A
				AD030	Subestación Eléctrica	0,8	Polígono	16	m2	N/A
		01.05	Comunicaciones	AT010	Antena Parabólica	0	Punto	N/A		Se extrae si el objeto tiene un longitud mayor a la detallada
				AT00	Torre de Comunicación	0,5	Punto / Polígono	6,25	m2	Si la dimensión es menor a lo detallado, el objeto será representado por punto

Figura 1. Matriz de tamaños mínimos multiescala (versión 1.0).

Fuente: Instituto Geográfico Militar (2026).



Escala 1:25 000						
Objeto	Colombia	Uruguay*	Chile	Argentina	Perú	Ecuador**
Río - lineales	125 m					
	250 m	150 m	150 m	75 m	150 m	150 m
	zonas densas					

Tabla 1. Valores adoptados en Sudamérica para escalas 1:25 000.

Fuente: Colombia ("Especificaciones técnicas: cartografía base", Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2016); Chile ("EGLTD 6.0 ExtractedGuide Local Topographic Data Store 6.0", NGA, 2013); Uruguay ("Especificacions tècniques de la Base Topogràfica de Catalunya 1:5000 BT-5M", Instituto Cartogràfic de Catalunya, 2011); Argentina ("Manual de Signos Cartogràfics", Instituto Geográfico Nacional, 2010). Perú (Especificaciones técnicas, 2005).

*En proceso de elaboración, utiliza NGA y especificaciones de Cataluña para el área urbana.

**Valor tomado de la NGA

Escala 1:50 000						
Objeto	Colombia	Uruguay*	Chile	Argentina	Perú	Ecuador**
Río - lineales	250 m					
	500 m	300 m	300 m	150 m	300 m	300 m
	zonas densas					

Tabla 2. Valores adoptados en Sudamérica para escalas 1:50 000.

Fuente: Colombia ("Especificaciones técnicas: cartografía base", Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2016); Chile ("EGLTD 6.0 ExtractedGuide Local Topographic Data Store 6.0", NGA, 2013); Uruguay ("Especificacions tècniques de la Base Topogràfica de Catalunya 1:5000 BT-5M", Instituto Cartogràfic de Catalunya, 2011); Argentina ("Manual de Signos Cartogràfics", Instituto Geográfico Nacional, 2010). Perú (Especificaciones Técnicas, 2005).

*En proceso de elaboración, utiliza NGA y especificaciones de Cataluña para la parte urbana

** Valor tomado de la NGA

priorizando aquellos con relevancia hidrológica o funcional, y aplicando procesos de generalización que reducen la complejidad geométrica sin comprometer la coherencia espacial.

Argentina presenta un enfoque parcialmente distinto, caracterizado por una mayor flexibilidad en los tamaños mínimos de extracción para ciertos elementos hidrográficos. Esta práctica responde a una tradición cartográfica que prioriza la preservación de la red de drenaje como elemento estructurante del territorio, incluso en escalas medias. No obstante, este enfoque implica un mayor esfuerzo en los procesos de generalización geométrica y control de calidad para evitar sobrecarga visual en el producto final.

Por su parte, Perú, Chile y Uruguay adoptan criterios técnicos que se encuentran estrechamente alineados con el programa

MGCP y con estándares europeos adaptados al contexto sudamericano. En estos países, los tamaños mínimos de extracción para objetos lineales se definen de manera explícita en función de la escala, incorporando tolerancias gráficas que aseguran una representación clara y homogénea. Esta aproximación favorece la interoperabilidad de los productos cartográficos y facilita su integración en proyectos regionales y multilaterales.

Al contrastar estos enfoques con la propuesta desarrollada por el IGM del Ecuador, se evidencia que los tamaños mínimos de extracción definidos se sitúan dentro del rango de valores adoptados por las instituciones cartográficas de la región. En particular, los valores propuestos muestran una alta coherencia con las recomendaciones del programa MGCP, lo que refuerza la compatibilidad técnica de la cartografía con estándares internacionales ampliamente aceptados.



Cabe destacar que la convergencia regional observada no implica una estandarización absoluta, sino una armonización técnica basada en principios comunes de legibilidad, exactitud posicional y coherencia gráfica. En este sentido, el enfoque del IGM incorpora las mejores prácticas regionales como referencia, pero las adapta a las condiciones geográficas, normativas y operativas propias del país.

RESULTADOS

La aplicación del factor de graficismo y del principio de proporcionalidad cartográfica permitió derivar una matriz multiescala de referencia de tamaños mínimos de extracción para las escalas oficiales utilizadas en la cartografía básica del IGM, comprendidas entre 1:5 000 y 1:1 000 000.

El análisis realizado permitió establecer los valores mínimos en terreno que deben cumplir los objetos geográficos para ser representados de forma cartográficamente legible en cada escala, considerando las principales geometrías utilizadas en la cartografía digital: puntos, líneas y polígonos. Estos valores se encuentran sintetizados en la matriz multiescala presentada en la Figura 1.

Los resultados obtenidos muestran una relación proporcional directa entre la escala cartográfica y el tamaño mínimo representable, lo que confirma la validez del enfoque metodológico basado en el factor de graficismo adoptado por el IGM. Esta relación permite extrapolar de manera consistente los tamaños mínimos entre escalas mayores y menores, manteniendo coherencia geométrica entre productos cartográficos.

Desde el punto de vista operativo, la matriz de tamaños mínimos constituye un insumo técnico fundamental para los procesos de extracción cartográfica, generalización geométrica y control de calidad de los productos cartográficos institucionales. Su aplicación permite establecer criterios para la inclusión o exclusión de objetos geográficos durante la producción cartográfica, reduciendo la subjetividad en la toma de decisiones y garantizando una representación equilibrada entre nivel de detalle y legibilidad gráfica.

Asimismo, los valores obtenidos se integran de manera coherente con el catálogo de objetos geográficos y con los lineamientos del Manual de Generalización Cartográfica institucional, facilitando su implementación en los flujos de producción y fiscalización cartográfica.

CONCLUSIONES

- La definición de tamaños mínimos de extracción cartográfica constituye un componente esencial para garantizar la calidad, la legibilidad y la coherencia de la cartografía oficial multiescala. El análisis desarrollado por el IGM demuestra que la aplicación de criterios objetivos, sustentados en el factor de graficismo y en la proporcionalidad cartográfica permite establecer parámetros técnicos consistentes, reproducibles y técnicamente defendibles para las distintas escalas oficiales.
- La incorporación de estándares internacionales, particularmente los asociados al programa MGCP de la NGA, junto con el análisis comparativo regional, refuerza la solidez técnica de los criterios adoptados. Esta alineación no solo valida la propuesta del IGM en el contexto sudamericano, sino que también favorece la interoperabilidad de la cartografía nacional con productos geoespaciales de alcance regional e internacional.
- La definición explícita de tamaños mínimos de extracción contribuye a homogenizar los procesos de generalización cartográfica, reducir la subjetividad en la toma de decisiones técnicas y fortalecer los mecanismos de control de calidad en la producción cartográfica institucional. Estos criterios permiten optimizar el equilibrio entre detalle geométrico y legibilidad gráfica, evitando tanto la saturación visual como la omisión injustificada de información relevante.
- La adopción formal de estos parámetros técnicos proporciona una base sólida para la estandarización de productos cartográficos oficiales, el desarrollo



del catálogo de objetos geográficos institucional y la articulación con normativas nacionales de información geoespacial. En este sentido, los tamaños mínimos de extracción definidos no solo responden a una necesidad técnica inmediata, sino que constituyen un aporte estructural para la consolidación de una cartografía oficial coherente, interoperable y alineada con buenas prácticas internacionales.

BIBLIOGRAFÍA

- *Federal Geographic Data Committee. (1998). Geospatial positioning accuracy standards, part 3: National standard for spatial data accuracy (FGDC-STD-007.3-1998).*
- *Institut Cartogràfic de Catalunya. (2011). Especificacions tècniques de la base topogràfica de Catalunya 1:5000 (BT-5M).*
- *Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2016). Especificaciones técnicas: cartografía base.*
- *Instituto Geográfico Nacional del Perú. (2005). Especificaciones técnicas para la cartografía básica.*
- *Instituto Geográfico Nacional. (2010). Manual de signos cartográficos.*
- *Instituto Panamericano de Geografía e Historia. (1978). Especificaciones para mapas topográficos.*
- *Millán Gamboa, J. M. (2006). Cartografía náutica. Instituto Hidrográfico de la Marina.*
- *National Geospatial-Intelligence Agency. (2013). EGLTD 6.0: Extracted guide local topographic data store 6.0.*
- *National Geospatial-Intelligence Agency. (2021, January 29). Multinational geospatial co-production program (MGCP), extraction guide (TRD4 v4.6).*



Guerrero, Karla
karla.guerrero@geograficomilitar.gob.ec

USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN INFRAESTRUCTURA DE DATOS ESPACIALES PARA LA PLANIFICACIÓN TERRITORIAL

*USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN SPATIAL DATA INFRASTRUCTURE FOR TERRITORIAL
PLANNING*

RESUMEN

La Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) es esencial para la gestión y el intercambio de información geoespacial en la planificación territorial. No obstante, el creciente volumen y complejidad de los datos requieren herramientas avanzadas que garanticen la interoperabilidad y eficiencia. Este estudio analiza la aplicación de técnicas de Inteligencia Artificial (IA), especialmente Machine Learning y Deep Learning para fortalecer las funcionalidades de la IDE. Se analizan modelos de IA orientados a la automatización de metadatos, la mejora de la interoperabilidad semántica y la optimización de procesos de integración, evidenciando resultados con mejoras significativas en eficiencia y confiabilidad.

Palabras clave: Deep Learning, geoinformación, infraestructura de datos espaciales, Machine Learning, planificación territorial.

INTRODUCCIÓN

“Los avances tecnológicos y el hecho de que buena parte de las actividades humanas

ABSTRACT

Spatial Data Infrastructure (SDI) is essential for managing and exchanging geospatial information in land-use planning. However, the increasing volume and complexity of data require advanced tools that guarantee interoperability and efficiency. This study analyzes the application of Artificial Intelligence (AI) techniques, especially Machine Learning and Deep Learning, to strengthen SDI functionalities. AI models focused on metadata automation, improved semantic interoperability, and optimized integration processes are analyzed, demonstrating significant improvements in efficiency and reliability.

Keywords: Deep Learning, geoinformation, spatial data infrastructure, Machine Learning, territorial planning.

tengan un componente locacional, han provocado en la actualidad que se disponga de un importante volumen de datos georreferenciados. (...) Las IDE pretenden

catalogar y poner al alcance del público en general toda esta información que, con frecuencia es desconocida o no tiene canales adecuados para darse a conocer” (Capdevila, 2004).

Una Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) puede definirse como un sistema informático integrado de diversos recursos como: catálogos, servidores, aplicaciones, programas y sitios web que se encuentran coordinados bajo un marco normativo que garantiza la interoperabilidad.

Este enfoque normativo asegura que la información generada por diferentes instituciones pueda ser compartida y utilizada de manera conjunta dentro de la administración pública. La finalidad esencial de una IDE es promover la difusión y el acceso a la información geográfica a través de la red, facilitando su disponibilidad para la comunidad de usuarios (Elisa Bermejo y Luis Conti Bueno, 2025).

La importancia y necesidad del desarrollo de la IDE surge de diversos factores vinculados con el crecimiento y la transformación tecnológica en el ámbito de la información geográfica. En primer lugar, se observa un aumento significativo en la producción de datos espaciales, no solo por organismos públicos, sino también de empresas privadas.

Este incremento en cantidad y calidad ha ido en paralelo al desarrollo de geotecnologías como: sensores remotos, técnicas de teledetección, sistemas de posicionamiento global, aplicaciones espaciales y su conexión a redes inalámbricas, es lo que permite el acceso inmediato y ubicuo de información geográfica lo que genera un nivel de interacción de datos geográficos que hace pocos años resultaba inimaginable.

A ello se suma la creciente disponibilidad y demanda de información gratuita, tanto en forma de visualización como mediante servicios de descarga. Este escenario evidencia la necesidad de contar con sistemas organizados y estandarizados que garanticen la interoperabilidad, la comparación y el aprovechamiento eficiente de los datos espaciales, consolidando a la IDE como herramienta esencial para la gestión y

difusión de la información geográfica (Elisa Bermejo y Luis Conti Bueno, 2025).

Un ejemplo ilustrativo de esta creciente disponibilidad de información geoespacial es el “Proyecto de Determinación de la Capacidad de Acogida del Territorio con fines de desarrollo urbano mediante la generación de geoinformación temática a escala 1 : 5 000” ejecutado por el Instituto Geográfico Militar (IGM).

El propósito central de esta iniciativa es “definir la capacidad de acogida del territorio mediante generación de información geoespacial multipropósito a escala 1 : 5 000, para la toma de decisiones y fortalecimiento de los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT)” (Instituto Geográfico Militar (IGM), 2026).

La información producida en este proyecto se distribuyó a los municipios de las ciudades intervenidas en formato digital a través de enlaces de descarga directa. Este insumo constituye un recurso estratégico para la formulación y actualización de políticas de desarrollo urbano, lo que resalta la importancia de garantizar la interoperabilidad de datos y la automatización de procesos.

La fortaleza de una IDE no radica únicamente en la capacidad de acceder y almacenar información dentro de un sistema de información geográfica (SIG), sino en la posibilidad de articular y encadenar servicios geoespaciales. Este enfoque evita la acumulación innecesaria de datos y la ejecución de procesos redundantes en sistemas locales, optimizando así la gestión y el uso de información.

En este sentido, resulta imprescindible entender que una IDE no puede analizarse de manera aislada, sino en relación con las plataformas tecnológicas que la sustentan, cuya estandarización permite la interoperabilidad con varios lenguajes de programación que en esta nueva era dan lugar a la Inteligencia Artificial (IA) (María Iniesto, Amparo Núñez, 2014).

La calidad de una IDE puede evaluarse desde un punto de vista de la interoperabilidad, que es un objetivo fundamental para el



intercambio eficiente de datos geográficos. Desde la perspectiva normativa, la ISO 19101:2002¹ denominada Modelo de Referencia, define a la interoperabilidad como “(...) la capacidad de los sistemas o componentes de intercambiar información y de poder controlar el procesamiento cooperativo entre aplicaciones.

Para ello se precisan: capacidades de localización de la información y las herramientas de proceso; entender y usar la información y las herramientas descubiertas; poder desarrollar entornos de proceso para uso comercial sin restricciones de la oferta única en el mercado; poder desarrollar infraestructuras de información y procesamiento para servir a los distintos tipos de mercado y promover un mercado libre de competencia entre los consumidores”.

Existen inconvenientes al momento de alcanzar la interoperabilidad y la automatización de procesos. El presente estudio adopta un enfoque metodológico de carácter exploratorio y conceptual, orientado al análisis del potencial de las técnicas de IA aplicadas a la gestión de la IDE para la planificación territorial.

DESARROLLO

1. Evolución de la Infraestructura de Datos Espaciales.

La IDE surgió en la década de 1980 como respuesta a establecer marcos comunes y estandarizar el intercambio de información geoespacial. En sus primeras etapas se enfocaron al desarrollo de datos fundamentales, el uso compartido de archivos y servicios web iniciales, así como la implementación de catálogos de metadatos para facilitar el descubrimiento de información. No obstante, la IDE es un sistema dinámico en constante evolución, adaptándose a nuevas tecnologías y demandas de gestión de datos.

2. Desafíos de la Infraestructura de Datos Espaciales.

La interoperabilidad en una IDE y su automatización presentan los siguientes desafíos:

a. Heterogeneidad de formatos y estándares.

Los datos espaciales se generan en distintos formatos y bajo diferentes normas técnicas, lo que dificulta su integración y reutilización en el caso que no se apliquen estándares comunes (Cerdán, 2010).

b. Fragmentación de sistemas.

La información geoespacial proviene de múltiples instituciones con metodologías diversas. Además del surgimiento y la velocidad en la que emergen nuevas herramientas y metodologías, se impone la necesidad de actualizar de manera constante los estándares y los instrumentos empleados (Rodríguez, s/a).

c. Metadatos insuficientes o inconsistentes.

La carencia de metadatos adecuados afecta directamente la calidad de los datos. Esta deficiencia dificulta la localización y recuperación eficiente de la información (Santos, 2025).

d. Limitaciones en servicios web geoespaciales.

La implementación desigual de los protocolos WMS y WFS obstaculiza la interoperabilidad entre plataformas, ya que pueden ser difíciles de encontrar y acceder (Cindy Mitchell, Ryan Ahola, 2021).

¹ Norma ISO 19101:2002, fue remplaza por la ISO 19101-1:2014, ISO 19101-1:2014 - Geographic information - Reference model - Part 1: Fundamentals.



e. Escasa automatización de procesos y modernización.

La ausencia de flujos automatizados para actualización y validación de datos retrasa la integración y reduce la eficiencia de la IDE. Con su modernización, surge la posibilidad de otorgar un papel destacado a los actores generadores de datos, cuya participación resulta fundamental para reducir las brechas de acceso a los usuarios (Cindy Mitchell, Ryan Ahola, 2021). Los retos más significativos de interoperabilidad en una IDE están vinculados a la variedad de formatos, la carencia de estándares, la fragmentación en las instituciones y

la necesidad de mejorar los metadatos y los servicios web (Tabla 1).

3. Inteligencia Artificial aplicada a sistemas de información.

La IA ha revolucionado los sistemas de información al introducir capacidades de aprendizaje automático, reconocimiento de patrones y toma de decisiones autónoma. En este contexto, la IA permite automatizar patrones de recopilación, análisis y gestión de datos con la finalidad de mejorar la eficiencia.

Su aplicación abarca desde la clasificación automática de grandes volúmenes de datos hasta la generación de predicciones basadas en

Problema	Descripción	Solución propuesta
Heterogeneidad de formatos	Datos provenientes de múltiples fuentes con distintos formatos (ráster, vector, bases de datos).	Uso de estándares internacionales (ISO 19100, OGC).
Fragmentación institucional	Diferentes instituciones generan y gestionan datos con metodologías diversas.	Coordinación interinstitucional y marcos de gobernanza de datos.
Metadatos insuficientes	Falta de documentación sobre el origen, calidad y estructura de los datos.	Implementación de ISO 19115 y principios FAIR.
Servicios web inconsistentes	Implementación desigual de protocolos (WMS, WFS, CSW).	Adopción uniforme de estándares OGC.
Limitaciones en la interoperabilidad y automatización de procesos	Procesos manuales de actualización y validación ralentizan la integración.	Implementación de flujos automatizados y servicios interoperables (ETL, validación automática de metadatos, servicios interoperables) y uso de arquitecturas orientadas a servicios (SOA).

Tabla 1. Problemas y soluciones de una IDE.

Fuente: Elaboración propia



modelos complejos. De este modo, la IA se ha consolidado como un componente estratégico para transformar el manejo de geoinformación.

4. Estudios previos sobre Inteligencia Artificial en la Infraestructura de Datos Espaciales.

En el ámbito de la IDE, la aplicación de la IA constituye un recurso estratégico para la gestión de geoinformación territorial enfocándose en la incorporación de algoritmos como el Deep Learning. Su integración permite la automatización de procesos, la detección de patrones en datos espaciales y la optimización de la toma de decisiones en la planificación territorial.

Diversas investigaciones se han orientado hacia este campo, entre ellas las desarrolladas por Morocho, Vivanco y Pacurucu-Cáceres. Estas contribuciones incluyen propuestas de asistentes virtuales que facilitan el acceso ciudadano a la información espacial, así como frameworks² destinados a fortalecer la planificación territorial mediante el uso de la IA (Morocho et. al, 2023). En el artículo “Generación automatizada de modelos territorial y urbano usando geoprocesamiento en una IDE”, los autores enfatizan la optimización de la planificación territorial a través de frameworks que integran IA en la IDE, con el objetivo de apoyar la toma de decisiones sobre el uso de suelo y desarrollo urbano (Pacurucu et. al, 2023).

Los datos espaciales empleados en procesos de modelamientos provienen de múltiples fuentes, temáticas, métodos de obtención y formatos, lo cual genera una marcada heterogeneidad. Esta diversidad plantea la necesidad de establecer mecanismos de interoperabilidad avanzada, apoyados en algoritmos que permitan integrar eficientemente la información dentro de la IDE.

En este contexto, la tesis de Güizzo analiza los antecedentes de la IDE en distintas escalas (nacional, regional y global) y propone un diseño metodológico para su implementación. Asimismo, subraya

la importancia de integrar tecnologías inteligentes que potencien la interoperabilidad y optimicen el acceso de datos (Güizzo, 2022).

El uso de la IA en las IDE, también puede apoyar desde los fundamentos en procesos de generación de metadatos y detección de inconsistencias de datos.

METODOLOGÍAS

A continuación, se detallan métodos usados por la IDE que involucran a la IA.

1. Fuente de datos: metadatos geoespaciales y catálogos de servicios.

Los metadatos geoespaciales provenientes de la IDE constituyen el núcleo de descubrimiento e interoperabilidad de la información territorial. Los metadatos describen características como: contenido espacial, calidad, condiciones de acceso y restricciones de uso de los conjuntos de datos geográficos conforme a estándares internacionales como la norma ISO 19115.

2. Técnicas de Inteligencia Artificial aplicadas.

En el ámbito geoespacial, estas técnicas permiten automatizar procesos de clasificación, detección de inconsistencias en metadatos, integración de datasets provenientes de distintas fuentes y análisis predictivo aplicado a dinámicas territoriales.

a. Procesamiento de Lenguaje Natural (NLP) para metadatos.

El Procesamiento de Lenguaje Natural (NLP) es una rama de la IA que permite a la informática entender, interpretar y generar lenguaje humano (INGENIERIA, 2025). Se emplea para analizar descripciones textuales de metadatos, permitiendo la interoperabilidad semántica al interpretar lenguaje natural y mapearlo a vocabularios controlados u ontologías geoespaciales.

² Un framework es un conjunto de herramientas, estructuras y reglas que proporcionan un marco de trabajo predefinido para desarrollar software de manera más rápida, organizada y eficiente. Fuente: ¿Qué es un framework? Para qué sirve y ejemplos.



b. Machine Learning para detección de inconsistencias.

El Machine Learning (ML) se reconoce como una subdisciplina de la IA, cuyo propósito es el diseño de algoritmos capaces de mejorar su rendimiento de manera progresiva a partir de la experiencia y análisis de datos.

En esencia, el ML permite que los sistemas informáticos identifiquen patrones, generen predicciones y tomen decisiones fundamentadas en la información disponible (Crabtree, 2024).

Los métodos no supervisados constituyen una técnica de la IA que emplea algoritmos de ML para analizar un conjunto de datos sin etiquetas previas.

Su objetivo principal es identificar patrones latentes y establecer agrupaciones de manera autónoma, sin requerir intervención directa del analista (Cole Stryker, 2026).

Acorde a esta capacidad, el aprendizaje no supervisado resulta especialmente útil en las tareas de análisis exploratorio y detección de anomalías en conjuntos de datos espaciales como errores de formatos, redundancias e inconsistencias en esquemas lógicos.

La Figura 1 representa la agrupación de datos realizada por ML en aprendizaje supervisado y no supervisado.



Figura 1. Diferencia entre aprendizaje supervisado y no supervisado

Fuente: Elaboración propia.

c. Deep Learning para automatización de integración de datos.

El Deep Learning (DL) es una rama de aprendizaje automático del ML que emplea algoritmos basados en redes neuronales artificiales (RNA), inspirado en la estructura del cerebro humano.

Sus algoritmos son más lineales, complejos y jerárquicos con capacidad para aprender de grandes volúmenes de datos y obtener resultados más precisos (Crabtree, 2024). Este tipo de algoritmos permiten automatizar la integración de datos heterogéneos facilitando la fusión de información espacial en tiempo real (Figura 2).

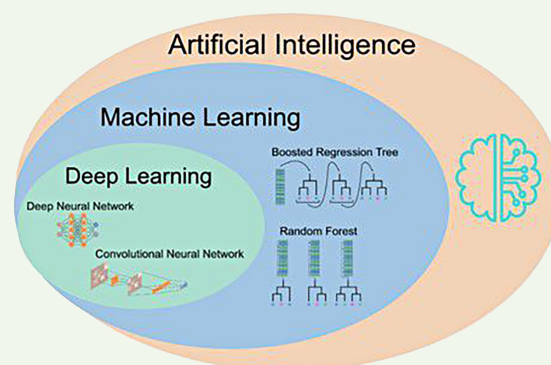


Figura 2. Inteligencia Artificial en la IDE.

Fuente: Cenik (s.f.)

3. Procedimientos.

a. Procesamiento previo de metadatos.

Involucra la depuración, normalización y enriquecimiento semántico de los metadatos para asegurar su conformidad con estándares internacionales (ISO. (2014). ISO 19115-1:2014 Geographic Infomatios -Metadada, s.f.).

b. Capacitación de modelos de Inteligencia Artificial.

Se utilizan conjuntos de datos geoespaciales etiquetados para la capacitación de modelos de NLP, ML y DL, garantizando su capacidad de generalización en diversos contextos territoriales.



c. Validación mediante métricas de interoperabilidad y eficiencia.

Pueden existir errores metodológicos que generen sesgos y otros tipos de errores como fugas de información, sobreajuste y subajuste, por lo cual es necesaria la validación. Esta se desarrolla utilizando métricas (coberturas de pruebas) tales como el índice de interoperabilidad, la efectividad en la integración de datos y la eficiencia en las consultas espaciales que permiten evaluar el rendimiento de los modelos en situaciones específicas (Felipe González, 2020).

La Figura 3 muestra el flujo de los procesos metodológicos anteriormente descritos.

DISCUSIÓN

La integración de técnicas de IA en la IDE demuestra un impacto positivo en la gestión

de información geoespacial. El uso de NLP aplicados a metadatos optimiza los procesos de búsqueda y descubrimiento de los datasets, reduciendo el tiempo en la localización de información relevante para la planificación territorial. Paralelamente, los modelos de ML y DL resultan eficaces en la detección de errores e inconsistencias, fortaleciendo la calidad y confiabilidad de los catálogos, aspecto esencial para la toma de decisiones en ordenamiento territorial, gestión ambiental y reducción de riesgos naturales.

No obstante, la implementación de la IA también plantea desafíos como la necesidad de un gran volumen de datos para entrenamiento, infraestructura tecnológica adecuada y capacitación especializada.

En la Tabla 2 se plantea una comparación de procesos de la IDE realizados con el método tradicional y el método con IA.

Acorde a la información anterior, se evidencia que la IA disminuye considerablemente la carga de trabajo manual en procesos

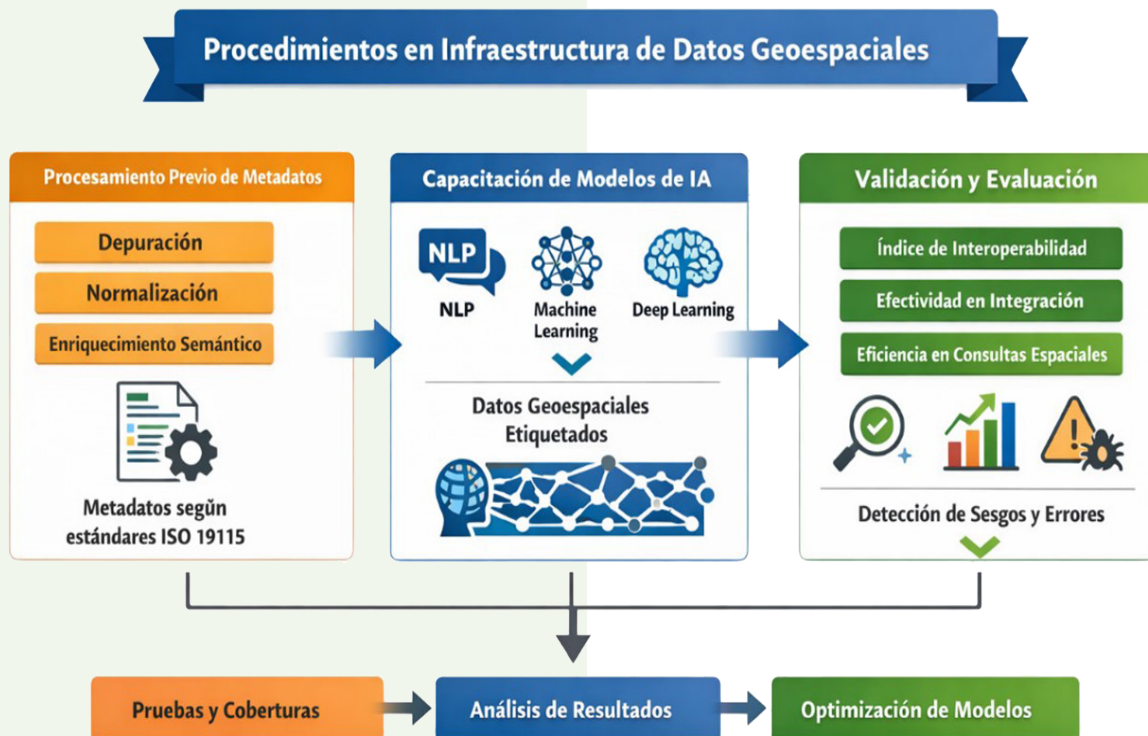


Figura 3. Procedimientos para la aplicación de Inteligencia Artificial en la IDE.

Fuente: Elaboración propia con apoyo de IA generativa.



Proceso en IDE/SDI	Método tradicional	Método con IA	Mejora observada
Generación de metadatos	Manual y dependiente de expertos	Automatizada con NLP (procesamiento de lenguaje natural)	Reducción del tiempo en generación y búsqueda
Detección de inconsistencias en datos	Revisión manual y validación cruzada	Algoritmos de ML (Random Forest, SVM)	Incremento de precisión
Interoperabilidad semántica	Uso de estándares básicos (ISO, OGC)	Modelos de IA para correspondencia semántica	Mejora en integración de sistemas heterogéneos
Integración de datos	Procesos manuales y semi-automatizados	Redes neuronales profundas (DL)	Aumento de eficiencia
Actualización de catálogos IDE	Dependiente de personal técnico	Automatización con IA	Mayor frecuencia y consistencia en actualizaciones

Tabla 2. Resultados de la aplicación de la Inteligencia Artificial.

Fuente: Elaboración propia.

fundamentales de la IDE. Esto se evidencia con una considerable mejora en la interoperabilidad, lo cual simplifica la integración de datos entre diferentes instituciones.

La automatización a través de la IA permite que la IDE sea más dinámica y beneficiosa para la planificación del territorio.

Estos resultados coinciden con lo argumentado por Janowicz (2020), quien destaca que las técnicas de GeoAI permiten mejorar la integración y análisis de datos espaciales dentro de la IDE.

CONCLUSIONES

Los resultados del estudio evidencian que la integración de técnicas de IA en la IDE puede mejorar significativamente los procesos de gestión, integración y análisis de información geoespacial. En el contexto ecuatoriano, estas herramientas ofrecen un importante potencial para fortalecer la planificación territorial mediante la integración de información sobre riesgos naturales, uso de suelo y expansión urbana.

La habilidad de los algoritmos de aprendizaje profundo y automático para analizar, integrar e identificar patrones a partir de distintas



fuentes de datos, posibilita la combinación de información relativa a la utilización de suelo, cobertura vegetal, infraestructura, crecimiento urbano y riesgos naturales.

Esta integración permite crear análisis espaciales más precisos y oportunos, lo que apoya la toma de decisiones fundamentadas en materia de planificación territorial y manejo sostenible del territorio.

De igual manera, la aplicación de técnicas de procesamiento del lenguaje natural puede facilitar la administración de metadatos y generar eficiencia en los procesos de búsqueda en los catálogos de la IDE.

No obstante, su implementación efectiva a nivel nacional requiere fortalecer las políticas de datos abiertos, promover la estandarización de la información geoespacial y consolidar mecanismos de cooperación interinstitucional. Estas acciones permitirán garantizar la calidad, accesibilidad y uso de información geoespacial, elementos clave para el desarrollo de soluciones basadas en datos que busquen mejorar la planificación territorial y la gestión de riesgos.

La Figura 4 muestra la arquitectura conceptual de las interrelaciones y procesos que se generan al integrar técnicas de IA en la gestión de la IDE, con el propósito de fortalecer los procesos de planificación territorial.

BIBLIOGRAFÍA

- Bermejo, E., & Conti Bueno, L. (2025, febrero 15). *Sistemas de información geográfica (SIG)*. *Geoinnova*. <https://geoinnova.org/blog-territorio/seccion/sig/>
- Capdevila, J. (2004). *Infraestructura de datos espaciales (IDE): Definición y desarrollo actual en España*. *Scripta Nova: Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, 8(23). https://www.researchgate.net/publication/28072585_Infraestructura_de_Datos_Espaciales_IDE_Definicion_y_desarrollo_actual_en_Espana

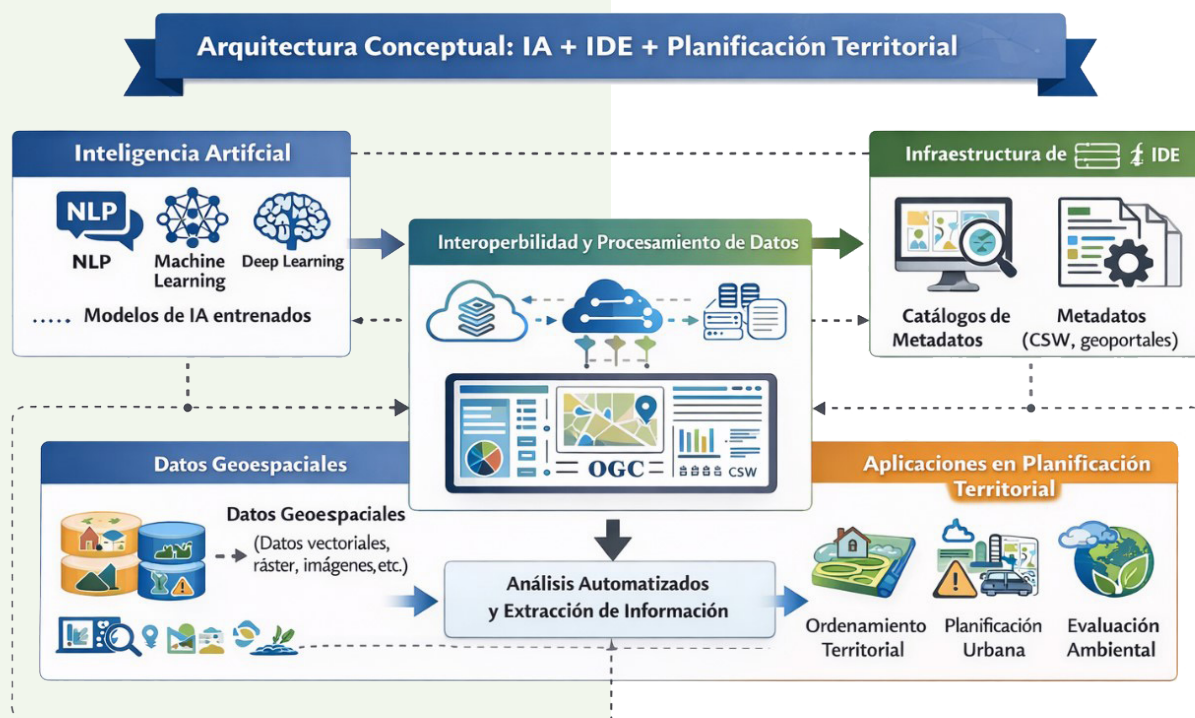


Figura 4. Arquitectura conceptual de la relación entre IA, IDE y planificación territorial.

Fuente: Elaboración propia con apoyo de IA generativa.



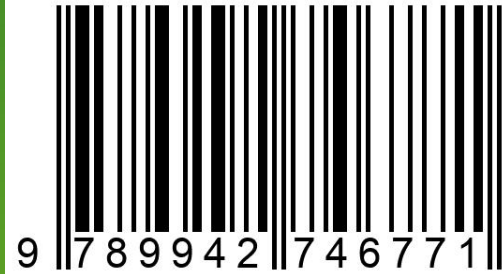
- Cerdán, F. P. (2010, abril). *Interoperabilidad*. Centro de Formación de la Cooperación Española en Cartagena de Indias. <http://www.aecidcf.org.co/documentos/MI%2016.346%20Fernando%20Perez%20INTEROPERABILIDAD.pdf>
- Crabtree, M. (2024, abril 4). *¿Qué es el machine learning? Definición, tipos, herramientas y más*. DataCamp. <https://www.datacamp.com/es/blog/what-is-machine-learning>
- González, F., & Ortega, T. (2020). *Uso responsable de la inteligencia artificial para las políticas públicas*. Banco Interamericano de Desarrollo. <https://el-bid.github.io/Manual-IA-Responsable/desarrollo-del-modelo-y-validaci%C3%B3n.html>
- Güizzo, E. (2022). *Infraestructura de datos espaciales: Diseño metodológico para la implementación de una IDE. El caso de la IDE de la provincia de Salta (Argentina)*. Universidad Nacional de Rosario. <http://hdl.handle.net/2133/23850>
- Iniesto, M., & Núñez, A. (2014). *Introducción a las infraestructuras de datos espaciales*. Centro Nacional de Información Geográfica.
- Instituto Geográfico Militar. (2026, febrero 20). *Proyecto capacidad de acogida del territorio*. <http://www.geograficomilitar.gob.ec/proyecto-capacidad-de-acogida-del-territorio/>
- International Organization for Standardization. (2014). *ISO 19115-1:2014 geographic information – Metadata - Part 1: Fundamentals*. <https://www.iso.org/standard/53798.html>
- Janowicz, K., Gao, S., McKenzie, G., Hu, Y., & Bhaduri, B. (2020). *GeoAI: Spatially explicit artificial intelligence techniques for geographic knowledge discovery and beyond*. *International Journal of Geographical Information Science*, 34(4), 625–636. <https://doi.org/10.1080/13658816.2019.1684500>
- Mitchell, C., & Ahola, R. (2021). *Modernizing SDI: OGC enabling data interoperability for cumulative effects concept development study*. Open Geospatial Consortium.
- Morocho Zurita, C. V. (2023). *Diseño e implementación de un asistente virtual para facilitar el acceso a geoinformación a través de una infraestructura de datos espaciales (IDE) [Tesis de grado, Universidad de Cuenca]*. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/items/26ffda52-4a04-4c49-887b-8e5080701793>
- Pacurucu, V. M. (2023). *Generación automatizada de modelos territorial y urbano usando geoprocamiento en una IDE*. Laboratorio Virtual de Ciudad y Territorio (LaVCiTe), Universidad de Cuenca. <https://rest-dspace.ucuenca.edu.ec/server/api/core/bitstreams/7591ceb6-b7f3-4ee6-9d45-88a15329407d/content>
- Rodríguez, N. A. (s.f.). *Avances y retos en la implementación de estándares en la gestión de información geoespacial*. *Revista Geodata*. <https://revistageodata.icde.gov.co/edicion-4/avances-y-retos-en-la-implementacion-de-estandares-en-la-gestion-de-informacion>
- SoloIngeniería. (2025). *Procesamiento del lenguaje natural (NLP)*. <https://www.soloingenieria.org/ingenieria-informatica/procesamiento-del-lenguaje-natural-nlp/>
- Straker, C. (2026). *La guía de machine learning de 2026*. IBM. <https://www.ibm.com/es-es/think/machine-learning>





www.geograficomilitar.gob.ec
www.geoportalmgm.gob.ec

ISBN: 978-9942-7467-7-1



QUITO: Seniergues E4-676 y Gral. Telmo Paz y Miño. Sector El Dorado / GUAYAQUIL: Av. Guillermo Pareja #402
Ciudadela la Garzota / ESTACIÓN COTOPAXI: Panamericana Sur Km. 65, Páramo de Romerillos
entrada Parque Nacional de Recreación Cotopaxi

Teléfono: QUITO: 593-2 3975100 al 130 / GUAYAQUIL: 593-4 2627597 - 2627829 / COTOPAXI: 593-3 3700271