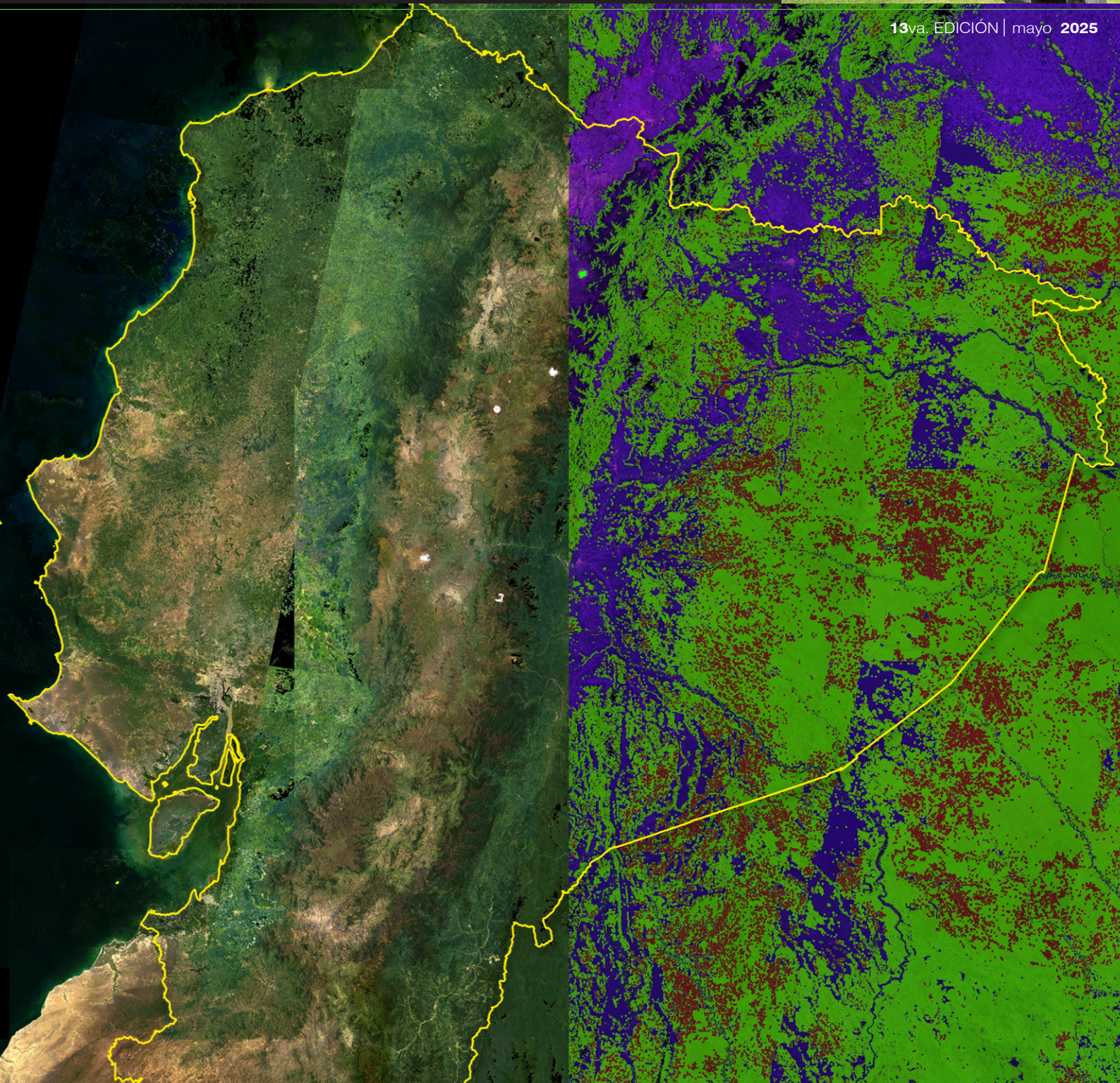


REVISTA
GEO & CIENCIAS
DATOS
INSTITUTO • GEOGRÁFICO • MILITAR



13va. EDICIÓN | mayo 2025



www.geograficomilitar.gob.ec / www.geoportaligm.gob.ec



MINISTERIO DE
DEFENSA
NACIONAL



INSTITUTO
GEOGRÁFICO
MILITAR



INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR



Revista Geociencias & Geodatos, año 2025
Instituto Geográfico Militar - 13 va. Edición
ISSN: 2477-9040
ISBN: 978-9942-7213-7-2



CÓDIGO QR PARA LA DESCARGA
DE LA REVISTA DIGITAL



Presentación



Manuel I. Ramírez A.
CRNL EMC.

DIRECTOR DEL
INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR

Al conmemorar con orgullo los 97 años de vida institucional del Instituto Geográfico Militar de Ecuador, celebramos casi un siglo de compromiso inquebrantable con el desarrollo del país, la seguridad del Estado y el bienestar de todos los ecuatorianos. A través de nuestras diversas actividades, hemos contribuido significativamente con la elaboración de la cartografía oficial, el archivo de datos geográficos y cartográficos, así como el desarrollo de estudios aplicados en el ámbito de la geomática.

Asimismo, el IGM impulsa la investigación espacial, sentando las bases para una futura gobernanza en esta área, mediante propuestas como la formulación de una política espacial nacional. También nos corresponde, como único organismo autorizado, la elaboración de especies valoradas y documentos de seguridad. Además, desarrollamos y difundimos conocimiento en las ciencias geoespaciales, aportando a la defensa de la soberanía e integridad territorial, al desarrollo nacional y al accionar de diversas instituciones del Estado.

Durante esta trayectoria, el IGM ha sido protagonista en la historia nacional, consolidándose como un referente técnico y científico en los ámbitos geoespacial y de seguridad documentaria, tanto a nivel nacional e internacional. Nuestra institución ha liderado avances en cartografía, geodesia y geografía, aportando mapas, datos y productos estratégicos que fortalecen la planificación territorial y la toma de decisiones a nivel nacional. Igualmente, garantizamos la impresión y elaboración de documentos de seguridad bajo los más altos estándares de calidad y confiabilidad.



La presente edición de la revista Geociencias & Geodatos recoge una muestra representativa del valioso trabajo que se realiza en nuestra institución, a través de artículos que reflejan el rigor científico, el análisis profundo y el impacto práctico de nuestras investigaciones. Esta publicación ratifica nuestro compromiso con la divulgación del conocimiento, compartiendo proyectos que han sido reconocidos por su excelencia técnica y su contribución estratégica. Estos esfuerzos están al servicio de entidades públicas y privadas, como el Ministerio de Defensa Nacional, el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, y el Ministerio de Agricultura y Ganadería, entre otros entes gubernamentales.

En esta nueva etapa institucional, reafirmamos nuestro compromiso con la innovación, la tecnología y la formación continua. Integramos nuevas herramientas y metodologías que nos permiten mantenernos como referentes en el campo geoespacial y en la seguridad documentaria. Apostamos por la excelencia, la colaboración interdisciplinaria y una visión de futuro que impulse el conocimiento aplicado al desarrollo sostenible del territorio ecuatoriano.

Agradezco profundamente a todos quienes forman parte del IGM por su dedicación diaria, y a nuestros aliados y lectores por su confianza y permanente interés. Sigamos avanzando con excelencia, al servicio del Ecuador.

Manuel I. Ramírez A.
CRNL EMC.

DIRECTOR DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR





Editorial

Christian D. Mullo A.
MAYO ELEC.

PRESIDENTE DEL COMITÉ
CIENTÍFICO - IGM 2025



La revista Geociencias & Geodatos, editada de manera anual por el Instituto Geográfico Militar, tiene el objetivo de ofrecer a la comunidad técnica, vinculada al desarrollo de la cartografía, la geografía y ciencias afines, un espacio de difusión del conocimiento generado en el desarrollo de los proyectos que apuntalan la misión institucional y, a la vez, una oportunidad para discutir acerca de los temas planteados, promoviendo la apertura y fortalecimiento de relaciones interinstitucionales con entidades del Estado ecuatoriano y organismos internacionales.

En esta edición, se presenta un compendio de artículos técnicos-científicos que muestran el trabajo realizado por el IGM, desde el análisis de modelos geoidales globales para la optimización de procesos de cálculo relacionados con la representación de las alturas, el control de calidad y difusión de datos abiertos de geoinformación temática para la planificación del territorio, aplicaciones de la teledetección en apoyo al desarrollo, seguridad y defensa nacional, hasta la gestión de riesgos y desastres, con enfoques prácticos y soluciones viables para una mejor toma de decisiones a nivel territorial. También, se incluye la aplicación del marketing en la gestión de productos y servicios institucionales.

En el ámbito espacial, se destacan temas como el diseño de sistemas de comunicación de CubeSats, la importancia de preservar los cielos oscuros y silenciosos para el desarrollo de la astronomía; así como, la participación activa del IGM, representando a Ecuador, como miembro de la Organización de las Naciones Unidas para Asuntos del Espacio Exterior (UNOOSA). Estas acciones evidencian una nueva etapa de desarrollo tecnológico e interés por fortalecer la gobernanza espacial nacional, un propósito que, si bien plantea importantes desafíos, exige actuar con visión estratégica.



Esta publicación refleja el compromiso y dedicación permanente de los profesionales y técnicos del IGM, quienes, a través de su labor diaria, generan geoinformación actualizada y oportuna, siendo herramienta fundamental para apoyar la toma de decisiones acertadas para la consecución de objetivos institucionales. El contenido expuesto es el resultado de un esfuerzo colectivo que reafirma la misión institucional, a la vez que, renueva el compromiso con la investigación, innovación y la calidad, dispuestos al servicio de la comunidad técnica y del país.

Invitamos a nuestros lectores a recorrer estas páginas con espíritu curioso y mente crítica. Cada artículo constituye una pieza fundamental en el gran proyecto de consolidar al IGM como referente técnico - científico al servicio del desarrollo soberano de Ecuador.

Christian D. Mullo A.
MAYO ELEC.

PRESIDENTE DEL COMITÉ CIENTÍFICO



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.





INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR

CRÉDITOS

Autoridades:

CRNL EMC. Iván Manuel Ramírez Álvarez - Director del IGM
TCRN EM. Augusto Marcelo Torres Garzón - Subdirector del IGM

Comité Científico:

MAYO ELEC. Christian Mullo, MSc.
Dra. Paulina Guerrón
Mgs. Andrea Arias
Dr. José Luis Carrión
Mgs. Milton Ramírez
MSc. Francisco Guerrero

Diseño y Diagramación:

Dis. Xavier Vivas

Revista Geociencias & Geodatos, año 2025
Instituto Geográfico Militar - 13 va. Edición
ISSN: 2477-9040
ISBN: 978-9942-7213-7-2

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

Disponible en:

<https://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/revista-geografica-igm/>



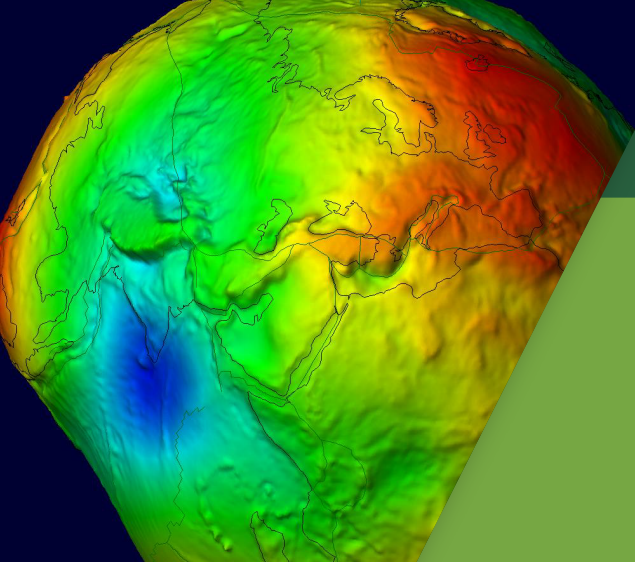
Índice

“Cada día sabemos más y entendemos menos”.

Albert Einstein



	Análisis de alternativas para la reducción de alturas ortométricas en base a alturas elipsoidales y modelos geoidales globales. _____	13
	Análisis de seguridades del pasaporte nacional del Ecuador con respecto a las normas OACI - DOC 9303. _____	23
	Automatización de rutinas de procesamiento para la generación de altimetría. _____	37
	Datos abiertos geospaciales: Impulsando la transformación territorial en el Ecuador. _____	47
	Diseño y simulación de un sistema de comunicaciones para un CubeSat. _____	55
	Evaluación de imágenes satelitales ópticas monoscópicas: Características visuales para la generación de cartografía escala 1 : 5 000 mediante digitalización. _____	67
	Fortaleciendo la Defensa: Estrategias modernas de seguridad perimetral en la era digital. _____	77
	Geoformas superficiales circulares con topografía negativa asociadas a procesos geológicos. _____	85
	Gestión y control de calidad en la producción cartográfica de cobertura y uso de la tierra 1 : 5 000. _____	95
	Instituto Geográfico Militar: Punto focal del Ecuador ante la UNOOSA en el marco del uso pacífico del espacio ultraterrestre. _____	109
	Implicaciones de la degradación de los cielos oscuros y silenciosos en la infraestructura espacial ecuatoriana. _____	117
	Importancia del marketing en la definición de productos y servicios ofertados por las organizaciones gubernamentales. Caso IGM. _____	125
	Influencia de las características morfométricas en los movimientos en masa del cantón Alausí, provincia de Chimborazo. _____	133
	Postgis, geodatabase de alto rendimiento: El poder del análisis ráster en software libre. _____	143
	Teledetección enfocada a riesgos: Técnicas de identificación de severidad y zonas quemadas mediante el empleo de datos de observación de la Tierra. _____	153
	Teledetección aplicada en el control de fronteras - Análisis geográfico de transformaciones enfocadas a detección de cambio del territorio en frontera norte. _____	165



Análisis de alternativas para la reducción de alturas ortométricas en base a alturas elipsoidales y modelos geoidales globales.

ANALYSIS OF ALTERNATIVES FOR THE REDUCTION OF ORTHOMETRIC HEIGHTS BASED ON ELLIPSOIDAL HEIGHTS AND GLOBAL GEOID MODELS.

Carrión, José. - jose.carrión@geograficomilitar.gob.ec

Rodríguez, Freddy. - freddy.rodríguez@geograficomilitar.gob.ec

Pozo, Miguel. - miguel.pozo@geograficomilitar.gob.ec

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

RESUMEN

Toda vez que, para determinadas escalas, la representación de la componente vertical de generación cartográfica, depende de la reducción de alturas elipsoidales mediante alturas geoidales, es necesario definir el modelo geoidal que mejor se ajusta a la región de trabajo. Actualmente, se dispone de varios Modelos Globales de Geopotencial que son obtenidos mediante la combinación de distintas fuentes de información, consiguiendo así una mejor representación del campo de gravedad terrestre, pero no dejando por esto de registrarse deficiencias propias de los errores de omisión y comisión propios de estos modelos. En el presente estudio, se analiza el desempeño de seis Modelos Globales de Geopotencial en la estimación de alturas geoidales, mediante su comparación con alturas geoidales derivadas de registros GNSS/nivelación, pertenecientes a la Red de Control Vertical de Ecuador. Los resultados muestran mejoras significativas al comparar modelos combinados con el EGM96, para el cual el error medio cuadrático es mayor a 1 m.

Palabras clave: Modelos Globales de Geopotencial, Red de Control Vertical de Ecuador, Geoide.

ABSTRACT

Since, for certain scales, the representation of the vertical component of cartographic generation depends on the reduction of ellipsoidal heights by means of geoid heights, it is necessary to define the geoid model that best fits the work region. Currently, there are several Global Geopotential Models that are obtained by combining different sources of information, thus achieving a better representation of the Earth's gravity field, but not without recording deficiencies inherent to the errors of omission and commission typical of these models. In the present study, the performance of six Global Geopotential Models in the estimation of geoid heights is analyzed, by comparing them with geoid heights derived from GNSS/leveling records belonging to the Vertical Control Network of Ecuador. The results show significant improvements when comparing combined models with the EGM96, for which the mean square error is greater than 1 m.

Keywords: Global Geopotential Models, Vertical Control Network, Geoid.



INTRODUCCIÓN

Desde la década de 1960, el análisis de las perturbaciones en las órbitas de los satélites ha sido crucial para inferir los funcionales del campo gravitatorio terrestre. La determinación de variaciones no keplerianas en la trayectoria orbital de satélites artificiales, es útil para recuperar las largas longitudes de onda del campo gravitatorio.

La gravimetría satelital proporciona información global del campo gravitacional terrestre, siendo esta información fundamental para la implementación de Modelos Globales de Geopotencial (MGG).

Las variaciones en las órbitas se recuperan principalmente mediante:

- Satellite Laser Ranging (SLR).
- Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite (DORIS).
- Precise Range and Range-Rate Equipment (PRARE).
- Satellite-to-satellite tracking (SST).

De acuerdo a Pavlis (2013), los Modelos Globales de Geopotencial, son aproximaciones matemáticas del potencial gravitacional externo de un cuerpo (en el caso de la Geodesia La Tierra). Un MGG consiste en un conjunto de valores numéricos para ciertos parámetros, estadísticas de los errores asociados a estos valores y una colección de expresiones matemáticas y algoritmos que permiten el cálculo de magnitudes relacionadas con el potencial gravitacional y sus errores asociados (propagación de errores basada en una matriz de covarianza).

DESARROLLO

El desarrollo de un MGG de alta resolución implica la apropiada combinación de

información variada proveniente de plataformas orbitales, levantamientos terrestres, levantamientos marinos, sensores aerotransportados y altimetría. Los modelos combinados asocian varias fuentes de información gravimétrica (órbitas de satélites, misiones de gravimetría desde satélites, gravimetría terrestre, gravimetría oceánica y aerogravimetría, altimetría por satélite y Modelos Digitales de Elevación.)

Los modelos combinados presentan errores de omisión (truncamiento) pequeños, pero gran dependencia con los errores de comisión debido a la diversidad de referenciales envueltas. Los MGG tienen usos técnicos y científicos. Entre las más importantes aplicaciones se tiene (Pavlis, 2013):

- Determinación de órbitas de satélites.
- Determinación de alturas geoidales.
- Topografía dinámica del océano.
- Circulación oceánica.
- Realización del Datum Vertical Global.

Los Modelos Globales de Geopotencial son implementados en base a una expansión de términos armónicos esféricos. Las bajas y media frecuencias de las series son derivadas del análisis de las órbitas de los satélites, Satellite-to-Satellite Tracking (SST) y gradiometría gravimétrica (gravimetric gradiometry).

El alto grado y orden de la expansión es conseguido mediante la combinación de la información satelital con gravimetría oceánica y terrestre, Modelos Digitales de Elevación y productos derivados de la altimetría por satélite. Los MGG permiten el cálculo del potencial gravitacional en función de los coeficientes armónicos esféricos, mediante la siguiente expresión (Torge y Müller, 2012):

$$V(r_p, \theta_p, \lambda_p) = \frac{GM}{r_p} \left[1 + \sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{a}{r_p} \right)^n \sum_{m=-n}^n C_{nm} S_{nm}(\theta_p, \lambda_p) \right] \quad (1)$$



En donde:

GM : constante gravitacional geocéntrica

r_p : distancia geocéntrica

θ_p : colatitud geocéntrica

λ_p : longitud geocéntrica

C_{nm} : coeficientes armónicos esféricos

S_{nm} : funciones de superficie armónicas

Navigation Satellite System - GNSS), se establece un procedimiento para validar varios modelos. Esta validación se realiza mediante la comparación de alturas geoidales (N) derivadas de los MGGs con valores (N^*) obtenidos de registros GNSS/nivelación calculados según la expresión:

$$N^* \approx h - H_{niv} \quad (2)$$

Donde h corresponde a la altura elipsoidal y H_{niv} a la altura nivelada.

Con la finalidad de realizar este análisis, un total de 3104 registros GNSS/nivelación fueron levantados (Figura 1).

Para la evaluación de los MGGs mediante la comparación entre N y N^* , fueron considerados los siguientes modelos:

1. Métodos

En vista de que para el Proceso de Captura de Datos Geospaciales es necesario obtener alturas geoidales (N) provenientes de un Modelo Global de Geopotencial (MGG), para la aproximación de alturas ortométricas (H) a partir de alturas elipsoidales (h) obtenidas de la técnica de posicionamiento satelital (Global

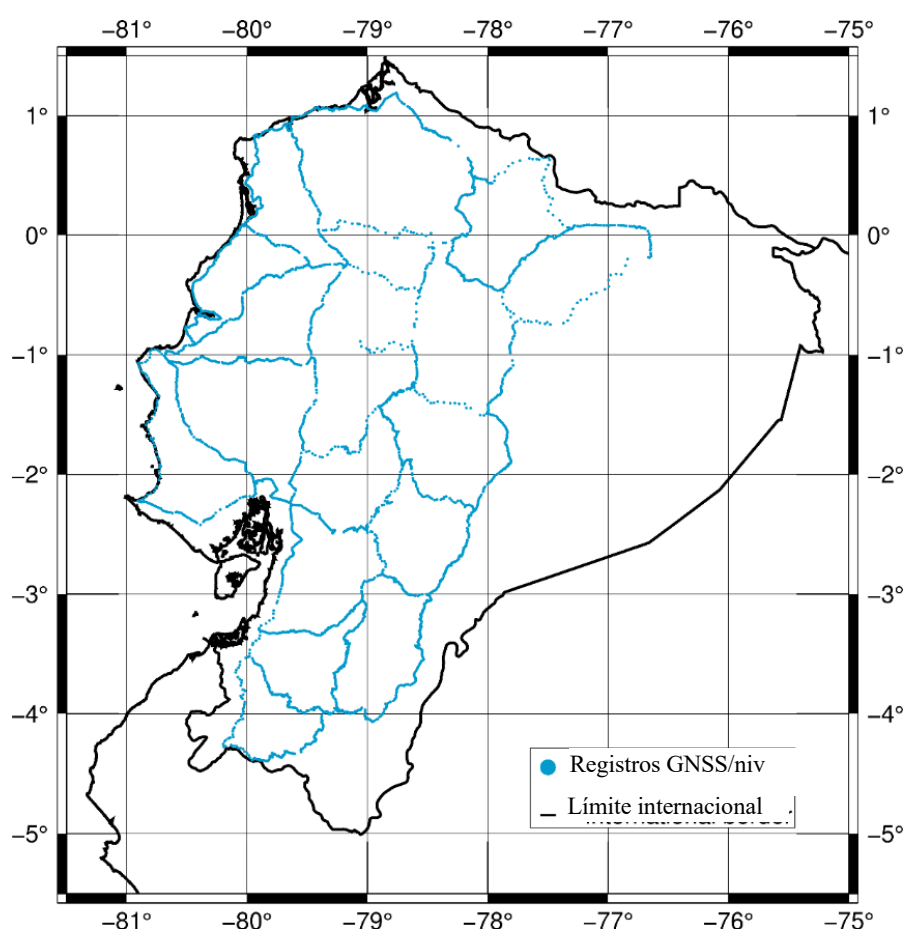


Figura 1: Registros GNSS/nivelación utilizados en el análisis.
Fuente: Elaboración propia.



MGG	n _{max}	Fuente de información
EIGEN-6C4 (Förste et al., 2014)	2190	A, G, S (Goce, Grace, Lageos)
EGM2008 (Pavlis et al., 2008)	2190	A, G, S (Grace)
GECO (Gillardoni et al., 2016)	2190	EGM2008, S (Goce)
SGG-UGM-1 (Liang and Reißland, 2018)	2159	EGM2008, S (Goce)
EGM96 (Lemoine et al., 1997)	360	A, EGM96S, G
XGM2019e (Zingerle et al., 2020)	2190	A, G, S (GOCO06s), T

A: altimetría; S: satélite; G: terrestre; T: topografía

Tabla 1: Modelos Globales de Geopotencial validados para sus valores de altura geoidal.
Fuente: Elaboración propia.

Al observar la Tabla 1, se verifica que fueron evaluados 5 MGG combinados y el EGM96 que tiene un grado de desarrollo 360.

16

Con el objetivo de que el cálculo de N^* se realice en base a alturas ortométricas y que así la comparación con las alturas geoidales provenientes de los MGGs sea consistente, se aplica la corrección ortométrica a las alturas niveladas H_{niv} en la Ec. (2). Esta corrección es calculada de acuerdo a la siguiente expresión:

$$CO_{AB} = \frac{g}{\gamma_0} \Delta n + \frac{g_A - \gamma_0}{\gamma_0} H_A - \frac{g_B - \gamma_0}{\gamma_0} H_B \quad (3)$$

Δn : incremento de nivel

g : gravedad media para el segmento de nivelación

γ_0 : gravedad normal para una latitud estándar

$$\left. \begin{aligned} g_A &= g + 0.0424 H \\ g_B &= g + 0.0424 H \end{aligned} \right\} \text{Reducción simple de Prey}$$

H_A y H_B son las correspondientes alturas ortométricas (CO) para el segmento de nivelación, y se calculan iterativamente como:

$$H_{ort} = H_{niv} + CO \quad (4)$$

1.1. Interpolación gravimétrica

Para calcular y aplicar la corrección ortométrica, se requiere conocer la gravedad en todas las referencias de nivel de la Red de Control Vertical de Ecuador (4192 registros). Al momento de realizar el análisis se cuenta con información gravimétrica para 3236 registros (Figura 2), lo cual hace necesario obtener valores de gravedad para los registros faltantes mediante una interpolación. La predicción de gravedad se usa el método de colocación por mínimos cuadrados (Drewes, 1978, 1976). La interpolación se realiza sobre anomalías de gravedad simples de Bouguer (Δg_B), y posteriormente siguiendo el procedimiento inverso se calcula los valores de gravedad interpolados.

$$\Delta g_B = g + C_{FA} + C_B - \gamma \quad (5)$$

C_{FA} : corrección de aire libre

C_B : corrección de Bouguer

Para evaluar la interpolación gravimétrica, se siguió un procedimiento de validación cruzada, considerando 323 registros de gravedad seleccionados aleatoriamente (10 % del total) (Tabla 2).

Mínimo (mGal)	-28,30
Máximo (mGal)	13,34
Media (mGal)	-0,10
Desv. (mGal)	2,69

Tabla 2: Estadísticos para la validación cruzada de interpolación gravimétrica.
Fuente: Elaboración propia.

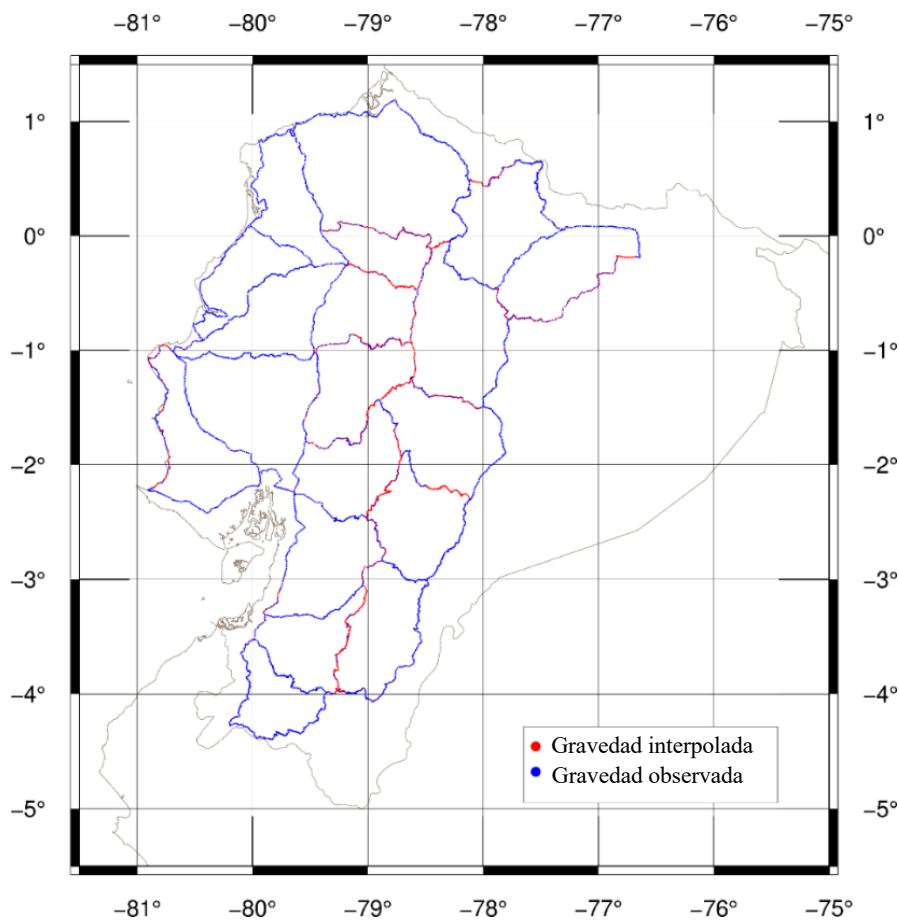


Figura 1: Registros GNSS/nivelación utilizados en el análisis.
Fuente: Elaboración propia.



1.2. Alturas geoidales desde Modelos Globales de Geopotencial

Las alturas geoidales provenientes de los MGGs son obtenidas del International Center for Global Gravity Field Models (ICGEM) (Ince et al., 2019). El cálculo de N desde los MGGs se realiza de acuerdo a (Barthelmes, 2013):

$$N_{GGM} = \frac{GM}{r_e \gamma(r_e, \varphi)} \sum_{l=0}^{lmax} \left(\frac{R}{r_e} \right)^l \sum_{m=0}^l P_{lm}(\sin \varphi) (C_{lm}^T \cos m\lambda + S_{lm}^T \sin m\lambda) - \frac{2\pi G \rho}{\gamma(r_e, \varphi)} \left[R \sum_{l=0}^{lmax} \sum_{m=0}^l P_{lm}(\sin \varphi) (C_{lm}^{topo} \cos m\lambda + S_{lm}^{topo} \sin m\lambda) \right]^2 \quad (6)$$

ℓ , m son el grado y orden de la serie de armónicos esféricos, P_{lm} son las funciones de Legendre normalizadas; GM es la constante gravitacional geocéntrica; C_{lm}^T y S_{lm}^T son los coeficientes de la expansión, usualmente escalados por el radio de referencia R ; r_e (dependiente de la latitud), λ y φ son las coordenadas esféricas geocéntricas del punto de cálculo. El segundo término corresponde a la separación entre geoide y cuasigeoide, considerando para esto un modelo de topografía expresado como una expansión de armónicos esféricos, con coeficientes C_{lm}^{topo} y S_{lm}^{topo} (Barthelmes, 2013).

1.3. Detección de outliers

Con el objetivo de que registros que contengan errores groseros no sean considerados en la etapa de cálculos, fue realizado un proceso de detección de outliers. Para esto los valores de N provenientes de la Ec. (2) fueron contrastados con las correspondientes alturas geoidales del modelo XGM2019e, de acuerdo a la expresión:

$$\Delta N = N_{GNS_{\frac{S}{niv}}} - N_{XGM2019e} \quad (7)$$

El criterio estadístico utilizado para discriminar outliers fue considerar como valores ΔN esperados a aquellos que estaban dentro del intervalo $[-2\sigma + 2\sigma]$ (Tabla 3).

	Antes de eliminar outliers	Después de eliminar outliers
Min. (m)	-3,620	-0,967
Max. (m)	3,531	1,071
Media (m)	0,047	0,018
Desv. Std. (m)	0,509	0,379
N°	3104	3000
%	100	96,65

Tabla 3: Estadísticos para ΔN , antes y después del filtrado de errores groseros.
Fuente: Elaboración propia.

De esta forma, 3000 registros GNSS/niv se consideran válidos para ser empleados en el análisis.

RESULTADOS

Posterior a la eliminación de errores groseros y al cálculo de alturas geoidales, se realiza en análisis comparativo en base a los Modelos Globales de Geopotencial considerados para el estudio. El análisis se basa en el cálculo de estadísticos para las diferencias ΔN (7).

Validación de Modelos Globales de Geopotencial

Una vez realizada la interpolación gravimétrica, el cálculo de la corrección ortométrica y el filtrado de outliers, se procede a la evaluación de los MGGs mediante el cálculo de ΔN (7) en base a las alturas geoidales provenientes de los modelos incluidos en la Tabla 1. Los estadísticos calculados para ΔN se presentan en la Tabla 4.

MGG	Min. (m)	Max. (m)	Media (m)	RMS. (m)	Corr.
EIGEN6c4	-1,226	1,784	0,229	0,421	0,996
EGM2008	-1,652	1,989	0,239	0,469	0,995
GECO	-1,132	1,952	0,233	0,433	0,996
SGG-UGM-1	-1,310	1,800	0,215	0,420	0,996
EGM96	-7,886	3,428	-0,283	1,640	0,929
XGM2019e	-1,490	2,135	0,208	0,407	0,997

Tabla 4: Estadísticos para ΔN considerando diferentes MGGs.
Fuente: Elaboración propia.

A fin de dimensionar el desempeño de los MGGs, los errores medios cuadráticos (RMS) fueron plotados (Figura 3).

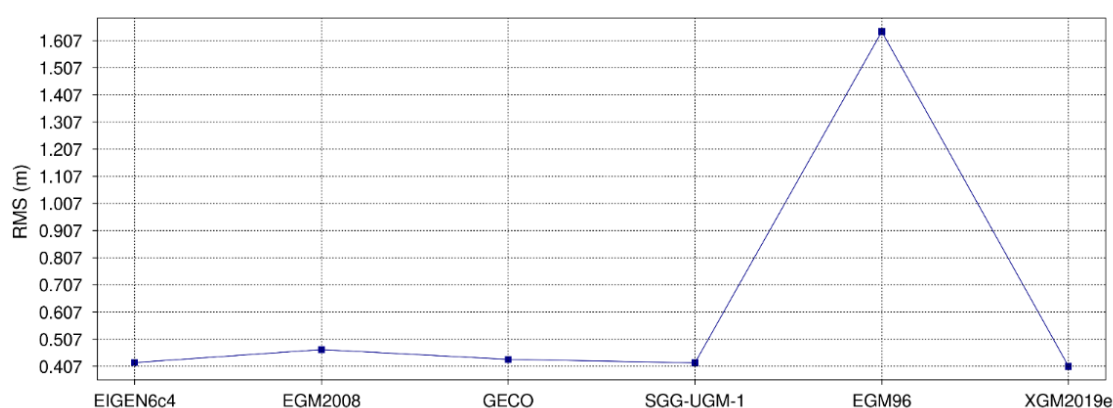


Figura 3: RMSs para los valores de ΔN calculados para cada MGGs.
Fuente: Elaboración propia.

De la misma forma, las correlaciones se representan de forma gráfica en la Figura 4.

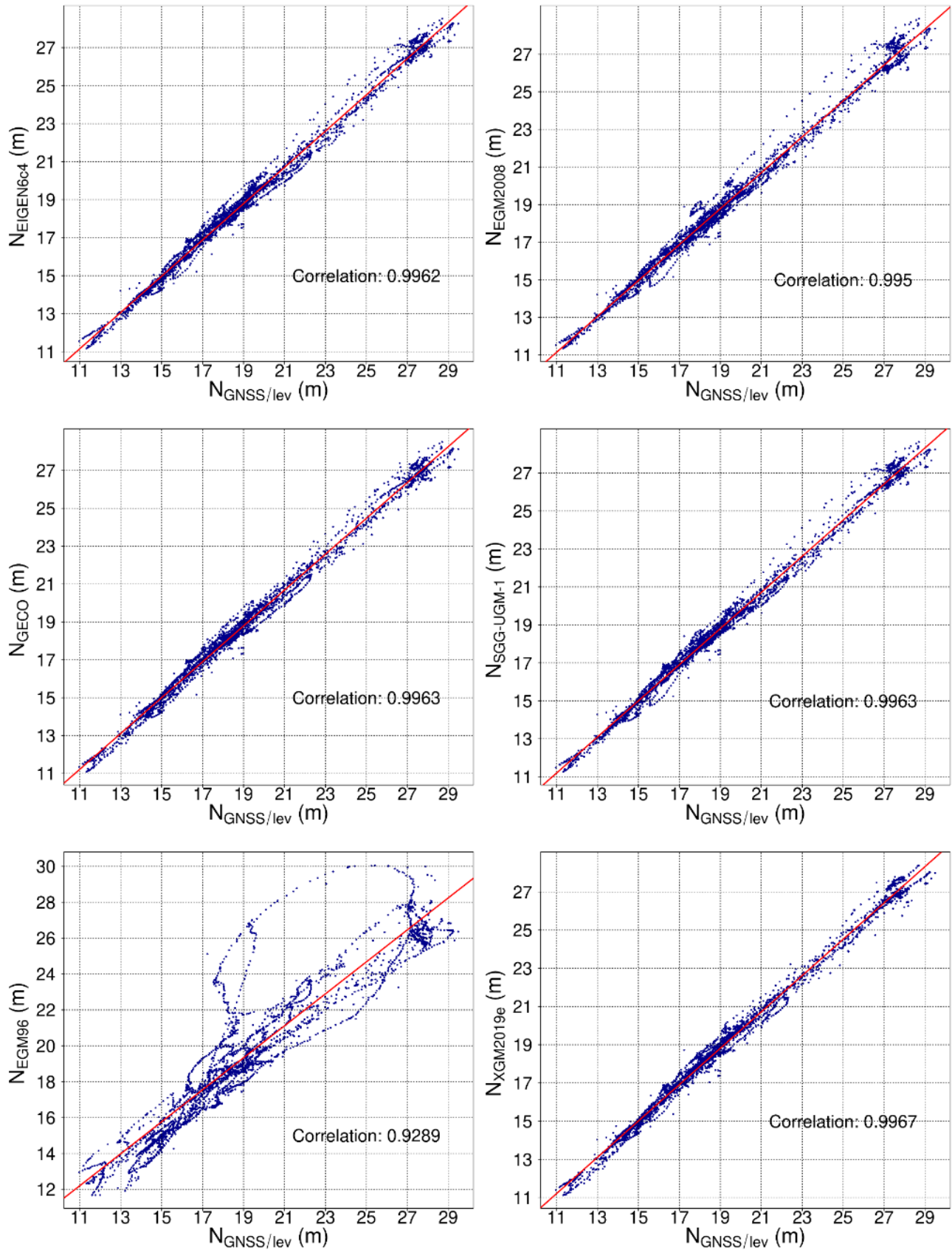


Figura 4: Correlaciones para los valores de ΔN calculados para cada MGGs.
Fuente: Elaboración propia.



CONCLUSIONES

- El análisis de algunos Modelos Globales de Geopotencial se realiza en función de la comparación con registros GNSS/niv, con el objetivo de determinar su desempeño para la aproximación de alturas ortométricas en territorio ecuatoriano.
- Para el análisis fueron usados modelos como el EGM96 que ha sido utilizado frecuentemente para la aproximación de alturas ortométricas en el IGM, y también modelos de última generación que combinan gravimetría observada in-situ, con información gravimétrica proveniente de misiones satelitales y modelos de elevación globales.
- Los valores estadísticos calculados en base al análisis, muestran una mejora considerable de los modelos combinados en relación al EGM96.
- Los resultados muestran una mejora considerable en los modelos de última generación en términos de los valores obtenidos para RMS cuando se compara con el modelo EGM96.
- Los modelos que mejor desempeño presentan en territorio ecuatoriano son el EIGEN6C4, y el XGM2019.
- En todos los casos los modelos no presentan RMS mejores que $\sim 0,40$ m, lo cual debe ser considerado para su uso.

BIBLIOGRAFÍA

- Barthelmes, F., 2013. Definition of functionals of the geopotential and their calculation from spherical harmonic models: Theory and formulas used by the calculation service of the International Centre for Global Earth Models (ICGEM).
- Drewes, H., 1978. Experiences with least squares collocation as applied to interpolation of geodetic and geophysical quantities, in: XII Symposium on Mathematical Geophysics. Caracas.
- Drewes, H., 1976. Berechnung regionaler Geoidundulationen durch gravimetrisches Nivellement mit Prädiktion der Schwereanomalien. Wissenschaftliche Arbeiten der Lehrstühle für Geodäsie, Photogrammetrie und Kartographie an der Technischen Universität Hannover. Hannover.
- Förste, C., Bruinsma, S., Abrikosov, O., Flechtner, F., Marty, J.-C., Lemoine, J.-M., Dahle, C., Neumayer, H., Barthelmes, F., König, R., Biancale, R., Förste, C., Bruinsma, S., Abrikosov, O., Flechtner, F., Marty, J., 2014. EIGEN-6C4 - The latest combined global gravity field model including GOCE data up to degree and order 1949 of GFZ Potsdam and GRGS Toulouse. EGU General Assembly 16, 3707. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5880/icgem.2015.1>
- Gilardoni, M., Reguzzoni, M., Sampietro, D., 2016. GECHO: a global gravity model by locally combining GOCE data and EGM2008. *Studia Geophysica et Geodaetica* 60, 228–247. <https://doi.org/10.1007/s11200-015-1114-4>
- Ince, E., Barthelmes, F., Reißland, S., Elger, K., Förste, C., Flechtner, F., Schuh, H., 2019. ICGEM – 15 years of successful collection and distribution of global gravitational models, associated services, and future plans. *Earth Syst Sci Data* 11, 647–674. <https://doi.org/10.5194/essd-11-647-2019>
- Lemoine, F.G., Smith, D.E., Kunz, L., Smith, R., Pavlis, E.C., Pavlis, N.K., Klosko, S.M., Chinn, D.S., Torrence, M.H., Williamson, R.G., Cox, C.M., Rachlin, K.E., Wang, Y.M., Kenyon, S.C., Salman, R., Trimmer, R., Rapp, R.H., Nerem, R.S., 1997. The Development of the NASA GSFC and NIMA Joint Geopotential Model. Gravity, geoid and marine geodesy 461–469. https://doi.org/10.1007/978-3-662-03482-8_62



- Liang, W., Reißland, S., 2018. SGG-UGM-1: the high resolution gravity field model based on the EGM2008 derived gravity anomalies and the SGG and SST data of GOCE satellite.
- Pavlis, N.K., 2013. Global Gravitational Models, in: Sansò, F., Sideris, M.G. (Eds.), *Geoid Determination: Theory and Methods*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 261–310. https://doi.org/10.1007/978-3-540-74700-0_6
- Pavlis, N.K., Holmes, S. a., Kenyon, S.C., Factor, J.K., 2008. An earth gravitational model to degree 2160: EGM2008. presented at the 2008 General Assembly of the European Geosciences Union, Vienna, Austria, April 13-18 84, 2–4.
- Torge, W., Müller, J., 2012. *Geodesy, De Gruyter Textbook*. De Gruyter, Berlin.
- Zingerle, P., Pail, R., Gruber, T., Oikonomidou, X., 2020. The combined global gravity field model XGM2019e. *J Geod* 94. <https://doi.org/10.1007/s00190-020-01398-0>



Análisis de seguridades del pasaporte nacional del Ecuador con respecto a las normas OACI - DOC 9303.

ANALYSIS OF SECURITY OF THE NATIONAL PASSPORT OF ECUADOR WITH RESPECT TO ICAO STANDARDS - DOC 9303.

Cordero, Christian. - christian.cordero@geograficomilitar.gob.ec

Revelo, Paúl. - paul.revelo@geograficomilitar.gob.ec

RESUMEN

El Instituto Geográfico Militar desde el 12 de febrero de 1973 ha llevado la ardua labor de ser el encargado de la elaboración del pasaporte nacional ecuatoriano. Este documento en sus inicios fue elaborado en Colombia, con el pasar de los años debido a su gran importancia para el país ha tenido una evolución extraordinaria, siguiendo lineamientos internacionales como el Doc 9303 de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). Estas normas proporcionan un conjunto de especificaciones obligatorias y opcionales, que las autoridades expedidoras de este documento de viaje deben adoptar, en el presente estudio se analizará estas especificaciones técnicas, y su cumplimiento en los productos elaborados por parte del Instituto Geográfico Militar, así también se podrá observar ciertas mejoras que se han implementado en la producción, las cuales no constan en dicho manual.

Palabras clave: pasaporte, OACI, falsificación, MRTD (Documentos de Viaje de Lectura Mecánica).

ABSTRACT

Since 1973, specifically on February 12, the Military Geographic Institute has conducted the arduous work of being in charge of the preparation of the Ecuadorian national passport. The same one that in its beginnings was made in Colombia; over the years, this document of great importance for the country has undergone an extraordinary evolution, an evolution that has been coupled with international standards such as Doc 9303 of the International Civil Aviation Organization (ICAO). These standards provide a set of mandatory and optional specifications, which the issuing authorities of these travel documents must adopt, in this work, we will analyze these technical specifications, and their compliance in the products of the Military Geographic Institute, so it will also observe certain improvements that have been implemented in the production of passports by the institute, which do not appear in said manual.

Keywords: passport, OACI, forgery, MRTD (Machine Readable Travel Documents).

INTRODUCCIÓN

El Instituto Geográfico Militar (IGM), por medio de la Dirección de Imprenta de Geoinformación y Seguridad Documentaria, tiene la misión de elaborar el pasaporte nacional, el mismo que es entregado a la Dirección General de Registro Civil, Identificación y Cedulación (DIGERCIC),



quienes se encargan de su posterior emisión a los ciudadanos ecuatorianos.

Dentro del proceso de elaboración del pasaporte se encuentra un conjunto de normas y estándares que se deben cumplir, estándares internacionales que permiten asegurar la autenticidad de los productos terminados.

La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) mediante su manual Doc 9303, brinda pautas y especificaciones técnicas, las cuales sirven como guía para elaborar las seguridades en el diseño y fabricación de este documento de suma importancia.

En esta investigación se analiza las normas establecidas en el Doc 9303, y verifica si los productos elaborados por el IGM, específicamente el pasaporte nacional cumple los mismos. Así mismo, se analiza las seguridades implementadas en el diseño que no constan en dicho manual.

Al finalizar la investigación, se tendrá una visión más clara del estado de nuestro pasaporte, lo que permitirá realizar mejoras, potenciar seguridades; así como también innovar en nuevos procedimientos, logrando así la excelencia en los productos que el IGM entrega a la ciudadanía, evitando la falsificación y comercio de éstos, brindando ante todo un alto nivel de seguridad para los ecuatorianos.

• Métodos y materiales

Para esta investigación el apoyo principal es el Doc 9303 de la OACI, octava edición del 2021. Se analizó dicho documento y verificó la información que compete a las normas de fabricación de pasaportes, así también las seguridades que éstos deben poseer.

Esta información en correspondencia a una lista de comprobación, ayudó a determinar las especificaciones técnicas y seguridades que la entidad encargada de fabricar pasaportes debe cumplir, para después elaborar un cuadro comparativo con sus respectivos ejemplos y observaciones.

DESARROLLO

En la actualidad, el pasaporte electrónico ecuatoriano posee un sistema moderno de lectura mecánica a través de un chip incrustado, el cual proporciona información del usuario como nombre, fecha de nacimiento, país de origen, datos de seguridad, foto del portador a color, entre las características más relevantes.

Estas especificaciones garantizan la seguridad del pasaporte para cada uno de los ciudadanos ecuatorianos en posesión de uno válido y vigente, ya que como se ha mencionado anteriormente, cumple con estándares internacionales y recomendaciones técnicas de la OACI, así como otras normativas internacionales vigentes en el mundo.

El Doc 9303 describe ciertos métodos establecidos para proporcionar seguridad contra una serie de acciones fraudulentas, de los cuales detalla sobre el uso de materiales que no están fácilmente al alcance del público, así mismo menciona sistemas de diseño altamente especializado y procesos de fabricación, los cuales requieren de equipos y conocimientos especializados.

Dentro de las recomendaciones que la OACI fomenta a los Estados para minimizar los riesgos de acciones fraudulentas, se enfatiza en aplicar elementos de seguridad, los cuales se categorizan en tres clases principales:

• Elemento estructura.-

Incorporación de una estructura medible, o en el caso de la página de datos del pasaporte, se refiere sobre un elemento de seguridad que posee algún tipo de información.

- Implementación de un holograma u otro dispositivo ópticamente variable que pueda ser identificado sin mayor problema por un lector adecuado.
- Imágenes retro reflectantes empotradas en un laminado de seguridad.



- **Elemento sustancia.-**

Incorporación de un material que normalmente no estaría presente en la inspección visual, el cual se podría detectar mediante la presencia y magnitud de una propiedad adecuada de la sustancia añadida.

- Uso de pigmentos o tintas que reaccionan de manera específica a longitudes de ondas de luz (pueden incluir luz infrarroja o ultravioleta).

- **Elemento datos.-**

La inserción de información oculta en la página de datos del MRTD puede entrañar la aplicación de elementos sustancia o estructura para lograr varios niveles de seguridad. En este contexto, el término esteganografía describe una clase especial de elementos de datos ordinariamente en forma de información digital que se esconde dentro de una imagen, por lo general el retrato de personalización o la impresión de seguridad del fondo.

La información puede descifrarse mediante un dispositivo adecuado incorporado en un lector de página completa calibrado para buscar el elemento en un lugar determinado, como el número del documento. El lector puede programarse para comparar el número de documento detectado en el elemento con el número de documento que aparece en la ZLM, dicha comparación no involucra el acceso a los datos almacenados en el CI sin contacto de un MRTD. Los elementos de este tipo pueden ser: (OACI, 2021).

- Datos codificados almacenados en el documento en medios magnéticos tales como hilos de seguridad especiales (OACI, 2021).
- Diseños que incorporan los datos ocultos que solo resultan detectables cuando se les mira a longitudes de onda de luz específicas, con filtros ópticos o mediante un soporte lógico de procesamiento de imágenes específico (OACI, 2021).

Los elementos de verificación de la seguridad de documentos con ayuda de máquinas son elementos de seguridad opcionales que pueden incluirse en el MRTD a discreción de la autoridad expedidora (OACI, 2021).

Los elementos verificables por máquina pueden variar en tamaño desde menores a 1mm cuadrado (0,04 in) hasta la totalidad del área del documento. Los lineamientos proporcionan orientación sobre los lugares que estos datos deberían ocupar en la página de datos del MRTD para facilitar el interfuncionamiento (Figura 1), de igual manera para mantener la retro compatibilidad, se recomienda introducir los elementos de autenticación por máquina en los lugares y áreas indicadas (OACI, 2021).

Dentro del Doc 9303 de la OACI en lo que respecta al Apéndice A (NORMAS DE SEGURIDAD PARA LOS MRTD INFORMATIVO), se detallan los ELEMENTOS Y TÉCNICAS DE SEGURIDAD, donde se puede apreciar los elementos, técnicas y medidas de seguridad que la OACI contempla y recomienda a los estados. La OACI clasifica las seguridades según etapas de los procesos de producción, personalización y según los componentes de los MRTD; siendo esta clasificación la siguiente:

1. Materiales del sustrato.
2. Diseño e impresión de seguridad.
3. Protección contra las copias, falsificaciones o alteraciones fraudulentas.
4. Técnicas de personalización.

Respecto a las seguridades existentes en los pasaportes ecuatorianos, posterior a realizar una inspección y análisis, se ha obtenido la siguiente información que evita su falsificación mediante la implementación de:

1. **Impresión offset:** Específicamente la impresión offset de trama de modulación de amplitud en la cual se emplea equipos de impresión de seguridad, permitiendo que su falsificación sea prácticamente imposible.
2. **Impresión de micro texto:** Los métodos de reproducción básicos no

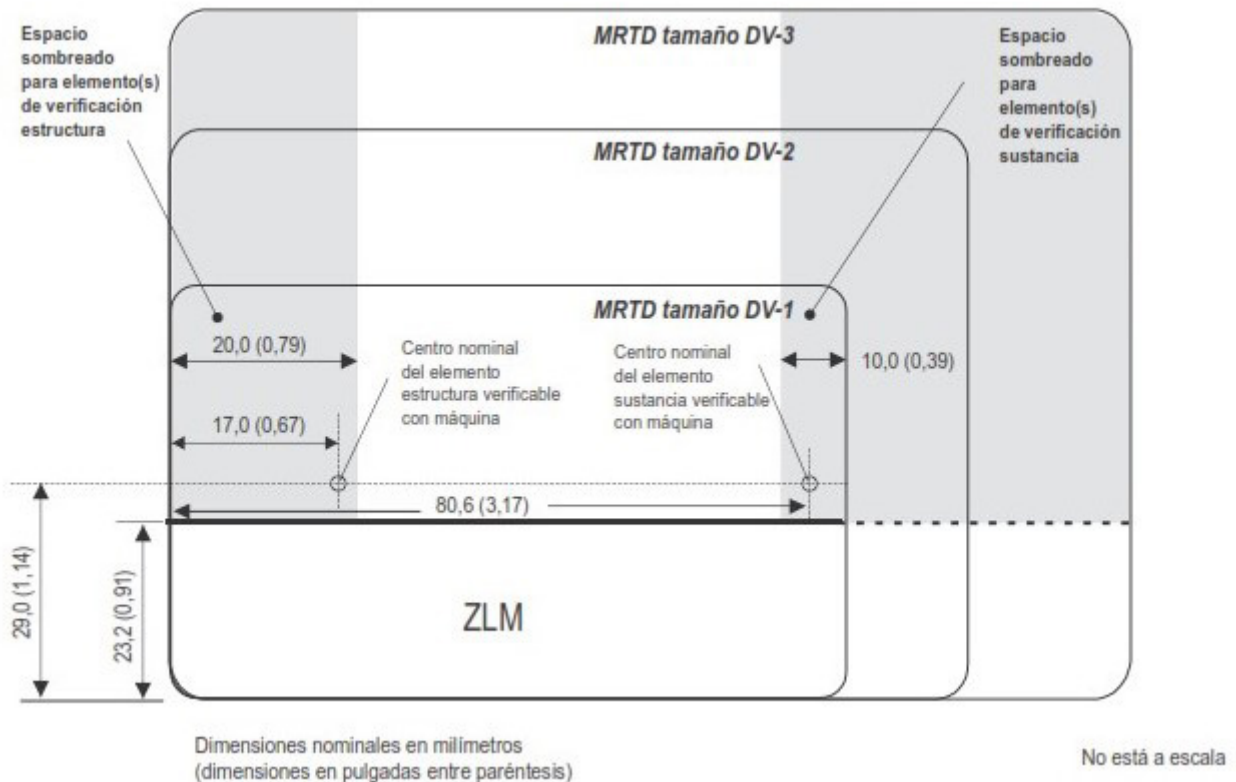


Figura 1. Tres tamaños de MRTD (incluyendo el MRP - tamaño DV3- con la colocación recomendada de los elementos para verificación del documento con ayuda de máquina. El área sombreada de la izquierda se recomienda para la incorporación del elemento estructura y la derecha para la incorporación del elemento sustancia).

Fuente: Organización de Aviación Civil Internacional (OACI, 2021).

suelen permitir una microimpresión nítida, por lo cual en los documentos falsificados el micro texto resulta a menudo ilegible. Mediante el uso de técnicas de reproducción avanzadas pueden obtenerse mini impresiones y microimpresiones de buena calidad.

3. **Marca de agua:** Denominada marca de agua de molde cilíndrico o marca de agua sombreada, por lo general, solo se utiliza en el sector de la impresión de alta seguridad en billetes, pasaportes y otros documentos de gran valor.
4. **Serigrafía:** Técnica de impresión la cual se realiza presionando tinta con una rasqueta sobre las zonas permeables de una pantalla (tamiz) para que ésta entre en contacto con el soporte. La serigrafía de tinta oro verde permite aplicar en una sola operación un espesor de tinta mayor que con las demás técnicas

de impresión, caracterizada por la densidad y espesor de la capa de tinta y el tramado de trazo irregular.

5. **Imagen latente:** Impresión visible cuando se inclina el documento y se observa con luz rasante. Acorde al ángulo con que incide la luz rasante, la imagen se ve de color claro contra un fondo más oscuro o viceversa, o a su vez puede cambiar de forma según el grado de inclinación.
6. **Pan de oro:** El estampado en pan de oro es una de las características de las portadas en los MRTD.
7. **Hilo de seguridad:** El hilo de cosido se utiliza para mantener unidas las páginas de una libreta y puede estar formado por una hebra o por varias hebras entrelazadas, cada una de las cuales puede presentar una reacción distinta y en diferentes colores.



El hilo de cosido fluorescente presenta fluorescencia en uno o varios colores cuando se expone a la luz ultravioleta.

8. **Tinta fluorescente:** Visible con luz normal y presenta fluorescencia bajo luz ultravioleta. La tinta fluorescente contiene, además de pigmentos de color, sustancias (pigmentos) fluorescentes que se utiliza para imprimir textos y motivos.

La fluorescencia es una emisión de luz fugaz que cesa de forma prácticamente inmediata una vez que se apaga la fuente de luz (en menos de 10-8 segundos).

9. **Fibrillas fluorescentes:** Fibrillas con propiedades fluorescentes que se hacen visibles bajo luz ultravioleta. Las fibrillas se mezclan con la pasta de papel durante el proceso de fabricación del soporte de papel para servir como medida de seguridad, se presentan de manera aleatoria y a diferentes profundidades en cada una de las páginas. Pueden ser visibles con luz normal (fibrillas de seguridad coloreadas) o invisibles con luz normal.

10. **Numeración cónica láser:** El número de serie del documento de identidad se perfora por láser en el material de soporte, lo que produce unas marcas características: marcas de quemado en los bordes de los agujeros, la parte posterior de los bordes de los agujeros en el material de soporte (papel) no aparece levantada y el tamaño de los agujeros perforados en el cuadernillo va decreciendo de forma cónica.

11. **Láminas holográficas:** El holograma es el más común de los tipos de DOVID (dispositivo difractante con imagen ópticamente variable) utilizados tradicionalmente como medida de seguridad. Se pueden obtener varios efectos, como hologramas bidimensionales con cambios estructurales y de color, hologramas tridimensionales con imágenes, hologramas con efectos cinemáticos, entre otros.

En lo que respecta a los materiales, como determina la OACI, es necesario poseer insumos cuya disponibilidad sea baja para su adquisición; dentro de los principales materiales usados.

• Tipos de materiales empleados en la elaboración de los MRTD

1. **Percalinas:** tipo de forro usado principalmente para la encuadernación y cuya función es evitar el deterioro de las hojas internas del pasaporte (Figura 2). La percalina es color rojo burdeos y contiene un lado de tela en el cual se coloca el pegamento en frío para la correcta adherencia del pasaporte, contiene las palabras “COMUNIDAD ANDINA REPUBLICA DEL ECUADOR PASAPORTE PASSPORT PASSEPORT” y el escudo ecuatoriano grabados en pan de oro.



Figura 2. Percalina.
Fuente: Elaboración propia.

2. **Papel multitonal:** Papel que posee varios tonos y es empleado para constituir las páginas internas del MRTD (Figura 3).



Figura 3. Papel multitonal.
Fuente: Elaboración propia.

3. **Hilo de seguridad:** El hilo de cosido se utiliza para mantener unidas las páginas de una libreta y puede estar formado por una hebra o por varias hebras entrelazadas, cada una de las cuales puede presentar una reacción distinta y en diferentes colores (Figura 4).



Figura 4. Hilo de seguridad.
Fuente: Elaboración propia.

4. **Intaglio:** Mediante calcografía o intaglio, se forma un relieve perceptible al tacto (un elemento táctil) que también puede apreciarse con luz rasante, esta característica de la calcografía permite de igual manera lograr un efecto de imagen latente (Figura 5).



Figura 5. Intaglio.
Fuente: Elaboración propia.

5. **Lámina de seguridad:** Láminas delgadas que contienen seguridades de primer, segundo y tercer nivel (Figura 6).



Figura 6. Lámina de seguridad.
Fuente: Elaboración propia.

Una vez realizados los análisis correspondientes, se realizó un cuadro comparativo de especificaciones técnicas de la OACI versus las especificaciones técnicas del IGM (Tabla 1).

Acorde a lo estipulado anteriormente, se puede constatar el cumplimiento de las especificaciones técnicas establecidas en el Doc 9303, así como la incorporación de ciertas mejoras técnicas en el diseño del pasaporte ecuatoriano.

Una posible mejora técnica a ser implementada a los MRTD, es la aplicación de una lámina de policarbonato en la hoja de datos para evitar futuras falsificaciones. El policarbonato es utilizado como material de soporte en documentos (páginas de datos personales, tarjetas de datos personales integradas en pasaportes, tarjetas de identidad en policarbonato, billetes, entre otros) producto de la unión de capas mediante la fundición de materia prima a alta temperatura y presión.

El uso de policarbonato como soporte para documentos de seguridad permite integrar una gran variedad de medidas de seguridad como:

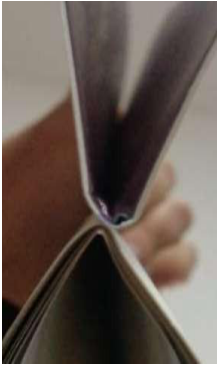
1. Impresión de seguridad.
2. Sobreimpresión fluorescente, imágenes de alta resolución en color real visible bajo luz ultravioleta.



SEGURIDADES OACI			SEGURIDADES IGM	
Clasificación	Elementos básicos	Otros elementos	Elementos	Observaciones
Materiales del sustrato				
Sustratos de papel (A.5.1.1)	Respuesta UV controlada Filigrana de dos tonos sensibilizadores químicos absorbencia y características superficiales apropiadas	Filigrana en el registro Filigranas diferentes en la página de datos y la página de visado Filigrana de molde cilíndrico Fibras fluorescentes invisibles fibras (fluorescentes) visibles Hilo de seguridad compuesto marcador elemento de seguridad perforado con láser	Fibrillas invisibles  Hilo de seguridad  Perforado con láser 	Fibrillas fluorescentes: Elementos con propiedades fluorescentes que se hacen visibles bajo luz ultravioleta. Pueden ser visibles con luz normal (fibrillas de seguridad coloreadas) o invisibles con luz UV. Hilo cosido de seguridad: Se utiliza para mantener unidas las páginas de una libreta y puede estar formado por una hebra o por varias hebras entrelazadas, cada una de las cuales puede presentar una reacción distinta y en diferentes colores. En el caso del pasaporte ecuatoriano contiene tres hebras entrelazadas.
Papel u otro sustrato en forma de etiqueta (A.5.1.2)	Respuesta UV controlada Sensibilizadores químicos Fibras fluorescentes invisibles Fibras (fluorescentes) visibles sistema de adhesivos	Hilo de seguridad filigrana Elemento de seguridad perforado con láser patrón de seguridad troquelado	Respuesta controlada UV 	Respuesta controlada UV: Luz que se utiliza con frecuencia en el examen de documentos para analizar el brillo del soporte, las tintas fluorescentes y otras medidas de seguridad, así como posibles manipulaciones. La luz ultravioleta no es visible por

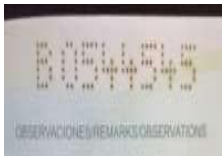
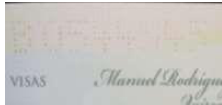
				sí misma, solo lo es el efecto que origina, es decir, la fluorescencia que se hace visible bajo la luz ultravioleta. Respuesta a químicos: Los materiales implementados para la fabricación de los pasaportes tienen distintas reacciones a la exposición de químicos. El papel de seguridad fue expuesto a un químico, por ende, presenta una reacción de coloración azul. Perforación cónica láser: El número de serie del documento de identidad se perfora por láser en el material de soporte, lo que produce unas marcas características: ● Marcas de quemado alrededor de los bordes de los agujeros. ● La parte posterior de los bordes de los agujeros en el material de soporte (papel) no aparece levantada. El tamaño de los agujeros perforados en el
			Respuesta a químicos 	
			Perforación cónica láser 	



				cuadernillo va decreciendo de forma cónica cuando se observa de delante hacia atrás.
Sustratos sintéticos (A.5.1.4)	Construcción resistente a la división en capas Material ópticamente opaco Incorporación protegida de la página de datos Elementos ópticamente variables	Característica de ventana transparente Elemento táctil Elemento de perforación láser	División de capas 	Encuadernación: Acto de unir hojas sueltas para formar un libro, cuadernillo o folleto. Las técnicas de encuadernación que se emplean más habitualmente en los documentos de identidad son: • Cocido con hilo. • Cocido lateral con hilo. • Confección general. • Bandas de refuerzo. • Bisagra.
Diseño e impresión de seguridad				
Fondo e impresión del texto (A.5.2.1)	Fondo de seguridad Guilloché a dos tintas Impresión arco iris Texto en microimpresión Diseño único de la página de datos	Impresión calcográfica (intaglio) Imagen latente Patrón anti-escáner Doble patrón de seguridad Elemento de diseño en relieve Elemento de registro anverso-reverso Error intencional Diseño único en cada página	Micro texto  Imagen latente 	Microimpresión: La mini impresión y la microimpresión (también denominadas ESP (extra small print) son líneas o motivos compuestos por letras, números o imágenes de tamaño muy reducido. Apenas perceptibles a simple vista, pero que se hacen visibles con una lente de aumento.



		Elemento tátil Tipos de letra únicos	Impresión calcográfica intaglio  Diseño único en cada pagina 	Impresión calcográfica: Formación de un relieve perceptible al tacto (elemento táctil) que también puede apreciarse con luz rasante. La calcografía es una técnica de impresión en la cual la imagen a imprimir se graba en la superficie de una plancha de impresión. Primero se aplica a la plancha de impresión una tinta espesa muy pigmentada; a continuación, se limpia la tinta de las zonas (no hundidas) de la superficie que no han de imprimirse. Diseño único en cada página: Cada página del pasaporte ecuatoriano contiene los nombres y las imágenes de personajes ilustres de la historia ecuatoriana, incorporando una seguridad de imagen esteganográfica en cada personaje.
Tintas (A.5.2.2)	Tinta fluorescente UV Tinta reactiva	Tinta con propiedades ópticamente variables Tinta metálica		Tinta fluorescente o invisible: La tinta fluorescente es visible con luz normal y presenta fluorescencia bajo luz ultravioleta.

		Tinta de numeración penetrante Tinta metamérica Tinta invisible en la región infrarroja Tinta absorbente en la región infrarroja Tinta fosforescente Tinta marcada Tinta invisible	Tinta invisible 	La tinta fluorescente contiene, además de pigmentos de color, sustancias (pigmentos) fluorescentes; se utiliza para imprimir texto y motivos.
Numeración (A.5.2.3)	Numeración en todas las páginas Número impreso o perforado Numeración de tipo especial para etiquetas Técnica similar para aplicar la numeración y los datos personales en sustratos y tarjetas sintéticas	Número de documento perforado con láser tipo especial	Perforado cónica láser   Numeración en las hojas  	Perforación cónica láser: El número de serie del documento de identidad se perfora por láser en el material de soporte, lo que produce unas marcas características: • Marcas de quemado alrededor de los bordes de los agujeros. • La parte posterior de los bordes de los agujeros en el material de soporte (papel) no aparece levantada. Numeración en hojas: Hoy en día, la mayoría de los documentos de seguridad, posee una numeración que no sigue necesariamente una serie.



Técnica de personalización				
Protección contra la sustitución y alteración de la fotografía (A.5.4.4)	Datos personales integrados Fondo de seguridad fundido dentro del área del retrato Tintas reactivas y sensibilizadores químicos en el papel Dispositivo de seguridad visible superpuesto al área del retrato Laminado de seguridad sellado térmicamente o equivalente	Firma presentada Imagen esteganográfica Imágenes del retrato adicionales Elemento biométrico	El IGM no personaliza pasaportes	El IGM entrega al Registro Civil el pasaporte sin personalizar, ya que la entidad encargada de realizar la emisión de documentos de identidad es la Dirección General de Registro Civil, Identificación y Cedulación.
Otras medidas de seguridad para las libretas de pasaporte				
Sustitución de una página (A.5.5.2)	Tecnología de cosido segura Cosido con hilo fluorescente en UV Diseño único de página de datos Número de serie integrado en un diseño de seguridad Número de serie en cada página	Cosido con hilo multicolor Patrón de cosido programable Cola curada UV para el pespunte Marcas de referencia en cada página Elemento de seguridad perforado con láser Datos personales en una página interior	Hilo fluorescente en UV 	Hilo fluorescente en UV: El hilo de cosido se utiliza para mantener unidas las páginas de una libreta y puede estar formado por una hebra o por varias hebras entrelazadas, cada una de las cuales puede presentar una reacción distinta y en diferentes colores. El hilo que presenta el pasaporte ecuatoriano es un hilo de tres hebras trenzado de color blanco a la luz natural y color verde-rojo segmentado bajo luz UV.



Control de seguridad de la producción y los productos				
Protección contra el robo y uso indebido (A.5.7.1)	Buena seguridad física pista de auditoría completa			
	Números de serie en los documentos en blanco			
	Números de seguimiento y control de los componentes			
	Transporte seguro de documentos en blanco	CCTV en las áreas de producción	Seguridad integral	-
	Intercambio internacional de información sobre documentos extraviados y robados	Almacenamiento y personalización centralizados		
	Procedimientos internos de protección contra fraudes			
	Investigación y control de seguridad del personal			

Tabla 1. Cuadro comparativo de especificaciones técnicas.
Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Las especificaciones técnicas de los pasaportes ecuatorianos garantizan altos estándares de seguridad y fiabilidad, éstos se encuentran diseñados con características avanzadas como un chip electrónico que almacena los datos biométricos del titular, lo cual contribuye a prevenir el fraude y facilita el proceso de verificación en los controles migratorios. Adicionalmente, sus materiales de fabricación son bastantes resistentes, como el papel de seguridad y las tintas especiales, protegiendo a los documentos de alteraciones o falsificaciones.

La implementación de medidas de seguridad avanzadas como hologramas y microimpresiones, refuerza aún más la protección contra la falsificación. Estas especificaciones aseguran que el



pasaporte ecuatoriano sea un documento seguro y fiable, en cumplimiento con los estándares internacionales establecidos por la OACI.

El cuadro comparativo descrito en el estudio permite constatar el cumplimiento por parte del pasaporte ecuatoriano de las especificaciones técnicas establecidas en el Doc 9303 de la OACI. Las especificaciones técnicas del DOC 9303 son lineamientos internacionales para pasaportes, tarjetas de viaje y documentos de identificación que contienen datos biométricos, y cubren una serie de aspectos esenciales para garantizar la seguridad e interoperabilidad de los pasaportes a nivel global.

La inclusión de nuevas mejoras técnicas y seguridades en el pasaporte ecuatoriano requieren inversión en tecnología de punta

y eficiencia administrativa en los procesos, alineando la visión institucional con estándares internacionales, como los de OACI, e integrando medidas parámetros biométricos y de seguridad para fortalecer la confiabilidad en el pasaporte nacional.

BIBLIOGRAFÍA

- OACI. (2021). OACI Doc 9303, Documentos de viaje de lectura mecánica.
- Consejo de la Unión Europea, Secretaría General del Consejo. (2022). Registro público de documentos auténticos de identidad y de viaje en red: PRADO. Consejo de la Unión Europea.

Automatización de rutinas de procesamiento para la generación de altimetría.

AUTOMATED PROCESSING ROUTINES FOR ALTIMETRY GENERATION.

Hidalgo, Alexander.

alexander.hidalgo@geograficomilitar.gob.ec

RESUMEN

El Instituto Geográfico Militar (IGM) ha modernizado la generación de altimetría mediante la automatización de rutinas de procesamiento. Este estudio presenta una metodología para generar curvas de nivel desde Modelos Digitales del Terreno (MDT), incorporando líneas de quiebre y flujos de trabajo automatizados con ModelBuilder de ArcGIS y Python. La automatización redujo la carga manual y errores, aumentando la productividad en un 230%. Además, la detección automatizada de errores mejoró la precisión y coherencia de los datos. Estos resultados evidencian los beneficios de la automatización en la producción altimétrica, optimizando los flujos de trabajo cartográfico.

Palabras clave: Altimetría, Modelos Digitales de Elevación, automatización, Python, ArcGIS.

ABSTRACT

The Instituto Geografico Militar (IGM) has modernized altimetry generation by automating processing routines. This study presents a methodology for generating contour lines from Digital Terrain Models (DTM), incorporating breaklines and automated workflows using ArcGIS ModelBuilder and Python. Automation reduced manual workload and errors, increasing productivity by 230%. Additionally, automated error detection improved data accuracy and consistency. These results highlight the benefits of automation in altimetric production, optimizing cartographic workflows.

Keywords: *Altimetry, Digital Elevation Models, automation, Python, ArcGIS.*

37

INTRODUCCIÓN:

El Instituto Geográfico Militar (IGM) ha sido el principal productor de información geoespacial en Ecuador durante 97 años. A lo largo de su trayectoria, ha desarrollado diversos productos cartográficos, documentando la evolución del territorio. En respuesta a los avances tecnológicos, ha migrado de la cartografía análoga a la digital, incorporando Sistemas de Información Geográfica (SIG) y bases de datos geográficas (GDB), lo que mejora la funcionalidad y versatilidad de sus productos.



Entre 2011 y 2017, el Instituto Geográfico Militar (IGM) desarrolló el proyecto “Cartografía básica a escala grande: Planimetría en escalas 1:5 000 y 1:25 000”, que permitió avanzar significativamente en la cobertura cartográfica del país. Posteriormente, entre 2018 y 2021, implementó el proyecto “Obtención de cartografía básica oficial actualizada del país, Multiescala”, con el objetivo de completar las zonas aún pendientes y fortalecer la base geoespacial nacional.

En este último proyecto, la generación de la altimetría representó un desafío, ya que el uso de la restitución fotogramétrica ralentizaba la producción y el cumplimiento de los objetivos establecidos. Además, al requerir un intervalo de curvas cada 5 metros para proporcionar mayor detalle en la cartografía, el proyecto enfrentaba el riesgo de retrasos y limitaciones en su ejecución.

Por lo tanto, se estableció una nueva metodología para la generación de curvas de nivel a partir de Modelos Digitales del Terreno (MDT). Para lograr un modelado más preciso del relieve terrestre, se empleó la planimetría generada mediante restitución fotogramétrica como líneas de quiebre (breaklines). Posteriormente, se implementaron flujos de trabajo y rutinas automatizadas para la edición de curvas de nivel y puntos acotados, desarrollando herramientas mediante secuencias de comando (scripts) en lenguaje Python y utilizando la aplicación ModelBuilder de ArcGIS.

Este estudio propone un enfoque metodológico para la automatización del procesamiento altimétrico, mediante el desarrollo de herramientas basadas en scripts en lenguaje Python. Estas optimizan los flujos de trabajo manuales y reducen los errores humanos. Además, se analiza su impacto en la eficiencia y calidad de la información generada.

DESARROLLO

- **Generación automática de curvas de nivel a partir de MDT**

Para la generación automática de curvas de nivel a partir de un MDT, se empleó el software Inpho junto con su extensión OrthoMaster (Trimble, 2021), la cual permite crear un MDT filtrado mediante

breaklines (planimetría), mejorando así la representación del relieve. Posteriormente, la herramienta DTMaster generó curvas de nivel con un intervalo de 5 metros, para luego convertirlas a formato vectorial en *.DXF, *.DGN o *.SHP. En términos simples, una breakline es una línea tridimensional utilizada en entornos de cartografía digital para representar cambios bruscos o discontinuidades en la suavidad del terreno. La necesidad de las breaklines surgió para optimizar el laborioso proceso de creación de mapas mediante compilación estereofotogramétrica (Abdullah, 2017).

A continuación, se muestra la comparación entre las curvas de nivel generadas a partir de un MDT sin líneas de quiebre (breaklines) y aquellas obtenidas a partir de un MDT filtrado con breaklines, en una misma área de estudio (Figura 1). En este caso, se utilizó la carta de escala 1:5000 NV-F3d-D2, que abarca una superficie de 5,33 Km².

En la Figura 2, se observa un MDT filtrado que permite generar curvas de nivel las cuales se ajustan a los drenajes existentes, y representan de manera más fiel la realidad del terreno.

- **Edición automatizada de curvas de nivel**

Una vez generadas las curvas de nivel, es necesario realizar un proceso de edición, ya que los MDT no siempre están completamente depurados, lo que puede dar lugar a la generación de contornos erróneos o elementos no deseados. Además, para garantizar la coherencia topológica y cartográfica conforme a los estándares del IGM, las curvas de nivel deben ajustarse de manera lógica al intersectar otros elementos geográficos, como cuerpos de agua, caminos, puentes, alcantarillas y canchas, entre otros.

Para este proceso, se desarrollaron herramientas especializadas para la edición, revisión y detección rápida de errores geométricos entre los elementos planimétricos y altimétricos (líneas y polígonos). Estas herramientas fueron implementadas mediante la aplicación ModelBuilder de ArcGIS y complementadas con scripts en Python (ESRI, 2012), optimizando el análisis y la eficiencia del trabajo cartográfico.



Curvas de nivel y MDT generados sin breaklines

Curvas de nivel y MDT generados con breaklines

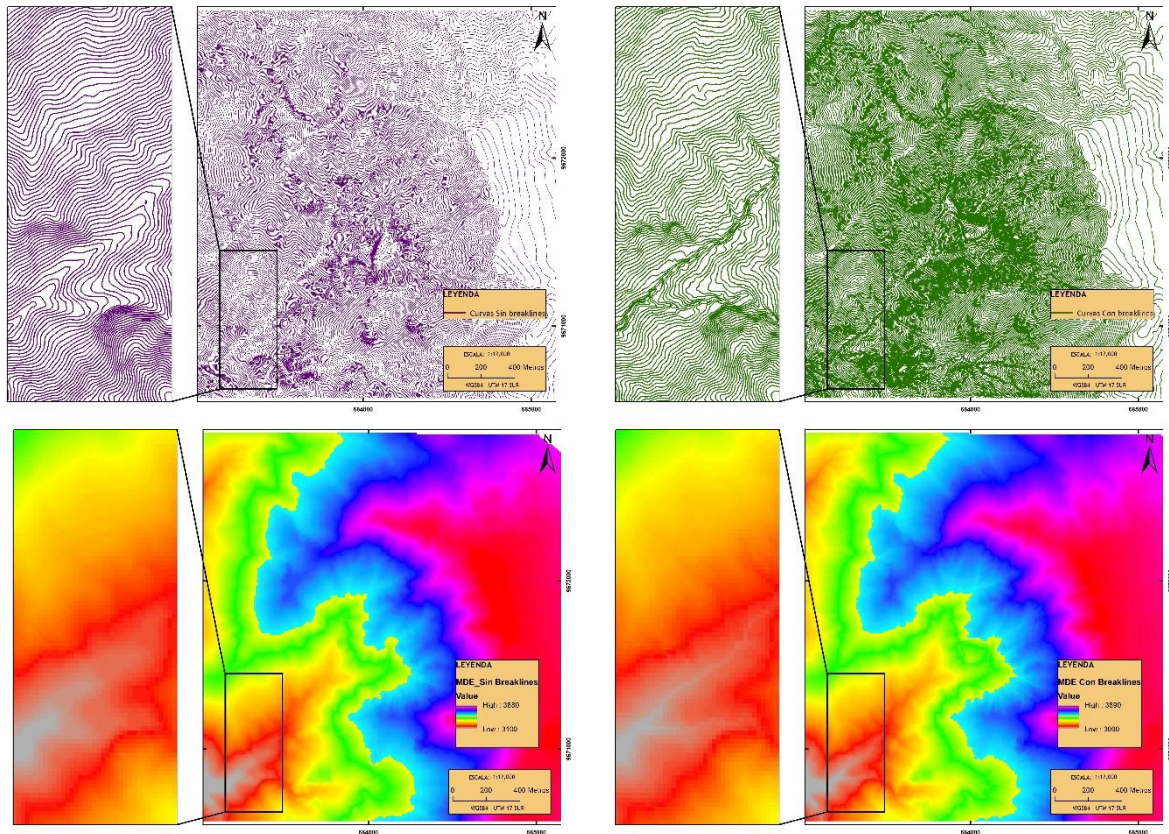


Figura 1. Comparación de curvas de nivel generadas con y sin filtrado de breaklines en un MDT.
Fuente: Elaboración propia, 2025.

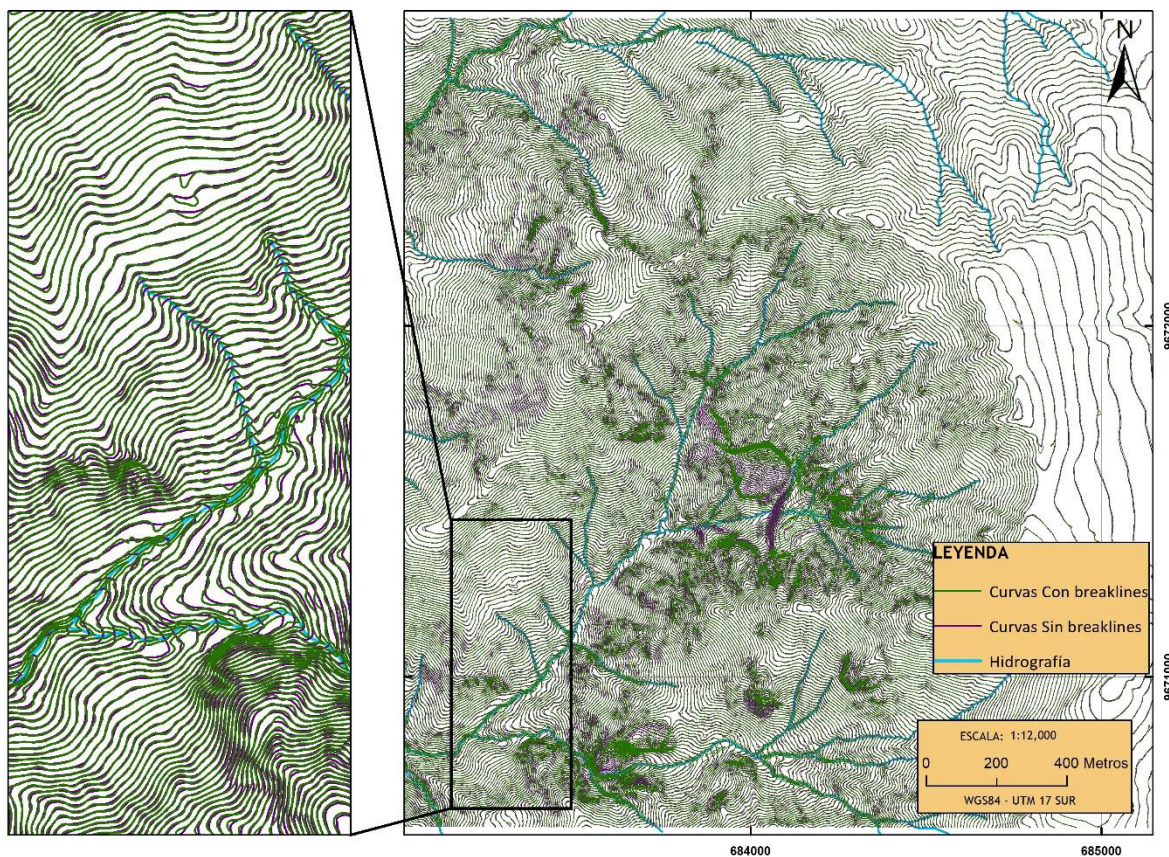
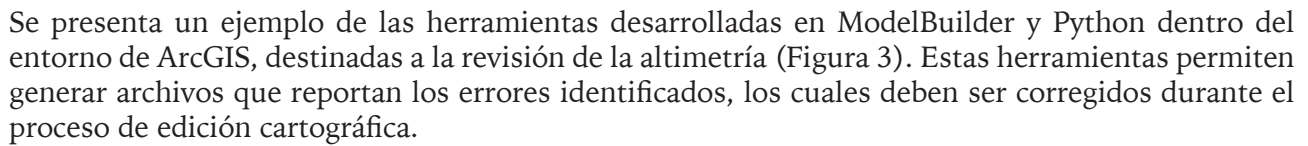


Figura 2. Curvas de nivel generadas con MDT filtrado y sin filtrar, sobrepuestas y con la red hidrográfica.
Fuente: Elaboración propia, 2025.



The screenshot shows the Project Explorer in AutoCAD. The project is named 'MODELO DE REVISION'. It contains several folders and files:

- 01_ARCHIVOS
- 02_ARCHIVOS_DWG
- 03_GEODATABASES
- Toolbox.tbx
- HIDROGRAFIA_Y_PUNTOS_ACOTADOS
 - 01_VALORES_ALTURA_HIDROGRAFIA
 - 02_TEXTOS Y COTAS
- REVISION_DE_ALTIMETRIA
 - 01_ANGULOS_RETORNADORES
 - 02_TOPOLOGÍA_SIG
 - 03_RETORNADORES_DESPLAZADOS
 - 04_ERRORES_COTAS
 - 05_CORTAR_CURVAS_RETORNADORES

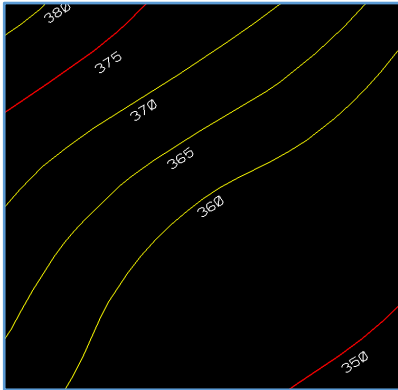
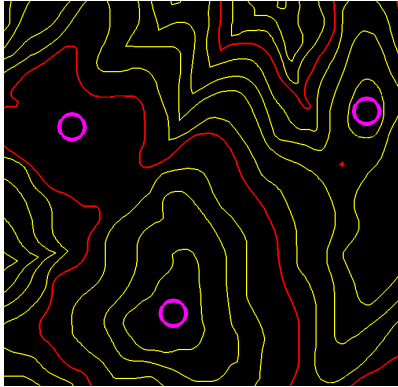
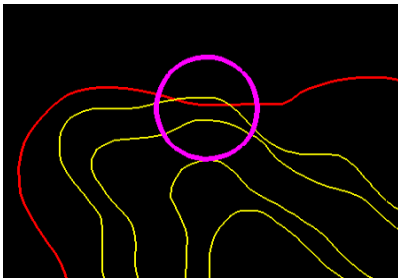
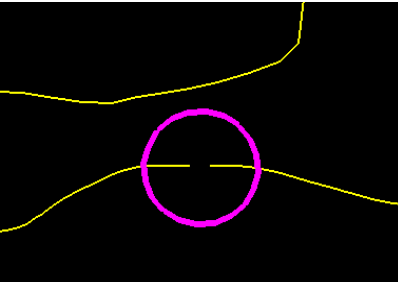
```

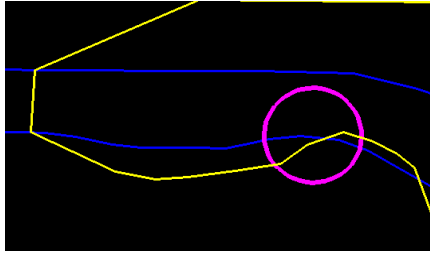
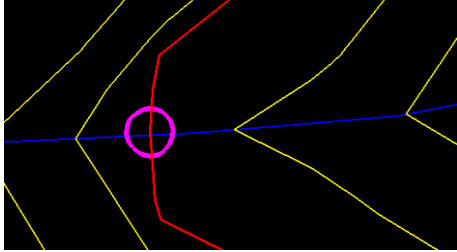
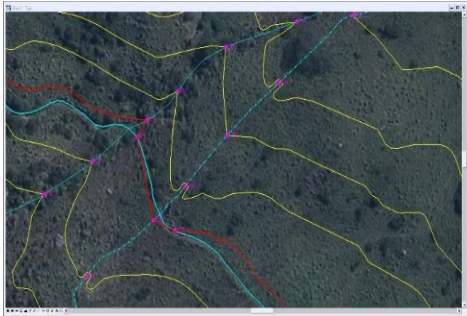
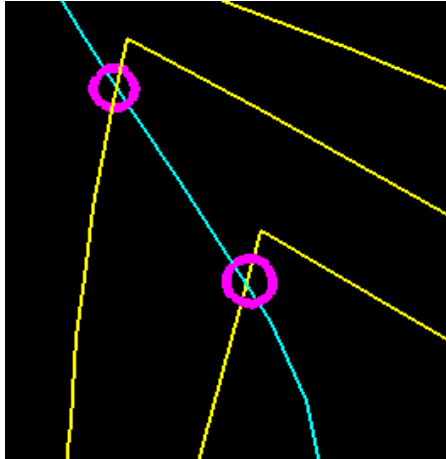
10 # @file: format_data.py - Converting a dataset from a CSV file to a JSON file
11
12 # Imports
13 import os
14 import sys
15 import csv
16 import json
17 import argparse
18
19 # Constants
20 FILE_PATH = "data/USPS_MNIST_10000.csv"
21 OUTPUT_PATH = "data/USPS_MNIST_10000.json"
22
23 # Functions
24 def parse_args():
25     """Parse command line arguments"""
26     parser = argparse.ArgumentParser()
27     parser.add_argument("-i", "--input", help="Input CSV file path", type=str, required=True)
28     parser.add_argument("-o", "--output", help="Output JSON file path", type=str, required=True)
29     return parser.parse_args()
30
31 def read_csv_file(input_path):
32     """Read CSV file and return data as a list of dictionaries"""
33     data = []
34     with open(input_path, "r") as f:
35         reader = csv.DictReader(f)
36         for row in reader:
37             data.append(row)
38     return data
39
40 def write_json_file(output_path, data):
41     """Write data to a JSON file"""
42     with open(output_path, "w") as f:
43         json.dump(data, f)
44
45 def main():
46     args = parse_args()
47     input_path = args.input
48     output_path = args.output
49
50     # Read CSV file
51     data = read_csv_file(input_path)
52
53     # Write JSON file
54     write_json_file(output_path, data)
55
56 if __name__ == "__main__":
57     main()

```

A partir de estos archivos, que señalaban las observaciones específicas, se procedió a la edición y actualización correspondiente de forma manual para asegurar la coherencia cartográfica de las curvas de nivel y los puntos acotados. De igual manera, se presentan los errores más comunes en las curvas de nivel que detectan las herramientas automatizadas (Tabla 1).



Categoría error	Tipo error	Objeto	Descripción
Compleción	Omisión/Comisión	Curva de Nivel	Omisión o comisión de curvas de nivel debido a la falta de la fotointerpretación del operador. 
		Punto Acotado	Omisión o comisión de puntos acotados debido al desconocimiento de los criterios establecidos en la Guía de Extracción. 
Consistencia Lógica	Topológicos	Curva de Nivel	No es posible que las curvas de nivel se crucen puesto que cada una representa un único valor de altura. 
		Curva de Nivel	Todas las curvas de nivel se cierran, su representación es continua y no pueden desaparecer de forma brusca. 

Categoría error	Tipo error	Objeto	Descripción
Exactitud Posicional	Trazo	Curva de Nivel	No es posible que las curvas de nivel se crucen más de una vez por un mismo elemento hidrográfico, excepto las zanjas. 
			Las curvas de nivel forman una “v” al hacer contacto con la hidrografia, el vértice indica la dirección de donde vienen las aguas. 
			Las curvas de nivel realizan un cruce perpendicular con elemento hidrográficos como acequias, canales y zanjas. 
			Los retornadores no pueden estar desplazados deben “snapparse” al elemento hidrográficos. 

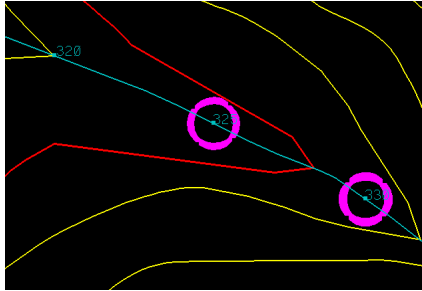
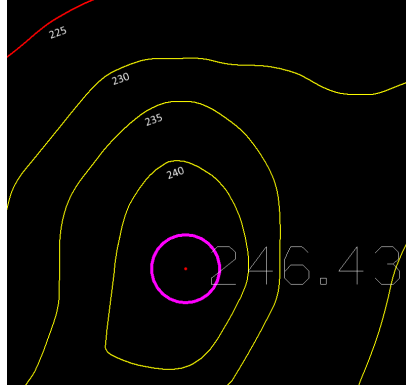
Categoría error	Tipo error	Objeto	Descripción
			La tolerancia del trazo de los retornadores no deberá superar el 1,25 m.
			
			Los puntos acotados están ubicados sin una lógica posicional, evidenciando omisiones o comisiones de captura de curvas de nivel.
			

Tabla 1. Errores más comunes para la edición de curvas de nivel y puntos acotados.
Fuente: (Instituto Geográfico Militar, 2019).

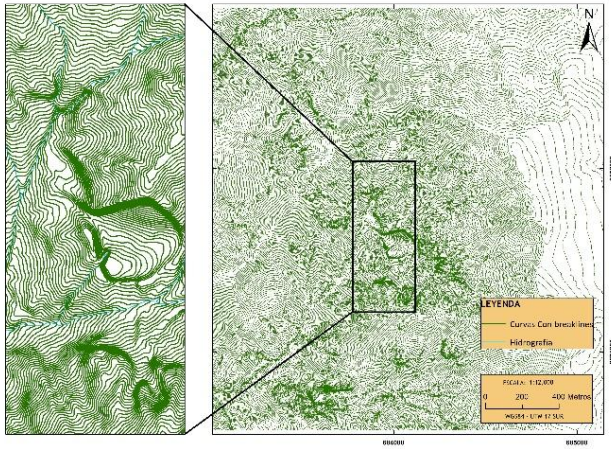
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La implementación de la metodología propuesta demostró ser altamente efectiva en la generación de la altimetría, logrando una calidad de datos consistente y reduciendo significativamente la incidencia de errores de digitación y procesamiento. Esta metodología fue aplicada en zonas diferenciadas del territorio nacional, considerando las condiciones de pendiente y densidad de cobertura vegetal, tales como la región Sierra, la Cordillera Chongón-Colonche en la región Costa, zonas sin vegetación, áreas con vegetación baja o herbácea, así como sectores con vegetación alta pero escasa o dispersa. A continuación, se presenta una comparación entre las curvas de nivel generadas automáticamente y las curvas de nivel posteriormente editadas (Figura 4).

Se ilustra la superposición de las curvas de nivel generadas y editadas, evidenciando la necesidad de un análisis, interpretación y edición posterior (Figura 5). Aunque la generación automática optimiza el proceso, la falta de depuración en el MDT puede ocasionar contornos erróneos, como se observa en la forma inexacta de la cima de la montaña en este caso. Finalmente, se muestra el producto final en vista isométrica (Figura 6).

Además, se llevó a cabo una comparación del rendimiento en la producción de altimetría entre la restitución fotogramétrica tradicional y la nueva metodología propuesta. La unidad de medida utilizada fue kilómetros cuadrados por turno, considerando un turno como una jornada laboral de 8 horas.

Curvas de nivel generadas



Curvas de nivel editadas

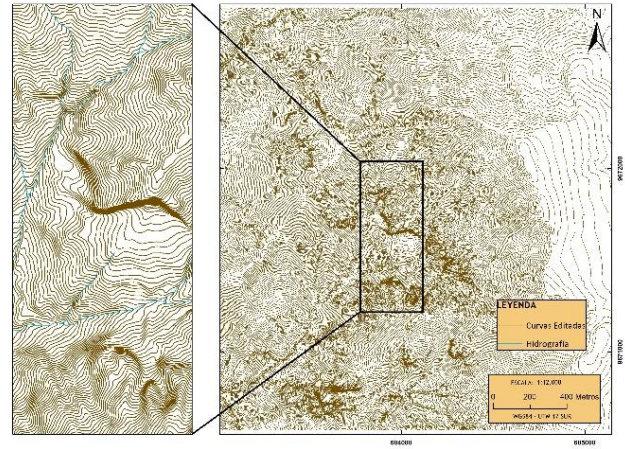


Figura 4. Comparación de curvas de nivel generadas y editadas con las herramientas de automatización.
Fuente: Elaboración Propia, 2025.

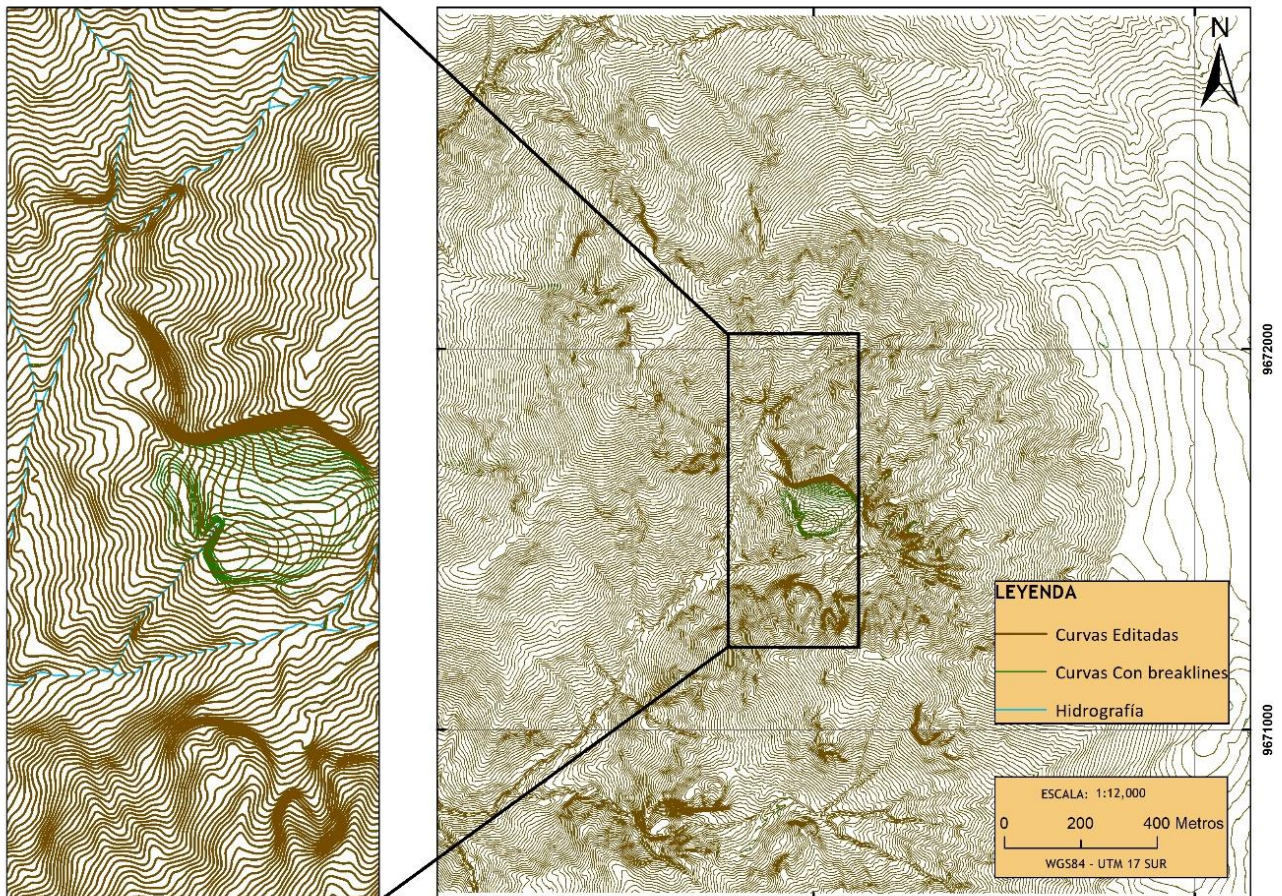


Figura 5. Diferencias entre las curvas de nivel generadas versus las curvas de nivel editadas.
Fuente: Elaboración propia, 2025.

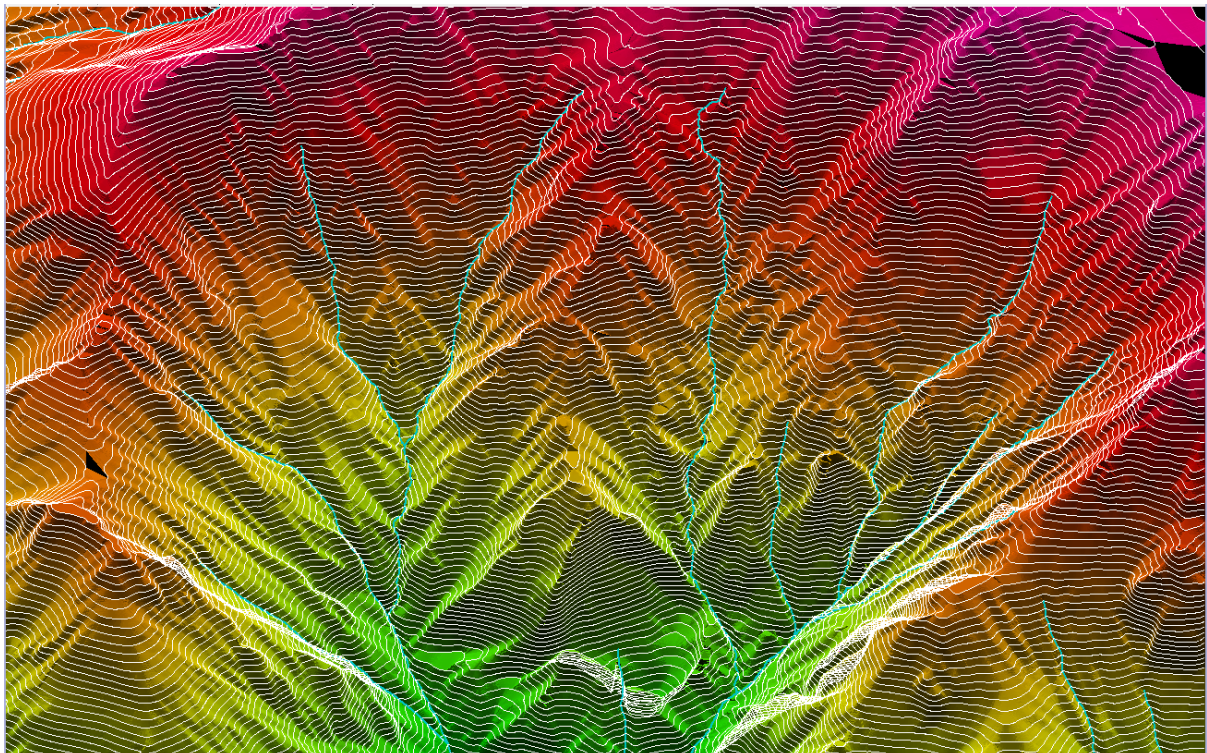
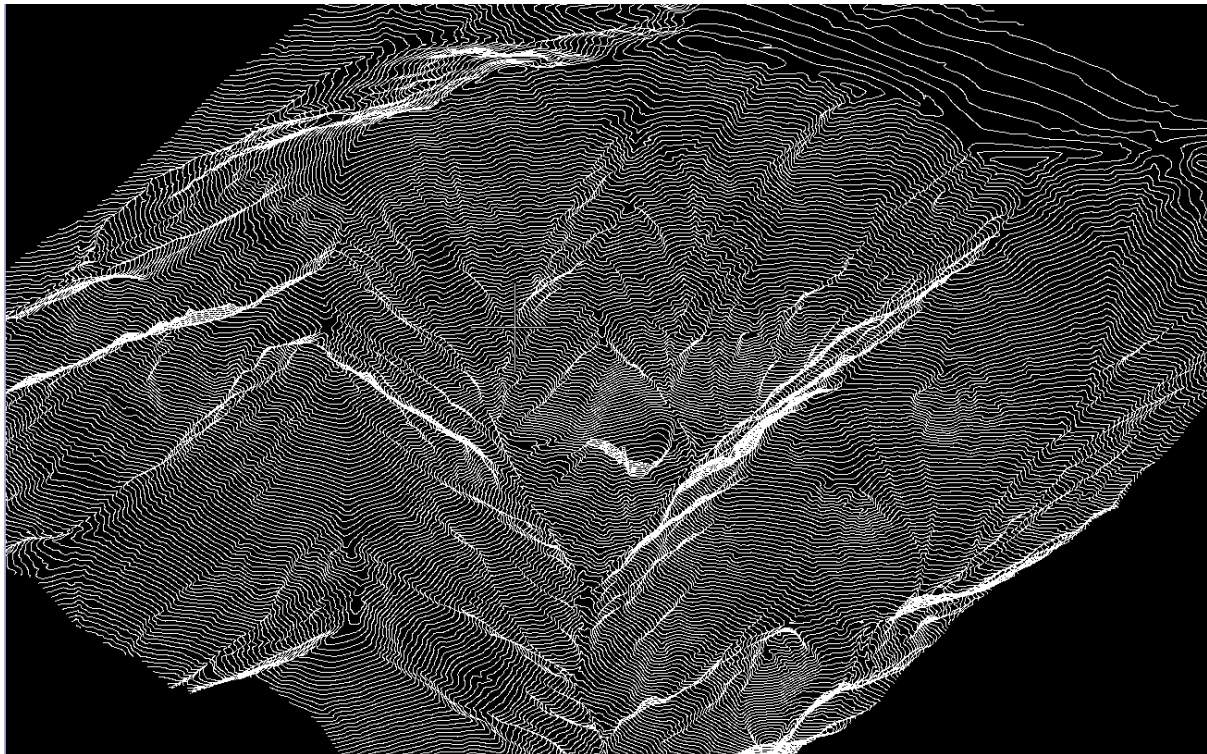


Figura 6. Vista isométrica del producto final de curvas de nivel.
Fuente: Elaboración propia, 2025.

Para esta evaluación, se tomaron en cuenta los rendimientos promedio alcanzados por los operadores del subproceso de Altimetría durante los años 2020 y 2021, quienes aplicaron la metodología propuesta. Asimismo, se analizaron los rendimientos obtenidos por los operadores de restitución fotogramétrica en el año 2019, cuando las curvas de nivel eran generadas mediante restitución fotogramétrica (Tabla 2).



<i>Método</i>	<i>Producción Diaria (Km²)</i>	<i>Días Laborables Mensuales</i>	<i>Producción Mensual (Km²)</i>
<i>Restitución Fotogramétrica</i>	2,2	22	48,4
<i>Metodología Propuesta</i>	7,3	22	160,6

Tabla 2. Comparación de la producción de altimetría entre la restitución fotogramétrica y la metodología propuesta.
Fuente: Elaboración propia, 2025.

El incremento en la productividad con la nueva metodología fue de 230%, evidenciando una mejora significativa en la eficiencia del proceso de generación de altimetría.

CONCLUSIONES

- La implementación de metodologías automatizadas para la generación de curvas de nivel a partir de Modelos Digitales del Terreno (MDT) permitió mejorar significativamente la eficiencia del proceso, especialmente en zonas con distintas condiciones topográficas y de cobertura vegetal como la Sierra ecuatoriana. La combinación de filtrado con breaklines y herramientas automatizadas en ArcGIS y Python optimizó la calidad de los datos y redujo los errores en la cartografía generada.
- La comparación entre la restitución fotogramétrica tradicional y la nueva metodología evidenció un aumento del 230% en la producción de altimetría. Este incremento permitió alcanzar las metas del proyecto con mayor rapidez, reduciendo los tiempos de procesamiento y mejorando la capacidad operativa del equipo.
- La automatización de los procesos de edición y validación topológica garantizó una mayor coherencia en la representación del relieve. La detección y corrección automática de errores geométricos aseguraron que las curvas de nivel reflejaran fielmente la realidad del terreno, minimizando las inconsistencias cartográficas.

Remote Sensing, 599-602. Obtenido de <https://www.asprs.org/wp-content/uploads/2018/03/09-17-MM.pdf>

- ESRI. (2012). Tutorial Creating tools in Modelbuilder. Obtenido de Learn ArcGIS: https://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/pdf/tutorial_creating_tools_in_modelbuilder.pdf
- ESRI. (s.f.). Get started with Python in ArcGIS Pro. Obtenido de Learn ArcGIS: <https://learn.arcgis.com/en/projects/get-started-with-python-in-arcgis-pro/>
- ESRI. (s.f.). Introduction to Python in ArcGIS Pro. Obtenido de Esri MediaSpace: https://mediaspace.esri.com/media/t/1_12xv9un5
- Instituto Geográfico Militar. (2019). Errores Frecuentes en la Generación de altimetría.
- Trimble. (2021). Inpho OrthoMaster – Professional Ortho Production Software. Obtenido de GTBi.: [https://www.gtb.net/wp-content/uploads/2021/01/inpho-orthomaster_folheto\(EN](https://www.gtb.net/wp-content/uploads/2021/01/inpho-orthomaster_folheto(EN)

BIBLIOGRAFÍA

- Abdullah, Q. A. (2017). Breaklines for lidar data, do we really need them? Photogrammetric Engineering &

Datos abiertos geospaciales: Impulsando la transformación territorial en el Ecuador.

GEOSPATIAL OPEN DATA: DRIVING TERRITORIAL
TRANSFORMATION IN ECUADOR.

Díaz, Mayleen.
mayleen.diaz@geograficomilitar.gob.ec

RESUMEN

El acceso a datos abiertos¹ ha transformado la planificación territorial en Ecuador. A través del geoportal institucional y el proyecto “Capacidad de Acogida”, los GADs han descargado más de 3 millones de archivos desde el año 2022, reflejando su creciente demanda. Este artículo analiza cómo la apertura de datos ha facilitado la optimización de la gestión territorial mediante la disponibilidad de productos clave como: Aptitud Física Constructiva, Capacidad de Acogida y Conflictos de Uso del Suelo. Con 835 GDB y 2095 shapefiles disponibles, el proyecto ha beneficiado a 167 cabeceras cantonales, mejorando la toma de decisiones para un desarrollo urbano y rural más eficiente y sostenible.

Palabras clave: datos abiertos, planificación territorial, capacidad de acogida.

ABSTRACT

Access to open data has transformed territorial planning in Ecuador. Through the institutional geoportal and the “Carrying Capacity” project, GADs have downloaded over 3 million files since 2022, reflecting their growing demand. This article analyzes how open data has optimized territorial management through the availability of key products such as: Constructive Physical Aptitude, Carrying Capacity, and Land Use Conflicts. With 835 GDBs and 2,095 shapefiles available, the project has benefited 167 cantonal capitals, improving decision-making for more efficient and sustainable urban and rural development.

Keywords: open data, territorial planning, carrying capacity.

47

INTRODUCCIÓN

Los datos abiertos geospaciales son esenciales para el desarrollo sostenible, ya que proporcionan acceso a información detallada y actualizada sobre el territorio, facilitando la planificación y gestión de recursos naturales, infraestructura y servicios públicos (Goodchild, 2007). De acuerdo con (Williamson et al., 2003), la apertura de datos geospaciales promueve la eficiencia gubernamental, fomenta la innovación en el sector público y privado, mejorando la participación ciudadana en la toma de decisiones. Además, la integración de herramientas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la teledetección, permiten realizar análisis espaciales avanzados, que ayudan

¹ Datos que se publican sin barreras económicas, técnicas ni legales para su uso y reutilización (Ubaldi, 2018).

a mitigar riesgos naturales ambientales y optimizar la planificación urbana (Longley et al., 2015).

El acceso a la información geoespacial precisa y detallada es fundamental para la planificación y el desarrollo sostenible del territorio. En el Ecuador, el crecimiento urbano y los desafíos asociados a la gestión del suelo, han impulsado la necesidad de generar datos abiertos que permitan a los entes gubernamentales la toma de decisiones fundamentadas.

En este contexto, el Instituto Geográfico Militar (IGM) ha implementado 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”; generando ocho temáticas a nivel de geoinformación: Geomorfología, Suelos, Cobertura y Uso, Capacidad de Uso de las Tierras (CUT), Densidad poblacional, Nivel de instrucción, Disponibilidad de servicios básicos y Nivel socioeconómico (IGM, 2022).

El proyecto contempla la intervención de 200 cabeceras cantonales durante el período 2022 - 2025, cubriendo un área de 10 267,35 km² (Figura 1) con información geoespacial detallada. Hasta la fecha, se han intervenido 167 cabeceras cantonales, permitiendo a los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs), acceder a información geográfica detallada que permite identificar áreas estratégicas para el crecimiento urbano, minimizando la ocupación de zonas vulnerables y promoviendo un desarrollo territorial equilibrado y sostenible (Sandoval, 2019). Este esfuerzo se enmarca dentro de la Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) y se materializa en el geoportal institucional, una plataforma digital de libre acceso que ha fortalecido la gestión del ordenamiento territorial.

Ante lo expuesto, es fundamental analizar las oportunidades que brindan los datos abiertos en la transformación digital de los GAD, destacando su utilidad en la optimización del uso del territorio y la integración de herramientas de geotecnología para el análisis

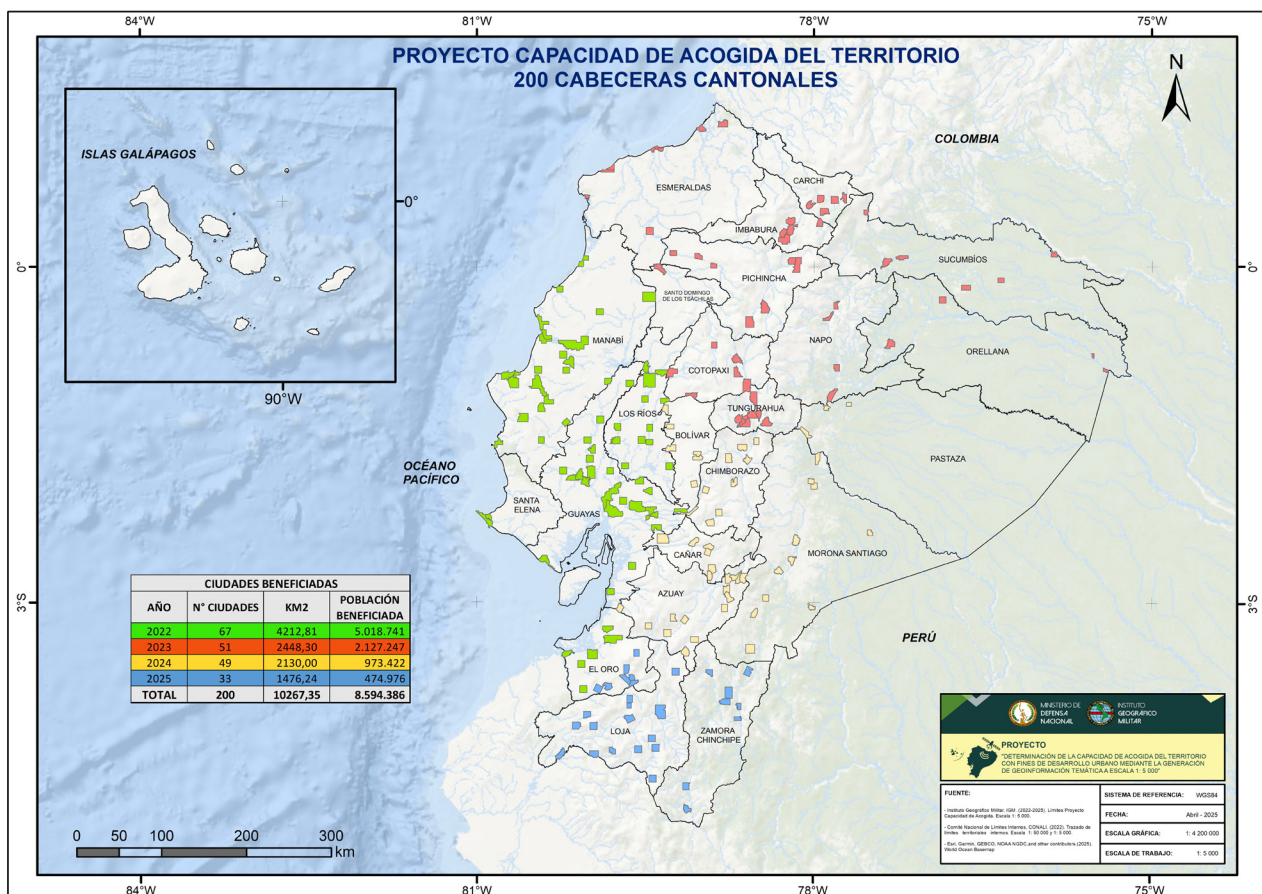


Figura 1. Cabeceras cantonales intervenidas 2022-2025.
Fuente: Elaboración propia.



espacial, abordando la importancia de disponer de bases de datos geoespaciales actualizadas y accesibles; así como, el impacto positivo de su implementación en la toma de decisiones locales.

En definitiva, la publicación de datos abiertos en el geoportal no solo democratiza el acceso a información clave, sino que impulsa un modelo de gestión territorial más eficiente, transparente y sostenible (García-Estrella et al., 2022), fortaleciendo la capacidad de acogida de las ciudades y optimizando los procesos de planificación y ordenamiento del suelo en Ecuador.

METODOLOGÍA

El desarrollo de este proyecto sigue una metodología estructurada en varias actividades, garantizando un flujo de trabajo eficiente no solo en el uso de recursos, sino también en la optimización de las actividades, la calidad de los resultados y el uso adecuado de herramientas tecnológicas. Esto permite reducir tiempos, mejorar la organización de tareas y asegurar la generación de productos cartográficos detallados y accesibles. Además, se establecieron mecanismos efectivos de control de calidad y distribución de la información, facilitando su uso oportuno por

parte de los GADs. Se presenta un flujograma que ilustra de manera visual este proceso, destacando sus actividades principales y los criterios implementados para garantizar su eficacia (Figura 2).

Desarrollo de productos cartográficos

El proyecto está compuesto por cinco componentes, de los cuales cuatro son responsables de generar información geoespacial (Tabla 1), abarcando un total de 12 temáticas. El quinto componente, correspondiente a la IDE, se encarga de garantizar la distribución de estos productos. Todos los componentes del proyecto desarrollan tres fases fundamentales: precampo, campo y postcampo. Además, con el apoyo de los SIG, toda la geoinformación multitemática generada es analizada, procesada y gestionada de manera integrada o monotemática.

Control de calidad

Para la implementación del proyecto de “Capacidad de Acogida”, se utilizó el uso de geotecnologías avanzadas y los SIG. La IDE desempeñó un papel clave en el control de calidad, organización y distribución de la información geográfica generada, fue responsable de garantizar que los archivos

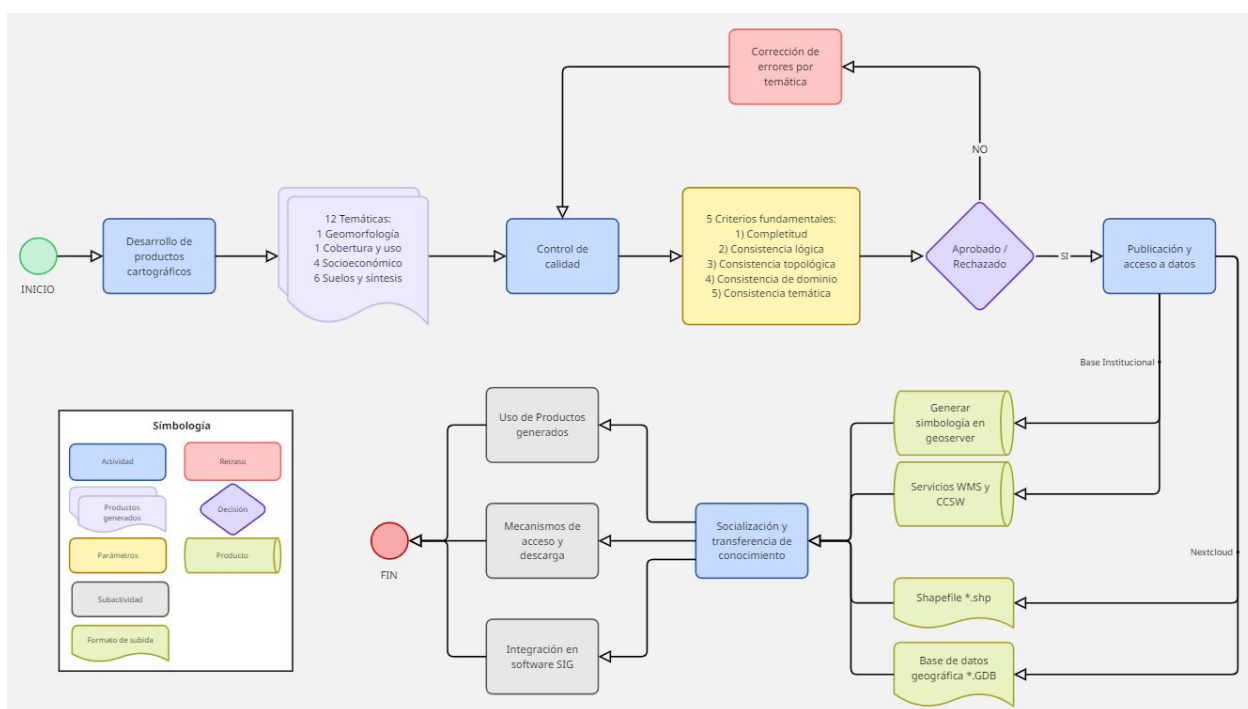


Figura 2. Flujograma de proceso.
Fuente: Elaboración propia.



Componente	Producto cartográfico
Cobertura y uso	Cobertura y uso de la tierra
Geomorfología	Geomorfología
Socioeconómico	Nivel socioeconómico
	Densidad poblacional
	Disponibilidad de servicios básicos
	Nivel de instrucción
Suelos y Síntesis	Aptitud física constructiva (APFC)
	Capacidad de acogida (CA)
	Conflictos de uso en expansión (CUEX)
	Conflictos de uso consolidado (CUC)
	Capacidad de uso de las tierras (UCUT)
	Suelo

Tabla 1. Productos por componente del proyecto.
Fuente: Elaboración propia.

en formato digital GDB y SHP, producidos por los distintos componentes del proyecto, cumplieran con los estándares de calidad antes de ser aprobados y publicados. Esta revisión se realiza con base en cinco criterios fundamentales:

- Completitud: presencia y ausencia de fenómenos, sus atributos y relaciones.
- Consistencia lógica: grado de cumplimiento a las reglas lógicas de la estructura de datos, atributos y relaciones.
- Consistencia topológica: corrección de las características topológicas codificadas explícitamente.
- Consistencia de dominio: adherencia de los valores a su dominio.
- Consistencia temática: (ISO, 2023).

Publicación y Acceso a los Datos

El componente IDE tuvo la responsabilidad de asegurar que la información publicada cumpliera con los requisitos necesarios; una vez, que los datos cumplieran con los requisitos del control de calidad, asegurando que solo la información que cumpliera con los estándares

establecidos fuera ingresada en la base de datos institucional, a continuación se generaba la simbología correspondiente en GeoServer y, los servicios WMS (Web Map Service) y CSW (Catalog Service for the Web); con el objetivo de ofrecer una visualización interactiva y mejorar el acceso y consulta de los datos espaciales a los usuarios finales.

Un ejemplo del Geoportal Institucional muestra la cabecera cantonal del cantón Guachapala como caso de referencia (Figura 3).

Los datos abiertos en formato GDB y SHP fueron posteriormente cargados en el NextCloud Institucional, una plataforma vinculada al proyecto que permite su libre acceso y descarga por parte de los GADs; y, otros usuarios interesados.

Cada cabecera cantonal intervenida contiene cuatro carpetas con los productos generados, en la carpeta de Cartografía Temática, donde se encuentran 5 carpetas con la siguiente información: Cobertura y Uso, Geomorfología, Síntesis, Socioeconómico y Suelo y, dentro de cada una de ellas los datos se almacenan en formato digital GDB y SHP (Figura 4); los cuales, pueden ser utilizados en software SIG para el análisis y la toma de decisiones territoriales.

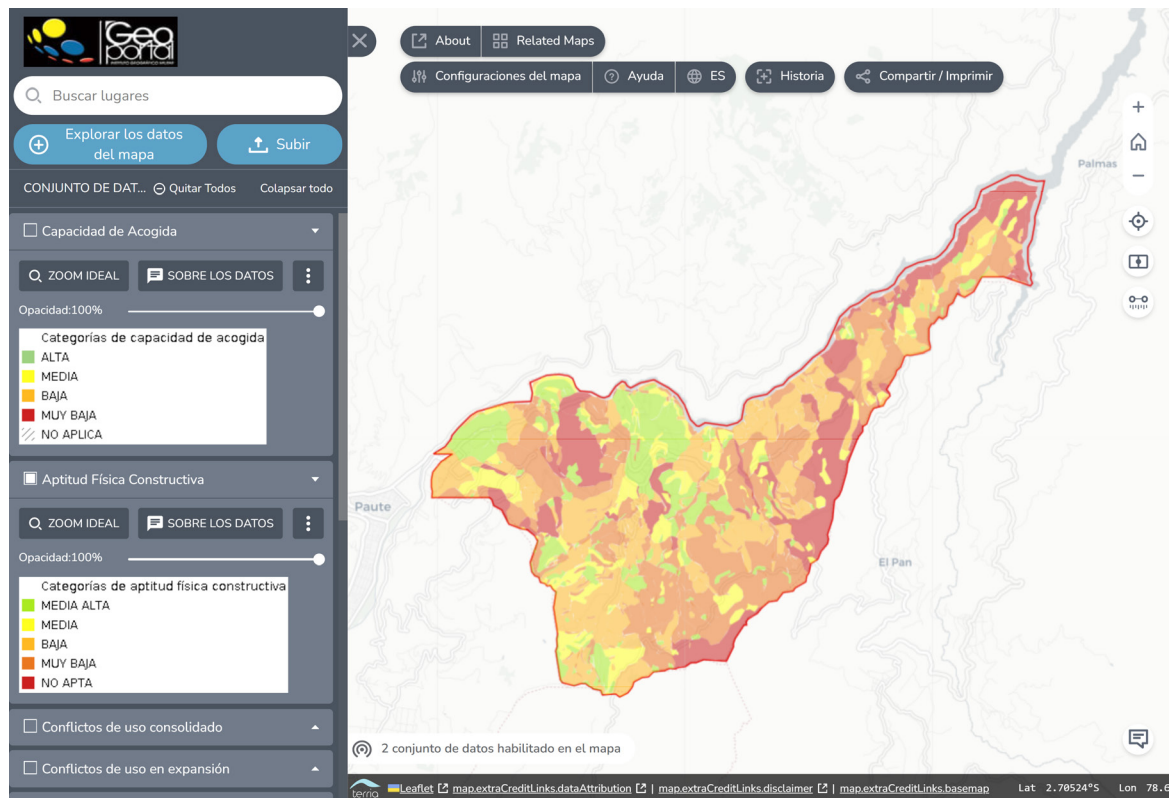


Figura 3. Área de estudio del cantón Guachapala - Geoportal Institucional.
Fuente: IGM, 2025.

51

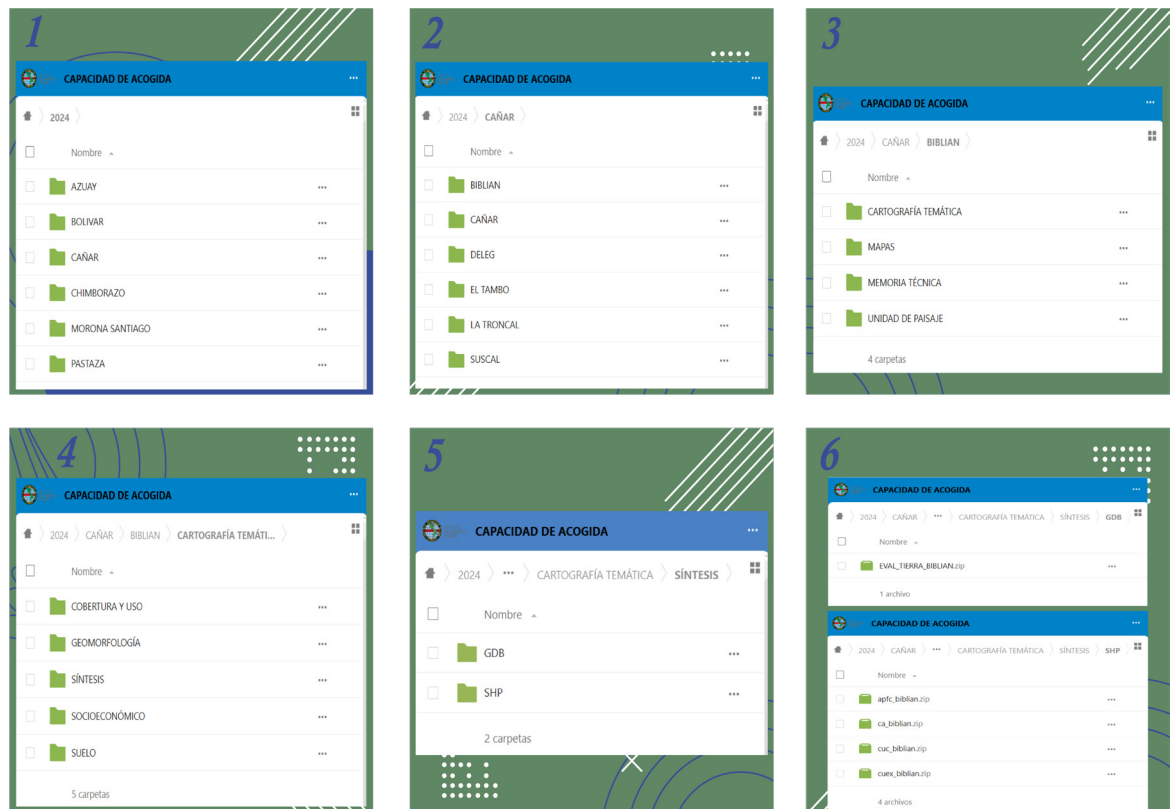


Figura 4. Estructura NextCloud.
Fuente: Elaboración propia.



Socialización y Transferencia de Conocimiento

Como parte de esta actividad, en cada cabecera cantonal intervenida, el equipo de IDE lleva a cabo reuniones de socialización con los GADs. Durante estas sesiones, se expone los siguientes temas:

- Los productos generados y su uso.
- Los mecanismos de acceso y descarga de la información.
- Cómo integrar los datos en software SIG para su análisis y toma de decisiones territoriales.

Mediante esta actividad de socialización, se fortalece la capacidad de los GADs para utilizar de manera efectiva los datos; y, herramientas proporcionadas por el proyecto, asegurando un mayor impacto en la planificación y gestión del territorio.

RESULTADOS

El impacto del proyecto en la planificación territorial de Ecuador es significativo, hasta la fecha, se han intervenido 167 cabeceras cantonales, cubriendo un área de 10 267,35 km². Estos esfuerzos permiten a los GADs, acceder a información geoespacial detallada para la planificación y ordenamiento del territorio. El uso de la IDE y el geoportal institucional optimiza la gestión territorial, facilitando la identificación de áreas aptas para el crecimiento urbano y reduciendo la ocupación de zonas vulnerables.

Se generaron un total de 835 Bases de Datos Geográficas (GDB) y 2 095 archivos Shapefiles

(.shp) en diversas temáticas (Tabla 2), lo que permite que 167 GADs municipales; y, que más de 8.5 millones de habitantes, puedan acceder a información clave para la toma de decisiones sobre su territorio.

El proyecto inicia en 2022, sin embargo, entre 2023 y 2024 se registró un notable incremento en la descarga de información geoespacial, superando los 3 millones de descargas. En 2023, se registraron un total de 723 425 descargas, mientras que en 2024 esta cifra experimentó un incremento significativo, alcanzando 2 546 621 descargas (Figura 5). De manera paralela, el número de usuarios activos también mostró una tendencia ascendente, pasando de 6 558 en 2023 a 8 829 en 2024 (Figura 6).

Estos datos evidencian un incremento sustancial en la demanda y utilización de información geoespacial, reflejando el impacto del proyecto en la optimización de la gestión territorial y en la toma de decisiones fundamentadas en datos. El crecimiento exponencial en el último año se atribuye a la obligatoriedad impuesta a los GADs de actualizar sus Planes de Ordenamiento Territorial (PDOT) y Planes de Uso y Gestión del Suelo (PUGS). Como resultado, tanto los GADs como los equipos consultores accedieron masivamente a la información geoespacial disponible, lo que permitió realizar un análisis más riguroso de los componentes de estos planes. La incorporación de datos detallados y actualizados, facilita la toma de decisiones estratégicas por parte de los funcionarios, garantizando que las acciones adoptadas estuvieran alineadas con las necesidades y características específicas de cada territorio.

Los datos geoespaciales publicados han permitido a los GADs tomar decisiones informadas en diversos ámbitos:

Año	Shapefiles (.shp)	Base de datos geográficas (GDB)
2022	804	335
2023	655	255
2024	636	245
Total	2 095	835

Tabla 2. Productos generados por año.
Fuente: Elaboración propia.

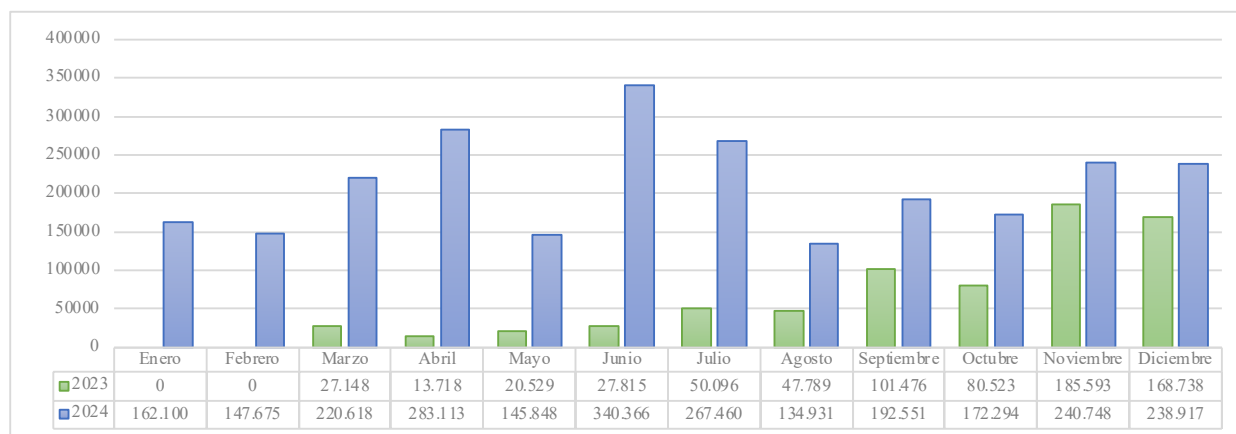


Figura 5. Descargas del Proyecto Capacidad de Acogida.
Fuente: IGM, 2023.

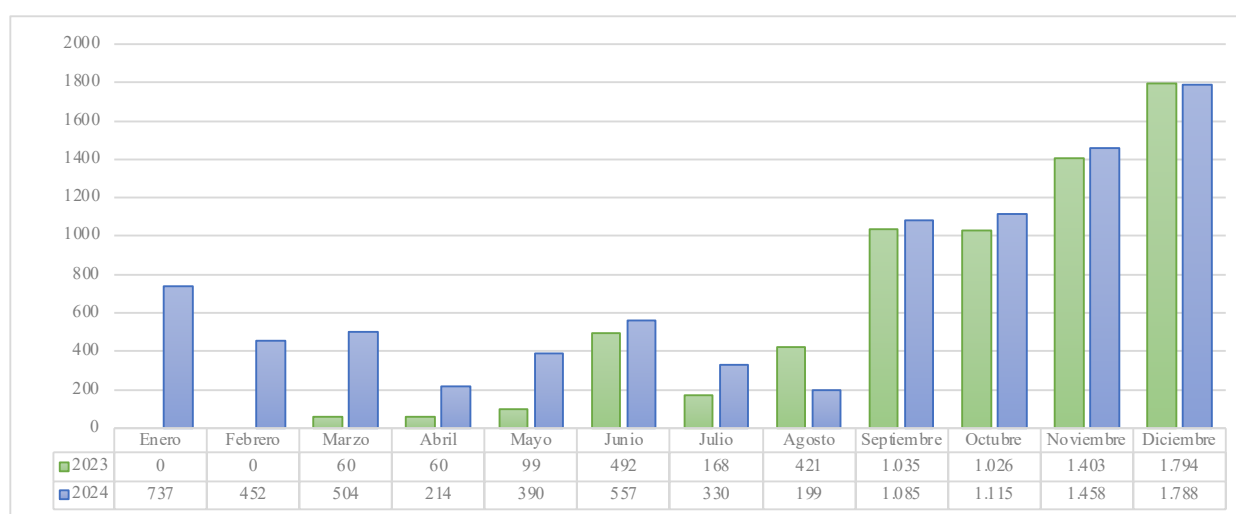


Figura 6. Usuarios registrados del Proyecto Capacidad de Acogida Año 2024.
Fuente: IGM, 2024.

- **Ordenamiento Territorial:** Determinación de la capacidad de acogida del territorio y planificación del uso del suelo.
- **Infraestructura y Urbanismo:** Identificación de áreas aptas para el desarrollo constructivo.
- **Gestión Ambiental:** Análisis de cobertura y uso del suelo para la conservación de ecosistemas.
- **Prevención de Riesgos:** Identificación de conflictos de uso y riesgos asociados a la geomorfología y características del suelo.

La información publicada facilita a los GADs realizar análisis detallados sobre Aptitud Física Constructiva, Capacidad de Acogida y Conflictos de Uso del Suelo, lo que optimiza la toma de decisiones en el ordenamiento territorial.

Al analizar los resultados, en particular el volumen de descargas, se demuestra la importancia de los datos abiertos y las geotecnologías en la transformación territorial de Ecuador. Gracias a la implementación de una IDE, el acceso y uso de la información geoespacial se optimizó con el tiempo, permitiendo a los GADs mejorar sus estrategias de planificación y gestión del territorio. La masiva descarga de información a través del geoportal institucional evidencia la creciente demanda y utilidad de estos datos en la toma de decisiones gubernamentales.



CONCLUSIONES

- A partir de los resultados obtenidos, se evidencia que los datos geoespaciales generados por el proyecto “Capacidad de Acogida”, han sido fundamentales para identificar áreas aptas para el desarrollo urbano y para la gestión de infraestructuras. La información detallada sobre la cobertura y uso del suelo, la geomorfología y la capacidad de acogida del territorio, ha permitido a los GADs planificar de manera más eficiente y sostenible el crecimiento urbano, favoreciendo un ordenamiento territorial más adecuado y reduciendo los riesgos asociados a la expansión urbana descontrolada.
- La publicación de los datos abiertos en el geoportal institucional, ha impulsado un modelo de gestión territorial más transparente y accesible para los ciudadanos. Al democratizar el acceso a la información geoespacial, el proyecto ha fomentado la participación ciudadana en el proceso de toma de decisiones, permitiendo a los usuarios interesados acceder libremente a los datos y contribuir al desarrollo de sus comunidades.
- Si bien el proyecto ha demostrado resultados positivos, la implementación de una infraestructura digital eficiente y el acceso a datos geoespaciales de calidad aún presentan desafíos, especialmente en términos de capacitación de los GADs y la integración de los datos en plataformas tecnológicas avanzadas.
- Exhortar la capacitación de los GADs; y, la colaboración interinstitucional para garantizar la sostenibilidad de la infraestructura de datos y la continuidad del acceso a la información.

BIBLIOGRAFÍA

- García-Estrella, C., Santa-María, J. C., & Celis Hernández, M. R. (2022). Datos abiertos y gobierno abierto en los gobiernos regionales y locales del Perú. *Enfoque UTE*, 13(3). <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.838>
- Goodchild, M. F. (2007). Citizens as sensors: the world of volunteered geography. *GeoJournal*, 69(4), 211–221.
- Instituto Geográfico Militar del Ecuador (IGM). (2022). 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://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/proyectos-de-inversion/>
- Instituto Geográfico Militar del Ecuador (IGM). (2023). Dirección IIDES, normalización y archivo nacional.
- Instituto Geográfico Militar del Ecuador (IGM). (2024). Dirección IIDES, normalización y archivo nacional.
- Instituto Geográfico Militar del Ecuador (IGM). (2025). Geoportal IGM - Visor Capacidad de Acogida, Guachapala https://www.geoportaligm.gob.ec/terria#CA_GUACHAPALA
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2015). *Geographic Information Science and Systems* (4th ed.). Wiley.
- Organización Internacional de Normalización (ISO). (2023). Información geográfica. Calidad de los datos. Parte 1: Requisitos generales. (ISO 19157-1:2023).
- Sandoval, F. (2019). Datos abiertos: oportunidades para la transformación social y digital en Venezuela. *Analecta Política*, 9(17), 295–315. <https://doi.org/10.18566/apolit.v9n17.a06>
- Ubaldi, B. (2018). Head of Digital Government and Open Data Unit. Informe del Sector Infome diario 2018 de ASIEDIE.
- Williamson, I. P., Rajabifard, A., & Feeney, M. E. (2003). *Developing Spatial Data Infrastructures* (1st ed., Vol. 1). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780203485774>

Diseño y simulación de un sistema de comunicaciones para un CubeSat.

DESIGN AND SIMULATION OF A COMMUNICATION SYSTEM
FOR A CUBESAT.

Moreno, Betty. - betty.moreno@epn.edu.ec

Carrera, Luis. - fernando.carrera@epn.edu.ec

Mullo, Christian. - christian.mullo@geograficomilitar.ec

RESUMEN

Este estudio fue desarrollado mediante la colaboración entre el Instituto Geográfico Militar y la Escuela Politécnica Nacional, el cual muestra el diseño, simulación y evaluación de un sistema de comunicaciones para un CubeSat de 1U. Con la finalidad de modelar el enlace satélite - estación terrena, se realizó el análisis técnico y las simulaciones en el software System Tools Kit (STK). Se seleccionaron componentes comerciales eficientes (antenas, transceptores y transpondedor) que operan en VHF y UHF. Las simulaciones evidenciaron múltiples accesos diarios de 14.4 minutos promedio y un enlace robusto en C/No, Eb/No y BER, concluyendo que la arquitectura es viable y útil para futuras misiones CubeSat académicas y científicas.

Palabras clave: CubeSat, comunicaciones satelitales, STK (System Tool Kit), banda UHF/VHF, simulación.

ABSTRACT

This study was developed through a collaboration between the Instituto Geografico Militar and the Escuela Politecnica Nacional, it shows the design, simulation, and evaluation of a communications system for a 1U CubeSat. In order to model the satellite-ground station link, technical analysis and simulations were performed using System Tools Kit (STK) software. Efficient commercial components (antennas, transceivers, and transponder) operating in VHF and UHF were selected. The simulations showed multiple daily accesses averaging 14.4 minutes and a robust link in C/No, Eb/No, and BER, concluding that the architecture is viable and useful for future academic and scientific CubeSat missions.

Keywords: CubeSat, satellite link, STK (System Tool Kit), UHF/VHF band, simulation.

INTRODUCCIÓN

El rápido avance tecnológico en el desarrollo de nanosatélites ha despertado un gran interés en el ámbito de la exploración espacial y la investigación científica (Yorozu et al., 1987). Los nanosatélites, con un peso de entre 1 y 10 kg, se han convertido en una alternativa innovadora y accesible para la exploración espacial (Puig-Suari et al., 2001), en particular para países en vías de desarrollo como Ecuador.



Estos sistemas tienen muchas ventajas como su diseño optimizado, utilización de materiales compuestos de alta eficiencia (Jacobs, 1963), el aprovechamiento de tecnología que se encuentra en el mercado y que cumple con las especificaciones técnicas establecidas para el proyecto. Su arquitectura estandarizada simplifica su integración y lanzamiento, reduciendo los tiempos de desarrollo y costo, por lo tanto, estos pequeños satélites han revolucionado la investigación espacial (Puig-Suari et al., 2001).

El estudio fue desarrollado mediante una colaboración estratégica entre el Instituto Geográfico Militar (IGM) y la Escuela Politécnica Nacional (EPN) y surgió con la finalidad de establecer una línea de investigación en áreas espaciales y aprovechar las capacidades de estos ingenios para recopilar datos de la Tierra desde el espacio ultraterrestre y la posibilidad de transmitirlos a una estación terrena. Siendo un valioso beneficio, científico y educativo, a los estudiantes, docentes, investigadores y profesionales, de las dos instituciones, por adquirir esta clase de conocimiento.

Un aspecto clave es el enlace de comunicación, cuyo rendimiento depende de parámetros como el ancho de banda y frecuencia de operación, analizados mediante integrales de tipo Lipschitz-Hankel (Eason et al., 1955). Siendo objetivo del presente trabajo el diseño, simulación y evaluación de un sistema de comunicaciones para un nanosatélite clase CubeSat, tomando como referencia las exitosas experiencias ecuatorianas con satélites similares, como el NEE-01 Pegaso (EXA, 2013) o el Ecuador UTE (Freire, et al., 2020), que demostraron la viabilidad de esta tecnología, aunque existen desafíos no documentados en la literatura publicada.

METODOLOGÍA

Un enfoque mixto fue empleado mediante la combinación de métodos técnicos y cuantitativos, con una evaluación cualitativa para abordar el diseño y la simulación del sistema de comunicación para un nanosatélite. El estudio, de carácter descriptivo y experimental, analizó las particularidades técnicas del nanosatélite y sus requisitos de comunicación, desarrollando posteriormente el diseño del sistema y realizando simulaciones para evaluar su rendimiento en diferentes condiciones.

El muestreo y recolección de datos fue realizado mediante una revisión exhaustiva de la documentación técnica y literatura especializada en tecnologías de comunicación para nanosatélites. El análisis de la información se realizó utilizando el software System Tools Kit (STK) (ANSYS, sf), que permitió modelar el enlace de comunicaciones y evaluar su desempeño en diversos escenarios operativos; las actividades se organizaron de manera sistemática para desarrollar, simular y evaluar el sistema, garantizando una revisión completa, eficaz y confiable.

Parámetros del enlace

Con experiencias previas de satélites ecuatorianos y en base a la recomendación técnica del IGM para realizar los primeros análisis con frecuencias de bandas libres, se han seleccionado aquellas destinadas a radioaficionados, sin descartar la utilización de la banda S:

- Downlink: 437.025 MHz
- Uplink: 145.925 MHz

La tabla 1 resume algunas condiciones relacionadas con la ubicación de la estación terrena.

Parámetro	Descripción
Ubicación	Escuela Politécnica Nacional, Edificio 17, Quito, Ecuador
Coordenadas geográficas	-0.20969 latitud, -78.48954 longitud
Altura	2987.04 m.s.n.m

Tabla 1: Parámetros de la estación terrena.
Fuente: Elaboración propia.



Selección de tecnología

Para el diseño del sistema de comunicaciones y generar la simulación del enlace de manera efectiva, es crucial entender las especificaciones técnicas de cada elemento.

En este sentido, se presentan los detalles completos de la composición del sistema, así como la justificación detallada de las decisiones adoptadas en su selección.

- **Satélite:** A partir de la bibliografía revisada sobre nanosatélites lanzados en Ecuador y en función de las ventajas físicas y mecánicas de un diseño compacto y estandarizado, se eligió un nanosatélite tipo CubeSat de 1U, cuya configuración es un cubo de 10 cm de lado con una masa de hasta 2 kilogramos. Este tipo de satélite facilita su integración y operación al tiempo que maximiza la eficiencia y viabilidad técnica del proyecto.
- **Antena:** Con base en la información de las antenas existentes en el mercado se seleccionó la ISISPACE, por su característica dual que permite manejar tanto frecuencias de up link como de downlink (Tabla 2).

Parámetro	Descripción
Banda de frecuencia uplink	144 a 148MHz
Banda de frecuencia downlink	400 a 440MHz
Configuración de antena	Dual VHF - UHF dipolo
Ganancia	0 dBi
Polarización	LHCP, RHCP
Diagrama de radiación	Omnidireccional
Ancho de haz	30°- 80°
Pérdida de retorno	10Db (VSWR <1.9:1)
Pérdida de inserción	1 a 2.2 dB
Dimensiones (principal)	98 x 98 mm
Masa	89 g

Tabla 2: Parámetros de la antena.
Fuente: Elaboración propia.

- **Transceptor:** Estos combinan funciones de transmisión y recepción en un solo dispositivo, lo que simplifica el diseño del sistema y ahorra espacio crítico en el nanosatélite.

Además, resultan más económicos y manejables, reduciendo la complejidad y el consumo de energía en comparación con la utilización de un transmisor y receptor por separado; cabe señalar que las especificaciones del transceptor VHF/UHF CUBESAT consideran los parámetros de las frecuencias seleccionadas (Tabla 3).



Parámetro	Descripción
Frecuencia de transmisión	400 a 440MHz
Frecuencia de recepción	144 a 148MHz
Velocidad de datos	1,2-115,2 kbps (solo AFSK 1,2 kbps)
Potencia de transmisión	27dBm
Ganancia	51.8 dB
Sensibilidad	-117 dBm o BER de 10-5
Masa	100 g
Longitud	95.9 mm
Ancho	90.2 mm

Tabla 3: Parámetros del transceptor.
Fuente: Elaboración propia.

Transpondedor: Es esencial para las comunicaciones satelitales, permite la transferencia bidireccional de información, recepción, amplificación y retransmisión de señales desde y hacia la Tierra; cabe destacar que el transpondedor de marca RADIOSAT permite ofrecer un rango de bandas duales (Tabla 4).

Parámetro	Descripción
Banda de frecuencia uplink	144 a 148MHz
Banda de frecuencia downlink	400 a 440MHz
Sensibilidad de recepción	< -105 dBm
Ganancia	51.8 dB
Masa	1.2 kg
Dimensiones	1U

Tabla 4: Parámetros del transpondedor.
Fuente: Elaboración propia.

Estación terrena: Es fundamental para rastrear, recibir telemetría, controlar el CubeSat y descargar los datos de la misión. Se ha optado por utilizar kits completos disponibles en el mercado, como el GS-Kit de Alén Space S.L., que incluye todos los subsistemas necesarios (Tabla 5).

Parámetro	Descripción
LNA UHF-400 (amplificador de bajo ruido)	
Rango de frecuencia RX	400 a 402 MHz
Ganancia	22 dB
Figura de ruido	0.9 dB
Pérdida de inserción	0.15 dB
Antena TX	
Tipo	Yagi
Banda de frecuencia	395-405 MHz
Ganancia	16.2 dB
Ancho de haz	30°
Tamaño antena	3.58 m
Polarización	Circular
Antena RX	
Tipo	Yagi
Banda de frecuencia	140 - 180 MHz
Potencia máx de tx	+47 dBm
Ganancia	12.64 dB
Eficiencia	81%
Ancho de haz	47°
Tamaño	1.46 m
Polarización	Circular

Tabla 5: Parámetros de la estación terrena.
Fuente: Elaboración propia.



Cálculo del balance de potencia

Como método cuantitativo para evaluar el rendimiento del sistema de comunicaciones, se realizó un análisis de balance de potencia teórico, utilizando las correspondientes fórmulas para la relación C/N0, pérdida de desapuntamiento, potencia isotrópica radiada efectiva baja, ganancia de la antena del satélite y pérdida de espacio libre.

$$\left(\frac{C}{N_0}\right) = PIRE_{asc} - L_{prop_asc} + \left(\frac{G}{T}\right)_{sat} - 10 \log \log k \text{ [dB Hz]} \quad (1)$$

Donde:

$$L_{\alpha_asc} = 12 \left(\frac{\alpha_{asc}}{\theta_{3dB_et}} \right)^2 \text{ [dB]} \quad (2)$$

$$PIRE_{asc} = 10 \log \log P_{T_et} + G_{et} - L_{con_et} - BO_{et} - L_{\alpha_asc} \quad (3)$$

$$G_{sat} = G_{sat_max} - L_{\alpha_desc} - L_{con_sat} - L_{pol} \quad (4)$$

$$L_{fs} = 92.44 + 20 \log \log f + 20 \log \log d \quad (5)$$

Estas ecuaciones siguen los modelos establecidos en la literatura técnica sobre comunicaciones satelitales (Pratt et al., 2019; Richharia, 2017).

59

Además, al calcular la pérdida de señal, es importante considerar la dirección vertical de incidencia de la señal desde el espacio hacia la Tierra, según la Recomendación ITU-R P.676-11 (ITU, 2019), se deben aplicar métodos aproximados que contemplen estos factores. En este análisis, se utilizaron valores de pérdida por absorción atmosférica de 0.3 dB y atenuación por lluvias de 0 dB.

Diseño y configuración de parámetros en el software System Tools Kit (STK)

Una vez seleccionados los componentes del nanosatélite y la estación terrena, se ingresa al STK y se configura el software para visualizar el enlace de comunicación según el escenario establecido (ANSYS, sf), como se indica a continuación:

- **Estación terrena:** Se define el área de estudio donde se establece la estación terrena, denominada ET_EPN, la cual integrará las especificaciones del equipo GS-Kit de Alén Space S.L., previamente detalladas para el receptor, transmisor y antenas. Se incluyen los efectos de la refracción troposférica utilizando el modelo "ITU-R P.834-4" (ITU, 2003) (Figura 1).
- **Satélite:** Se definen las propiedades de un satélite tipo CubeSat de 1U, denominado PROT_EPN, el cual orbita en una trayectoria circular a una altura típica de la órbita LEO. El satélite está equipado con un sensor que considera los efectos atmosféricos, como lluvia y absorción atmosférica, con la finalidad de asegurar que los resultados sean lo más realistas posible. Los componentes del satélite se configuran de acuerdo con lo detallado en las Tablas 2, 3 y 4 (Figura 2).

Una vez configurados todos los equipos de transmisión y recepción, se muestra en el "Object Browser" la jerarquía de los elementos del enlace (Figura 3).

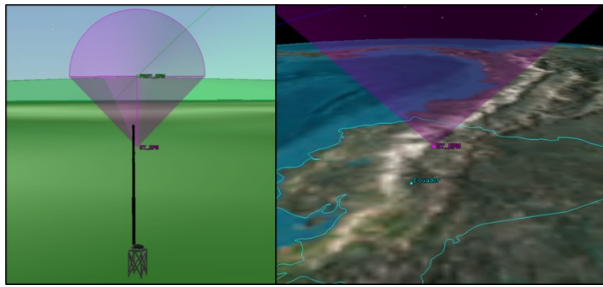


Figura 1: Estación terrena ET_EPN configurada.
Fuente: Software System Tools Kit (STK). (ANSYS, sf)

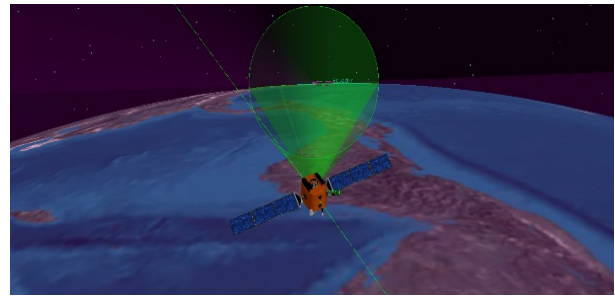


Figura 2: Estación terrena ET_EPN configurada.
Fuente: Software System Tools Kit (STK). (ANSYS, sf)

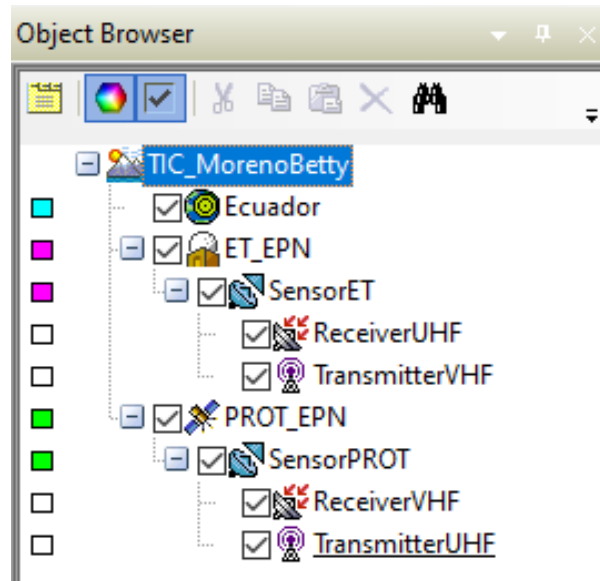


Figura 3: Objetos dentro del modelo de enlace satelital.
Fuente: Software System Tools Kit (STK). (ANSYS, sf)

RESULTADOS

Acceso en enlace de subida o ascendente (Uplink VHF 145.925 MHz)

Al generar un acceso entre el transmisor de la estación terrena ET_EPN y el receptor del satélite PROT_EPN, se obtiene un reporte que muestra los tiempos de inicio, fin y duración de los periodos con línea de vista en un intervalo de 24 horas (Figura 4).

TransmitterVHF-To-ReceiverVHF - Rx-estacion-To-TX-Sat				
Access	Start Time (UTCG)		Stop Time (UTCG)	Duration (sec)
1	28 Jun 2024	19:30:13.418	28 Jun 2024 19:35:54.782	341.364
2	28 Jun 2024	21:19:49.576	28 Jun 2024 21:39:19.170	1169.593
3	28 Jun 2024	23:14:42.118	28 Jun 2024 23:35:06.531	1224.413
4	29 Jun 2024	01:14:54.272	29 Jun 2024 01:27:00.460	726.188
5	29 Jun 2024	07:20:08.434	29 Jun 2024 07:26:38.250	389.815
6	29 Jun 2024	09:10:06.783	29 Jun 2024 09:29:40.545	1173.762
7	29 Jun 2024	11:05:02.664	29 Jun 2024 11:25:24.643	1221.979
8	29 Jun 2024	13:05:23.124	29 Jun 2024 13:17:09.984	706.861
Global Statistics				
Min Duration	1	28 Jun 2024 19:30:13.418	28 Jun 2024 19:35:54.782	341.364
Max Duration	3	28 Jun 2024 23:14:42.118	28 Jun 2024 23:35:06.531	1224.413
Mean Duration				869.247
Total Duration				6953.975

Figura 4: Accesos en 24 horas entre TX de ET_EPN a RX de PROT_EPN.
Fuente: Software System Tools Kit (ANSYS, sf)



Además, se puede observar en tiempo real cada uno de los accesos que tiene el enlace diseñado mediante los visualizadores 2D y 3D (Figura 5).

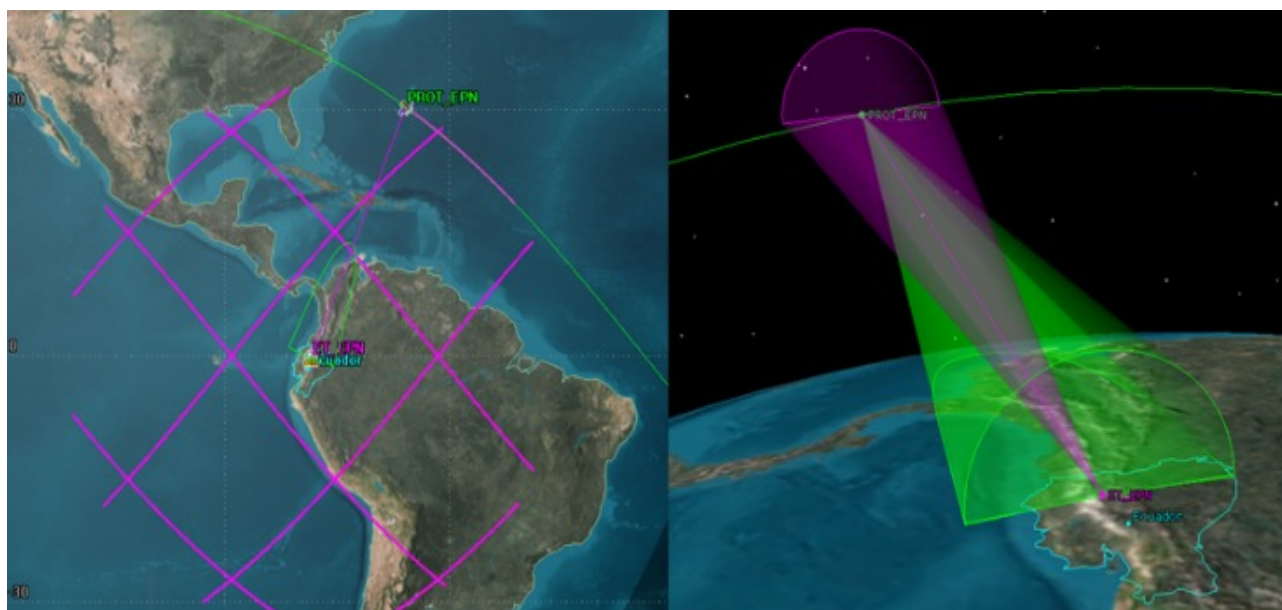


Figura 5: Visualización entre TX de ET_EPN a RX de PROT_EPN.
Fuente: Software System Tools Kit (ANSYS, sf)

Acceso en enlace de bajada o descendente (Downlink UHF 437.025 MHz)

Al generar un acceso entre el transmisor del satélite PROT_EPN y el receptor de la estación terrena ET_EPN, se obtiene la misma cantidad de períodos de tiempo de enlace que en el análisis uplink (Figura 6).

TransmitterUHF-To-ReceiverUHF - Rx-estacion-To-TX-Sat				
Access	Start Time (UTCG)		Stop Time (UTCG)	Duration (sec)
1	28 Jun 2024	19:30:13.425	28 Jun 2024 19:35:54.800	341.375
2	28 Jun 2024	21:19:49.590	28 Jun 2024 21:39:19.188	1169.598
3	28 Jun 2024	23:14:42.136	28 Jun 2024 23:35:06.545	1224.408
4	29 Jun 2024	01:14:54.286	29 Jun 2024 01:27:00.474	726.188
5	29 Jun 2024	07:20:08.448	29 Jun 2024 07:26:38.268	389.820
6	29 Jun 2024	09:10:06.797	29 Jun 2024 09:29:40.563	1173.766
7	29 Jun 2024	11:05:02.678	29 Jun 2024 11:25:24.661	1221.984
8	29 Jun 2024	13:05:23.137	29 Jun 2024 13:17:09.998	706.861
Global Statistics				
Min Duration	1	28 Jun 2024 19:30:13.425	28 Jun 2024 19:35:54.800	341.375
Max Duration	3	28 Jun 2024 23:14:42.136	28 Jun 2024 23:35:06.545	1224.408
Mean Duration				869.250
Total Duration				6954.000

Figura 6: Accesos en 24 horas entre TX de PROT_EPN a RX de ET_EPN.
Fuente: Software System Tools Kit (ANSYS, sf)

Balance de potencia para enlace de subida o ascendente (Uplink VHF 145.925 MHz)

Al generar un reporte de Link budget entre el transmisor de la estación terrena ET_EPN y el receptor del satélite PROT_EPN, se obtienen diez parámetros de rendimiento de enlace que pueden estar detallados en intervalos de cinco minutos.



(UTCg)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)
21:19:49.576	26.560	0.145928	-162.300	-157.562133
21:24:49.000	26.560	0.145927	-117.634	-112.895755
21:29:49.000	26.560	0.145925	-115.007	-110.268394
21:34:49.000	26.560	0.145923	-118.008	-113.269379
21:39:19.170	26.560	0.145922	-162.300	-157.561639

g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
-24.623828	82.474899	32000.000	7.4234	10.4337	1.293787e-006
-24.623860	127.141245	32000.000	52.0897	55.1000	1.000000e-030
-24.623988	129.768479	32000.000	54.7170	57.7273	1.000000e-030
-24.624106	126.767375	32000.000	51.7159	54.7262	1.000000e-030
-24.624133	82.475088	32000.000	7.4236	10.4339	1.293139e-006

Figura 7: Reporte presupuesto enlace TX de ET_EPN a RX de PROT_EPN.
Fuente: Software System Tools Kit (ANSYS, sf)

Balance de potencia para enlace de bajada o descendente (Downlink UHF 437.025 MHz)

Al generar un reporte de Link budget entre el transmisor del satélite PROT_EPN y el receptor de la estación ET_EPN, se determinan diez parámetros de rendimiento de enlace que pueden estar detallados en intervalos de cinco minutos.

(UTCg)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)
21:19:49.590	42.800	0.437033	-116.887	-102.620806
21:24:49.000	42.800	0.437031	-110.948	-96.681743
21:29:49.000	42.800	0.437025	-108.307	-94.041558
21:34:49.000	42.800	0.437019	-111.324	-97.057831
21:39:19.188	42.800	0.437017	-116.888	-102.622072

g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
-11.309472	100.403050	32000.000	25.3516	28.3619	1.000000e-030
-11.309504	106.342082	32000.000	31.2906	34.3009	1.000000e-030
-11.309631	108.982139	32000.000	33.9306	36.9409	1.000000e-030
-11.309750	105.965748	32000.000	30.9142	33.9245	1.000000e-030
-11.309777	100.401480	32000.000	25.3500	28.3603	1.000000e-030

Figura 8: Reporte presupuesto enlace TX de ET_EPN a RX de PROT_EPN.
Fuente: Software System Tools Kit (ANSYS, sf)

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Acorde a lo visualizado en la Figura 4, el reporte de accesos muestra ocho periodos de enlace en un intervalo de 24 horas. Los tiempos de inicio y fin indican que los enlaces ocurrieron en diferentes momentos del día con duraciones que varían desde 341.364 segundos (aprox. 5.7 minutos) hasta un máximo de 1224.413 segundos (aprox. 20.4 minutos). La duración promedio de los accesos es de 869.247 segundos (aprox. 14.4 minutos).

Esto indica que el sistema de comunicación tiene múltiples ventanas de enlace en un periodo de 24 horas con una variabilidad significativa en sus duraciones, lo cual puede ayudar a planificar y optimizar la transferencia de datos.



Acorde a lo visualizado en la Figura 6, el reporte establece los mismos tiempos en cada ventana de acceso que el enlace de subida, con mínimas variaciones en los segundos de duración de cada uno. Esto considerando que ambos enlaces, el de subida y el de bajada, operan en bandas de frecuencias diferentes pero cercanas (VHF y UHF).

En referencia al balance de potencia para enlace de subida o ascendente (Uplink VHF 145.925 MHz) se ha realizado el respectivo análisis al reporte específico obtenido (Tabla 6).

Parámetro	Análisis
EIRP	Valor constante de 26.560 dBW. Un EIRP constante como este sugiere que la estación terrena transmite una señal potente de manera estable.
Frecuencia Recibida	Oscila ligeramente alrededor de 0.145922 GHz, con variaciones de alrededor de 0.000006 GHz. Esta mínima variación sugiere que el sistema no debería tener problemas para mantener la comunicación.
Potencia Isotrópica Recibida	Varía entre -115.007 dBW y -162.300 dBW. Las variaciones en este valor indican fluctuaciones en la calidad del enlace, posiblemente debido a cambios en la atmósfera o alineación.
G/T (dB/K)	Valores alrededor de -24.6238 dB/K. Un valor negativo es común y refleja la relación entre la ganancia de la antena y la temperatura del sistema. Al tener valores consistentes indican estabilidad en la calidad del sistema de recepción.
C/N0 (dB*Hz)	Varía entre 82.475088 dBHz y 129.768479 dBHz. Al tener valores altos de C/N0 indican una señal fuerte y clara: una buena calidad de comunicación.
C/N (dB)	Varía entre 7.4234 dB y 54.7170 dB. Al tener grandes variaciones, lo que sugiere fluctuaciones en la calidad del enlace debido a interferencias o condiciones cambiantes en el entorno de tx.
Eb/N0 (dB)	Varía entre 10.4339 dB y 57.7273 dB. Al tener valores altos se tiene una buena eficiencia en la transmisión de datos.
BER (Bit Error Rate)	Varía entre 1.000000e-030 y 1.293139e-006. Al iniciar el acceso, se registra un valor alto, lo que indica problemas de integridad. Sin embargo, durante el resto del período de acceso, el BER es extremadamente bajo, lo que indica que la señal se recuperó y la tx se realizó con casi ningún error.

Tabla 6: Análisis de reporte de presupuesto de enlace i.
Fuente: Elaboración propia.

En referencia al balance de potencia para enlace de bajada o descendente (Downlink UHF 437.025 MHz) se ha realizado el respectivo análisis al reporte específico obtenido (Tabla 7).



Parámetro	Análisis
EIRP	Valor constante de 42.800 dBW. Un EIRP alto como este sugiere una fuerte señal transmitida desde el satélite.
Frecuencia Recibida	Oscila ligeramente alrededor de 0.437 GHz, con variaciones de 16 kHz, que pueden ser causadas por efectos Doppler debido al movimiento relativo entre el satélite y la estación terrena.
Potencia Isotrópica Recibida	Varía entre -108.307 dBW y -116.888 dBW. Las variaciones en este valor pueden ser resultado de fluctuaciones en las condiciones del canal de comunicación, como la atenuación atmosférica o la alineación del satélite y la estación terrena.
G/T (dB/K)	Valores alrededor de -11.309 dB/K. Un valor negativo es común y refleja la relación entre la ganancia de la antena y la temperatura del sistema. Al tener valores consistentes indican estabilidad en la calidad del sistema de recepción.
C/N0 (dB*Hz)	Varía entre 100.403050 dBHz y 108.982139 dBHz. Al tener valores altos de C/N0 indican una señal fuerte y clara, esencial para una buena calidad de comunicación.
C/N (dB)	Varía entre 25.3516 dB y 33.9306 dB. Al tener valores altos se indica una mejor calidad del enlace, con menos interferencia de ruido.
Eb/N0 (dB)	Varía entre 28.3619 dB y 36.9409 dB. Al tener valores altos se tiene una buena eficiencia en la transmisión de datos.
BER (Bit Error Rate)	Todos los valores son 1.000000e-030. Al tener un BER extremadamente bajo (cerca de cero) se entiende que casi no hay errores en la transmisión, lo cual es excelente para la integridad de los datos.

Tabla 7: Análisis de reporte de presupuesto de enlace ii.
Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

- El presente estudio abarca un análisis de las características técnicas y los requisitos de comunicación de un nanosatélite, clase CubeSat, lo cual permitió identificar las especificaciones necesarias para el diseño del sistema de enlace. Además, se realizaron simulaciones detalladas del enlace de comunicaciones bajo diferentes condiciones operativas, incorporando

modelos de lluvia, absorción atmosférica, efectos de refracción troposférica, entre otros, dentro del software System Tools Kit (STK).

Las simulaciones realizadas permitieron evaluar el rendimiento del sistema en condiciones atmosféricas reales y ajustar los parámetros con la finalidad de optimizar la comunicación. Estas igualmente confirmaron la robustez y



eficacia del diseño propuesto, mostrando que el sistema de comunicaciones puede operar confiablemente en diversas condiciones.

Los valores mínimos obtenidos de C/N0 de 82.475088 dBHz y 100.403050 dBHz para los enlaces de uplink y downlink respectivamente, permiten respaldar la calidad del sistema. Los valores de BER fueron extremadamente bajos, indicando una transmisión casi sin errores. Los valores mínimos de Eb/N0, 10.4339 dB y 28.3619 dB, demostraron la eficiencia en la transmisión de datos destacando el excelente rendimiento del sistema, incluso en las peores condiciones por la elección de equipos con alta calidad técnica.

Los resultados obtenidos abren nuevas posibilidades de investigación para optimizar los sistemas de comunicación de satélites pequeños, las futuras investigaciones podrían hacer uso de inteligencia artificial para mejorar la eficiencia del enlace o explorar bandas de frecuencia como la S, aplicando esto a misiones de monitoreo ambiental, telecomunicaciones y educación. Con este objetivo, es esencial realizar ajustes periódicos en los parámetros basados en condiciones operativas actuales.

BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Espacial Civil Ecuatoriana (EXA). (2013). NEE-01 PEGASO: El Primer Satélite Ecuatoriano. Recuperado de <http://pegaso.exa.ec/>
- Ansys. (s.f.). Ansys STK | Software de Ingeniería de Misiones Digitales. Recuperado de <https://www.ansys.com/products/missions/ansys-stk>
- Eason, G., Noble, B., & Sneddon, I. N. (1955). On certain integrals of Lipschitz-Hankel type involving products of Bessel functions. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A*, Mathematical and Physical Sciences, 247(935), 529-551.
- Freire, F., Shilenkov, E., Frolov, S., Titenko, E. y Shitov, A. (2020) «Modelo matemático de las anomalías magnéticas de la tierra», *Rev. Téc. Fac. Ing. Univ. Zulia*, 43(1), pp. 35-39. Disponible en: <https://n9.cl/g6wee>
- ITU. (2019). Recommendation ITU-R P.676-11: Attenuation by atmospheric gases. International Telecommunication Union.
- ITU. (2003). ITU-R P.834-4: Effects of tropospheric refraction on radiowave propagation standard. International Telecommunication Union.
- Jacobs, I. S. (1963). Fine particles, thin films and exchange anisotropy. *Magnetism*, 271-350.
- Maxwell, J. C. (1892). A treatise on electricity and magnetism (Vol. 2). Clarendon press.
- Pratt, T., & Allnutt, J. (2019). *Satellite communications* (3rd ed.). Wiley.
- Puig-Suari, J., Turner, C., & Twiggs, R. (2001). CubeSat: The development and launch support infrastructure for eighteen different satellite customers on one launch. 15th Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites, SSC01-II-5. Recuperado de <https://acortar.link/qXagKY>
- Richharia, M. (2017). *Satellite communication systems* (2nd ed.). Palgrave Macmillan.
- Yorozu, T., Hirano, M., Oka, K., & Tagawa, Y. (1987). Electron spectroscopy studies on magneto-optical media and plastic substrate interface. *IEEE translation journal on magnetism in Japan*, 2(8), 740-741.

Evaluación de imágenes satelitales ópticas monoscópicas: Características visuales para la generación de cartografía escala 1: 5 000 mediante digitalización.

EVALUATION OF MONOSCOPIC OPTICAL SATELLITE IMAGES: VISUAL CHARACTERISTICS FOR 1:5 000 SCALE CARTOGRAPHY GENERATION THROUGH DIGITIZATION.

Copo, Katherine.
katherine.copo@geograficomilitar.gob.ec

RESUMEN:

Este estudio analiza la viabilidad del uso de imágenes satelitales ópticas monoscópicas para generación de cartografía base escala 1:5 000 mediante digitalización 2D, como alternativa a la fotografía aérea en zonas donde su captura ha resultado inviable. La metodología incluyó la evaluación de nitidez y claridad de imágenes obtenidas a partir de diversos sensores y resoluciones espaciales. De igual manera, se determinó que un intervalo de zoom de 1:500 en adelante es óptimo para digitalización, pues preserva el nivel de detalle sin exceder el error permitido de 1,5m. Además, se verificó que imágenes multispectrales con resolución menor o igual a 50cm, sometidas a refinamiento pancromático, son adecuadas para digitalización cartográfica en diversas condiciones, incluyendo zonas urbanas densamente edificadas, áreas rurales y sectores con amplia cobertura vegetal. Los resultados obtenidos contribuyen a validar nuevas metodologías para la generación de cartografía a partir de imágenes satelitales, asegurando el cumplimiento de los estándares de resolución espacial y precisión requeridos para escala 1:5 000.

Palabras clave: Imágenes satelitales, características visuales, cartografía, digitalización 2D.

ABSTRACT:

This study analyzes the feasibility of using monoscopic optical satellite images for base cartography generation at a 1:5 000 scale through 2D digitization, as an alternative to aerial photography in areas where data capture has been unfeasible. The methodology included the evaluation of image sharpness and clarity obtained from various sensors and spatial resolutions. Likewise, it was determined that a zoom range of 1:500 or higher is optimal for digitization, as it preserves the level of detail without exceeding the permitted error of 1.5m. Additionally, it was verified that multispectral images with a resolution of 50cm or lower, subjected to panchromatic sharpening, are suitable for cartographic digitization under various conditions, including densely built urban areas, rural regions, and areas with extensive vegetation coverage. The obtained results contribute to validating new methodologies for cartographic generation using satellite imagery, ensuring compliance with the spatial resolution and accuracy standards required for a 1:5 000 scale.

Keywords: Satellite images, visual features, cartography, 2D digitization.



INTRODUCCIÓN

La generación de cartografía en el Instituto Geográfico Militar (IGM) ha estado basada en el uso de fotografías aéreas como principal insumo para la producción de modelos digitales de elevación, ortofotos y productos cartográficos. Sin embargo, los avances tecnológicos en la adquisición de datos geoespaciales han permitido la incorporación de imágenes satelitales como una alternativa viable para el mapeo de la superficie terrestre.

En los últimos años, la falta de aeronaves y sensores aerotransportados en el IGM ha llevado a adoptar metodologías alternativas que permitan obtener información geográfica precisa mediante imágenes satelitales, recurso ampliamente utilizado por diversas instituciones generadoras de cartografía temática. En este contexto, surge la necesidad de evaluar la viabilidad del uso de imágenes satelitales ópticas monoscópicas en la generación de cartografía a escala 1:5 000, especialmente en zonas complejas donde la captura de datos mediante fotografía aérea ha resultado inviable, mismas que abarcan 30 000 km² aproximadamente.

El objetivo de este estudio es analizar la calidad visual de estas imágenes satelitales, con el fin de determinar su idoneidad para procesos de digitalización cartográfica. Para ello, se estableció un intervalo de zoom adecuado para digitalización 2D, permitiendo evaluar el nivel de nitidez y claridad de dichas imágenes satelitales en la representación, identificación y delimitación de elementos urbanos, rurales y naturales. Este análisis busca validar nuevas metodologías para la generación de cartografía a partir de imágenes satelitales, garantizando que cumplan con los estándares de resolución espacial y precisión requeridos para la escala 1:5 000.

Este artículo presenta los detalles del desarrollo de esta evaluación, los criterios técnicos empleados y el impacto esperado de su aplicación en el desarrollo cartográfico del IGM.

DESARROLLO

Para este estudio se evaluaron imágenes satelitales de alta y muy alta resolución provenientes de distintos sensores ópticos con resoluciones espaciales entre 30cm y 1,50m (Tabla 1).

SENSOR	RES. ESPECTRAL	RES. ESPACIAL	RES. TEMPORAL	RES. RADIOMÉTR.	PRECISIÓN	CARACTERÍST. PRODUCTO
Spot-7	MS:	MS: 6m PAN: 1,5m	-----	12 bits	-----	• Sector Montalvo • Fecha captura 07/oct/2020 • Ortho (automático) • Producto 1,50m pansharpened • Nubosidad <15%
	B 0,455-0,525μm					
	G 0,530-0,590μm					
	R 0,625-0,695μm					
	NIR 0,760-0,890μm					
	PAN: 0,450-0,745μm					
Skysat	MS:	MS: 2m PAN: 0,5m	-----	-----	Geométrica <10mRMSE	• Sectores Quito y Chone • Fecha captura 20/nov/2016 • UIO: 08/mar/2023 • CH: 08/mar/2023 • Ortorectificación automática • Producto 0,5m pansharpened • Nubosidad <15%
	B 0,450-0,515μm					
	G 0,515-0,595μm					
	R 0,605-0,695μm					
	NIR 0,740-0,900μm					
	PAN: 0,450-0,900μm					



GeoEye-01	MS:		MS: 1,84m PAN: 0,5m	-----	8 a 16 bits	Horizontal de 3m a 5m sin GCP CE90	• Sectores Arenillas y Lomas de Sargentillo • Fecha captura • ARE: 20/nov/2021 • LSG: 12/abr/2021 • Ortorectificada • Producto 0,5m pansharpened • Nubosidad <10%
	B	0,450-0,510µm					
	G	0,520-0,580µm					
	R	0,655-0,690µm					
	NIR	0,780-0,920µm					
	PAN:						

Pléiades Neo	MS:		MS: 1,20m PAN: 0,3m	24 a 12 horas	16 bits	No GCP: 3,5m GCP: 0,9m CE90	• Sector Huaca • Fecha captura • 27/ago/2023 • Ortho (automático) y Reflectance • Producto 0,3m pansharpened • Ángulo incidencia 14° • Nubosidad 0%
	Deep Blue	0,40-0,45μm					
	B	0,45-0,52μm					
	G	0,53-0,59μm					
	R	0,62-0,69μm					
	Red Edge	0,70-0,75μm					
	NIR	0,77-0,88μm					
	PAN: 0,45-0,80μm						

Pléiades	MS:		MS: 2m PAN: 0,5m	1 día	16 bits	No GCP:5m GCP: 1,5m CE90	• Sector Cotopaxi norte • Fecha captura 04/ene/2023 • Ortho (automático) • Producto 0,5m pansharpened • Ángulo incidencia 15° • Nubosidad 0%
	B	0,43-0,55μm					
	G	0,50-0,62μm					
	R	0,59-0,71μm					
	NIR	0,74-0,94μm					
	PAN: 0,47-0,83μm						

Earth Scanner PMSL4	MS:		MS: 2m PAN: 0,5m	2 días	Nativa 12 bits Procesada 16 bits	Horizontal RMSE <8,5m CE90	• Sector Guayas-Santa Elena • Fecha captura 30/jul/2023 • Corrección radiométrica, atmosférica y ortorectificada • Producto 0,5m pansharpened • Ángulo incidencia 3° • Nubosidad <0%
	B	0,450-0,510μm					
	G	0,510-0,580μm					
	R	0,630-0,690μm					
	NIR1	0,770-0,895μm					
	PAN: 0,450-0,800μm						

Tabla 1. Parámetros técnicos de imágenes satelitales de alta y muy alta resolución.
Fuente: Elaboración propia, 2025.



Inicialmente, se realizó la evaluación de visualización, nivel de detalle y nitidez de las imágenes satelitales para generación de cartografía 1:5 000 mediante digitalización. Para esto, se tomaron en cuenta las Especificaciones Técnicas para Exactitud Posicional de Productos Cartográficos (Instituto Geográfico Militar, 2023), en donde se menciona que, respecto a la exactitud posicional para cartografía, el IGM ha adoptado estándares (ϵ) provenientes de documentos técnicos del (Instituto Panamericano de Geografía e Historia, 1978), (National Standard for Spatial Data Accuracy, 1998) y (Organización Internacional de Normalización, 2002). Así, la exactitud para la componente horizontal (1) y la precisión vertical (2) se expresan como:

$$(1) E_{Ph} = M \cdot \epsilon ; (2) P_v = CI \cdot 1/4$$

Donde:

E_{Ph}: Exactitud posicional horizontal (m)

M: Denominador de la escala dimensionado (1mm de la escala del mapa en terreno)

ϵ : Factor de Graficismo (constante 0,30 adoptada por el IGM), es el valor mínimo que una distancia real puede ser representada en un mapa en una escala determinada. En otras palabras, cualquier valor por debajo de esta dimensión, será considerada como despreciable a la escala de representación.

P_v: Precisión Vertical (m), este valor está estrictamente relacionado a la precisión de trazo de una curva de nivel, así como el valor de la exactitud posicional de la componente vertical que se encuentra especificado en el documento

Fiscalización de la Exactitud Posicional en la Componente Vertical en Productos Cartográficos (Instituto Geográfico Militar, 2024).

CI: Contour Interval o Intervalo de curva de nivel ICN (m)

En consecuencia, la tolerancia será el error convencionalmente aceptado, más no un valor promedio. Por ende, no debe considerarse a este valor como un error o una dispersión, sino como un intervalo cuyo límite estará descrito por las ecuaciones (1) y (2), así como la proporción de la escala en la que se desee representar la cartografía (Tabla 2).

Acorde a lo expuesto anteriormente, el error máximo permisible para una escala 1:5 000 es 1,50m al producto final. Por lo tanto, dicho valor debe estar distribuido de manera homogénea, según la propagación de errores (Zúñiga Román, ND), en los tres procesos que intervienen para la generación de cartografía, es decir: Geodesia (toma de puntos GNSS - 50cm máx.), Captura de Datos Geoespaciales (ajuste de ortofotos con puntos de control - 50cm máx.) y Cartográfico (error de trazo - 50cm máx.). En base al error máximo de trazo, y con el objetivo de obtener un zoom de digitalización adecuado, se generó un área de influencia de 0,5m alrededor de las diferentes geometrías (punto, línea y polígono) de los elementos de cartografía base. A continuación, se analizaron cada una de las geometrías y sus correspondientes áreas de influencia, dentro de un intervalo de zoom en la ortofoto que permita discernir claramente el límite y ubicación de cada elemento sin superar dicho error, obteniendo un intervalo de escala de trabajo de 1:300 a 1:500 (Figura 1).

Escala	M (m)	E _{Ph} (m)	ICN (m)	PV (m)*
1:1 000	1	0,30	1	0,25
1:5 000	5	1,50	5	1,25
1:25 000	25	7,50	25	6,25
1:50 000	50	15	50	12,50
1:100 000	100	30	100	25
1:250 000	250	75	250	62,50

Valor adoptado por el IGM ($\epsilon = 0,30$)

*Para el caso de curvas de nivel, estas deberán ser obtenidas mediante restitución fotogramétrica o métodos similares para alcanzar la exactitud.

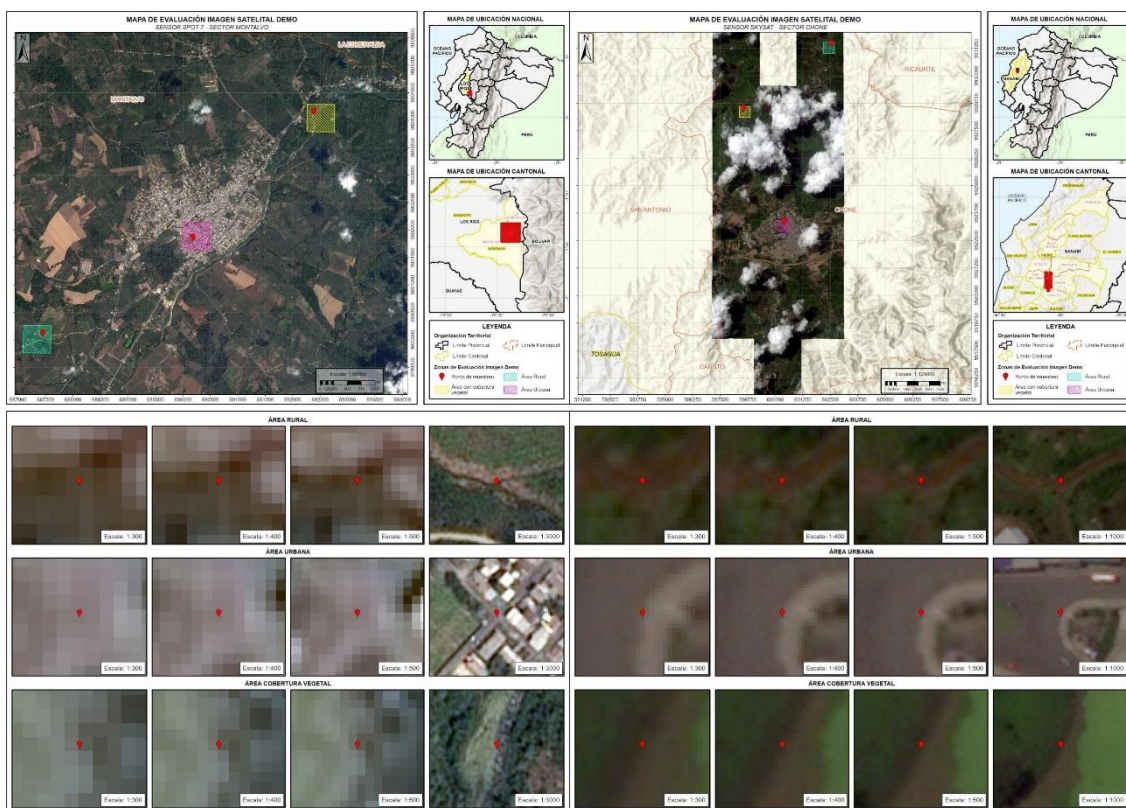
Tabla 2. Cuadro ejemplo de exactitud posicional horizontal y precisión vertical para diversas escalas, en función a las ecuaciones (1) y (2).

Fuente: (Instituto Geográfico Militar, 2023)



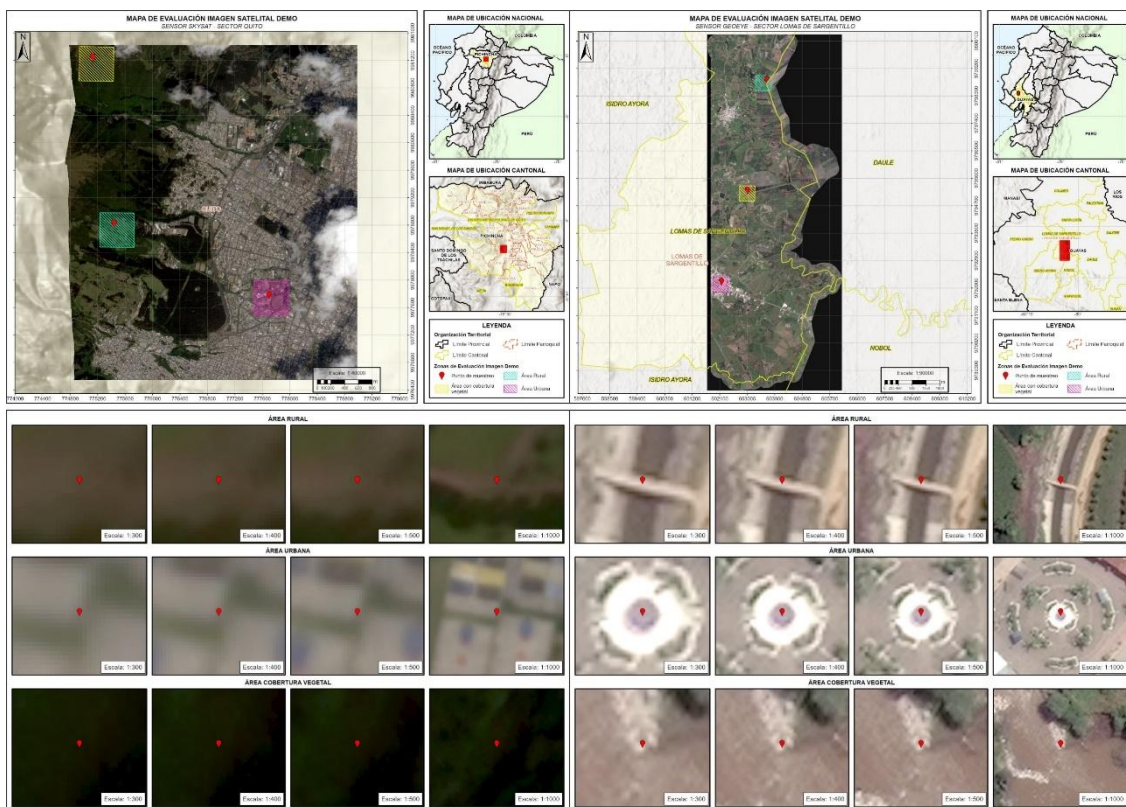
Figura 1. Visualización de áreas de influencia (0,5m) de elementos punto, línea y polígono a escala de trabajo 1:300, 1:400 y 1:500.
Fuente: Elaboración propia, 2025.

Con la versatilidad de zoom en la ortofoto, se pudo confirmar que no pierden el nivel de detalle, y el discernimiento y trazo de elementos se mantiene dentro del margen de error permitido. Por consiguiente, se procedió a evaluar las imágenes satelitales utilizando este rango de escala de trabajo para digitalización 2D (Figura 2).



a) Sensor Spot-7 Montalvo (Los Ríos)

b) Sensor SkysatChone (Manabí)



c) Sensor SkysatQuito (Pichincha)

d) Sensor GeoEye-01 Lomas de Sargentillo (Guayas)

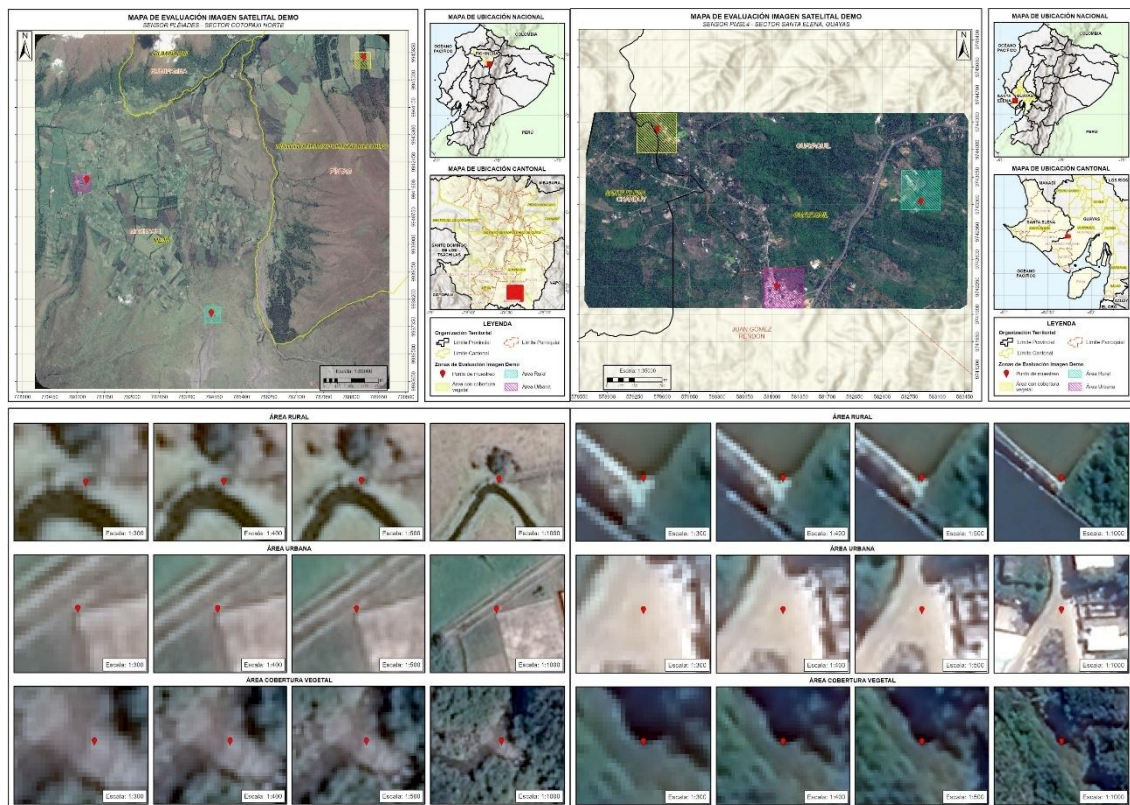
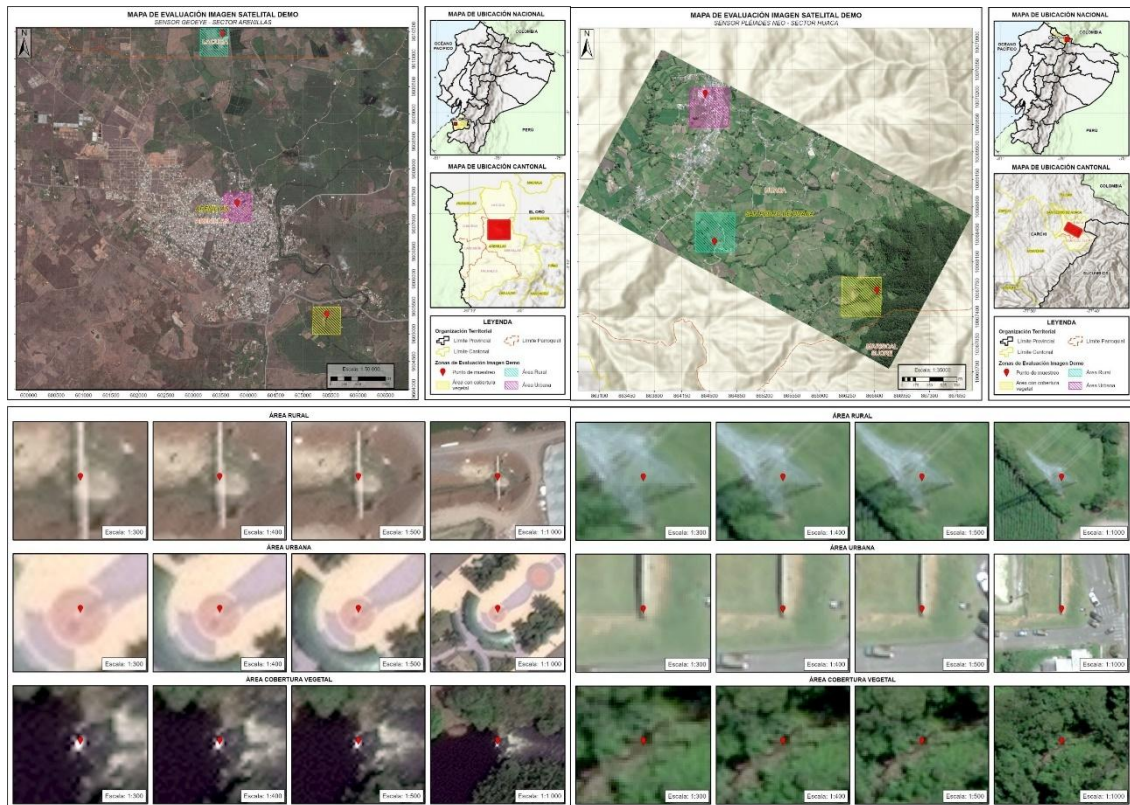


Figura 2. Evaluación de imágenes satelitales con el intervalo de escala de trabajo para digitalización 2D.
Fuente: Elaboración propia, 2025.



Al evaluar la imagen del sensor Spot-7 correspondiente al sector de Montalvo (Figura 2a), se observó que al trabajar con las escalas definidas para digitalización 2D, tanto en el área rural, urbana y aquella con cobertura vegetal, se pierde la capacidad de visualizar e identificar los elementos planimétricos. Sin embargo, al alejar la imagen y aplicar un zoom de 1:3 000, se recupera el nivel de detalle necesario para discernir los elementos con claridad.

En cuanto a las imágenes del sensor Skysat de los sectores de Chone y Quito (Figuras 2b y 2c), se percibe que, al trabajar con el intervalo de zoom definido para digitalización en las tres áreas de evaluación, solo la imagen de Chone permite identificar los elementos planimétricos. En cambio, en la imagen correspondiente a Quito, los píxeles aparecen borrosos, lo que impide discernir cualquier elemento. En este caso, fue necesario alejar la imagen a un zoom de 1:1 000 para recuperar el nivel de detalle.

Por otro lado, al evaluar las imágenes del sensor GeoEye-01 de los sectores Lomas de Sargentillo y Arenillas (Figuras 2d y 2e), se distingue que ambas permiten identificar los elementos planimétricos sin mayor dificultad, dentro de las escalas de trabajo definidas para digitalización. Esto indica que cuentan con el nivel de detalle necesario para ser utilizadas como insumo en la generación de cartografía escala 1:5 000.

A continuación, se analizaron las imágenes de los sensores Pléiades y EarthScanner-PMSL4 de los sectores de Cotopaxi y Santa Elena-Guayas, respectivamente (Figuras 2g y 2h), donde se advierte que los elementos planimétricos pueden reconocerse fácilmente empleando las escalas definidas para digitalización 2D en las tres áreas de evaluación.

Sin embargo, la imagen del sensor Pléiades Neo del sector Huaca (Figura 2f), presenta un nivel de detalle significativamente superior dentro de las escalas definidas para digitalización, tanto en el área rural, urbana como en la zona con cobertura vegetal.

Finalmente, se contrastaron los sensores con la misma resolución en las tres áreas de evaluación a un zoom de 1:1 000 (Figura 3),

con el objetivo de identificar diferencias y fortalezas entre ellos. Es así que, el sensor GeoEye-01 ofrece el mejor nivel de detalle y nitidez para discernir, delimitar y ubicar los elementos planimétricos. Por el contrario, en el sensor Skysat los píxeles aparecen borrosos dificultando la visualización lo que impide discernir cualquier elemento.

CONCLUSIONES

- En relación al proceso de evaluación de las características espectrales de las imágenes satelitales demo, se concluye que, para ser consideradas insumo en la generación de productos cartográficos escala 1:5 000 mediante digitalización 2D, es imprescindible que sean multiespectrales (MS) con al menos tres bandas. Esto se debe a que la combinación de bandas permite resaltar elementos específicos, como cuerpos de agua y vegetación, lo que mejora significativamente la capacidad de discernir, delimitar y ubicar los elementos planimétricos.
- De acuerdo con las Especificaciones Técnicas para Exactitud Posicional de Productos Cartográficos (Instituto Geográfico Militar, 2023), que establecen un error máximo de 1,5m en cartografía escala 1:5 000, y conforme al análisis de las diferentes geometrías y sus áreas de influencia, se concluye que el intervalo de zoom adecuado para digitalización 2D es de 1:500 en adelante. Este rango permite conservar el detalle de las imágenes sin pixelarlas, garantizando la correcta delimitación y ubicación de los elementos sin exceder el error máximo de trazo.
- Respecto al intervalo de escala de trabajo determinado para digitalización 2D, que permite el trazo de elementos sin superar el error máximo permitido para escala 1:5 000, se concluye que las imágenes satelitales sometidas a procesos de refinado pancromático o “Pansharpening” para alcanzar una resolución espacial menor o igual a 50cm, son adecuadas para la generación de cartografía base, siempre y cuando se garantice la exactitud posicional horizontal y vertical requerida para esta escala.



Figura 3. Comparación de sensores con resolución 0,5m en áreas de evaluación.
Fuente: Elaboración propia, 2025.



- Las imágenes satelitales evaluadas y entregadas al proceso Cartográfico para realizar las pruebas de generación de cartografía escala 1:5 000 mediante digitalización 2D han sido previamente ortorectificadas utilizando modelos de elevación globales y procesos específicos de cada proveedor. No se realizó ningún ajuste adicional por parte del Instituto Geográfico Militar (IGM).
- La evaluación de las imágenes satelitales demo con resolución espacial entre 30cm y 50cm se enfocó exclusivamente en la calidad visual, sin considerar la exactitud posicional. Esto se debe a que los procesos automáticos de ortorectificación aplicados por cada empresa aseguran precisiones adecuadas para escala 1:10 000 y menores, conforme a lo detallado en la Tabla 1.
- En resumen, la evaluación de la calidad visual de las imágenes satelitales ópticas monoscópicas, considerada como primera fase evaluativa, debe ser complementada con las pruebas de generación de cartografía escala 1:5 000 mediante digitalización 2D que lleva a cabo el Proceso Cartográfico, ya que los resultados obtenidos servirán como base técnica para definir los criterios y especificaciones de las imágenes satelitales idóneas para producción cartográfica.

BIBLIOGRAFÍA

- Instituto Geográfico Militar. (2023). Normalización Técnica Cartográfica.

Obtenido de Geoportal Instituto Geográfico Militar: <https://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/normalizacion-tecnica/>

- Instituto Geográfico Militar. (2024). Normalización Técnica Cartográfica. Obtenido de Geoportal Instituto Geográfico Militar: <https://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/normalizacion-tecnica/>
- Instituto Panamericano de Geografía e Historia. (1978). Especificaciones para mapas topográficos. Panamá: Instituto Panamericano de Geografía e Historia.
- National Standard for Spatial Data Accuracy. (1998). Geospatial Positioning Accuracy Standards. Subcommittee for Base Cartographic Data.
- Organización Internacional de Normalización. (2002). ISO 19113:2002 - Geographic information - Quality principles. Ginebra.
- Zúñiga Román, J. (ND). Técnicas experimentales de Física General: Propagación de Errores. Obtenido de Universitat de València - Departament de Física Atòmica, Molecular i Nuclear: https://www.uv.es/zuniga/3.2_Propagacion_de_errores.pdf

Fortaleciendo la Defensa: Estrategias modernas de seguridad perimetral en la era digital.

STRENGTHENING DEFENSE: MODERN PERIMETER SECURITY STRATEGIES IN THE DIGITAL AGE.

Rosero, Cyntia. - cynthia.rosero@geograficomilitar.gob.ec

Calderón, Geovanna. - geovanna.calderon@geograficomilitar.gob.ec

Ureña, Miguel. - miguel.urena@geograficomilitar.gob.ec

RESUMEN

En una era digital donde la tecnología avanza rápidamente y la generación de información se incrementa de manera constante y progresiva a través de la red, es fundamental establecer estrategias modernas de seguridad perimetral; esto implica la instalación, configuración y mantenimiento de dispositivos de seguridad de red como firewalls, sistemas de detección y prevención de intrusos (IDS/IPS) y gateways de seguridad. Estos dispositivos están diseñados para monitorear, analizar, filtrar y controlar el tráfico de red entrante y saliente, aplicando reglas de seguridad predeterminadas que permiten detectar amenazas, prevenir accesos no autorizados y mitigar ataques cibernéticos. Además, la implementación de protocolos avanzados de autenticación, cifrado de datos y segmentación de redes refuerza aún más la protección de los recursos informáticos. En un entorno donde los ciberataques evolucionan constantemente, garantizar una infraestructura de red segura y estable es esencial para la integridad, disponibilidad y confidencialidad de la información empresarial y personal.

Palabras clave: Red, firewall, malware, infraestructura, endpoint.

ABSTRACT

In a digital era where technology is advancing rapidly and the generation of information is constantly and progressively increasing through the network, it is essential to establish modern perimeter security strategies. This involves the installation, configuration, and maintenance of network security devices such as firewalls, intrusion detection and prevention systems (IDS/IPS), and security gateways. These devices are designed to monitor, analyze, filter, and control incoming and outgoing network traffic, applying predefined security rules that enable threat detection, prevent unauthorized access, and mitigate cyberattacks. Additionally, the implementation of advanced authentication protocols, data encryption, and network segmentation further strengthens the protection of IT resources. In an environment where cyber threats are continuously evolving, ensuring a secure and stable network infrastructure is crucial for the integrity, availability, and confidentiality of both business and personal information.

Keywords: Network, firewall, malware, infrastructure, endpoint.



INTRODUCCIÓN

La implementación de un sistema de seguridad perimetral tiene el objetivo de mejorar la comunicación y la seguridad lógica, lo cual permite monitorear, controlar y proteger el acceso a la red, previniendo posibles ciberataques y asegurando una conectividad continua (Isidro y Falcón, 2024), por lo tanto, se ha convertido en un pilar fundamental para la protección de las organizaciones ante el creciente panorama de amenazas, porque no solo permite prevenir ataques y evitar la pérdida de datos, sino también garantiza la continuidad operativa, fortaleciendo la confianza de clientes internos y externos y asegurando el cumplimiento de normativas de seguridad y privacidad.

En el caso del Instituto Geográfico Militar (IGM), se disponía de un equipo UTM Sophos SG430 versión 5.11 cuya fabricación fue realizada en julio de 2018, el cual para julio de 2023 ya cumplió su tiempo de vida útil presentando limitaciones en sus funciones y rendimiento, lo que afectó su capacidad de gestión, acceso y operatividad. Desafortunadamente, el equipo que disponía el IGM fue diseñado para operar con la serie de firmware 9, la cual está prácticamente descontinuada, lo que dificultó la actualización a nuevas firmas y clasificaciones contra amenazas en los módulos principales del sistema de seguridad.

Cabe recalcar, que los nuevos equipos de la misma línea utilizan la versión 19.X y en el firmware disponen de una nueva tecnología de protección denominada Xstream, que dada la criticidad de la información con la que labora el IGM es importante incorporarla a nuestra infraestructura u otra semejante en sus características principales. De igual manera, es importante mencionar que estas nuevas tecnologías se encuentran vinculadas al funcionamiento de nuevas versiones de procesadores que se utilizan en equipos de seguridad perimetral, razón por la cual ha sido necesario reemplazar además el hardware del appliance del equipo.

Además, la actualización de firmas y la clasificación de amenazas se volvieron desafíos críticos, comprometiendo la capacidad de respuesta ante riesgos emergentes. Por ello, la

renovación y optimización de estos sistemas resulta esencial para mantener una defensa eficaz y adaptable frente a las amenazas digitales en constante evolución.

DESARROLLO

La información digital en el IGM desempeña un papel fundamental, ya que respalda gran parte de sus operaciones y servicios para usuarios internos y externos. Entre los aspectos más relevantes destaca la difusión y el acceso a información digitalizada, permitiendo al IGM poner a disposición del público una amplia gama de datos geoespaciales a través del geoportal, así como compartirlos con instituciones públicas y privadas mediante plataformas digitales. Además, facilita la consulta y descarga de productos cartográficos, geográficos y educativos dentro de este ámbito.

La digitalización de los procesos optimiza las operaciones, mejora el uso de recursos y aumenta la eficiencia en la producción (Cruz y Darlyn, 2024) y gestión de datos geoespaciales, esto permite la automatización de tareas, la integración de sistemas y una colaboración más efectiva con otras entidades públicas y privadas.

En vista del manejo institucional de información crítica y reservada para la seguridad nacional y del Estado ecuatoriano, se ha implementado una estrategia de modernización en la seguridad perimetral, mediante la adquisición de equipamiento firewall de última generación. Esto ha permitido disponer de un equipo de rendimiento superior, con protección integral, nuevas herramientas y funcionalidades avanzadas; preparándonos para el futuro debido a que el sistema está diseñado para abordar amenazas de seguridad actuales y futuras, incluyendo protección avanzada de redes, seguridad para redes inalámbricas, correo electrónico antispam, filtrado web, defensa para servidores web, conexiones seguras VPN (Red Privada Virtual) y un servicio de internet con proxy transparente.

De igual forma, se ha establecido una gestión de usuarios basada en distintos sistemas de autenticación y una conectividad con alta redundancia al disponer de dos equipos de las mismas características conectados en modo Activo-Pasivo, alcanzando velocidades LAN-LAN y LAN-DMZ de hasta 10 GB debido a las



interfaces que componen el equipo, así como su procesador multi-core y un procesador de flujo Xstream.

La seguridad perimetral informática es crucial para el IGM por varias razones:

- **Protección de información sensible:** La seguridad perimetral protege la información de accesos no autorizados, robos o filtraciones que podrían poner en peligro la seguridad del país, ya que el IGM maneja datos geográficos y cartográficos que pueden ser objeto de ciberataques.
- **Continuidad de operaciones:** Al ser el IGM responsable de generar y mantener información geográfica esencial para diversas actividades, desde la planificación urbana hasta la gestión de desastres naturales, la seguridad perimetral garantiza que los sistemas y la información

estén disponibles y funcionando correctamente

- **Cumplimiento normativo:** La seguridad perimetral ayuda a cumplir con los lineamientos de protección y control de acceso a la información.
- **Reputación y confianza:** El IGM es una institución pública que goza de credibilidad y confianza. Un incidente de seguridad que comprometa la información o los sistemas institucionales podría dañar su reputación y afectar la confianza de la ciudadanía, por esta razón la seguridad perimetral ayuda a prevenir incidentes.

Un cuadro comparativo permite comprender las diferencias entre los equipos de seguridad perimetral utilizados anteriormente en el IGM y los equipos actualmente implementados (Tabla 1).

Característica	Equipos anteriores IGM	Equipos Actuales IGM
Procesador	Intel Xeon D-1518 (4 núcleos, 2.2 GHz)	Intel Xeon D-1527 (4 núcleos, 2.3 GHz)
Rendimiento máximo	Hasta 5 Gbps	Hasta 10 Gbps
Motor de inspección profunda (DPI)	Básico, con análisis de tráfico estándar	Avanzado, con el motor Xstream para análisis profundo y optimización del rendimiento
Protección contra amenazas avanzadas	Básica, utilizando firewalls y funciones estándar de UTM	Avanzada, incluyendo protección contra exploits, ransomware y ataques sofisticados
VPN	IPSec, SSL VPN, L2TP	IPSec, SSL VPN, L2TP, con un mayor rendimiento en conexiones de alta capacidad
IPS (Prevención de intrusiones)	Sí, con capacidades estándar de inspección de tráfico	IPS avanzado, con motor de análisis de alto rendimiento y más eficaz
Soporte para 10GbE	No disponible	Opcional, con módulos para 10GbE en diversas configuraciones
Alta disponibilidad (HA)	Soporta configuración Active/Passive	Soporta Active/Passive y balanceo de carga más eficiente



Licencias	Licencias por separado para cada función	Licencias por separado, con opciones más flexibles y escalables
Interfaz de administración	Interfaz web tradicional	Interfaz web moderna y dinámica, con mayor facilidad de uso y visibilidad del tráfico
Protección de aplicaciones web	Soporte básico	Soporte avanzado con filtrado de aplicaciones web, protección contra exploits y ataques a aplicaciones

Tabla 1. Tabla comparativa del sistema de seguridad perimetral hasta el año 2024 vs sistema de seguridad perimetral actual.
Fuente: SOPHOS, 2025

En el cuadro comparativo, se destaca la ventaja de contar con una infraestructura de red en el IGM equipada con dispositivos de seguridad perimetral avanzados, coadyuvando a la defensa de la soberanía que respalde el desarrollo nacional con la implementación de soluciones acorde a los avances tecnológicos. Cabe señalar, que el IGM hasta 2024 no disponía de protección firewall y de los servidores web WAF, lo cual fue una seria debilidad institucional, siendo necesario actualizar este requerimiento de manera inmediata con la instalación y configuración de un nuevo sistema de seguridad perimetral (Figura 1).

80

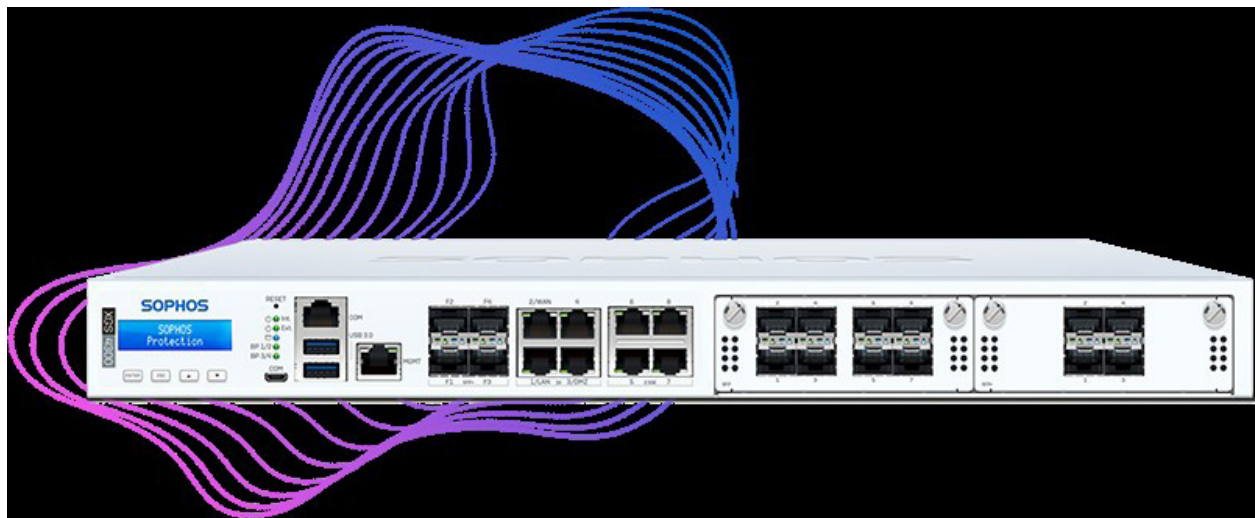


Figura 1. Equipo de seguridad perimetral instalado.
Fuente: SOPHOS, 2025.

El nuevo equipo cuenta con procesadores más potentes, lo cual aumenta la capacidad del manejo del tráfico de red, crucial para el IGM que dispone de un alto volumen de datos; ya que en la actualidad se reporta un consumo de 79 511,80 kbps como recibidos y 146 569,96 kbps como transmitidos a través del switch core (Figura 2).

En cuanto a la seguridad se ha logrado obtener una protección más completa contra las amenazas cibernéticas, así como disponer de una integración con servicios de inteligencia de amenazas en tiempo real, lo que le permite mantenerse actualizado sobre las últimas amenazas y responder rápidamente a los ataques, incluyendo una tecnología que permite analizar archivos sospechosos en un entorno aislado para detectar malware desconocido.



La renovación de la infraestructura tecnológica también ha permitido disponer de una gestión simplificada a través de una interfaz de gestión intuitiva, basado en un diseño centrado en el usuario, que prioriza la claridad, la facilidad de navegación, la ayuda contextual y la eficiencia en la gestión de la seguridad de la red, a través de los siguientes componentes:

- Panel de control
- Menú de navegación
- Áreas de configuración específicas
- Barras de herramientas globales
- Elementos comunes de interfaz

Esto permite a los administradores, independientemente de su nivel de experiencia, configurar, monitorear y mantener el firewall de manera más rápida y efectiva (Figura 2), permitiendo la generación de informes y análisis detallados sobre el tráfico de red y las amenazas, así como de un sistema escalable.

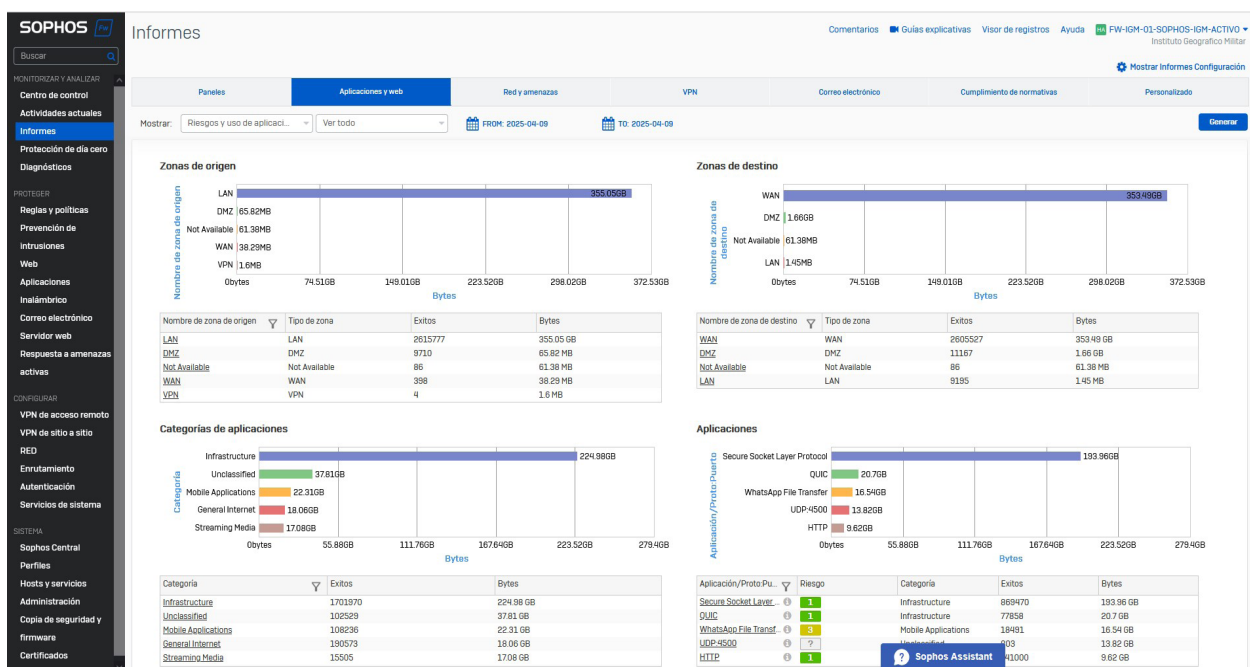


Figura 2. Interfaz gráfica.
Fuente: Sistema de Seguridad Perimetral IGM, 2025.

El sistema de seguridad perimetral ofrece numerosos beneficios para el IGM, tales como:

- **Protección avanzada contra amenazas:** Ofrece una protección integral contra una amplia gama de amenazas cibernéticas, incluyendo malware, ransomware, phishing y ataques de denegación de servicio (DoS). Se utilizan tecnologías avanzadas como el análisis de comportamiento, sandboxing e inteligencia artificial para detectar y bloquear amenazas conocidas y desconocidas.
- **Firewall:** El firewall de última generación protege la red institucional de intrusiones no autorizadas y ataques externos, ofreciendo funciones de inspección profunda de paquetes (DPI) que monitoriza y controla el tráfico que fluye entre dos redes e intercepta el tráfico no autorizado comparando cada unidad de información (paquete, segmento, datagrama o trama dependiendo del nivel al que trabaje) con una serie de reglas predefinidas, previniendo intrusiones (IPS), defendiendo ataques sofisticados y filtrando URL (localizador uniforme de recursos), lo cual



corresponde a una tecnología que vigila la red para detectar cualquier actividad maliciosa que intente aprovechar la vulnerabilidad, y garantiza el acceso del tráfico legítimo a la red.

- **Conectividad segura y optimizada:** El sistema ofrece funciones de enrutamiento y conectividad avanzadas, incluyendo VPN, SD-WAN (red de área amplia definidas por software) y balanceo de carga; lo que permite al IGM conectar de forma segura sus diferentes localidades y optimiza el rendimiento de la red para garantizar la disponibilidad de los servicios críticos.
- **Gestión centralizada y simplificada:** El equipo ofrece una consola de administración única y centralizada para todos los dispositivos de seguridad, esto simplifica la gestión de la seguridad y optimiza las actividades laborales del personal de la Dirección de TIC del IGM (Figura 3).



Figura 3. Centro de control.
Fuente: Sistema de Seguridad Perimetral IGM, 2025.

Cabe recalcar que la seguridad perimetral es solo una parte de una estrategia de seguridad integral, la cual debe complementarse con otras medidas como campañas de concientización digital, seguridad de endpoints, capacitación del personal, gestión de riesgos, entre otras.

CONCLUSIONES

- Un sistema de seguridad perimetral ofrece una protección integral y avanzada para el IGM, sus activos y su personal, ya que el sistema al detectar y disuadir intrusiones mantiene la seguridad e integridad de la información y los servicios informáticos institucionales. Además, mantiene a la entidad en la vanguardia tecnológica en el ámbito del manejo y gestión de la información geoespacial, siendo esencial la protección de la información sensible, garantizando la continuidad de operaciones, asegurando el cumplimiento normativo y preservando la reputación institucional.
- En base a la nueva tecnología implementada se han logrado superar limitantes en cuanto al rendimiento del equipo como el número de peticiones simultáneas, con una capacidad de inspección profunda de paquetes (DPI), prevención de intrusiones (IPS); y de manejar tráfico cifrado SSL/TLS (seguridad de capa de sockets seguros y capa de transporte) de manera eficiente garantizando la seguridad sin comprometer la velocidad, proporcionando un rendimiento superior en el procesamiento del tráfico de red, lo cual resulta crucial para una institución con un alto volumen de datos.



BIBLIOGRAFÍA

- Cruz, A., & Darlyn , Y. (2024). Repositorio Institucional RI-UTS. Propuesta para Generar un Estudio Sobre la Digitalización de Procesos Administrativos en el Corresponsal de Bancolombia en el Municipio San Gil: <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/18145>
- Isidro, C., & Falcón, V. (2024). Universidad San Ignacio de Loyola. Implementación de un sistema de seguridad perimetral y red wifi para mejorar la seguridad y comunicación en una universidad : <https://repositorio.usil.edu.pe/entities/publication/e0658ce8-ea0d-4f43-a9f2-700dee68d6d2>
- SOPHOS. (2025). Seguridad Perimetral. <https://www.sophos.com/es-es/search-results#q=SEGURIDAD%20&firstQueryCause=searchFromLink>
- SOPHOS. (2025). XGS Series next-gen firewall appliances. <https://www.sophos.com/en-us/products/next-gen-firewall/xgs-2u-enterprise-campus-edge-firewalls>

Geoformas superficiales circulares con topografía negativa asociadas a procesos geológicos.

CIRCULAR SURFACE LANDFORMS WITH NEGATIVE TOPOGRAPHY ASSOCIATED WITH GEOLOGICAL PROCESSES.

Herrera, Myrian. - myrian.herrera@iniap.gob.ec

Ramírez, Milton. - milton.ramirez@geograficomilitar.gob.ec

Guerrero, Francisco. - francisco.guerrero@geograficomilitar.gob.ec

RESUMEN

Las geoformas superficiales circulares con topografía negativa son el resultado de la interacción de factores de origen natural asociados a procesos geológicos activos e inactivos; por lo tanto, si dichos procesos vuelven a ocurrir generarían eventos que pueden constituirse en una amenaza, siendo necesario identificar, definir y localizar espacialmente estas estructuras en el territorio. Este estudio es una primera aproximación para lograr este propósito mediante composiciones de firmas geométricas utilizando las variables de pendiente, textura, convexidad, concavidad, profundidad del valle, índice de convergencia y sombreado analítico. El procedimiento ejecutado inició con el reconocimiento de las geoformas circulares con topografía positiva como edificios volcánicos y sus principales características, dichas estructuras ya identificadas permitieron retraer información útil para definir geoformas circulares con topografía negativa delimitando una gran zona de erosión en la parte noreste de estudio.

Palabras clave: firma geométrica; geoforma circular; modelo digital de superficie; procesos geológicos; sistema de información geográfica.

ABSTRACT

The circular surface landforms with negative topography are the result of the interaction of factors of natural origin associated with active and inactive geological processes; therefore, if these processes occur again, they would generate events that may constitute a threat, making it necessary to identify, define and spatially locate these structures in the territory. This study is a first approximation of achieving this purpose through compositions of geometric signatures using the variables of slope, texture, convexity, concavity, valley depth, convergence index and analytical hillshading. The procedure carried out began with the recognition of circular landforms with positive topography as volcanic structures and their main characteristics, these already identified structures allowed us to collect useful information to define circular landforms with negative topography delimiting a large erosion zone in the northeastern study area.

Keywords: geometric signature; circular landform; digital surface model; geological processes; geographic information system.



INTRODUCCIÓN

El Ecuador, topográficamente se ubica en el denominado cinturón de fuego del Pacífico, siendo ésta una zona de subducción que genera importante actividad geológica. El clima de Ecuador, a más de su ubicación geográfica, se encuentra influenciado por la cordillera de los Andes que ha generado variaciones altitudinales del territorio sobre el nivel del mar, el relieve, la cobertura vegetal, las condiciones atmosféricas, entre otros factores (GADDMQ, 2015).

La provincia de Pichincha está situada en el centro norte del país, en la zona geográfica de la región interandina, ocupa la hoya Guayllabamba en el este y ramificaciones subandinas en el noroccidente; su cabecera provincial es la ciudad de Quito, la cual es la urbe más poblada y capital del país (Figura 1). Presenta zonas climáticas nivales y de páramo en las cordilleras Occidental y Oriental; clima mesotérmico húmedo y muy húmedo en el oeste de la Cordillera Occidental, clima ecuatorial mesotérmico seco y semihúmedo en el valle del Distrito Metropolitano de Quito, cantón Mejía y cantón Pedro Moncayo, mientras que un clima tropical caracteriza a las localidades del noroccidente, principalmente al cantón Puerto Quito (GADDMQ, 2015).

En este contexto, las geoformas superficiales son fisonomías existentes de la superficie terrestre (De Pedraza Gilsanz et. al., 1996) y de otros planetas, que han sido creadas por procesos naturales (López, 2006), internos y/o externos al planeta, por lo tanto, son rasgos específicos que se pueden reconocer y describir (Bolongaro - Crevenna et. al., 2004). Estas geoformas interiorizan información sobre su estructura y composición, exteriorizando características particulares de suelo, topografía, geología, condiciones hídricas (López, 2006) y están sometidas en todo momento a las acciones de la dinámica planetaria (De Pedraza Gilsanz et. al., 1996) y ultraterrestre, sin importar su origen primario.

Acorde a lo anteriormente descrito, una geoforma circular se define como aquella estructura superficial caracterizada por presentar una geometría semejante a una circunferencia con topografía negativa y que puede ser distinguida o descrita a escala local.

Considerando que la corteza terrestre no es estática, existen procesos geológicos que la modifican constantemente. Una línea de pensamiento considera a la Tierra como un sistema cerrado, expresando que ésta se altera por acción de fuerzas externas que actúan hacia abajo desde la biosfera y otras fuerzas internas que actúan hacia arriba y desde el interior del planeta (Duque Escobar, 2020). Enmarcado en este planteamiento, las geoformas superficiales circulares pueden ser generadas por:

- Fallas geológicas que pueden originar estructuras como: fosa tectónica (graben), cuenca de apertura (pull apart basin), estructura en flor negativa (negative flower structure) (Griem, 2020).
- En zonas kársticas se pueden generar dolinas, depresiones cerradas con forma circular, semicircular a elíptica, con una zona central donde se ubica el sumidero que tiene tasas de subsidencia muy altas (Ulloa et. al., 2011; Benito et. al., 2016).
- El vulcanismo puede generar edificios volcánicos y cráteres con formas circulares, los eventos explosivos son capaces de crear calderas caracterizadas por ser depresiones elíptico-circulares (Duque Escobar, 2020; Carricondo, 2010). (Figura 1)

Por otra parte, existen eventos enmarcados en una dinámica externa a la Tierra que son capaces de modelar la superficie terrestre, a éstas fisonomías producto de colisiones o impactos de objetos movilizadas por el espacio sideral (asteroides, meteoroides, cometas, entre otros) se les denomina cráteres de impacto, siendo las estructuras geológicas más comunes suscitadas en los cuerpos rocosos del Sistema Solar (Bartali et. al., 2018).

METODOLOGÍA

En base al estado del arte elaborado para el presente estudio, se verifica que hasta la actualidad no han sido desarrollados modelos específicos para la búsqueda y reconocimiento de geoformas superficiales circulares con topografía negativa; sin embargo, existen modelos para clasificación automática de las fisonomías superficiales considerando a la pendiente como una variable constante de análisis.

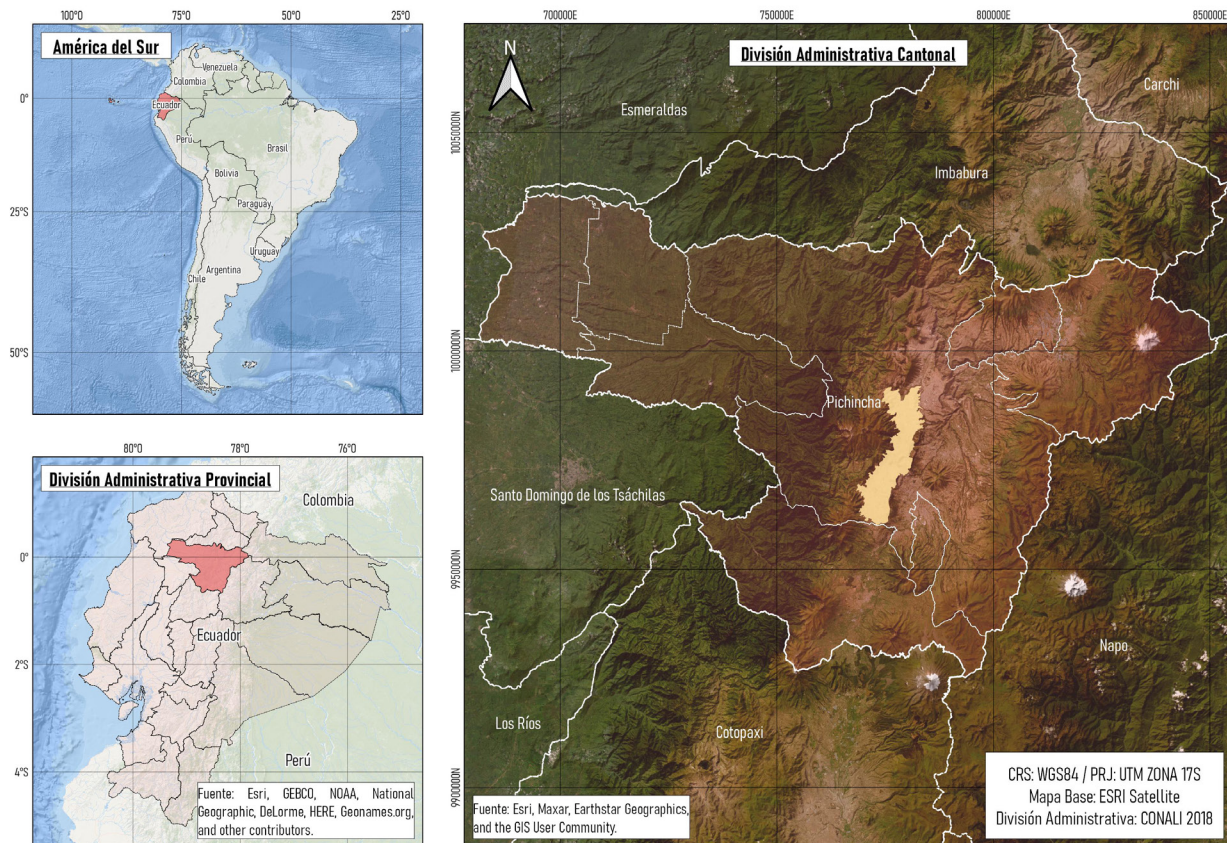


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio.
Fuente: Elaboración propia (QGIS 3.20.3-Odense).

Acorde a lo estipulado en las investigaciones de Correa (2012), Genchi et al. (2011) y Medina (2014), el insumo principal para la identificación de geoformas superficiales es el Modelo Digital de Superficie (MDS). Los datos digitales de elevación de Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), son un esfuerzo de investigación internacional que obtuvo modelos digitales de elevación a una escala casi global, siendo desarrollado por la Administración Nacional Aeronáutica y del Espacio (NASA); éstos cuentan con una resolución espacial de 1 segundo de arco (aproximadamente 30 m) y fueron sometidos a un proceso de llenado de vacíos utilizando datos de código abierto (ASTER GDEM2, GMTED2010 y NED) (Farr et al., 2007).

La metodología propuesta por Iwahashi and Pike (2007) consiste en la aplicación de un procedimiento para la automatización de formas del terreno a partir de un modelo digital de superficie, combinado con variables calculadas para resaltar características del suelo. Los autores propusieron que usando tres variables es posible construir una firma geométrica, y con esta crear

mapas de unidades de terreno que permitan identificar las formas superficiales.

La firma geométrica es una herramienta de clasificación numérica de la superficie terrestre, definida como un “conjunto de medidas que describe la forma topográfica lo suficientemente bien como para distinguir paisajes geomorfológicamente dispares” (Pike, 1988). Esto implica que, si las formas de superficie han sido capturadas por mapas de contorno o modelos digitales de elevación, sus cualidades geométricas pueden ser extraídas y expresadas por un grupo de atributos de forma de superficie más o menos independientes.

Para el presente estudio, las variables utilizadas fueron: pendiente (grado), convexidad de la superficie y textura (frecuencia de características o espaciado) (Figura 2).

El software SAGA GIS - System for Automated Geoscientific Analyses versión 7.8.2 (Conrad et al., 2015) incluye la herramienta Clasificación de la Superficie del Terreno, la cual implementa el

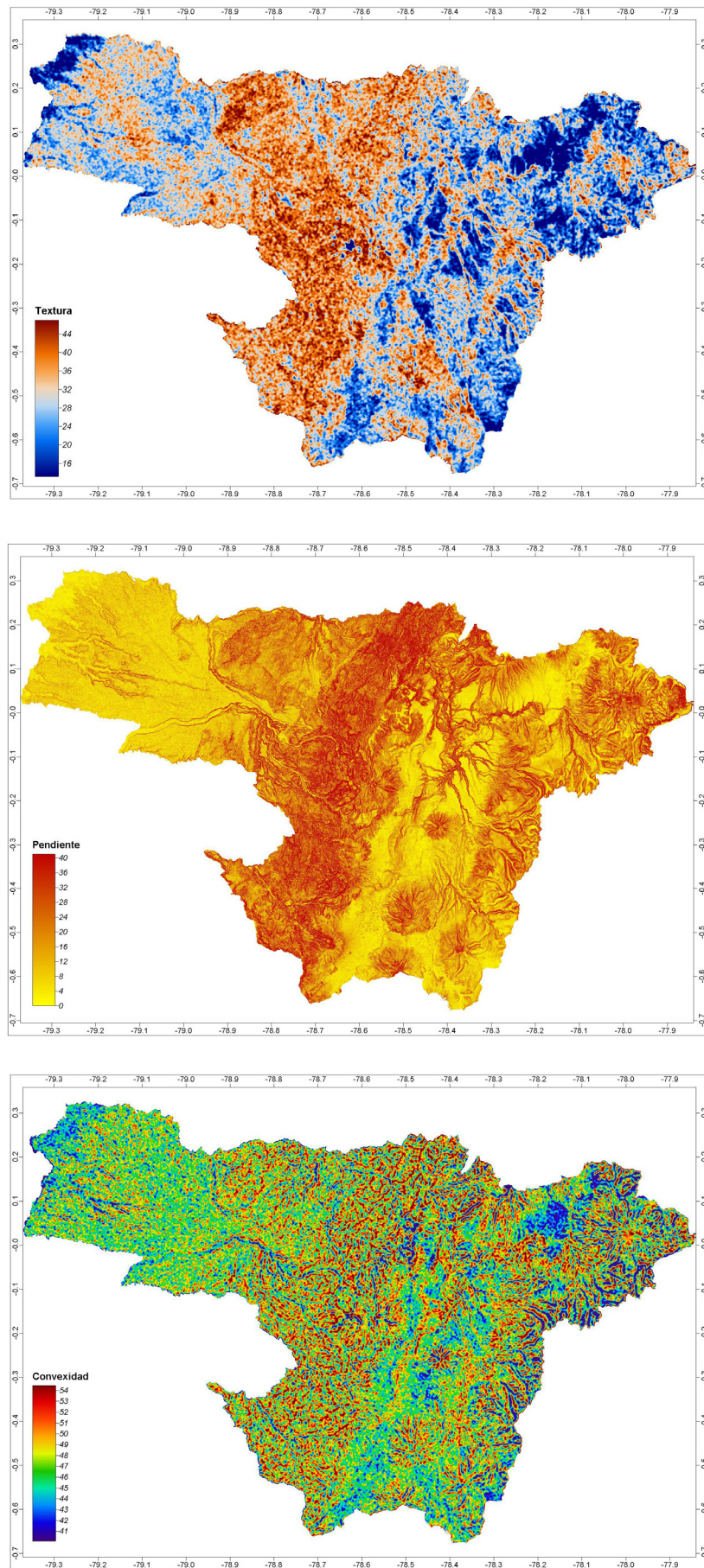


Figura 2. Variables de pendiente, textura y convexidad de la provincia de Pichincha.
Fuente: Elaboración propia (SAGA 7.8.2).

procedimiento de Iwahashi y Pike. El algoritmo identifica tipos topográficos ejecutando una clasificación de escenas mediante el uso de reglas (mayor o igual a la media - menor a la media), dentro de un árbol de decisión simple (si - no) para aplicar operaciones de procesamiento de imágenes a mapas digitales de las tres variables. La secuencia no está supervisada porque las clases resultantes no se determinan a priori mediante muestras de entrenamiento de tipos fisiográficos de destino, no obstante, el número de categorías de salida se limita a opciones de 8, 12 o 16 clases preestablecidas. De manera previa, las tres variables fueron normalizadas y asignadas pesos con la finalidad de tener una misma escala de valores; obteniendo así dos modelos de clasificación del terreno (Formas de Relieve y Formas de Relieve_conc).

Considerando que esta metodología busca identificar formas generales del terreno, y, en ningún caso de manera específica las geoformas

superficiales circulares de topografía negativa, su aplicación explícita resulta insuficiente; en este sentido se requirió realizar las siguientes modificaciones al método establecido:

- Al considerar las capacidades de la utilización de la variable concavidad en reemplazo de la convexidad, se aporta una primera clasificación del terreno resaltando las superficies deprimidas.
- Posteriormente, a efectos de identificar las geoformas superficiales circulares se realizó un conjunto de pruebas de diferentes composiciones asignando a cada banda del visible otras variables, siendo el sombreado analítico, el índice de convergencia, la profundidad del valle y la concavidad, lo cual permitió resaltar las geoformas superficiales circulares de pendiente negativa para su adecuado reconocimiento por análisis visual (Figura 3).

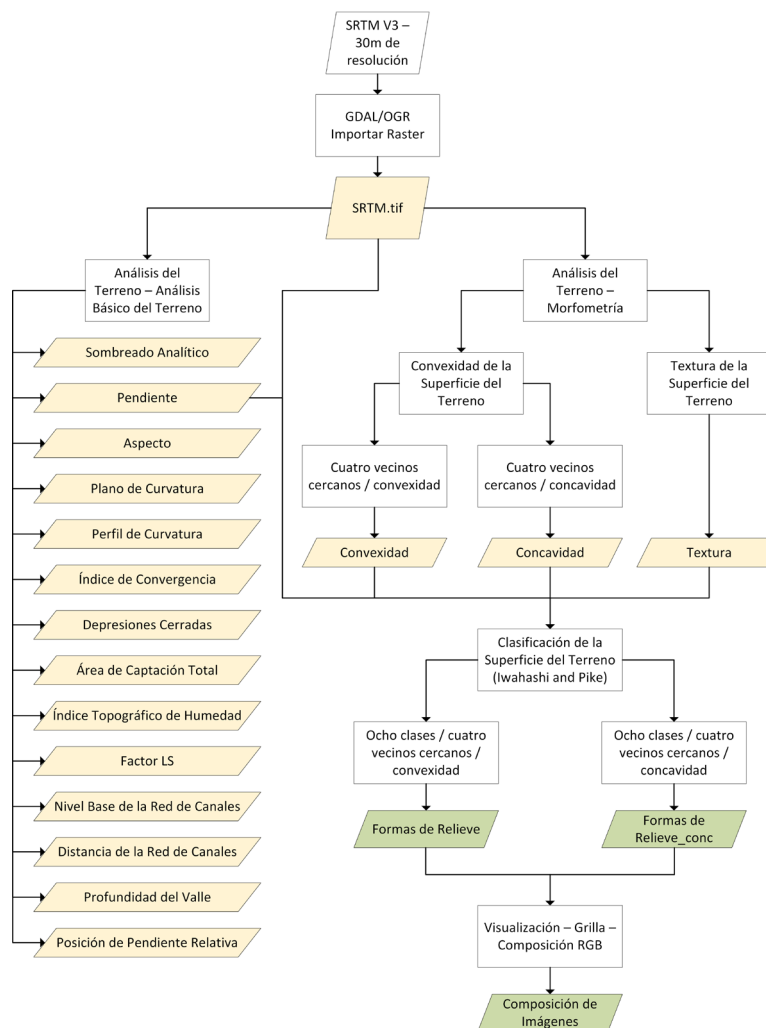


Figura 3. Diagrama metodológico.
Fuente: Elaboración propia (Visio Professional 2016).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la composición temática con las variables identificadas, aportan información de interés en relación al objeto de investigación. A continuación, se describen las principales composiciones RGB:

FORMAS DE RELIEVE CONCAVIDAD + PROFUNDIDAD DEL VALLE + CONCAVIDAD.

La composición identifica los drenajes radiales divergentes y convergentes que configuran los edificios volcánicos, así como las zonas de erosión asociadas a escarpes o taludes. Al oeste de la provincia y en el callejón interandino, se aprecian los ríos que han configurado valles aluviales amplios; sin embargo, a la escala de trabajo desaparecen aquellos drenajes que no han configurado dichas llanuras de inundación (Figura 4).

El modelo diferencia las zonas elevadas (cordillera y elevaciones individuales) de

las planicies y áreas de baja rugosidad, para obtener esta composición temática se asignó a las variables: formas del terreno concavidad a la banda rojo, la profundidad del valle a la banda verde y la concavidad a la banda azul.

FORMAS DE RELIEVE CONCAVIDAD + ÍNDICE DE CONVERGENCIA + CONCAVIDAD.

La composición resalta los drenajes inclusive aquellos que no han desarrollado un gran valle aluvial, se reconocen los ríos radiales divergentes y convergentes asociados a cráteres y los canales localizados en las bases de los edificios volcánicos del valle interandino que configuran una geometría circular; también sobresalen divisorias de aguas, cumbres y escarpes (Figura 5).

Para obtener esta composición temática se asignó a las variables: formas del terreno concavidad a la banda rojo, el índice de convergencia a la banda verde y la concavidad a la banda azul.

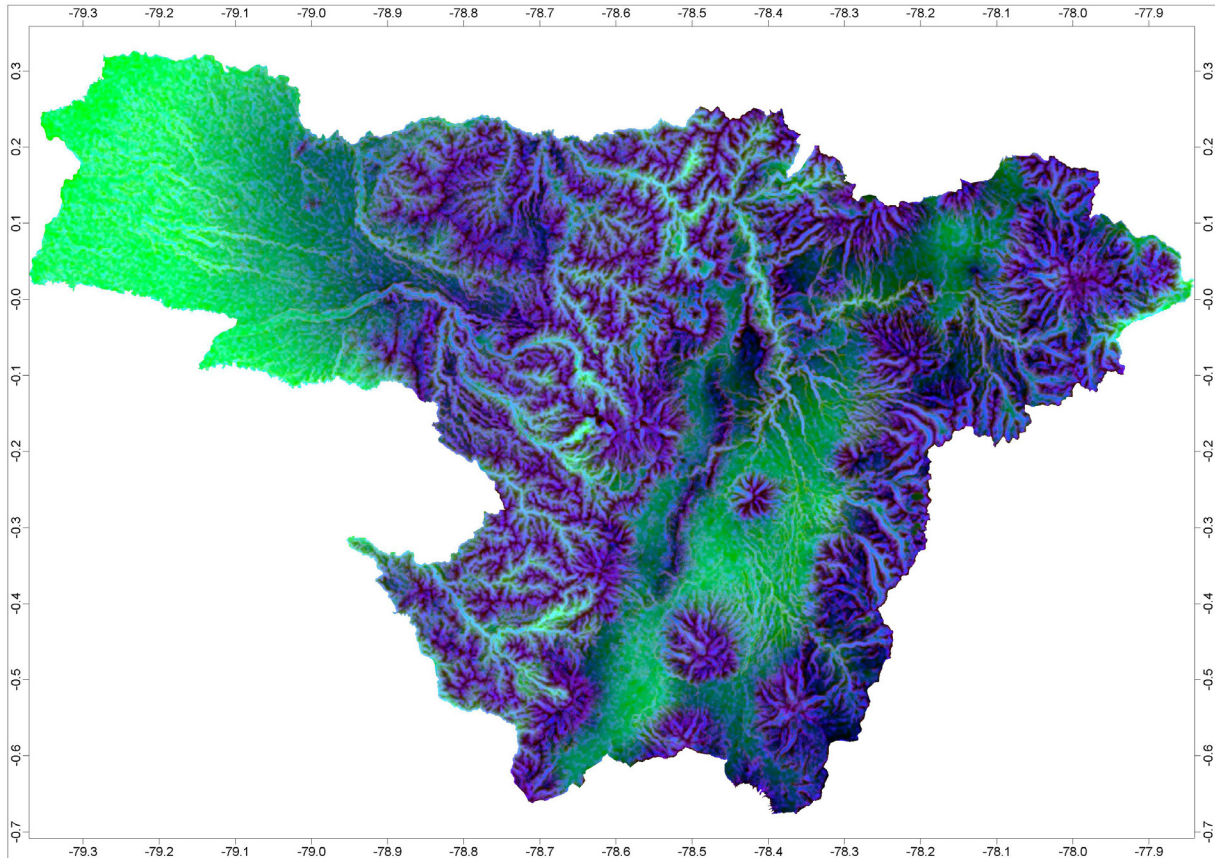


Figura 4. Composición temática land_concav_valley_depth_concav.
Fuente: Elaboración propia (SAGA 7.8.2)

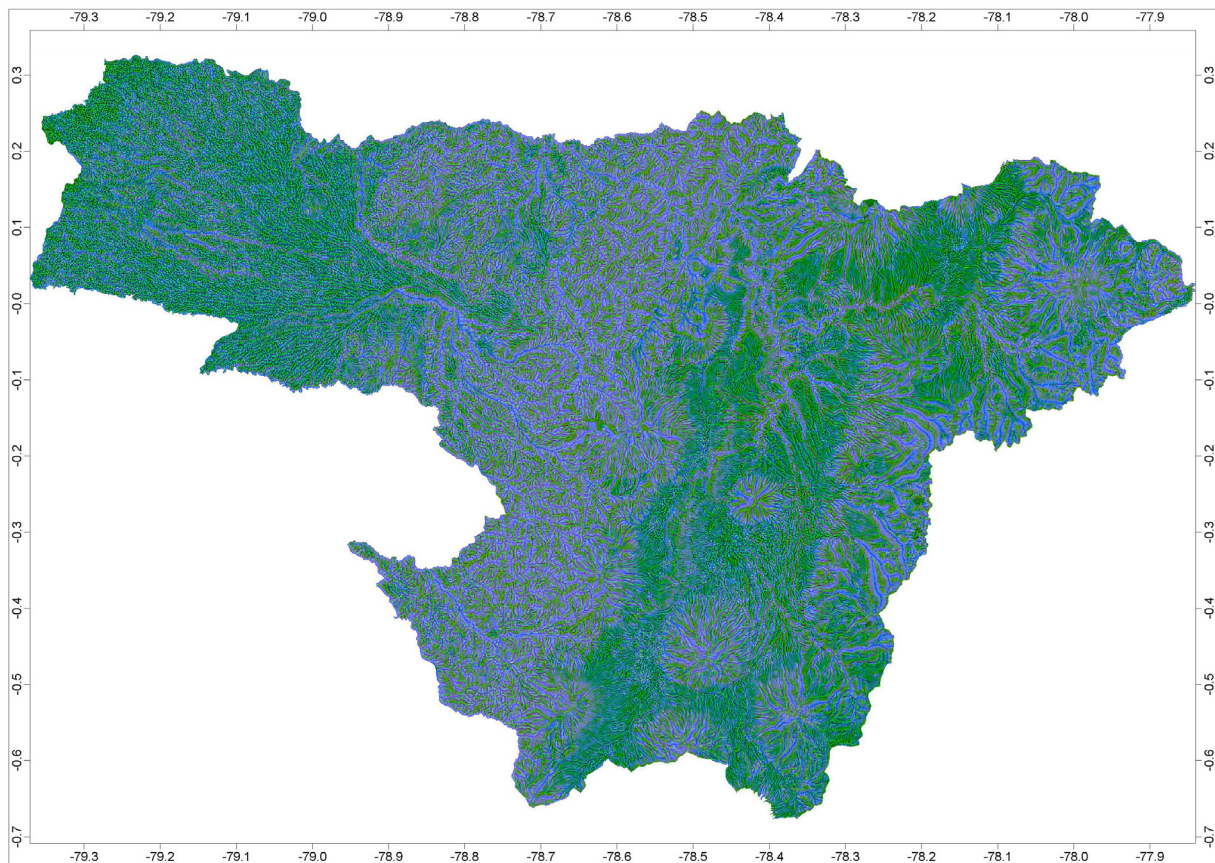


Figura 5. Composición temática land_concav_convergence_idx_concav.
Fuente: Elaboración propia (SAGA 7.8.2).

FORMAS DE RELIEVE CONCAVIDAD + SOMBREADO ANALÍTICO + CONCAVIDAD.

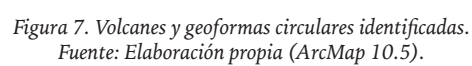
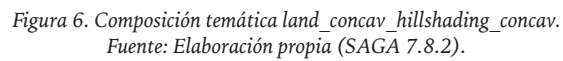
La composición invirtió la percepción visual de las estructuras, muestra a las superficies elevadas (cóncavas) como estructuras de topografía negativa (depresiones) enmarcadas en círculos de color rojo, mientras que las fisonomías de topografía negativa (convexas) se perciben como elevaciones enmarcadas en círculos de color amarillo. Se observa que esta combinación permite resaltar e identificar las geoformas superficiales circulares de pendiente negativa; de igual forma se destacan los drenajes y en algunos edificios volcánicos sus ventos, adicional a lo anterior en la zona noroeste de estudio se resalta una estructura asociada a un gran proceso erosivo (Figura 6). Para obtener esta composición temática se asignó a las variables: formas del terreno concavidad a la banda rojo, el sombreado analítico a la banda verde y la concavidad a la banda azul.

Acorde a lo explicado, las metodologías existentes no fueron concebidas para resaltar e

identificar geoformas específicas, por lo tanto, los resultados obtenidos aportaron para conocer la zona de estudio, requiriendo adicionalmente un minucioso análisis visual con la finalidad de identificar las fisonomías buscadas.

El estudio permitió definir que, en la zona norte del valle interandino y de la parroquia Guayllabamba, se encuentra un sitio con topografía negativa, limitado por escarpes con forma semicircular y atravesado por el río Pisque, que lo divide en dos secciones.

En la margen derecha del río Pisque se localiza el parque recreacional Jerusalem, limitado al norte por un escarpe semicircular, el cual se considera como parte de una posible geoforma circular; mientras que en la margen izquierda se localiza el poblado de Guayllabamba y al norte de éste se ubica un área que presenta características de otra geoforma circular. El análisis discrimina estas zonas de posibles edificios volcánicos y sus ventos, de igual manera se determinaron la existencia de fallas geológicas que pudieron influir en dichas estructuras (Figura 7).





CONCLUSIONES

- Las geoformas superficiales son el resultado de procesos naturales asociados a la interacción de factores geológicos (litología, fallas, sismos, entre otros), hidrometeorológicos (lluvias), biológicos (cobertura del suelo) y antrópicos (uso del suelo), por lo tanto, mientras no cambien las condiciones del sistema, estas estructuras pueden estar activas. Con esta premisa, es importante estudiarlas con el fin de entender su génesis para determinar si pueden convertirse en una amenaza para la población, los medios de producción o el medio ambiente.
- Hasta la actualidad, ninguna de las metodologías automatizadas desarrolladas para el trazado de geoformas del relieve, mediante sistemas de información geográfica a partir de un modelo digital de terreno, se enfocan en el estudio de geoformas específicas, como las geoformas circulares con topografía negativa que pueden estar asociadas a eventos geológicos activos; por lo tanto, el procedimiento generado en este estudio permite una primera aproximación a la identificación y obtención de los resultados deseados.
- La aplicación de esta primera metodología en la provincia de Pichincha ha permitido reconocer los ventos en los cráteres de los edificios volcánicos, una gran zona de erosión con una estructura de topografía negativa al noreste del valle interandino, la cual requiere de mayores estudios para determinar su posible génesis.
- En base al estudio realizado, se constata la necesidad de determinar un procedimiento automático que permita identificar las estructuras objetivo de manera automatizada, mediante el uso de sistemas de información geográfica.

BIBLIOGRAFÍA

- Bartali, R., Dobarganes, J., Perez, P., & Rico, C. (2018). Asteroides, Cráteres de Impacto y Recursos Naturales. 35.
- Benito-Calvo, A., Gutiérrez, F. J., Carbonel, D., Desir, G., Guerrero,

J., Magri, O., & Fabregat González, I. (2016). Measuring deformation related to active sinkholes with ground-based 3D laser scanner. A case study in the evaporite karst of the Ebro Valley, NE Spain. Instituto Geológico y Minero de España.

- Bolongaro-Crevenna, A., Torres-Rodríguez, V., Sorani, V., Frame, D., & Ortiz, M. A. (2005). Geomorphometric analysis for characterizing landforms in Morelos State, Mexico. *Geomorphology*, 67(3-4), 407-422.
- Carricondo Sánchez, J. F. (2010). La provincia de Ciudad Real como recurso didáctico en el campo de la Geología en la Etapa de Educación Secundaria. Valoración de la actividad didáctica desarrollada en los museos y centros de interpretación. Granada: Universidad de Granada.
- Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L., ... & Böhner, J. (2015). System for automated geoscientific analyses (SAGA) v. 2.1. 4. Geoscientific model development, 8(7), 1991-2007.
- Correa Muñoz, N. A. (2013). Método para la caracterización de las formas del terreno en zonas de montaña utilizando Modelos Digitales de Elevación. Caso: Departamento del Cauca (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia).
- De Pedraza Gilsanz, J., & González, R. M. C. (1996). *Geomorfología: principios, métodos y aplicaciones*. Rueda.
- Duque Escobar, G. (2020). *Manual de geología para ingenieros*. Departamento de Ingeniería Civil.
- Farr, T. G., Rosen, P. A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., & Alsdorf, D. (2007). The shuttle radar topography mission. *Reviews of geophysics*, 45(2).



- Genchi, S. A., Carbone, M. E., Piccolo, M. C., & Perillo, G. M. (2011). Clasificación geomorfológica automatizada en terrazas del Noreste del Macizo Norpatagónico, Argentina. *GeoFocus. International Review of Geographical Information Science and Technology*, (11), 182-206.
- de Quito, G. A. D. D. M. (2015). Plan Metropolitano de Desarrollo y Ordenamiento Territorial. Quito, Ecuador.
- Griem, W. (2020). Geología Estructural Virtual. Apuntes Geología Estructural y Tectónica.
- Iwahashi, J., & Pike, R. J. (2007). Automated classifications of topography from DEMs by an unsupervised nested-means algorithm and a three-part geometric signature. *Geomorphology*, 86(3-4), 409-440.
- López, D. (2006). Desarrollo e implementación de un modelo para la clasificación automática de unidades de relieve a partir de modelos digitales de elevación.
- Medina Cajamarca, L. I. (2014). Automatización del trazado de geoformas del relieve mediante sistemas de información geográfica, a partir de un modelo digital de terreno.
- Pike, R. J. (1988). The geometric signature: quantifying landslide-terrain types from digital elevation models. *Mathematical geology*, 20, 491-511.
- Ulloa, A., Aguilar, T., Goicoechea, C., & Ramírez, R. (2011). Descripción, clasificación y aspectos geológicos de las zonas kársticas de Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, (45), 53-74.

Gestión y control de calidad en la producción cartográfica de cobertura y uso de la tierra 1: 5 000.

MANAGEMENT AND QUALITY CONTROL IN THE PRODUCTION OF LAND COVER AND LAND USE MAPPING 1: 5 000.

Reyes-Yunga, Diego. - diego.reyes@geograficomilitar.gob.ec

Guallichico, Daniela. - daniela.guallichico@geograficomilitar.gob.ec

Pérez, Gandhi. - gandhy.perez@geograficomilitar.gob.ec

RESUMEN

La producción cartográfica de cobertura y uso de la tierra enfrenta desafíos metodológicos y operativos que afectan su calidad y precisión, especialmente en escalas detalladas como 1: 5 000. La gestión y el control de calidad exigen la integración de procedimientos estandarizados en toda la cadena de producción para garantizar productos geográficos consistentes, confiables y aplicables en planificación territorial. El flujo de trabajo implementado combina procesos automatizados y metódicos, alineados con los estándares de calidad de los datos geográficos, que mejoran la eficiencia en el control y validación de la información temática, reduciendo hasta un 54,21 % los tiempos en comparación con métodos convencionales.

Palabras clave: Cartografía, calidad, cobertura, control, planificación.

ABSTRACT

The cartographic production of land cover and land use faces methodological and operational challenges that affect its quality and accuracy, particularly at detailed scales such as 1: 5 000. Quality management and control require the integration of standardized procedures throughout the entire production chain to ensure consistent, reliable, and applicable geographic products for territorial planning. The implemented workflow combines automated and methodical processes aligned with geographic data quality standards, enhancing the efficiency of thematic information control and validation. As a result, quality control time is reduced by up to 54,21% compared to conventional methods, improving the consistency, reliability, and usability of geospatial data.

Keywords: Cartography, quality, coverage, control, planning.

INTRODUCCIÓN

El acceso a datos espaciales de calidad es crucial para el monitoreo de la evolución del territorio, ya que este ha sufrido alteraciones en magnitud y ritmo sin precedentes, que impactan directamente en la diversidad biótica, contribuyen al cambio climático local y regional; así como, al calentamiento global (Lambin et al., 2001).



Para una planificación territorial adecuada, es importante considerar herramientas que proporcionen información detallada sobre las características del paisaje; del mismo modo, es crucial identificar las coberturas de la tierra, entendidas como la superficie física observable, por ejemplo: bosques, cuerpos de agua, áreas urbanas, entre otros; y, los usos de la tierra entendidos como el propósito para el cual, el ser humano emplea la superficie terrestre o, los servicios ambientales de conservación o protección que estos ofrecen, que pueden asociarse a las coberturas (Turner et al., 2021). El diferenciar estos conceptos facilita un análisis más preciso del territorio en la evaluación del impacto humano; y, en el diseño de políticas sostenibles o estudios en particulares.

Según los estándares técnicos del Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI) (2022), el levantamiento catastral urbano debe realizarse a una escala 1: 1 000, para áreas urbanas consolidadas; y, el catastro rural debe sujetarse a una escala de levantamiento 1: 5 000. En consecuencia, el producto cartográfico temático a nivel cantonal requiere como escala mínima de detalle 1: 5 000.

Para garantizar estándares uniformes, organismos internacionales como la Organización Internacional de Normalización (ISO), han desarrollado normas específicas que regulan la calidad de los datos geoespaciales, como: la ISO 19157:2013 para la evaluación de la calidad de los datos geoespaciales; y, la ISO 19115:2014 que establece los metadatos para la información geográfica, lo que facilitan la interoperabilidad entre sistemas y proporciona un estándar para documentar metadatos que describen el origen, la precisión y la confiabilidad de los datos (Organización Internacional de Normalización [ISO], 2014).

La calidad de los datos geográficos es esencial en el análisis del territorio, ya que influye en la precisión y confiabilidad de los modelos espaciales generados. En el contexto de los Sistemas de Información Geográfica (SIG); y, la cartografía, la calidad de los datos geográficos no solo se refiere a la exactitud posicional, sino también a los atributos de completitud, consistencia lógica, exactitud temporal, exactitud temática y la usabilidad (Brodeur et al., 2019).

La exactitud posicional determina el grado de concordancia entre la ubicación geográfica registrada en un dato y su posición real en el terreno; la completitud describe la omisión (elementos faltantes) y comisión (elementos sobrantes) de datos en el modelo; la consistencia lógica verifica la coherencia conceptual, consistencia de dominio y el formato de la información alfanumérica asociada a la componente geométrica (Ariza López et al., 2019); la exactitud temporal hace referencia a la fecha o periodo vinculado al proceso de adquisición o generación del dato geográfico; la exactitud temática establece la precisión con la que los atributos temáticos reflejan la realidad del modelo a representar; y, la usabilidad representa el grado en que un conjunto de datos geoespaciales satisface los requisitos del usuario final, evaluando su adecuación para un propósito específico (Instituto Geográfico Militar [IGM], 2024).

Para Ariza y Rodríguez (2018), se debe considerar el concepto de metacalidad; es decir, la calidad de los datos de calidad, esta evaluación implica mayores exigencias; por lo que, se requieren avances conceptuales, metodológicos y el desarrollo de herramientas específicas. A nivel nacional, en 2004 se crea el Consejo Nacional de Geoinformática (CONAGE), con el objetivo de impulsar la creación, mantenimiento y administración de la Infraestructura Ecuatoriana de Datos Geoespaciales (IEDG), con la finalidad de facilitar la producción, el acceso y uso de la geoinformación regional, nacional o local (CONAGE, 2025).

La producción cartográfica de cobertura y uso de la tierra, enfrenta desafíos metodológicos y operativos que afectan la calidad, precisión y aplicabilidad de los productos generados, especialmente cuando se trabaja a escalas detalladas como 1:5 000 o mayores. A diferencia de productos a escalas más pequeñas, como 1: 1 000 000, que se adaptan a metodologías como Corine Land Cover (CLC) a nivel internacional (Suárez-Parra et al., 2016); y, en Ecuador a escala 1:25 000 con la metodología obtenida del proyecto “Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional” (IGM, 2014), los enfoques varían considerablemente en función del nivel de detalle requerido y de los criterios de clasificación empleados.



Los SIG constituyen herramientas fundamentales para la gestión, análisis y representación de datos espaciales y temáticos (ESRI, 2025); sin embargo, la calidad de los productos cartográficos depende en gran medida de la precisión de los datos de entrada, la disponibilidad y heterogeneidad de las fuentes, los métodos de captura y procesamiento, la resolución espacial y temporal de los insumos; así como, de la implementación y cumplimiento de estándares adecuados (Gutiérrez, 2006). Estas limitaciones pueden afectar la representatividad de la información, introducir incertidumbre en los modelos cartográficos y comprometer la toma de decisiones basada en estos productos (Goodchild & Haining, 2005).

Uno de los principales retos en la representación cartográfica de la cobertura y uso de la tierra, es garantizar la precisión, disponibilidad y confiabilidad de los datos geoespaciales, la presencia de errores sistemáticos y aleatorios en los procesos de adquisición y procesamiento puede generar discrepancias en la fotointerpretación, clasificación y delimitación de unidades espaciales, afectando la exactitud temática y geométrica de los mapas resultantes (CONAGE, 2010). Adicionalmente, la resolución temporal de los insumos influye en la capacidad de capturar dinámicas del territorio, dado que factores como el estado fenológico de la vegetación, condiciones climáticas y actividades antrópicas pueden modificar la identificación de las coberturas o los usos actuales (Vela Pelaez et al., 2024). Por otro lado, una resolución espacial inadecuada de las imágenes satelitales u ortofotos, con píxeles de tamaño superior a 50 cm, puede inducir a una fotointerpretación y digitalización de vectores con generalizaciones excesivas o pérdida de detalles críticos, lo que afecta la precisión posicional y la correcta interpretación y delimitación de la información geoespacial asociada al producto a una escala de detalle (Galvis-Lagos, 2007).

Otro desafío clave es la falta de estandarización en las metodologías de clasificación supervisada y no supervisada, procesamiento y validación de datos, lo que genera variabilidad en los resultados obtenidos. La ausencia de criterios unificados en técnicas de clasificación supervisada, no supervisada y fotointerpretación, junto con estrategias de validación poco estructuradas y limitadas verificaciones en campo, introduce

subjetividad en los productos cartográficos; asimismo, el uso de imágenes satelitales, ortofotos y ortoimágenes con deficiencias en las correcciones: radiométrica, atmosférica y topográfica, pueden comprometer la calidad de la representación de las unidades de cobertura y uso de la tierra (Rasilla & Conde, 2023) y (Indira Gandhi National Open University [IGNOU], 2018).

La gestión y el control de calidad en la producción cartográfica de cobertura y uso de la tierra, exigen procedimientos rigurosos en todas las fases del flujo de trabajo, desde la adquisición y procesamiento de datos hasta la validación y difusión de la información geoespacial (Ariza López et al., 2020).

La escala, entendida como la relación entre las distancias medidas en un mapa y las correspondientes en la realidad, desempeña un papel determinante en la estructura y la metodología de producción de productos cartográficos temáticos asociados a una escala específica. Un mismo producto a una escala menor implica una generalización de la información representada a partir de insumos provenientes de escalas pequeñas, utilizando metodologías menos complejas; y, a menudo, más ágiles. En contraste, los productos de escalas medianas requieren ajustes en el flujo de trabajo, mientras que, cuando se trabaja a escalas detalladas o grandes, como la 1: 5 000, se exige un mayor grado de análisis metodológico para garantizar tanto la precisión espacial como el nivel de detalle de la temática (Ruiz Rivera & Galicia, 2016). Por lo tanto, no debe confundirse que una metodología destinada a escalas pequeñas pueda ser replicada sin modificaciones en escalas grandes; lo que sí es posible, es una adaptación de estas metodologías e incorporación de nuevos procesos que aseguren la representatividad y calidad del modelo.

La implementación de estrategias de control de calidad estandarizadas, no solo incrementa la fiabilidad de los productos cartográficos, también optimiza su aplicabilidad en diversos contextos. Un control de calidad adecuado permite mitigar la propagación de errores y reducir los costes de producción, garantizando que la información generada sea precisa, coherente y utilizable en la planificación y gestión del territorio (Ariza & Rodríguez, 2019).



El presente artículo, tiene como objetivo desarrollar e implementar un flujo de trabajo metodológico, integral y sistemático para la gestión y control de calidad en la producción cartográfica de cobertura y uso de la tierra a escala 1:5 000, mediante la integración de principios de calidad de datos geoespaciales, procesos automatizados y procedimientos estructurados de supervisión; y, validación en la cadena de producción. Esta propuesta busca optimizar la eficiencia operativa, reducir los tiempos de control y garantizar la calidad temática, coherencia espacial y fidelidad en la representación territorial, fortaleciendo su aplicabilidad en planificación y otros ámbitos especializados.

DESARROLLO

Este apartado describe el desarrollo del flujo de trabajo, detallando los procedimientos implementados y los criterios de calidad de datos geoespaciales incorporados (Figura 1).

Recopilación de la información

El proceso comienza con una exhaustiva revisión y análisis de los insumos disponibles en fuentes oficiales. La recopilación y selección de estos debe cumplir con los criterios de precisión cartográfica requeridos para la escala 1: 5 000, que permitan asegurar la calidad de los datos geográficos en función de la temática trabajada. Según el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2021a), los insumos se clasifican en tres categorías fundamentales:

a) Insumos obligatorios.

Los insumos fundamentales para la producción de cartografía temática a escala 1: 5 000, incluyen imágenes satelitales ortorectificadas u ortofotos con resolución espacial igual o superior a 50 cm (30 cm, 10 cm) en la región visible del espectro electromagnético; y, como máximo de 150 cm en la región multiespectral, libres de nubosidad (< 10%), sin distorsiones, con correcciones radiométricas, topográficas y geométricas aplicadas.

Estos insumos deben cumplir con un criterio estricto de validez temporal; es decir, corresponder al periodo de

generación del producto cartográfico, con el fin de garantizar la actualidad del análisis y la representatividad del territorio. En este contexto, aunque no existe una normativa fija, se recomienda que dichas imágenes no superen los dos años de antigüedad. Por otro lado, se puede incorporar archivos vectoriales temáticos con una escala igual o mayor a 1:5 000, lo que permite asegurar la precisión posicional requerida, como ejemplo está la cartografía base. Es imprescindible, contar con un catálogo de objetos geográficos que normalice la clasificación de coberturas y usos de la tierra a esta escala, ya que esto garantiza la coherencia lógica de la información; y, además permite su alineación con una Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) y, con ello una base de datos geográfica estructurada, donde los dominios temáticos estén debidamente definidos y vinculados. Esta integración asegura la interoperabilidad, consistencia y reutilización eficiente de la información geoespacial, a más de contar con insumos suficientes y de calidad.

b) Insumos Relevantes

La segunda categoría de insumos comprende elementos contextuales y criterios complementarios que, si bien no son estrictamente obligatorios, aportan valor sustancial al proceso de interpretación temática. Esta categoría incluye documentos técnicos, mapas de referencia, archivos vectoriales (shapefiles), imágenes satelitales multiespectrales, servicios Web Map Service (WMS), geoportales, visualizadores y fuentes secundarias como sitios web especializados o reportes de actualidad. Aunque muchos de estos insumos pueden estar disponibles en escalas menores a 1: 5 000, su relevancia radica en la capacidad de aportar contexto espacial, validez temporal en la temática y reforzar la consistencia lógica en la clasificación de coberturas y uso de la tierra.

c) Insumos de apoyo

Los insumos de apoyo son aquellos que, aunque no cumplen con los criterios de

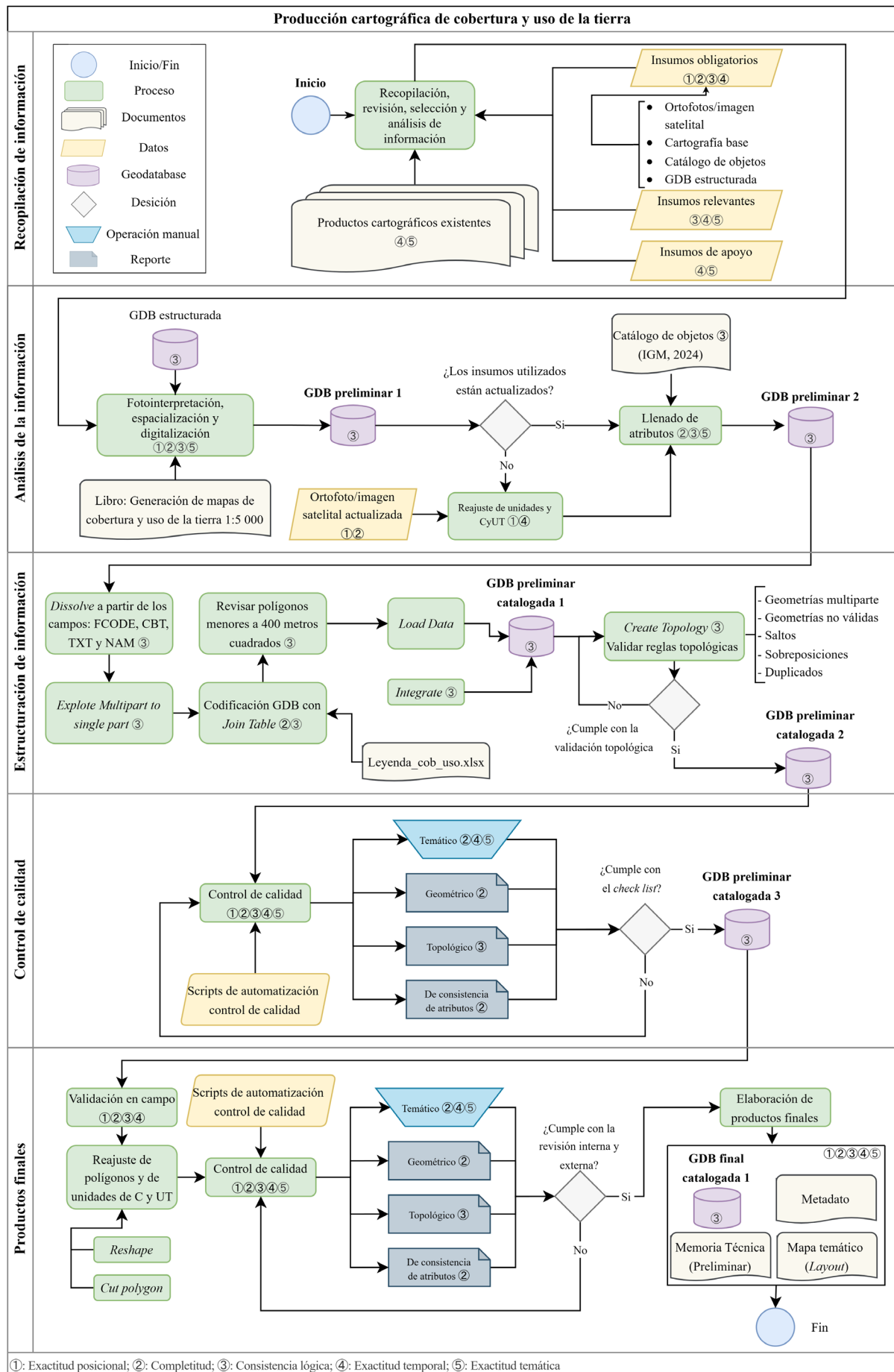


Figura 1. Flujo de trabajo en la producción cartográfica de cobertura y uso de la tierra.
Fuente: Autores, 2025.



exactitud posicional, resultan relevantes para la toma de decisiones, ya que respaldan los criterios temáticos y contribuyen a contextualizar la dinámica territorial y temporal de las coberturas. Entre estos se incluyen fuentes de acceso libre, como Google Earth, Street View; y, otras imágenes satelitales de uso masivo.

La exploración de los metadatos o memorias técnicas asociadas a cada insumo, constituye un componente crítico en la validación de la calidad de la información utilizada. Esta información permite caracterizar aspectos clave como la procedencia, resolución, escala, fecha de adquisición, metodologías de procesamiento y correcciones aplicadas, todos ellos esenciales para la evaluación preliminar del conjunto de datos. Esta caracterización técnica sustenta la construcción de un modelo conceptual, que permite al usuario comprender las condiciones y limitaciones del insumo; así como, definir con mayor precisión su aplicabilidad en los procesos de interpretación temática y catalogación de coberturas y usos de la tierra.

Cabe destacar, que la validez temporal de los insumos es un factor determinante en la interpretación de las coberturas, particularmente ante la variabilidad inherente a las coberturas naturales, los estados fenológicos y la influencia de fenómenos atmosféricos. Por ello, se prioriza el uso de los insumos obligatorios más actualizados disponibles para la fotointerpretación, limitando al mínimo el uso de fuentes secundarias, incluso cuando estas sean más recientes que las principales, a fin de no comprometer la coherencia temporal ni la integridad del producto cartográfico final.

Análisis de la información

Antes de iniciar el desarrollo del producto cartográfico, es esencial definir con precisión su propósito, ya que éste determina los criterios técnicos y metodológicos que estructuran todo el proceso. En este caso, se busca generar una cartografía temática que represente las coberturas sobre la superficie y describa los usos asociados, con un nivel de detalle

propio de la escala 1: 5 000. Temáticamente, la clasificación corresponde al nivel 5, lo que describe con especificidad la cobertura del objeto identificado en el Catálogo de Leyendas de Mapas Temáticos del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG, 2023); como también, objetos asociados al Catálogo de Objetos Geográficos del IGM (IGM, 2012), lo que garantiza su integración en una Infraestructura de Datos Espaciales (IDE).

Para cumplir con los criterios de calidad asociados a la exactitud posicional, se debe garantizar que el producto temático tenga una precisión horizontal máxima de 1,5 m o mayor (1 m; 0,5 m), la unidad mínima cartografiable sea de 400 m² (IGM, 2024); y, que el sistema de referencia utilizado sea SIRGAS-Ecuador con proyección UTM 17S.

Para el IGM (2016), la restitución digital establece el factor de ampliación (zoom) en pantalla de 1 a 6 veces (1: 833), mientras que el (IGAC, 2021) plantea que el zoom de digitalización debe realizarse a la cuarta parte de la escala (1: 1 250), valor que también está establecido para la revisión visual de muestras en la fiscalización de productos cartográficos a escala 1: 5 000 (IGM, 2024a).

La identificación de coberturas se realizó mediante fotointerpretación, técnica que se fundamenta en criterios de interpretación visual. Dependiendo de la complejidad de la cobertura observada, esta puede ser delimitada a partir de diferentes enfoques: (i) criterio espectral, basado en el tono y color, los cuales reflejan la reflectividad específica de los objetos; (ii) criterio espacial simple, determinado por la textura, tamaño y forma, atributos que evidencian la homogeneidad o heterogeneidad de los contrastes entre píxeles y que permiten inferir la geometría digital del objeto identificado; (iii) criterio espacial complejo, el cual incorpora la interpretación de sombras, que aportan percepción de profundidad y patrones espaciales, asociados a la disposición regular o irregular de elementos en el territorio; (iv) criterio temporal, condicionado por el estado fenológico de la vegetación o las condiciones climáticas al momento de la adquisición de la imagen; y, (v) criterio contexto territorial, que permite inferir la presencia o exclusión de ciertas coberturas en función de la localización, el entorno geográfico y el uso del suelo (Pérez, 2019).



Por otra parte, la catalogación o componente alfanumérico asociada a la geometría de las coberturas, se establece conforme al Catálogo de Objetos a Escala 1: 5 000 de cobertura y uso de la tierra, desarrollado por el IGM (IGM, 2024); el cual, puede ser complementado con el Instructivo para la Identificación de Coberturas y Uso del Suelo del mismo organismo (IGM, 2023). Para asegurar la consistencia lógica y semántica de la estructura de los datos, se utiliza una base de datos espacial que incorpora atributos y dominios predefinidos de acuerdo con dicho catálogo. Cabe destacar, que esta estructura de información es flexible y escalable, lo que permite su actualización frente a futuros requerimientos y refuerza la integridad del modelo de representación de coberturas, alineándose con los estándares de la IDE.

En un escenario excepcional, donde no se cuenta con el insumo obligatorio actualizado, pero se disponga de otro que cumpla con las características cartográficas esenciales asociadas a la escala; y, además no exista información temática correspondiente a la temporalidad requerida, se podrá utilizar dicho insumo disponible con el fin de no detener la producción cartográfica y generar una primera iteración de la información temática; sin embargo, este producto preliminar deberá ser actualizado y de ser necesario, ajustado a las condiciones reales del territorio en cuanto se disponga del insumo oficial más reciente. Cabe señalar que este escenario debería tener una probabilidad mínima, ya que la planificación técnica debe asegurar la disponibilidad de los insumos requeridos; sin embargo, las limitaciones logísticas y operativas pueden dificultar su obtención, lo que no debería constituir una barrera para iniciar el proceso de producción temática.

Estructuración de la información

Una vez finalizados los procesos de interpretación, digitalización y catalogación de las coberturas, el especialista responsable debe llevar a cabo un control exhaustivo, verificación y depuración de la información geoespacial, con el objetivo de garantizar la calidad y consistencia de los datos generados. Entre los procedimientos de control más comunes se incluyen: (i) la identificación y fusión de coberturas contiguas con la

misma descripción temática, para evitar la fragmentación innecesaria de polígonos con atributos idénticos, mediante el geoproceso Dissolve; (ii) la eliminación de geometrías múltiples mediante la aplicación de Explode Multipart to Singlepart; (iii) la revisión de la tabla de atributos para detectar y corregir campos vacíos o inconsistencias, de acuerdo con el catálogo de objetos; (iv) la exclusión de polígonos con superficies inferiores a 400 m², conforme al criterio de unidad mínima de mapeo; (v) la verificación del uso de la última versión de la base de datos espacial y, en caso contrario, la actualización mediante la herramienta Load Data; (vi) la ejecución del geoproceso Integrate para asegurar una correcta integración geométrica entre los elementos (opcional); y, (vii) una revisión topológica rigurosa para identificar y corregir errores como geometrías inválidas, múltiples, duplicadas, superposiciones, vacíos espaciales o saltos entre polígonos.

Control de calidad

El control de calidad del producto temático, es realizado por un especialista ajeno al que generó la información, con el fin de asegurar la objetividad en la revisión. El proceso inicia con una validación temática, que implica una revisión manual de las coberturas generadas para comprobar su coherencia, completitud y exactitud posicional. Esta evaluación se realiza mediante un barrido visual integral, que permite verificar que las unidades interpretadas y digitalizadas, representen fielmente la realidad observada en el insumo y al territorio, considerando aspectos como el tipo de cultivo, vegetación natural, distribución altitudinal, estado fenológico, objeto cartografiado y uso asignado. Posteriormente, se lleva a cabo una revisión topológica para garantizar la ausencia de errores como geometrías múltiples o no válidas, saltos, sobreposiciones, duplicados y vacíos espaciales. Cabe destacar que el trabajo en gabinete permite estructurar un producto preliminar; el cual, puede requerir validaciones adicionales en campo para fortalecer la consistencia temática en áreas donde existe ambigüedad o incertidumbre en la interpretación, permitiendo contrastar las coberturas cartografiadas con las condiciones reales del territorio; y, con ello la confirmación o actualización de la información recolectada.



Una vez superadas estas etapas, se ejecutan los controles descritos previamente en la fase de estructuración de la información. Muchos de estos han sido automatizados mediante scripts que agilizan y estandarizan el proceso de validación. Entre ellos destacan: (i) Script 1, que verifica la completitud de la interpretación dentro del área de estudio, la correspondencia y validez de los atributos respecto al catálogo de objetos, la ausencia de elementos fuera del dominio establecido, la concordancia del producto con el área de estudio, la inexistencia de polígonos menores a 400 m² y la detección de fragmentación innecesaria con atributos idénticos; y, (ii) Script 2, que valida la completitud de los elementos correspondientes a la cartografía base. Cabe destacar, que estos scripts han sido desarrollados de acuerdo con los requerimientos específicos del objetivo del producto temático y estándares asociados a una IDE. Los resultados de los scripts permiten identificar con precisión las secciones que requieren corrección o actualización; así como, las inconsistencias en la tabla de atributos que deben ser depuradas.

el marco temporal y una descripción general del contenido. Finalmente, se elabora el mapa temático de cobertura y uso de la tierra, acompañado de un apartado que describe al producto temático para ser anexo en la memoria técnica, consolidando así un producto geoespacial de alta calidad, listo para su difusión y uso.

RESULTADOS

A partir del desarrollo del presente proyecto, se dispone información geoespacial de cobertura y uso de la tierra, para un área de estudio ejecutada entre 2022 y 2024 correspondiente a 8 791,11 km² en 167 ciudades con los siguientes entregables (Tabla 1).

Como resultado del manejo de una gran cantidad de datos, se implementó la automatización de procesos, particularmente en el control de calidad de la base de datos geográfica; para este fin, se desarrollaron una serie de scripts que han permitido optimizar el flujo de trabajo, lo que ha reducido de manera significativa el tiempo de entrega de los productos generados en los 8 791,11 km² intervenidos entre 2022 y 2024, que incluyen: bases de datos geográficas, mapas temáticos, archivos en formato .shp y metadatos (Tabla 2).

Al manejar una gran cantidad de información; y, considerando el tiempo estimado para procesar cada ciudad, se hace necesario implementar recursos que optimicen los procesos y disminuyan el tiempo dedicado al control de calidad de la base de datos, exceptuando el control de calidad temático. En este sentido, en el año 2022, el tiempo estimado para la revisión de cada base de datos fue de 492 minutos por ciudad lo que equivale a 8,3 horas; y, para el año 2024, este tiempo se ha reducido a 232 minutos siendo el

102 Productos finales

Superado el control de calidad interno, el producto es sometido a una evaluación externa, la cual constituye una fase adicional orientada a reforzar la confiabilidad del proceso. Esta revisión suele estar a cargo del equipo IDE, que verifica la calidad integral del producto cartográfico. En caso de identificar observaciones o inconsistencias, el producto es devuelto al equipo especialista responsable para su corrección; tras lo cual, se realiza una nueva validación puntual. Una vez que tanto el evaluador interno como el externo confirman la conformidad del producto, se procede con la generación de los metadatos, los cuales documentan los insumos utilizados,

<i>Año</i>	<i>km²</i>	<i>GDB</i>	<i>Mapas</i>	<i>*Mt</i>	<i>Shapefile</i>	<i>Metadatos</i>	<i>**Total</i>
2022	4212,81	67	67	67	67	67	335
2023	2448,3	51	51	51	51	51	255
2024	2130	49	49	49	49	49	245

**Mt: Memorias técnicas; ** Total de productos cartográficos generados*

Tabla 1. Cobertura de uso y de la tierra a escala 1: 5 000.
Fuente: Autores, 2025.



<i>Control de calidad</i>	<i>Procesos - Solución</i>	<i>Tiempo sin scripts (min)</i>	<i>Tiempo con script (min)</i>
Primer control	Catalogación de los objetos debe coincidir con los atributos y dominios de este.	45	15
	La unidad geográfica específica sea la correcta en cuanto a provincia y cantón.	15	20
	Área calculada en hectáreas.	10	2
	Identificación de polígonos menores a 400 m ² , excepto aquellos que forman parte de la cartografía base oficial.	12	25
	Identificación de polígonos multipartes	270	90
Segundo control	Verificación de compleción sobre elementos de la cartografía base	90	50
Tercer control	Verificación de los atributos de cada campo de la base de datos (337 objetos)	50	30
<i>Tiempo total (min)</i>		492	232

Tabla 2. Tiempos estimados de control de calidad.
Fuente: Autores, 2025.

equivalente a 3,8 horas, lo que representa una disminución del 54,21% en el tiempo de entrega de las bases de datos. Es importante destacar, que este cálculo se refiere únicamente al control de calidad de la base de datos geográfica dentro del componente de cobertura y uso de la tierra; sin considerar, las posteriores revisiones y correcciones realizadas por el equipo de Infraestructura de Datos Espaciales (IDE), lo que puede incrementar hasta tres veces el tiempo de revisión, sea el caso más complejo.

En el análisis del tiempo requerido para el control de calidad de un conjunto de ciudades, específicamente en el primer bloque correspondiente a los años 2022, 2023 y 2024, se observa una disminución progresiva en el tiempo dedicado al proceso de control de

calidad. En 2022, el tiempo total para el control de calidad de siete ciudades fue de 58,1 horas sin el uso de scripts de automatización del control de calidad, mientras que en 2024 este tiempo se redujo a 19,6 horas. Al comparar los años 2023 y 2024, el tiempo estimado para revisar 10 ciudades pasó de 55,5 horas en 2023 a 28 horas en 2024, lo que representa una reducción del 50,45% en el tiempo requerido para la revisión (Tabla 3). Estos resultados evidencian una mejora sustancial en la eficiencia del proceso de control de calidad a lo largo del tiempo. Es importante destacar que los tiempos estimados se refieren únicamente al control de calidad de la base de datos y no incluyen los tiempos adicionales asociados a una segunda revisión, ni el tiempo de respuesta del equipo externo revisor.

	<i>Ciudades 2022</i>	<i>tiempo (hr)</i>	<i>Ciudades 2023</i>	<i>tiempo (hr)</i>	<i>Ciudades 2024</i>	<i>tiempo (hr)</i>
<i>Bloque 1</i>	7	58,1	8	44,4	7	19,6
<i>Bloque 2</i>	16	132,8	8	44,4	8	22,4
<i>Bloque 3</i>	17	141,1	10	55,5	8	22,4
<i>Bloque 4</i>	16	132,8	7	38,85	8	22,4
<i>Bloque 5</i>	11	91,3	8	44,4	8	22,4
<i>Bloque 6</i>			10	55,5	10	28
<i>Total</i>	67	556,1	51	283,05	49	137,2

Tabla 3. Tiempos estimados de control de calidad en los bloques de trabajo.
Fuente: Autores, 2025.



DISCUSIÓN

La dependencia de los gobiernos, instituciones académicas y organizaciones ambientales de información geoespacial actualizada, es crucial para el monitoreo y análisis de los cambios en el paisaje. Esta información se utiliza para evaluar dinámicas clave como la deforestación, la expansión agrícola y el crecimiento urbano (Sánchez et al., 2012). De esta manera, la actualización y difusión de datos geoespaciales se convierten en elementos fundamentales para la toma de decisiones informadas; y, la implementación de políticas eficaces en la gestión del territorio. En este contexto, la calidad de los datos geoespaciales desempeña un papel crucial, dado que cualquier deficiencia en su exactitud puede generar decisiones equivocadas que impacten negativamente en el desarrollo sostenible y la conservación ambiental.

Los resultados obtenidos en este estudio evidencian una mejora significativa en la eficiencia del proceso de control de calidad automatizado de las bases de datos geográficas. La implementación de procesos estandarizados de control de calidad ha permitido reducir el tiempo de procesamiento y validación de información en un 54,21% al comparar el año 2022 con el año 2024. Este avance, se ha logrado mediante la automatización de procesos de control de calidad de verificación topológica, consistencia lógica, exactitud posicional, exactitud temporal, exactitud temática y usabilidad, lo que demuestra, que la estandarización y automatización son estrategias efectivas para optimizar los flujos de trabajo en la gestión de datos geoespaciales. Sin embargo, es necesario reconocer que la mejora en la eficiencia está condicionada por varios factores que pueden afectar la calidad de los resultados.

Una de las principales limitaciones encontradas en este proceso es la falta de insumos actualizados. El desfase temporal en los datos puede comprometer la validez de los productos generados, lo que impacta directamente en la precisión de los análisis. Este desafío es particularmente relevante en el contexto del monitoreo de dinámicas como el cambio en el uso del suelo, donde las actualizaciones oportunas son esenciales para reflejar de manera precisa los cambios en el territorio.

De igual forma se identifica, que la resolución espacial de los insumos, como las ortofotos e imágenes satelitales, en ocasiones no cumple con los requisitos establecidos para los análisis, lo que limita la capacidad de realizar interpretaciones precisas sobre las coberturas y los usos del suelo. La información incompleta en los metadatos también representa una barrera adicional para garantizar la calidad y fiabilidad de los datos.

Otro aspecto relevante, es la falta de automatización en la extracción de objetos relacionados con la leyenda temática, especialmente en lo que respecta a los cultivos y sus diferentes estados fenológicos en el Ecuador continental. La carencia de librerías espectrales adecuadas que cubran toda la diversidad de cultivos y sus variaciones fenológicas, impide la automatización de este proceso, lo que aumenta la carga de trabajo manual; y, en consecuencia los tiempos de procesamiento. Este desafío resalta la necesidad urgente de desarrollar librerías espectrales abiertas y colaborativas; así como, investigar y aplicar técnicas avanzadas como el machine learning para superar las limitaciones actuales en la extracción de información de los datos remotos.

CONCLUSIONES

- La implementación del flujo de trabajo propuesto, ha demostrado una mejora sustancial en la eficiencia operativa del proceso de control de calidad de las bases de datos temáticas de cobertura y uso de la tierra escala 1: 5 000. Esta optimización se traduce en una reducción significativa hasta en un 50,45 % del tiempo requerido para los controles de calidad, resultado directo de la integración de criterios rigurosos de calidad de datos geoespaciales en cada etapa de la cadena de producción. La incorporación de estrategias de automatización, fundamentadas en principios sistemáticos y estandarizados de validación, ha sido clave para asegurar la coherencia y calidad del presente producto cartográfico temático.
- Este flujo metodológico, constituye un marco de referencia para la gestión y control de calidad de este tipo de productos cartográficos temáticos, evidenciando



que la estructuración lógica de criterios técnicos, alineados con estándares de calidad geográfica, fortalece la precisión, consistencia y confiabilidad de los datos generados. La estandarización de procesos; y, la automatización de controles minimizan la ambigüedad en la interpretación, reducen la propagación de errores y aceleran los ciclos de validación, contribuyendo así a una mayor efectividad en la producción.

- Asimismo, la consolidación de estos criterios permite una integración fluida de los productos cartográficos en una IDE, facilitando su publicación, interoperabilidad y uso en procesos de planificación, gestión ambiental y toma de decisiones territoriales.
- No obstante, la producción cartográfica a escalas de detalle como la 1: 5 000, continúa enfrentando desafíos técnicos y operacionales en la generación de información, que cumpla con los criterios a los cuales está asociado la escala. En este sentido, se insta a los generadores de información geoespacial, a fortalecer este flujo de trabajo mediante la adopción de metodologías innovadoras, tecnologías emergentes y enfoques avanzados en la identificación de coberturas; y, en los mecanismos de control temático, procesos que están orientados a una mejora continua.

BIBLIOGRAFÍA

- Ariza López, F. J., Barreira González, P., Masó Pau, J., Zabala Torres, A., Rodríguez Pascual, A. F., Moreno Vergara, G., & García Balboa, J. L. (2020). Geospatial data quality (ISO 19157-1): Evolve or perish. *Revista Cartográfica*, 100, Artículos. <https://doi.org/10.35424/rcarto.i100.692>, <https://revistasipgh.org/index.php/rcar/article/view/692/789>
- Ariza, F. J., & Rodríguez, A. F. (2018). Calidad en datos geográficos, geoservicios y productores de datos: análisis crítico. *Revista Cartográfica*, (97), 105-143.
- Ariza, F. J., & Rodríguez, A. F. (2019). Calidad en datos geográficos, geoservicios y productores de datos: análisis crítico. *Revista Cartográfica*, 97. <https://doi.org/10.35424/rcarto.i97.178>
- Ariza-López F.J., García-Balboa, J.L., Rodríguez-Avi, J., Robledo J., (2018). Guía general para la evaluación de la exactitud posicional de datos espaciales. Proyecto: Propuesta de adopción de metodologías y procedimientos empleados para la evaluación de la calidad de la información geográfica para los Estados Miembros del IPGH (Proyectos Panamericanos de Asistencia Técnica –2018 “Agenda del IPGH 2010- 2020”). Montevideo.
- Brodeur, J., Coetzee, S., Danko, D., Garcia, S., & Hjelmager, J. (2019). Geographic information metadata—an outlook from the international standardization perspective. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(6), 280.
- Consejo Nacional de Geoinformática (CONAGE). (2010). Estándares de información geográfica y políticas nacionales de información geoespacial. Registro Oficial No. 269, 1 de septiembre de 2010. Reformado con Resolución CONAGE No. 003-CONAGE-2013, 24 de julio de 2013. https://iedg.sni.gob.ec/wp-content/uploads/2022/06/Estandares_de_informacion_geografica_cap1.pdf
- Consejo Nacional de Geoinformática. (CONAGE). (2025), <https://iedg.sni.gob.ec/conage/>
- ESRI. 2025. Sistema de información geográfica (SIG). ESRI. <https://www.esri.com/es-es/what-is-gis/overview>
- Galvis Lagos, M. F. (2007). La generalización en cartografía básica y temática. *Revista Científica*, 9, 207-239. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=50437351201>



- Goodchild, M. F., & Haining, R. P. (2005). SIG y análisis espacial de datos: perspectivas convergentes. *Investigaciones Regionales*, 6, 175-201. <https://www.redalyc.org/pdf/289/28900609.pdf>
- Gutiérrez, M. (2006). El rol de las bases de datos espaciales en una infraestructura de datos. En *GSDI-9 Conference Proceedings 1-9*. Santiago, Chile: Universidad Católica de la Santísima Concepción. https://geo.cepal.org/en/contenido/categoria-ide/tecnolog%C3%ADa/archivos/pdf/rol_de_las_bases_de_datos_espaciales_en_una_ide.pdf
- Indira Gandhi National Open University. (2018). Processing and classification of remotely sensed images (pp. 5–22). Indira Gandhi National Open University. <https://www.ignou.ac.in/>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (19 de 05 de 2021). Elaboración del producto digital de cartografía temática. https://www.igac.gov.co/sites/default/files/listadomaestro/in-gag-pc06-02_elaboracion_del_producto_digital.pdf
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (21 de 05 de 2021a). Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Obtenido de Elaboración del Mapa de Cobertura de la Tierra Escala 1:25.000. https://www.igac.gov.co/sites/default/files/listadomaestro/in-gag-pc07-04_elaboracion_del_mapa_de_cobertura_de_la_tierra_escal_125.000.pdf
- Instituto Geográfico Militar (IGM) (2023). Instructivo práctico para la identificación de coberturas y uso de la tierra. <https://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/proyectos-de-inversion/>
- Instituto Geográfico Militar (IGM) (2024). Generación de mapas de cobertura y uso de la tierra a escala 1: 5 000. <https://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/proyectos-de-inversion/>
- Instituto Geográfico Militar (IGM) (2024a). Generación de mapas de Cobertura y uso de la tierra a escala 1: 5 000. Quito. Protocolo de fiscalización para proyectos de generación de cartografía base con fines catastrales a escalas 1: 5 000, obtenida a través de métodos: aerofotogramétricos, digitalización 2D sobre ortofoto, levantamiento lidar o nube de puntos mediante fotogrametría. <https://www.geoportaligm.gob.ec/nextcloud/index.php/s/qjm9k44sjzD9G33>
- Instituto Geográfico Militar (IGM). (2014). Memoria técnica del proyecto generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000: Sistemas productivos. Instituto Geográfico Militar. https://www.geoportaligm.gob.ec/descargas_prueba/zona_manga_cura.html
- Instituto Geográfico Militar (IGM). (2016). Especificaciones técnicas para la producción de cartografía escala 1: 5 000. https://www.geoportaligm.gob.ec/portal/wp-content/uploads/filebase/manuales_tecnicos/prodcart.pdf
- Instituto Geográfico Militar. (2012). Catálogo de objetos geográficos del Instituto Geográfico Militar para cartografía base escala 1: 5 000. <https://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/descargas/documentos-tecnicos/>
- Lambin, E. F., Turner, B. L., Geist, H. J., Agbola, S. B., Angelsen, A., Bruce, J. W., ... & Xu, J. (2001). The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global environmental change*, 11(4), 261-269.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2023). Catálogo de leyendas de mapas temáticos



del Ministerio de Agricultura y Ganadería. Coordinación General de Información Nacional Agropecuaria. <https://online.fliphtml5.com/wtae/oxsw/index.html#p=1>

- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI). (2022). ACUERDO Nro. MIDUVI-MIDUVI-2022-0003-A. Norma Técnica Nacional De Catastros Recuperado de: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2022/05/NORMA-TECNICA-NACIONAL-DE-CATASTROS.pdf>
- Organización Internacional de Normalización. (2014). Información geográfica — Metadatos. (ISO 19115). <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:19115:-1:ed-1:v1:en>
- Pérez Gañan, R. (2019), Introducción a la teledetección. Universidad Virtual de Quilmes. <https://static.uvq.edu.ar/mdm/teledeteccion/index.html>
- Rasilla, D. F., & Conde, F. (2023, abril 17). Preprocesamiento de imágenes de satélite: Correcciones. G174: Fotointerpretación y teledetección. Universidad de Cantabria. Disponible en https://personales.unican.es/rasillad/docencia/g174/7_preprocesamiento/correccion.html
- Ruiz Rivera, N., & Galicia, L. (2016). La escala geográfica como concepto integrador en la comprensión de problemas socio-ambientales. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 89, 137–153. <https://doi.org/10.14350/rig.47515>, https://www.researchgate.net/publication/299534459_La_escala_geografica_como_concepto_integrador_en_la_comprension_de_problemas_socio-ambientales
- Sánchez-Cuervo, A. M., Aide, T. M., Clark, M. L., & Etter, A. (2012). Land cover change in Colombia: surprising forest recovery trends between 2001 and 2010. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0043943>
- Suárez-Parra, K. V., Cély-Reyes, G. E., & Forero-Ulloa, F. E. (2016). Validación de la metodología Corine Land Cover (CLC) para determinación espacio-temporal de coberturas: Caso microcuenca de la quebrada Mecha (Cómbita, Boyacá), Colombia. *Biota Colombiana*, 17(1), 1-15. <https://doi.org/10.21068/C2016v17r01a01>
- Turner, B. L., Lambin, E. F., & Verburg, P. H. (2021). From land-use/land-cover to land system science: This article belongs to Ambio's 50th Anniversary Collection. Theme: Agricultural land use. *Ambio*, 50, 1291-1294.
- Vela Pelaez, A. A., Navarro Martínez, M. A., Mendoza, M., Sánchez Sánchez, J. A., & Esparza Olguín, L. G. (2024). Análisis multitemporal de cambios en el NDVI en una región con aprovechamiento forestal en la península de Yucatán, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 15(81). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v15i81.1425>

Instituto Geográfico Militar: Punto focal del Ecuador ante la UNOOSA en el marco del uso pacífico del espacio ultraterrestre.

MILITARY GEOGRAPHIC INSTITUTE: ECUADOR'S FOCAL POINT TO UNOOSA IN THE FRAMEWORK OF THE PEACEFUL USES OF OUTER SPACE.

Ramírez, Iván. - ivan.ramirez@geograficomilitar.gob.ec

Ramírez, Milton. - milton.ramirez@geograficomilitar.gob.ec

Jiménez, Alexander. - alexander.jimenez@geograficomilitar.gob.ec

Vintimilla, Alejandro. - eduardo.vintimilla@geograficomilitar.gob.ec

RESUMEN

La UNOOSA es el único organismo de la ONU que se ocupa de las actividades espaciales, por lo tanto, la designación del Instituto Geográfico Militar (IGM) como punto focal de Ecuador ante dicho organismo, le otorga un rol estratégico en la gobernanza espacial nacional. Sin embargo, plantea desafíos respecto al uso pacífico del espacio, evidenciando la necesidad de que Ecuador desarrolle una política y ley espacial, que cuente con una entidad administrativa, acorde al derecho internacional, la cual lidere el desarrollo de este ámbito, contribuya al desarrollo sostenible y a la creación de una industria espacial alineada con la transformación productiva nacional.

Palabras claves: UNOOSA, COPUOS, gobernanza espacial, política espacial nacional, uso pacífico del espacio ultraterrestre.

ABSTRACT

UNOOSA is the only UN body that deals with space activities, therefore, the designation of the Military Geographic Institute (IGM) as Ecuador's focal point to this body grants it a strategic role in national space governance. However, it poses challenges regarding the peaceful use of space, highlighting Ecuador's need to develop a space policy and law, with an administrative entity, in accordance with international law, that would lead the development of this field, contribute to sustainable development, and create a space industry aligned with national productive transformation.

Keywords: UNOOSA, COPUOS, space governance, national space policy, peaceful use of outer space.

109

INTRODUCCIÓN

Durante el período de la Guerra Fría (1947 - 1991), el espacio ultraterrestre emergió como un potencial escenario de confrontación, lo que motivó a la Organización de las Naciones Unidas (ONU) a establecer mecanismos regulatorios. En 1958, se creó la Oficina para Asuntos del Espacio Ultraterrestre (UNOOSA), y un año después la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos (COPUOS). Estos organismos fueron concebidos para garantizar que la exploración



y utilización del espacio ultraterrestre se realicen exclusivamente con fines pacíficos y en beneficio de toda la humanidad, conforme a los principios establecidos en el derecho espacial internacional (UNOOSA, 2025).

UNOOSA, como entidad especializada del sistema de la ONU, apoya a los Estados miembros con énfasis en los países en vías de desarrollo, en el uso de la tecnología espacial para lograr el desarrollo sostenible. Entre sus iniciativas destacan: capacitaciones, programas de acceso al espacio, fortalecimiento de capacidades en materia espacial, entre otros (Ibídem). Un componente destacado es su “Plataforma de las Naciones Unidas de información obtenida desde el espacio para la gestión de desastres y la respuesta de emergencia (ONU-SPIDER)”, la cual busca que países y organizaciones regionales e internacionales tengan la capacidad de desarrollar y acceder a todos los tipos de información obtenida desde el espacio con el fin de apoyar el ciclo completo de gestión de desastres (United Nations, 2025) (Figura 1).

y sostenibilidad de actividades espaciales. Adicionalmente, impulsan la cooperación internacional para abordar desafíos comunes como la mitigación de desechos espaciales, protección frente a objetos cercanos a la Tierra (NEOs), entre otros, garantizando así la sostenibilidad y seguridad del entorno espacial (UNOOSA, 2025).

Por otra parte, COPUOS es el único foro de la Asamblea General de la ONU dedicado a promover la cooperación internacional en el marco del uso pacífico del espacio ultraterrestre. Entre sus iniciativas destacan: fortalecer el régimen jurídico internacional sobre el espacio ultraterrestre (regulaciones para actividades espaciales), promover la cooperación para maximizar los beneficios de la ciencia y tecnología espacial, impulsar la sostenibilidad de las actividades espaciales - seguridad en órbita (gestión de desechos espaciales), prevenir conflictos mediante normas de transparencia, discutir temas como observación del espacio, meteorología espacial, amenazas de asteroides y uso de la energía nuclear en el espacio (COPUOS, 2025a).

Los Estados miembros de UNOOSA - COPUOS han establecido un conjunto de instrumentos jurídicos que conforman el núcleo del derecho

110

UNOOSA - COPUOS también desempeñan un rol clave en la promoción del derecho espacial internacional, registro de objetos lanzados al espacio y fomento de la transparencia

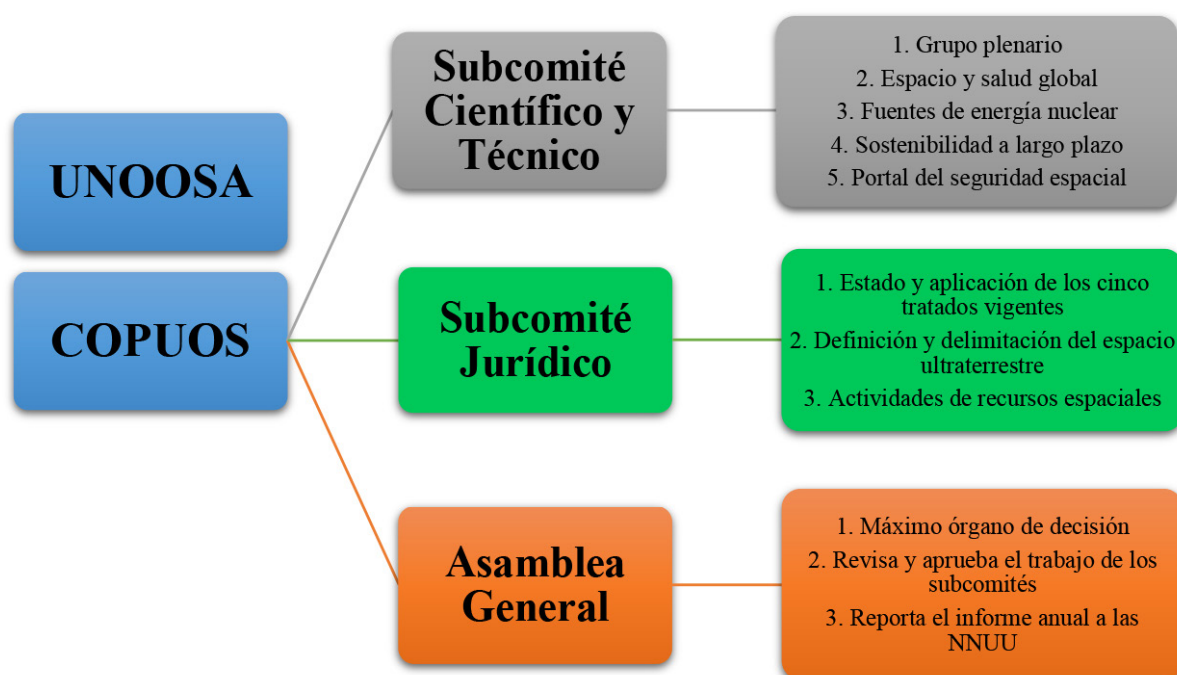


Figura 1: UNOOSA - COPUOS.
Fuente: UNOOSA, 2025.



espacial internacional, compuesto por cinco tratados fundamentales (Naciones Unidas, 2008):

1. Tratado sobre los Principios que Deben Regir las Actividades de los Estados en la Exploración y Utilización del Espacio Ultraterrestre, incluso la Luna y otros Cuerpos Celestes (Tratado del Espacio Ultraterrestre) - 1967.
2. Acuerdo sobre el Rescate, la Devolución de Astronautas y la Restitución de Objetos Lanzados al Espacio Ultraterrestre - 1968.
3. Convenio sobre la Responsabilidad Internacional por Daños Causados por Objetos Espaciales - 1972.
4. Convenio sobre el Registro de Objetos Lanzados al Espacio Ultraterrestre - 1976.
5. Acuerdo que Debe Regir las Actividades de los Estados en la Luna y Otros Cuerpos Celestes (Acuerdo sobre la Luna) - 1984.

COPUOS opera mediante una estructura institucional compuesta por tres componentes principales: Reunión Plenaria Anual, Subcomité Científico Técnico y el Subcomité Jurídico (COPUOS, 2025b).

La Reunión Plenaria es el máximo órgano deliberativo donde los Estados miembros intercambian opiniones generales sobre las actividades desarrolladas durante el año para el desarrollo del espacio ultraterrestre y cómo garantizar su uso para fines pacíficos. Se presentan y aprueban los informes de las Subcomisiones de Asuntos Científicos y Técnicos y de Asuntos Jurídicos, respectivamente, sobre sus períodos de sesiones previos. Se discuten temas claves como el espacio y el desarrollo sostenible, beneficios de la tecnología espacial y su relación con el agua y el cambio climático, la exploración e innovación espaciales, la agenda “Espacio 2030”, la aprobación de resoluciones, entre otros. De igual manera, su actividad más esencial es la aprobación del informe final para luego ser remitido a la Asamblea General.

El ciclo de sesiones del Subcomité Científico - Técnico (STSC) se enfoca en temas como los desechos espaciales, gestión de desastres con sistemas espaciales, sistemas de navegación satelital, clima espacial, objetos cercanos a la Tierra, sostenibilidad a largo plazo de las actividades espaciales y la utilización de energía nuclear en el espacio. Además, se trata y debate sobre comunicaciones espaciales, cielos oscuros, astronomía, y desafíos de las grandes constelaciones.

Durante el ciclo de sesiones del Subcomité Jurídico (LSC) se tratan temas como la situación y aplicación de los cinco tratados del espacio ultraterrestre, definición y delimitación del espacio ultraterrestre y la utilización de la órbita geoestacionaria. Se abordan posibles modelos de normas jurídicas para la exploración y explotación de recursos espaciales, la reducción de desechos espaciales, la gestión del tráfico espacial y los aspectos jurídicos de los satélites pequeños, entre otros.

DESARROLLO

Según Romo (2020, p. 45) y Elefteriu, (2024, p. 112), las actividades que se desarrollan en el espacio ultraterrestre han experimentado una profunda transformación, han dejado de ser un ámbito exclusivo de las grandes potencias para convertirse en un dominio estratégico multidimensional. Esta evolución ha transitado desde proyectos científicos y de exploración hasta convertir al espacio en un dominio estratégico para la seguridad nacional (Romo, 2020, p. 47), la economía, el desarrollo social y la influencia global (Elefteriu, 2024, p. 115). Los datos más recientes demuestran que aproximadamente el 40% de las metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) dependen directa o indirectamente de tecnologías espaciales (Naciones Unidas, 2023, p. 11). Los sectores claves como comunicaciones, educación, salud, geoposicionamiento, navegación por satélite, transporte, logística, entre otras, dependen de los sistemas satelitales (Naciones Unidas, 2023, p. 12).

En relación a la ciencia y tecnología, en la Estación Espacial Internacional se han desarrollado más de 3000 experimentos científicos en áreas como medicina, biología, ciencia de materiales, agricultura, etc., lo que lleva a la necesidad de generar nueva tecnología para el desarrollo



de estas actividades en el espacio (Ibídem). Ecuador, consciente de esta realidad, en 2021 apoyó la Agenda Espacio 2030 de UNOOSA - COPUOS como una iniciativa global que busca maximizar los beneficios económicos y sociales derivados del uso pacífico del espacio, alcanzar los ODS y promover la cooperación internacional (UNOOSA, 2024).

Ecuador, con su privilegiada posición geográfica, se encuentra llamado a jugar un papel relevante en esta nueva era espacial. Sin embargo, para aprovechar todo su potencial se necesita fortalecer su marco institucional y normativo, asegurando que su desarrollo espacial está alineado con los objetivos nacionales, los tratados internacionales ratificados y las mejores prácticas internacionales.

Ecuador, como parte activa de UNOOSA - COPUOS desde 1977 (ONU, 1977, p. 67), ha contado con tres instituciones que se han relacionado con el ámbito espacial, el Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos (CLIRSEN) desde 1977 hasta 2012, el Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE) desde 2012 hasta 2019; y el Instituto Geográfico Militar (IGM) desde el 2019 hasta la actualidad.

Sin embargo, la primera institución creada específicamente con el objetivo de realizar actividades espaciales fue el IEE, mediante Decreto Ejecutivo Nro. 1246, publicado en el Registro Oficial Nro. 759, donde en su artículo 3 determina que su objeto sería:

1. La investigación científica del espacio exterior próximo a la Tierra y del espacio ultraterrestre.
2. La coordinación de programas y proyectos en el área espacial conforme a los Objetivos de Desarrollo Nacional.
3. El desarrollo de tecnología espacial.
4. El ejercicio de los derechos sobre los segmentos correspondientes de la órbita sincrónica geoestacionaria.
5. La promoción del uso pacífico del espacio ultraterrestre y otros fines pacíficos.

6. Investigación aplicada para observación de la Tierra, percepción remota y sistemas de información geográfica.
7. Gestión de geoinformación temática orientada a la defensa, apoyo al desarrollo e inventario de recursos naturales.

El IEE fue suprimido en el año 2019, por lo cual el IGM mediante Decreto Ejecutivo Nro. 714 publicado en el Registro Oficial Nro. 481, asumió la responsabilidad de cumplir el objeto de creación del IEE. Acorde a lo anterior, en cumplimiento de los numerales 4 y 5 de dicho objeto, el IGM a través del Ministerio de Relaciones Exteriores y Movilidad Humana (MREMH), inició su participación en las diferentes reuniones de la UNOOSA - COPUOS de forma virtual y presencial, en función de las políticas dispuestas por dichos organismos internacionales.

Pero ¿por qué es importante la participación activa de Ecuador en estos organismos? La principal razón radica en que estos foros formulan las normas y políticas internacionales, así como los estándares para la investigación, exploración, uso y regulación del espacio ultraterrestre. Por lo tanto, la presencia de los delegados nacionales aporta para la visibilización y consideración de los puntos de vista nacionales, fortaleciendo la gobernanza espacial nacional y protegiendo los intereses nacionales frente a cuestiones como investigación espacial, pequeños satélites, desechos espaciales, delimitación del espacio, órbita geoestacionaria, recursos espaciales, entre otras.

Por otra parte, los representantes nacionales pueden interactuar con delegaciones de otros Estados, posibilitando acceder a la cooperación internacional para generar capacidades que permitan desarrollar actividades en este ámbito. Al respecto, el país puede recibir apoyo técnico con imágenes satelitales útiles para realizar monitoreo ambiental, gestión de riesgos y respuesta a desastres, agricultura, acuicultura, fuentes de agua, incendios.

Al ser la principal instancia multilateral



de gobernanza espacial global, UNOOSA - COPUOS establece el marco normativo para la utilización pacífica del espacio ultraterrestre. Ecuador en cumplimiento de este régimen internacional, ha ratificado cuatro de los cinco tratados fundamentales del espacio (COPUOS, 2024, p. 6), cuyos principios rectores incluyen: la utilización exclusivamente pacífica del espacio ultraterrestre, la no apropiación nacional mediante soberanía, uso u ocupación, la prohibición de emplazar armas nucleares u otras de destrucción masiva en órbita, la libertad de exploración e investigación científica, entre otros.

En este sentido, los organismos y los Estados miembros de UNOOSA - COPUOS no consideran relacionarse con instituciones militares para el desarrollo de actividades en el espacio ultraterrestre; ante esto, se solicitó al Ministerio de Defensa Nacional (MDN) como ente rector del IGM, la emisión de las políticas para el desarrollo del ámbito espacial nacional, siendo que en noviembre de 2022 se ratificó al IGM como institución ejecutora de las competencias espaciales. De igual manera, el MDN ha determinado en función de esta asignación de competencias que el IGM sea el punto focal de comunicación a nivel nacional con UNOOSA - COPUOS.

En este ámbito de acción, el IGM ha mantenido reuniones con la Subsecretaría de Apoyo al Desarrollo Sector Defensa exponiendo la necesidad que el país cuente con una política espacial, la cual de igual manera contemple la elaboración de un Plan Espacial Nacional, como punto de partida en este ámbito. Esta tarea fue encomendada realizar al IGM en conjunto con las entidades más afines al campo espacial, para lo cual se priorizó las principales actividades bajo la guía del MDN.

La formulación de este plan contó con un proceso participativo social que involucró a diversos actores clave como: Ministerios, Secretarías de Estado, Academia, sector privado, entre otras. Adicionalmente, contó con las opiniones de diversas entidades como la Fuerza Aérea Ecuatoriana y la Armada del Ecuador, garantizando su alineación con los principales objetivos nacionales. Este plan es un aporte del IGM para el desarrollo de

la política espacial del país, consolidándose como un instrumento estratégico y estructurado en cuatro ejes fundamentales:

1. Gobernanza espacial.
2. Generación y fortalecimiento de capacidades.
3. Investigación, desarrollo tecnológico, innovación y exploración espacial (planteada ejecutarse de manera colaborativa con los actores nacionales relevantes).
4. Aprovechamiento de los datos satelitales.

La gobernanza espacial es un área prioritaria en el ámbito espacial, siendo urgente la elaboración de una Ley Espacial Nacional. En base a las gestiones realizadas por parte de los delegados institucionales durante las sesiones anuales presenciales de UNOOSA - COPUOS, se consiguió el apoyo internacional para ejecutar la asistencia técnica de UNOOSA en el marco del Programa Ley Espacial para Nuevos Actores Espaciales.

Los entes involucrados han confirmado la disponibilidad de su apoyo a partir del segundo semestre del año 2025, previa contribución económica financiada por parte del Estado ecuatoriano por intermedio del IGM. Una vez finalizada la asistencia técnica, el país podrá contar con un borrador de ley espacial alineado con el derecho internacional, el cual promoverá el desarrollo nacional y facilitará la participación de iniciativas privadas en el sector espacial.

En este contexto, el IGM además impulsó la firma del Cuarto Tratado del Espacio “Convenio sobre el Registro de Objetos Lanzados al Espacio Ultraterrestre”, ratificado mediante Decreto Ejecutivo Nro. 530 de 23 de febrero de 2025. Este tratado se constituye en la norma nacional que permitirá apoyar a la academia e industria para que puedan incursionar en el desarrollo y puesta en órbita de satélites nacionales, y también evitar que el Estado ecuatoriano asuma responsabilidades relacionadas con eventos adversos en el espacio.



En relación a la generación de capacidades, durante las diferentes reuniones de UNOOSA - COPUOS se logró el relacionamiento con agencias espaciales internacionales y regionales, fruto de lo cual existen avances significativos para la firma de memorandos de entendimiento con Brasil y China.

Adicionalmente se ha podido apoyar la inclusión, logrando mayor participación de mujeres ecuatorianas en eventos espaciales, resaltando la designación de una compatriota como punto de contacto nacional de la Organización Space Generation.

En el área de investigación colaborativa, si bien el país cuenta con capacidades básicas en áreas como teledetección, uso de geoinformación, desarrollo de nanosatélites, lo cual ha permitido impulsar proyectos conjuntos con instituciones académicas nacionales; resulta prioritario fortalecer las capacidades técnicas y humanas para incrementar sustancialmente, el volumen de iniciativas en el sector espacial, así también se requiere un marco legal que permita la inversión pública en el desarrollo conjunto de proyectos similares.

Acerca del aprovechamiento de información geoespacial, existen dos desafíos críticos al respecto: (a) demanda de imágenes satelitales con especificaciones técnicas puntuales (resolución espacial, temporal, espectral, radiométrica, entre otros); y (b) urgencia de implementar un repositorio de imágenes nacional centralizado que permita al sector público acceder eficientemente a estos insumos.

Cabe resaltar que estas dos últimas áreas constituyen líneas de acción estratégicas pendientes, para optimizar el uso de tecnologías espaciales a nivel nacional para lo cual se requiere con urgencia un marco legal que permita llevarlas a cabo.

Los avances tecnológicos han permitido que la Academia y el sector privado puedan incursionar en esta área, lo cual ha generado que surjan nuevos actores con diferentes objetivos y metas, con ello también está incrementado los desechos espaciales que pueden dificultar e incluso limitar la actividad espacial. Por otra parte, los

intereses de las naciones más desarrolladas y las entidades privadas pueden llegar a limitar la participación de los países en desarrollo, generando mayores brechas tecnológicas y retos a países como Ecuador.

Ante estos nuevos desafíos, Ecuador debe aprovechar sus características geográficas para posicionarse como un socio estratégico para la nueva economía espacial; sin embargo, considerando que el IGM es el punto focal ante UNOOSA - COPUOS, se ha determinado que existen tareas pendientes como una política y una ley para el desarrollo del ámbito espacial nacional, un marco jurídico que apoye a la inversión privada, el desarrollo de la industria espacial nacional y la cooperación internacional. De igual manera, es prioridad la definición de un ente rector, acorde al derecho internacional, que coordine estos esfuerzos y garantice que este campo de acción beneficie al desarrollo nacional.

CONCLUSIONES

- La Oficina de las Naciones Unidas para Asuntos del Espacio Ultraterrestre (UNOOSA) y su Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos (COPUOS) constituyen los principales actores en la gobernanza del espacio ultraterrestre. Al ser los únicos órganos especializados de la ONU en esta materia, desempeñan un papel fundamental en el establecimiento de marcos normativos, abordan desafíos comunes en conjunto con los Estados miembros, ayudan a prevenir conflictos y garantizan que los beneficios del espacio ultraterrestre alcancen a toda la humanidad. Su labor resulta particularmente relevante en el contexto actual de asimetrías tecnológicas entre naciones ayudando a reducir las brechas tecnológicas.
- El caso ecuatoriano demuestra la importancia estratégica de la participación activa en estos foros multilaterales, puesto que han permitido acceder a beneficios concretos como los programas implementados por UNOOSA, tales como ONU-SPIDER y “Ley Espacial para Nuevos Actores Espaciales”, así como



los esquemas de cooperación técnica y transferencia tecnológica que representan oportunidades tangibles para fortalecer las capacidades nacionales en el ámbito espacial. La participación de Ecuador en estos foros ha posibilitado un proceso de inserción progresiva en la gobernanza internacional del espacio ultraterrestre, con un enfoque en el uso pacífico del espacio.

- La designación del Instituto Geográfico Militar (IGM) como punto focal nacional ante UNOOSA ha resultado estratégica para el fortalecimiento institucional nacional en esta materia. Esto ha permitido al Ministerio de Relaciones Exteriores y Movilidad Humana (MREMH) contar con una contraparte científico-técnica y jurídica que incide en la formulación de políticas globales, el acceso a programas de cooperación tecnológica y la defensa de intereses estratégicos en áreas críticas como: derechos en la órbita geoestacionaria, regulación de pequeños satélites, gestión de desechos espaciales, uso sostenible de recursos espaciales, entre otros, contribuyendo a reducir las brechas tecnológicas.
- Los hallazgos del estudio evidencian tanto los avances logrados como los desafíos pendientes en la construcción de capacidades espaciales nacionales, entre las que se destacan:
 - a) Necesidad urgente de una política y ley espacial nacional coherente y que armonice los tratados del espacio con los objetivos de desarrollo nacional.
 - b) Creación de una entidad autónoma con estructura moderna, capacidades técnicas y liderazgo, la cual articule una estrategia nacional de desarrollo espacial y vinculación internacional.
 - c) Mecanismos permanentes de participación de grupos multidisciplinarios de expertos, que permitan traducir los compromisos internacionales en acciones concretas.
 - d) Inserción internacional gradual priorizando alianzas sur-sur y

programas de mentoría con países con mayor experiencia.

e) Creación de un fondo nacional para la formación especializada de recursos humanos en derecho y tecnología espacial.

f) Establecimiento de mesas público - privadas que traduzcan los acuerdos internacionales en proyectos concretos de innovación, asegurando que el espacio ultraterrestre se convierta en una herramienta real para el desarrollo sostenible del país, contribuyendo significativamente a cerrar brechas tecnológicas que apoyen la transformación productiva nacional.

BIBLIOGRAFÍA

- COPUOS. (2025a). Comité sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos. <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/copuos/index.html>
- COPUOS. (2025b). Subcomités de COPUOS. <https://n9.cl/guaghf>
- COPUOS. (2024). Status of International Agreements relating to activities in outer space as at 1 January 2024. <https://n9.cl/9gnceh>
- Decreto Ejecutivo Nro. 1246. (2 de agosto de 2012). Créase el Instituto Espacial Ecuatoriano. Registro Oficial Nro. 759. <https://n9.cl/9gonw>
- Decreto Ejecutivo Nro. 714. (6 de mayo de 2019). Suprímase el Instituto Espacial Ecuatoriano. Registro Oficial Nro. 481. <https://n9.cl/zuekb>
- Decreto Ejecutivo Nro. 530. (23 de febrero de 2025). Ratificación del Convenio sobre el Registro de Objetos Lanzados al Espacio Ultraterrestre. <https://n9.cl/e0e51>
- Elefteriu, G. (2024). The role of space power in geopolitical



competition. [Libro]. <https://n9.cl/gp0q9a>

- Naciones Unidas. (2023). Informe de políticas de Nuestra Agenda Común: El futuro de la gobernanza del espacio ultraterrestre. <https://n9.cl/8g2se>
- Naciones Unidas. (2008). Tratados y principios de las Naciones Unidas sobre el espacio ultraterrestre. Oficina de Asuntos del Espacio Ultraterrestre. <https://n9.cl/ug0cl>
- Naciones Unidas. (1977). Resolución A/RES/32/196B. Cooperación internacional para la utilización del espacio ultraterrestre con fines pacíficos. <https://n9.cl/0ybul>
- Romo, J. (2020). Conflictos armados en el espacio ultraterrestre. [Libro]. <https://n9.cl/pofbbz>
- UNOOSA. (2025). Roles y responsabilidades de UNOOSA. <https://n9.cl/enlv2h>
- United Nations. (2025). Sobre ONU-SPIDER. <https://www.un-spider.org/es/sobre-nosotros/sobre-onu-spider>
- UNOOSA. (2024). La agenda Espacio 2030: El espacio como motor del desarrollo sostenible. <https://n9.cl/wbg8ei>

Implicaciones de la degradación de los cielos oscuros y silenciosos en la infraestructura espacial ecuatoriana.

IMPLICATIONS OF THE DEGRADATION OF DARK AND QUIET SKIES
FOR ECUADOR'S SPACE INFRASTRUCTURE.

Ramírez, Milton. - milton.ramirez@geograficomilitar.gob.ec

Ramírez, Iván. - ivan.ramirez@geograficomilitar.gob.ec

Mullo, Christian. - christian.mullo@geograficomilitar.gob.ec

Ramos, David. - david.ramos@geograficomilitar.gob.ec

RESUMEN

Este artículo, con enfoque cualitativo, aborda los cielos oscuros y silenciosos, puesto que las interferencias artificiales están deteriorando la capacidad de investigación astronómica desde la Tierra. El caso ecuatoriano del Observatorio Astronómico de Quito y la planicie de Jerusalén, ejemplifican la urgencia de establecer una gobernanza espacial efectiva que proteja los entornos donde se ubican instalaciones para estudios del espacio ultraterrestre o de comunicación con satélites. Estos entornos son claves para educación, turismo astronómico, seguridad espacial y representan oportunidades económicas como tecnológicas que el país no puede desaprovechar. Su protección prevendría inversiones futuras en nueva infraestructura por deterioro ambiental.

Palabras claves: Cielos oscuros y silenciosos, gobernanza espacial, contaminación lumínica y radioeléctrica, espacio ultraterrestre, basura espacial.

ABSTRACT

This article, with a qualitative approach, addresses dark and quiet skies, since artificial interferences are deteriorating the capacity for astronomical research from Earth. The Ecuadorian case of the Quito Astronomical Observatory and the Jerusalem plain exemplify the urgency of establishing effective space governance to protect the environments where facilities for outer space studies or satellite communications are located. These environments are key for education, astronomical tourism, and space security, and represent economic and technological opportunities that the country cannot afford to miss. Their protection would prevent future investments in new infrastructure due to environmental deterioration.

Keywords: *Dark and quiet skies, space governance, light and radio-electrical pollution, outer space, space debris.*

INTRODUCCIÓN

Gracias al avance tecnológico, el acceso al espacio ultraterrestre se ha simplificado y abaratado, lo que ha permitido a una creciente variedad de actores, tanto estatales como privados, lanzar satélites con



mayor facilidad (Malisuwan y Kanchanarat, 2022; Harrison et al., 2017). Este fenómeno, conocido como la “democratización del espacio”, ha impulsado significativamente el despliegue de constelaciones satelitales con fines comerciales y científicos. Si bien estos desarrollos han generado numerosos beneficios para la sociedad, también han generado aspectos negativos, entre los cuales se destaca el aumento de la basura espacial. Esta categoría incluye desde satélites inactivos, restos de vehículos lanzadores, fragmentos generados por colisiones o destrucción intencional de objetos en órbita, entre otros; como consecuencia, se ha intensificado un nuevo tipo de contaminación, denominada contaminación espacial (COPUOS, 2025a).

Uno de los principales impactos de esta proliferación de objetos en órbita es la degradación de la calidad de los datos astronómicos. Las estelas producidas por la reflexión de la luz solar sobre los satélites y la basura espacial interfieren en la observación astronómica, dificultando la detección de objetos como cometas, objetos cercanos a la Tierra y fenómenos transitorios tales como supernovas, estallidos de rayos gamma y tránsitos planetarios. Esta contaminación óptica no solo reduce la precisión de las mediciones, sino que también puede generar falsos positivos que obstaculizan los esfuerzos por realizar descubrimientos clave, especialmente aquellos relacionados con la alerta temprana ante amenazas espaciales. Además, las operaciones de lanzamiento y reentrada de estos satélites tienen efectos atmosféricos adicionales, que aún se encuentran en proceso de evaluación científica (COPUOS, 2025b).

En paralelo, debe considerarse el impacto sobre la radioastronomía. Todos los satélites, independientemente de su función, pueden ser detectados por radiotelescopios y sus emisiones electromagnéticas contribuyen a un aumento en el ruido de fondo. Esto resulta particularmente problemático en el caso de constelaciones en órbitas no geoestacionarias, que introducen una variabilidad adicional en el entorno radioeléctrico. La presencia de estas señales interfiere en la observación de emisiones cósmicas extremadamente débiles, como la radiación cósmica de fondo (CMB), afectando la sensibilidad de los receptores y generando saturación e interferencias no deseadas (Ibíd.

Ante este panorama, se vuelve indispensable que los instrumentos de radioastronomía se sitúen en Zonas Silenciosas en Radiofrecuencia (Radio Quiet Zones - RQZs), las cuales son áreas especialmente protegidas por regulaciones nacionales y locales que restringen las emisiones de radiofrecuencia desde fuentes terrestres. A nivel internacional, la Unión Internacional de Telecomunicaciones - Radiocomunicaciones (UIT-R) mantiene un registro actualizado de estas zonas y promueve que los Estados miembros de los convenios documenten y registren sus normativas de protección; esto permite a los operadores satelitales identificar y evitar voluntariamente la generación de interferencias sobre estas zonas sensibles (Ibíd.).

No obstante, a pesar de los esfuerzos por preservar la integridad de estas regiones protegidas, actualmente no existen soluciones técnicas completamente eficaces para mitigar las perturbaciones electromagnéticas no intencionadas causadas por los satélites, ni el creciente nivel de ruido de fondo en microondas. Esta situación continúa comprometiendo la calidad y precisión de las observaciones radioastronómicas realizadas desde la superficie terrestre, afectando particularmente las investigaciones que dependen de la detección de señales extremadamente débiles provenientes del universo profundo (Ibíd.).

En este estudio se empleó un enfoque cualitativo - descriptivo basado en revisión bibliográfica y documental, analizando fuentes primarias de organismos internacionales como la Oficina de Naciones Unidas para Asuntos del Espacio Exterior (UNOOSA), Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos (COPUOS), Unión Astronómica Internacional (IUA) y UIT-R, además de literatura científica sobre los efectos de la contaminación espacial. A nivel nacional, se evaluaron estudios técnicos, normativas existentes y experiencias institucionales en torno a la astronomía ecuatoriana, con énfasis en el caso del Observatorio Astronómico de Quito (OAQ) y el terreno que tiene esta institución en la planicie de Jerusalén, incluyendo un análisis referente a la posibilidad de disponer de un marco jurídico espacial.



DESARROLLO

La astronomía no solo representa un motor fundamental para el avance del conocimiento científico, sino que también genera beneficios económicos de gran relevancia. Las observaciones astronómicas han sido esenciales para el desarrollo de sistemas de referencia que hoy constituyen la base para aplicaciones tan diversas como navegación por satélite, geolocalización, telecomunicaciones, teledetección, entre otras (CPS et al., s.f.).

El monitoreo constante del clima espacial resulta crucial para prevenir daños en infraestructuras sensibles, como los satélites de comunicaciones y las redes eléctricas, lo cual contribuye a evitar pérdidas económicas que podrían alcanzar cifras multimillonarias. De igual manera, la detección de objetos cercanos a la Tierra (NEOs) constituye una función estratégica para la seguridad planetaria y la sostenibilidad a largo plazo de la humanidad (Ibídem).

Por otra parte, el astroturismo ha emergido como una alternativa viable para el desarrollo de economías rurales, atrayendo visitantes interesados en la observación del universo y generando ingresos que, a su vez, promueven la conservación ambiental en regiones apartadas. Todas estas capacidades, aunque frecuentemente invisibles, constituyen pilares esenciales del funcionamiento de la economía global contemporánea (Ibídem).

En este contexto, la creciente preocupación por los efectos de la actividad humana sobre la observación astronómica motivó a la IAU, organización que agrupa a más de 12.000 astrónomos profesionales provenientes de aproximadamente noventa países, a proponer a COPUOS en 2017, la incorporación formal de la protección del cielo astronómico entre sus áreas de competencia. En respuesta a esta iniciativa, COPUOS solicitó a UNOOSA la organización conjunta de una conferencia titulada “Cielos Oscuros y Silenciosos para la Ciencia y la Sociedad”, cuyo propósito fue evaluar los impactos generados por interferencias artificiales, tanto ópticas como radioeléctricas, sobre la observación científica del cielo nocturno (IAU et al., 2021).

La mencionada conferencia se llevó a cabo de manera virtual debido a las restricciones impuestas por la pandemia de COVID-19. Durante el desarrollo del primer taller, realizado en octubre de 2020, se identificó a las megaconstelaciones satelitales como una fuente significativa de perturbación para la investigación astronómica. El resultado de las sesiones, fue la formulación de una serie de recomendaciones técnicas orientadas a mitigar los efectos adversos de la contaminación lumínica y radioeléctrica, las cuales fueron presentadas ante el Subcomité Científico y Técnico (STSC) de COPUOS en abril de 2021, generando interés y atención por parte de las diversas delegaciones participantes (Ibídem).

Posteriormente, en octubre de 2021, se celebró una segunda edición de la conferencia, bajo los auspicios de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), el Gobierno de España e IAU, cuyo eje central fue la evaluación de la viabilidad técnica y política para implementar las medidas de mitigación propuestas. Dichas recomendaciones fueron programadas a ser debatidas formalmente durante la reunión del STSC de febrero de 2022, fortaleciendo así un espacio multilateral orientado a la protección del cielo oscuro y silencioso, entendido como patrimonio natural de la humanidad y herramienta indispensable para el quehacer científico contemporáneo (Ibídem).

En este contexto, Chile se ha consolidado como uno de los territorios más relevantes para el desarrollo de la astronomía a nivel global, gracias a sus excepcionales condiciones geográficas y climáticas. La combinación de cielos despejados durante gran parte del año, una atmósfera con baja humedad y niveles mínimos de contaminación lumínica en regiones como el Desierto de Atacama, lo convierten en un entorno privilegiado para la observación astronómica de alta precisión (Govert, 2015). Estas condiciones naturales han favorecido la instalación de numerosos observatorios internacionales, posicionando al país como un nodo estratégico para la investigación astronómica; virtud de lo cual se estima que hacia el año 2030, Chile albergará aproximadamente el 70% de la infraestructura astronómica del planeta (McCarty, 2025).

En consonancia con su papel protagónico en el ámbito astronómico mundial, Chile



figura entre los países más afectados por interferencias artificiales derivadas del crecimiento exponencial de las constelaciones satelitales y otras fuentes de contaminación luminosa y radioeléctrica. En este sentido, este país ha asumido un rol activo en el debate internacional sobre la mitigación de estos impactos, por lo que, mediante Nota Verbal Nro. 07/24-M generó una propuesta para tratar la temática durante el 61° período de sesiones del STSC de COPUOS, celebrado en Viena, Austria, del 29 de enero al 9 de febrero de 2024, dicha iniciativa fue apoyada por parte de Ecuador mediante Nota Verbal Nro. 4-9-012/2024.

Durante el 62° período de sesiones del STSC de COPUOS, celebrado en Viena, Austria, del 03 al 14 de febrero de 2025, los Estados miembros de COPUOS coincidieron en la necesidad de adoptar un enfoque equilibrado que permita salvaguardar la observación astronómica, sin menoscabar los beneficios derivados del uso de satélites y megaconstelaciones para fines sociales, científicos y económicos (COPUOS, 2025a).

A lo largo de las sesiones, se resaltó la proliferación de iniciativas, tanto a nivel nacional como internacional, orientadas a investigación, desarrollo e implementación de tecnologías que permitan reducir el impacto negativo de la contaminación lumínica, así como evaluar de manera sistemática los efectos de las megaconstelaciones sobre la observación astronómica.

Entre las medidas promovidas se encuentran la formulación de marcos regulatorios y normativos, el diseño de políticas públicas que contemplen la regulación del alumbrado exterior, la inclusión de mecanismos de coordinación con la comunidad científica relacionada con el campo de investigación del espacio ultraterrestre, previa a la puesta en órbita de satélites como condición para la concesión de licencias espaciales, y la creación de zonas específicas para la protección del cielo oscuro y el silencio radioeléctrico.

Así también, el STSC enfatizó que todos los actores involucrados en el diseño, desarrollo y operación de grandes constelaciones de satélites, deben actuar conforme a las disposiciones del Tratado sobre los principios que deben regir las

actividades de los Estados en la exploración y utilización del Espacio Ultraterrestre, incluso la Luna y otros cuerpos celestes de 1967, así como a los principios rectores del derecho espacial internacional. En particular, se subrayó la importancia de garantizar la utilización del espacio ultraterrestre con fines exclusivamente pacíficos, fomentar la cooperación internacional, asegurar la sostenibilidad a largo plazo de las actividades espaciales y prevenir cualquier interferencia perjudicial que pudiera comprometer la exploración y observación científica del cosmos.

La creciente preocupación internacional por la preservación de los cielos oscuros y silenciosos, como aquellos espacios libres de contaminación lumínica, radioeléctrica y atmosférica, ha puesto de manifiesto los desafíos que enfrentan los observatorios astronómicos históricos, como el Observatorio Astronómico de Quito (OAQ) (Figura 1). Esta institución fundada en 1872 mediante decreto del presidente Gabriel García Moreno, fue construida entre 1873 y 1877 en los predios de La Alameda, área que se encontraba fuera del perímetro urbano de la ciudad de Quito en esa época (López, 2020).

Desafortunadamente, el OAQ en la actualidad se halla inmerso dentro del centro urbano de Quito, cuyas condiciones de observación se han visto considerablemente degradadas por la dispersión de luz artificial. Este fenómeno, que reduce el contraste del cielo nocturno y limita la visibilidad de objetos astronómicos tenues, afecta directamente la calidad de la observación astronómica. Cabe destacar que la situación no es exclusiva del OAQ, sino que constituye una problemática de alcance global, la cual compromete a la preservación de los cielos oscuros, esenciales para el avance de la investigación astrofísica (Falchi et al., 2016).

Esta preocupación se intensifica al considerar que el OAQ ha perdido también su condición de “sitio silencioso” en términos radioeléctricos, como consecuencia del aumento de interferencias electromagnéticas derivadas de la expansión de redes de telecomunicaciones y del uso masivo de dispositivos electrónicos (Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información del Ecuador, 2017).

Frente a esta situación, durante la década de 1980, el Consejo Provincial de Pichincha (CPP) asignó al OAQ un terreno de aproximadamente



Figura 1. Representación de contaminación lumínica, radioeléctrica y atmosférica.

Fuente: Tomado y modificado de <https://n9.cl/zgwtu>; <https://n9.cl/gvdpw>; <https://n9.cl/p3xf9>; <https://n9.cl/9wm7zk>

tres hectáreas en la planicie de Jerusalén, ubicada a veinte y ocho kilómetros al norte de Quito, en las proximidades de la línea equinoccial (Figura 2). Este sitio se caracteriza por presentar condiciones atmosféricas favorables para la instalación de un nuevo observatorio, gracias a su baja interferencia lumínica y atmosférica en comparación con la ubicación actual del OAQ. No obstante, a pesar de su evidente potencial, el proyecto de construcción de un nuevo observatorio en dicho emplazamiento no ha sido ejecutado (López, 2015).



Figura 2. Representación del nuevo Observatorio Astronómico Nacional.

Fuente: López, 2020.



La planicie de Jerusalén constituye un ejemplo representativo de la paradoja que enfrentan numerosos países en vías de desarrollo en relación a la protección de sus cielos oscuros. A pesar de ofrecer condiciones óptimas para actividades científicas y espaciales (baja contaminación lumínica, estabilidad atmosférica y relativo aislamiento geográfico), la falta de un régimen legal de protección permite su vulneración frente a las crecientes presiones urbanísticas. Esta situación se vuelve aún más apremiante si se considera la experiencia de otras zonas del país como Quito, donde un estudio realizado en 2022 evidenció altos niveles de contaminación lumínica, atribuibles principalmente al uso inadecuado y excesivo de luz artificial (Aroca y Herrera, 2022).

Frente a este panorama, la ausencia de instrumentos normativos eficaces configura una amenaza directa para la consolidación de infraestructura científica orientada a la investigación del espacio ultraterrestre, y del fortalecimiento al sistema científico nacional. Aunque la planicie de Jerusalén se ubica actualmente a una distancia prudente del núcleo urbano, el crecimiento constante de urbanizaciones y la expansión de redes viales podrían propiciar su incorporación al entorno metropolitano, reproduciendo las condiciones de degradación lumínica que actualmente afectan al OAQ. La evidencia empírica sobre la situación lumínica en la capital refuerza la necesidad urgente de diseñar marcos regulatorios que protejan estratégicamente zonas con potencial astronómico, frente al avance descontrolado del desarrollo urbano.

A este desafío se suman fenómenos de alcance global, como el despliegue de megaconstelaciones satelitales y el incremento de basura espacial, que complejizan aún más el panorama nacional. Ecuador se enfrenta así a la necesidad de armonizar dos objetivos estratégicos: la preservación de cielos oscuros, indispensables para la observación astronómica; y el desarrollo de capacidades tecnológicas propias en el ámbito espacial. Esta dualidad exige la formulación de soluciones técnicas, normativas y de política pública que permitan equilibrar ambas prioridades de manera sostenible.

El aumento masivo de constelaciones de satélites genera no solo una mayor contaminación lumínica, producto de la reflectancia solar en sus superficies, sino también un incremento de las interferencias electromagnéticas que perturban las bandas de frecuencia utilizadas por la radioastronomía. Paralelamente a este fenómeno, se agrava el problema de desechos espaciales, con más de 36.500 objetos mayores a 10 cm actualmente en órbita acorde a reportes de la Agencia Espacial Europea (ESA, 2023). Su acumulación representa riesgos significativos desde el punto de vista operativo como científico para todos los actores del ecosistema espacial.

Ante esta situación, las tecnologías actuales ofrecen un conjunto de herramientas con la finalidad de mitigar estos impactos. Entre estas destacan el diseño de satélites con recubrimientos de baja reflectancia, la elección de órbitas altamente excéntricas para reducir la visibilidad desde la superficie terrestre, y la implementación de protocolos de operación que limiten la interferencia con los instrumentos astronómicos. La aplicación coordinada de estas soluciones, acompañada por un marco regulatorio nacional riguroso, permitiría al Ecuador avanzar en la consolidación de sus capacidades espaciales sin menoscabar los intereses de su comunidad científica.

Sin embargo, la viabilidad de estas medidas debe estar alineada con las capacidades económicas y tecnológicas del país. En este sentido, la planificación anticipada resulta crucial para evitar la pérdida de sitios estratégicos para la astronomía o la instalación de estaciones terrenas que controlen satélites, como podría ocurrir en la planicie de Jerusalén o en la zona de la Estación Terrena Cotopaxi, en caso de no implementar oportunamente mecanismos efectivos de protección.

La experiencia acumulada por otros países, junto con las lecciones derivadas del caso ecuatoriano, evidencian la necesidad de adoptar un enfoque integral de gobernanza espacial; el cual debe contemplar tanto la protección de los cielos oscuros como el impulso al desarrollo de capacidades espaciales nacionales. La situación del OAQ, degradado por la expansión urbana no regulada, pone de manifiesto la urgente necesidad de contar con políticas públicas



eficaces que regulen simultáneamente la urbanización, mediante normativas específicas para mitigar la contaminación lumínica y radioeléctrica; y, el desarrollo de proyectos espaciales bajo criterios de sostenibilidad ambiental y científica.

En ese marco, el diseño de un cuerpo normativo adecuado debería incluir estándares estrictos para el alumbrado en zonas astronómicamente sensibles, la prohibición de emisiones radioeléctricas en áreas reservadas para estaciones de control satelital, incentivos para la investigación y el desarrollo de nanosatélites con bajo impacto ambiental, así como mecanismos de cooperación regional enfocados en la gestión sostenible del entorno espacial cercano a la Tierra.

La aplicación coherente de estas estrategias permitirá al Ecuador proteger su patrimonio astronómico, incluyendo sitios clave como la planicie de Jerusalén y la zona que alberga la Estación Terrena Cotopaxi, mientras avanza de forma sostenida y competitiva en el desarrollo de una capacidad espacial nacional orientada por principios de sostenibilidad, innovación y responsabilidad científica.

CONCLUSIONES

- La protección de los cielos oscuros y silenciosos no solo sustenta el desarrollo del ámbito astronómico de Ecuador, además impulsa áreas clave como educación, turismo científico y seguridad espacial. Su preservación asegura no solo el avance de la investigación del espacio ultraterrestre, sino de oportunidades económicas y tecnológicas que el país no puede desaprovechar.
- La degradación de sitios clave, como la del Observatorio Astronómico de Quito, obliga al Estado a destinar recursos significativos para construir nuevas instalaciones en zonas con condiciones óptimas (como la planicie de Jerusalén). Este escenario evidencia un doble costo: primero, el fracaso en conservar la infraestructura existente; y segundo, la necesidad de inversiones adicionales para reemplazar la infraestructura que no cumple las condiciones necesarias para cumplir su objetivo de creación. En caso de no establecerse mecanismos de protección

rigurosos ahora, este ciclo de deterioro y gasto recurrente se perpetuará, lo cual comprometería el futuro del desarrollo espacial nacional.

- La experiencia internacional, especialmente el liderazgo de Chile en la gobernanza de cielos oscuros, muestra que es posible articular ciencia, desarrollo tecnológico, legislación y diplomacia espacial para proteger el patrimonio astronómico de una nación. El Ecuador debe seguir este ejemplo, estableciendo alianzas estratégicas para posicionarse como un actor comprometido con la ciencia espacial.
- Urgentemente, el Ecuador requiere una legislación integral que combine protección ambiental con desarrollo científico - tecnológico, articulando cuatro ejes fundamentales: creación de zonas de reserva para actividades espaciales - astronómicas protegidas; regulaciones técnicas estrictas contra la contaminación lumínica y radioeléctrica; incentivos para la inversión en investigación espacial; y, mecanismos robustos de cooperación internacional. Este marco legal debe garantizar el financiamiento sostenido que permita no solo proteger los sitios existentes sino también desarrollar nueva infraestructura especializada, rompiendo así el ciclo de deterioro - inversión reactiva y asegurando un desarrollo espacial - astronómico sostenible a largo plazo.

BIBLIOGRAFÍA

- Aroca, B. y Herrera, P. (2022). Estudio y análisis de la contaminación lumínica en el Distrito metropolitano de Quito – Ecuador [Tesis de tercer nivel no publicada]. Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito. <https://n9.cl/slvpvq>
- Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos – COPUOS. (2025a). Cielos oscuros y silenciosos, astronomía y grandes constelaciones: abordar los problemas y los retos emergentes (pp. 28 – 29). Informe de la Subcomisión de Asuntos Científicos y Técnicos sobre su 62º período de sesiones,



celebrado en Viena del 3 al 14 de febrero de 2025. <https://n9.cl/emhqv>

- Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos – COPUOS. (2025b). Conference Room Paper on the Protection of Dark and Quiet Skies for science and society. <https://n9.cl/svd67>
- CPS, IAU, NOIR LAB, SKAO. (s.f.). Call to Protect the Dark and Quiet Sky from Harmful Interference by Satellite Constellations. <https://n9.cl/3de55>
- Entrevista a Patrick McCarthy. Por José Ferrada, Futuro 360: CNN Chile. 14 de enero de 2025. <https://n9.cl/6jg2e>
- ESA. (4 de abril 2025). Space debris by the numbers. The European Space Agency. <https://n9.cl/h56j56>
- Falchi, F., Cinzano, P., Duriscoe, D., Kiba, C., Elvidge, C., Baugh, K., Portnov, B., Rybnikova, N., and Furgoni, R. (2016). The new world atlas of artificial night sky brightness. *Science Advances*. <https://n9.cl/h9rz8>
- Govert, S. (2015). An Astronomer's Paradise, Chile May Be the Best Place on Earth to Enjoy a Starry Sky. *Smithsonian magazine*. <https://n9.cl/elvly>
- Harrison, T., Hunter, a., Johnson, K., Roberts, T., Aughenbaugh, S., Hajduk, K., Schaus, J., and Stephens, J. (2017). Implications of Ultra – Low – Cost access to Space. <https://n9.cl/vow60>
- IAU, UNOOSA & COPUOS. (2021). Dark and Quiet Skies for Science and Society II: Working Group Reports. United Nations Office for Outer Space Affairs. <https://n9.cl/xft4f0>
- López, E. (2015), Proyecto nuevo Observatorio Astronómico (Parque Jerusalén). <https://n9.cl/pfti3s>
- López, H. (septiembre de 2020). Observatorio Astronómico de Quito. Los Ladrillos de Quito. <https://n9.cl/dg44u>
- Malisuwan, S. and Kanchanarat, B. (2022) Small Satellites for Low-Cost Space Access: Launch, Deployment, Integration, and In-Space Logistics. *American Journal of Industrial and Business Management*, 12, 1480-1497. <https://n9.cl/sh94f>
- Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información del Ecuador. (2017). Informe de efectos de radiaciones no ionizantes en el Ecuador. <https://n9.cl/yd0sb>



Importancia del marketing en la definición de productos y servicios ofertados por las organizaciones gubernamentales. Caso IGM.

IMPORTANCE OF MARKETING IN DEFINING PRODUCTS AND SERVICES OFFERED BY GOVERNMENT ORGANIZATIONS. IGM CASE.

Morán, Christian.
christian.moran@geograficomilitar.gob.ec

RESUMEN

El estudio analiza la importancia del marketing en instituciones gubernamentales de Ecuador, destacando su rol en mejorar la percepción ciudadana y optimizar la oferta de productos y servicios. Utiliza una metodología inductiva con análisis estadístico y encuestas a usuarios del Instituto Geográfico Militar (IGM). Los datos revelan una baja aplicación del proceso completo de diseño de servicios, afectando la calidad percibida. El marketing influye decisivamente en definir productos alineados con las necesidades del ciudadano, reforzando su percepción positiva. Se concluye que su implementación integral mejora la gestión institucional y previene el fracaso de productos o servicios públicos.

Palabras claves: marketing, organizaciones gubernamentales, ciudadano, producto, servicio.

ABSTRACT

This study analyzes the importance of marketing in Ecuadorian government institutions, highlighting its role in improving citizen perception and optimizing the offering of products and services. It uses an inductive methodology with statistical analysis and surveys of users of the Military Geographic Institute (IGM). The data reveal a low level of application of the complete service design process, affecting perceived quality. Marketing plays a decisive role in defining products aligned with citizen needs, reinforcing their positive perception. It is concluded that its comprehensive implementation improves institutional management and prevents the failure of public products or services.

Keywords: marketing, government organizations, citizen, product, service.

INTRODUCCIÓN

Marketing se relaciona con crear, promocionar y distribuir o comercializar productos tangibles para satisfacer las necesidades del cliente; sin embargo, pudiera parecer que Marketing Gubernamental sugiere una paradoja, ya que el Estado, como tal, no genera ganancias ni utilidades. Recordemos que todo empieza con una idea, en el transcurso del desarrollo del producto o servicio se debe concebir que elemento final se le ofrece al cliente de acuerdo con un análisis que debe incluir: lo que el ciudadano desea, el valor que está dispuesto a pagar, a que grupo está dirigido y las herramientas que se van



a utilizar para promocionarlo; no obstante, en muchos de los casos el producto/servicio ya se encuentra concebido y desarrollado, evadiendo todo el proceso descrito anteriormente, lo cual solo desencadena que no se encuentre un mercado objetivo en el cual explotarlo, que el producto/servicio se archive en una bodega para darlo de baja, que el precio a comercializarlo no esté acorde a lo que esté dispuesto a pagar el cliente o que finalmente no supere las expectativas que busca el usuario (Rojas, 2023).

El presente artículo pretende establecer una visión amplia de los alcances que el marketing brinda al ciudadano ecuatoriano y al ejecutarla de manera coordinada en una institución pública, puede crear una imagen fuerte del producto o servicio, mejorar la percepción que el cliente tiene de la institución, mejorar la comunicación interinstitucional, crear convenios e intercambios interinstitucionales, etc. Visto desde una óptica de negociación el marketing público ofrece un intercambio entre el Estado y los grupos de interés (stakeholders); en donde la administración pública puede asumir costos, realizar asesoramiento, mano de obra calificada, prestación de servicios, etc. y el ciudadano realiza sus pagos de impuestos, pago de expensas, mantenimientos, datos de retroalimentación, etc. (Viá & Pandolf, 2019).

La Mercadotecnia primitiva tiene vestigios en el siglo VIII a.C., los romanos utilizaban carteles para promover sus productos; mientras que, en el siglo VI a.C, la empresa Kongö Gumi, que ostenta la calificación de más antigua del mundo, se encarga de la construcción y mantenimiento de edificios, entre ellos estatales, adaptándose a los mercados y tecnologías, estableciendo relaciones duraderas con clientes y proveedores. En el siglo XV con el uso de la imprenta nos lleva a promover y publicitar los productos y servicios que se ofrecían hasta ese entonces; sin embargo, en la revolución industrial es cuando el concepto de patente, marca, logos, etc. desencadena una explosión de tendencias con el objetivo de producir en masa y darse a conocer y trascender alrededor del mundo. Con la creación de la radio y televisión, en el siglo XX, la palabra “marketing” empezó a socializarse; como tal, podríamos decir que se desarrolla como materia, lo que desencadena el tecnificarse y aplicar técnicas

que permitan conocer o predecir las tendencias del consumidor, desarrollar técnicas de ventas, implementar campañas de publicidad y demás aplicaciones que hoy por hoy nos permiten casi conocer las decisiones que tomarán los consumidores y sus preferencias (Lozano, Toro Espinoza, & Calderón Argoti, 2021).

¿Pero en qué momento el Estado interviene o desde cuando interviene el Departamento de Marketing?, la respuesta es simple, desde el inicio, ya que: (...) propone un intercambio entre Estado - sociedad, donde a través de la Administración Pública se ofrezcan políticas, programas, bienes y servicios para satisfacer necesidades y demandas de los ciudadanos quienes, como contraparte, ofrecerán apoyos mediante impuestos y costos de desplazamiento, tiempo, oportunidad, esfuerzo personal y otros. Así, el marketing público recrea y reúne los conceptos de agenda pública, agenda de gobierno, políticas públicas, control de gestión, medición del desempeño, medición de la satisfacción de los usuarios, a fin de reforzar la legitimidad a través de una creciente eficacia, eficiencia, calidad y equidad (Ana Da Viá, 2014).

En el ámbito privado de Ecuador existen empresas que ya han superado los 100 años; mientras que, en el Sector Público son pocas las que están pronto a superar esa continuidad de servicio hacia la ciudadanía, la más antigua era Correos del Ecuador, desde el año 1831, que finalizó su ciclo de vida empresarial, por diversas causas, en el año 2020. En el año 2023, se cuenta con un total de 1.246.162 empresas activas¹, es decir, unidades económicas que registraron alguna de las siguientes condiciones: 1) registraron ventas; 2) plazas de empleo registrado en el Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS); o, 3) pagaron impuestos bajo el Régimen Simplificado para Emprendedores y Negocios Populares (RIMPE)² (Registro Estadístico de Empresas, pág. 1) (INEC, 2023, pág. 8).

La metodología utilizada fue investigación inductiva, con un enfoque analítico – sintético y un análisis de los estudios de mercado, entrevistas, análisis estadísticos realizados a los productos y servicios que brinda la institución, la reacción del cliente y como benefició o perjudicó la toma de decisiones en el producto

¹ En la base provisional se considera a una empresa activa si registró ventas y/o RIMPE en el periodo anterior (2022), y/o personal afiliado en el periodo de referencia (2023) y tienen una actividad válida.

² A partir del año 2022, se elimina el Régimen Impositivo Simplificado (RISE) y se crea el Régimen Simplificado para Emprendedores y Negocios Populares (RIMPE), cambio realizado por la entidad tributaria del país (SRI).



final comercializado y posterior a ello si las conclusiones o recomendaciones fueron tomadas en cuenta por las diferentes Direcciones para el mejoramiento continuo.

Es importante recalcar que todos los análisis realizados hacia el producto y/o servicio a proporcionarse deben estar enfocados enteramente hacia lo que el cliente necesita y satisfacer esa necesidad al 100%, al final esos estudios deben servir para la toma de decisiones; sin embargo, ese criterio no debe recaer en una sola persona que no posea un perfil adecuado; es decir, que sea un análisis pormenorizado de los posibles riesgos que enfrenta ese dictamen o mera intuición los criterios que guíen hacia la elaboración del producto final, ya que hoy en día, con las diversas redes sociales, se puede tergiversar incluso la razón de ser de la institución pública, e incluso se puede cuestionar su existencia.

PERCEPCIÓN DE LOS GRUPOS DE INTERÉS SOBRE LOS PRODUCTOS Y SERVICIOS QUE SE BRINDAN EN EL ECUADOR

En la Constitución de la República del Ecuador, artículo No. 52, se dispone lo siguiente:

- Las personas tienen derecho a disponer de bienes y servicios de óptima calidad y a elegirlos con libertad, así como a una información precisa y no engañosa sobre su contenido y características.

- La ley establecerá los mecanismos de control de calidad y los procedimientos de defensa de las consumidoras y consumidores; y las sanciones por vulneración de estos derechos, la reparación e indemnización por deficiencias, daños o mala calidad de bienes y servicios, y por la interrupción de los servicios públicos que no fuera ocasionada por caso fortuito o fuerza mayor (Constitución de la República del Ecuador, 2008, pág. 11).

Se resalta que, en la Carta Magna no aparece “marketing” o su derivado “mercadotecnia”; sin embargo, si consta, en muchas de sus páginas, la palabra “mercado”, por lo tanto, conforme al artículo 52 de la CRE, al comercializar (en las empresas privadas) o brindar (en las instituciones públicas) un bien y/o servicio debe existir un acompañamiento o seguimiento desde la adquisición hasta la post venta y, de ser el caso, si el cliente desea su reembolso, efectuarlo.

DESARROLLO

El Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) realizó un estudio sobre el indicador de calidad de los servicios públicos, en la Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo (ENEMDU) del año 2023. Dicho estudio permitió investigar y evaluar la percepción del ciudadano ecuatoriano, con una edad mayor a quince años, cuando se acerca a solicitar un producto o servicio del Estado.

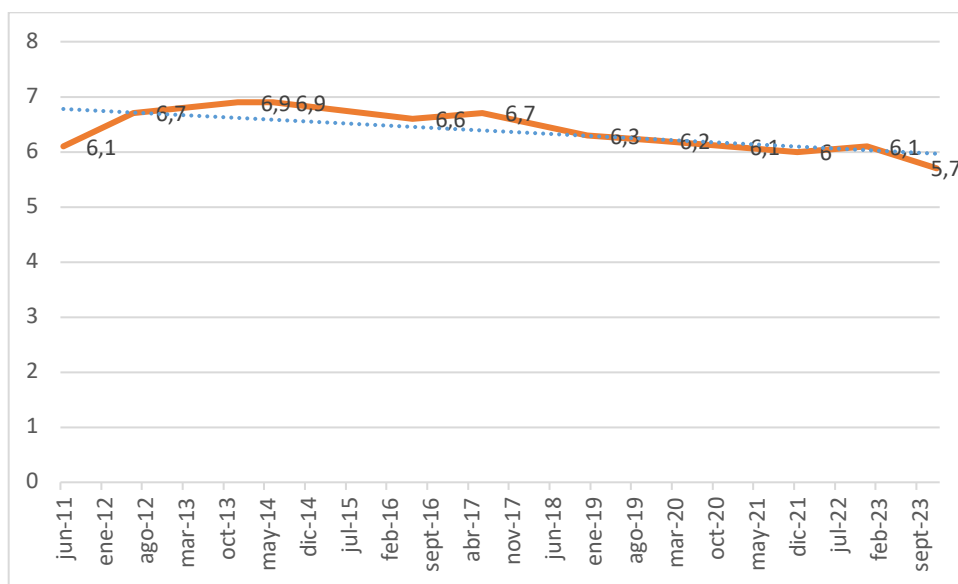


Figura 1. Índice de percepción de la calidad de los servicios públicos en general.
Fuente: (INEC, 2023).



El gráfico 1 se obtuvo con las respuestas de 9.016 viviendas a la interrogante: ¿cómo considera usted que funcionan las instituciones que brindan servicios públicos en el Ecuador?, en una escala de 0 a 10, donde 0 es pésimo y 10 es excelente. En dicho gráfico podemos observar que los índices más altos (6,9) se dieron en los años 2013 y 2014; mientras que, el menor (5,7) fue en el año 2023, con una tendencia a la baja.

Se resalta que la escala de la encuesta realizada por el (INEC) tiene un mayor rango, de 0 a 10; mientras que, el Ministerio de Trabajo (MDT), como organismo de control, maneja un rango de acción de 1 a 5, por lo que el cliente es más crítico con el producto y/o servicio brindado (INEC, 2023b).

El objetivo de estos datos es la toma de decisiones por parte de las autoridades, de ello se debe desprender el criterio del Departamento de Marketing quien guiará de manera conjunta a los demás Departamentos que ejecutan, producen, etc.

Si realizamos un análisis mucho más puntual podemos observar la percepción del cliente sobre la atención brindada en el IGM durante el período 2020 – 2024.

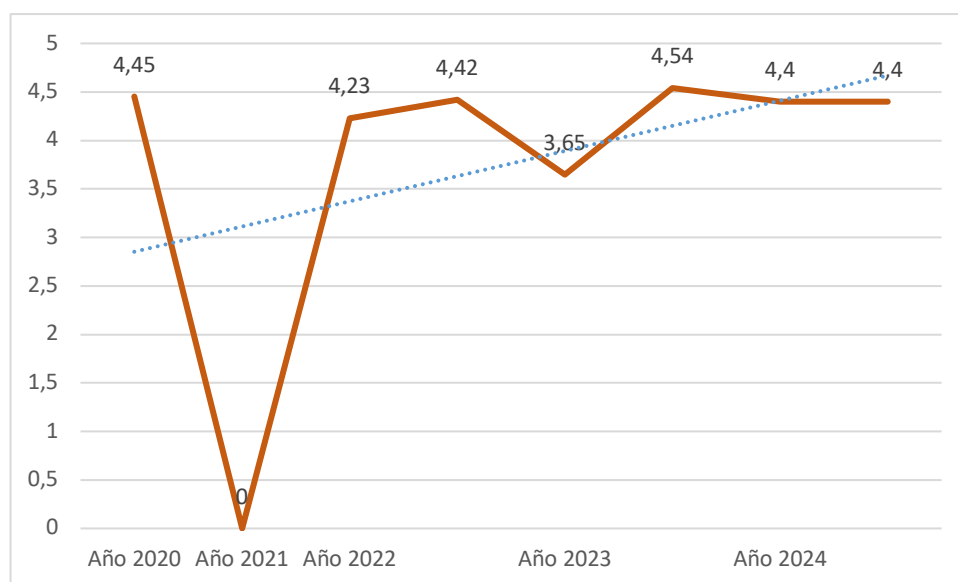


Figura 2. Índice de percepción de la calidad de los servicios públicos en el IGM.
Fuente: (Morán, 2025).

El gráfico 2 se obtuvo a partir de una encuesta en base a una muestra de 638 clientes por cada producto/servicio que consta en el gráfico 3 y proporcionado por el IGM, que analiza en uno de sus interrogantes: Nivel de satisfacción de la atención brindada por el servidor público, en una escala de 1 a 5, donde 1 es nada satisfecho y 5 totalmente satisfecho. En dicho gráfico podemos observar que el índice más alto (4,54) y el más bajo (3,65) se dio en el año 2023 con una tendencia al alza. Adicional a ello, se debe tomar en cuenta que dentro de dicha encuesta se analizan también componentes como: infraestructura, equipamiento y materiales, trámites, personal de contacto y tecnología de contacto.

Finalmente, de dicho análisis se desprenden las acciones correctivas que deberán tomar cada una de las Direcciones para mejorar el ciclo del proceso de diseño del servicio prestado o en su defecto realizar las correcciones al producto ofrecido; sin embargo, no existen evidenciables que permitan monitorear todo lo sucedido a la post venta y si dichas sugerencias fueron tomadas en cuenta, lo cual evidencia que el Departamento de Marketing solo es tomado en cuenta en una sola etapa del diseño del producto a pesar de ser siete: generación de ideas, evaluación de ideas, creación de estrategia del



producto, creación de hoja de ruta del producto, creación de prototipos, testeo y lanzamiento del producto. Y en el caso del diseño de igual manera en una sola etapa a pesar de ser cuatro: ciclo del proceso de diseño del servicio, eliminar tareas recurrentes, analizar en donde se generan los cuellos de botella y analizar errores dentro del proceso y corregirlas.

De manera práctica trataremos de analizar si los productos y/o servicios siguieron la trazabilidad de los diseños, para lo cual se escogieron algunos estudios, desde que etapa se solicitó la colaboración del Departamento de Marketing y hasta qué etapa del diseño avanzó:

		Generación de ideas	Evaluar ideas	Estrategias del producto	Hoja de Ruta del producto	Prototipo	Pruebas	Lanzamiento
1	Estudio de Mercado: Atlas N							
2	Estudio de Mercado: Atlas E							
3	Estudio de Mercado: Impresora de seguridad							
4	Estudio de Mercado: Impresora 3D							
5	Estudio de Mercado: Planisferio							
6	Estudio de Mercado: Plano A							
7	Estudio de Mercado: Impresiones							
8	Estudio de Mercado: Plano B							
9	Estudio de Mercado: Valores de restitución							
10	Estudio de Producto: Mayor demanda							
11	Estudio de Producto: Ventas							

Realizado
 No Realizado

Tabla 1. Trazabilidad del diseño de los productos/servicios del IGM.
Fuente: (Morán, Análisis de estudios de mercado y su ejecución, 2025).

En base a lo que se observa en el detalle de la tabla 1 tenemos que de 11 productos/servicios realizados, apenas solo dos siguieron el procedimiento lógico del diseño; es decir, completaron 7 de 7 etapas (100%); mientras que, uno siguió 3 de 7 etapas (42,87%), tres siguieron 2 de 7 etapas (28,58%) y finalmente cinco siguieron apenas 1 de 7 etapas (14,29%) (Figura 4).

A partir de la información anterior se puede colegir que en su gran mayoría los Departamentos relacionados con el IGM no realizan el procedimiento de diseño cuando desean aplicar o desarrollar un producto o un servicio para comercializarlo/establecerlo hacia el cliente/público; es por ello, la importancia de implementar grupos multidisciplinarios que sean acompañados por el Departamento de Marketing para que sean evaluados desde la etapa inicial hasta su etapa final.

Con ello minimizamos el riesgo de que el producto/servicio no sea aceptado, que el ciclo de vida de un producto se mantenga en constante crecimiento – madurez y no comience un declive temprano; es por ello, que el IGM se encuentra en la etapa de “crecimiento/madurez” y las estrategias que se den en adelante serán las que determinen la estabilidad de dicha institución (Figura 5).

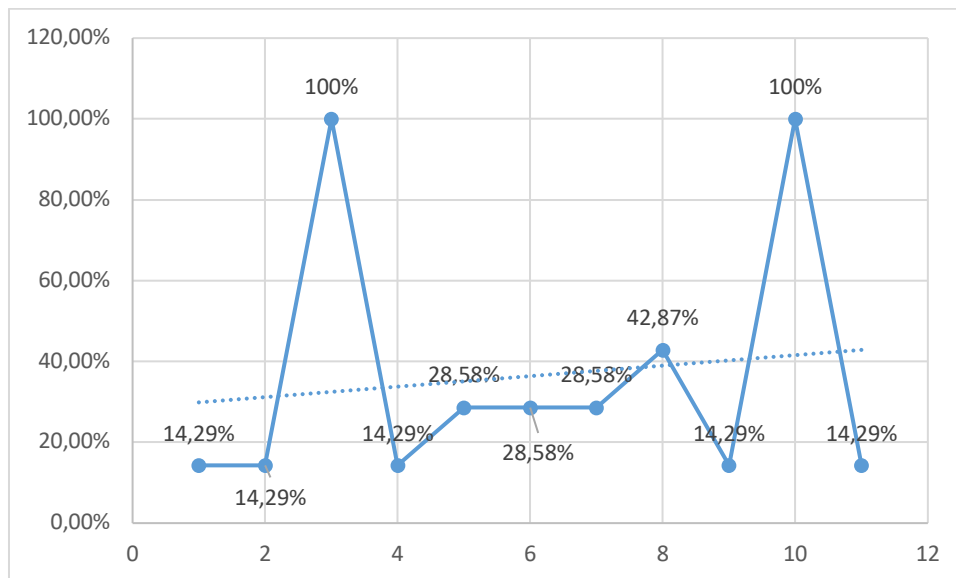


Figura 4. Trazabilidad del diseño de los productos/servicios del IGM.
Fuente: (Morán, Análisis de estudios de mercado y su ejecución, 2025).



Figura 5. Ciclo de vida del producto.
Fuente: (Borja Adanero, 2025).

CONCLUSIONES

- Los productos y servicios que proporciona el IGM llevan un seguimiento por parte de entes de control; sin embargo, a lo interno en algunos casos no se ajustan a las necesidades reales del cliente debido a que no se logra materializar el producto final debido a factores como: caducidad en información, desconocimiento misional por

parte del cliente, costos poco competitivos con el mercado actual, herramientas, gestiones administrativas innecesarias, etc.

- En suma, sin importar la razón de ser de la institución, el contar con un Departamento de Marketing es una ventaja competitiva frente a instituciones públicas o privadas y su existencia en la administración gubernamental nos permite manejarla de manera adecuada lo que el cliente/



ciudadano desea y necesita de manera puntual; adicional a ello, disminuye los riesgos de supresiones frente a criterios políticos, financieros, boicots, fusiones, absorciones, reorganizaciones, etc.

- Además de dar un seguimiento a su imagen institucional, mediciones de desempeño eficientes de los productos y servicios ofertados, fidelización de los usuarios conociendo las razones reales de sus percepciones, siempre contando con un grupo multidisciplinario con resultados, análisis, estudios, informes, etc. que nos permitan maniobrar hasta obtener una satisfacción del cliente óptimo y que el valor estatal obtenido sea el ahorro que se da al sector público.

BIBLIOGRAFÍA

- Ana Da Viá, F. A. (2014). Marketing Público y Marketing Universitario. Mendoza, Argentina: FCPyS. UNCuyo.
- Borja Adanero, R. G. (14 de 08 de 2025). ThePowerMBA. Obtenido de <https://www.thepowermba.com/es/blog/etapas-del-ciclo-de-vida-de-un-producto> (Parece que el título del artículo es “Ciclo de vida de un producto / Fases y ejemplos)
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). Montecristi, Manabí, Ecuador.
- INEC. (1 de 12 de 2023a). Calidad de los Servicios Públicos. Quito, Pichincha, Ecuador.
- INEC. (2023b). Registro Estadístico de Empresas. Quito.
- Morán, C. (06 de 03 de 2025). Análisis de estudios de mercado y su ejecución. Quito.
- Morán, C. (2025). Encuestas realizadas a los servicios del IGM. Quito: IGM.

Influencia de las características morfométricas en los movimientos en masa del cantón Alausí, provincia de Chimborazo.

THE INFLUENCE OF MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS ON MASS MOVEMENTS IN THE ALAUSÍ CANTON, CHIMBORAZO PROVINCE.

Levoyer, Alexandra. - iveth.levoyer@geograficomilitar.gob.ec

Huertas, Diego. - diego.huertas@geograficomilitar.gob.ec

RESUMEN

El presente estudio evaluó la predisposición a movimientos en masa en el cantón Alausí, provincia de Chimborazo, Ecuador, una zona vulnerable a estos eventos por su relieve montañoso, características morfométricas, geomorfológicas, edáficas, cobertura vegetal y uso del suelo. A través de un análisis descriptivo y herramientas SIG, se identificaron áreas susceptibles a estos procesos geodinámicos y se los clasificó en tres tipos, en función de la combinación de los factores condicionantes. Se propone aplicar medidas de ordenamiento territorial, prevención y monitoreo continuo. Los resultados evidencian la utilidad de los SIG en la toma de decisiones para planificación y gestión proactiva del territorio.

Palabras clave: Movimientos en masa, sistemas de información geográfica (GIS), factores condicionantes, zonas susceptibles, gestión del territorio.

ABSTRACT

The present study evaluated the predisposition to landslide in the Alausí canton, Chimborazo province, Ecuador, an area vulnerable to mass movements due to its mountainous relief, morphometric, geomorphological, and edaphic characteristics, vegetation cover, and land use. Through a descriptive analysis and GIS tools, areas susceptible to these geodynamic processes were identified and classified into three types, based on the combination of conditioning factors. It is proposed to apply land-use planning measures, prevention, and continuous monitoring. The results highlight the usefulness of GIS in decision-making for proactive territorial planning and management.

Keywords: Landslide, GIS (Geographic Information System), conditioning factors, susceptible area, land management.

INTRODUCCIÓN

Ecuador es un país altamente vulnerable y expuesto a diversos riesgos de origen natural, según la Secretaría Nacional de Planificación (SNP, 2024), tanto en el pasado como en el presente, se han registrado importantes procesos naturales, como terremotos, erupciones volcánicas, inundaciones, movimientos en masa, entre otros. En este sentido, Mora (2021) precisa que la vulnerabilidad es



la probabilidad de que debido a la intensidad de un suceso y a la fragilidad de los elementos expuestos, se produzcan daños.

Los movimientos en masa, forman parte de los eventos de origen natural que se presentan como manifestaciones sobre el relieve y que son una amenaza latente (SNP, 2024, p. 34). De acuerdo a Ojeda y otros (2001) los movimientos en masa se definen como todo movimiento ladera debajo de material geológico debido a la fuerza de gravedad, así también, Alcántara (2000) determina que la ocurrencia de los procesos de remoción en masa se debe a: a) causas externas que producen cambios en el campo de esfuerzos, pero no en la resistencia del material y b) causas internas que disminuyen la resistencia de los materiales sin cambiar el campo de esfuerzos.

En este marco, Rodríguez (2008) indica que el peligro es un acontecimiento capaz de causar pérdidas de gravedad en donde se produzca y aclara que los movimientos en masa son fenómenos naturales, que solo se convierten en peligros si ocurren donde la gente vive. El Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC, s.f.) también sigue esta línea de pensamiento e indica que el peligro natural es un acontecimiento físico, que puede causar daños materiales, lesiones y pérdidas humanas, y puede ser de origen geológico, hidrometeorológico entre otros. Sus características incluyen su ubicación, magnitud o intensidad, así como su frecuencia o probabilidad de ocurrencia.

La actividad antrópica genera una gran aceleración de los procesos naturales, por otra parte, el desarrollo económico ha generado que la población se asiente en zonas vulnerables, lo que a su vez, ha aumentado los riesgos asociados a las actividades socioeconómicas derivadas de dicho desarrollo. En este contexto, las condiciones de interacción entre el ser humano y el medio ambiente, junto con la presencia de taludes y laderas inestables, constituyen un peligro latente que es crucial identificar y gestionar para prevenir y controlar sus posibles impactos (CEPAL, 2005, p.12).

Una estrategia para minimizar los impactos producto de los movimientos en masa es la

prevención, que parte de la percepción de la existencia del evento natural, la identificación y caracterización del mismo, la evaluación del peligro y la adopción de medidas para mitigar sus posibles efectos (Corominas, 1992, p. 1-30). Los aportes científicos de la geografía a la teoría de los desastres influyeron en los programas y proyectos planteados para la gestión de riesgos en todo el mundo. Esto muestra la necesidad de conocer los factores que se relacionan con los movimientos en masa.

Por lo que antecede, el presente estudio se realizó para establecer y aportar con información para la comunidad y demás instituciones que se encuentran en constante monitoreo de este tipo de eventos. El área de estudio se localiza en la provincia de Chimborazo perteneciente a la región interandina (Figura 1), su sede municipal se encuentra en la ciudad de Alausí, a una altitud de 2340 msnm. Esta ciudad mantiene una problemática recurrente como los movimientos en masa debido a la geografía montañosa, condiciones climáticas, características de suelo y los diferentes tipos de cobertura vegetal. Se tiene como registro que el último movimiento en masa, sucedió el 26 de marzo del 2023, dio como resultado la pérdida de 75 vidas humanas y más de 500 personas damnificadas, dejando varias viviendas afectadas (Mella, 2023) (Figura 1).

DESARROLLO

Para la ejecución de este documento se estableció una investigación descriptiva de la zona de estudio, donde se han producido movimientos en masa recurrentes, según Pesantes (2007, p. 33) estos movimientos pueden ocurrir tanto por efecto de la dinámica natural como por procesos inducidos artificialmente, respecto a esto existen dos factores asociados a los movimientos en masa, condicionantes o desencadenantes (Figura 2).

Los factores condicionantes son factores intrínsecos que condicionan el suelo o roca, pueden ser: litológicos, estructurales (discontinuidades), presencia de agua, sismicidad, topografía (Ibídem).

Los factores desencadenantes son factores que aceleran o retardan la ocurrencia del fenómeno,

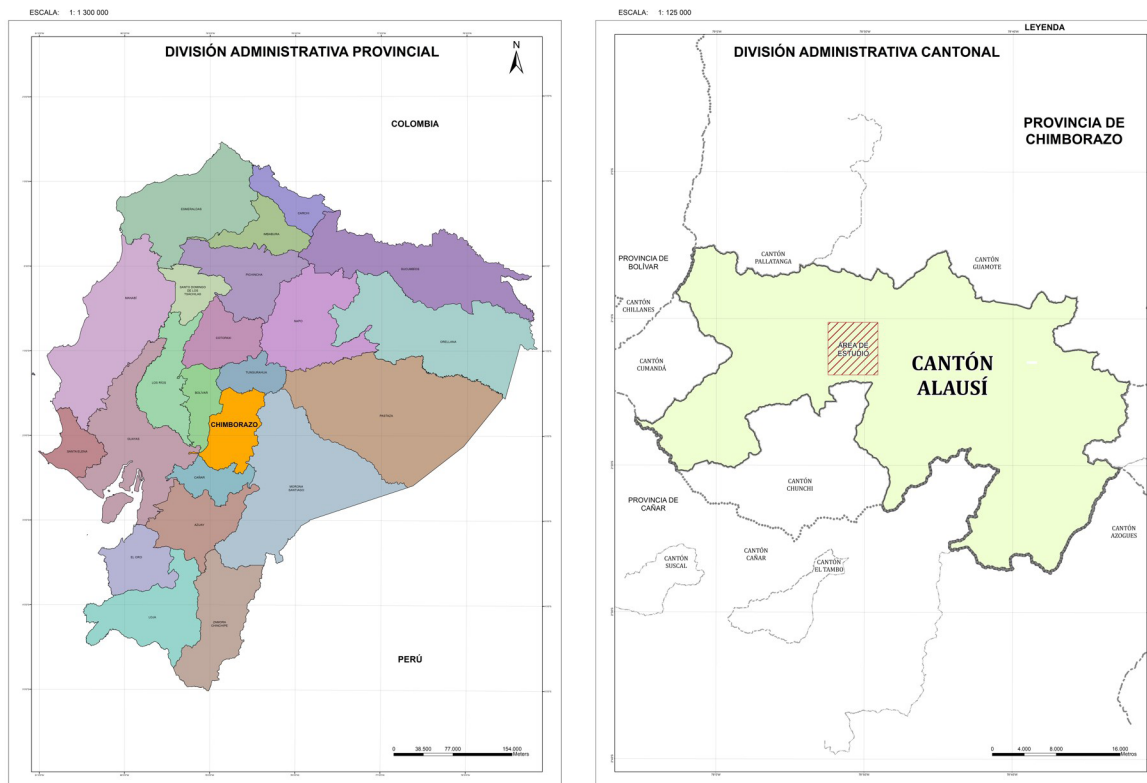


Figura 1. Ubicación.
Fuente: IGM, 2024.

estos se dan por intervención antrópica como: excavaciones, voladuras, sobrecarga, urbanismos, procesos industriales, actividad minera, cortes al pie de los taludes o laderas, aumento de la sobrecarga en la cresta y por fenómenos geodinámicos, precipitaciones intensas y prolongadas, sismicidad, vulcanismo (Ibídem).

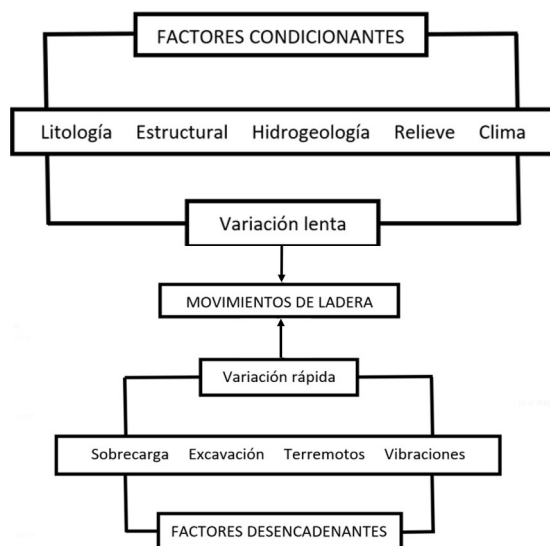


Figura 2. Factores condicionantes y desencadenantes que originan los movimientos en masa.
Fuente: Pesantes, C., 2007.

Los procesos de movimientos en masa, están relacionados con la geodinámica externa de la corteza terrestre y han sido denominados también movimientos de terrenos, deslizamientos, derrumbes, etc. En términos populares en el país también tienen varias denominaciones como: deslaves, caídas de piedras o de rocas, derrumbes, avalancha, aluvión, alud, colada lodosa, hundimiento (Pazos y Vinuesa, 1990).

Parámetros morfométricos. - Corresponden al análisis cuantitativo del relieve. Toma en cuenta los aspectos medibles de la descripción morfológica (Summerfield, 2013, p 115; Tricart, 1991 p. 2). Estas variables deben estar acordes con los datos que provee el modelo digital del terreno (MDT), que se dividen en tres variables: a) pendiente, que es el grado de inclinación de la superficie terrestre con relación a la horizontal, expresado en porcentaje (Tabla 1); b) desnivel relativo, es la diferencia desde la cota más baja hasta la cota más alta de un relieve (Tabla 2); y c) longitud de la vertiente, que es la distancia inclinada entre la parte más alta y la más baja de una forma de relieve (Tabla 3).



	Pendiente	(%)
1	Plana	(0 – 2)
2	Muy suave	(> 2 – 5)
3	Suave	(> 5 – 12)
4	Media	(> 12 – 25)
5	Media a fuerte	(> 25 – 40)
6	Fuerte	(> 40 – 70)
7	Muy fuerte	(> 70 – 100)
8	Escarpada	(> 100 – 150)
9	Muy escarpada	(> 150 – 200)
10	Abrupta	(> 200)

Tabla 1. Categorización de los parámetros morfométricos (pendiente).
Fuente: IGM, 2023.

	Longitud de vertiente (m)
1	< 5
2	> 5 - 15
3	> 15 - 50
4	> 50 - 100
5	> 100 - 300
6	> 300 - 500
7	> 500 - 1 000
8	> 1 000 - 2 000
9	> 2 000 - 3 000
10	> 3 000

Tabla 3. Categorización de los parámetros morfométricos (longitud de vertiente).
Fuente: IGM, 2023.

	Desnivel Relativo (m)
1	0 - 2
2	> 2 - 5
3	> 5 - 10
4	> 10 - 15
5	> 15 - 25
6	> 25 - 50
7	> 50 - 100
8	> 100 - 150
9	> 150 - 200
10	> 200 - 300
11	> 300 - 400
12	> 400 - 600
13	> 600 - 800
14	> 800 - 1 000
15	> 1 000

Tabla 2. Categorización de los parámetros morfométricos (desnivel relativo).
Fuente: IGM, 2023.

Descripción de unidades de Capacidad de Uso de las Tierras (CUT)

El CUT permite conocer las potencialidades y limitaciones de la superficie de la tierra, para esto, se realiza un mapa de clasificación, donde, conforme aumentan las limitaciones disminuyen las opciones de uso, definiendo cuatro clases (I a IV) reservadas para los usos agrícolas y los cuatro restantes (V a VIII) para las no-agrícolas tales como bosques, pastos, espacios protegidos, entre otros (IEE, 2013).



Con la finalidad de caracterizar a las clases de CUT (Tabla 4), se establecieron las especificaciones técnicas o parámetros mínimos considerando las descripciones y categorías para las ocho clases de tierras.

	<i>Pendiente</i>	<i>CUT</i>
1	≤ 5	I
2	≤ 12	II
3	≤ 25	III
4	≤ 40	IV
5	≤ 12	V
6	≤ 70	VI
7	≤ 100	VII
8	Cualquiera	VIII

Tabla 4. Ángulo de pendiente referente a CUT.
Fuente: Realización propia.

Las zonas de estudio dentro de Alausí detallan las pendientes que abarca CUT VIII por sus fuertes limitaciones; es decir, que tienen pendientes superiores al 100% de inclinación, profundidades menores a los 20 cm y pedregosidad abundante con fragmentos gruesos (Figura 3).

Descripción de características del suelo

La zona de estudio presenta varias texturas importantes que aumentan la susceptibilidad a los movimientos en masa (Figura 4), entre estos están:

Suelos con predominio de arcillas expansivas que presentan alta capacidad de retención de agua, lo que puede llevar a una saturación y pérdida de cohesión, estos también se expanden y contraen con los cambios de humedad, que a su vez genera grietas y debilita el suelo.

Suelos limosos con una menor cohesión que las arcillas, lo que los hace propensos a la erosión y a la licuefacción en presencia de agua y pueden volverse inestables en pendientes cuando están saturados.

Suelos arenosos, aunque permiten un buen drenaje también son propensos a la licuefacción en caso de sismos o saturación extrema, además de que las arenas finas y sueltas presentan poca cohesión y pueden deslizarse fácilmente por las pendientes.

Suelos con alto contenido de materia orgánica, aunque muchos pensarías que estos suelos son

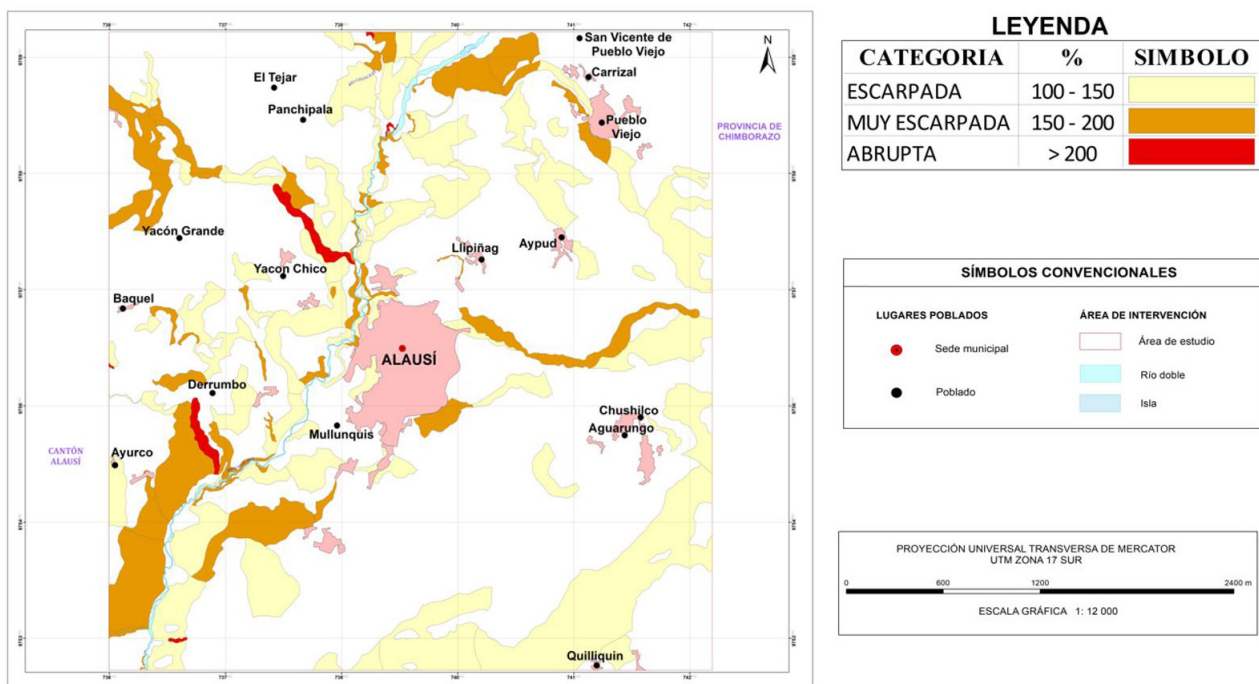


Figura 3. Clasificación de pendientes > 100%.
Fuente: Elaboración propia.

los mejores o estables, estos suelos presentan una alta capacidad de retención de agua lo que los hace muy comprimibles e inestables, además de presentar baja resistencia estructural lo cual los hace susceptibles a colapsos o hundimientos (Figura 4).

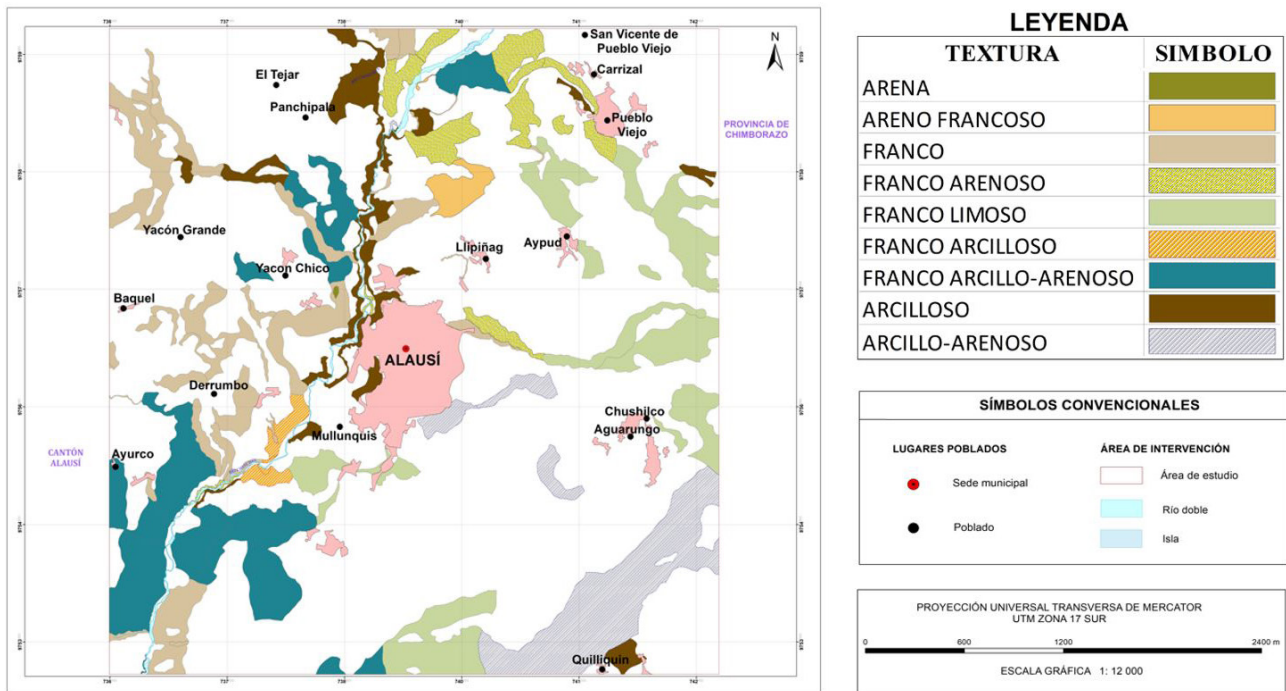


Figura 4. Texturas de suelo.
Fuente: Elaboración propia.

Descripción de unidades geomorfológicas

La ciudad de Alausí ubicada dentro del paisaje morfológico: vertientes inferiores y relieves de las cuencas interandinas (Winckell et al., 1997); presenta pendientes escarpadas, muy escarpadas y abruptas, referente a la categorización de los parámetros morfométricos (Figura 5).

El origen de las unidades geomorfológicas corresponde a siete procesos:

- volcánico (ej. relieves volcánicos);
- gravedad y movimientos en masa (ej. superficie de coluvión muy antiguo);
- fluvio - lacustre (ej. depresión pantanosa);
- deposicional (ej. terrazas);
- erosión fluvial (ej. barranco);
- poligénicas (ej. superficie horizontal); y,
- tecnogénesis (ej. superficie intervenida).

Descripción de cobertura y uso de la tierra

En la zona de Alausí se ha encontrado como coberturas predominantes en pendientes mayores a 100% como (Figura 6):

- Matorral seco muy alterado
- Matorral seco medianamente alterado
- Vegetación herbácea seca muy alterada
- Vegetación herbácea seca medianamente alterada
- Eucalipto

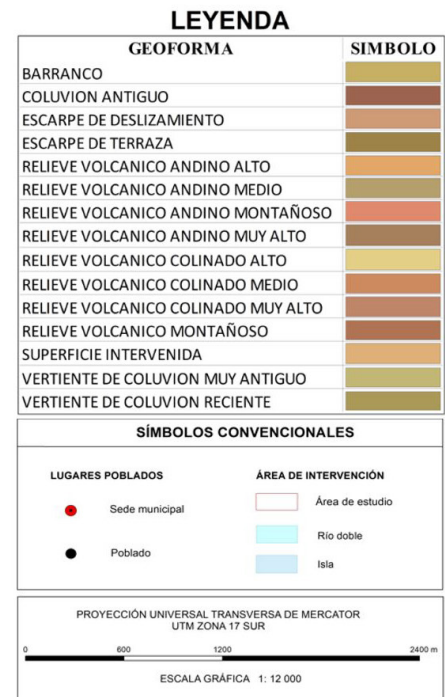
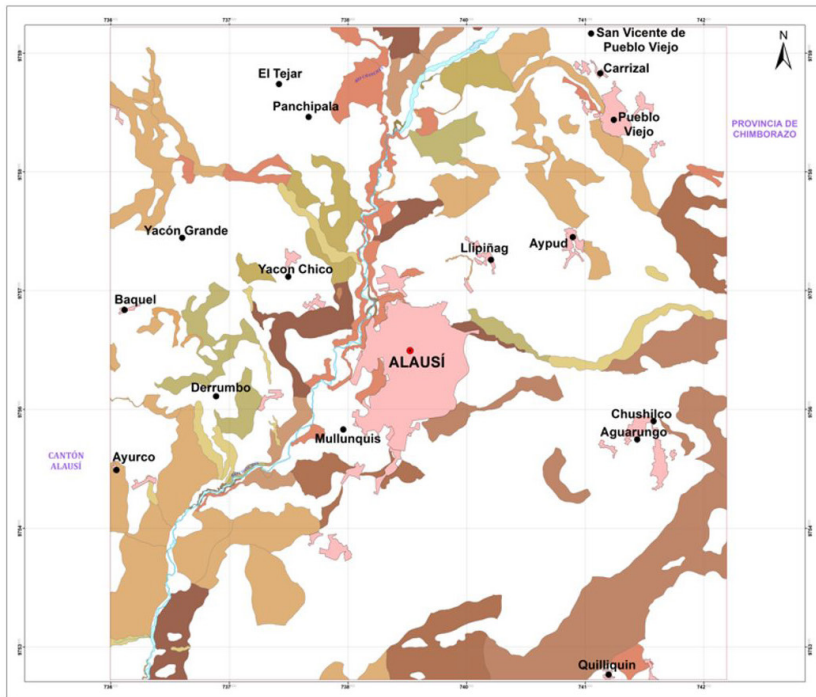


Figura 5. Geomorfología.
Fuente: Elaboración propia.

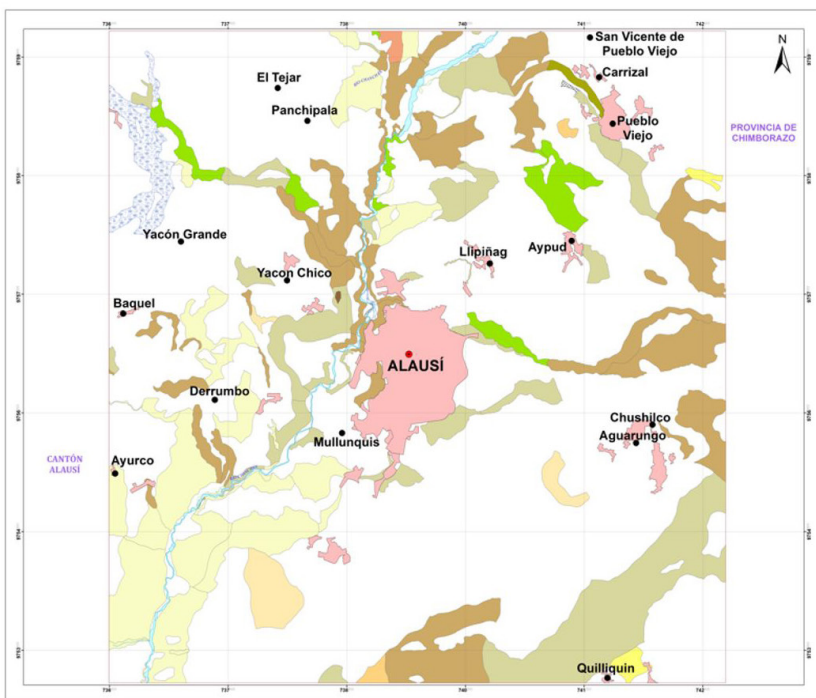


Figura 6. Cobertura y uso de la tierra.
Fuente: Elaboración propia.



Por otro lado, tenemos cultivos y pastizales importantes como:

- Cebada
- Maíz
- Trigo
- Kikuyo
- Alfalfa
- Pasto cultivado con presencia de árboles

También encontramos zonas eriales como suelos descubiertos y suelos expuestos, que se encuentran en proceso de erosión debido a la deforestación de la vegetación y a los factores meteorológicos.

Descripción de análisis de resultados

De acuerdo a la recopilación de información obtenida del proyecto Capacidad de Acogida realizado por el Instituto Geográfico Militar, en la ciudad de Alausí se determinó que existen pendientes escarpadas, muy escarpadas y abruptas.

Diferentes tipos de suelos en los que encontramos arenosos, francos, arcillosos, limosos entre otros, con diferentes tipos de coberturas naturales como matorrales y vegetaciones arbustivas las que a su vez presentan otros tipos de alteración, diversidad de cultivos y zonas eriales como suelos descubiertos. Por lo que se puede determinar varias zonas susceptibles a movimientos en masa.

Las zonas más propensas a movimientos en masa, según rango de vulnerabilidad, se han diferenciado en tres clasificaciones: en la primera confluyen pendientes, texturas y coberturas, identificadas con círculos rojos, numeración 1, 2 y 3; en la segunda converge pendientes y texturas, identificadas con círculos verdes, numeración 4, 5 y 6 y en la tercera clasificación coinciden pendientes y cobertura, identificadas con círculos azules numeración 7.

De esta manera en la primera clasificación, con numeración 1, se observa que en la zona noreste cercana a los poblados de San Vicente, Carrizal y Pueblo Viejo, encontramos pendientes escarpadas y muy escarpadas con presencia de suelos franco arenoso, cobertura de cultivos

y suelos descubiertos; en este espacio se presenta también una pendiente escarpada, con textura franco arenosa y cubierta por una serie de cultivos anuales.

Al noroeste, con numeración 2, cercana al poblado Yacón Grande confluyen pendientes abruptas, muy escarpadas y escarpadas, con textura de suelo franco y cubiertos de cultivos anuales.

En la zona norte, con numeración 3, más cercana al centro poblado de Alausí, se puede observar similares condiciones, pendientes escarpadas y muy escarpadas, con suelos francos, franco arenoso y arenoso, en los dos primeros cubiertos por cultivos y en el último se presenta eriales o cantera.

En segunda estancia en la zona norte, con numeración 4, se presentan tres zonas con presencia de pendientes escarpadas y muy escarpadas con presencia de suelos franco arenoso y francos.

De igual forma en la zona derecha cercana al área poblada de Alausí, con numeración 5, denota la presencia de pendientes escarpadas y muy escarpadas, con presencia de suelos franco y franco arenoso.

Lo mismo sucede en la zona suroeste cercana al poblado Derrumbo y Ayurco de numeración 6, donde confluyen pendientes escarpadas, muy escarpadas y abruptas con presencia de suelo franco.

Y para finalizar la tercera clasificación se presenta en la zona sur cerca al poblado Quilliquin, con numeración 7, donde se encuentra pendientes escarpadas con presencia de cultivos anuales, pero resalta por su cercanía a pendientes abruptas.

CONCLUSIONES

- El análisis morfométrico, edafológico y de cobertura de suelo evidenció que en la ciudad de Alausí confluyen factores que la vuelven susceptible a movimientos en masa como pendientes escarpadas, muy escarpadas y abruptas, suelos con características físicas inestables, cobertura vegetal alterada y diferentes tipos de cultivos. El análisis realizado sobre la capacidad de uso de las

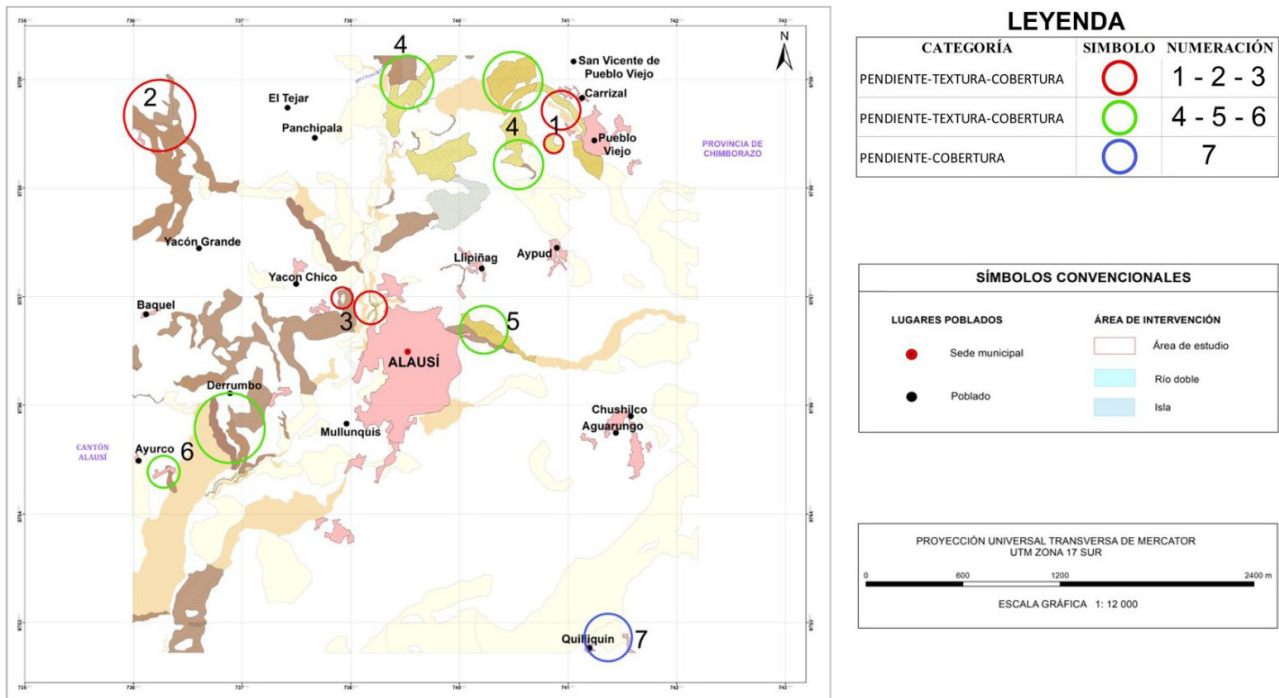


Figura 7. Resultados.
Fuente: Elaboración propia.

tierras y la clasificación de las zonas de riesgo ayuda a identificar áreas prioritarias para la intervención y a orientar el uso adecuado del territorio para reducir la exposición al peligro.

- Se logró establecer que en la zona existen factores morfométricos, antrópicos y edáficos, que se consideran factores condicionantes asociados a la generación de movimientos en masa.
- Mediante la combinación de variables como pendiente, tipo de suelo y cobertura vegetal, se identificaron tres categorías con diferentes niveles de susceptibilidad a movimientos en masa. Las más susceptibles se localizan en los sectores noreste, noroeste y suroeste de Alausí, donde confluyen condiciones físicas altamente desfavorables.
- La identificación de zonas con alta vulnerabilidad en Alausí destaca la importancia de una planificación urbana y rural basada en la prevención. A medida que las ciudades crecen y se expanden, se debe considerar los riesgos naturales y tomar decisiones sobre el uso del suelo para

evitar que las áreas de riesgo sean ocupadas sin medidas adecuadas de protección.

- La delimitación y clasificación de áreas susceptibles, mediante el uso de herramientas GIS, permite que las autoridades y tomadores de decisiones cuenten con información que les permita orientar la toma de decisiones en planificación territorial, alertas tempranas y estrategias de mitigación. Este tipo de estudios resulta fundamental para prevenir pérdidas humanas y materiales ante eventos futuros.
- Los resultados evidencian la urgencia de implementar políticas de gestión del riesgo que incluyan monitoreo continuo, control del uso del suelo, reforestación con especies adecuadas, y campañas de concientización comunitaria, especialmente en las zonas donde se han identificado amenazas latentes.

BIBLIOGRAFÍA

- ALCANTARA, I. (2000): Índice de susceptibilidad a movimientos del terreno y su aplicación en una región



semiárida. Rev.: 21/03/2025. En: <https://n9.cl/10sf1>

- COROMINAS, J., 1989, Clasificación y reconocimiento de los movimientos de ladera, en Corominas, ed., Estabilidad de taludes y laderas naturales: Zaragoza, Sociedad Española de Geomorfología.
- CEPAL, (2005). Elementos conceptuales para la prevención y reducción de daños originados por amenazas socionaturales: Cuatro experiencias en América Latina y el Caribe (Cuadernos de la CEPAL No. 913). Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). En: <https://n9.cl/2xg27>
- Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC). (s.f.). Conocimientos básicos: Conceptos. Generalitat de Catalunya. En: <https://n9.cl/1ganl>
- Instituto Espacial Ecuatoriano. (2013): Memoria técnica de Capacidad de Uso de las Tierras de la ciudad de Quito. (IEE). En: <https://cutt.ly/9rwf7qj>
- Instituto Geográfico Militar. (2023). Memoria técnica de la ciudad de Alausí. Generada durante 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". (IGM). Memoria Técnica de la Ciudad de Alausí.
- Mella, C. (2023, marzo 27). Un deslave en el centro de Ecuador deja al menos siete fallecidos y cientos de afectados. El País. En: <https://n9.cl/vcg7w>
- Mora, S. (2021). Gestión del riesgo y adaptación al cambio climático: una visión integral. San José, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica. En: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/geologica/article/download/49999/50650?inline=1>
- OJEDA, J.; VALENCIA, A., MUÑOZ, F. (2001): Evaluación de riesgos por fenómenos de remoción en masa: guía metodológica. Rev.: 24.03.2025. En: <https://n9.cl/pxnny>
- PESANTES, C. (2007): Evaluación y Zonificación de Riesgos Geodinámicos en el Distrito Minero Zaruma - Portovelo. Rev.: 23.03.2025. En: <https://n9.cl/moxyd>
- Pazos, V. y Vinuesa, W. (1990): Contribución al estudio sobre los deslizamientos en el Ecuador. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- Rodríguez, G. (2008): Análisis del Riesgo a Movimientos en Masa del Sistema de Riego El Pisque. Tesis de Ciencias Humanas. Departamento de Geografía-PUCE. Quito. Pág. 4-13.
- Secretaría Nacional de Planificación. (2024). Plan Nacional de Desarrollo 2024-2025: Eje 5 - Gestión de Riesgos. Rev.: 24.03.2025. En: <https://n9.cl/5eh9f>
- Summerfield, M. A. (2013). Global Geomorphology (1a ed.). En: <https://n9.cl/zksn6>
- Tricart, J. (1965). Principes et méthodes de la géomorphologie. Paris: Masson. En: <https://www.erudit.org/fr/revues/cgq/1965-v10-n19-cgq2592/020576ar/>
- Winckell, A., Zebrowski, C., & Sourdat, M. (1997). Las regiones y paisajes del Ecuador (1a ed., Vol. 2). Centro Ecuatoriano de Investigación Geográfica. En: https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers11-03/010011845.pdf



POSTGIS, geodatabase de alto rendimiento: El poder del análisis ráster en software libre.

POSTGIS, HIGH-PERFORMANCE GEODATABASE: THE POWER OF RASTER SPATIAL ANALYSIS IN FREE SOFTWARE

Cachimuel, Stalin. - stalin.cachimuel@geograficomilitar.gob.ec
Albán, Mauricio. - mauricio.alban@geograficomilitar.gob.ec

RESUMEN

El presente artículo analiza el potencial de PostgreSQL y su extensión espacial PostGIS en el análisis espacial ráster. En el contexto actual de crecimiento de los datos geoespaciales, se destaca el procesamiento de imágenes satelitales para la obtención de índices espectrales como el NDVI, fundamentales para la gestión ambiental y territorial. Se describe un enfoque basado en SQL (Lenguaje de Consulta Estructurada) para el cálculo directo de dichos índices dentro de una base de datos espacial, optimizando recursos y mejorando la automatización. Finalmente, se discuten las principales limitaciones del sistema y se plantea una reflexión hacia el futuro de esta integración tecnológica.

Palabras clave: PostGIS, PostgreSQL, teledetección, ráster, NDVI, cubo de datos, SQL.

ABSTRACT

This article analyzes the potential of PostgreSQL and its spatial extension PostGIS in raster spatial analysis. In the current context of growing geospatial data, satellite image processing is highlighted for the extraction of spectral indices such as NDVI, which are essential for environmental and territorial management. An SQL-based approach is described for the direct calculation of these indices within a spatial database, optimizing resources and enhancing automation. Finally, the main limitations of the system are discussed, and a reflection is offered on the future of this technological integration.

Keywords: PostGIS, PostgreSQL, remote sensing, raster, NDVI, data cube, SQL.

143

INTRODUCCIÓN

El procesamiento de imágenes satelitales de muy alta resolución permite generar información geoespacial crítica para la elaboración de cartografía de pronta respuesta. En este contexto, el análisis espacial ráster cobra protagonismo al facilitar la cuantificación y caracterización automatizada y reproducible de elementos territoriales.

El uso de herramientas libres como PostgreSQL y sus extensiones PostGIS y PostGIS Ráster ha transformado el paradigma tradicional del procesamiento de imágenes, al permitir realizar operaciones matemáticas directamente en la base de datos. Esto reduce significativamente los tiempos de análisis, elimina la dependencia de software especializado externo y mejora la trazabilidad y replicabilidad de los resultados.

Este artículo tiene como objetivo demostrar cómo la implementación de un sistema de análisis espacial ráster dentro de una base de datos relacional abierta permite obtener productos cartográficos derivados, como NDVI y NDWI, fundamentales para aplicaciones de monitoreo ambiental, gestión territorial y respuesta rápida ante eventos que afectan el territorio. Para ello, se presenta una metodología basada en consultas SQL aplicadas sobre capas ráster integradas en PostGIS, utilizando imágenes satelitales de muy alta resolución como fuente de análisis.

• Evolución del análisis ráster en PostgreSQL y SQL espacial

El soporte para datos ráster en bases de datos relacionales se consolidó con la versión 2.0 de PostGIS, lanzada en 2012, donde se introdujo el tipo de datos ráster, junto con funciones dedicadas como ST_Value, ST_Band, ST_MapAlgebraExpr, entre otras. Esta evolución marcó un hito al permitir que las operaciones

matemáticas y estadísticas sobre píxeles fueran ejecutadas directamente desde consultas SQL, eliminando la necesidad de software externo para el procesamiento de imágenes.

Desde entonces, el módulo PostGIS Ráster ha evolucionado continuamente, integrando mejoras en el manejo de metadatos, tiling automático, indexación espacial sobre imágenes, y compatibilidad con herramientas como QGIS y GDAL. Su arquitectura modular facilita la manipulación de archivos GeoTIFF, la generación de índices espectrales y la exportación a diversos formatos cartográficos (Figura 1).

En años recientes, el enfoque de procesamiento en base de datos ha ganado popularidad en aplicaciones de monitoreo ambiental, agricultura de precisión, y sistemas de alerta temprana. Su adopción por parte de comunidades científicas y agencias gubernamentales ha demostrado que el uso de SQL espacial sobre ráster permite flujos de trabajo más reproducibles, auditables y eficientes (Obe & Hsu, 2021).

• Ventajas comparativas frente a herramientas privativas

PostGIS, como solución de software libre, ofrece claras ventajas frente a herramientas privativas, especialmente en el contexto



Figura 1. Módulos de PostGIS y PostGIS Ráster.
Fuente: (PostGIS Day, 2024).



institucional ecuatoriano. La más evidente es la eliminación de costos de licenciamiento, lo que permite a entidades públicas acceder a tecnología de alto nivel sin comprometer el presupuesto.

Desde el punto de vista técnico, integra el análisis ráster directamente en la base de datos, lo que garantiza trazabilidad, automatización mediante SQL y evita pasos intermedios con software externo. Además, su arquitectura basada en estándares abiertos favorece la interoperabilidad con visores web, servicios de mapas y plataformas de datos abiertos.

Finalmente, su comunidad activa y en continua evolución tecnológica aseguran una herramienta sostenible, adaptable y libre de dependencias comerciales, alineada con los principios de soberanía tecnológica promovidos en el país (Tabla 1).

COMPARACIÓN ENTRE POSTGIS Y HERRAMIENTAS PRIVATIVAS		
Característica	PostGIS (Libre)	Herramientas privativas
Licenciamiento	Gratuito	Requiere licencias anuales o por usuario
Escalabilidad	Alta y configurable	Limitada por condiciones del proveedor y licencias
Automatización	Mediante SQL y scripts	Limitada o con licencias adicionales
Interoperabilidad	Estándares abiertos (OGC, QGIS, GeoServer, etc.)	Generalmente basada en formatos propietarios
Comunidad y soporte	Amplia comunidad global	Soporte disponible bajo contrato
Independencia tecnológica	Completo control sobre la infraestructura	Alta dependencia del proveedor

Tabla 1. Comparación entre PostGIS y herramientas privativas.
Fuente: Elaboración propia con base en experiencias institucionales (2025).

DESARROLLO

Datos y herramientas utilizadas

Para el presente estudio se emplearon imágenes satelitales multiespectrales Pléiades, correspondientes a eventos de deslizamientos ocurridos en Ecuador durante el año 2025. Estas imágenes fueron proporcionadas por la Carta Internacional Espacio y Grandes Desastres, en formato GeoTIFF, con una resolución espacial submétrica (0.5 m) y cuatro bandas espectrales: azul, verde, rojo e infrarrojo cercano (NIR).

El entorno de trabajo se construyó íntegramente con herramientas libres, lo que permitió reproducibilidad, trazabilidad y escalabilidad del análisis dentro de una base de datos espacial (Tabla 2).

Carga de imágenes a la base de datos

Como parte del flujo de trabajo, se creó una base de datos denominada test utilizando la herramienta de administración pgAdmin. A esta base se le añadieron las extensiones necesarias para el análisis espacial ráster: PostGIS y PostGIS Ráster, habilitando así el soporte nativo para operaciones espaciales y de procesamiento de imágenes en formato rasterizado (Figura 2).

Previo a la carga, se realizó un subset de la imagen satelital original extraída de una escena completa Pléiades con el objetivo de reducir el área de trabajo y optimizar los tiempos de procesamiento.



DATOS Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS

Elemento	Descripción
Imágenes satelitales	Pléiades (2025), resolución 0.5 m, 4 bandas (azul, verde, rojo, NIR)
Formato ráster	GeoTIFF
Base de datos	PostgreSQL 15 con extensión PostGIS 3.4
Importación ráster	Complemento PostGIS Ráster Import (QGIS 3.34)
Procesamiento espacial	Consultas SQL con funciones PostGIS Ráster (ST_MapAlgebraExpr)
Visualización	QGIS 3.34 LTR
Sistema de referencia	EPSG:32717 (UTM zona 17S, hemisferio sur)

Tabla 2. Datos y herramientas utilizadas.
Fuente: Elaboración propia con base en experiencias institucionales (2025).

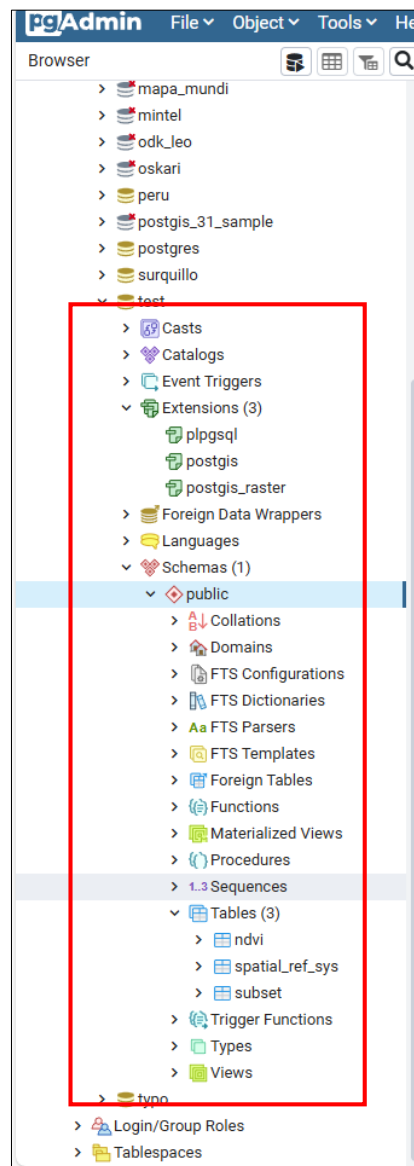


Figura 2. Creación de la base de datos “test” y extensiones PostGIS y PostGIS Ráster.
Fuente: Elaboración propia con base en experiencias institucionales (2025).



Este recorte se realizó conservando las características espectrales originales y en formato GeoTIFF multibanda.

Para la carga de la imagen en la base de datos se utilizó el complemento PostGIS Ráster Import desde QGIS (versión 3.34 LTR). Este complemento fue instalado a través del administrador de complementos de QGIS y permite importar archivos ráster de forma directa a una tabla PostgreSQL, especificando el nombre de la tabla de destino, el sistema de referencia espacial (EPSG:32717 – UTM zona 17 Sur), el esquema de la base de datos y otras opciones de configuración como el tamaño del tile y la partición por bandas (Figura 3).

Durante la importación se asignó un nombre específico a la tabla resultante y se verificó que cada banda espectral quedara correctamente referenciada en el campo rast. La carga fue validada desde QGIS estableciendo una conexión a la base de datos mediante el panel de “Administrador de fuentes de datos”, comprobando la visualización georreferenciada del ráster y la correcta alineación del subset con respecto al sistema de coordenadas definido.

Este procedimiento garantizó una importación limpia, estructurada y

reproducibile, dejando los datos listos para el posterior análisis espectral mediante funciones SQL en PostGIS.

• Cálculo de índices espectrales con SQL

El cálculo de índices espectrales directamente dentro de la base de datos PostgreSQL con PostGIS Ráster representa una de las ventajas más significativas del procesamiento geoespacial en entornos abiertos. En este estudio se implementó un índice ampliamente utilizado en teledetección: el NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) calculado mediante funciones algebraicas aplicadas sobre los valores de píxel almacenados en las bandas espectrales del ráster importado.

• Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

El NDVI fue calculado directamente sobre una única imagen multibanda, sin necesidad de separar previamente las bandas en tablas distintas. Para ello se utilizó la función `st_mapalgebra` de PostGIS Ráster, la cual permite aplicar una operación matemática entre dos bandas del mismo ráster (Figura 4).

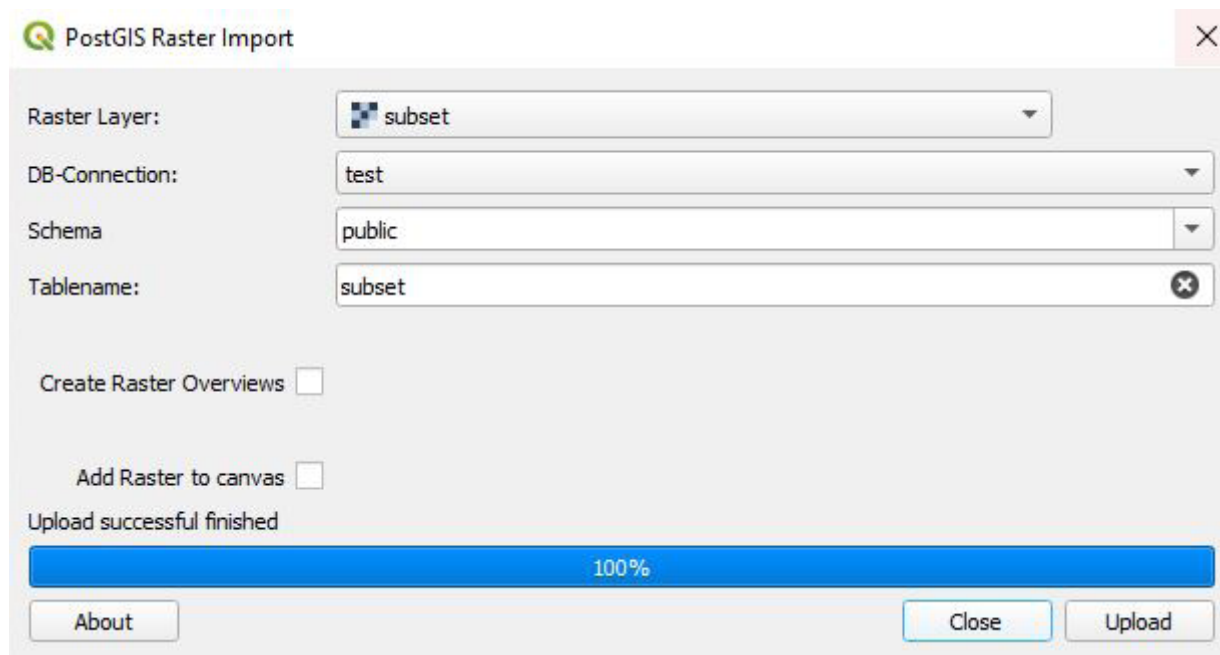


Figura 3. Ambiente del PostGIS Ráster Import para subir la imagen satelital.
Fuente: Elaboración propia con base en experiencias institucionales (2025).

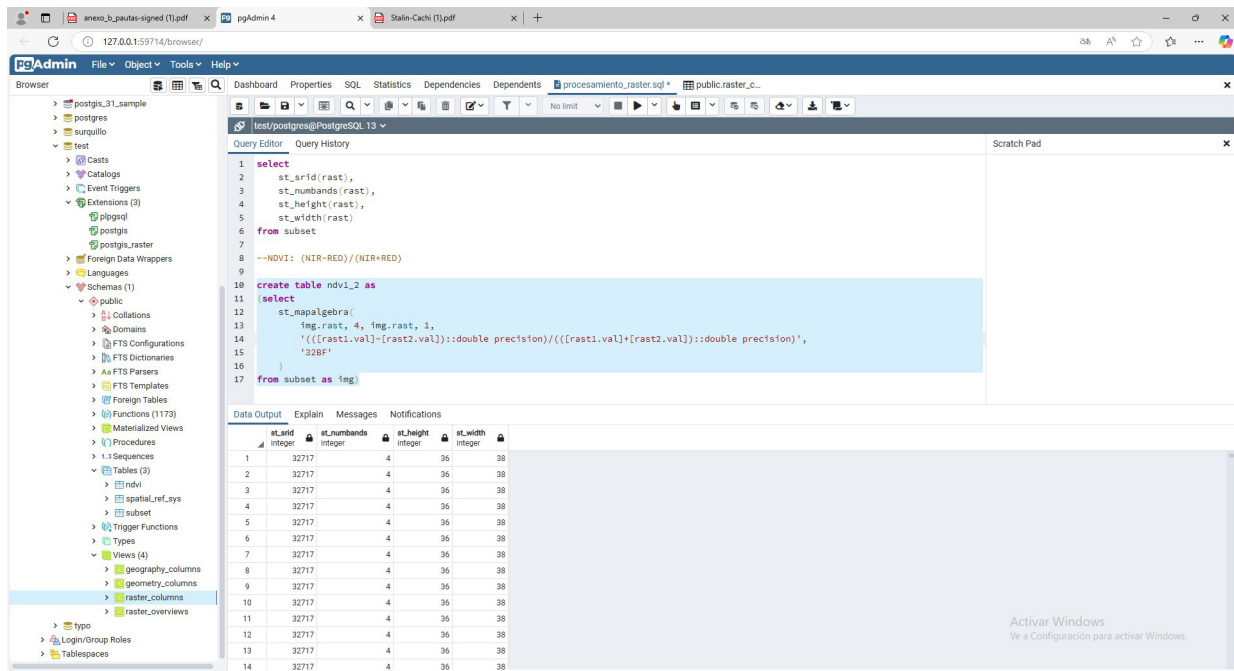


Figura 4. Código SQL para el cálculo de NDVI.
Fuente: Elaboración propia con base a (CAEG, 2024).

Explicación técnica:

148

- `img.rast, 4`: se refiere a la banda infrarroja cercana (NIR), almacenada como la banda 4 dentro del ráster multibanda `subset`.
- `img.rast, 1`: hace referencia a la banda roja (Red), ubicada en la banda 1 del mismo ráster.
- La expresión algebraica implementa la fórmula estándar del NDVI:

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

- `::double precisión`: asegura que la operación se realice en punto flotante, evitando errores por división entera.
- `'32BF'`: especifica que la banda de salida será de tipo 32-bit float signed (32BF), ideal para índices espectrales que varían en un rango entre -1 y 1.
- El resultado fue almacenado en una nueva tabla denominada `ndvi`, que contiene una sola banda con los valores de NDVI correspondiente a cada píxel.
- Este enfoque resulta eficiente, ya que evita la necesidad de manejar múltiples tablas por banda y aprovecha la estructura multibanda del ráster para realizar operaciones algebraicas directamente en una sola instrucción.

• Visualización y validación en QGIS

Una vez calculado el índice NDVI dentro de la base de datos PostgreSQL, se procedió a su visualización y validación utilizando QGIS como entorno SIG libre. Esta etapa fue clave para comprobar la integridad del proceso de análisis y facilitar la interpretación visual del comportamiento espectral de la vegetación (Figura 5).

La conexión a la base de datos se estableció desde QGIS mediante el panel “Administrador de fuentes de datos”, accediendo a la tabla ndvi, que contiene el NDVI generado mediante SQL en PostGIS Ráster. Esta tabla fue cargada directamente como capa ráster y visualizada sin necesidad de exportaciones intermedias.

Para representar los valores NDVI, se aplicó una simbología graduada y modificada en QGIS basada en la clasificación de NDVI propuesta por (López-Pérez, Martínez-Menes, & Fernández-Reynoso, 2015) publicada en el artículo “Priorización de áreas de intervención mediante análisis morfométrico e índice de vegetación”,

esta clasificación asigna rangos de valores a distintos niveles de cobertura vegetal (Tabla 3).

CLASIFICACIÓN DE LOS VALORES DE NDVI

Clasificación	Valor
Nubes y agua (NA)	<0.27
Suelos sin vegetación (SV)	0.27 - 0.3
Vegetación ligera (VL)	0.3 - 0.4
Vegetación mediana (VM)	0.4 - 0.5
vegetación alta (VA)	> 0.5

Tabla 3. Clasificación de los valores de NDVI modificado.
Fuente: Elaboración propia con base en experiencias institucionales (2025).

La simbología aplicada según la clasificación de (López-Pérez, Martínez-Menes, & Fernández-Reynoso, 2015) facilitó la interpretación rápida de los valores, y la identificación visual de áreas de alta vegetación, suelos expuestos, cuerpos de agua y nubes, de forma oportuna e intuitiva, permitiendo destacar las siguientes observaciones clave:

- Las zonas clasificadas como Vegetación alta (VA, NDVI > 0.5)

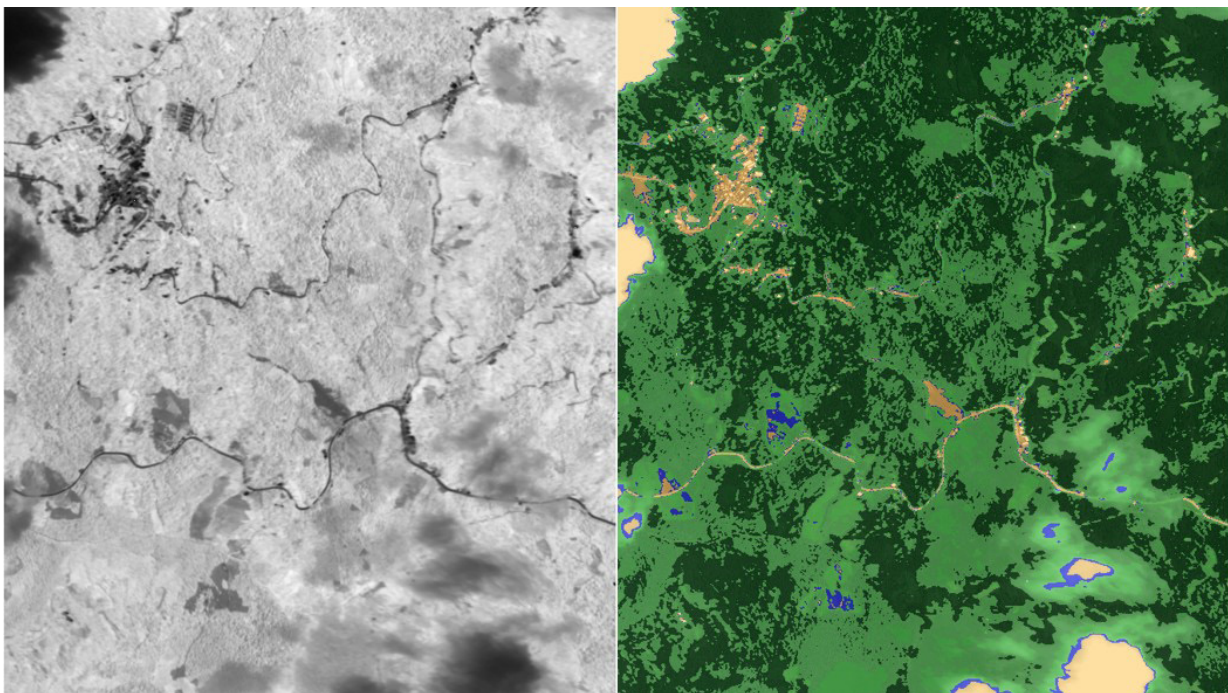


Figura 5. Cálculo de NDVI de la zona de estudio.
Fuente: Elaboración propia con base en experiencias institucionales (2025).



se concentraron principalmente en las pendientes no afectadas por el evento, indicando presencia de vegetación densa y saludable.

- Las áreas con Vegetación ligera a mediana (VL y VM, NDVI entre 0.3 y 0.4) correspondieron en su mayoría a zonas alteradas o en regeneración, próximas a caminos, construcciones o usos agropecuarios.
- Las regiones con valores inferiores a 0.2 (SV y NA) se asociaron principalmente a suelo desnudo, cuerpos de agua, o de manera destacada a la mancha del deslizamiento, claramente visible como una franja de baja reflectancia dentro del ráster.

Durante esta fase, también se verificaron:

- La correcta proyección espacial en EPSG:32717.
- La coherencia espectral de los resultados, contrastando zonas verdes (alta vegetación) con zonas de baja reflectancia (NA y SV).
- La uniformidad de la simbología y la adecuada respuesta visual del ráster importado, permitió identificar de manera rápida la mancha del deslizamiento registrada en el área de estudio.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

El cálculo y visualización del índice NDVI permitió obtener una representación espacial detallada del estado de la vegetación en el área de estudio afectada por deslizamientos (Tabla 4). Los resultados mostraron una clara diferenciación entre zonas con cobertura vegetal alta y aquellas con escasa o nula vegetación, evidenciando la efectividad del procesamiento ráster realizado íntegramente dentro de la base de datos PostgreSQL con PostGIS.

Este patrón espectral fue confirmado visualmente en QGIS, permitiendo validar que el subset procesado representaba

adecuadamente la zona de interés y que la clasificación espectral aplicada ayudaba a resaltar con claridad las diferencias estructurales del terreno.

Además, el uso de SQL para el cálculo de NDVI dentro de la base de datos demostró ser una alternativa ágil, reproducible y fácilmente escalable, con gran potencial para automatizar análisis multitemporales o para extender el estudio a otras zonas afectadas.

• Reflexión hacia el futuro de esta integración tecnológica

El procesamiento y almacenamiento de datos ráster directamente dentro de bases de datos espaciales, como PostgreSQL/PostGIS, representa una evolución significativa en la gestión geoespacial.

Este enfoque trasciende el uso tradicional de archivos dispersos, permitiendo trabajar con información estructurada, centralizada y conectada a modelos de datos espaciales y alfanuméricos, lo cual es clave para fortalecer la interoperabilidad, trazabilidad y escalabilidad de los análisis territoriales.

En un contexto donde las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE) han avanzado considerablemente en el desarrollo de catálogos de objetos geográficos vectoriales, la incorporación sistemática de datos ráster en bases de datos abre la puerta a la creación de un catálogo de objetos geográficos ráster, aún inexplorado de forma estructurada. Este catálogo podría clasificar y documentar elementos extraídos de imágenes satelitales, ortofotos, modelos digitales de elevación, índices espectrales u otros productos ráster, permitiendo (Tabla 4):

- Consultas semánticas y espaciales sobre unidades ráster normalizadas.
- Reutilización de objetos geográficos identificables como manchas de deslizamientos, focos de calor, cuerpos de agua, zonas deforestadas, etc.

- Integración con cubos de datos geospaciales para análisis multitemporales y espectrales.
- Pasos propuestos hacia un futuro con catálogos de objetos ráster.

CONCLUSIONES

- La implementación de análisis ráster dentro de bases de datos espaciales con software libre representa mucho más que una mejora técnica: constituye una transformación en la forma de gestionar, interpretar y compartir
- Sin embargo, más allá de los logros operativos alcanzados, este enfoque abre la puerta a una visión estratégica de largo alcance: la posibilidad de construir un catálogo de objetos geográficos ráster que

la información geoespacial. Este trabajo ha demostrado que es posible calcular índices espectrales como el NDVI directamente en PostgreSQL/PostGIS, automatizar su procesamiento mediante SQL y validar sus resultados con herramientas interoperables como QGIS, todo dentro de un entorno abierto, trazable y reproducible.

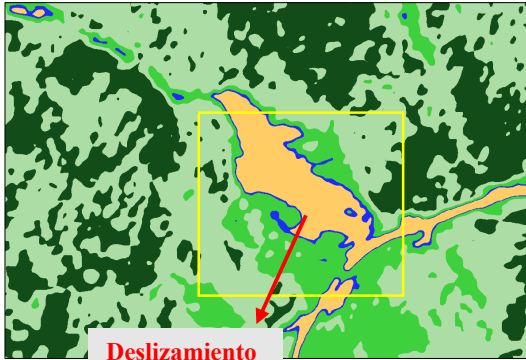
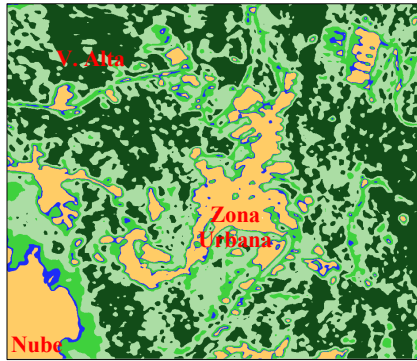
Resultados del análisis del NDVI en el sector Olmedo para la evaluación de deslizamientos	
Vista de la imagen Satelital PLEIÁDES Combinación Color Natural: 321	Vista de la cobertura de la capa del área de deslizamiento Resultado del índice de NDVI
 Deslizamiento	 Deslizamiento
<i>Figura 6. Deslizamiento en el cantón Olmedo, barrio Yurusal - 14 de marzo de 2025.</i>	<i>Figura 7. Cálculo de la máscara de deslizamiento.</i>
 V. alta Zona Urbana Nube	 V. Alta Zona Urbana Nube
<i>Figura 8. Objetos geográficos identificados.</i>	<i>Figura 9. Objetos geográficos identificados en el cálculo del NDVI.</i>

Tabla 4. Resultados del análisis del NDVI en el sector Olmedo para la evaluación de deslizamientos.
Fuente: Elaboración propia con base en experiencias institucionales (2025).



Figura 10. Pasos propuestos hacia un futuro con catálogo de objetos ráster.

Fuente: Elaboración propia con base en experiencias institucionales (2025).

integre y clasifique unidades territoriales detectadas desde imágenes satelitales o modelos digitales. Esta idea aún poco explorada en el ámbito geoespacial podría revolucionar el modo en que las instituciones organizan y exponen sus datos, dotándolos de semántica, contexto y temporalidad.

bases para un modelo nacional de gestión inteligente de objetos geográficos ráster, posicionando a las instituciones pioneras no solo como usuarios de tecnología, sino como referentes en innovación geoespacial con software libre.

BIBLIOGRAFÍA

- La inexistencia de implementaciones completas de catálogos ráster con software libre no debe interpretarse como una limitación, sino como una ventana de oportunidad para liderar este desarrollo desde sectores académicos, científicos o gubernamentales. La creación de un prototipo funcional bajo estándares abiertos no solo aportaría valor operativo a instituciones que manejan datos territoriales, sino que contribuiría directamente a la evolución de las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE) hacia esquemas integrados, multitemporales y orientados a objetos.
- Este artículo propone una ruta clara: desde la normalización de productos ráster, su integración en bases de datos espaciales, la identificación de objetos geográficos, su catalogación semántica, hasta su despliegue interoperable en IDE mediante servicios como WMS, WCS o STAC. La consolidación de este enfoque permitiría sentar las
- CAEG. (2024). Centro de Altos Estudios en Geomática. Obtenido de Análisis Espacial y Administración de Base de Datos Espaciales con PostGIS y QGIS: <https://academia.geomatica.online/courses/postgis-2024/>
- López-Pérez, A., Martínez-Menes, M., & Fernández-Reynoso, D. (2015). Priorización de áreas de intervención mediante análisis morfométrico e índice de vegetación. México: Tecnología y ciencias del agua.
- Obe, r., & Hsu, L. (2021). PostGIS in Action. Shelter Island: Manning Publications.
- PostGIS Day. (2024). PostGIS Day 2024. Obtenido de <https://www.crunchydata.com/community/events/postgis-day-2024>

Teledetección enfocada a riesgos: Técnicas de identificación de severidad y zonas quemadas mediante el empleo de datos de observación de la Tierra.

**RISK-FOCUSED REMOTE SENSING: SEVERITY AND BURNED AREA
IDENTIFICATION TECHNIQUES USING EARTH OBSERVATION DATA.**

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

RESUMEN

Este estudio aborda el uso de teledetección para el análisis de incendios forestales mediante datos satelitales de la plataforma Sentinel-2. Se aplicaron los índices espectrales dNBR y NBR2 para evaluar el impacto del fuego, determinando el área afectada y la severidad del evento. Se empleó la técnica del umbral de área quemada complementada con una corrección por nubosidad para mejorar la calidad del análisis. La metodología aplicada permitió identificar con precisión las zonas quemadas y la severidad del incendio ocurrido en el Parque Nacional Cajas, proporcionando información clave para la toma de decisiones de las autoridades competentes.

Palabras clave: Índice NBR, severidad, área quemada, umbral, máscara de nubosidad.

ABSTRACT

This study addresses the use of remote sensing for the analysis of forest fires using satellite data from the Sentinel-2 platform. The dNBR and NBR2 spectral indices were applied to assess the impact of the fire, determining the affected area and the severity of the event. The burned area threshold technique was used and complemented with a cloud cover correction to improve the quality of the analysis. The applied methodology made it possible to accurately identify the burned areas and the severity of the fire that occurred in Cajas National Park, providing key information for decision-making by the competent authorities.

Keywords: NBR index, severity, burned area, threshold, cloud cover mask.

INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales representan una amenaza creciente para los ecosistemas, afectando la biodiversidad, la calidad del aire y la estabilidad de los suelos. La teledetección satelital se ha convertido en una herramienta clave para la identificación y el monitoreo de áreas afectadas por incendios, permitiendo una mejor comprensión de su propagación y la implementación de estrategias de mitigación. Este estudio emplea sensores ópticos y diversos índices espectrales para detectar y evaluar las zonas quemadas en distintos escenarios geográficos.

El estudio pretende desarrollar un modelo de observación de la Tierra basado en imágenes satelitales para la detección y monitoreo de incendios forestales. Además, se propone dos metodologías para

el análisis de zonas quemadas considerando las fortalezas y debilidades que proporcionan las condiciones climáticas del Ecuador, con la intención de mejorar la capacidad de respuesta y prevención de estos eventos mediante el análisis de datos de sensores ópticos, evaluando la evolución de los focos de incendio y su impacto en la vegetación.

La metodología puede emplearse para conocer el panorama completo de afectación por incendios en una zona determinada sin importar su extensión. Su limitación para usar entre diversas metodologías y múltiples

productos de plataformas satelitales, radica en la disponibilidad del sensor para capturar una imagen con un margen de nubosidad en la escena de máximo el 50%.

ÁREA DE ESTUDIO

El Parque Nacional Cajas (PNC) ubicado en la provincia del Azuay fue afectado por un incendio el 12 de noviembre de 2024 que inició días antes en un sector aledaño (Figura 1). Este evento se prolongó por catorce días, afectando significativamente la provisión de agua a la ciudad de Cuenca y sus alrededores.

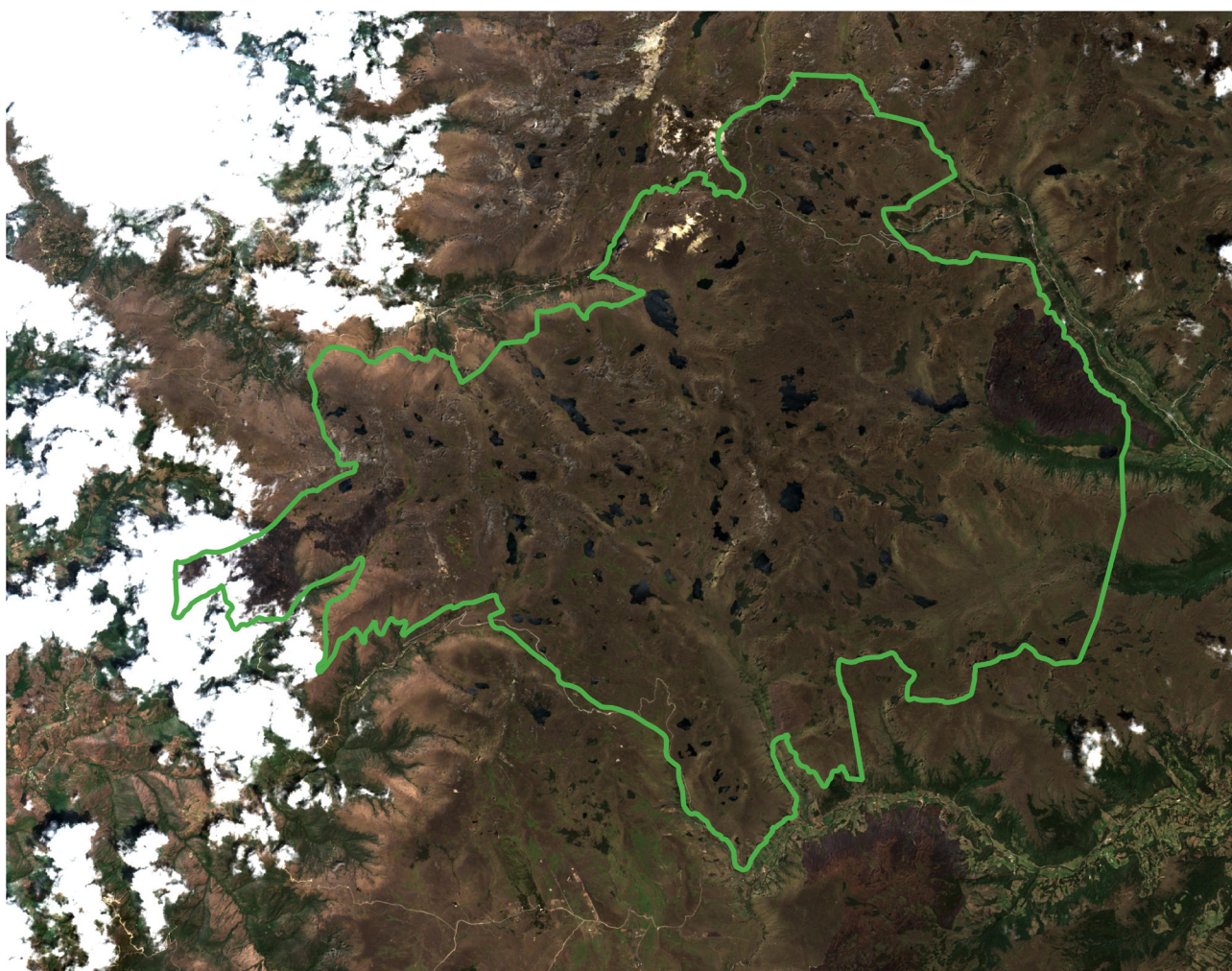


Figura 1. Vista aérea del Parque Nacional Cajas.
Fuente: Sentinel 2, Copernicus, 2024.

Esta zona ubicada sobre los 3000 m.s.n.m, es considerada un páramo que provisiona de agua y otros servicios ecosistémicos de relevancia; motivo por el cual, la captura de una imagen medianamente limpia (nubosidad < 50%) suele ser dificultosa.



De esta premisa, surge la relevancia del insumo satelital a escogerse, pues debe garantizarse que el sensor óptico que capture información de la zona de estudio provea lo indispensable para el análisis.

Al considerar los parámetros técnicos del sensor y la disponibilidad de información, se propuso utilizar datos de observación de la tierra de la plataforma satelital Sentinel 2, del programa Copernicus de la Agencia Espacial Europea (ESA).

METODOLOGÍA

El método de detección y análisis de incendios, tiene un orden lógico y secuencial que inicia con la identificación de los insumos a emplearse, estos se correlacionan con la zona de estudio y permiten determinar la técnica metodológica a emplearse.

- **Recolección de datos**

Los datos de Sentinel 2 están disponibles de forma gratuita para todos los usuarios a través de la plataforma Copernicus Browser, los insumos utilizados corresponden a fechas de antes y después de ocurrido el evento (Tabla 1).

	<i>PRE EVENTO</i>	<i>POST EVENTO</i>
<i>Nombre de fichero</i>	S2B_MSIL2A_20241111T153619_N05_11_R068_T17MPS_20241111T193447	S2B_MSIL2A_20241201T153629_N05_11_R068_T17MPS_20241201T192230
<i>Resolución espacial</i>	20 metros (banda SWIR)	
<i>Fecha</i>	11/11/2024	01/12/2024

Tabla 1. Características de los insumos empleados.
Fuente: Copernicus, 2024.

Los satélites de observación terrestre miden principalmente la energía reflejada y emitida por la superficie terrestre, expresada en términos de reflectividad, emisividad y emisión-reflexión (Smith et al., 2020).

Además, capturan información en múltiples bandas espectrales, incluidas aquellas que no son visibles al ojo humano, como el infrarrojo cercano (NIR) y el infrarrojo de onda corta (SWIR). Estas bandas son fundamentales para el estudio de diversos fenómenos ambientales, incluyendo la evaluación del estado de la vegetación, la detección de cuerpos de agua y la identificación de áreas afectadas por incendios forestales (Jones & Brown, 2018).

La técnica del umbral aplicada a los datos del satélite Sentinel-2 es una metodología eficiente para la detección de áreas quemadas en superficies extensas. Esta técnica se basa en la utilización de bandas en el infrarrojo de onda corta (SWIR), que, gracias a su resolución espacial de 20 metros, permite una mejor discriminación de las zonas afectadas por el fuego (ESA, 2021). Sin embargo, su efectividad puede verse limitada por la cobertura nubosa, aunque presenta una menor sensibilidad al humo en comparación con otras bandas espectrales, debido a la capacidad del SWIR para atravesar partículas en suspensión (García et al., 2019).

Cabe destacar que esta técnica no está diseñada para la detección de fuego activo, sino para la evaluación post-incendio mediante el índice dNBR (Differenced Normalized Burn Ratio),

el cual es ampliamente utilizado en el análisis de áreas quemadas (Key & Benson, 2006).

• Flujograma de proceso

Las imágenes previas y posteriores al evento requieren un pre procesamiento para aplicar el método del umbral, con el fin de optimizar la interoperabilidad de las bandas y obtener un producto final preciso. Este procedimiento se llevó a cabo utilizando el software SNAP.

Luego, se ocupó el software QGIS, para realizar los diversos geoprocесamientos y análisis espaciales (Figura 2), entre ellos, se destaca el cálculo del índice dNBR en la zona de interés, aplicando una máscara de nubosidad para minimizar su interferencia en el producto final. De este análisis, se derivó la delimitación del área quemada y la evaluación de la severidad del incendio.

DESARROLLO

Una vez corregidas las imágenes, se procedió al cálculo de índices espectrales para la detección de zonas quemadas, considerando las características específicas del área de estudio.

• Cálculo del índice NBR2

Es una variante del NBR diseñada para la detección de áreas quemadas mediante el uso de bandas del infrarrojo de onda corta (SWIR). Este índice es especialmente útil en regiones con vegetación menos densa o suelos afectados por incendios. En imágenes de Sentinel-2, se calculó utilizando las bandas 11 y 12, aplicando la siguiente fórmula en la calculadora ráster del software QGIS:

$$NBR2 = \frac{(SWIR1 - SWIR2)}{(SWIR1 + SWIR2)}$$

Donde SWIR1 corresponde a la banda 11 y SWIR2 a la banda 12.

Los valores típicos del índice NBR2 permiten diferenciar la severidad del daño en la vegetación:

- De 0,1 a 1 → Áreas no quemadas o en buen estado.
- De 0 a - 0,1 → Áreas quemadas con daños leves.
- Menor a - 0,1 → Áreas severamente quemadas.

El índice NBR2 se calculó para ambas imágenes y se diseñó una paleta de colores en tonos rojizos para facilitar su interpretación.

• Cálculo del índice dNBR2

Permite evaluar la severidad del incendio mediante la comparación multitemporal de imágenes. Para ello, se realizó la diferencia entre el NBR2 post-incendio y el NBR2 pre-incendio (Figura 3), utilizando la siguiente ecuación:

$$NBR2_{post} - NBR2_{pre} = dNBR2$$

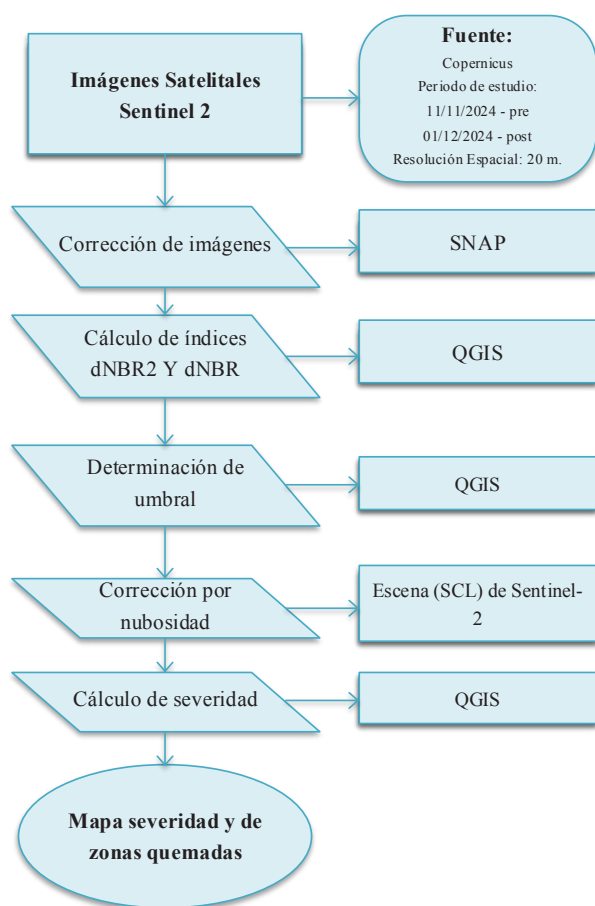


Figura 2. Flujograma de proceso
Fuente: Elaboración propia.

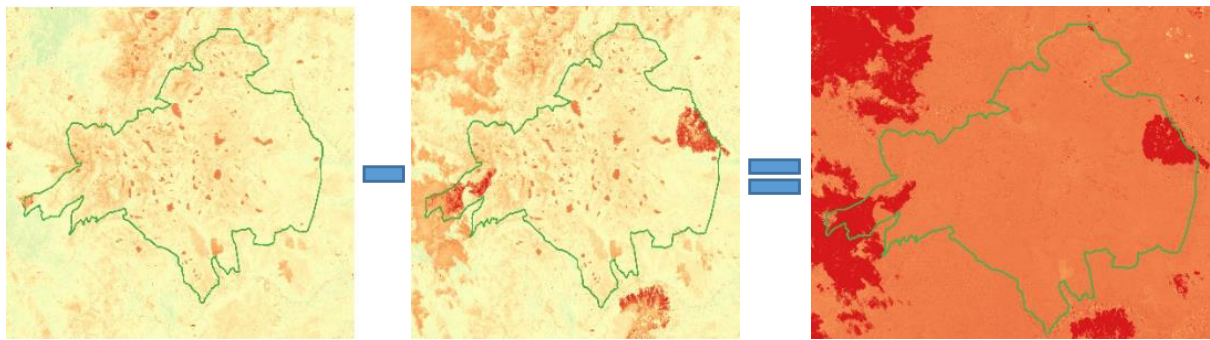


Figura 3. Determinación del índice dNBR2.
Fuente: Elaboración propia.

Dado que las superficies quemadas presentan valores más bajos en el NBR2, los píxeles con valores negativos en el dNBR2 indican las zonas afectadas por el incendio.

- **Determinación del umbral de área quemada**

Para definir el área quemada, fue necesario establecer un umbral en el índice dNBR2. Según la literatura, un valor de -0,1 se considera un punto de referencia general para identificar áreas afectadas; sin embargo, para un análisis más preciso se puede determinar un valor

específico seleccionando píxeles dentro de las zonas quemadas en la imagen y evaluando sus valores individuales.

A partir del umbral seleccionado, se generó una imagen binaria en la calculadora ráster de QGIS, mediante la siguiente fórmula:

$$“dNBR2@1” < (-0,1)$$

El resultado fue un producto intermedio denominado “dNBR2_umbral” que almacenó las áreas identificadas como quemadas (Figura 4).

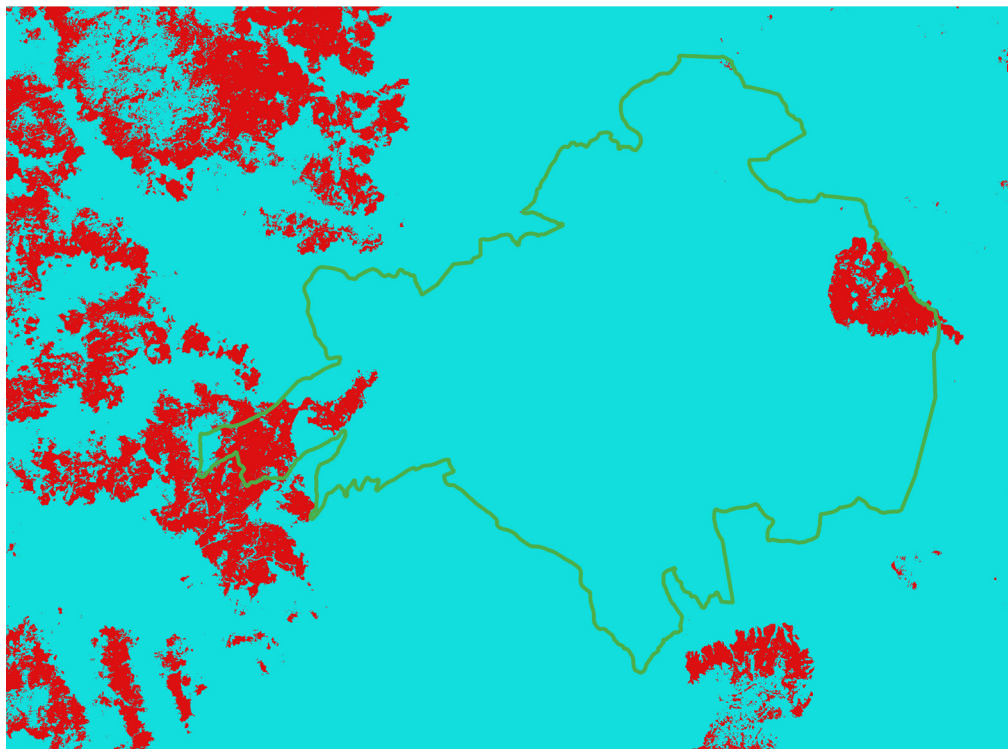


Figura 4. Determinación del umbral de área quemada.
Fuente: Elaboración propia.



• Corrección por nubosidad

Dado que la presencia de nubosidad puede afectar el análisis, se utilizó una máscara de nubes proporcionada por la capa de clasificación de escena (SCL) de Sentinel-2. Esta máscara permite diferenciar entre observaciones válidas (1) y no válidas (0).

Se aplicó la binarización con la función de reclasificación en ambas imágenes (pre y post-incendio), dado que el estudio es multitemporal (Tabla 2).

VALOR SCL	DESCRIPCIÓN	ACCIÓN	VALOR RECLASS
0	No hay datos disponibles	Removido	0
1	Píxeles saturados o defectuosos	Removido	0
2	Píxeles de zonas oscuras	Removido	0
3	Sombras de nubes	Removido	0
4	Vegetación	No Removido	1
5	Sin vegetación	No Removido	1
6	Agua	Removido	0
7	Sin clasificar	No Removido	1
8	Nubes de probabilidad media	Removido	0
9	Nubes de probabilidad alta	Removido	0
10	Cirrus delgados	Removido	1
11	Nieve	Removido	0

Tabla 2. Clasificación de la escena SCL y valores de reclasificación.
Fuente: Copernicus, 2024.

Para combinar las máscaras, se multiplicaron entre sí en la calculadora ráster, asegurando que solo se mantengan los valores correspondientes a áreas quemadas (valor = 1); en caso que algún dato sea diferente de 1, se le asignó un valor de 0.

El resultado de este proceso se almacenó como “SCL_pre_post”, y se utilizó para eliminar la influencia de la nubosidad en el producto generado mediante la técnica del umbral en el paso anterior. Para este fin, se empleó la calculadora ráster con la función condicional “If (condición, valor si se cumple, valor si no se cumple)”, mediante la siguiente sentencia:

If ("SCL_pre_post@1" = 1, "dNBR2_umbral@1" , 999)

El producto final, denominado “Área_quemada” (Figura 5), presentó los siguientes valores:

- 1 —→ Área quemada.
- 0 —→ Área no quemada.
- 999 —→ Área no observada debido a nubosidad o datos inválidos.

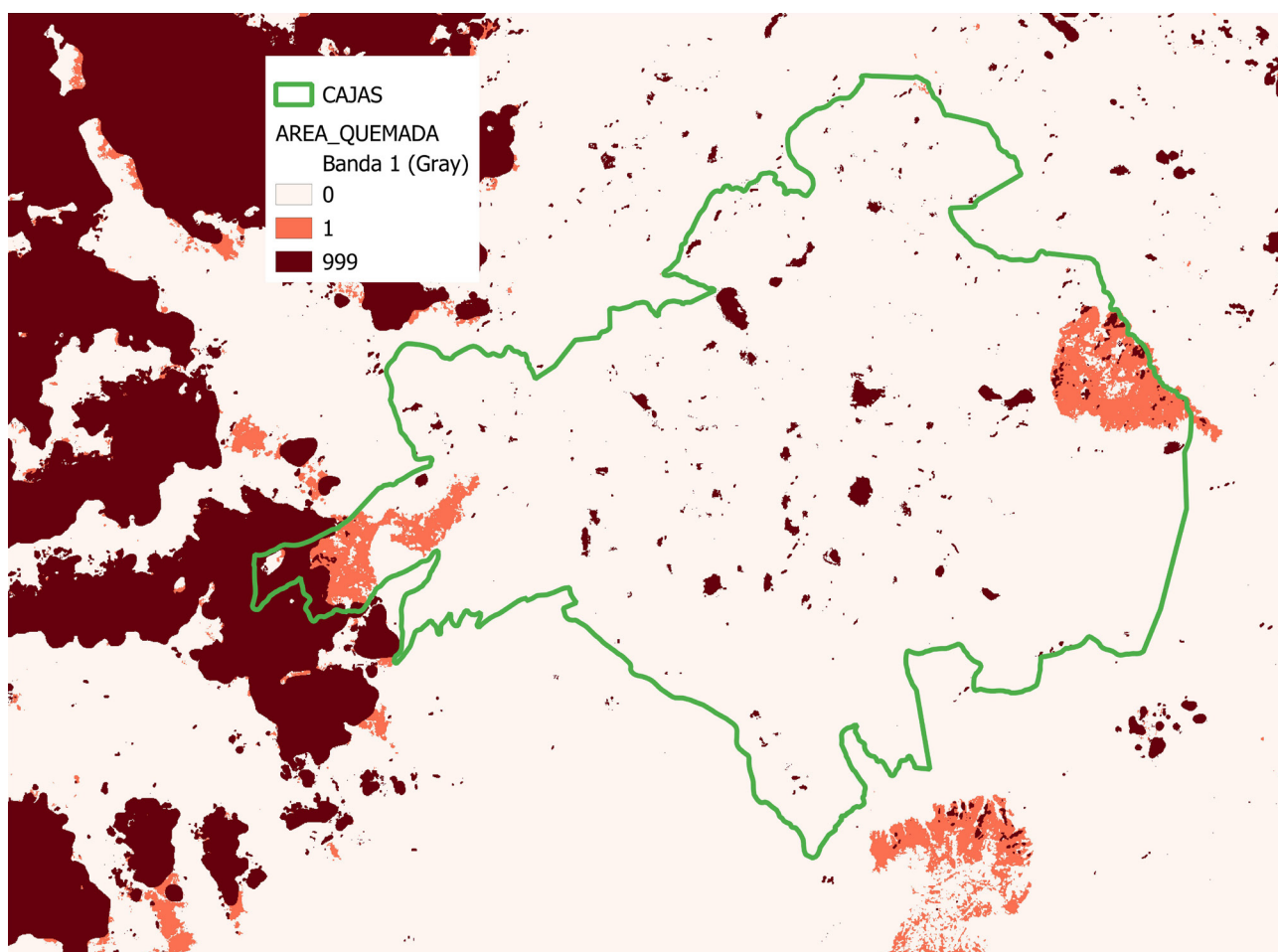


Figura 5. Determinación de área quemada.
Fuente: Elaboración propia.

• Cálculo de severidad del incendio

Una vez delimitada el área quemada en la zona de estudio, es necesario clasificar la severidad del incendio. Para ello, se empleó el índice dNBR que permite evaluar los cambios en la vegetación al comparar imágenes pre y post-incendio (Key & Benson, 2006). Este índice se calculó utilizando las bandas 8A y 12 de Sentinel-2, aplicando la siguiente expresión:

$$NBR = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)}$$

El cálculo se realizó para ambas imágenes, obteniendo la diferencia entre

los valores pre y post-incendio mediante la siguiente ecuación:

$$dNBR = NBR_{pre} - NBR_{post}$$

Posteriormente, se llevó a cabo una reclasificación de los valores de dNBR en rangos de severidad (Tabla 3), siguiendo la metodología propuesta por UN-SPIDER (United Nations Platform for Space-based Information for Disaster Management and Emergency Response, 2017), que consiste en clasificar la severidad del incendio en función de rangos específicos del índice dNBR.

El archivo resultante se almacenó con el nombre “Sev_dNBR_rangos”, utilizando la siguiente clasificación:



<i>dNBR</i>	<i>SEVERIDAD</i>
$\leq 0,1$	No quemado
$0,1 - 0,27$	Severidad baja
$0,27 - 0,44$	Severidad baja a moderada
$0,44 - 0,66$	Severidad moderada a alta
$> 0,66$	Alta severidad

Tabla 3. Clasificación de severidad de incendios.
Fuente: UN-SPIDER, 2017.

calculadora ráster en QGIS. Para ello, se definió la condición de que, si un píxel fue clasificado como quemado (valor = 1 en la imagen binaria de área quemada), se le asignó su correspondiente nivel de severidad según los rangos de la Tabla 3. En caso contrario, se le asignó el valor 0 (Figura 6).

Finalmente, se aplicó una máscara sobre el área quemada utilizando la

$$\text{If} ("Area_quemada@1"=1, "Sev_dNBR_rangos"@1, 0)$$

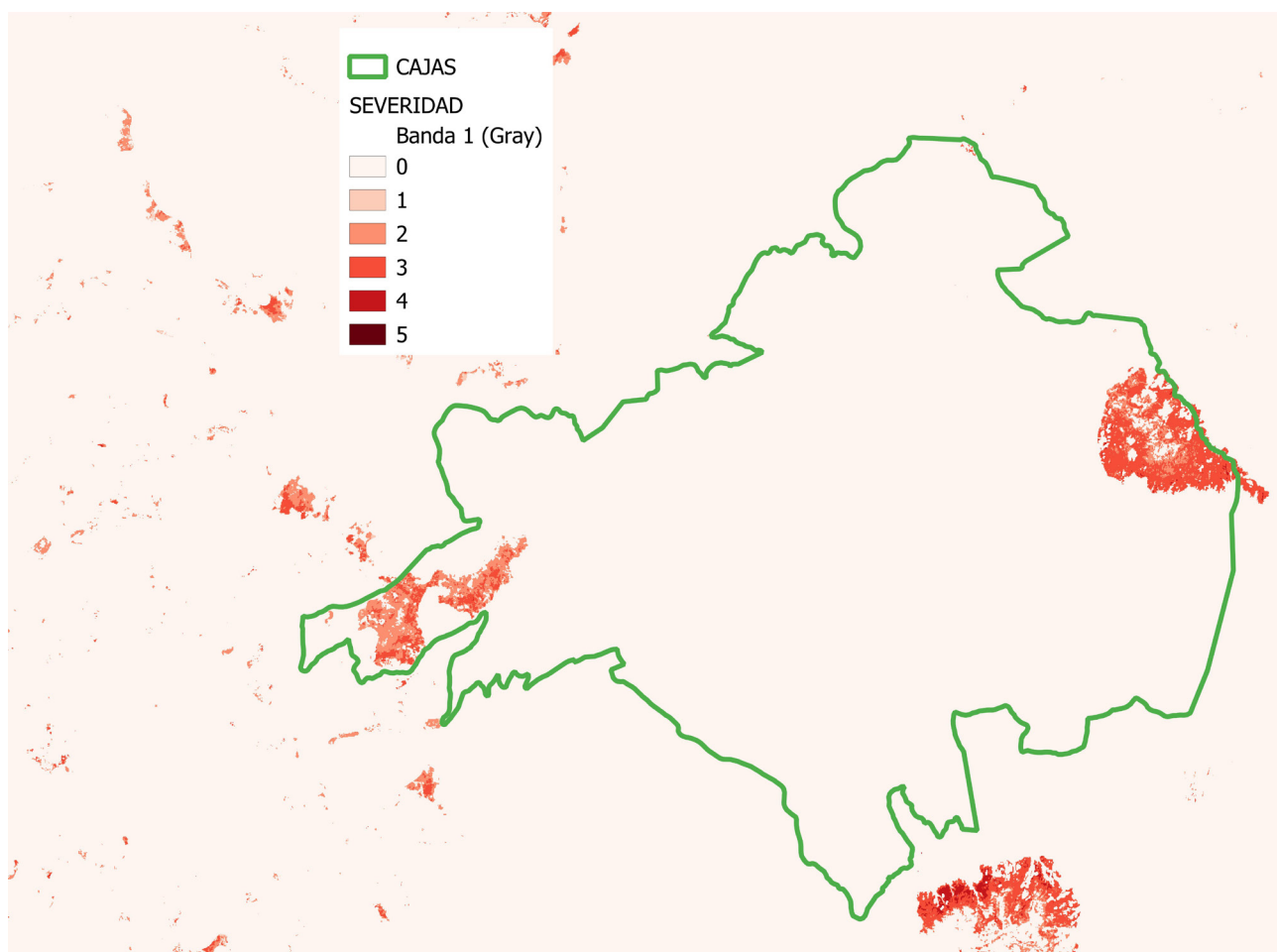


Figura 6. Determinación de severidad.
Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS

El análisis realizado en el Parque Nacional Cajas permitió identificar un área significativa afectada por el incendio ocurrido en noviembre de 2024. A través del cálculo del índice dNBR, se determinó que la severidad del incendio varió en distintos sectores de la zona de estudio. En adición, la aplicación de técnicas de enmascaramiento y corrección por nubosidad ha permitido mejorar la precisión de los resultados obtenidos (Figura 7).

El análisis del área quemada permitió identificar un total de 3591,53 hectáreas afectadas, lo que representa el 5,7% de la superficie del parque natural. Los sectores más impactados incluyen el



Parque Nacional Cajas, con 1661 hectáreas afectadas; Josefina, con 1195 hectáreas; y Arquillo – Molleturo, con 202 hectáreas. Estos resultados evidencian la magnitud del impacto ecológico en áreas de alto valor ambiental.

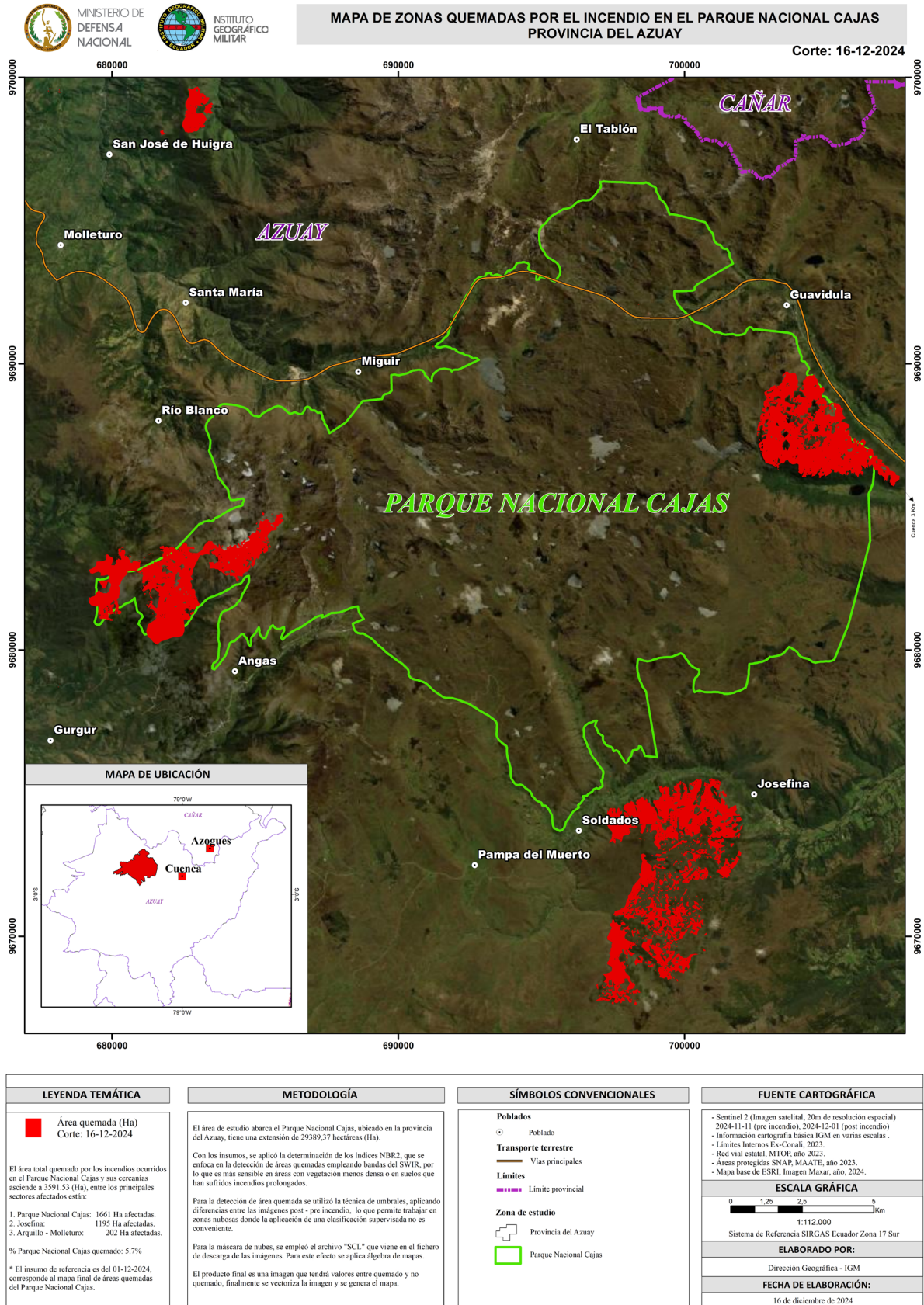


Figura 7. Mapa de zonas quemadas por el incendio en el Parque Nacional Cajas.
Fuente: Elaboración propia.



En cuanto a la severidad del incendio (Figura 8), los valores fueron clasificados en distintos niveles según la metodología de ONU-SPIDER (2017) descrita en la Tabla 3.

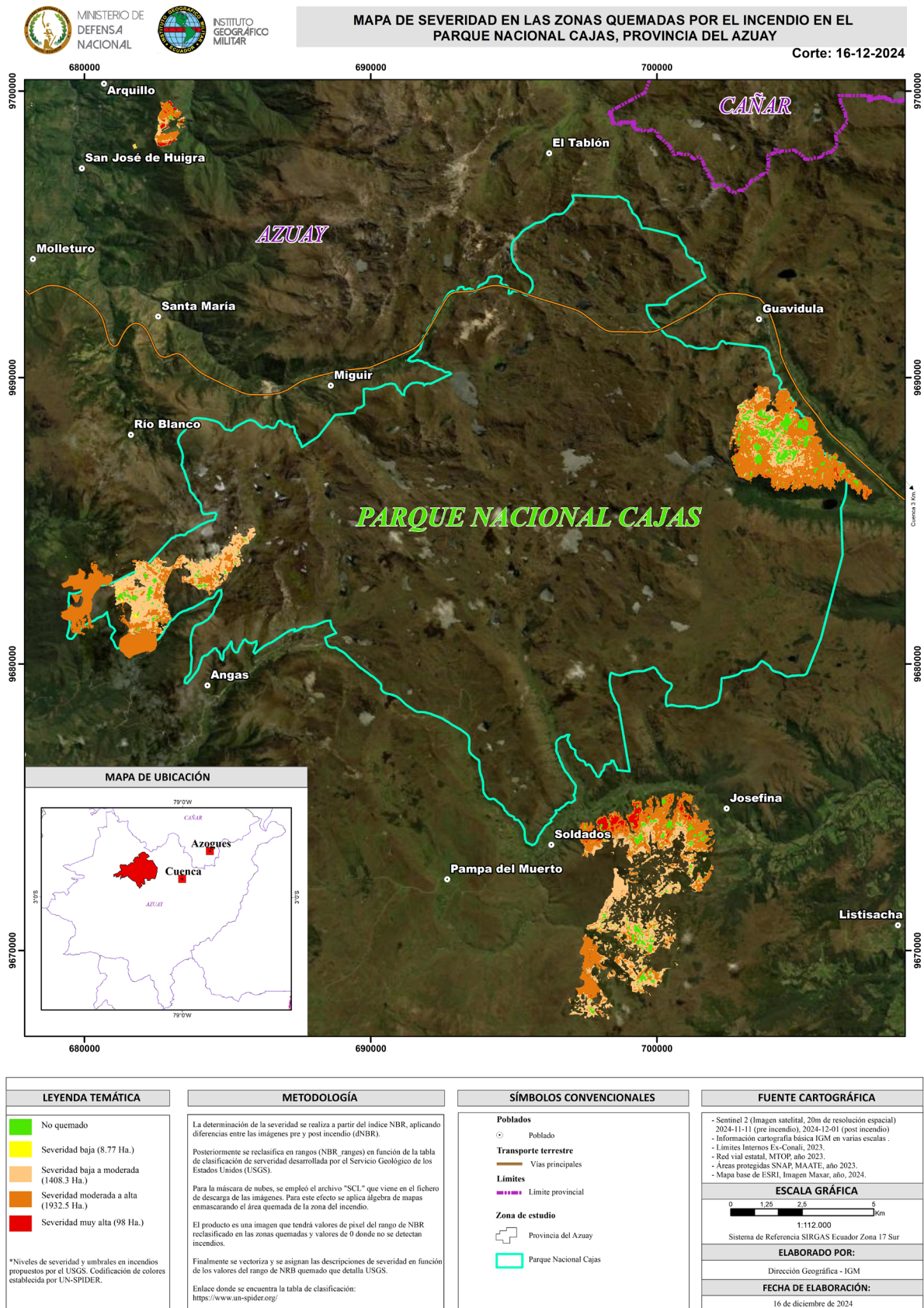


Figura 8. Mapa de severidad en las zonas quemadas por el incendio en el Parque Nacional Cajas.
Fuente: Elaboración propia.



En ese sentido, los resultados reflejaron que 8,77 hectáreas presentaron una severidad baja, mientras que 1408,3 hectáreas presentaron una severidad baja a moderada. Asimismo, se identificaron 1932,5 hectáreas con una severidad moderada a alta y 98 hectáreas con una severidad muy alta. Estos datos evidenciaron la variabilidad en la intensidad del daño dentro del área afectada por el incendio.

Cabe destacar que la presencia de nubosidad dificultó la detección en ciertas áreas, lo que resalta una de las limitaciones de los sensores ópticos. No obstante, la combinación de diferentes índices espectrales permitió obtener una predicción confiable del impacto del incendio, mejorando la precisión en la delimitación del área quemada y la caracterización de su severidad. Además, el uso de imágenes satelitales multitemporales facilitó el análisis de la evolución del incendio, permitiendo comparar los cambios en la cobertura vegetal antes y después del evento.

Estos resultados subrayan la importancia de complementar los sensores ópticos con datos auxiliares y metodologías integradas para reducir incertidumbres en la evaluación de desastres naturales.

CONCLUSIONES

- El estudio permitió determinar con precisión la extensión del área afectada por el incendio en el Parque Nacional Cajas, evidenciando un impacto significativo en su ecosistema. La identificación de 3591,53 hectáreas quemadas, con variaciones en la severidad del daño, destaca la importancia de emplear metodologías adecuadas para la evaluación de desastres naturales.
- La clasificación de la severidad del incendio reveló que la mayor proporción del área afectada presentó niveles de daño moderado a alto, lo que sugiere posibles repercusiones en la recuperación del ecosistema. Asimismo, la detección de sectores con severidad muy alta resalta la necesidad de estrategias de restauración enfocadas en las zonas más afectadas.
- A pesar de las limitaciones impuestas por la nubosidad, la combinación de técnicas de enmascaramiento y el uso de índices

espectrales permitió mejorar la precisión de los resultados. Además, la incorporación de imágenes satelitales multitemporales facilitó el análisis de la evolución del incendio y su impacto en la cobertura vegetal.

- Los hallazgos obtenidos subrayan la relevancia de integrar diversas fuentes de datos y metodologías en el monitoreo de incendios forestales, contribuyendo a una mejor gestión del territorio y a la formulación de estrategias de prevención y restauración ecológica.

BIBLIOGRAFÍA

- ESA. (2021). Sentinel-2 user handbook. European Space Agency. https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook.pdf
- García, M., López, R., y Fernández, T. (2019). Remote sensing applications in forest fire management. *Journal of Environmental Monitoring*, 12(3), 145-159.
- Jones, A., y Brown, R. (2018). Multispectral analysis for burn severity assessment. *Remote Sensing Reviews*, 26(2), 89-107.
- Key, C., y Benson, N. (2006). Landscape assessment (LA): Sampling and analysis methods. USDA Forest Service. https://www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs_gtr164_2.pdf
- Smith, J., Wang, L., y Taylor, P. (2020). Advancements in remote sensing for wildfire monitoring. *Earth Observation Journal*, 14(1), 50-73.
- United Nations Platform for Space-based Information for Disaster Management and Emergency Response. (2017). Guidelines for burn severity mapping using remote sensing. UN-SPIDER. https://un-spider.org/sites/default/files/Guidelines_Burn_Severity_Mapping.pdf

Teledetección aplicada en el control de fronteras - Análisis geográfico de transformaciones enfocadas a detección de cambio del territorio en frontera norte.

REMOTE SENSING APPLIED TO BORDER CONTROL - GEOGRAPHICAL ANALYSIS OF TRANSFORMATIONS FOCUSED ON CHANGE DETECTION OF THE NORTHERN BORDER TERRITORY.

Buitrón, César.

cesar.buitron@geograficomilitar.gob.ec

RESUMEN

El presente estudio aborda el análisis de las transformaciones territoriales en la frontera norte de Ecuador, enfocándose en las provincias de Esmeraldas, Carchi y Sucumbíos. A través de técnicas de teledetección y el uso de imágenes satelitales Sentinel 1 y 2, se identificaron cambios en la red vial, cobertura del suelo y dinámicas delictivas en períodos definidos (2010 – 2015 - 2024). Las metodologías aplicadas que incluyen el uso de imágenes satelitales de mediana y alta resolución, permiten generar modelos y mapas de síntesis que caracterizan el crecimiento urbano, desarrollo de la cobertura del suelo y la evolución de actividades ilícitas en áreas transfronterizas. Los resultados obtenidos proporcionan información geoespacial fundamental, para la planificación de operaciones militares; y, la toma de decisiones estratégicas en apoyo a instituciones estatales.

Palabras clave: Sistemas de Información Geográfica, SNAP, análisis espacial, desastres naturales, pronta respuesta, Copernicus.

ABSTRACT

This study analyzes territorial transformations along Ecuador's northern border, focusing on the provinces of Esmeraldas, Carchi, and Sucumbíos. Using remote sensing techniques and Sentinel 1 and 2 satellite imagery, changes in the road network, land cover, and crime dynamics were identified over defined periods (2010–2015–2024). The methodologies applied, including medium- and high-resolution satellite imagery, allow for the generation of models and synthesis maps that characterize urban growth, land cover development, and the evolution of illicit activities in cross-border areas. The results obtained provide fundamental geospatial information for planning military operations and strategic decision-making in support of state institutions.

Keywords: Geographic Information Systems, SNAP, geographic analysis, natural disasters, rapid response, Copernicus.



INTRODUCCIÓN

La frontera está ligada al ser humano y se puede decir que casi todas las fronteras son arbitrarias, resultado de conflictos, conquistas, dominación, pero que finalmente han reproducido, en general, un sentimiento de pertenencia, en un espacio territorial determinado; sin embargo, alrededor de las fronteras siempre se han desarrollado procesos complejos de generación de identidades transfronterizas y culturas específicas, que pueden definirse como simbiosis entre las dos identidades, pero que generalmente aportan elementos nuevos (Acosta, 2017).

Existe un espacio transfronterizo que no puede definirse como perteneciente a un estado u otro, sino de una nueva cultura que retoma elementos de cada una de las naciones vecinas, pero que aporta su propia cultura al conjunto.

Por tal razón, los estudios transfronterizos deben tomar en cuenta esta nueva realidad del surgimiento de identidades diferenciadas, que se diseminan a lo largo de las fronteras (Carrión, 2019).

El presente estudio analiza las transformaciones territoriales en la frontera norte del país, abarcando las provincias de Esmeraldas, Carchi y Sucumbíos. Este análisis se realiza mediante las técnicas de teledetección, con el objetivo de apoyar el control de la frontera.

Por sus condiciones geopolíticas, geográficas y económicas, el cambio del territorio en la frontera norte ha constituido un fenómeno de gran dinamismo; por lo cual, las herramientas geoespaciales se han convertido en una alternativa óptima para su monitoreo y análisis.

La base de la detección de cambios, está referido a los modelos y mapas de síntesis orientados a la caracterización del crecimiento de la red vial (2010 al 2024), alrededor de las principales conurbaciones binacionales a lo largo de la frontera, al monitoreo del cambio de la cobertura del suelo (2015 - 2024); y, a la dinámica delictiva asociada a actividades ilícitas (2015 - 2022), mediante el uso de información secundaria e imágenes satelitales Sentinel 1 y 2, a una escala 1: 50 000.

Adicional, este estudio cuenta con información esencial de la detección de cambios en términos de cobertura del suelo, vialidad en la frontera norte y dinámicas delictivas, a través de mapas, cuadros, tablas, gráficos e imágenes satelitales; lo cual, permitirá contar con un insumo crucial para la planificación de operaciones militares en apoyo a instituciones del estado y, proponer acciones correctivas ante las desigualdades espaciales encontradas.

METODOLOGÍA

El proceso metodológico está conformado por: análisis de la infraestructura vial, cobertura del suelo y actividades ilícitas, para generar el Modelo Geográfico de Transformaciones y Detección de Cambio, los cuales son productos generados a partir de información secundaria y, se detallan de la siguiente manera:

• Análisis de la Infraestructura Vial (2010-2024)

El estudio se basa en la actualización y análisis de la red vial de las provincias de Esmeraldas, Carchi y Sucumbíos, mediante el uso de la base cartográfica del Instituto Geográfico Militar (IGM) a escala 1:5000. Para ello, se implementa etapas metodológicas estructuradas de la siguiente manera:

a) Generalización cartográfica:

Se realiza la conversión de la red vial de la escala 1:5000 a 1:50 000, mediante técnicas de simplificación cartográfica, incluyendo selección, eliminación, agregación y jerarquización de elementos. Se establecieron criterios de conectividad espacial, como la distancia paralela mínima en zonas urbanas y la consolidación de vías redundantes.

b) Revisión topológica:

Se efectúa una estructuración topológica para garantizar la conectividad de los elementos viales, eliminando duplicaciones y corrigiendo errores geométricos.



c) Depuración y análisis de cambios:

Se aplica procesos de depuración y suavizado de elementos para mejorar la calidad de la representación cartográfica a escala 1:50 000.

Se calculó la densidad vial como la longitud de la red vial por unidad de superficie (km^2).

Se identifica las áreas de cambio en la red vial entre 2010 y 2024, analizando su expansión y posibles implicaciones socioeconómicas y ambientales (Figura 1).

• Cobertura del Suelo (2015-2024)

La metodología empleada para la generación del modelo de cobertura del suelo en las provincias fronterizas de Ecuador (Esmeraldas, Carchi y Sucumbíos), se basa en un enfoque multiescala; y, en el

procesamiento de datos geospaciales avanzados. Las etapas metodológicas están estructuradas de la siguiente manera:

a) Línea base y clasificación inicial (2015):

Se utiliza la información proporcionada por el proyecto “Generación nacional de geo información escala 1:25000” (IEE – MAG, 2015), basada en la metodología del IEE-CGSIN (MAGAP), que clasifica la cobertura del suelo según sistemas productivos, uso de la tierra, tenencia, productividad y, otros criterios.

b) Homogenización de datos (2015):

Los datos de cobertura del suelo son homogenizados en cinco clases: Cobertura Arbórea, Vegetación Arbustiva, Tierra de Cultivo, Superficies Artificiales, Cuerpos de Agua y Suelo Desnudo.

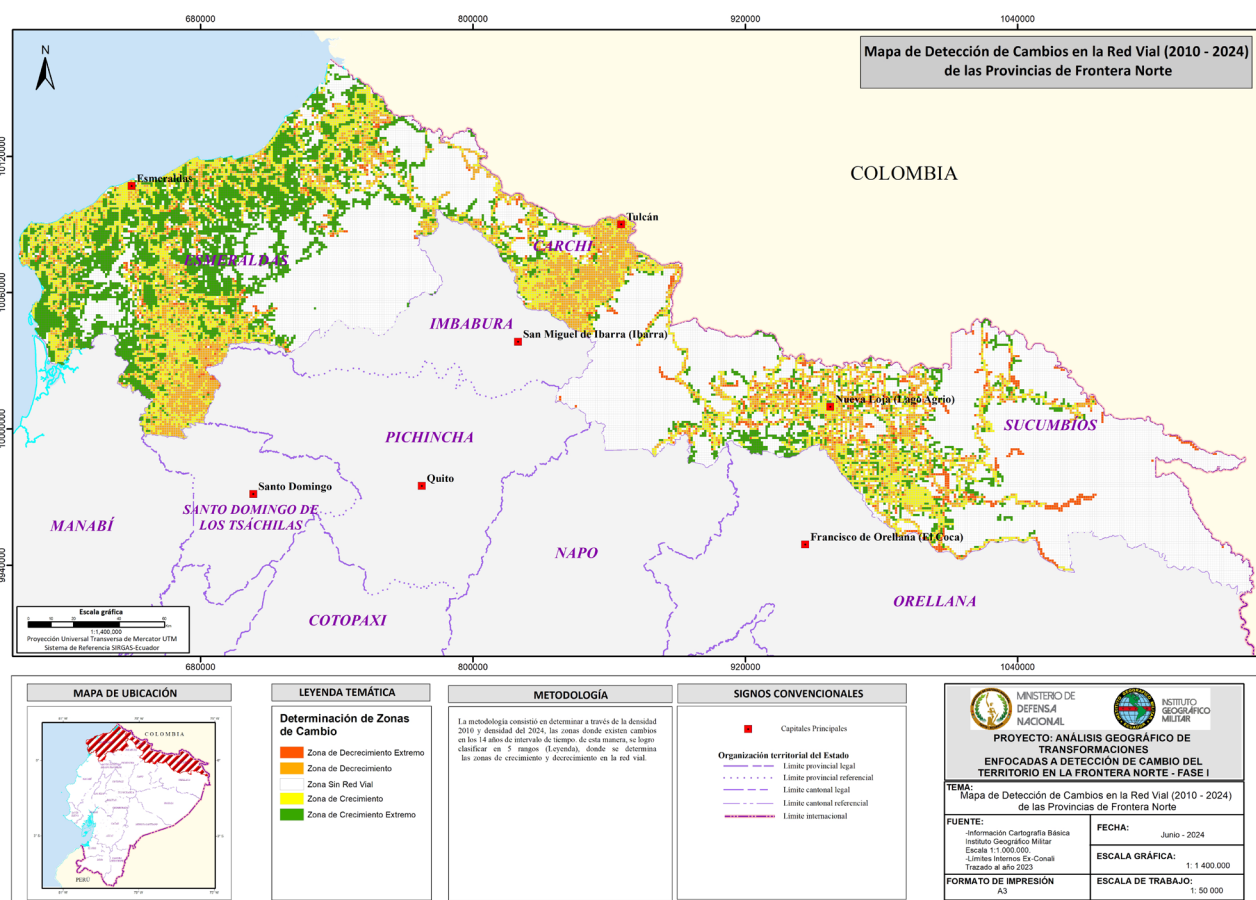


Figura 1. Mapa de cambios en la red vial del 2010 al 2024.
Fuente: Autor, 2024.



c) Homogenización con datos de Copernicus (2020):

Se utiliza la base de datos de “Copernicus Global Land Cover Layers: CGLS-LC100 Collection 3” (JRC, 2022), para normalizar y homogenizar las clases de cobertura del suelo al 2020.

d) Actualización con Sentinel II (2024):

A través de imágenes satelitales de la constelación Sentinel II, se realiza una actualización y verificación de la cobertura de la tierra en el área de estudio para el 2024, utilizando una clasificación supervisada con Random Forest.

e) Determinación de zonas de cambio:

Finalmente, se identifican las zonas de cambio en la cobertura del suelo, a través de un cruce de las capas vectoriales, lo que permite comparar los resultados de 2015 y 2024, a fin de establecer los lugares de cambio (Figura 2).

• Actividades Ilícitas (2015-2022)

La metodología empleada para analizar las actividades ilícitas en el período 2015-2022, se basa en los datos proporcionados por la Policía Nacional y el Observatorio de Drogas del Ecuador (2023). A continuación, se muestra la estructura secuencial realizada:

a) Georreferenciación de los datos:

Se utiliza la base de datos de la Policía Nacional, para realizar el proceso de georreferenciación de la información mediante las coordenadas emitidas

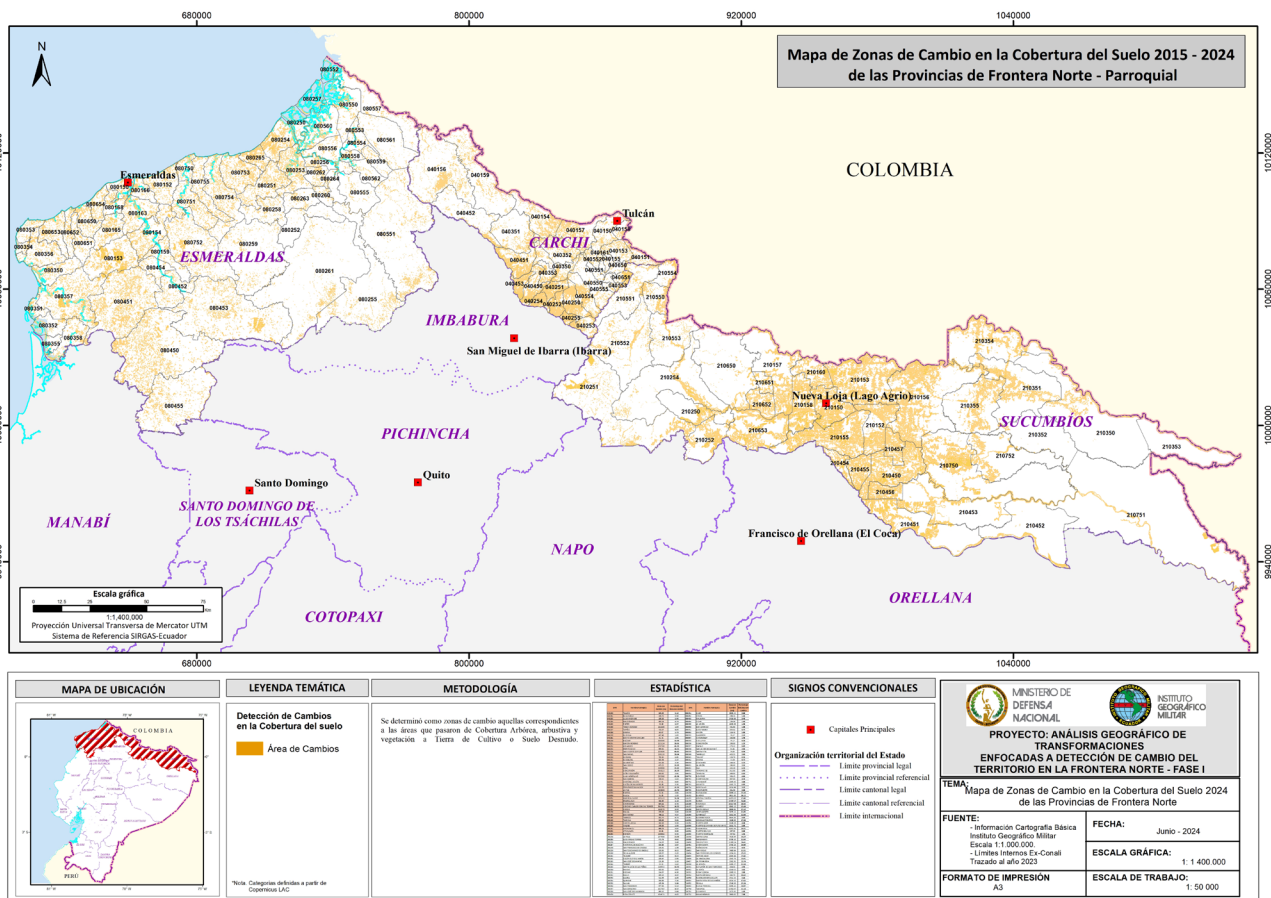


Figura 2. Mapa de detección de cambio en la cobertura del suelo.
Fuente: Autor, 2024.



en los partes policiales asociados a los hechos delictivos en el sistema de coordenadas WGS84 UTM 17S.

b) Revisión topológica:

Se lleva a cabo una estructuración topológica de todos los elementos, para garantizar la correcta ubicación de los mismos y detectar posibles duplicados, asegurando la calidad de los datos geospaciales.

c) Depuración y cálculo de densidad:

Se realiza una depuración de elementos asociados a incoherencias geométricas, relacionadas con ubicación de los eventos delictivos; y, un análisis de frecuencia para calcular la densidad de actividades ilícitas, tomando en cuenta su frecuencia de ocurrencia por cada km².

d) Determinación de zonas de cambio:

Finalmente, se identificaron las zonas de cambio asociadas al crecimiento de las actividades ilícitas registradas entre 2015 y 2022; a través, de una intersección de las capas de los años indicados, lo que permite obtener la evolución temporal de estas actividades (Figura 3).

• Modelo Geográfico de Transformaciones y Detección de Cambio

El modelo geográfico se construyó utilizando las variables descritas en el apartado anterior. El objetivo del modelo es determinar la correlación de las 3 variables estudiadas; y, su relación espacial entre ellas a fin de determinar la presencia y la intensidad de cada una a lo largo del área

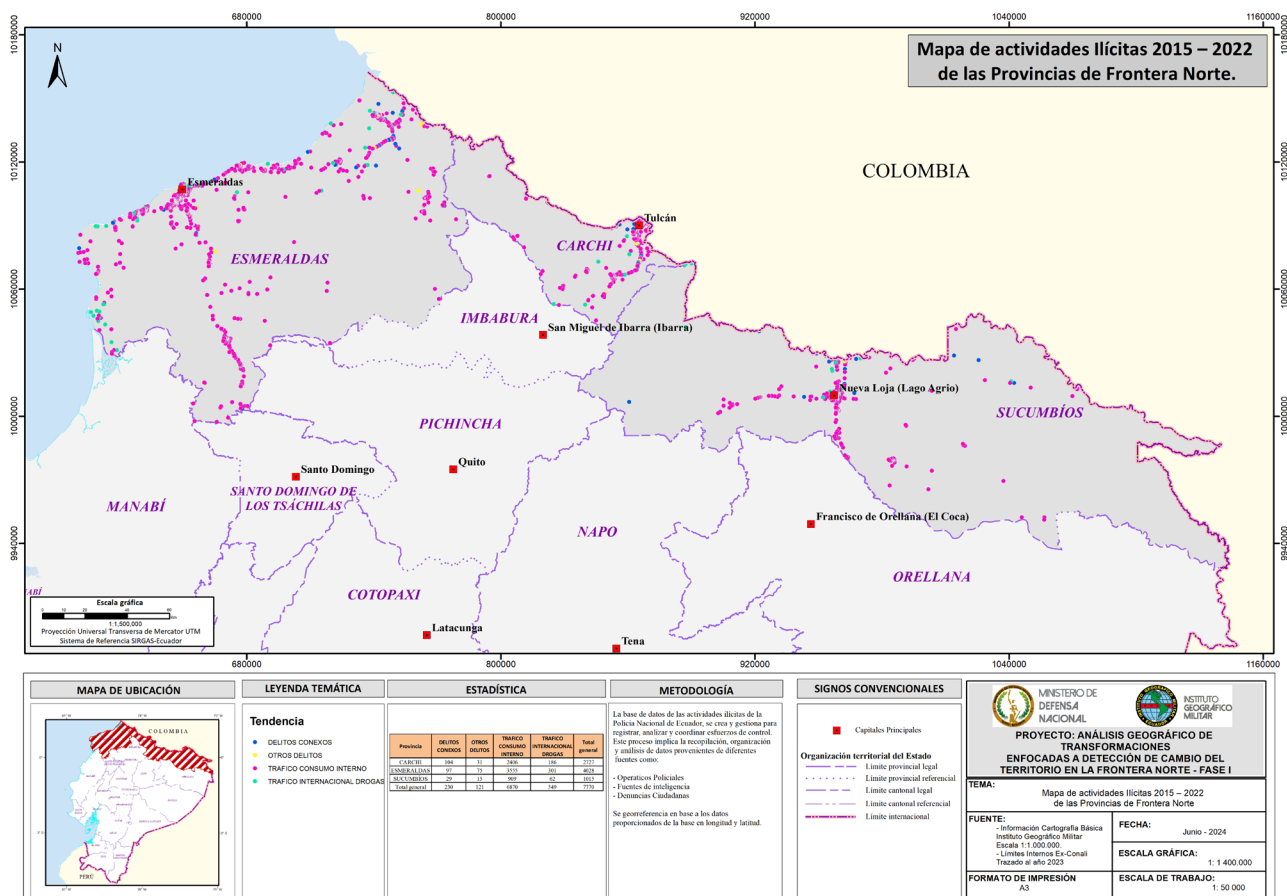


Figura 3. Mapa de actividades ilícitas 2015-2022.
Fuente: Autor, 2024.



de estudio (tres provincias fronterizas). La correlación espacial tiene las siguientes etapas metodológicas:

a) Determinación de la matriz de 1000 * 1000 metros:

Se divide el área de estudio en una matriz de 1000 x 1000 metros, con un total de 39,023 celdas cuadradas, sobre las que se basaron los análisis descritos.

b) Mapa de densidad vial (2024):

Se utiliza el mapa de densidad vial al 2024 generado mediante la metodología mencionada, categorizado en tres clases (Alto, Medio y Bajo) correspondiente a la longitud vial por kilómetro cuadrado. La clasificación de densidad vial se realizó en intervalos geométricos con valores asignados:

- Alto (valor 3)
- Medio (valor 2)
- Bajo (valor 1)

c) Análisis de actividades ilícitas (2015-2022):

Se calcula las actividades ilícitas mediante la frecuencia de actividades ilícitas por cada kilómetro cuadrado, clasificándolos en tres categorías por cuartiles:

- Alto (valor 3)
- Medio (valor 2)
- Bajo (valor 1)

Esta clasificación se basó en la importancia de esta variable para el modelo y la limitación de datos disponibles.

d) Determinación de suelos desnudos y cultivos (2024):

Se identificaron las áreas de suelo desnudo y cultivos al 2024, para definir las zonas propensas a la existencia de actividades ilícitas utilizando la matriz, al ser estas áreas claves en la dinámica de uso del suelo. Para la clasificación, se realiza mediante la densidad de ocupación de las zonas de cambio por cada kilómetro cuadrado, utilizando la técnica de intervalos geométricos.

• **Correlación espacial (Combinación de clases):**

La correlación espacial permite realizar una combinación de las tres variables (densidad vial, actividades ilícitas y uso del suelo), de sus clases (Alta, Media y Baja), mediante una algebra de mapas lineal, sumando los valores de las categorías. Esto permite la obtención de un valor compuesto para cada recuadro de la matriz, integrando la influencia de todas las variables (Tabla 1).

RESULTADOS

El modelo geográfico ha sido diseñado como una herramienta clave, para comprender y analizar las transformaciones territoriales en la frontera norte. Con el uso de variables como la densidad vial, las actividades ilícitas y las áreas de suelo desnudo y cultivos, el modelo permite identificar patrones espaciales

<i>Nro.</i>	<i>Clase</i>	<i>Sumatoria</i>	<i>Observaciones</i>
1	Alto	9 - 8 - 7	Este rango está establecido por disponer de las 3 variables obligatoriamente en la clase
2	Medio	6 - 5 - 4	Este rango no es obligatorio que disponga de las 3 variables
3	Bajo	3 - 2 - 1	Este rango no es obligatorio que disponga de las 3 variables

Tabla 1. Rangos del modelo fronterizo.
Fuente: Autores, 2024.



y áreas prioritarias que demandan atención estratégica. A través de una metodología basada en análisis espacial y álgebra de mapas, se ofrece información precisa y útil para apoyar la toma de decisiones en el control y manejo del territorio fronterizo (Figura 4.).

Correlación Espacial	Matriz (1000 m x 1000m)
Área de estudio	39023
Correlación Alta	446
Correlación Media	11988
Correlación Baja	12736
Sin Correlación	13853

Tabla 2. Correlación espacial del área de estudio.
Fuente: IGM, 2024.

La tabla 2, presenta el análisis de correlación espacial realizado en el área de estudio de 39,023 celdas (1 km² cada una), evaluando

la relación entre las variables geográficas consideradas en el modelo.

- **Correlación Alta (446 celdas):** Representa las zonas donde las variables tienen una relación significativamente fuerte, indicando áreas críticas para el análisis de cambios territoriales y actividades ilícitas.
- **Correlación Media (11 988 celdas):** Refleja áreas con una interacción moderada entre las variables, útiles para identificar patrones relevantes, pero menos dominantes.
- **Correlación Baja (12 736 celdas):** Denota una relación débil entre las variables, indicando zonas donde los fenómenos geográficos tienen menor impacto conjunto.
- **Sin Correlación (13 853 celdas):** Corresponde a áreas sin relación aparente entre las variables, probablemente debido a características homogéneas o ausencia de fenómenos significativos.

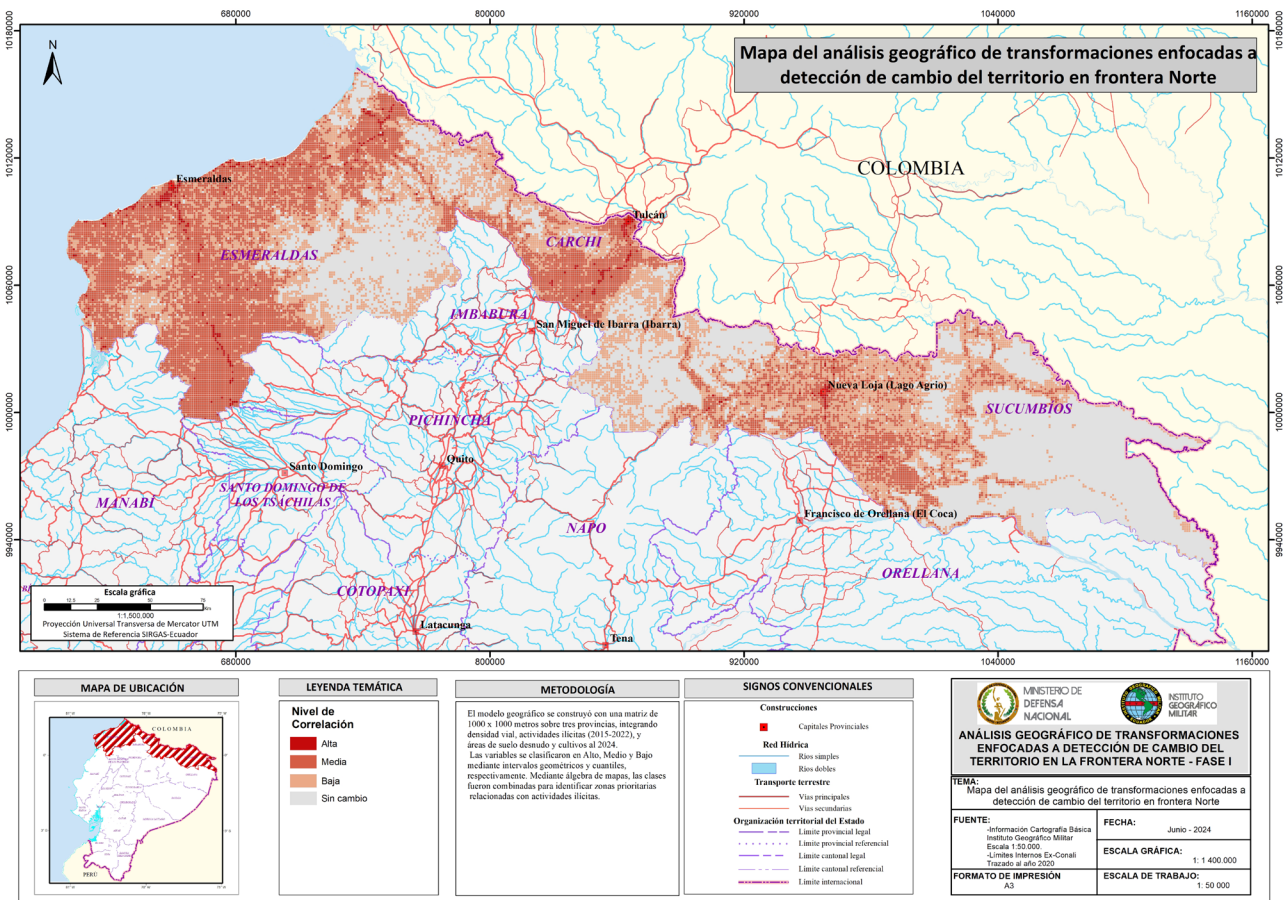


Figura 4. Mapa del modelo geográfico de transformaciones enfocadas a detección de cambios en la frontera norte.
Fuente: IGM, 2024.



Este desglose permite priorizar las zonas según la intensidad de interacción entre las variables, para orientar estrategias de control y gestión territorial en la frontera norte.

CONCLUSIÓN

- Desde 2010 hasta 2024, la red vial del Ecuador ha experimentado un notable incremento, especialmente en las provincias de Esmeraldas, Carchi y Sucumbíos, donde se han detectado cambios significativos. Las vías de primer orden muestran un leve incremento del 0.49%, mientras que las de segundo orden aumentaron considerablemente en un 9.13%. En contraste, las vías de tercer orden experimentaron una disminución del 9.63%, debido a su transformación hacia vías de segundo orden. Este crecimiento fue particularmente visible en Esmeraldas, impulsado por la expansión de la frontera agrícola hacia áreas de vegetación arbórea, lo cual responde a la necesidad de los habitantes de movilizar sus productos agrícolas. Además, se observa un aumento de la red vial en la zona fronteriza cercana a Colombia, lo que podría estar relacionado con el surgimiento de posibles rutas no autorizadas, subrayando la importancia de considerar el impacto de la red vial en la expansión de la frontera agrícola y en el aumento de las actividades ilícitas en estas áreas.
- Entre 2015 y 2024, las provincias de Esmeraldas, Carchi y Sucumbíos mostraron transformaciones en la cobertura del suelo. Los cuerpos de agua experimentaron un incremento asociado a condiciones climáticas favorables, mientras que las tierras de cultivo aumentaron un 6.39%, especialmente en Sucumbíos y Esmeraldas, debido a la expansión agrícola. Por otro lado, el suelo desnudo tiene un aumento un 0.35%, lo que se relaciona con la deforestación, la minería y la expansión agrícola. Sin embargo, la cobertura vegetal se redujo un 6.41%, lo que se atribuye a actividades ilícitas, urbanización y cambio climático. Este análisis refleja las dinámicas territoriales complejas, lo que resalta la necesidad urgente de implementar

estrategias sostenibles y un monitoreo constante para mitigar el impacto ambiental en estas regiones sensibles.

- Las actividades ilícitas en la zona fronteriza, específicamente en las provincias de Esmeraldas, Carchi y Sucumbíos, representan un desafío significativo, tanto por su impacto en el territorio como en la seguridad nacional. El análisis geográfico revela la presencia de rutas de transporte ilegal, deforestación vinculada a cultivos ilícitos y asentamientos irregulares, lo que afecta gravemente los ecosistemas y las dinámicas socioeconómicas locales. Estas actividades están estrechamente relacionadas con la falta de control efectivo en áreas remotas, la expansión de la frontera agrícola y la presión sobre los recursos naturales. Este escenario subraya la importancia de implementar sistemas de monitoreo geoespacial, fortalecer la seguridad fronteriza y promover estrategias sostenibles que ayuden a reducir el impacto de estas actividades en el territorio y las comunidades locales.
- El estudio también muestra cómo el dinamismo territorial en la frontera norte está estrechamente vinculado a factores socioeconómicos y ambientales. La correlación entre la densidad vial, el cambio en la cobertura del suelo y las actividades ilícitas proporciona una herramienta clave para comprender las transformaciones del territorio y su relación con actividades legales e ilegales. Este análisis facilita la planificación estratégica en términos de seguridad, desarrollo sostenible y gestión de riesgos, permitiendo una toma de decisiones más informada.
- El presente estudio es fundamental, para fortalecer la gestión de las fronteras y la formulación de políticas públicas que protejan los recursos naturales, reduzcan las actividades ilícitas y fomenten un desarrollo equilibrado en las regiones fronterizas, garantizando así la sostenibilidad y la seguridad nacional.
- Se ha determinado que 89 parroquias presentan una alta correlación entre la presencia de actividades ilícitas, el cambio en la cobertura del suelo y un incremento



significativo en la densidad vial. Entre ellas destacan parroquias cercanas a la frontera con Colombia, como Tulcán, El Carmelo, Julio Andrade, Tufiño y El Chical, que requieren un mayor control por parte de las autoridades correspondientes para abordar los riesgos asociados a estas dinámicas.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, J. (2017). La frontera y las identidades transfronterizas: Un análisis de las dinámicas culturales en los espacios limítrofes.
- Carrión, F., & Bermeo, F. E. (Eds.). (2019). Dinámicas transfronterizas en América Latina: ¿de lo nacional a lo local?. Universidad de Tarapacá, Universidad del Estado.
- European Commission, Joint Research Centre (JRC). (2022). Copernicus Global Land Cover Layers: CGLS-LC100 Collection 3. Retrieved from <https://land.copernicus.eu/global/products/lc>
- Instituto Espacial Ecuatoriano y Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2015). Sistemas productivos en el Ecuador: Análisis y clasificación. Quito, Ecuador: Instituto Espacial Ecuatoriano y Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Observatorio de Drogas de Ecuador. (2023). Informe sobre cultivos ilícitos en zonas de frontera.



INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR



INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR

www.geograficomilitar.gob.ec
www.geoportalmgm.gob.ec

ISBN: 978-9942-7213-7-2



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