GEO-AMC: PLUGIN PARA AUTOMATIZAR EL PROCESO DE VALIDACIÓN DE ÁREAS MÍNIMAS CARTOGRAFIABLES EN ENTIDADES POLIGONALES

AUTORES:
ANGELA GISELLE CHAVEZ LAGOS
INGENIERA TOPOGRÁFICA

CRISTIAN ALEJANDRO ROJAS CASTAÑEDA
INGENIERO TOPOGRÁFICO

DIRECTOR:

ALBERTO BOADA RODRÍGUEZ

CODIRECTOR:

DANILO PARRA

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL

TÍTULO DE ESPECIALISTA EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA



UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE

CALDAS FACULTAD DE INGENIERÍA

BOGOTÁ D.C. JUNIO DE 2026

Resumen

La revisión manual de las áreas mínimas cartografiables en el territorio colombiano es un proceso muy ineficiente que suele tomar casi una hora por capa analizada. Esta situación produce continuos errores técnicos debido al cansancio y a los distintos criterios que cada revisor aplica para valorar los polígonos. Para solucionarlo, se desarrolló GEO-AMC, un plugin para QGIS programado en Python y PyQGIS que automatiza la validación de elementos con atributo de área. El proyecto se estructuró bajo la metodología ágil Scrum y un modelo incremental de análisis, diseño, ejecución y evaluación. Para evitar que el software sature la computadora con archivos pesados, el motor lógico trabaja polígono por polígono, calculando un solo objeto a la vez y guarda los errores en el espacio que el usuario elige. La herramienta fue evaluada con datos espaciales reales del municipio de Sopó a escala 1:1.000 y fue validada por diez profesionales encargados de revisar y validar productos cartográficos. El aplicativo recibió buenos puntajes, 4.5 en eficiencia y 4.9 en usabilidad. Al final, este trabajo muestra cómo una validación automática sobre las diferentes capas a evaluar elimina los errores humanos, reduce el tiempo a segundos y estandariza el criterio de revisión.

Palabras clave: Sistemas de Información Geográfica, Control de Calidad Cartográfica, Automatización, Áreas Mínimas Cartografiables, QGIS.

Abstract

Manually reviewing the minimum mappable areas in Colombia is a highly inefficient process that typically takes almost an hour per layer analyzed. This leads to constant delays and technical errors due to fatigue and the varying criteria each reviewer uses to evaluate the polygons. To address this, GEO-AMC was developed, a QGIS plugin programmed with Python and PyQGIS that automates the validation of features with an area attribute. The project was structured using the Scrum agile methodology and an incremental model of analysis, design, implementation, and evaluation. To prevent the software from overloading the computer with large files, the logic engine analyzes polygon by polygon, calculating only one object at a time and saving errors in the user-selected space. The tool was validated with real spatial data from Sopó at a 1:1,000 scale and evaluated by ten professionals responsible for reviewing and validating cartographic products. The application received outstanding scores of 4.5 for efficiency and 4.9 for ease of use. Ultimately, this work demonstrates that automatic validation of the different layers to be evaluated eliminates human error, reduces processing time to seconds, and standardizes the review criteria.

Keywords: Geographic Information Systems, Cartographic Quality Control, Automation, Minimum Mapping Areas, QGIS.

Contenido

Pág.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN Y SU JUSTIFICACIÓN 8

1.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA PROBLEMÁTICA 8

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 9

1.3 JUSTIFICACIÓN 13

2. OBJETIVOS 16

2.1 OBJETIVO GENERAL 16

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 16

3. ANTECEDENTES 17

4. REFERENTE NORMATIVO Y LEGAL 21

5. REFERENTE TEÓRICO 24

6. METODOLOGÍA 28

6.1 ENFOQUE METODOLÓGICO 29

6.2 TIPO DE ESTUDIO 30

6.3 PROCEDIMIENTO 30

6.3.1 Fase de análisis 31

6.3.2 Fase de diseño 31

6.3.3 Fase de ejecución 32

6.3.4 Fase de evaluación 33

7. RESULTADOS 33

7.1.1 Vista de proceso 37

7.1.2 Diagrama de actividad CU-01 ..... *38*

7.1.3 Vista lógica *38*

7.1.3.1 Diagrama de clases *40*

7.1.3.2 Diagrama de secuencias CU-01 ..... *40*

7.1.4 Vista de implementación *41*

7.1.4.1 Diagrama de paquetes *42*

7.1.4.2 Diagrama de componentes *43*

7.1.5 Vista física *44*

7.1.5.1 Diagrama de despliegue *44*

7.2 DESARROLLO 45

7.3 IMPLEMENTACIÓN 46

7.4 EVALUACIÓN 52

8. CONCLUSIONES 57

9. RECOMENDACIONES 58

10. REFERENCIAS 61

11. ANEXOS 63

Lista de figuras

Figura 1 *Árbol de problemas* 13

Figura 2 *Diagrama metodológico* 29

Figura 3 *Casos de uso para la validación de áreas mínimas cartografiables* 36

Figura 4 *Diagrama de actividad CU-01* 38

Figura 5 *Diagrama de clases.* 40

Figura 6 *Diagrama de secuencia CU-01.* 41

Figura 8 *Diagrama de paquetes por clase.* 42

Figura 9 *Diagrama de componentes* 43

Figura 10 *Diagrama de despliegue* 44

Figura 11 *Incorporación de GEO-AMC en la barra de herramientas de Qgis* 46

Figura 12 *Interfaz GEO-AMC* 47

Figura 13 *Filtro de capas vectoriales poligonales* 48

Figura 14 *Valor para evaluar según la normativa* 49

Figura 15 *Inconsistencia durante la ejecución (Parámetros incompletos)* 50

Figura 16 *Barra de progreso* 51

Figura 17 *Resultado de validación de inconsistencias* 52

Figura 18 *Diagrama de cajas y bigotes sobre el promedio de minutos utilizado para el proceso de validación de AMC* 56

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1 *Resoluciones del IGAC relacionadas con las especificaciones técnicas de la cartografía básica oficial en Colombia* 23

Tabla 2 *Tamaños mínimos por escala* 25

Tabla 3 *Requerimientos funcionales* 34

Tabla 4 *Requerimientos no funcionales para Geo-AMC* 35

Tabla 5 *Tamaños mínimos por escala*..... 39

Tabla 6 *Preguntas realizadas en el proceso de validación* 53

Tabla 7 *Resultados obtenidos en la fase de validación* 54

Lista de abreviaturas

Abreviaturas

Abreviatura	Término
AMC	Áreas Mínimas Cartografiables
IGAC	Instituto Geografico Agustin Codazzi

1. Planteamiento del problema de investigación y su justificación

El capítulo presente establece el marco contextual del desarrollo del proyecto, se inicia con la descripción del área problemática, identificando las necesidades y su posible solución. Se expone el contexto de producción cartográfica en Colombia y los problemas que rodean a la revisión de calidad de estos productos. También se da a conocer la justificación del proyecto, basado en la importancia de desarrollar un aplicativo que valide las áreas mínimas para cada escala cartográfica.

1.1 Descripción del área problemática

En los procesos de elaboración, edición y revisión cartográfica desarrollados en Colombia, uno de los retos técnicos fundamentales consiste en garantizar el cumplimiento de la normativa técnica definida por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), en especial la relacionada con la aplicación del criterio de AMC de acuerdo con la escala utilizada, actualmente este proceso se lleva a cabo mediante revisiones visuales, cálculos manuales o validaciones apoyadas en herramientas disponibles en los software de SIG, que no siempre están alineados con la normativa nacional vigente, lo que genera gran cantidad de tiempo y una fuerte dependencia del criterio profesional del revisor lo que incrementa la posibilidad de errores, interpretaciones diferentes y resultados inconsistentes en cada uno de los procesos de control de calidad cartográfica.

Esta problemática se ve reflejada en el personal responsable de la validación cartográfica, que se encarga de la revisión y aprobación de productos cartográficos oficiales, así como en entidades que participen en la producción cartográfica nacional. En este proceso, los equipos técnicos ejecutan procedimientos de validación que son complejos, repetitivos y dependientes de la correcta interpretación y aplicación de la normativa nacional vigente definida por el IGAC, siendo este un aspecto importante en la aprobación final de los productos. Para esto se deben destinar mayores recursos humanos y tiempos de revisión de aproximadamente 2 horas por capa, en función de estos criterios que podrían llegar a ser validados automáticamente, afectando la eficiencia de los procedimientos de control de calidad cartográfica.

En los entornos de validación cartográfica es habitual que durante la identificación de elementos no conformes con el AMC se generen observaciones reiterativas, retrasos en los tiempos de entrega y aprobación de los productos debido al hecho de que las validaciones suelen ser realizadas por distintos revisores, lo que implica que una validación puede diferir de otra, identificando nuevas inconsistencias. Adicionalmente, la falta de automatización y estandarización de este proceso incrementa la carga operativa del control de calidad, afectando la eficiencia del proceso y la aplicación uniforme de los criterios técnicos establecidos por la normativa nacional.

1.2 Formulación del problema

La validación de productos cartográficos es una etapa fundamental en los procesos de producción y control de calidad de la información geográfica, ya que permite verificar que los

datos generados cumplan con los estándares técnicos y normativos establecidos para su representación y uso en diferentes aplicaciones territoriales. Entre estos criterios técnicos se encuentra el concepto de área mínima cartografiable, que define el tamaño mínimo que debe tener un elemento geográfico para ser representado en un producto cartográfico de acuerdo a la escala utilizada, garantizando la legibilidad, consistencia y calidad del producto final.

El Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), como autoridad cartográfica nacional, fija por medio de la Resolución No. 471 DE 2020 las especificaciones técnicas que deben cumplir los productos de cartografía básica oficial, incluyendo los criterios sobre las áreas mínimas cartografiables según la escala del producto. Estos lineamientos son fundamentales para garantizar la uniformidad de la cartografía producida en el país y permitir su uso en procesos de planificación territorial, gestión ambiental, catastro multipropósito y toma de decisiones gubernamentales.

Sin embargo, en los procesos de elaboración, edición y revisión cartográfica, la verificación del cumplimiento de estos criterios suele realizarse mediante revisiones visuales, lo que implica dependencia del criterio técnico del revisor, lo que puede generar inconsistencias en la interpretación de la normativa, incrementando la posibilidad de errores, reprocesos y diferencias en los resultados obtenidos durante los procesos de control de calidad cartográfica.

Esta situación afecta tanto a las entidades encargadas de la validación de productos cartográficos oficiales como a las empresas consultoras y contratistas que son responsables de la producción de información geográfica. En estos escenarios, los equipos técnicos deben realizar procedimientos de validación que resultan repetitivos, demandantes en tiempo y dependientes de la interpretación de la normativa vigente. Como consecuencia, es habitual que en las revisiones

se detecten elementos que no cumplen el criterio de AMC, generando observaciones reiterativas, reprocesos en la información cartográfica y retrasos en los tiempos de entrega y aprobación de los productos.

Adicionalmente, los procesos de validación pueden mostrar resultados diferentes cuando son llevados a cabo por distintos revisores, ya que pueden interpretar los criterios técnicos de manera diferente. Por ejemplo, en esta validación, un revisor puede aplicar de manera estricta el umbral definido, clasificando como no conformes los polígonos que se encuentren por fuera; mientras que otro revisor puede considerar la posición espacial de estos polígonos y decidir si es importante conservarlos. Esta diferencia en la interpretación genera inconsistencias en los productos, como la cantidad de entidades, diferencia de área total de cada cobertura. La falta de herramientas que permitan automatizar y estandarizar la verificación de las AMC incrementa la carga operativa de los procesos de control de calidad y dificulta la aplicación uniforme de la normativa cartográfica nacional.

En este contexto, es necesario desarrollar herramientas tecnológicas que permitan automatizar la verificación del criterio de áreas mínimas cartografiables dentro de los procesos de validación cartográfica. La implementación de soluciones basadas en software SIG, como plugins especializados, podría facilitar la identificación automática de elementos que no cumplen con los valores mínimos establecidos por la normativa, optimizando los tiempos de revisión, reduciendo los reprocesos y promoviendo una aplicación más uniforme de los estándares técnicos definidos por el IGAC.

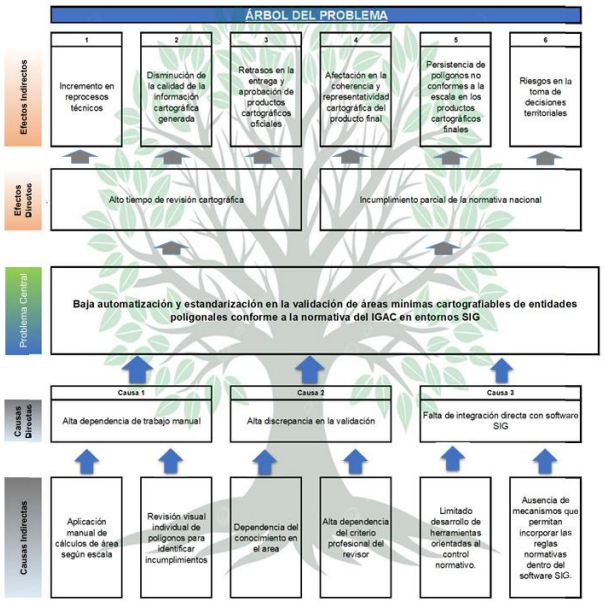
Por lo tanto, se plantea el desarrollo de un plugin para el software QGIS que permita automatizar la validación del criterio de áreas mínimas cartografiables a partir de la selección de la capa a evaluar y la escala del producto cartográfico, realizando de manera automática los cálculos correspondientes y comparándolos con los valores definidos en la normativa vigente. De esta manera, la herramienta podría integrarse al flujo de trabajo habitual de los revisores cartográficos y ser utilizada tanto en las etapas de producción como en los procesos de validación, contribuyendo a mejorar la eficiencia y estandarización del control de calidad cartográfica.

¿Cómo el desarrollo de un plugin en QGIS para la validación del criterio de áreas mínimas en entidades poligonales impacta la reducción de la subjetividad, los reprocesos y los

tiempos de revisión en los procesos de control de calidad cartográfica, conforme a la normativa vigente del IGAC?

Figura 1

Árbol de problemas



Fuente: Elaboración propia.

1.3 Justificación

El presente proyecto nace de la necesidad de aplicar los conocimientos técnicos y normativos adquiridos en el campo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para resolver un problema operativo real en la cartografía nacional. Tal como se describió anteriormente, el hecho de que la revisión de áreas mínimas no esté automatizada convierte este proceso en una tarea tediosa, lenta y de alta dependencia manual. Ante la ausencia de una herramienta que permita realizar esta validación de manera rápida, se propone la implementación de GEO-AMC. Este plugin, integrado a QGIS, actúa como un asistente técnico que automatiza la

consulta de las tablas normativas del IGAC y ejecuta el cálculo de áreas de forma sistemática. Al integrar esta función en el flujo de trabajo diario, transformamos un proceso manual en uno ágil y estandarizado, asegurando que los productos geográficos cumplan con el mismo rigor técnico de manera precisa.

- **Interés y motivaciones:** El desarrollo del plugin surge de la aplicación de los conocimientos adquiridos en el área de ingeniería de software para resolver un problema presentado en los procesos de control de calidad cartográfica en Colombia. Fue consecuencia, de la necesidad de optimizar la verificación del cumplimiento del criterio de área mínima cartografiable definido en la normativa técnica nacional expedida por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, cuyo cumplimiento es fundamental para garantizar la coherencia, legibilidad y calidad de los productos cartográficos oficiales. El objetivo fundamental radica en encontrar un proceso técnico que actualmente se lleva a cabo de forma manual o a través de procedimientos parciales en los flujos de trabajo cartográficos. Esta actividad genera una dependencia del criterio individual del revisor, así como un aumento de los tiempos de revisión y la probabilidad de inconsistencias en los resultados. De ahí la importancia de desarrollar una herramienta tecnológica que automatice este procedimiento y ayude a estandarizar los procesos de validación cartográfica.
- **Utilidad:** El plugin propuesto ayudará a reducir el tiempo empleado en los procesos de revisión cartográfica, así como la probabilidad de errores humanos asociados a la interpretación de la normativa técnica. Una de sus principales ventajas es que permite analizar todas las entidades de una capa vectorial, lo que permite una revisión integral de la información cartográfica y evita procesos de muestreo parcial. Asimismo, el plugin fortalece la calidad de la información geográfica producida en Colombia, promoviendo el uso de

herramientas tecnológicas para la aplicación de criterios técnicos establecidos en la normativa nacional. Esto significa productos cartográficos más confiables, consistentes y adecuados para procesos de planificación territorial, gestión de recursos naturales, catastro multipropósito y apoyo en la toma de decisiones tanto en el sector público como privado.

- **Novedad del problema o temática de investigación:** La novedad radica en el desarrollo de una herramienta especializada para la automatización del proceso de validación del criterio de AMC. Si bien existen herramientas dentro del software SIG que permiten calcular áreas o realizar consultas espaciales, actualmente no se cuenta con soluciones específicas que integren los parámetros normativos definidos para la cartografía oficial colombiana y permitan verificar su cumplimiento.

  Tiene una relevancia significativa en el contexto de la especialización en sistemas de información geográfica, permitiendo aplicar los conocimientos adquiridos en ingeniería de software, análisis y diseño de interfaces, análisis espacial. El desarrollo del plugin propuesto constituye un ejercicio que integra componentes teóricos y prácticos, fortaleciendo la automatización de procesos, el uso de software SIG y la resolución de problemas en el ámbito profesional, este puede ser tomado como referencia de futuros desarrollos similares dentro del área; de esta forma se contribuye al fortalecimiento de las líneas de investigación institucionales que tengan relación con las tecnologías geoespaciales, promoviendo la transferencia de conocimiento y la generación de soluciones orientadas a necesidades del sector productivo y gubernamental.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Desarrollar un plugin para automatizar el proceso de validación de áreas mínimas de entidades poligonales.

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar herramientas de validación, flujos de trabajo y reglas normativas aplicadas a la revisión de áreas mínimas poligonales en procesos de control de calidad cartográfica.
- Construir el diseño arquitectónico y la interfaz gráfica del plugin de validación en el entorno de desarrollo de QGIS integrando los parámetros de la norma.
- Evaluar el desempeño y la usabilidad del plugin.

3. Antecedentes

En el contexto de la cartografía y los sistemas de información geográfica, se han desarrollado diferentes investigaciones que abordan la problemática asociada a la validación de datos geográficos y la necesidad de automatizar los criterios técnicos, como parte de los procesos de control de calidad cartográfica (Peña Rojas, 2017).

Bajo esta línea, destaca el trabajo de (Peña Rojas, 2017), titulado “desarrollo de una herramienta para el control de calidad de la información cartográfica catastral digital del IGAC”, el cual se centra en la optimización de los procesos de revisión técnica dentro del Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Durante su investigación, Peña Rojas identificó que los métodos tradicionales de validación manual resultaban insuficientes para gestionar el volumen de datos catastrales digitales, por lo que propuso el diseño de herramientas automatizadas que permitieran detectar inconsistencias geométricas de manera sistemática, reduciendo significativamente el margen de error humano en la aprobación de productos oficiales.

De manera similar, el proyecto de (Sanchez Diaz & Muñoz, 2017) titulado “plugin QGIS para validar redes de drenaje de alcantarillado”, explora la capacidad de extensibilidad del software QGIS para la verificación de infraestructuras complejas. En este estudio, los autores desarrollaron un complemento capaz de evaluar reglas topológicas y de conectividad de forma automática. Sus conclusiones resaltan que la implementación de este tipo de herramientas no solo estandariza los criterios de revisión técnica, sino que optimiza los tiempos de respuesta de los equipos de ingeniería al eliminar la subjetividad en la fase de control de calidad.

Asimismo, la investigación de (Vargas Mutis & Molano Villamarin, 2025), denominada "automatización de validaciones cartográficas basadas en normas ISO", se enfoca en la integración de estándares internacionales dentro de los flujos de trabajo de producción cartográfica. Vargas y Molano analizaron cómo la codificación de requisitos normativos en algoritmos de validación permite asegurar que la información espacial cumpla con parámetros de calidad rigurosos y reproducibles. El estudio enfatiza que la automatización basada en normas ISO eleva la fiabilidad de los productos geográficos, facilitando su intercambio y uso en proyectos de planificación de gran escala.

En el ámbito internacional, resulta relevante el estudio de (Wang, Shang, Liu, & Wu, 2013), orientado a "asegurar la calidad de los datos cartográficos (mapas topográficos a escala 1:50.000) en un proyecto nacional de china". En este trabajo, los autores evaluaron los protocolos de inspección para bases de datos topográficas masivas, identificando que la validación técnica exhaustiva es el factor determinante para la consistencia de la infraestructura de datos espaciales de un país. La investigación aporta una metodología clara sobre cómo la revisión sistemática de atributos y geometrías previene la propagación de errores en los análisis territoriales derivados de la cartografía básica.

Finalmente, el aporte técnico de (Dobias, 2026), denominado "primeros auxilios, la herramienta imprescindible para los desarrolladores de plugins de python", se centra en la resolución de problemas críticos durante la fase de depuración y el manejo de excepciones en el entorno de programación de QGIS. Dobias exploró cómo la integración de herramientas de diagnóstico permite a los desarrolladores de complementos identificar y corregir errores de ejecución de manera eficiente, optimizando la calidad técnica y la estabilidad del software final. La investigación resalta la importancia de implementar esquemas de manejo de errores robustos

que aseguren que el procesamiento de geometrías y la ejecución de algoritmos se realicen de forma continua y confiable bajo los estándares de la API de Python.

La eficacia demostrada por los antecedentes en el desarrollo de complementos dentro del ecosistema de QGIS constituye el principal factor de motivación para la implementación de este software en el proyecto. El impacto de estas experiencias previas influye directamente en la elección de PyQGIS como el medio de automatización, al confirmar que es una plataforma capaz de procesar reglas complejas con resultados exitosos. Al integrar estas lecciones técnicas con el marco normativo del IGAC, el proyecto asegura una transición sólida hacia la validación sistemática, lo que permite reducir la discrecionalidad del revisor y fortalecer la integridad técnica de la cartografía. Así, los antecedentes no solo validan la viabilidad de la herramienta, sino que proporcionan el sustento metodológico para garantizar que el plugin planteado en este documento sea una solución robusta y alineada con los estándares de calidad nacional.

4. Referente normativo y legal

La gestión de la información cartográfica en el territorio nacional se encuentra regulada por un marco normativo que vincula la calidad del dato con la seguridad jurídica y la planificación del Estado. En este contexto, el Documento CONPES 3585 define la Política Nacional de Información Geográfica, estableciendo que el dato geoespacial es un insumo estratégico y un bien público esencial para el desarrollo del país (Departamento Nacional de Planeación, 2009). Esta política resalta que la estandarización y la calidad técnica son condiciones indispensables para el intercambio eficiente de información, sentando las bases para la exigencia de rigor en cada producto generado por las entidades oficiales.

Bajo este lineamiento, la Resolución No. 471 de 2020 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2020) dicta las especificaciones técnicas para la producción de cartografía básica oficial en Colombia. Esta disposición es determinante para el objeto de estudio de esta investigación, ya que define de manera taxativa los parámetros de consistencia lógica que deben cumplir los elementos geográficos, incluyendo el criterio de áreas mínimas cartografiables según la escala de representación. El incumplimiento de estos umbrales constituye una falta técnica que invalida la oficialidad del dato, lo que justifica la necesidad de implementar mecanismos de control precisos.

De igual forma, la Resolución No. 529 de 2020 adopta el Manual de Producción Cartográfica, el cual reglamenta los procesos obligatorios de validación y certificación de los productos antes de su oficialización. Este manual otorga el sustento legal a la implementación de

herramientas de automatización como GEO-AMC, puesto que la certificación oficial depende de una verificación sistemática que garantice la ausencia de inconsistencias geométricas que afecten la integridad de la base vectorial. Asimismo, la Guía para la Evaluación de Calidad proporciona la ruta metodológica para ejecutar dichos controles, reconociendo la complejidad de la validación técnica en entornos de producción masiva (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2022).

Como base técnica fundamental de este sustento, el Catálogo de Objetos y Representación Cartográfica del IGAC proporciona las reglas y los estándares métricos exactos para la simbolización y generalización de los elementos del territorio (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2023). Es en este documento donde se consolidan las tablas de valores para áreas mínimas que sirven como parámetro de entrada esencial para el plugin desarrollado. Su aplicación asegura que la identificación de entidades no conformes se realice bajo los criterios de normatividad y coherencia visual exigidos por la autoridad cartográfica nacional, garantizando que el producto final sea técnicamente apto para la gestión del territorio y la toma de decisiones. En este marco normativo, Tabla 1 presenta un resumen de las principales resoluciones del IGAC relacionadas con las especificaciones técnicas de la cartografía básica oficial en Colombia. Como base técnica fundamental de este sustento, el Catálogo de Objetos y Representación Cartográfica del IGAC proporciona las reglas y los estándares métricos exactos para la simbolización y generalización de los elementos del territorio (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2023). Es en este documento donde se consolidan las tablas de valores para áreas mínimas que sirven como parámetro de entrada esencial para el plugin desarrollado. Su aplicación asegura que la

identificación de entidades no conformes se realice bajo los criterios de normatividad y coherencia visual exigidos por la autoridad cartográfica nacional, garantizando que el producto final sea técnicamente apto para la gestión del territorio y la toma de decisiones. En este marco normativo, la Tabla 1 presenta un resumen de las principales resoluciones del IGAC relacionadas con las especificaciones técnicas de la cartografía básica oficial en Colombia.

Tabla 1

Resoluciones del IGAC relacionadas con las especificaciones técnicas de la cartografía básica oficial en Colombia

Año	Resolución	Descripción
2020	471	"Por medio de la cual se establecen las especificaciones técnicas mínimas que deben tener los productos de la cartografía básica oficial de Colombia." (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2020)
2020	529	"Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 471 de 2020." (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2020) Modifica la Resolución 471 de 2020
2022	197	"Por medio de la cual se establecen las especificaciones técnicas mínimas que deben tener los productos de la cartografía básica oficial de Colombia." (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2022) Ajusta y complementa la Resolución 471 de 2020

2020	388	"Por la cual se establecen las especificaciones técnicas para la formación, actualización y conservación del catastro multipropósito." (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2020)
2020	509	"Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 388 de 2020." (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2020)
2022	679	"Por la cual se establecen las especificaciones técnicas para los productos de información generados por los procesos de formación y actualización catastral con enfoque multipropósito." (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2020)

Nota. Elaboración propia a partir de las Resoluciones del IGAC (2020–2022).

5. Referente teórico

El Instituto Geográfico Agustín Codazzi (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2023), a través del Catálogo de Objetos y Representación Cartográfica, establece las directrices técnicas que rigen la estructuración de la información geoespacial en Colombia. Este documento define las reglas de negocio para la captura y clasificación de datos, asegurando que la representación del territorio sea coherente con la realidad física y normativa. Un pilar fundamental de este catálogo es el concepto de Área Mínima Cartografiable (AMC), el cual determina el tamaño límite para que un objeto sea capturado como un polígono independiente según la escala de

trabajo. Estos parámetros técnicos se encuentran estandarizados para cada grupo de objetos, como se puede ver en la Tabla 2.

Tabla 2

Tamaños mínimos por escala

GRUPO CARTOGRAFÍA BÁSICA	OBJETO	CÓDIGO	REPRESENTACIÓN													
			ESCALA DE CAPTURA						TAMAÑO		EQUIVALENCIA TAMAÑO MÍNIMO POR ESCALA EN METROS (M) O METROS CUADRADOS (M²)					
			1K	2K	5K	10K	25K	50k	Long. mm	Área mm2	1K	2K	5K	10K	25K	50k
1000 - Geodesia	Marco de referencia terrestre	1001	x	x	x	x	x	x								
2000 - Vivienda, ciudad y territorio	Construcción P	2001	x	x	x	x	x	x								
	Construcción R	2001	x	x	x	x	x	x		2,25	2,25	9	56,25	225	1406,25	5625
	Cerca	2002	x	x	x	x	x	x	10		10	20	50	100	250	500
	Muro	2003	x	x	x	x	x	x	3		3	6	15	30	75	150
	Zona dura	2004														
	Recreación y deporte	20040201	x	x	x	x				2,25	2,25	9	56,25	225		
	Pista de aterrizaje	20040202	x	x	x	x	x	x		2,25	2,25	9	56,25	225	1406,25	5625
	Zona de parqueo	20040203	x	x	x	x				2,25	2,25	9	56,25	225		
	Otra	20040204	x	x	x	x	x	x		2,25	2,25	9	56,25	225	1406,25	5625
	Piscina - ancho	2005	x	x	x	x			0,5		0,5	1	2,5	5		
	Línea de demarcación	2006	x	x	x	x	x	x	1		1	2	5	10	12,5	50
	Terraplén	2007	x	x	x	x	x	x	3		3	6	15	30	75	150
	Banco de arena	2008	x	x	x	x				4	4	16	100	400		
3000 - Transporte	Vía	3001	x	x	x	x	x	x	7		7	14	35	70	175	350
	Puente P	3002	x	x	x	x	x	x								
	Puente L	3002	x	x	x	x	x	x	3		3	6	15	30	75	150
	Túnel	3003	x	x	x	x	x	x								
	Vía férrea	3004	x	x	x	x	x	x	7		7	14	35	70	175	350
	Límite vía - ancho	3005	x	x	x	x	x		1		1	2	5	10	25	
	Separador vial	3006	x	x	x	x			7		7	14	35	70		
	Ciclorruta	3007	x	x					7		7	14				
	Teleférico	3008	x	x	x	x	x		7		7	14	35	70	175	
	Embarcadero	3009	x	x	x	x	x	x								
4000 - Hidrografía	Drenaje L	4001	x	x	x	x	x	x	10		10	20	50	100	250	500
	Drenaje R - ancho	4001	x	x	x	x	x	x	0,5		0,5	1	2,5	5	12,5	25
	Depósito de agua P	4002	x	x	x	x	x	x								
	Depósito de agua R	4002	x	x	x	x	x	x		2,25	2,25	9	56,25	225	1406,25	5625
	Pantano	40020205	x	x	x	x	x	x		6,25	6,25	25	156,25	625	3906,25	15625
	Manglar	4003	x	x	x	x	x	x		2,25	2,25	9	56,25	225	1406,25	5625
	Isla	4004	x	x	x	x	x	x		2,25	2,25	9	56,25	225	1406,25	5625
	Humedal	4005	x	x	x	x	x	x		6,25	6,25	25	156,25	625	3906,25	15625
	Línea costera	4006	x	x	x	x	x	x								
5000 - Cobertura de la tierra	Bosque	5001	x	x	x	x	x	x		6,25	6,25	25	156,25	625	3906,25	15625
	Áreas de extracción	5002	x	x	x	x	x	x		2,25	2,25	9	56,25	225	1406,25	5625
	Zona verde	5003	x	x	x	x				2,25	2,25	9	56,25	225		
6000 - Elevación	Curva de nivel	6001	x	x	x	x	x	x								
	Línea de demarcación de terreno	6002	x	x	x	x	x	x								
8000 - Infraestructura de servicios	Red de alta tensión	8001	x	x	x	x	x	x								
	Punto de distribución	8002														
	Antena	80020201	x	x	x											
	Torre de energía	80020202	x	x	x	x	x	x								
	Poste	80020203	x	x												
	Tapa de servicios públicos	8003	x	x												
	Pozo	8004	x	x	x	x	x	x								
	Tubería	8005	x	x	x	x	x	x	7		7	14	35	70	175	350
9000 - Nombres geográficos	Nombre geográfico	9001	x	x	x	x	x	x								

Nota. Tabla de tamaños mínimos por escala del Catálogo de Objetos y Representación Cartográfica *(Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2023)*.

De acuerdo con Franco y Valdez (Maass & Valdez Pérez, 2003), la definición de estos umbrales es parte esencial del proceso de generalización cartográfica, donde se simplifica la complejidad del mundo real para mantener la legibilidad de los mapas. Si un objeto no cumple con el AMC, debe ser sometido a procesos de eliminación, fusión o agregación. La ausencia de un control riguroso sobre estos límites genera lo que (Maass & Valdez Pérez, 2003) describe como ruido visual y degradación de la precisión temática, afectando la utilidad del producto final para análisis espaciales.

Para garantizar la calidad de estos productos, se deben identificar y corregir diversas no conformidades o inconsistencias geométricas y lógicas. Basándose en los estándares de producción (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2020) y la teoría de validación de datos, estas se categorizan de la siguiente manera:

- Inconsistencias por Superficie No Normativa: Ocurren cuando existen polígonos con áreas inferiores a los mínimos establecidos en el Catálogo de Objetos y Representación Cartográfica (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2023) para una escala dada. Estas fallas comprometen la estandarización y dificultan procesos posteriores de análisis masivo.
- Inconsistencias de Consistencia Lógica: Se refieren al incumplimiento de las reglas de relación entre objetos. Según el IGAC (2021), un dato con alta consistencia lógica es aquel que respeta la estructura jerárquica y topológica definida en el modelo de datos nacional.

- Inconsistencias de Atribución y Escala: Surgen cuando la representación gráfica no guarda relación con la magnitud real del fenómeno capturado, lo que genera errores en el cálculo de indicadores de gestión territorial y estadísticas oficiales.

Finalmente, la resolución de estas inconsistencias se apoya en la extensibilidad de los Sistemas de Información Geográfica. Como lo señala la documentación de la Comunidad de desarrolladores de QGIS (QGIS, 2025), el uso de la API de PyQGIS permite automatizar la detección de estos errores mediante algoritmos de validación geométrica que operan directamente sobre el motor de datos. Esta capacidad técnica permite transformar las reglas abstractas del Catálogo de Objetos en procesos operativos de control de calidad, asegurando que la cartografía oficial sea un insumo confiable para la seguridad jurídica y la planificación del país.

La integración de estos referentes teóricos influye directamente en la viabilidad y estructura técnica del proyecto. Por una parte, el Catálogo de Objetos y Representación Cartográfica del IGAC constituye la base fundamental para la parametrización de las áreas mínimas cartografiables, permitiendo que el algoritmo responda con precisión a las reglas de negocio institucionales. Por otra parte, la disponibilidad de herramientas y el soporte técnico dentro del ecosistema de QGIS generan un impacto determinante en la funcionalidad del software; esto asegura que el plugin cuente con el respaldo necesario para adaptarse a los requerimientos técnicos que surjan durante el desarrollo. De este modo, el marco teórico no solo sustenta el concepto, sino que define la capacidad operativa y la confiabilidad del plugin propuesto como una solución técnica.

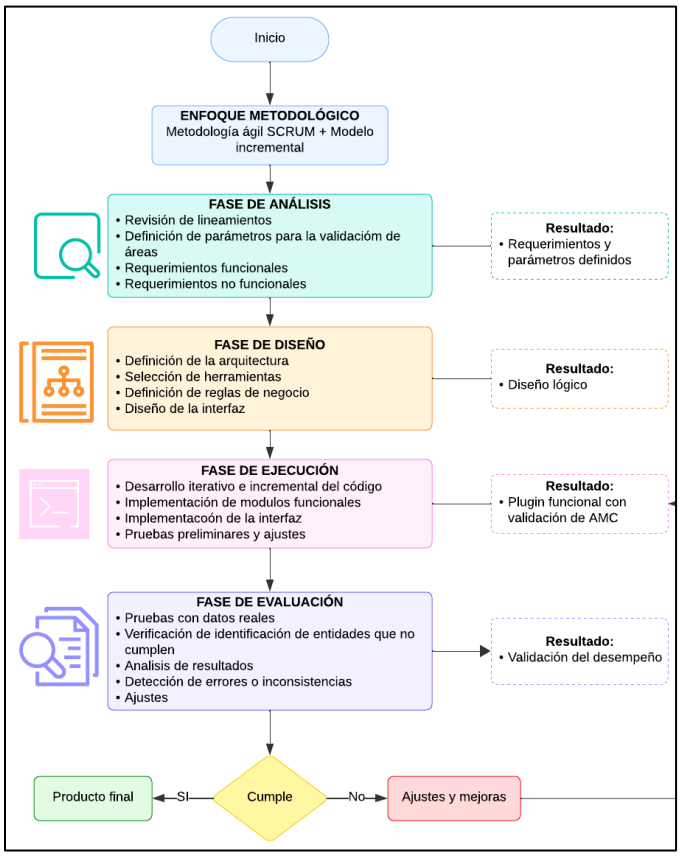
6. Metodología

Se optó por emplear un enfoque ágil de desarrollo de software, basado en la metodología Scrum, debido a que permite implementar funcionalidades de manera modular (parámetros, validación, resultado) y se ajusta a las características del proyecto, considerando su alcance y tiempo de ejecución. Scrum organiza el trabajo en ciclos denominados sprints (Hernández Salazar & Beltrán, 2020) , lo que facilita la entrega continua de incrementos funcionales, la validación temprana de resultados y la incorporación de mejoras durante el proceso de desarrollo.

Adicionalmente, se empleo un modelo incremental que permitió construir el plugin de forma progresiva, integrando nuevas funcionalidades en cada iteración y verificando su correcto funcionamiento antes de avanzar a la siguiente etapa. Este enfoque contribuyo a reducir riesgos, mejorar la calidad del software y asegurar la estabilidad del producto final.

Figura 2

Diagrama metodológico



Fuente: Elaboración propia.

6.1 Enfoque metodológico

El desarrollo se orienta hacia un enfoque cuantitativo, orientado a la validación de áreas mínimas cartografiables, lo que implica cálculo, comparación y análisis de valores asociados al área de la geometría poligonal, para lo cual se basa en operaciones matemáticas que ayudan a determinar si los elementos cumplen con los umbrales definidos según los criterios de la normativa.

Los elementos cualitativos están incluidos, en particular, en la interpretación de los criterios normativos y en el diseño de la lógica de validación, lo cual permite contextualizar los resultados en el ámbito de la cartografía, en este sentido, puede considerarse que se trata de un enfoque mixto, predominantemente cuantitativo.

6.2 Tipo de estudio

El estudio es de tipo aplicado porque orienta la solución del problema específico en el área de la cartografía, que consiste en la validación de áreas mínimas cartografiables a través del desarrollo del plugin, con el objetivo de generar una herramienta funcional que sea usada en procesos reales de producción y control de calidad. Por otro lado, es descriptivo porque se enfoca en caracterizar y analizar el comportamiento de las geometrías en función de criterios definidos mediante la medición de áreas y verificación del cumplimiento frente a los umbrales definidos, así mismo describe el proceso de implementación del plugin, incluyendo sus módulos, lógica de validación y resultados generados.

6.3 Procedimiento

El procedimiento metodológico se estructuró para ser desarrollado en cuatro fases orientadas al correcto desarrollo de este; las fases se nombran a continuación.

6.3.1 Fase de análisis

En esta fase se definieron y estructuraron los requerimientos del plugin, y se establecieron las condiciones para validar áreas mínimas cartografiables. Así, se revisaron los lineamientos cartográficos y los criterios técnicos, con el objetivo de precisar los parámetros requeridos para la validación.

También se han establecido los requerimientos funcionales del sistema, entre los que se encuentran la carga de capas vectoriales, cálculo de áreas y detección de entidades que no cumplen con los umbrales establecidos. También se definieron requerimientos no funcionales de usabilidad y rendimiento para el plugin.

6.3.2 Fase de diseño

Esta fase se orientó a la estructuración lógica y funcional del plugin, definiendo el flujo de procesamiento de la información geoespacial. Se analizaron alternativas técnicas para la implementación en entorno QGIS, incluyendo el uso de librerías de PyQGIS para el manejo de geometrías, también se diseñó la arquitectura del sistema, estableciendo la secuencia de procesos para el cálculo de áreas y la validación de criterios. Se definieron las reglas de negocio asociadas a los umbrales cartográficos y se planteó el diseño de la interfaz gráfica del plugin, orientada a facilitar la selección de capas, la definición de parámetros y la visualización de resultados.

6.3.3 Fase de ejecución

En esta etapa se trabajó en el desarrollo iterativo e incremental del código del plugin, integrando los elementos definidos en las etapas anteriores mediante pruebas experimentales en QGIS, para identificar funciones y métodos adecuados para el cálculo de áreas y la manipulación de geometrías. El desarrollo se organizó en módulos funcionales para el cálculo de las superficies de entidades espaciales, para la evaluación del cumplimiento de las áreas mínimas cartografiables y para la generación automatizada de salidas con registros no conformes.

Se implementó la utilización de inteligencia artificial, con el modelo Gemini (Google, 2026), como herramienta de apoyo a la optimización de la lógica algorítmica y la resolución de problemas complejos de programación, bajo la estructura de ingeniería de prompts propuesta por el docente Carlos Infante. El desarrollo de este procedimiento permitió afinar los procesos de codificación a través de la definición de roles técnicos, de los contextos normativos del IGAC, así como de estrategias de razonamiento paso a paso, facilitando la parametrización de los umbrales técnicos y el manejo de excepciones dentro de la API de PyQGIS. Finalmente, se desarrolló la interfaz gráfica del aplicativo y se realizaron pruebas preliminares de funcionamiento, que permitieron ajustar la lógica de validación de forma iterativa, con el fin de garantizar la estabilidad del software de acuerdo con los estándares de calidad y fiabilidad requeridos.

6.3.4 Fase de evaluación

Esta fase se centró en la verificación del cumplimiento de los requerimientos definidos y la validación del desempeño del plugin. Con el fin de realizar esta validación en condiciones reales, se empleó la versión preliminar de revisión de la cabecera municipal de Sopó, Cundinamarca, en escala 1:1000, desarrollada en el año 2025 a partir de datos vectoriales proporcionados por la empresa Cuatro Conceptos S.A.S. Estos conjuntos de datos espaciales permitieron evaluar el comportamiento práctico de la herramienta en condiciones similares a las de uso operativo; se realizaron pruebas de validación para verificar la correcta identificación de entidades que no cumplen con las áreas mínimas cartografiables y, finalmente, se analizaron los resultados obtenidos, identificando posibles errores o inconsistencias, lo que permitió realizar ajustes en el código y mejorar la precisión y confiabilidad del plugin.

7. Resultados

Para conceptualizar el plugin se utilizó el Lenguaje Unificado de Modelado (UML), con el fin de dar estructura, visualizar y documentar los elementos del sistema, así como sus interacciones y comportamiento. Este proceso permitió establecer una base sólida para el desarrollo del plugin en QGIS, asegurando la coherencia entre los requerimientos definidos y la implementación final.

Se levantaron requerimientos funcionales orientados a las capacidades que debe tener el sistema para validar áreas mínimas cartografiables, en concordancia con criterios técnicos y

normativos aplicables a la producción de información geográfica. Estos requisitos pretenden asegurar que las entidades espaciales cumplan los umbrales mínimos establecidos en función de la escala y su finalidad cartográfica, permitiendo mejorar la calidad de los datos.

Por otro lado, los requerimientos no funcionales se orientaron a las condiciones de operación de la herramienta, incluyendo usabilidad, rendimiento y compatibilidad con el entorno de desarrollo. En este caso, se definieron los requerimientos asociados al funcionamiento del plugin dentro de QGIS, así como al uso del lenguaje de programación Python y las librerías de PyQGIS para el procesamiento de geometrías espaciales.

Tabla 3

Requerimientos funcionales

RF-01	El sistema debe permitir la selección de un shapefile (.shp) de entrada como fuente de datos principal.
RF-02	El usuario deberá poder seleccionar la escala de trabajo, la cual determinará el umbral de área mínima a aplicar según la normativa IGAC.
RF-03	El aplicativo debe crear automáticamente un shapefile de salida que contenga únicamente los elementos que no cumplieron con el criterio de área mínima.
RF-04	El sistema debe mantener la estructura original de nombres de las capas de salida para facilitar la identificación de errores.

Nota: Fuente, Elaboración Propia

Tabla 4

Requerimientos no funcionales para Geo-AMC

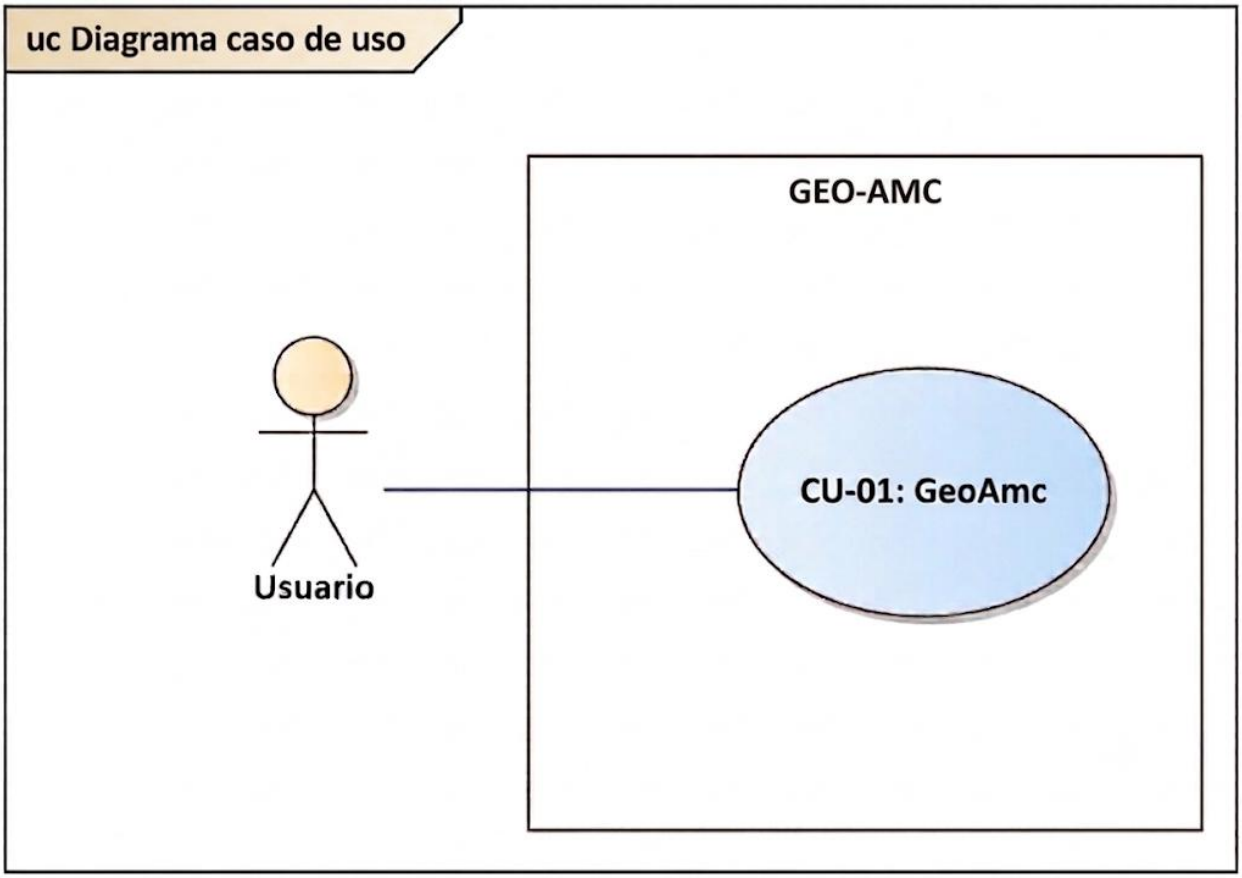
RNF-01	El sistema debe contar con una interfaz intuitiva.
RNF-02	El aplicativo debe integrarse en la barra de herramientas de QGIS, permitiendo acceder a la función de validación masiva en un solo panel.
RNF-03	Todos los componentes de la interfaz deben estar en idioma español.
RNF-04	El sistema debe procesar cada capa de forma independiente, garantizando una ejecución controlada y eficiente en términos de uso de memoria RAM.
RNF-05	El sistema debe ser totalmente operativo en la versión QGIS 3.22 o superior.
RNF-06	El código debe ser desarrollado en lenguaje Python bajo la API de QGIS, asegurando la compatibilidad con el formato de shapefile.
RNF-07	El código debe ser modular y documentado.
RNF-08	Los umbrales de validación aplicados a cada capa deben corresponder estrictamente a los valores oficiales del IGAC según la escala seleccionada por el usuario.
RNF-09	El proceso de selección de elementos no conformes debe ser totalmente automatizado y libre de intervención manual para asegurar la transparencia del control de calidad.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3 se muestra el diagrama de casos de uso asociado a la funcionalidad del plugin; este se centra en las funcionalidades del sistema. Para este caso, se observa que solo cuenta con un actor correspondiente al usuario y una única funcionalidad, que es validar el área mínima cartografiable.

Figura 3

Casos de uso para la validación de áreas mínimas cartografiables



Fuente: Elaboración *propia*

La arquitectura de GEO-AMC se estructuro siguiendo el modelo de vistas 4+1 propuesto por Philippe Kruchten, el cual permite describir el sistema desde las diferentes perspectivas, en este trabajo se emplearon las vistas de proceso, lógica, implementación y física, con el propósito

de representar la organización funcional, estructural y de despliegue del plugin desarrollado, aplicar este modelo permitió mantener la coherencia entre los requerimientos definidos y la implementación.

7.1.1 Vista de proceso

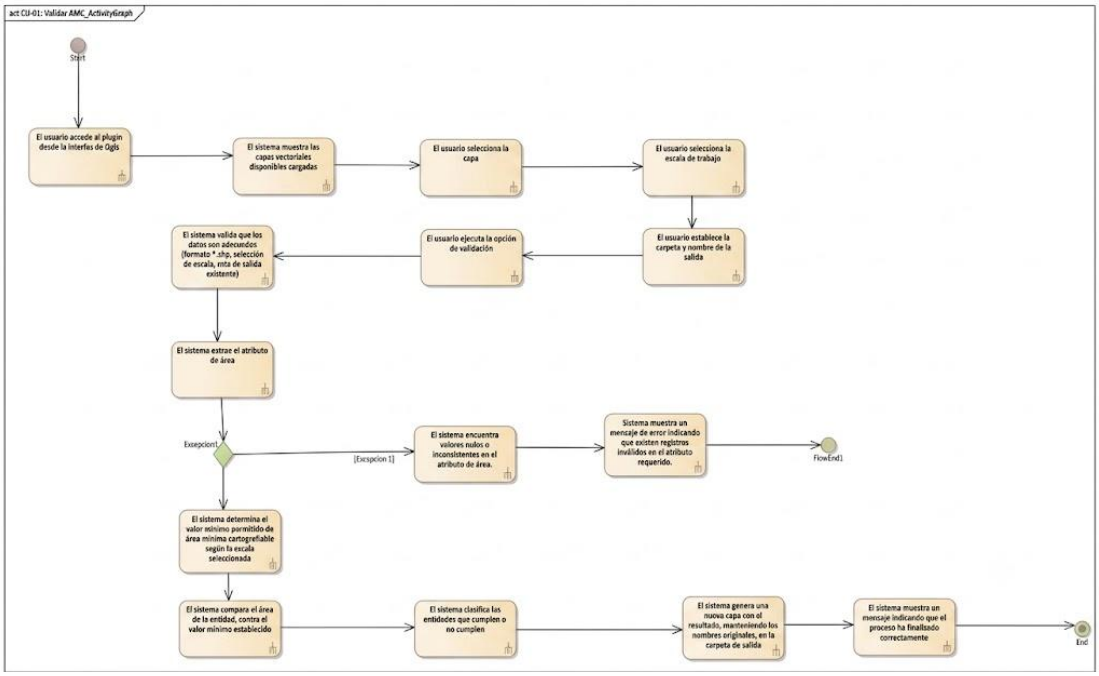
La Vista de proceso describe los aspectos dinámicos, concurrentes y operativos del sistema, centrándose en cómo se ejecutan, sincronizan y coordinan las tareas durante la validación automática de áreas mínimas cartografiables.

7.1.2 Diagrama de actividad CU-01

Este diagrama muestra el flujo principal en el proceso de validar las áreas mínimas cartografiables una vez el usuario hace clic en validar; asimismo se muestran las excepciones que se presentan en los casos donde el flujo sufre una falla.

Figura 4

Diagrama de actividad CU-01



Fuente: Elaboración propia.

7.1.3 Vista lógica

La vista lógica del plugin GEO-AMC tiene como propósito describir la estructura funcional del sistema desde el punto de vista conceptual, definiendo los componentes principales, sus responsabilidades y la forma en que interactúan entre sí para cumplir con la validación automática del criterio de áreas mínimas cartografiables conforme a la normativa

vigente del Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Esta vista permite representar cómo el sistema transforma los datos de entrada en resultados verificables, sin centrarse en aspectos técnicos de implementación o infraestructura, sino en la lógica de funcionamiento del software.

Para materializar este proceso, se definieron parámetros específicos basados en la normativa técnica oficial. La Tabla 5 presenta un extracto de las entidades poligonales y los umbrales de Área Mínima Cartografiable (AMC) que fueron parametrizados en el motor lógico del aplicativo para garantizar la generación de resultados precisos.

Tabla 5

Tamaños mínimos por escala

Objeto	Código	Tamaño (mm o mm²)	1:1.000 (m o m²)	1:10.000 (m o m²)	1:25.000 (m o m²)
Construcción R	2001	2,25	2,25	225	1406,25
Recreación y deporte	20040201	2,25	2,25	225	-
Banco de arena	2008	4	4	400	-
Muro (Longitud)	2003	3	3	30	75

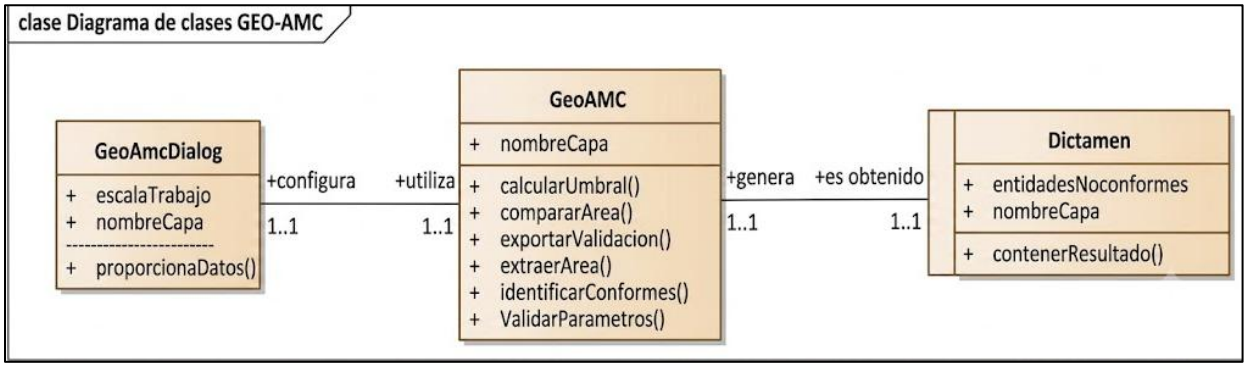
Nota. Adaptado de la Tabla de tamaños mínimos por escala del Catálogo de Objetos y Representación Cartográfica *(Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2023)*.

7.1.3.1 Diagrama de clases

En el diagrama de clases se identificaron tres objetos principales responsables de la interacción y captura de parámetros, el módulo de procesamiento GeoAmc, encargado de ejecutar los algoritmos de extraer área, comparar área, calcular el umbral y finalmente dar el cumplimiento, y una clase dictamen encargada de generar los resultados finales.

Figura 5

Diagrama de clases.



Fuente: Elaboración propia.

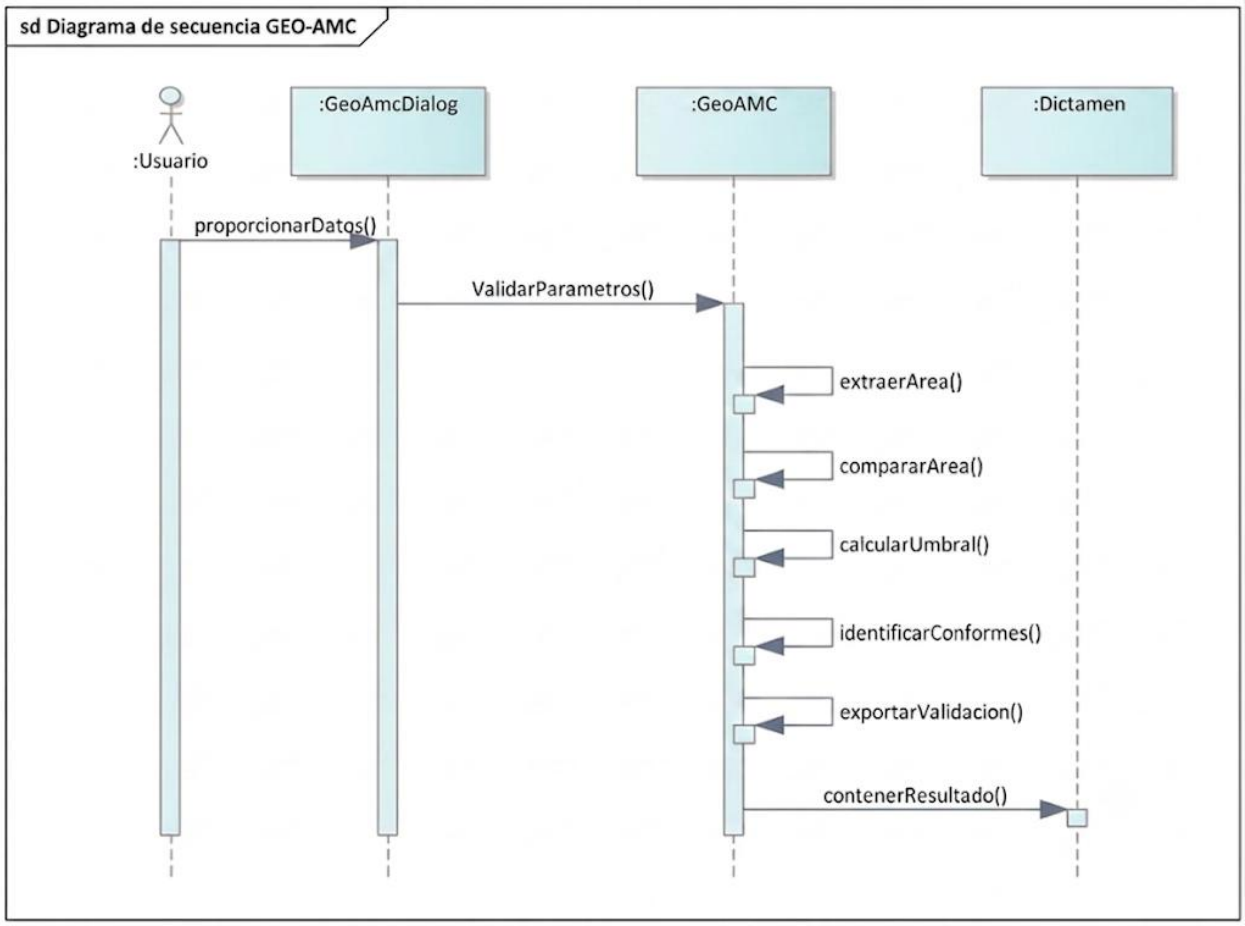
7.1.3.2 Diagrama de secuencias CU-01

El diagrama de secuencia tiene como propósito representar de manera detallada la interacción entre los objetos del sistema a lo largo del tiempo durante la ejecución de un caso de uso específico. Específicamente, este diagrama muestra los objetos y métodos que se desarrollan para validar AMC, teniendo en cuenta los parámetros ingresados por el usuario, así como la capa a validar, estos parámetros los recibe validar AMC quien posteriormente extrae área, compara

áreas, calcula el umbral, identifica conformes y finalmente exporta la validación, esto finalmente es recibido por dictamen quien es el contenedor de resultados.

Figura 6

Diagrama de secuencia CU-01.



Fuente: Elaboración propia.

7.1.4 Vista de implementación

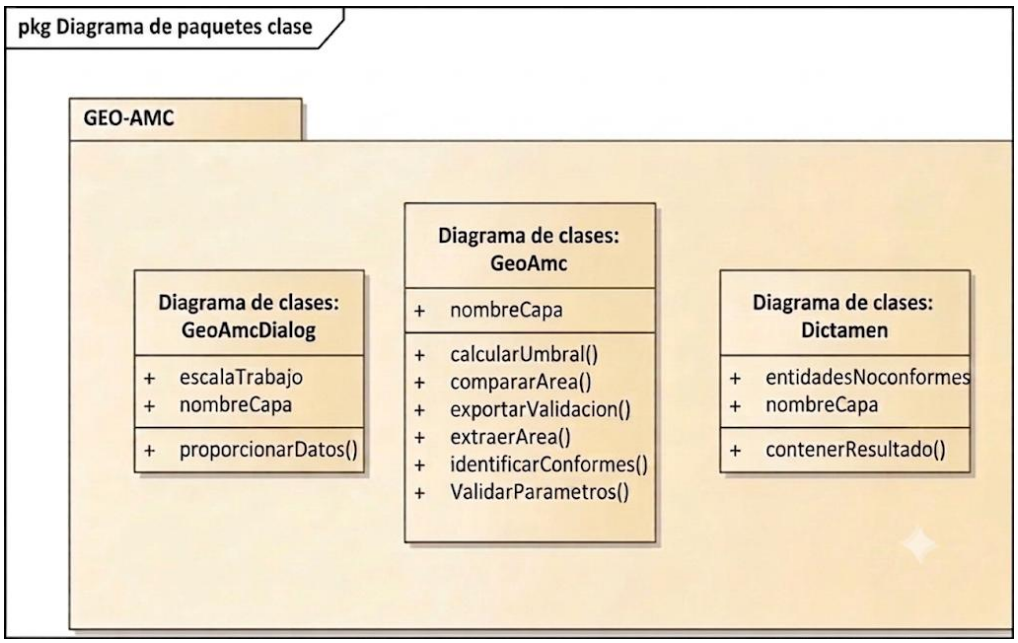
Esta vista tiene como propósito organizar los elementos del modelo en distintos elementos, para hacerlo más comprensible, indicando sus atributos y funciones.

7.1.4.1 Diagrama de paquetes

Este diagrama permite agrupar los casos de uso según la cohesión entre sus elementos, permite identificar herramientas en la navegación del usuario. En el caso del plugin GEO-AMC, se conforma un único paquete que contiene las clases descritas; se evidencia un acoplamiento y cohesión entre ellas, por lo tanto, no es posible separarlas.

Figura 7

Diagrama de paquetes por clase.



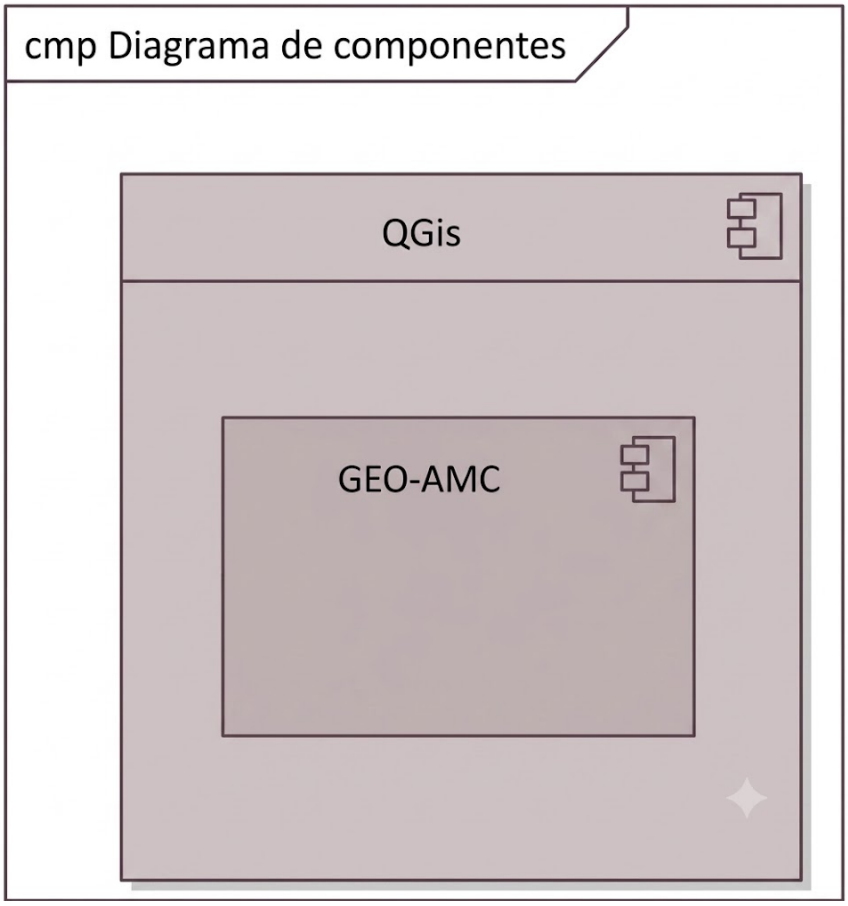
Fuente: Elaboración propia.

7.1.4.2 Diagrama de componentes

El diagrama de componentes muestra un único componente que está centrado en QGIS donde será ejecutado el plugin, haciendo uso de una capa que se carga desde la interfaz del mismo. Asimismo, contenido en este componente se encuentra el plugin de validación, por lo que su funcionalidad se dará desde este.

Figura 8

Diagrama de componentes



Fuente: Elaboración propia.

7.1.5 Vista física

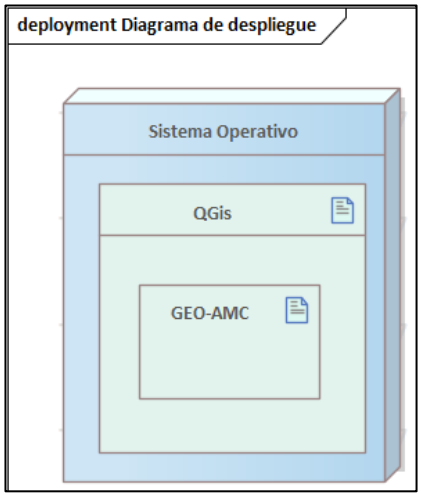
La vista física busca representar la manera como se instala y se ejecuta el software en el mundo real. Para este caso se especifica que QGIS se abre desde el sistema operativo con el cual cuente el usuario y dentro del programa se puede acceder a la herramienta.

7.1.5.1 Diagrama de despliegue

El diagrama de despliegue nos muestra la organización del hardware para sustentar los distintos artefactos. Este sistema fue diseñado como una aplicación de escritorio (QGIS) y esta no requiere conexiones adicionales.

Figura 9

Diagrama de despliegue



Fuente: Elaboración propia.

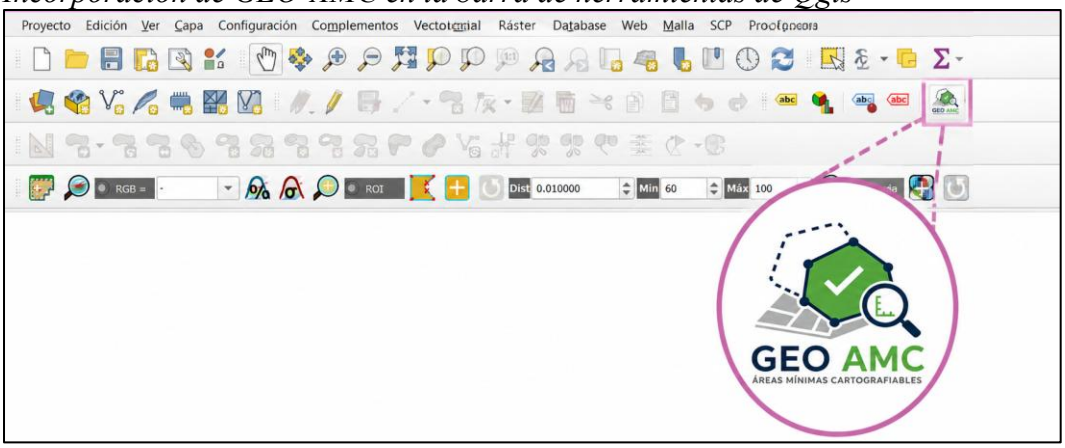
7.2 Desarrollo

El plugin GEO-AMC se implementó en QGIS versión 3.3 en adelante, aprovechando las capacidades gráficas del entorno y la lógica de validación espacial orientada al control de calidad cartográfica. Durante las pruebas de funcionamiento, el plugin presentó compatibilidad con QGIS versión 3.44, lo que garantiza su ejecución sobre versiones recientes del software. Para construir la interfaz se hizo uso de la herramienta Qt Designer, la que permitió diseñar los diferentes componentes visuales, como los selectores de la capa, escala y la ruta de almacenamiento. Adicional se utilizó Plugin Builder para generar la base del plugin, lo que facilito la organización de los archivos y la integración de este en QGIS. La programación se desarrolló utilizando el lenguaje Python y la librería de PyQGIS, la cual proporcionó las funcionalidades espaciales y geométricas relacionadas a QGIS. Para el desarrollo del código fuente se incorporaron herramientas de inteligencia artificial, utilizando específicamente el modelo Gemini (Google, 2026), como apoyo al proceso de programación. El uso de estas herramientas permitió mejorar los procesos de programación, manteniendo en todo momento la supervisión manual de la lógica implementada. Estas herramientas se utilizaron como mecanismo de asistencia al desarrollo.

Una vez instalado el plugin, para profundizar en esto se proporciona una guía de instalación que se encuentra en el Anexo A; el usuario puede acceder a la herramienta mediante el icono incorporado en la barra de complementos del software.

Figura 10

Incorporación de GEO-AMC en la barra de herramientas de Qgis



Fuente: Elaboración propia.

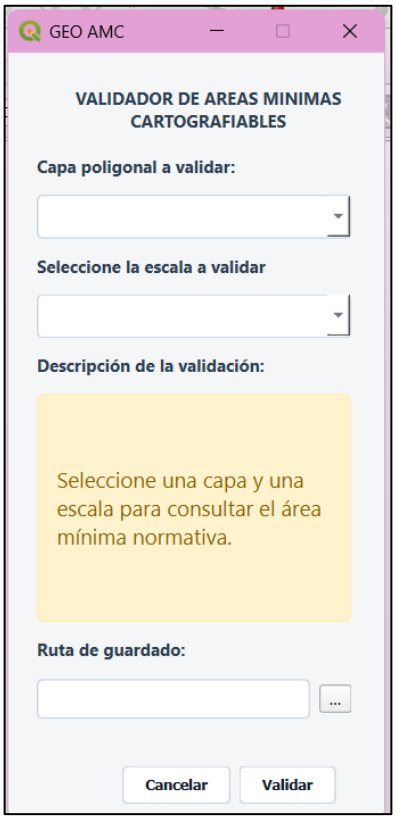
7.3 Implementación

El proceso de validación implementado en el plugin inicia cuando el usuario, desde la interfaz, selecciona una capa vectorial poligonal y define la escala cartográfica sobre la cual se

realizará la validación; adicionalmente, el usuario establece la ruta donde se almacenará la capa de salida con las inconsistencias detectadas.

Figura 11

Interfaz GEO-AMC



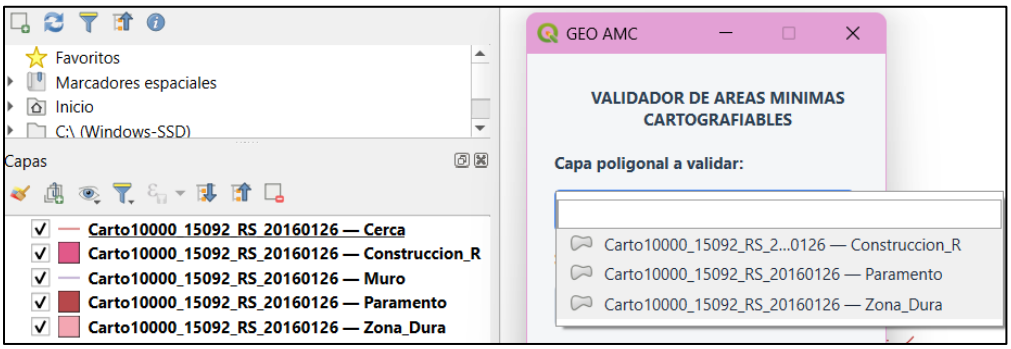
Fuente: Elaboración propia.

Con los parámetros de entrada, el plugin activa un modelo de procesamiento que comprueba que se cuente con los parámetros iniciales antes de ejecutar el análisis espacial. Para mejorar este proceso, el sistema controla la selección de capas válidas mediante un filtro que restringe las capas poligonales y, adicionalmente, las capas cuyo nombre coincida con las

tipologías definidas en el modelo de datos del IGAC. El filtrado evita que el usuario valide capas temporales, lo que garantiza la consistencia del flujo de validación.

Figura 12

Filtro de capas vectoriales poligonales



Fuente: Elaboración propia

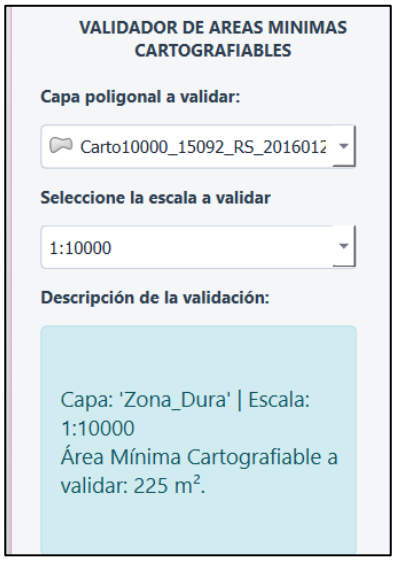
Posteriormente, cuando el plugin identifica el objeto, consulta su lógica interna de parámetros normativos que contiene los valores del AMC para cada objeto geográfico y para la escala definida. Estos valores están almacenados en unidades métricas y representan el umbral mínimo definido para cada entidad, la selección de escala realizada por el usuario se usa internamente para recuperar el valor normativo correspondiente al objeto evaluado.

Cuando el plugin ha identificado el objeto, consulta su lógica interna de parámetros normativos que contiene los valores del área mínima cartografiable para cada objeto geográfico y para la escala definida, estos valores están almacenados en unidades métricas y representan el

umbral mínimo definido para cada entidad, la selección de escala realizada por el usuario se usa internamente para recuperar el valor normativo correspondiente al objeto evaluado.

Figura 13

Valor para evaluar según la normativa



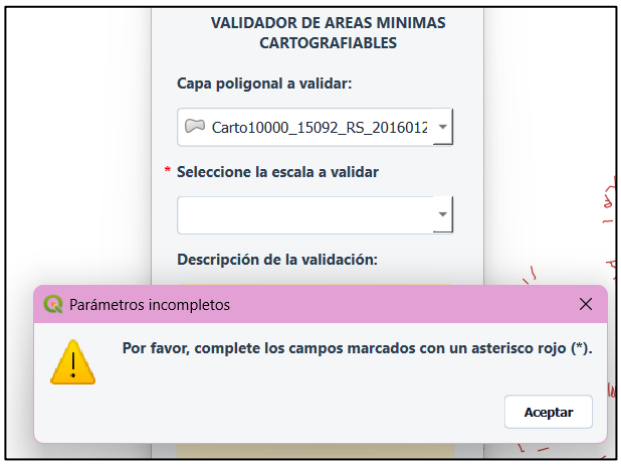
Nota: Fuente: Elaboración propia

Antes de comenzar el análisis geométrico, se realiza una fase de validaciones previas para garantizar la integridad de los datos; en esta etapa se comprueba que la capa seleccionada corresponda a una geometría poligonal y que los parámetros iniciales necesarios para la interfaz

estén presentes, si se detecta alguna inconsistencia en esta fase, el sistema detiene el proceso y avisa al usuario.

Figura 14

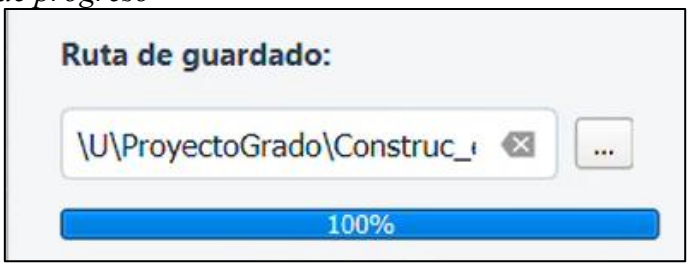
Inconsistencia durante la ejecución (Parámetros incompletos)



Fuente: Elaboración propia.

Después de esta etapa, se inicia el procesamiento recorriendo cada entidad contenida en la capa. Para cada polígono, el sistema calcula el área geométrica utilizando funciones espaciales del entorno de PyQGIS; el valor calculado corresponde al área real de la entidad en metros cuadrados, lo que garantiza compatibilidad con los parámetros normativos. El algoritmo realiza la comparación entre el área calculada y el valor del área mínima cartografiable asociado al objeto geográfico y a la escala de trabajo. Esta comparación es el punto central sobre el cual se desarrolló el plugin; si el área del polígono es igual o mayor al umbral normativo establecido, la entidad es considerada conforme respecto a la norma; si el área es menor al valor mínimo permitido, se clasifica como inconsistencia.

Figura 15
Barra de progreso



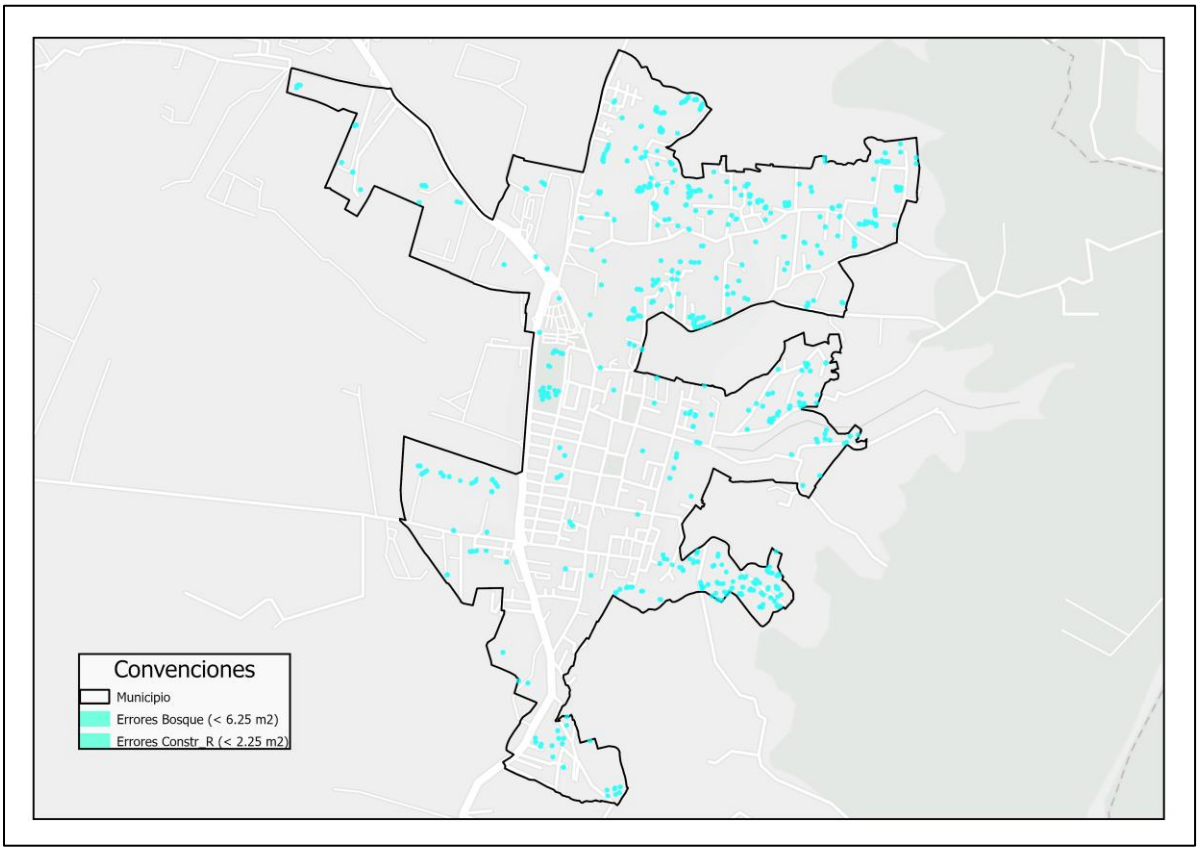
Fuente: Elaboración propia.

Las entidades que se clasifican como no conformes son agrupadas en una capa nueva de salida, durante este proceso se conserva la geometría original del objeto y sus atributos, esta salida es almacenada en un archivo shapefile. Adicional a esto el plugin implementa mecanismos visuales orientados a mejorar la experiencia del usuario durante la ejecución, como una barra de progreso que refleja el avance del procesamiento. Una vez terminado esto se genera un mensaje de resultados dentro de la interfaz gráfica, en caso de no detectarse entidades inferiores al AMC se notifica al usuario que la capa cumple satisfactoriamente con la normativa establecida; en caso contrario, se carga automáticamente la capa al proyecto denominada “Errores” junto con el nombre de la capa evaluada; la misma contiene únicamente los polígonos clasificados como no conformes. Esta capa es el resultado del proceso de validación y permite identificar

espacialmente las entidades que no cumplen con los criterios mínimos de representación cartográfica.

Figura 16

Resultado de validación de inconsistencias



Nota: Fuente, Elaboración propia

7.4 Evaluación

Una vez terminada la implementación, se procedió a evaluar con el fin de validar su funcionalidad y usabilidad frente a las necesidades técnicas, se realizó por medio de una encuesta aplicada a 10 usuarios con experiencia en validación y generación cartográfica, de acuerdo con

diversos estudios (Faulkner, 2003), (Jakob, 2000), (Virzi, 1992), las evaluaciones de usabilidad y validación funcional de software pueden realizarse con muestras pequeñas, en las cuales entre 5 y 10 usuarios son suficientes para identificar la mayoría de problemas y obtener resultados confiables.

La encuesta tuvo como objetivo obtener una valoración sobre aspectos relacionados con la eficiencia, utilidad, facilidad de uso, confiabilidad y percepción de reducción de errores humanos durante el proceso de validación de las Áreas Mínimas Cartografiables. Para las preguntas se utilizó una escala de 1 a 5, donde 1 correspondía a muy bajo y 5 muy alto respecto al criterio evaluado. Adicionalmente, se incluyó una pregunta abierta relacionada con las metodologías convencionales utilizadas por los participantes para la validación de AMC. Las preguntas realizadas son las siguientes:

Tabla 6

Preguntas realizadas en el proceso de validación

¿Qué tan eficiente considera que es el plugin Geo- AMC?
¿En promedio cuanto tiempo se demora validando las áreas mínimas en su cartografía de manera convencional?
¿Qué tan útil considera que es Geo-AMC en su proceso de validación?
¿considera que Geo-AMC reduce los errores humanos, en el proceso de validación?
¿Qué tan fácil fue usar el plugin?
¿qué tan confiables considera que son los resultados obtenidos?

¿Cómo realizaba su proceso de validación de AMC?

Nota: Fuente, Elaboración propia

Los resultados obtenidos se relacionan en la siguiente tabla:

Tabla 7

Resultados obtenidos en la fase de validación

Pregunta de la encuesta	Criterio evaluado	Promedio
¿Qué tan eficiente considera que es el plugin Geo-AMC?	Eficiencia	4.5
¿En promedio cuánto tiempo se demora validando las áreas mínimas en su cartografía de manera convencional?	Tiempo de validación convencional	52 minutos
¿Qué tan útil considera que es Geo-AMC en su proceso de validación?	Utilidad del plugin	4.6
¿Considera que Geo-AMC reduce los errores humanos en el proceso de validación?	Reducción de errores humanos	Sí
¿Qué tan fácil fue usar el plugin?	Facilidad de uso	4.9
¿Qué tan confiables considera que son los resultados obtenidos?	Confiabilidad	4.6

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos evidencian que los participantes tienen una percepción positiva sobre el uso del plugin Geo-AMC en los procesos de validación de Áreas Mínimas Cartografiables, ya que el plugin obtuvo una calificación promedio de 4,5 sobre 5, lo que indica que los usuarios perciben una mejora significativa frente a los procedimientos convencionales, lo que evidencia que el objetivo de automatizar el proceso fue satisfactorio.

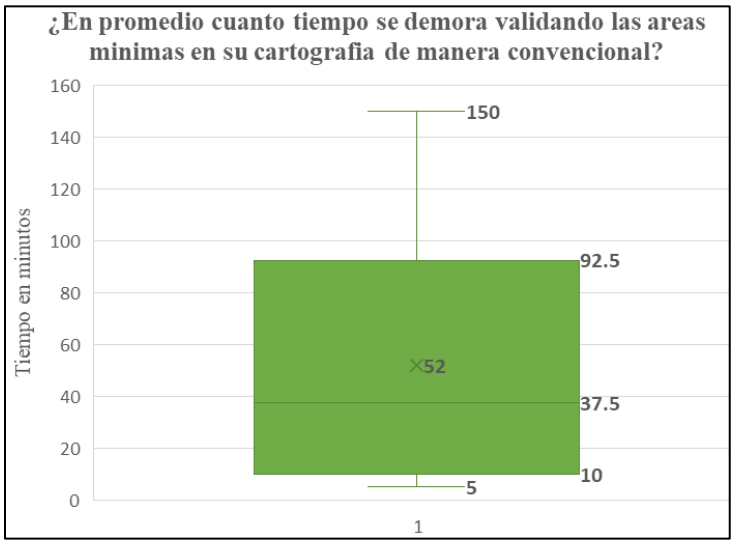
La totalidad de los participantes considero que la herramienta contribuye a disminuir los errores asociados a la revisión manual, lo que demuestra que la automatización implementada favorece la estandarización del proceso de validación.

En cuanto al tiempo requerido para realizar la validación en forma tradicional, los participantes reportaron un promedio de 52 minutos por proceso, tal como se muestra en la Figura 17. Esto evidencia que las metodologías convencionales demandan una gran cantidad de

tiempo, sobre todo cuando se hacen validaciones de manera manual mediante la revisión de tablas de atributos, selección por atributos o inspección visual de polígonos.

Figura 17

Diagrama de cajas y bigotes sobre el promedio de minutos utilizado para el proceso de validación de AMC



Fuente: Elaboración propia.

Lo que más valoraron los usuarios fue la facilidad de uso, con una puntuación promedio de 4.9 sobre un total de 5. Este resultado sugiere que la interfaz permite una interacción intuitiva, facilitando la adopción del plugin por parte de usuarios con experiencia en procesos cartográficos.

Los resultados obtenidos evidencian una percepción positiva por parte de los usuarios expertos respecto al funcionamiento del plugin. Las calificaciones obtenidas en eficiencia, facilidad de uso y utilidad nos indican que GEO-AMC cumple con el objetivo de automatizar la validación de áreas mínimas cartografiables y contribuye a reducir errores asociados a los

procedimientos manuales, favoreciendo la estandarización del proceso y optimizando los tiempos de validación.

8. Conclusiones

Al revisar cómo se venían haciendo las cosas en el país con el control de calidad cartográfica, se evidenció que la forma tradicional de validar las áreas mínimas es demasiado lenta y incrementa la probabilidad de errores. Esto pasa porque casi todo depende del criterio visual que brinda el revisor y de hacer cuentas manualmente desde la tabla de atributos, lo que hace que se pierdan unos 52 minutos promedio por capa y se generen retrasos innecesarios en las entregas. Al analizar a fondo las normas actuales, sobre todo la Resolución 471 de 2020 y el Catálogo de Objetos y Representación Cartográfica del IGAC, se lograron organizar los límites exactos en metros cuadrados para estructurarlos en la lógica del plugin desarrollado, demostrando que automatizar estas reglas era la única forma real de quitar los errores humanos y estandarizar la validación que se realiza en las bases vectoriales.

Por la parte del desarrollo, el diseño de la arquitectura y la interfaz gráfica se resolvieron creando el plugin denominado GEO-AMC directamente para el entorno de QGIS. Usar Python y las herramientas de PyQGIS nos permitió cumplir con los requerimientos propuestos desde el principio del proyecto. El programa quedó configurado con filtros automáticos que descartan automáticamente las capas incompatibles y tiene un motor de procesamiento que trabaja que analiza uno a uno cada entidad con el fin de optimizar el uso de memoria del sistema. Además, se estableció toda la interfaz visual en español e intuitiva, facilitando su utilización por parte de los usuarios con procesos avanzados o selecciones escondidas.

Finalmente, las pruebas que se realizaron con la información geográfica real de la cabecera municipal de Sopó a escala 1:1.000 y la encuesta aplicada en los usuarios expertos demostró que la herramienta presenta un buen desempeño en escenarios operativos reales. Al cruzar estos datos, el plugin sacó un promedio de 4,5 en eficiencia y 4,9 en facilidad de uso, lo que confirma que el software cumple con su meta. No solo se demostró que baja el tiempo de revisión a unos pocos segundos, sino que analiza por completo las diferentes capas uno por uno, garantizando un control de calidad transparente, consistente y completamente libre del criterio personal o el error humano.

9. Recomendaciones

Con base en todo el trabajo desarrollado para la generación e implementación del plugin, las pruebas realizadas y lo que se pudo evidenciar en las encuestas generadas con los usuarios, a continuación, se mencionan las mejoras y desarrollos a futuro:

Basado en la experiencia de los usuarios, se recomienda desarrollar un módulo enfocado en la generación de reportes en formatos estructurados como Excel o PDF. Este componente permitiría a los revisores obtener de manera organizada diferentes valores claves para analizar y concluir la conformidad de la validación, incluyendo la cantidad total de entidades evaluadas, el porcentaje de cumplimiento normativo bajo los estándares de aceptación del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, un listado detallado de las capas no conformes y un resumen estadístico de los elementos rechazados para garantizar la total trazabilidad del proceso de control de calidad.

Dado que la versión actual de GEO-AMC se enfocó específicamente en las entidades poligonales que contaban con un área para validar, se sugiere robustecer la herramienta más

adelante integrando también el análisis de elementos lineales y tipo punto. De este modo se lograría cubrir de forma más amplia los diferentes elementos establecidos en el Catálogo de Objetos y Representación Cartográfica del Instituto Geográfico Agustin Codazzi.

Con el fin de robustecer el control de calidad general, se propone agregar un apartado dedicado a la validación de la consistencia topológica de los datos. Incorporar reglas que identifiquen automáticamente problemas como superposiciones erróneas, huecos o cruces lógicos, lo cual permitiría ofrecer una mayor calidad en la información geográfica evaluada, generando una mayor confianza para los revisores y en la prevención de reprocesos costosos al detectar estas fallas en etapas tempranas del proyecto.

Reconociendo la diversidad de usuarios y que muchos equipos técnicas o empresas están familiarizadas con otros entornos de software SIG, se recomienda proyectar el desarrollo de una versión similar adaptada para ArcGIS Pro. Aunque en esta oportunidad la implementación se concentró en el ecosistema de QGIS, crear una alternativa para esta otra plataforma facilitaría el acceso a una herramienta funcional en flujos de trabajo con ambientes más institucionales.

Asimismo, se sugiere a futuros investigadores aplicar y evaluar el plugin en entornos geográficos que presenten dinámicas rurales complejas o utilizando escalas de menor detalle, tales como 1:25.000 o 1:50.000. Esto servirá para comprobar el rendimiento y la estabilidad del plugin frente a volúmenes de datos robustos y archivos vectoriales con una alta densidad de información.

Por último, se recomienda a los entes territoriales, secretarías de planeación y empresas consultoras la adopción de este tipo de herramientas automatizadas de libre acceso dentro de sus

flujos operativos diarios. Establecer una previa validación automatizada antes de generar cualquier radicado de productos para la revisión final por parte de entidades nacionales como el Instituto Geográfico Agustin Codazzi, disminuiría la cantidad de rechazos en los productos cartográficos, lo que optimiza los recursos de la entidad y agiliza los tiempos en los procesos del catastro multipropósito.

10. Referencias

Departamento Nacional de Planeación. (2009). *Departamento Administrativo de Estadística DANE* . Obtenido de https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3585.pdf

Dobias, M. (2026). *GitHub*. Obtenido de Complemento de primeros auxilios de QGis: https://github.com/wonder-sk/qgis-first-aid-plugin

Faulkner, L. (2003). Más allá de la suposición de cinco usuarios: beneficios de aumentar el tamaño de la muestra en las pruebas de usabilidad. *PubMed*, 379–383.

Google. (2026). *Gemini [Modelo de lenguaje grande]*. Obtenido de https://gemini.google.com/

Hernández Salazar, E., & Beltrán, C. A. (2020). SCRUM, Un enfoque práctico de metodologia ágil para la ingeniería de software. *Revista Tecnol.Investig.Academia TIA*, 14.

(s.f.). *Instituto Geográfico Agustín Codazzi.*

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2020). *Resolución 388 de 2020.*

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2020). *Resolución 471 de 2020.*

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2020). *Resolución 509 de 2020.*

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2020). *Resolución 529 de 2020.*

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2020). *Resolución 679 de 2020.*

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2022). *Guía de implementación para la Evaluación de la calidad de información geográfica.* Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2022). *Resolución 197 de 2022.*

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2023). *Catálogo de objetos y representación cartográfica.*

Jakob, N. (2000). ¿Cuántos usuarios de prueba se necesitan en un estudio de usabilidad? *NN/Group*.

Maass, S. F., & Valdez Pérez, M. E. (2003). *Principios básicos de cartografía y cartografía tematica.* Mexico: Universidad Autonoma del estado de mexico.

Peña Rojas, J. J. (2017). Desarrollo de una herramienta para el control de calidad de la información cartográfica catastral digital del IGAC. *RIDUM*, 73.

QGIS. (20 de 05 de 2025). *QGis Project.* Obtenido de https://docs.qgis.org/3.34/pdf/es/QGIS-3.34-PyQGISDeveloperCookbook-es.pdf

Sanchez Diaz, A. F., & Muñoz, D. A. (2017). QVALC: Plugin QGIS para Validar Redes de Drenaje de Alcantarillado. *RIUD*, 35.

Vargas Mutis, J. S., & Molano Villamarin, D. C. (2025). Automatización del análisis cartográfico: desarrollo de un complemento para la optimización de procesos cartográficos en QGIS. *RIUD*, 75.

Virzi, R. A. (1992). Perfeccionando la fase de prueba de la evaluación de usabilidad: ¿Cuántos sujetos son suficientes? *Revista de la Sociedad de Factores Humanos y Ergonomía*, 457–468.

Wang, G., Shang, Y., Liu, J., & Wu, C. (2013). Control de calidad de los datos cartográficos nacionales a escala 1:50000 de mapas topográficos. *XXI Conferencia Internacional de Geoinformática de 2013.* Kaifeng: IEEE.

11. Anexos

- Anexo A. Guía de instalación del plugin Geo-AMC
- Anexo B. Formulario de evaluación aplicado