



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ciencias Sociales

Escuela Profesional de Geografía

Procedimientos técnicos para la generación de la geodatabase (GDB) aplicados en la Cartografía Nacional del Perú a Escala 1: 25 000 en el área de SIG, para el Instituto Geográfico Nacional 2025

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de Geógrafa

AUTOR

Dora Nelly MENDOZA PEÑA

ASESOR

Arturo Jorge VERA ANTIALON

Lima, Perú

2026



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Mendoza, D. (2026). *Procedimientos técnicos para la generación de la geodatabase (GDB) aplicados en la Cartografía Nacional del Perú a Escala 1: 25 000 en el área de SIG, para el Instituto Geográfico Nacional 2025*. [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Sociales, Escuela Profesional de Geografía]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios:

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Dora Nelly Mendoza Peña
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	46554055
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0002-9717-6901
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Arturo Jorge Vera Antialón
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	09680101
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-8981-2608
Datos del Jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Denis Enrique Cruces Aguirre
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	09483083
Miembro de jurado 1	
Nombres y apellidos	Gilmer Medina Tarrillo
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	41303225
Miembro de jurado	
Nombres y apellidos	Maria Del Carmen More Altuna De Delgado
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	08859095

Datos de la investigación	
Línea de investigación	Sistemas de Información Geográfica
Grupo de investigación	-
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Arequipa Provincia: Arequipa Distrito: Arequipa Latitud: -16.3933° Longitud: -71.5289°
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Enero – diciembre 2025
URL de disciplinas OCDE	https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.05 https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#5.07.02



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)

FACULTAD DE CIENCIAS SOCIALES
VICEDECANATO ACADEMICO

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

En Lima a los veintisiete días del mes de junio del dos mil veintiséis a las 9:00 am, se reunieron los Miembros de Jurado calificador integrado por los profesores: Dr. Denis Enrique Cruces Aguirre (Presidente), Mag. Gilmer Medina Tarrillo (Miembro) y Mag. María del Carmen More Altuna (Miembro).

Verificado el Trabajo de Suficiencia Profesional **“Procedimientos técnicos para la generación de la geodatabase (GDB) aplicados en la Cartografía Nacional del Perú a Escala 1:25 000 en el área de SIG, para el Instituto Geográfico Nacional 2025.”** presentado por la bachiller DORA NELLY MENDOZA PEÑA. Una vez concluida la sustentación, se procedió a tomar el examen escrito, luego se invitó al bachiller y público a retirarse por breve tiempo del aula e inmediatamente se inició la calificación por los Miembros del Jurado. El Procedimiento consistió que cada miembro del Jurado otorgó una nota correspondiente a la sustentación (40%), al examen escrito (25%) y otra nota otorgada por los asesores del Trabajo de Suficiencia Profesional (35%). Finalmente, la sumatoria ponderada de las tres notas obtuvo la nota aprobatoria que permite otorgar el TITULO PROFESIONAL DE GEOGRAFO (A).

Diecisiete (17)

Luego del proceso de sustentación, calificación y comunicación del resultado a la graduada, el Jurado, de conformidad con el Reglamento General de Grados y Títulos de la Facultad, acordó otorgar a la bachiller **DORA NELLY MENDOZA PEÑA** el Título Profesional de Geógrafa y, para dejar constancia, se extendió la presente acta y firmaron:

Dr. Denis Enrique Cruces Aguirre
Presidente

Mag. Gilmer Medina Tarrillo
Miembro

Mag. María del Carmen More Altuna
Miembro

Mag. Arturo Jorge Vera Antialón
Asesor



UNMSM

Firmado digitalmente por MELENDEZ
DE LA CRUZ Juan Felipe FAU
20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 09.07.2026 12:38:22 -05:00

Dr. Juan Felipe Meléndez de la Cruz
Vicedecano Académico

Anexo 1

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, **Arturo Jorge Vera Antialon** en mi condición de asesor acreditado con Dictamen de la EP N° 015-2026-D-EPG-FCCSS/UNMSM del Trabajo de Suficiencia Profesional, cuyo título es **“Procedimientos técnicos para la generación de la geodatabase (GDB) aplicados en la Cartografía Nacional del Perú a Escala 1: 25 000 en el área de SIG, para el Instituto Geográfico Nacional 2025”**, presentado por la bachiller **Dora Nelly Mendoza Peña** para optar el Título Profesional de Geógrafa

CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el 08% de similitud, nivel PERMITIDO para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional**.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del Título Profesional de Geógrafa.

Lima, 13 de julio de 2026



Firma del Asesor

Nombres y Apellidos del asesor: **Arturo Jorge Vera Antialon**

DNI: 09680101

* Según corresponda: bachiller, magíster, doctor; título profesional o título de segunda especialidad

La vigencia del presente certificado corresponde a un período de noventa (90) días desde la fecha de su emisión; siempre que no haya observaciones en el texto durante el proceso de revisión por el jurado informante o surja alguna contingencia.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	4
ÍNDICE DE TABLAS	6
RESUMEN	7
CAPITULO 1: CONTEXTO INSTITUCIONAL	8
1.1 Institución	8
1.1.1 Finalidad General	8
1.1.2 Finalidad Específica	8
1.1.3 Funciones.....	8
1.2 Cargo	11
1.3 Funciones.....	11
1.4 Relación con la geografía	12
CAPITULO 2: CASO APLICATIVO	13
2.1 Descripción del problema.....	13
2.2 Objetivos.....	14
2.2.1 Objetivo general	14
2.2.2 Objetivos específicos	15
2.3 Competencias	15
CAPITULO 3: METODOLOGÍA	16
3.1 Enfoque.....	16

	3
3.2 Área de estudio	17
3.3 Técnicas	20
3.4 Procedimientos	22
3.4.1 Etapa I: Migración de la restitución a una nueva geodatabase (GDB) estructurada.....	23
3.4.2 Etapa II: Análisis y asignación de la información de clasificación de campo	25
Etapa III: Validación topológica y análisis espacial	29
3.4.3 Etapa IV: Verificación de la integración de atributos	45
3.4.4 Etapa V: Empalme de GDB con hojas adyacentes	48
3.4.5 Etapa VI: Revisión.....	50
3.5 Limitaciones	50
CAPITULO 4: RESULTADOS Y DISCUSION	51
4.1 Resultados técnicos	51
4.2 Discusión	58
CAPITULO 5: IMPACTO.....	60
CAPITULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
6.1 Conclusiones.....	61
6.2 Recomendaciones	61
REFERENCIAS	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Organigrama Institucional.....	10
Figura 2. Hojas a escala 1:25000 del departamento de Arequipa.....	19
Figura 3. Etapas del Procedimiento para la elaboración de la Geodatabase (GDB)	22
Figura 4. Geodatabase (GDB) de Restitución, representa una hoja a escala 1:25 000.....	23
Figura 5. Geodatabase (GDB) con capas completas	24
Figura 6. Herramienta automatizada para migrar GDB	25
Figura 7. Información entregada por el clasificador de campo	27
Figura 8. Tabla del shapefile (shp) con los puntos de campo.....	28
Figura 9. Información del objeto geográfico Texto Fisiografía.....	28
Figura 10. Campo “Nombre Geográfico” de la tabla de atributos	29
Figura 11. Reglas topológicas por tipo de vector	30
Figura 12. Duplicidad del objeto geográfico Cota	31
Figura 13. Duplicidad del objeto geográfico Corriente de agua	32
Figura 14. Error de intersección en el objeto geográfico Corriente de agua	33
Figura 15. Error topológico del objeto geográfico Curvas de Nivel	34
Figura 16. Error topológico en el objeto geográfico Carretera	36
Figura 17. Error topológico en el objeto geográfico Quebrada.....	37
Figura 18. Error topológico en el objeto geográfico Líneas de Alta Tensión.....	38

Figura 19. Error topológico de los objetos geográficos quebrada y termino de quebrada.....	40
Figura 20. Error topológico de superposición para los objetos geográficos en polígono	41
Figura 21. Error topológico de vacíos entre objetos geográficos en polígonos	42
Figura 22. Representación de las vías de comunicación	43
Figura 23. Corte en la intersección de las vías de comunicación	44
Figura 24. Campos con dominios y rango del objeto geográfico Corriente de Agua	46
Figura 25. Campos desglosables para objeto geográfico Corriente de Agua	46
Figura 26. Herramienta automatizada para el llenado de campos.....	47
Figura 27. Representación de las hojas de empalme	49
Figura 28. Revisión topológica entre las hojas de empalme	49
Figura 29. Revisión de atributos entre las hojas de empalme	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Validación topológica Must Be Disjoint	30
Tabla 2. Validación topológica Must Not Overlap.....	32
Tabla 3. Validación topológica Must Not Intersect.....	33
Tabla 4. Validación topológica Must Not Self-Overlap Y Must Not Self-Intersect	34
Tabla 5. Validación topológica Must Be Single Part	35
Tabla 6. Validación topológica Must Not Have Dangles	36
Tabla 7. Validación topológica Must Not Have Pseudo Nodes	38
Tabla 8. Validación topológica Must be covered by endpoint of.....	39
Tabla 9. Validación topológica Must Not Overlap.....	41
Tabla 10. Validación topológica Must Not Have Gaps.....	42
Tabla 11. Orden jerárquico para criterio v de corte en la intersección de las vías...	43
Tabla 12. Etapas del procesamiento.....	52
Tabla 13. Errores topológicos por tipo de objeto.....	53
Tabla 14. Cuadro comparativo del proceso manual y automático	53

RESUMEN

El presente informe detalla el procedimiento estandarizado para la generación de la geodatabase (GDB) para la Carta Nacional a escala 1:25 000, desarrollado en el área de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para el Instituto Geográfico Nacional (IGN). Este informe aborda la problemática por falta de formalización del procedimiento internalizado en el personal con experiencia, lo que dificulta la capacitación a nuevos operadores y que puede generar inconsistencias. El objetivo fue describir de manera clara y secuencial los pasos para la elaboración de la geodatabase (GDB), asegurando la calidad de los objetos geográficos. El desarrollo metodológico comprende de seis etapas: migración de la información base, asignación de la clasificación de campo, validación topológica y espacial, verificación de atributos, empalme y revisión final.

En el desarrollo del procedimiento se integran herramientas automatizadas desarrolladas con Python-Arcpy asistidas por inteligencia artificial que permiten sistematizar procesos repetitivos, con el fin de mejorar la calidad del producto cartográfico.

Palabras clave: Geodatabase, Cartografía Nacional, SIG, topología, automatización Python, escala 1:25 000, IGN.

CAPITULO 1: CONTEXTO INSTITUCIONAL

1.1 Institución

De acuerdo a la Ley N° 27292 (2000), el Instituto Geográfico Nacional, también identificado con las siglas IGN, es un organismo público descentralizado del Sector Defensa, con personería Jurídica de derecho público interno mediante. Goza de autonomía técnica, administrativa y económica. Constituye un Pliego Presupuestal del Sector Defensa.

1.1.1 Finalidad General

El Instituto Geográfico Nacional tiene por finalidad fundamental elaborar y actualizar la Cartografía Básica Oficial del Perú (Decreto Supremo N° 005-2001-DE/SG, 2001, Artículo 4°), proporcionando a las entidades públicas y privadas la Cartografía que requieran para los fines del desarrollo y la Defensa Nacional.

1.1.2 Finalidad Específica

Son finalidades específicas del Instituto Geográfico Nacional planear, normar, dirigir, ejecutar y controlar las actividades que el país requiere para el desarrollo y la Defensa Nacional referidas al levantamiento cartográfico, así como a los aspectos físicos y sociales inherentes a las Ciencias Geográfico-Cartográficas.

1.1.3 Funciones

El Instituto Geográfico Nacional tiene las funciones generales siguientes:

- Realizar y conducir el proceso Cartográfico Básico Oficial del Perú.
- Actuar como organismo competente del Estado para normar las actividades Geográfico-Cartográficas que se ejecutan en el ámbito nacional.

- Participar en la creación, delimitación o redelimitación de circunscripciones territoriales, elaborando la Cartografía Oficial, de conformidad con las disposiciones legales vigentes.
- Coordinar con las autoridades correspondientes los asuntos relacionados a los nombres geográficos o topónimos.
- Obtener por sensores y otros medios la información requerida para el proceso cartográfico.
- Realizar estudios, brindar asesoramiento técnico y prestar servicios en las áreas de su competencia a entidades públicas y privadas.
- Promover y ejecutar investigaciones, así como el desarrollo de las ciencias geográfico-cartográficas y sus aplicaciones en el país.
- Representar al país ante los organismos técnico-científicos nacionales e internacionales en eventos y reuniones relacionados con las Ciencias Geográfico-Cartográficas y sus aplicaciones.
- Celebrar convenios con personas naturales o jurídicas nacionales y extranjeras, con el objeto de obtener recursos que le permitan el cumplimiento de sus fines, así como para formar, preparar y especializar a profesionales y técnicos en las Ciencias Geográfico-Cartográficas.
- Organizar y administrar el Archivo Cartográfico Nacional, la Base de Datos Cartográficos y el Sistema de Información Cartográfico Nacional.
- Proporcionar el concurso técnico y operativo en trabajos de colocación, mantenimiento, reposición y densificación de hitos de la línea de frontera terrestre, de acuerdo a las instrucciones y requerimientos del Ministerio de

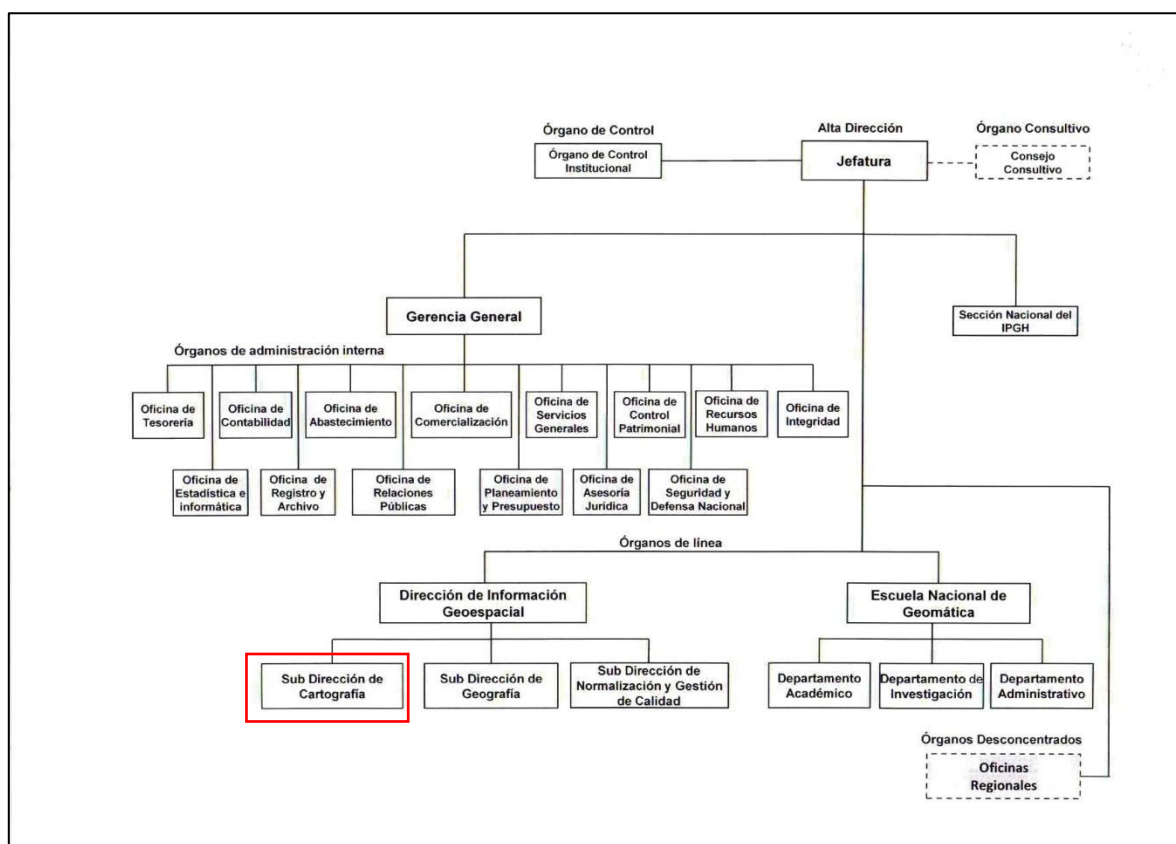
Relaciones Exteriores, y participar como entidad asesora en las comisiones

Binacionales de Límites y Fronteras.

- Presidir la Sección Nacional del Instituto Panamericano de Geografía e Historia, dependiente de la Organización de Estados Americanos.
- Autorizar a las entidades públicas y privadas la publicación de mapas del Perú, que contengan como tema principal las lideraciones político-administrativas e informaciones toponímicas.

Figura 1.

Organigrama Institucional



Nota. El gráfico pertenece a la página Institucional-IGN.

1.2 Cargo

Operador de Sistemas de Información Geográfica encargado de la elaboración de la base de datos (geodatabase) y Topographic Line Map (TLM).

1.3 Funciones

Estructuración de datos geoespaciales:

- Acondicionar la información vectorial en formato GDB y verificar los empalmes.

Control de calidad:

- Emplear las reglas topológicas para generar la base de datos espacial.
- Realizar el primer control de calidad de la producción cartográfica.

Edición y Simbología:

- Realizar la edición vectorial añadiendo la información de campo (topónimos, características funcionales de transporte, centros educativos, de salud, municipalidades, etc.), a una base de datos (geodatabase) preliminar para cartografía base estructurada.
- Realizar la edición de las entidades geográficas que conforman la planimetría, así como también las vías y polígonos de vegetación, arena y otros.
- Generar y editar la cuadrícula, valores cuadrículaes, geográficos, escalonados, minutos, cruces e información marginal.
- Etiquetar las entidades geográficas teniendo en cuenta el color, tipo y tamaño de letra según la escala trabajada.
- Revisar el archivo topographic Line Map (TLM) para impresión.
- Otras actividades que designe el revisor de SIG.

1.4 Relación con la geografía

La generación de la geodatabase (GDB) a escala 1:25 000 tiene una relación directa con la geografía en sus dimensiones espacial, ambiental, social y territorial. Desde la geografía física, los objetos geográficos representados (curvas de nivel, hidrografía, vegetación, fisiografía) permiten modelar el relieve, los sistemas hídricos y la cobertura vegetal, fundamentales para estudios de peligros naturales, ordenamiento territorial y cambio de uso de suelo. Desde la geografía humana y económica, las capas de transporte, industria y servicios, y sociocultural (centros poblados, infraestructura educativa y de salud, límites administrativos) posibilitan el análisis de accesibilidad, cobertura de servicios básicos y planificación regional. La correcta articulación de estos datos espaciales en una GDB garantiza que el análisis geográfico sea reproducible, preciso y útil para la toma de decisiones. Asimismo, la integración de topónimos recolectados en campo fortalece la identidad cultural y la toponimia oficial del país. El cumplimiento de reglas topológicas y de atributos asegura que la información espacial refleje fielmente la realidad geográfica del territorio peruano.

CAPITULO 2: CASO APLICATIVO

2.1 Descripción del problema

El problema de la falta de estandarización en los procedimientos cartográficos no es nuevo;” las actas del IX Simposio Iberoamericano de Historia de la Cartografía” (Montañez Sanabria, 2024) abordan cómo históricamente los cartógrafos han enfrentado desafíos en la representación del territorio”. La importancia de la elaboración de la base de datos se debe a que la información geoespacial constituye un recurso fundamental para la gestión territorial. Por esta razón, resulta importante garantizar su calidad, para ello es necesario estandarizar el procedimiento para la elaboración de la geodatabase (GDB). Si bien existe un procedimiento establecido para la estructuración, integración y validación de los datos geoespaciales, dicho procedimiento se encuentra internalizado únicamente en el personal con experiencia, sin que esté formalizado en un documento.

La implementación de una guía que documente los pasos secuenciales y criterios técnicos permitirá que el flujo de trabajo sea entendible para el operador encargado de la elaboración de la geodatabase (GDB). En la actualidad, el aprendizaje depende exclusivamente de la instrucción verbal del personal experimentado, lo que conlleva a que sea mucho más larga la fase de aprendizaje para el nuevo operador.

Como señala ESRI (2020), “la falta de reglas topológicas documentadas es la causa principal de errores geométricos no detectados en la base de datos cartográficos”. Esta situación afecta directamente a los objetos geográficos que vienen a ser la representación digital del territorio (curvas de nivel, ríos, transporte). Una mala conectividad de las vías de comunicación, calles con extremos colgantes, ríos con autointersecciones, traen como consecuencia que la representación del territorio pierda fidelidad con la realidad y

comprometa cualquier análisis o decisión basada en dicha información. Por ello, es fundamental que el operador conozca cuáles son las validaciones topológicas que aplicará durante el proceso, ya que constituye un parte importante para la elaboración de la geodatabase al garantizar la calidad de los objetos geográficos.

Existen ciertos procesos dentro de la elaboración de la geodatabase que demandan mucho tiempo y requieren de una ejecución libre de errores. Actualmente se han desarrollado herramientas automatizadas que permiten reducir el tiempo de ejecución de dichos procesos. Por ello, tales herramientas deben incorporarse a la estandarización del procedimiento.

De acuerdo a lo expuesto se entiende que el problema no es la inexistencia de los procedimientos, sino la falta de un documento. Es por ello, que resulta necesario la elaboración de la documentación de procedimientos que describa con claridad la secuencia estandarizada de los pasos para la generación de la geodatabase, asegurando la calidad de los objetos geográficos y la fidelidad de la representación del territorio.

2.2 Objetivos

2.2.1 Objetivo general

Elaborar y documentar el procedimiento estandarizado para la generación de la geodatabase (GDB) a escala 1:25000 de la Carta Nacional, en el área de SIG del Instituto Geográfico Nacional.

2.2.2 *Objetivos específicos*

- Describir de manera secuencial las seis etapas que se realizan para el procedimiento de la elaboración de la geodatabase (GDB).
- Dejar el documento para que sea usado como herramienta de capacitación a los nuevos operadores.
- Implementar en el procedimiento las herramientas automatizadas desarrolladas por el personal de área que permiten optimizar procesos repetitivos y disminuir errores.

2.3 Competencias

Para la elaboración de procedimiento, el operador en sistemas de información geográfica debe cumplir con las siguientes competencias:

Manejo de Arcgis/Arcgis Pro. Conocimiento de la plataforma Esri, para la edición, gestión y análisis de datos espaciales.

Interpretación cartográfica. Capacidad para entender la información de campo, como fotografías, fichas de campos y topónimos.

Validación topológica. Capacidad para interpretar, identificar y corregir errores topológicos de acuerdo a las reglas.

Catálogo de objetos. Tener conocimiento del catálogo de objetos a escala 1: 25 000, conocer sus especificaciones técnicas.

Gestión de atributos. Manejo de dominios, rango y campos calculados en geodatabase.

CAPITULO 3: METODOLOGÍA

3.1 Enfoque

Realizar la cartografía no es solo trazar líneas en un plano, detrás de ello hay decisiones técnicas. Es por ello que podemos decir que el enfoque metodológico aplicado es de carácter técnico, orientado a la implementación de los flujos de trabajos sistémicos en la producción de la cartografía oficial y no se vuelva un caos.

Este informe se realiza con la finalidad de asegurar la calidad del trabajo, en donde cada etapa del procedimiento incorpora mecanismos de control y validación que, permiten detectar los posibles errores de manera temprana, evitando así que estos pequeños errores se conviertan en problemas grandes más adelante. Este enfoque esta alineado con lo que piden las Infraestructura de Datos Espaciales (IDE), el cual exige que los productos geoespaciales cumplan con estándares de calidad claros, documentados y verificables. de acuerdo con el ISO 19157: 2013-Geographic information – Data quality (ISO, 2013), no hablamos solo de que se vean bien en un mapa, hablamos de la integridad lógica, de que la posición sea precisa y que los conceptos de cada dato no se contradigan.

La metodología se realiza en seis etapas secuenciales. Empezamos con la migración de una geodatabase (GDB) base proporcionada por el área de fotogrametría, a una geodatabase más completa y terminamos con la revisión de empalmes, tanto topológicos como de atributos. Cada etapa responde a un objetivo específico dentro del ciclo de producción cartográfica, siguiendo además las buenas prácticas que recomienda ESRI para el manejo de la geodatabase. En resumen, no solo basta con que el dato geoespacial exista, este tiene que ser confiable, porque un error en una coordenada o una mala relación topológica puede llevar a realizar un mal análisis.

3.2 Área de estudio

El área de estudio abarca la cartografía básica a escala 1:25000, la base de datos (GDB) es el insumo fundamental para generar productos cartográficos nacionales. El Instituto Cartográfico Nacional cuenta con un catálogo de objetos a escala 1:25000, en donde establece los parámetros de generalización y todos los detalles que deben de cumplir los objetos geográficos representados en la carta nacional, ya que no es lo mismo representar un río a escala 1:100000 que a 1:25000. Sabemos que, a mayor escala, más será el detalle.

La unidad de trabajo viene a ser una hoja a escala 1:25 000, cada hoja cubre una porción del territorio según al sistema de referencia oficial. Esta hoja debe de articularse con las hojas adyacentes, porque una hoja no sirve de mucho sino tiene consistencia con los límites de las hojas adyacentes, es por eso la importancia de la etapa de empalme que nos garantiza la continuidad espacial.

El área de estudio comprende las coberturas geoespaciales presentes en el territorio, para un mejor entendimiento de acuerdo a la base de datos (geodatabase), estas se encuentran divididas por temas tales como: fisiografía, hidrografía, industria y servicios, proyección cartográfica, socio cultural, texto, transporte y vegetación. Dentro de ellas se encuentran los objetos geográficos, podemos mencionar algunos que son los más representativos con sus respectivos temas:

- Fisiografía: Curvas de nivel, curvas de depresión, cotas, arena, duna.
- Hidrografía: Corriente de agua, acequia, canal, dique, isla, laguna, pantano, reservorio, ribera, bocatoma.

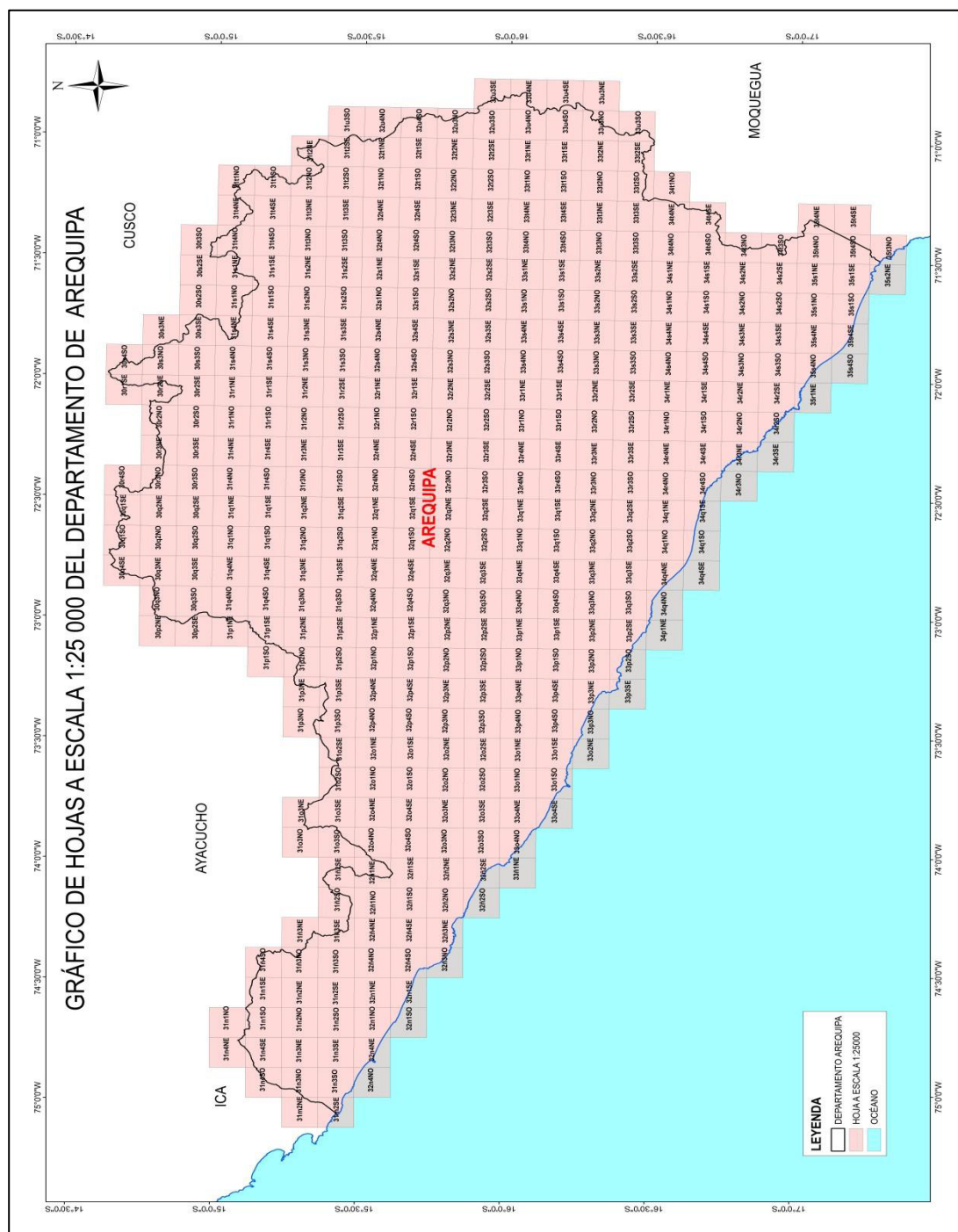
- Industria y Servicios: Cantera, mina, antena, planta de tratamiento, tanque, línea de transmisión eléctrica.
- Proyección Cartográfica: Proyección.
- Socio Cultural: Área edificada, edificaciones, cementerio, centros educativos, cerco, muro, establecimientos de salud, parque, plaza, infraestructura policial.
- Texto: texto de fisiografía, texto de lugar poblado, texto de identificación de área.
- Transporte: Carretera, carrozable, herradura, calle, alcantarilla, baden, puente, túnel.
- Vegetación: terreno de cultivo, matorral.

Las condiciones espaciales para el trabajo requieren que los datos sean gestionados en sistemas de coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator) con datum WGS84, que garanticen compatibilidad con estándares internacionales de georeferenciación. El Perú se encuentra geográficamente dividido en tres zonas del sistema de coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator): zona 17, zona 18 y zona 19.

En el año 2025 el Instituto Geográfico Nacional elaboró la cartografía nacional del departamento de Arequipa a escala 1:25 000.

Figura 2.

Hojas a escala 1:25000 del departamento de Arequipa



3.3 Técnicas

Las técnicas usadas para el presente informe se fundamentan en Sistemas de Información Geográfica, se usó la plataforma Arcgis 10.5, que permite la creación de herramientas automatizadas con código Python-Arcpy, así como la integración de la información de campo.

La base de datos (GDB) originalmente proviene de la restitución fotogramétrica, proceso que consiste en vectorizar y capturar la información planimétrica y altimétrica a partir de imágenes aéreas. Para la generación de la carta nacional a escala 1:25000 en el año 2025, se utilizó las imágenes spot 6 con resolución espacial de 1.5 m., para ello se utilizó la herramienta “Stereo Analyst” que está integrado en el software Arcgis. Esta herramienta permite la extracción de geometrías en 3D (curvas de nivel, hidrografía, vías, etc.) mediante la correlación automática de pares estéreos y posteriormente pasar por un proceso de edición, justificando la aplicación de los procedimientos que se describirán a continuación.

La migración de la base de datos (GDB) se realiza a través de la herramienta creada con ayuda de inteligencia artificial, mediante la creación de prompts para generar scripts en código python que automaticen la transferencia de información entre geodatabases. Este procedimiento copia cada capa que existe en el geodatabase origen (restitución) hacia una geodatabase que contiene todas las capas de acuerdo al catálogo de objetos de la institución. Esta técnica garantiza preservar la estructura original de los datos, conservar dominios codificados y subtipos definidos, y que no se pierda información al realizar la migración.

La clasificación de campo constituye una técnica fundamental de verificación terrestre, ya que consiste en el levantamiento de información mediante visitas al territorio,

donde se registran atributos cualitativos y cuantitativos que no pueden ser extraídos por el restituidor fotogramétrico, tales como el nombre de centros poblados, la clave que corresponde a cada vía y el estado de la infraestructura. Antes de salir a campo, cada clasificador desarrolla un planeamiento en gabinete, utilizan herramientas como la planificación de rutas de viaje por día. también hacen uso de información base que incluye las cartas a escala 1:100000, información de centros poblados del INEI, y otros insumos temáticos. De esta manera, la clasificación de campo enriquece semánticamente la geodatabase, convirtiéndola en un producto que servirá para realizar diversos análisis.

La topología en una geodatabase define un conjunto de reglas que especifican como pueden relacionarse espacialmente las diferentes entidades geográficas entre sí. Las reglas se clasifican según su tipo de geometría: para entidades en punto se aplica el *Must Be Disjoint*, que verifica que no haya duplicidad de acuerdo a su ubicación entre puntos de una misma capa (ejemplo: cotas, puentes, alcantarillas). Para entidades en línea (ejemplo: curvas de nivel, corriente de agua, carretera) se aplican *Must Not Overlap* para evitar las superposiciones de aquellos elementos lineales, *Must Not Intersect* controla las intersecciones no deseadas, *Must Not Self-Overlap* y *Must Not Self-Intersect* ayuda a detectar autointersecciones, *Must Be Single Part* identifica aquellas líneas que se encuentran fragmentadas en múltiples partes, *Must Not Have Dangles* nos ayuda a localizar nodos colgantes, y *Must Not Have Pseudo-Nodes* ayudan a detectar fracciones en líneas continuas. Para entidades en polígono (ejemplo: terreno de cultivo, áreas edificadas, edificaciones) se aplican *Must Not Overlap* son aquellos polígonos que se superponen parcial o totalmente, y *Must Not Have Gaps* son los vacíos o áreas sin cubrir entre polígonos que deberían de ser continuos.

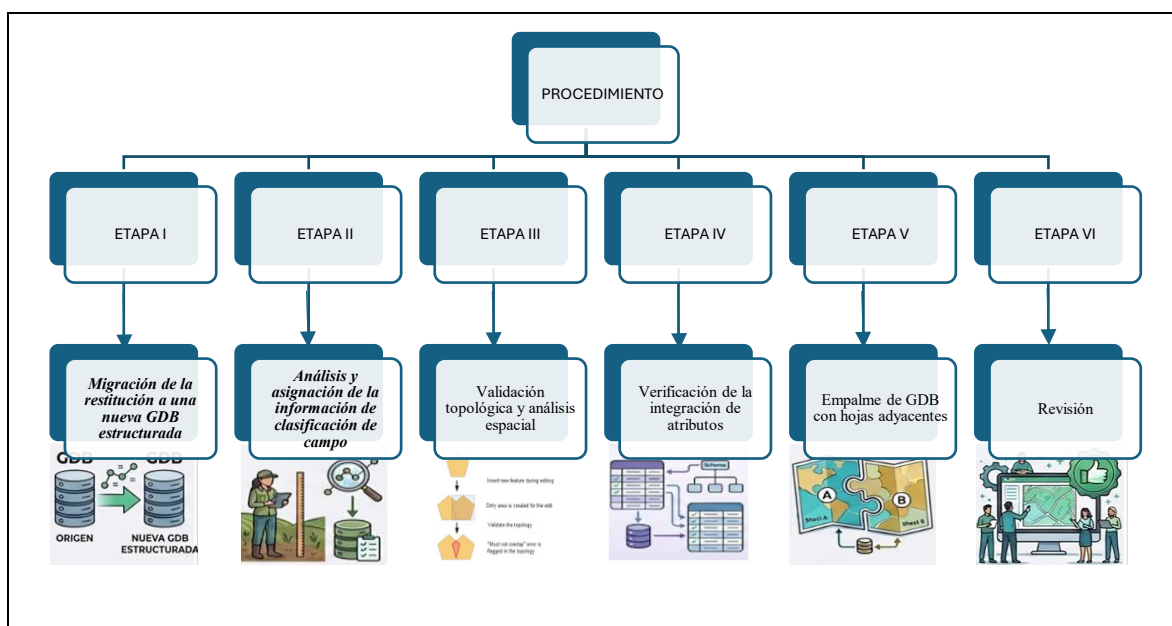
El análisis espacial se implementa mediante *Spatial Join*, permite transferir información entre capas geográficas. Este procedimiento también se realizó mediante la automatización con ayuda de la inteligencia artificial, que ejecuta el cálculo de los campos coordenadas XY en UTM/WGS84, longitudes, áreas y perímetros. También realiza la asignación de información de límites político – administrativo para completar abigeo, distrito, provincia y departamento.

Finalmente, el empalme asegura la continuidad espacial a través de los límites de las hojas adyacentes (Proyección). El procedimiento compara geometría y atributos de elementos que limitan en la proyección, y aquellos que no cumplan las características se corrigen en donde corresponda.

3.4 Procedimientos

Figura 3.

Etapas del Procedimiento para la elaboración de la Geodatabase (GDB)



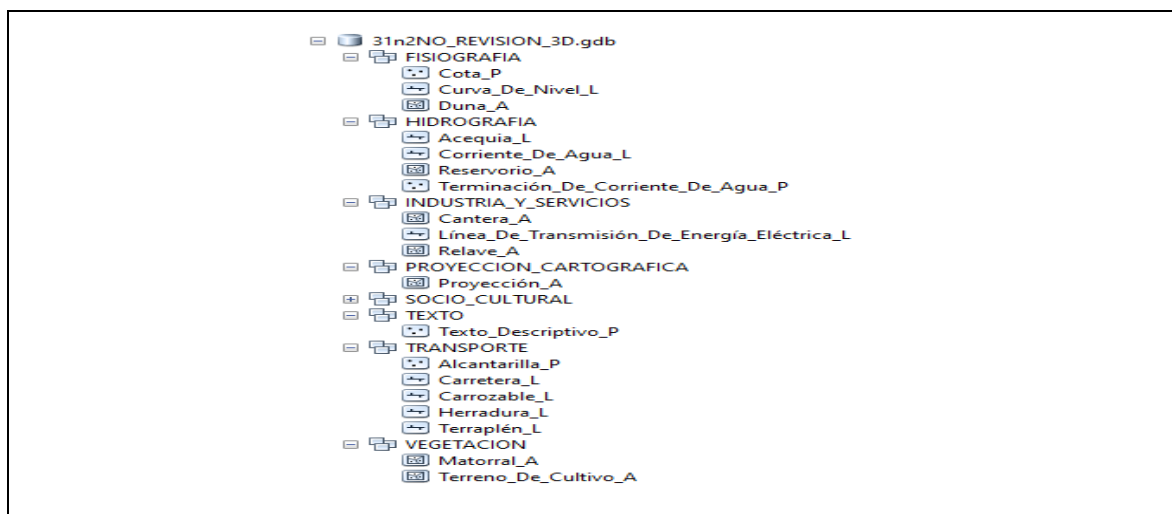
3.4.1 Etapa I: Migración de la restitución a una nueva geodatabase (GDB)

estructurada

Esta etapa consiste en migrar la geodatabase (GDB) entregada por el Área de Restitución Fotogramétrica hacia una nueva geodatabase que será utilizada por el Área de SIG. La migración es necesaria debido a que la GDB proveniente de la restitución fotogramétrica contiene únicamente las capas correspondientes a los objetos geográficos identificables, limitándose a aquellos elementos que no tienen información. El Área de SIG trabaja con una geodatabase que contiene más de 164 objetos geográficos organizados por temas. Esta estructura más amplia resulta indispensable, ya que permitirá incorporar progresivamente la información recopilada por el clasificador de campo, la cual incluye objetos geográficos que no pueden ser capturados mediante fotogrametría. A continuación, se mostrará cuál es el proceso para esta primera etapa. Lo primero es crear una carpeta donde solo debe estar el geodatabase de restitución. Este paso es importante para hacer uso de la herramienta automatizada.

Figura 4.

Geodatabase (GDB) de Restitución, representa una hoja a escala 1:25 000.



Lo siguiente es tener la geodatabase (GDB) que contiene las capas completas.

Figura 5.

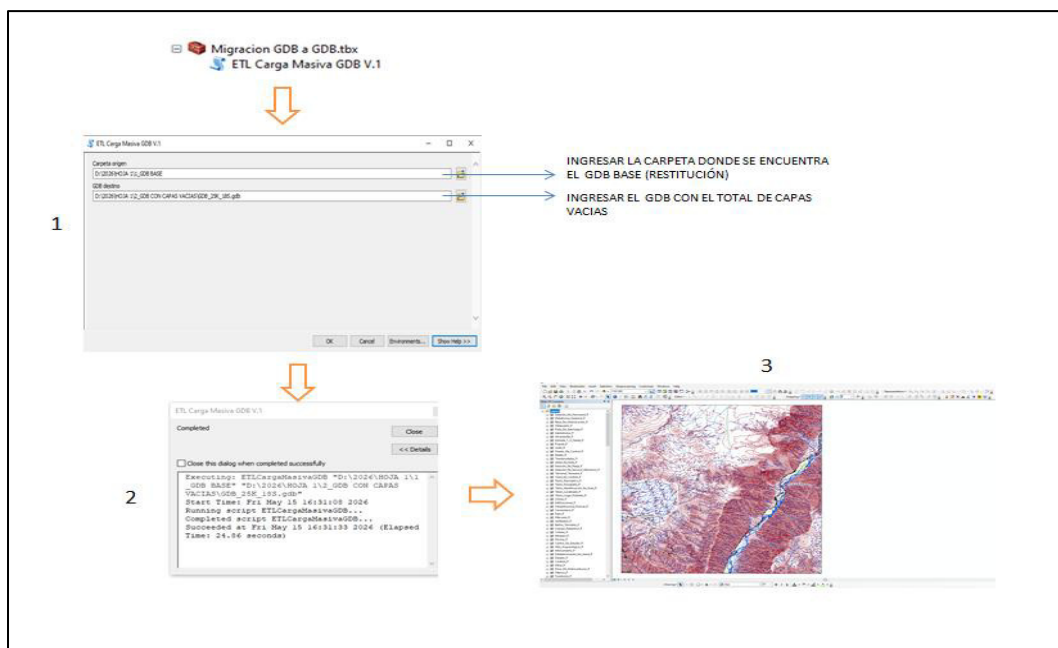
Geodatabase (GDB) con capas completas



Nota. El número a los costados indica la cantidad de capas que existe en cada tema (dataset)

Ya listo mi carpeta de trabajo con los geodatabases a usar, haremos uso de la siguiente herramienta automatizada con Python-Arcpy asistido con inteligencia artificial: “Migración GDB a GDB”. Esta herramienta automatizada sirve para que se copie cada capa del geodatabase (GDB) base (Figura 4), hacia otro geodatabase (GDB) con las capas completas (Figura 5).

La migración hacia un geodatabase con las capas completas se debe a la integración que realizamos de la clasificación de campo. Al ingresar nueva información como por ejemplo Puesto de salud, puede que en el geodatabase (GDB) base no se encuentre la capa que represente al objeto geográfico, lo que implica tener que agregar esa capa. Significaría tener que hacer ese paso cada que se encuentre una información distinta a la base original.

Figura 6.*Herramienta automatizada para migrar GDB*

Nota. 1: Ingresamos los datos; 2: Procesando; 3: Resultados visualizados en Arcgis.

3.4.2 Etapa II: Análisis y asignación de la información de clasificación de campo

En esta etapa se realiza el análisis y asignación de la información levantada por el clasificador de campo, incorporándola a la geodatabase (GDB) correspondiente a la hoja clasificada. El clasificador entrega un shapefile con los puntos registrados mediante GPS en campo, los cuales deben de ser ingresados uno por uno a la geodatabase, asignándolos a la capa temática que corresponda según el tipo de objeto geográfico identificado (fisiografía, hidrografía, transporte, etc.), así como a sus atributos específicos (nombre, tipo, categoría, entre otros).

A la vez, se evalúa la localización espacial de cada punto, verificando su coherencia con la realidad el territorio representado en la hoja cartográfica. Esta verificación incluye

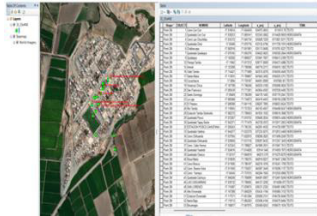
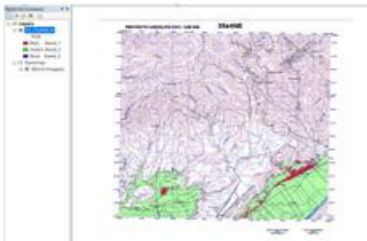
contrastar con la imagen georreferenciada información de topónimos de las capas base como los nombres de los ríos, cerros, lomas, centros poblados, etc. Por esta razón, resulta fundamental revisar exhaustivamente todos los materiales proporcionados por el clasificador con el fin de garantizar que la información que se va a incorporar sea la correcta y esté debidamente contextualizada en el territorio.

El clasificador tiene la responsabilidad de entregar:

- Shapefile (shp): es el archivo vectorial que contiene información en punto levantada con GPS en campo, con sus respectivos atributos (coordenadas, tipo de objeto, tema, observaciones, etc.)
- Fotografías digitales: Cada punto levantado en campo con GPS debe de contar con una foto del objeto geográfico registrado, ayudando así a que la información sea la correcta a la hora de representarla en la base de datos (GDB).
- Excel: Es la representación tabular del shapefile, ambas deben de manejar la misma información, sirve como respaldo documentario.
- Imagen digital e impresa (georeferenciada): archivo en formato JPG que se encuentra debidamente georreferenciado según a la ubicación de la hoja clasificada. La imagen contiene información vectorial, en la cual se ha etiquetado todos aquellos objetos geográficos que tienen nombre propio como las quebradas, ríos, lagunas, cerros, pampas, centros poblados, etc.
- Fichas de campo: es el documento que registra la información de toponimia que ha sufrido algún cambio respecto a la cartografía nacional a la escala 100 00.

Figura 7.

Información entregada por el clasificador de campo

SHAPEFILE	FOTOS DIGITALES	EXCELL
		
MAPA GEOREFERENCIADO	MAPA IMPRESO	FICHA DE CAMPO
		

Para proceder con la integración de los datos de clasificación de campo a la geodatabase (GDB), es necesario preparar previamente un proyecto (MXD) en el ArcGis que contenga los siguientes elementos:

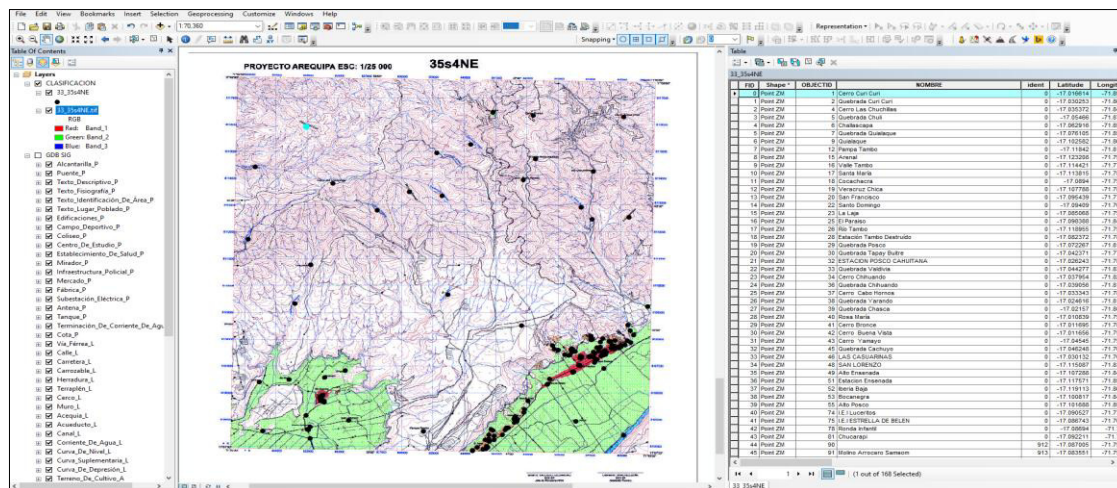
lo primero es tener el shapefile (shp) con los puntos levantados en campo, también la geodatabase institucional que contiene las capas completas (resultado de la etapa I) que servirá como receptora de la información de campo, y finalmente la imagen TIFF georeferenciada correspondiente a la hoja clasificada.

Ya cargados estos insumos en el proyecto, se procede a la identificación y asignación de cada punto a su capa correspondiente dentro de la geodatabase.

Se procede a seleccionar cada punto del shapefile (shp) de manera individual, copiando su información y pegándola en la capa correspondiente dentro de la geodatabase (GDB), según el tipo de objeto geográfico identificado por el clasificador.

Figura 8.

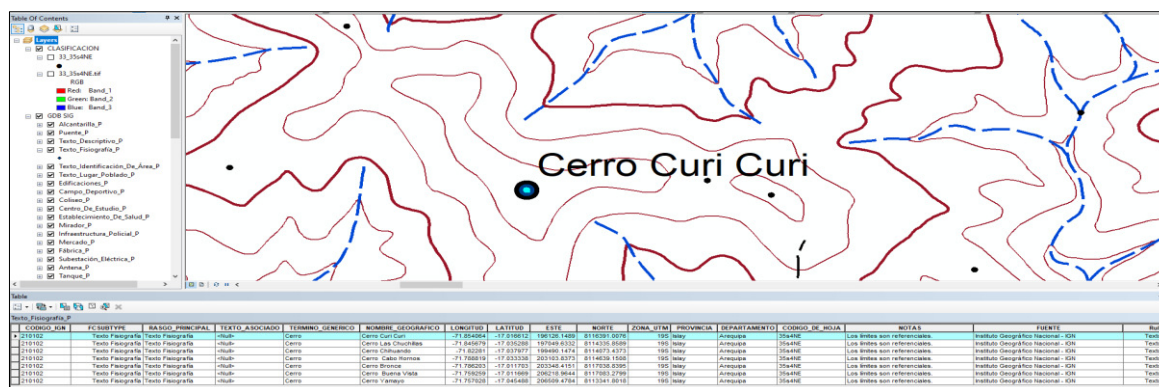
Tabla del shapefile (shp) con los puntos de campo



Nota. Se muestra los puntos de clasificación de campo para su posterior inclusión a cada objeto geográfico correspondiente del geodatabase (GDB).

Figura 9.

Información del objeto geográfico Texto Fisiografía



Nota. Información de campo ya incluida en la tabla de atributos que pertenece al objeto geográfico Texto Fisiografía.

Se debe de verificar que el campo “NOMBRE GEOGRAFICO” de aquellos objetos geográficos que el clasificado ha proporcionado información sea correctamente copiado a la geodatabase (GDB), asegurando que cada objeto geográfico cuente con su respectivo topónimo en la capa que corresponde.

Figura 10.

Campo “Nombre Geográfico” de la tabla de atributos

TEXTO_ASOCIADO	TERMINO_GENERICO	NOMBRE_GEOGRAFICO	LONGITUD	LATITUD	ESTE
<Null>	Cerro	Cerro Curi Curi	-71.854064	-17.016612	196126.1489
<Null>	Cerro	Cerro Las Chuchillas	-71.845679	-17.035288	197049.6332
<Null>	Cerro	Cerro Chihuando	-71.82281	-17.037977	199490.1474
<Null>	Cerro	Cerro Cabo Hornos	-71.788819	-17.033338	203103.8373
<Null>	Cerro	Cerro Bronce	-71.786203	-17.011703	203348.4151
<Null>	Cerro	Cerro Buena Vista	-71.759259	-17.011669	206218.9644
<Null>	Cerro	Cerro Yamayo	-71.757028	-17.045488	206509.4784

Nota. Campo NOMBRE GEOGRÁFICO correspondiente al objeto geográfico Texto Fisiografía.

Etapas III: Validación topológica y análisis espacial

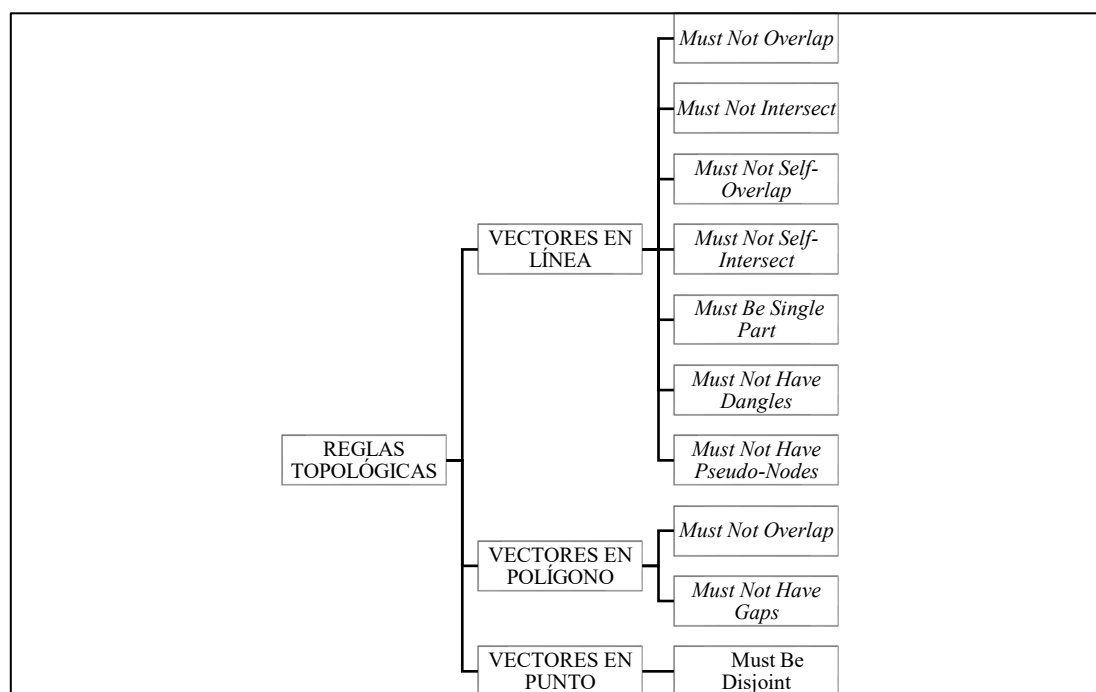
Los objetos geográficos se representan mediante vectores de tres tipos: puntos, líneas y polígonos. El tipo de vector para cada objeto geográfico se determina a lo establecido en el Catálogo de Objetos Geográficos y de Representación del Instituto geográfico nacional (2022), el cual define la representación cartográfica adecuada según la naturaleza del elemento (puntos, líneas y polígonos)

Al ser almacenados en una geodatabase, estos vectores requieren de una validación topológica que garantice su integridad espacial. Esta validación se realiza primero individualmente por cada objeto geográfico, verificando la consistencia interna de cada elemento; luego mediante un análisis espacial relacionando diferentes objetos geográficos,

y posteriormente relacionar topológicamente todas las capas que conforman una hoja a escala 1: 25 000, a fin de asegurar la coherencia global de la representación territorial.

Figura 11.

Reglas topológicas por tipo de vector



Nota. Se muestran las reglas topológicas, que serán validadas para cada capa dependiendo del tipo de vector

- Topología para los objetos representados en punto: Para verificar la duplicidad de los vectores en punto se realiza la topología “Must Be Disjoint”.

Tabla 1.

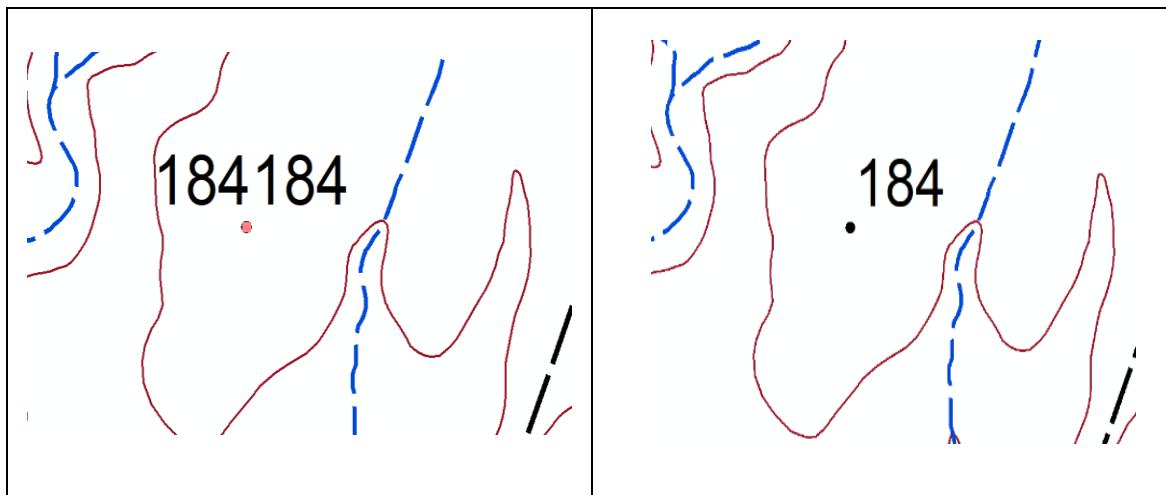
Validación topológica Must Be Disjoint

Aspecto	Descripción
Propósito	Verificar que no existan puntos en una misma ubicación.
error	Puntos que ocupan la misma posición espacial.

Posible solución	Eliminar el elemento superpuesto del objeto que provoca el error
Ejemplo	Cota duplicada, conservar aquel que posea los atributos completos.

Figura 12.

Duplicidad del objeto geográfico Cota



Nota. En la imagen izquierda se muestra de la duplicidad de la cota, mientras que en la derecha su corrección.

- Topología para objetos representados en línea: Para aquellos objetos geográficos representados en línea, se aplican siete reglas topológicas. La primera de ellas es “*Must Not Overlap*”, la cual verifica que no existan superposiciones entre líneas de un mismo objeto geográfico o entre líneas de objetos diferentes, garantizando que cada elemento ocupe una posición única en el espacio sin coincidencias geométricas no permitidas. Sin embargo, como toda regla topológica, existen excepciones debidamente justificadas. Por ejemplo, la superposición entre la capa de vías de comunicación y la capa de puentes es permitida, ya que el puente, al ser una infraestructura que cruza sobre la vía, comparte la misma proyección geométrica en el plano cartesiano sin que ello constituya un

error topológico. Estas excepciones deben ser conocidas por el operador y aplicadas con criterio, evitando correcciones indebidas que alterarían la representación correcta del objeto geográfico.

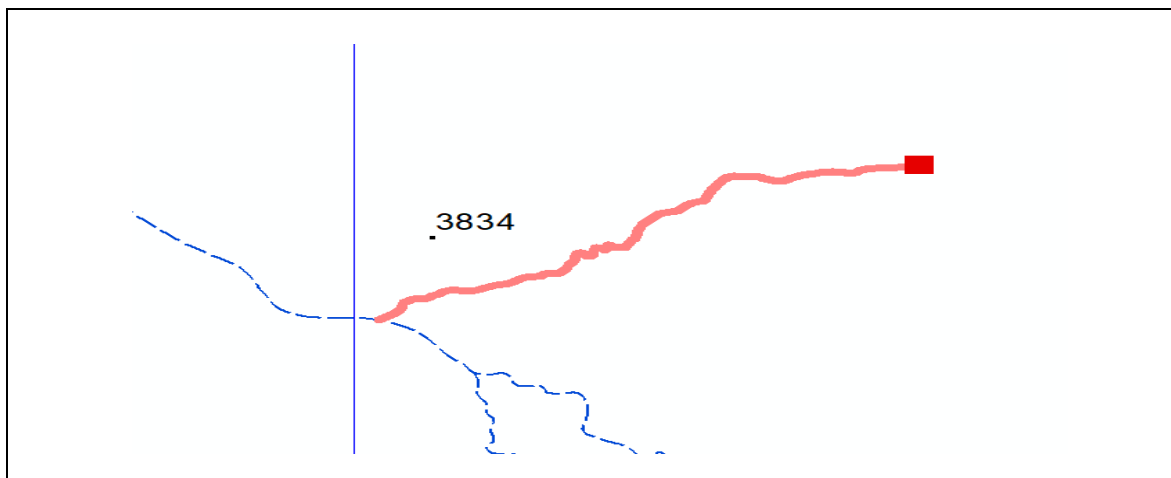
Tabla 2.

Validación topológica Must Not Overlap

Aspecto	Descripción
Propósito	Evitar la superposición de líneas del mismo objeto geográfico.
error	Líneas que se superponen parcial o totalmente
Posible solución	Eliminar el elemento superpuesto del objeto que provoca el error
Ejemplo	Quebrada generada dos veces en la misma ubicación.

Figura 13.

Duplicidad del objeto geográfico Corriente de agua



La segunda regla topológica para objetos representados en línea es “*Must Not Intersect*”, la cual verifica que las líneas de un mismo objeto no se crucen entre sí. Sin embargo, no toda intersección constituye necesariamente un error; el operador debe de

identificar y evaluar cada caso para determinar si la intersección es admisible o requiere de corrección.

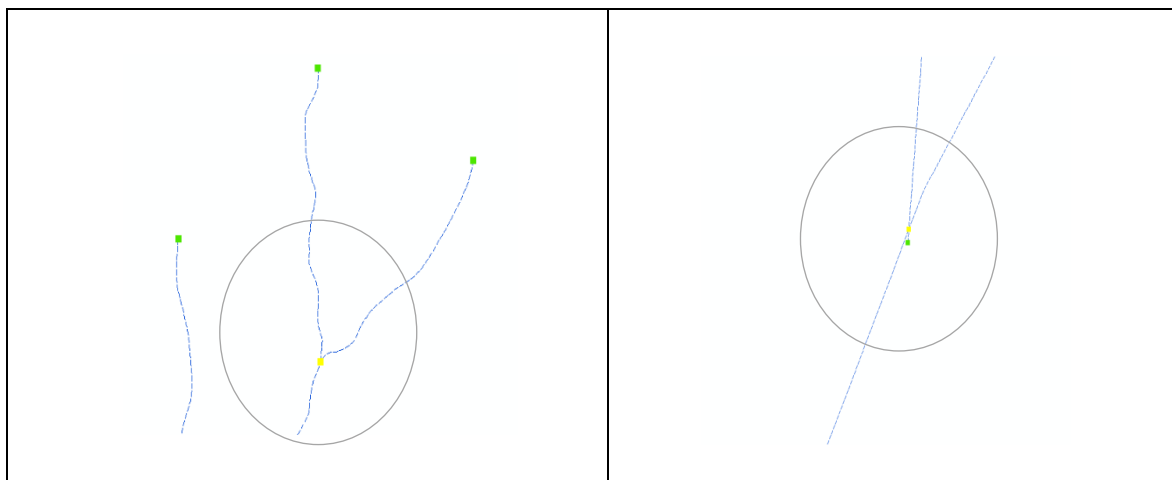
Tabla 3.

Validación topológica Must Not Intersect

Aspecto	Descripción
Propósito	Evitar intersecciones no permitidas entre líneas.
error	Líneas que se cruzan o se superponen.
Posible solución	Dividir las líneas en su punto de intersección.

Figura 14.

Error de intersección en el objeto geográfico Corriente de agua



Nota. Se muestra como la quebrada no intercepta correctamente hacia la otra quebrada, generando error de intersección.

La tercera y cuarta regla topológica para objetos representados en línea son “*Must Not Self-Overlap*” y “*Must Not Self-Intersect*”. las cuales verifican que una línea no se cruce ni se superponga consigo misma. Estos errores son frecuentes en objetos geográficos

como las curvas de nivel, donde la curva de nivel se auto-intersecta consigo misma. El operador responsable debe identificar estos casos y corregirlos eliminando los nodos o segmentos que generen el cruce o solapamiento, asegurando que cada línea representa fielmente el objeto geográfico que modela sin distorsiones geométricas.

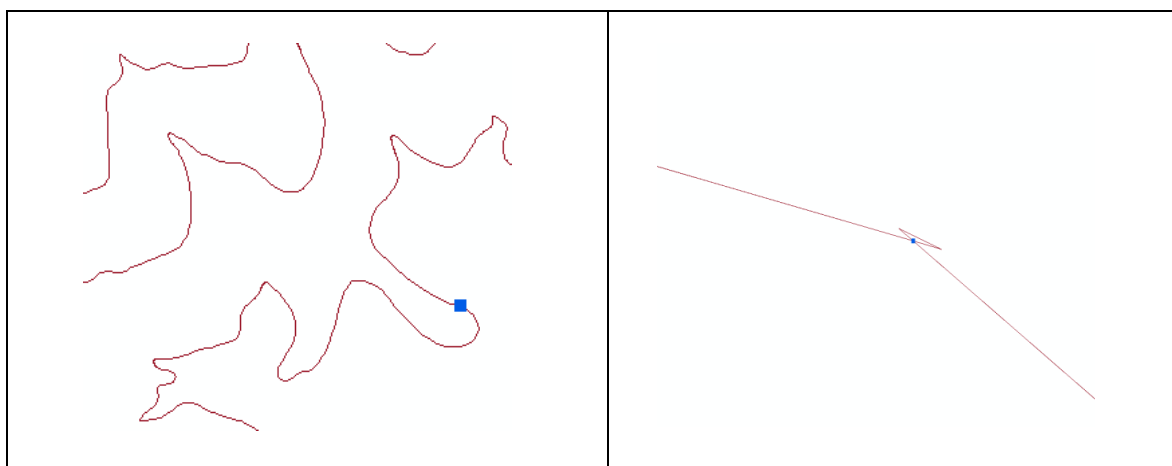
Tabla 4.

Validación topológica Must Not Self-Overlap Y Must Not Self-Intersect

Aspecto	Descripción
Propósito	Evitar que una misma línea se cruce o se superponga a sí misma
error	Líneas con autosuperposiciones o autocruces
Posible solución	Eliminar aquellos nodos que generen el cruce
Ejemplo	Curva de nivel que se cruza a sí misma

Figura 15.

Error topológico del objeto geográfico Curvas de Nivel



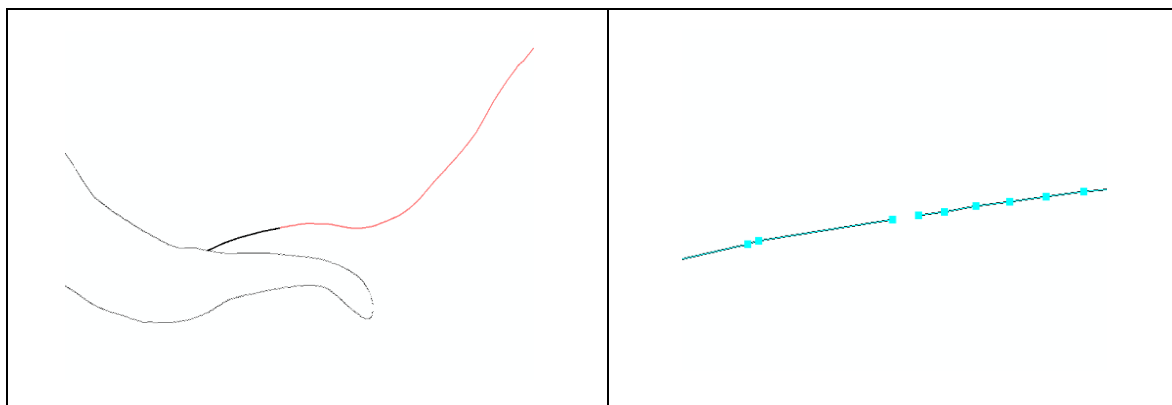
Nota. Se muestra como la curva de nivel se cruza consigo misma. La solución es eliminar los nodos que eviten el cruce.

La quinta regla topológica para objetos representados en línea es “*Must Be Single Part*”, la cual verifica que cada línea sea un solo elemento continuo y no esté compuesta por múltiples partes fragmentadas. Este error ocurre cuando un objeto geográfico que debería de ser representado como una sola línea (como una carretera, un río o una curva de nivel) se encuentra dividido en varios segmentos desconectados. Como consecuencia, al seleccionar uno de estos fragmentos, el sistema reconoce todo el conjunto como una sola entidad, cuando en realidad debería de ser unificado. Esta situación genera inconsistencias en el análisis espacial y dificulta la correcta representación del objeto geográfico. Para corregir este error, el operador debe de usar la herramienta “explode” para separar los fragmentos y volver a juntarlos adecuadamente, asegurando que la línea sea una sola parte continua y refleje fielmente la realidad del territorio.

Tabla 5.

Validación topológica Must Be Single Part

Aspecto	Descripción
Propósito	Unificar las líneas que deberían ser un solo objeto continuo
error	Líneas fragmentadas en múltiples partes
Posible solución	Usar la herramienta explode para luego unir correctamente
Ejemplo	Carretera que al seleccionar un segmento se selecciona todo el objeto

Figura 16.*Error topológico en el objeto geográfico Carretera*

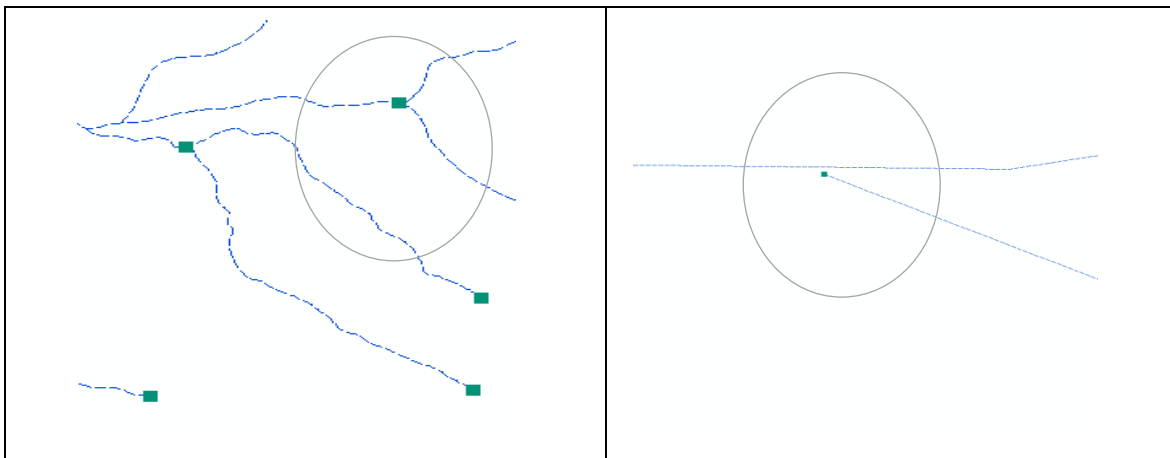
La sexta regla topológica para objetos representados en líneas es “*Must Not Have Dangles*”, la cual verifica que las líneas no presenten extremos colgantes o inconexos. Este error se presenta con frecuencia cuando una línea que debería conectarse a otra no logra tocarla exactamente en su borde, quedando un pequeño segmento suelto que interrumpe la continuidad del objeto geográfico. Es el caso, por ejemplo, de una quebrada que debe desembocar en un río principal: su extremo final debe coincidir con precisión en el borde de la línea del río. Si existe una separación, por mínima que sea, se genera un error topológico que afecta la conectividad de la red hidrológica.

Tabla 6.*Validación topológica Must Not Have Dangles*

Aspecto	Descripción
Propósito	Revisar las conexiones precisas entre líneas
error	El extremo de una línea no llega a tocar a la otra línea
Posible solución	Alinear, cortar o extender a la línea para que conecte correctamente
Ejemplo	Quebrada que no se conecta correctamente con otra quebrada

Figura 17.

Error topológico en el objeto geográfico Quebrada



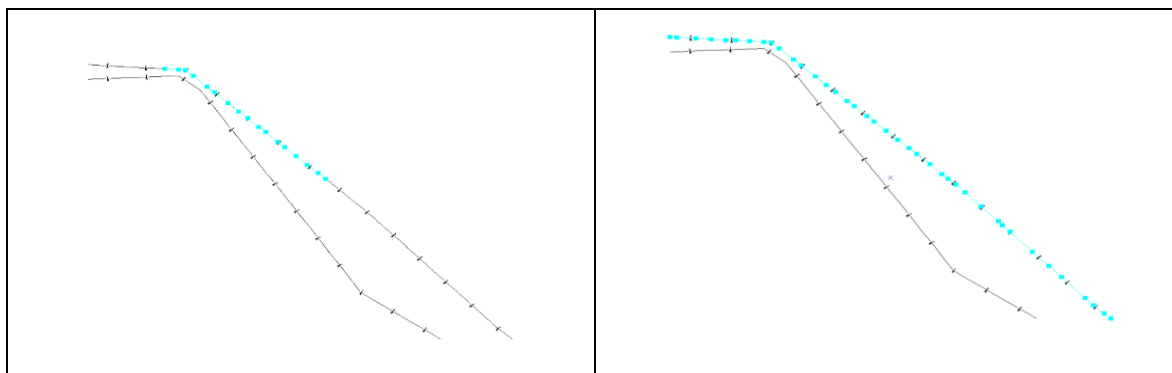
Nota. En la imagen derecha se observa como las quebradas no se conectan correctamente.

La solución es extender la quebrada para que se conecten correctamente.

La séptima y última regla topológica representada en línea es “*Must Not Have Pseudo-Nodes*”. Este error se presenta cuando un objeto geográfico que deberían de ser representado como un solo vector se encuentra dividido en varios segmentos que comparten un nodo en común sin que exista un cambio en sus atributos. En el caso, por ejemplo, de la carretera que, por error de digitalización, ha sido fragmentada en múltiples tramos unidos por nodos, cuando en realidad debería de ser una sola línea continua. Para corregir este error, el operador debe de fusionar los segmentos que comparten el mismo atributo en una sola línea, usando herramientas como “merge”, asegurando que el objeto geográfico sea representado de manera continua y sin divisiones que distorsionen su integridad.

Tabla 7.*Validación topológica Must Not Have Pseudo Nodes*

Aspecto	Descripción
Propósito	Las líneas se conectan en los extremos con otras líneas
Error	El final de una línea solo toca el final de otra línea, las cuales comparten atributos
Posible solución	Fusionar las líneas de un mismo objeto
Ejemplo	Línea de transmisión de energía eléctrica dividida en varias partes cuando debería de ser solo un vector

Figura 18.*Error topológico en el objeto geográfico Líneas de Alta Tensión*

Nota. En la imagen izquierda se observa como la línea de alta tensión, se encuentra dividida en 3 partes, cuando debería de ser solo un vector. En la imagen derecha se encuentra unido en un único vector.

- Topología para encontrar errores en corriente de agua (línea) y términos de quebrada (punto): se aplica la regla “Must be covered by endpoint of”. Esta regla verifica que los puntos de la capa "términos de quebrada" coincidan exclusivamente con los extremos finales de las líneas de la capa "corriente de agua", pero únicamente en aquellos casos donde la corriente de agua desaparece o se disipa en el terreno sin llegar a conectarse con otra corriente de agua. Es decir, el término de quebrada solo es aplicable cuando la quebrada pierde su cauce de manera natural (por infiltración, evaporación o disipación en terreno llano) y no cuando se trata de una confluencia con otro curso de agua, ya que en ese caso la continuidad hidrológica se mantiene a través de la conexión con la siguiente corriente de agua. El operador debe distinguir entre ambos escenarios: si la quebrada continúa su flujo hacia otra corriente, no debe existir un término de quebrada en ese punto; si, por el contrario, la quebrada finaliza sin conectar a otro drenaje, entonces el término de quebrada debe ubicarse exactamente en el extremo final de la línea. Esta diferenciación es fundamental para mantener la coherencia de la red hidrográfica y evitar la generación de errores topológicos que afecten análisis de conectividad y modelación de cuencas.

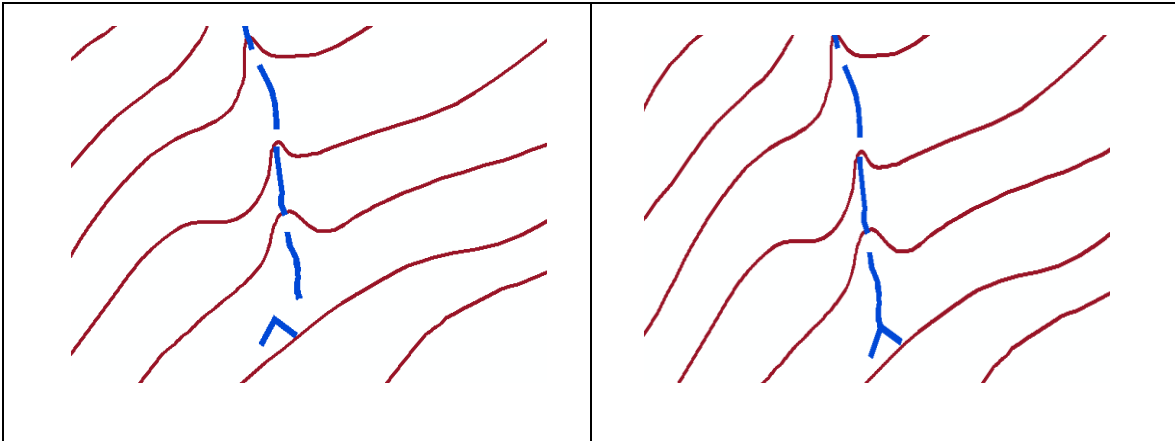
Tabla 8.

Validación topológica Must be covered by endpoint of

Aspecto	Descripción
Propósito	Revisar la consistencia entre la corriente de agua (capa en línea) y el termino de quebrada (capa en punto)
Error	La capa en punto no coincide con el extremo final de una línea
Posible solución	Mover el punto hacia la parte final de la capa en línea

Figura 19.

Error topológico de los objetos geográficos quebrada y termino de quebrada



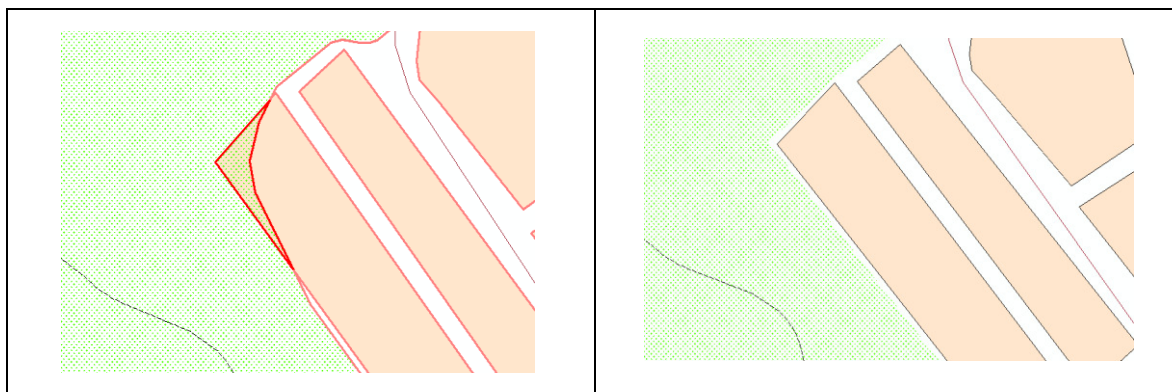
- Topología para los objetos representados en polígonos.

Para los objetos geográficos representados en polígonos, estos deben ser integrados en una sola capa (feature class) para proceder con su validación topológica. Sobre esta capa unificada se aplican dos reglas topológicas.

La primera de ellas es "Must Not Overlap", la cual verifica que no existan superposiciones parciales o totales entre dos o más polígonos. Este error es frecuente en objetos como la cobertura de uso de suelo, donde los límites entre diferentes categorías (por ejemplo, áreas agrícolas y urbanas) deben ser mutuamente excluyentes sin que un mismo territorio pertenezca a dos clases simultáneamente. Si se detecta una superposición, el operador debe corregirla ajustando los vértices de los polígonos involucrados, de modo que cada área quede claramente delimitada y los límites compartidos coincidan con precisión. Esta validación garantiza que la representación cartográfica sea consistente y que los cálculos de área y los análisis de cobertura sean exactos.

Tabla 9.*Validación topológica Must Not Overlap*

Aspecto	Descripción
Propósito	Las capas no deben superponerse
Error	Se produce cuando entre polígonos se superpone total o parcialmente
Posible solución	Identificar cuál de los polígonos debe de corregirse o eliminarse
Ejemplo	El terreno de cultivo cubre parte del área edificada, lo cual es incorrecto

Figura 20.*Error topológico de superposición para los objetos geográficos en polígono*

Nota. Representación de terreno de cultivo y área edificada

La segunda regla topológica para objetos representados en polígonos es “Must Not Have Gaps”, la cual verifica que no existan espacios vacíos o áreas sin clasificar entre polígonos que deberían ser contiguos. Este error se presenta cuando, al digitalizar polígonos que comparten límites (como distritos, provincias o categorías de cobertura de suelo), queda un pequeño espacio sin asignar entre ellos, generando áreas que no pertenecen a

ninguna clase. Estos vacíos, aunque aparentemente pequeños, afectan la integridad de la base de datos y pueden distorsionar análisis de superficie, porcentajes de cobertura o delimitaciones territoriales. Para corregir este error, el operador debe extender o ajustar los vértices de los polígonos adyacentes hasta cerrar completamente el espacio vacío, asegurando que no existan áreas sin clasificar y que la representación cartográfica sea continua y coherente.

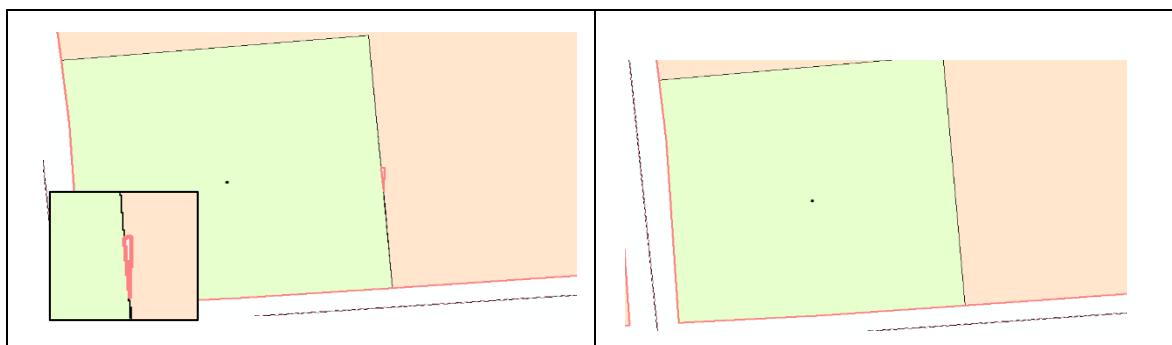
Tabla 10.

Validación topológica Must Not Have Gaps

Aspecto	Descripción
Propósito	No debe de haber espacios vacíos entre polígonos.
Error	Formación de áreas pequeñas entre polígonos que deberían de haber cubierto toda el área
Posible solución	Digitalizar el polígono para que cubra los vacíos
Ejemplo	Se tiene terreno de cultivo y área edificada y, entre ellos existe un área de 1.2 ha. que no pertenece a ningunas de los dos.

Figura 21.

Error topológico de vacíos entre objetos geográficos en polígonos



- Topología para vías de comunicación.

La jerarquización de vías en el Perú se rige por la Ley N°27181, Ley General de Transporte y Tránsito Terrestre (2012), la cual establece que la competencia normativa en materia de clasificación vial corresponde exclusivamente al Ministerio de Transportes y Comunicaciones (Decreto Supremo N° 015-2024-MTC, 2024). En aplicación de esta normativa, el procedimiento de validación topológica del área de SIG define que, para las vías de comunicación se realiza el corte o interrupción de vías en una intersección, para eso se debe de seguir un orden lógico basado primeramente por la categoría de las vías y, en segundo lugar, por la longitud de los tramos.

Tabla 11.

Orden jerárquico para criterio v de corte en la intersección de las vías

Categoría	Prioridad	Criterio del corte
Pavimentada de doble vía	1(mayor)	Corta todas las categorías inferiores
Pavimentada de una vía	2	Corta categorías inferiores
Afirmada de doble vía	3	Corta categorías inferiores
Afirmada de una vía	4	Corta categorías inferiores
Sin afirmar	5	Corta categorías inferiores
Carrozable	6	Corta a herradura
Herradura	7 (menor)	No corta a ninguna

Nota. Para las vías de igual categoría se corta las vías de igual longitud.

Figura 22.

Representación de las vías de comunicación

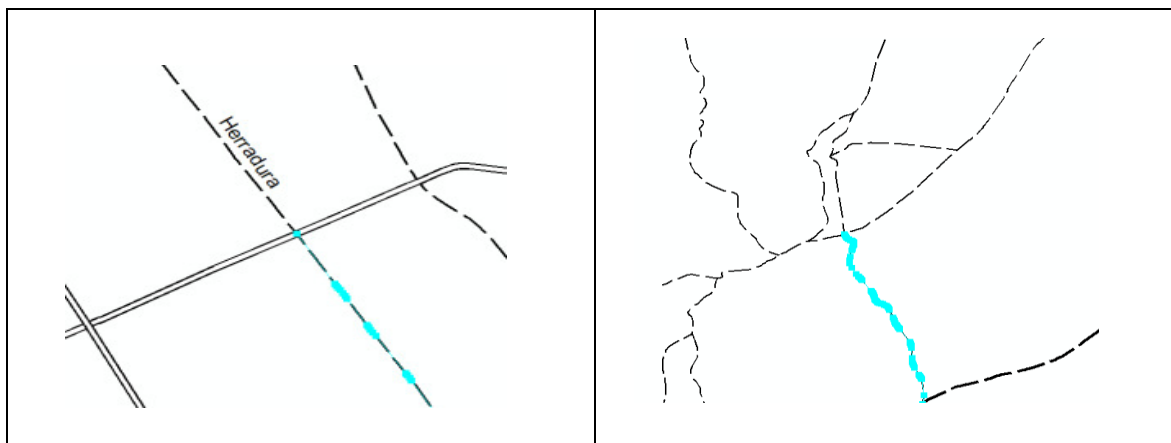
Autopista	Pavimentada de doble vía	Pavimentada de una vía	Afirmada de doble vía
			

Afirmada de una vía	Sin afirmar	Carrozable	Herradura
			

Primero deberán de cortarse las vías de menor categoría jerárquica (herradura, carrozable), luego para las vías de las mismas categorías se deberá de cortar aquella vía con menor longitud.

Figura 23.

Corte en la intersección de las vías de comunicación



- Para encontrar errores de valor de cota con respecto a las curvas de nivel:

Usamos la herramienta automatizada Python-Arcpy asistida por inteligencia artificial. Su funcionamiento consiste en analizar los valores de cota con respecto a las curvas adyacentes, detectando a aquellas altitudes que no corresponden al rango esperado según la equidistancia establecida para la escala 1:25 000.

- Para encontrar errores de ubicación de vectores en punto tales como alcantarilla, puente, vado, badén, etc. en la intersección de la hidrografía y vías de comunicación que se encuentran representadas en línea.

Esta herramienta permite validar que dichos puntos se encuentren posicionados exactamente en la intersección de las capas de vías de comunicación y corrientes de agua, que es donde, por definición geográfica, deben ubicarse estas estructuras.

- eliminación de capas.

Una vez concluida la validación topológica de todos los objetos geográficos, se procede a eliminar aquellas capas que no contienen ningún elemento (puntos, líneas o polígonos). Esta tarea se ejecuta mediante una herramienta automatizada desarrollada en Python-Arcpy asistida por inteligencia artificial, la cual recorre todas las capas de la geodatabase, identifica aquellas que se encuentran vacías y las elimina de manera sistemática.

3.4.3 Etapa IV: Verificación de la integración de atributos

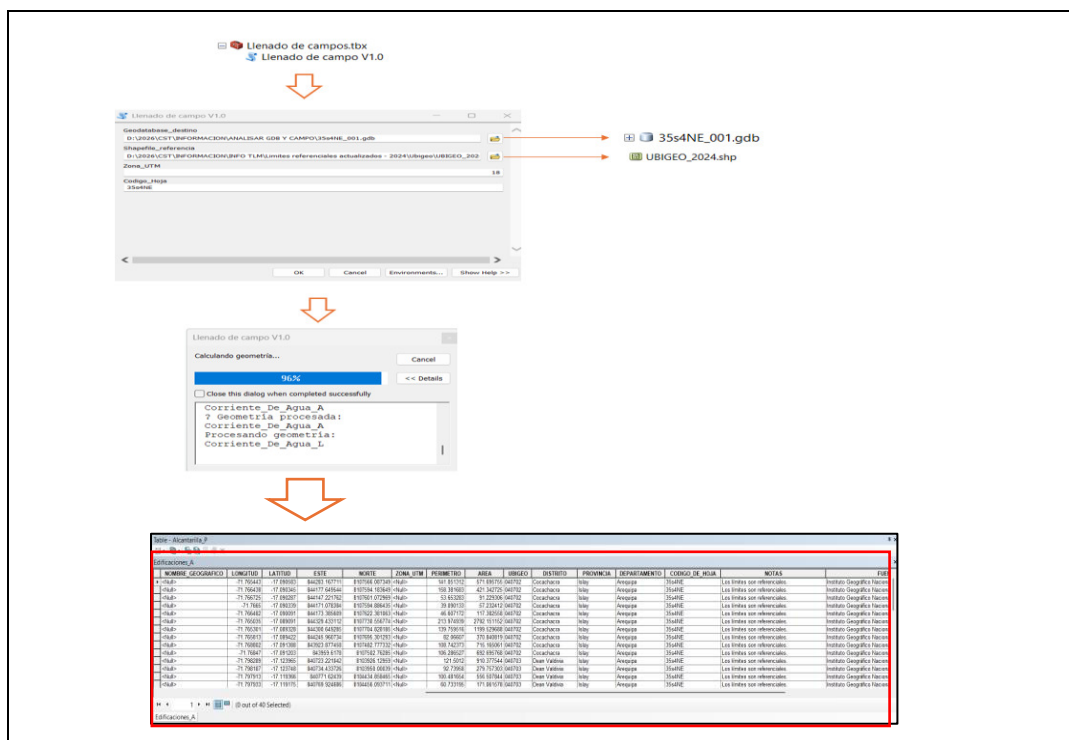
En esta etapa, la geodatabase (GDB) se encuentra lista para el llenado y verificación de los atributos de cada objeto geográfico. Los campos de la tabla de atributos se clasifican en tres tipos, según su naturaleza y la forma en que deben ser completados.

El primer tipo corresponde a campos con dominio y rango, los cuales se llenan de manera automática al momento de crear o migrar el vector. Entre estos se encuentran: CODIGO_DFDD, CODIGO_IGN, FCSUBTYPE y RASGO_PRINCIPAL. Estos campos contienen valores predefinidos por el catálogo de objetos del IGN, lo que garantiza su estandarización y evita errores de escritura o asignación incorrecta. Al ser autollenables, el

El tercer tipo corresponde a campos que tradicionalmente que se llenaban de manera manual, pero que en la actualidad son completados de forma automatizada mediante la herramienta "Llenado de campos", desarrollada en Python-Arcpy asistido por inteligencia artificial, por el personal del área de SIG. Esta Herramienta automatiza el cálculo de coordenadas, áreas, perímetros y longitudes en UTM/WGS84 y/o geográficas, realiza un join espacial para asignar información de límites administrativos (UBIGEO, Distrito, Provincia y Departamento) en todas las capas de una geodatabase, para esta operación utiliza como capa fuente el shapefile de Límites Administrativos del IGN. Permite estandarizar datos cartográficos de forma masiva, rápida y consistente, incluyendo capas dentro de Feature Datasets.

Figura 26.

Herramienta automatizada para el llenado de campos

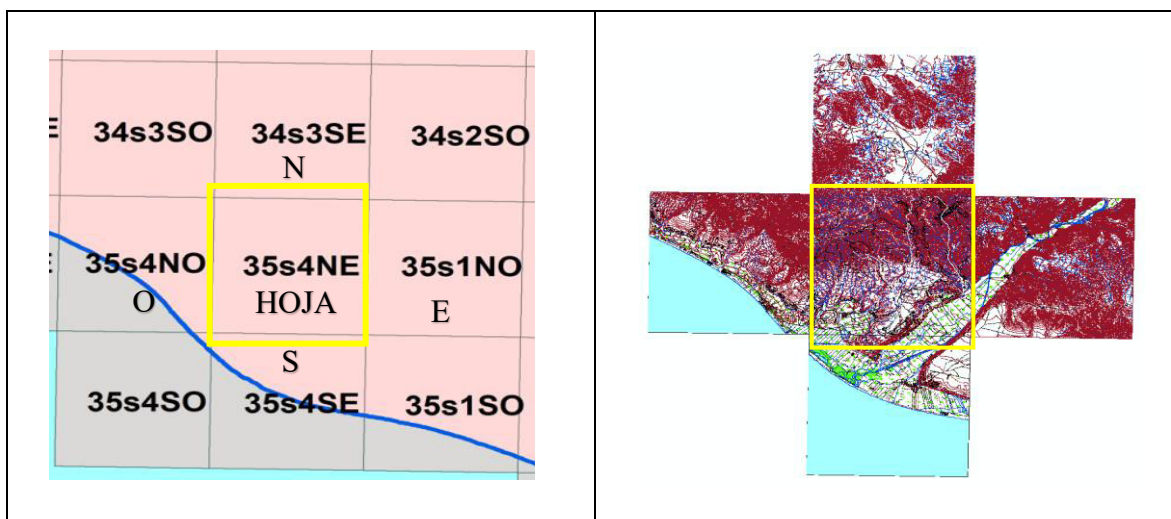


3.4.4 Etapa V: Empalme de GDB con hojas adyacentes

Para dar por culminada la hoja de trabajo, se debe realizar el empalme con sus hojas adyacentes, proceso que consiste en verificar la continuidad topológica y la consistencia de atributos de aquellos objetos geográficos que cruzan el límite de la hoja y se extienden hacia las hojas vecinas.

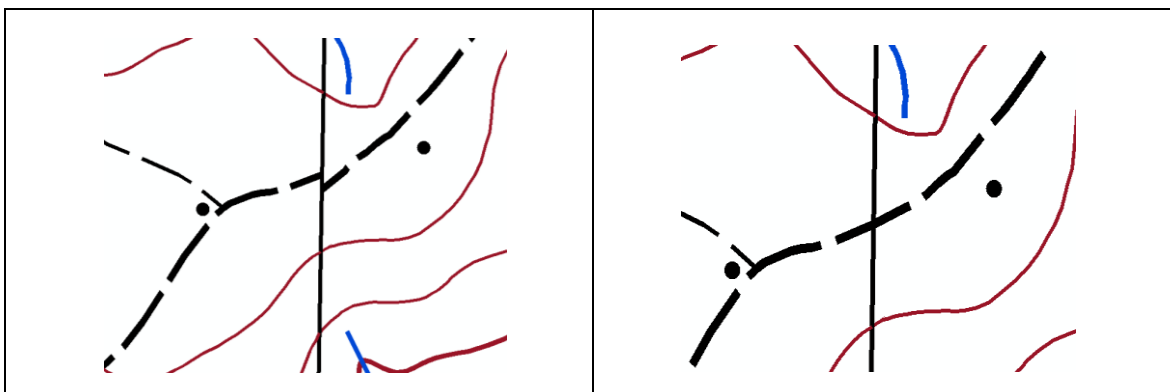
El empalme implica dos niveles de verificación. El primero es de carácter topológico: se revisa que los objetos lineales y poligonales que traspasan el límite de la hoja (como vías, ríos o curvas de nivel) compartan exactamente el mismo nodo en ambas hojas, evitando desconexiones, saltos o extremos colgantes en el borde de la hoja. El segundo nivel es de atributos: se verifica que los campos de información coincidan en ambas hojas, garantizando que un mismo objeto geográfico no presente diferentes denominaciones o clasificaciones según la hoja desde la que se consulte.

Este proceso asegura que la Carta Nacional sea un producto continuo y coherente, donde el límite de la hoja no representa una interrupción en la representación del territorio, sino un corte administrativo que no afecta la integridad de los objetos geográficos.

Figura 27.*Representación de las hojas de empalme*

Nota. La hoja de trabajo es la 35s4NE y sus hojas de empalme son las que se encuentran en el Norte, Sur, Este y Oeste.

Se revisará que haya una buena conexión entre las hojas de empalme, para esto se deberá de realizar las validaciones topológicas.

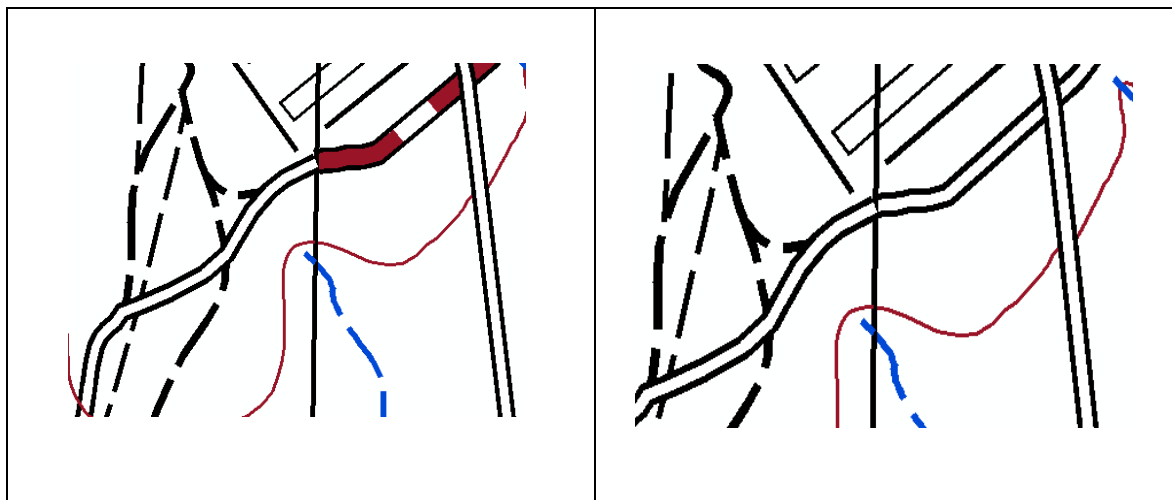
Figura 28.*Revisión topológica entre las hojas de empalme*

Nota. En la imagen derecha muestra como los caminos carrozables de diferentes hojas comparten un nodo en común.

Se revisará que los atributos de hojas empalmadas sean los mismos y si tiene nombre el objeto geográfico el empalme también debería de tenerlo.

Figura 29.

Revisión de atributos entre las hojas de empalme



3.4.5 Etapa VI: Revisión

Esta etapa significa que mi geodatabase (GDB) ya está lista para que el revisor pueda observar y detectar errores que al operador a cometido durante el proceso, y así enviar observaciones al operador para que puedan ser solucionados y finalmente darlos por terminados.

3.5 Limitaciones

Una de las limitaciones más significativas que se ha identificado en la generación de los procedimientos para la elaboración de la geodatabase (GDB) proviene del cambio del personal que labora en el área de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Muchos de los operadores no permanecen por periodos prolongados. Esto se debe a que el 80% del personal que labora en el área es personal militar, y gran parte de ellos salen cambiados, por

este motivo llega nuevo personal militar que tiene poco conocimiento sobre los procedimientos y trabajo del área. Esto implica que se tenga que capacitar al personal nuevo para que adquiriera conocimientos y experiencia durante su periodo en el área.

Otra limitación también importante es que el personal que labora en el área de Sistemas de información Geográfica tiene poco conocimiento en programación python. Las herramientas automatizadas que actualmente forman parte del procedimiento para la generación de la geodatabase se implementaron gracias a las capacitaciones que nos brindó la institución para el personal de área. Estas capacitaciones permitieron a algunos operadores adquirir conocimientos necesarios para desarrollar las primeras versiones de estas herramientas, las cuales han demostrado mejorar en la calidad del trabajo final.

CAPITULO 4: RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Resultados técnicos

El resultado principal del presente informe es la documentación del procedimiento para la generación de la geodatabase (GDB) a escala 1: 25 000 en el área de Sistemas de Información Geográfica (SIG) del Instituto Geográfico Nacional. El procedimiento se compone de seis etapas secuenciales, realizar validaciones topológicas e implementar herramientas automatizadas.

La secuencia de las seis etapas no es arbitraria, respeta el orden lógico del flujo de trabajo para la producción cartográfica. Primero migramos la estructura base (Etapa I), luego se incorpora la clasificación de campo (Etapa II), después se valida la topología (Etapa III), posteriormente se completa la tabla de atributos (Etapa IV), continuamos con las hojas de empalme (Etapa V) y finalmente pasa por un control de calidad (Etapa VI).

Esta organización reduce la redundancia y evita que correcciones tardías obliguen a retroceder etapas avanzadas.

Tabla 12.

Etapas del procesamiento

Etapas	Denominación	Contenido principal
I	Migración de la restitución	Uso de la herramienta automatizada “Migración de GDB a GDB”
II	Análisis y asignación de la información de clasificación de campo	Integración de la información del shapefile al GDB.
III	Validación topológica y análisis espacial	7 reglas topológicas para líneas, 2 para polígonos y uno para puntos, relaciones hidrográficas y viales.
IV	Verificación de la integración de atributos	Llenado automatizado con la herramienta “Llenado de campos”.
V	Empalme de GDB con hojas adyacentes	Conexión topológica y consistencia de atributos.
VI	Revisión	Control de calidad por el revisor.

La validación topológica es el control de calidad cartográfico. Constituyen la única barrera sistemática contra los errores geométricos que, al no ser detectados a tiempo, comprometen el análisis o decisión basados en la información cartográfica.

Tabla 13.*Errores topológicos por tipo de objeto*

Tipo de objeto	Reglas topológicas aplicadas
Punto	Must Be Disjoint.
Líneas	Must Not Overlap, Must Not Intersect, Must Not Self-Overlap, Must Not Self-Intersect, Must Be Single Part, Must Not Have Dangles, Must Not Have Pseudo-Nodes.
Polígonos	Must Not Overlap, Must Not Have Gaps.

Si bien el presente documento está enfocado en la estandarización de los procedimientos para la elaboración de la geodatabase (GDB), resulta indispensable integrar como parte de los procedimientos a aquellos procesos que se han automatizado. Para ello, se incluye un cuadro comparativo de los procesos manuales y automatizados.

Tabla 14.*Cuadro comparativo del proceso manual y automático*

Proceso	Criterio	Proceso manual	Proceso automatizado con ayuda de la IA (script Python)
Herramienta para encontrar error de valor de cota	<i>Propósito</i>	Detectar errores de cota cuyos valores sean inconsistentes con las curvas de nivel que lo rodean identificando posibles errores.	
	<i>Modo de uso</i>	- Copiar el límite de la proyección a la capa de curvas de nivel. - Poligonizar las curvas de nivel. - Eliminar polígonos sin cota. - Realizar join spatial a las curvas poligonizadas.	Ejecución de la herramienta

	- Realizar operaciones a los valores para que los resultados sean óptimos. - Realizar join spatial a las cotas. - Realizar expresiones para obtener las cotas con error. - Exportar cotas con error	
<i>Errores frecuentes</i>	- calculó incorrectamente del valor de cota. - No se realizaron las operaciones correctamente a la polinización con los valores de curvas. -join en capas incorrectas.	Ninguno
<i>Intervención del operador</i>	Constante, en cada parte del proceso	Mínima, solo para ejecutar la herramienta y validar resultados.
<i>Tiempo empleado</i>	30 min.	5 min.

Llenado de campos de base de datos

Propósito

Llenar los campos de coordenadas, perímetro, área, límites políticos y campos de fuente y nota.

	<i>Modo de uso</i>	- Calcular las coordenadas X y por cada capa que exista en un GDB. - Calcular Longitud y Latitud por cada capa que exista en un GDB. - Calcular las áreas por cada capa que exista en una GDB. - Calcular los perímetros por cada capa que exista en un GDB. - Llenar los campos de ubigeo. - Llenar los campos de Distrito. - Llenar los campos de Provincia. - Llenar los campos de Departamento. - Llena el campo de fuente de todas las capas de un GDB. - Llena los campos de notas de todas las capas de un GDB. - Llena los campos de código de hoja de todas las capas de un GDB.	Ejecución de la herramienta
	<i>Errores frecuentes</i>	- Mala escritura en el código de hoja. - Espaciados donde no debería. - No calculan correctamente los datos numéricos. - Errores de escritura en los campos departamento, provincia, distrito. - Ubigeos incorrectos.	Ninguno
	<i>Intervención del operador</i>	Constante, en cada parte del proceso.	Mínima, solo para ejecutar la herramienta y validar resultados.
	<i>Tiempo empleado</i>	3 horas	5 min.
	<i>Propósito</i>	Cambiar la información de un GDB a otro. Unir más de dos GDB's a un GDB para analizar empalmes.	
Migración de GDB a GDB	<i>Modo de uso</i>	- Identificar cuantos objetos geográficos hay en un GDB. - Agrupar las capas por temas. - Realizar el proceso de Load por cada capa que exista en un GDB	Ejecución de la herramienta

Eliminación de capas vacías	<i>Errores frecuentes</i>	- Copiar la información de una capa a otra capa que no corresponde. - Generar duplicidad.	Ninguno
	<i>Intervención del operador</i>	Constante, en cada parte del proceso	Mínima, solo para ejecutar la herramienta y validar resultados.
	<i>Tiempo empleado</i>	3 horas	5 min.
	<i>Propósito</i>	Eliminar aquellas capas de un GDB que no tengan información vectorial.	
	<i>Modo de uso</i>	- Cargar las capas en arcgis. - Realizar selección por locación de acuerdo a la proyección. - Remover de la tabla de contenido aquellas capas que no tengan información. - Ordenar las capas con información por tema. - Desde el arcCatalog eliminar las capas por cada tema que no tengan información.	Ejecución de la herramienta
	<i>Errores frecuentes</i>	-Eliminar capa con información. - dejar capas vacías.	Ninguno
	<i>Intervención del operador</i>	Constante, en cada parte del proceso	Mínima, solo para ejecutar la herramienta y validar resultados.
	<i>Tiempo empleado</i>	1 hora	5 min.

La implementación de scripts en python con ayuda de Inteligencia Artificial como parte del proceso para la elaboración de la geodatabase (GDB), representa una nueva manera en la que el operador interactúa con la geodatabase (GDB). Al comparar el proceso manual con el automatizado para cuatro de las actividades, se observan diferencias sustanciales no solo en los tiempos de ejecución, sino también en la cantidad de los posibles errores, el nivel de intervenciones requeridas por parte del operador, la calidad del producto final y la reproducibilidad del flujo de trabajo.

Mientras que el proceso manual exige una revisión visual punto por punto, ingresar datos fila por fila o la apertura de cada capa para verificar el llenado correcto del contenido, el proceso automatizado en cambio reduce la intervención humana gracias a la ejecución de un script que recorre, valida y transforma los datos de manera sistémica. Por ejemplo, en la herramienta para encontrar errores en los valores de cota, en la operación manual debe de revisarse cada capa resultante del proceso sistémico para obtener buenos resultados y encontrar valores anómalos. En cambio, un script en python para arcgis se apoya de librerías Arcpy, que detecta los valores de cota fuera de rango con respecto a las curvas de nivel y me genera la capa de errores en segundos.

El tiempo empleado en cada herramienta constituye quizás una de las diferencias más evidentes y cuantificables. Los procesos manuales, especialmente en tareas como llenado de campos y migración de la geodatabase (GDB), pueden consumir varias horas de trabajo. Por el contrario, un script con un buen diseño puede realizar la tarea en menos tiempo. Esta eficiencia de las herramientas automatizadas permita que se puedan procesar base de datos de grandes volúmenes que en procesos manuales serían más tediosos trabajarlos, así como también ejecutarlos en procesos de validación con la frecuencia necesaria para mantener la calidad de la geodatabase (GDB) en el tiempo.

La automatización de algunas herramientas no implica que el operador se desvincule de las operaciones ejecutadas durante el proceso. Cada etapa de los procedimientos requiere de la supervisión continua, pues durante el desarrollo pueden presentarse diversas excepciones que únicamente pueden ser identificadas mediante un análisis y la experiencia del operador a cargo.

Estas herramientas no reemplazan el juicio del geógrafo, sino que liberan su tiempo en tareas repetitivas y propensas a generar error. Aquellas actividades que antes tomaban horas ahora se ejecutan en minutos. La automatización no solo mejora la eficiencia, sino que reduce drásticamente errores de omisión y calculo, elevando la calidad del producto final.

4.2 Discusión

Este procedimiento documentado recoge la experiencia acumulada. La formalización de este documento permite que el conocimiento tácito se convierta en conocimiento explícito, que sea accesible para todo el equipo, en especial para los nuevos operadores.

Como señala ESRI (2020), la falta de documentación de las reglas topológicas es una causa recurrente de errores no detectados. Por lo tanto, el presente informe contribuye a que los operadores tengan conocimiento cuales son las validaciones topológicas que se debe de aplicar durante el proceso, siendo fundamental para garantizar la calidad de los objetos geográficos.

En lo que corresponde al empalme con las hojas adyacentes, es muy relevante ya que la Carta Nacional es un producto continuo que tiene sentido si las hojas adyacentes conectan correctamente tanto en geometría como en atributos.

La geodatabase (GDB) es la base fundamental para la elaboración de la cartografía nacional consistente a escala 1:25 000, por ello es fundamental que se estandaricen los procedimientos y reducir la variabilidad introducida por factores humanos.

La implementación de herramientas Python - Arcpy para la automatización de tareas repetitivas (cálculo de coordenadas, áreas, perímetros, etc.) representa una tendencia alineada con el desarrollo de tecnologías emergentes en el procesamiento de datos geoespaciales. La integración de herramientas automatizadas en flujos de trabajo cartográfico no solo mejora la eficiencia, sino que reduce la probabilidad de errores sistemáticos asociados a la digitación manual.

Finalmente, la etapa de revisión constituye el cierre del ciclo de calidad.

CAPITULO 5: IMPACTO

Seguir los procedimientos para la elaboración de la geodatabase (GDB) garantiza que los objetos geográficos (curvas de nivel, ríos, transporte, industria, etc.) sean representados con fidelidad, mejorando la calidad del producto final.

La información geoespacial que brinda el Instituto Geográfico Nacional es utilizada por diversas instituciones para planificación territorial, ordenamiento territorial y gestión de riesgos. Es por ello que la información que brinde a dichas instituciones tiene que ser de calidad.

Mi labor como bachiller en Geografía y operador en Sistemas de Información Geográfica, no solo es ejecutar el procedimiento, sino de comprender el sentido geográfico de cada paso. No es solo aplicar y validar las reglas topológicas y ver a los vectores como simples punto, líneas y polígono. Detrás de cada geodatabase hay un territorio real. Cuando un operador sabe que una quebrada no debe de tener extremos colgantes (principio de conectividad hidrológica) y porque una autopista debe cortar a un camino vecinal (jerarquía de la red vial), esto implica tener conocimientos de temas geográficos como hidrografía, geomorfología, ordenamiento territorial, etc. Y cuando asignamos un nombre geográfico, no solo se llena un atributo, y no solo es un punto con coordenadas, es un lugar con historia e identidad.

El geógrafo no ve un punto, ve un centro poblado, un baden o un puente, y sabe su relación espacial con el entorno. No ve una línea, ve una quebrada que nace en una laguna, baja por un valle y se une a un río. El aporte del geógrafo es dotar sentido a cada paso técnico, no solo ejecutamos si no que comprendemos el territorio. La geografía es indispensable para la producción cartográfica del país.

CAPITULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- La realización de este documento para la elaboración de los procedimientos de la geodatabase (GDB) a escala 1:25000 permitirá sistematizar los conocimientos que solo reside en el personal experimentado, reduciendo cierta variabilidad en el producto final y mejorar el aprendizaje del personal nuevo.
- La estandarización del procedimiento no solo beneficiara la calidad del producto final, sino que impactara al facilitar la transferencia de conocimientos al personal con poca experiencia en la elaboración de la geodatabase (GDB).
- la implementación de las herramientas automatizadas ayuda a reducir el tiempo de los procedimientos para tareas específicas, mejorando significativamente la calidad del producto final.

6.2 Recomendaciones

- Se recomienda desarrollar materiales de capacitación basados en los procedimientos de este documento para el personal nuevo o con poca experiencia.
- Se sugiere implementar capacitaciones en cursos para el operador del área de Sistemas de Información Geográfica (SIG), con el fin de aumentar sus conocimientos en automatización de herramientas que ayuden a mejorar los flujos de trabajo.

REFERENCIAS

- Instituto Geográfico Nacional (2022). Catálogo de Objetos Geográficos y de Representación para la Generación y Generalización de Información Geoespacial
Escala: 1: 25 000 / 1: 50 000 / 1: 100 000. (s. f.).
https://www.google.com/search?q=CATALOGO+DE+OBJETOS&oeq=CATALOGO+DE+OBJETOS&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOTIOCAEQRRgnGDsYgAQYigUyBggCECMYJzIHCAMQABiABDIHCAQQABiABDIMCAUQABgUGlCGIAEMgYIBhBFGDwyBggHEEUYPNIBCDQ3MzRqMGo0qAIAAsAIB&sourceid=chrome&ie=UTF-8.
- Instituto Geográfico Nacional (2000). Ley n.º 27292. (s. f.). Normas y Documentos Legales
- Instituto Geográfico Nacional - Plataforma del Estado Peruano.
<https://www.gob.pe/institucion/ign/normas-legales/796242-27292>.
- Instituto Geográfico Nacional (2005). Normas técnicas especificaciones técnicas para la producción de mapas topográficos a escala de 1:25 000. 1ª EDICIÓN agosto 2005. <https://www.gob.pe/institucion/ign/informes-publicaciones/543936-normas-tecnicas-especificaciones-tecnicas-para-la-produccion-de-mapas-topograficos-a-escala-de-1-25-000>.
- Instituto Geográfico Nacional (2022). Resolución Jefatural 150
<https://www.gob.pe/institucion/ign/normas-legales/3648608-150-2022-ign-dig-sdngc>.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2022). Guía de implementación de especificaciones técnicas para productos de datos geográficos.

<https://www.icde.gov.co/sites/default/files/archivos/GU-GD-04-Gui%CC%81aImplementacio%CC%81nEspecificacionesTecnicasProductosDatosGeogra%CC%81ficos.pdf>.

- ESRI. (2024). Topología en ArcGIS: Fundamentos y reglas para la integridad de datos geoespaciales. Environmental Systems Research Institute.
- Ley N° 27181. (2012). Ley General de Transporte y Tránsito Terrestre. Congreso de la República del Perú.
- Decreto Supremo N° 015-2024-MTC. (2024). Aprueban el Reglamento de Jerarquización Vial. Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Montañez Sanabria, E. (Ed.). (2024). Cartografías iberoamericanas en un mundo globalizado: Actas del IX Simposio Iberoamericano de Historia de la Cartografía Lima 2022. Instituto Riva-Agüero, PUCP.