

**Sistematización de la depuración topológica de errores en capas vectoriales catastrales,
empleando una librería de python para datos geográficos**

Diego Alberto Hincapié Torres

Facultad de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Manizales

Propuesta de trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Especialista en sistemas de Información Geográfica

Nota del Autor

Agradezco sinceramente a Dios por su inspiración y fortaleza. Mi gratitud se extiende a mi madre, esposa e hija por su amor y apoyo incondicional. También quiero expresar mi reconocimiento al equipo académico de la Universidad de Manizales por su valiosa orientación y conocimientos en el campo de los sistemas de información geográfica.

Resumen

El desafío de la desactualización catastral en Colombia ha suscitado una creciente preocupación debido a la falta de información precisa en la administración de tierras a nivel nacional. Con el propósito de abordar esta problemática, se han concebido soluciones innovadoras que buscan agilizar la gestión de información catastral. Este trabajo de investigación se enfoca en la automatización de la depuración de las capas vectoriales de Zonas Homogéneas Físicas, con la perspectiva de extender este enfoque a las Zonas Homogéneas Geoeconómicas, focalizándose en su necesaria cobertura de prediación. La aplicación de la depuración se ha llevado a cabo en el municipio de Villamaría, Caldas, Colombia, tomando en cuenta las capas vigentes hasta el 31 de diciembre de 2022. Además, la metodología propuesta se presenta como altamente adaptable para analizar otras capas vectoriales y entidades territoriales en sistemas de información geográfica a nivel mundial.

Para lograr esta transformación, se ha implementado una meticulosa sistematización de la depuración topológica de errores en las capas vectoriales catastrales, haciendo uso de una librería específica de Python destinada al procesamiento de datos geográficos. Esta automatización es esencial, dado que la depuración manual de errores topológicos, uno a uno, se revela como una tarea laboriosa y con un alto consumo de tiempo. A pesar de haber establecido topologías con reglas específicas, la resolución de errores ha prevalecido como un proceso predominantemente manual, especialmente en situaciones donde los espacios geográficos involucrados tienen dimensiones considerables y los cambios resultan en modificaciones de relevancia en las características físicas o en los valores unitarios de los predios.

En el transcurso de esta investigación, se ha logrado plenamente el objetivo general de automatizar la depuración topológica de capas vectoriales catastrales mediante el desarrollo de

una herramienta en Python, aprovechando de manera integral el entorno integrado PyCharm. Esta herramienta ha demostrado ser efectiva para agilizar el proceso catastral, con la consiguiente disminución de los tiempos de respuesta a los usuarios. Se han establecido relaciones espaciales fundamentales entre las capas vectoriales, permitiendo la identificación de áreas geográficas específicas propensas a depuración, lo cual ha inducido una notoria mejora en la eficiencia en la administración de la información catastral. La definición de una secuencia lógica en el Constructor de Modelos, respaldada por el empleo de ArcGIS Pro 2.8.4, ha otorgado una mayor facilidad en la utilización y en la gestión efectiva de esta herramienta.

El desarrollo de la metodología se ha llevado a cabo mediante un enfoque claramente cuantitativo, que abarca un proceso secuencial de tareas orientado a la obtención de uno o varios feature class depurados vectorialmente de forma automatizada mediante el uso de Python. Esta metodología se caracteriza por su aplicabilidad en diversos campos de los sistemas de información geográfica que incorporan capas vectoriales en sus procesos. Además, se enmarca en un estudio exploratorio que investiga la edición automatizada de inconsistencias vectoriales basadas en relaciones topológicas. Esta innovadora solución es potencialmente escalable a otras aplicaciones de análisis geoespacial que requieran la gestión de atributos faltantes o incorrectos en espacios geográficos.

La culminación de este estudio se materializa en una aplicación informática desarrollada en Python, con el respaldo de PyCharm y ArcGIS Pro 2.8.4. Esta aplicación permite delimitar áreas geográficas susceptibles a errores y fusionarlas con la capa original, contribuyendo de manera significativa a la mejora en la calidad de la información catastral. Este proyecto ha conllevado a una optimización en la eficiencia del trabajo institucional y en la detección de

errores topológicos, lo cual se traduce en un impacto positivo en la calidad de los datos catastrales.

Este estudio ha demostrado la factibilidad de la depuración automatizada de capas vectoriales, enfocándose especialmente en el contexto de las Zonas Homogéneas Físicas. Además, se ha evidenciado la escalabilidad de la metodología y de las herramientas empleadas, lo cual permite su implementación en diversas capas vectoriales, entidades territoriales y sistemas de información geográfica a nivel global. La exitosa implementación de esta solución innovadora ha contribuido a una mejora en la percepción de la gestión estatal, a la reducción de riesgos disciplinarios para los funcionarios y, en última instancia, a un fortalecimiento de la estabilidad laboral y a la mejora de las condiciones institucionales en general.

Palabras clave: Sistema de información geográfica, Topología, Aplicación informática, Análisis espacial, Datos geospaciales, Datos geográficos.

Abstract

The challenge of cadastral obsolescence in Colombia has sparked growing concern due to the lack of accurate information in land administration at the national level. In order to address this issue, innovative solutions have been conceived to streamline cadastral information management. This research focuses on the automation of the purification of vector layers of Physical Homogeneous Zones, with the perspective of extending this approach to Geoeconomic Homogeneous Zones, emphasizing their necessary coverage of prediation. The purification process has been carried out in the municipality of Villamaría, Caldas, Colombia, taking into account the layers valid until December 31, 2022. Furthermore, the proposed methodology is highly adaptable for analyzing other vector layers and territorial entities within global geographic information systems.

To achieve this transformation, a meticulous systematization of topological error purification in cadastral vector layers has been implemented, using a specific Python library for geographic data processing. This automation is essential, as manual purification of topological errors, one by one, proves to be a labor-intensive task with high time consumption. Despite having established topologies with specific rules, error resolution has persisted as a predominantly manual process, especially in situations where the involved geographic spaces have considerable dimensions and changes result in significant modifications to physical characteristics or unit values of the properties.

Over the course of this research, the overarching goal of automating topological purification of cadastral vector layers has been fully achieved through the development of a Python tool, making full use of the integrated PyCharm environment. This tool has proven

effective in streamlining the cadastral process, resulting in reduced response times for users. Fundamental spatial relationships have been established among vector layers, allowing for the identification of specific geographic areas prone to purification, inducing a noticeable improvement in the efficiency of cadastral information administration. The definition of a logical sequence in the Model Builder, supported by the use of ArcGIS Pro 2.8.4, has provided greater ease in the utilization and effective management of this tool.

The development of the methodology has been undertaken through a distinctly quantitative approach, encompassing a sequential process of tasks aimed at obtaining one or more vectorially purified feature classes in an automated manner using Python. This methodology is characterized by its applicability in various fields of geographic information systems that incorporate vector layers in their processes. Moreover, it is framed within an exploratory study investigating automated editing of vectorial inconsistencies based on topological relationships. This innovative solution is potentially scalable to other applications of geospatial analysis that require the management of missing or incorrect attributes in geographic spaces.

The culmination of this study is materialized in a computer application developed in Python, with the support of PyCharm and ArcGIS Pro 2.8.4. This application allows for the delimitation of geographic areas susceptible to errors and their merging with the original layer, contributing significantly to the enhancement of cadastral information quality. This project has resulted in the optimization of institutional work efficiency and the detection of topological errors, which translates into a positive impact on the quality of cadastral data.

This study has demonstrated the feasibility of automated purification of vector layers, with a specific focus on the context of Physical Homogeneous Zones. Furthermore, the scalability of the methodology and the tools employed has been evidenced, enabling their implementation across various vector layers, territorial entities, and global geographic information systems. The successful implementation of this innovative solution has contributed to an enhancement in the perception of state management, a reduction in disciplinary risks for officials, and ultimately, a strengthening of job stability and improvement in overall institutional conditions.

Keywords: Geographic Information System, Topology, Computer Application, Spatial Analysis, Geospatial Data, Geographic Data.

Contenido

	Pág.
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN Y SU JUSTIFICACIÓN	13
1.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA PROBLEMÁTICA.....	13
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	15
1.3 JUSTIFICACIÓN	17
2. OBJETIVOS	20
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	20
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
3. ANTECEDENTES.....	21
4. REFERENTE NORMATIVO Y LEGAL	32
5. REFERENTE TEÓRICO.....	34
5.1 SISTEMAS DE ADMINISTRACIÓN Y USO DEL TERRITORIO	34
5.2 CATASTRO MULTIPROPÓSITO Y TECNOLOGÍAS SIG	35
5.3 DATOS GEOESPACIALES.....	37
5.4 DEFINICIÓN DE PREDIO Y RELACIONES TOPOLÓGICAS.....	38
5.5 AUTOMATIZACIÓN CON LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN.....	41
6. METODOLOGÍA.....	43
6.1 ENFOQUE METODOLÓGICO	43
6.2 TIPO DE ESTUDIO	43

6.3	PROCEDIMIENTO.....	43
6.3.1	<i>Fase 1. Delimitar áreas geográficas específicas susceptibles de depuración.</i>	<i>44</i>
6.3.2	<i>Fase 2. Construir un script en lenguaje python para depuración vectorial</i>	<i>46</i>
6.3.3	<i>Fase 3. Analizar la percepción de mejoramiento de la imagen institucional interna</i>	<i>48</i>
7.	CRONOGRAMA.....	49
8.	PRESUPUESTO	50
9.	RESULTADOS	51
9.1	DESARROLLO DEL PROCEDIMIENTO.....	51
9.1.1	<i>Fase 1. Delimitar áreas geográficas específicas susceptibles de depuración.</i>	<i>51</i>
9.1.2	<i>Fase 2. Construir un script en lenguaje python para depuración vectorial</i>	<i>62</i>
9.1.3	<i>Fase 3. Analizar la percepción de mejoramiento de la imagen institucional interna</i>	<i>74</i>
9.2	RELACIÓN DE RESULTADOS	82
10.	CONCLUSIONES.....	86
11.	RECOMENDACIONES	88
12.	REFERENCIAS.....	90

Lista de tablas

Tabla 3. <i>Presupuesto estimado del proyecto</i>	50
Tabla 4. <i>Atributos propios de la Feature Data Set de prediación</i>	51
Tabla 5. <i>Muestra de dimensiones perímetro y área de cada predio</i>	52
Tabla 6. <i>Atributos propios de la Feature Data Set de zonas homogéneas físicas</i>	53
Tabla 7. <i>Muestra de dimensiones perímetro y área de zona homogénea física rural</i>	54
Tabla 8. <i>Relación de resultados</i>	82

Lista de imágenes

Imagen 1. <i>Representación de predio con cobertura parcial de zonas</i>	39
Imagen 2. <i>Representación de predio con cobertura total de zonas</i>	40
Imagen 3. <i>Cronograma de ejecución</i>	49
Imagen 4. <i>Predio con cobertura parcial de zonas</i>	52
Imagen 5. <i>Prediación rural municipio de Villamaría, Caldas</i>	53
Imagen 6. <i>Estadísticas feature class Zona Homogénea Física Rural inicial</i>	55
Imagen 7. <i>Zonas homogéneas físicas rurales, municipio de Villamaría, Caldas</i>	56
Imagen 8. <i>Espacios geográficos de análisis – extensión área rural del municipio</i>	59
Imagen 9. <i>Espacio geográfico de análisis – zoom de detalle</i>	60
Imagen 10. <i>Flujo de trabajo global para cobertura de zonas homogéneas física sobre prediación</i>	61
Imagen 11. <i>Flujo de trabajo parte 1</i>	61
Imagen 12. <i>Flujo de trabajo parte 2</i>	62
Imagen 13. <i>Flujo de trabajo parte 3</i>	62

Depuración topológica de errores, empleando python	11
Imagen 14. <i>Selección de carpeta donde se encuentra la GDB a modificar</i>	69
Imagen 15. <i>Predio de análisis – zoom de detalle a cobertura total de zonas</i>	71
Imagen 16. <i>Estadísticas feature class Zona Homogénea Física Rural final</i>	71
Imagen 17. <i>Infografía difusión de resultados</i>	73
Imagen 18. <i>Pregunta 1 encuesta de percepción</i>	74
Imagen 19. <i>Pregunta 2 encuesta de percepción</i>	74
Imagen 20. <i>Pregunta 3 encuesta de percepción</i>	75
Imagen 21. <i>Pregunta 4 encuesta de percepción</i>	76
Imagen 22. <i>Pregunta 5 encuesta de percepción</i>	76
Imagen 23. <i>Pregunta 6 encuesta de percepción</i>	77
Imagen 24. <i>Pregunta 7 encuesta de percepción</i>	77
Imagen 25. <i>Pregunta 8 encuesta de percepción</i>	78
Imagen 26. <i>Pregunta 9 encuesta de percepción</i>	78
Imagen 27. <i>Pregunta 10 encuesta de percepción</i>	79
Imagen 28. <i>Pregunta 11 encuesta de percepción</i>	80
Imagen 29. <i>Pregunta 12 encuesta de percepción</i>	80

Lista de abreviaturas**Abreviaturas**

Término	Español
DNP	Departamento nacional de planeación
IGAC	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
Metros	m
PDET	Programa de desarrollo de enfoque territorial
SAT	Sistema de administración del territorio
SIG	Sistemas de información geográfica
Zona Homogénea Física	ZHF
Zona Homogénea Geoeconómica	ZHG

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN Y SU JUSTIFICACIÓN

Las relaciones espaciales anómalas presentes en las capas vectoriales, como en el caso de bases catastrales son una situación recurrente que requieren solución y es que, actualmente, se realiza edición manual para gestionar dichos errores, especialmente en espacios geográficos con dimensiones del tipo 1×10^{-9} m. Relacionado con lo anterior, Agnieszka, Katarzyna y Szymon (2021), establecieron la importancia de la verificación de los datos catastrales concernientes a los bordes de los predios, siendo lo anterior crucial para actualizar la información catastral; también Salleh, et al. (2021), dispusieron que, en análisis y reglas topológicas de bases de datos espaciales, los polígonos no pueden tener vacíos entre ellos, las líneas no deben intersectarse a sí mismas.

Se requiere, entonces una solución innovadora que permita la automatización de dichas tareas y que pueda contribuir a la disminución en tiempo de respuesta a usuarios que necesitan información actualizada y, correctamente procesada, de sus predios y, de forma indirecta, mejorar la toma de decisiones a nivel directivo sobre la administración de la tierra y coadyuvar a la colaboración armónica entre entidades.

1.1 Descripción del área problemática

Dentro del ámbito de la gestión catastral, surge un problema de gran trascendencia y dificultad que ha perdurado como un desafío constante y fundamental: la falta de actualización y la deficiencia en la calidad de los datos geoespaciales empleados en la gestión territorial.

En Colombia, esta problemática ha suscitado creciente preocupación debido a su impacto directo en la toma de decisiones informadas, la planificación territorial y la colaboración interinstitucional. La gestión catastral eficiente y precisa es fundamental para una serie de

actividades gubernamentales y privadas, que abarcan desde la recaudación de impuestos hasta la planificación urbana sostenible.

La problemática se manifiesta a través de varios frentes interconectados. En primer lugar, la falta de información catastral actualizada y precisa resulta en respuestas inoportunas y erráticas a las solicitudes y trámites de los usuarios. Esta demora en los procesos administrativos genera insatisfacción y frustración entre los ciudadanos, erosionando la confianza en las instituciones gubernamentales encargadas de la gestión catastral.

Una de las raíces fundamentales de esta problemática radica en la existencia de errores topológicos en las capas vectoriales catastrales, los cuales han demostrado ser de naturaleza nanométrica y microscópica. Estos errores han persistido a pesar de los esfuerzos manuales de corrección y control de calidad. Dada la magnitud de estos errores y su impacto en la toma de decisiones, es esencial abordarlos con una metodología innovadora y eficiente, ya que, la edición manual de errores topológicos, a pesar de contar con reglas específicas de topología, se ha convertido en una tarea difícil y propensa a errores humanos, lo que impacta negativamente en la precisión y calidad de los datos catastrales.

La complejidad y la pertinencia de esta problemática se evidencian aún más en el contexto de la colaboración interinstitucional. La corrección manual de errores topológicos ha demostrado ser un proceso costoso y lento, lo que obstaculiza la fluidez de información entre las diferentes entidades involucradas en la gestión catastral. La falta de soluciones tecnológicas efectivas ha llevado a una fragmentación en la colaboración y en la toma de decisiones compartidas, limitando así el potencial para una administración territorial coherente y eficiente.

La justificación de esta investigación se enmarca en la urgente necesidad de abordar estos desafíos técnicos y operativos mediante la aplicación de soluciones tecnológicas avanzadas en el

ámbito de los sistemas de información geográfica. La implementación de una herramienta automatizada basada en Python para la corrección topológica automatizada de errores en las capas vectoriales catastrales podría tener un impacto transformador en la gestión catastral y en la colaboración interinstitucional.

Esta solución no solo tiene implicaciones técnicas y operativas, sino que también conlleva beneficios significativos en términos de eficiencia administrativa, calidad de datos catastrales y satisfacción del usuario. La automatización de la depuración topológica podría reducir drásticamente el tiempo y el esfuerzo requeridos para abordar los errores en las capas vectoriales catastrales, optimizando así la eficiencia administrativa y liberando recursos valiosos para otros aspectos de la gestión catastral.

1.2 Formulación del problema

En el contexto de la gestión catastral, se plantea una problemática recurrente y de alta relevancia: la respuesta inoportuna a las solicitudes y trámites de los usuarios. Este desafío radica en diversas circunstancias, destacándose la presencia de errores topológicos nanométricos en las capas vectoriales catastrales, así como errores topológicos del tipo "gaps" en una escala del orden de 1×10^{-9} metros. Estos errores, de índole microscópica, inducen una serie de efectos adversos en el ejercicio de la gestión técnica administrativa catastral, lo cual se traduce en la dificultad de mantener una colaboración armónica entre las entidades interconectadas por datos catastrales.

La problemática se intensifica por la necesidad de edición manual para corregir tales errores, una labor altamente laboriosa que obstaculiza los procesos de gestión catastral. La complejidad inherente a la edición manual, sumada a la falta de habilidades técnicas en la manipulación gráfica mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG), la utilización de software obsoleto y poco funcional, así como el conocimiento limitado en materia catastral,

dificultan la adopción de soluciones avanzadas orientadas a la edición automatizada de capas vectoriales.

En esta situación, se plantea un asunto fundamental: ¿Es plausible desarrollar una solución tecnológica basada en Python que permita la corrección topológica automatizada de errores en las capas vectoriales catastrales? La adopción de un enfoque de programación como Python para abordar la corrección de errores topológicos en capas catastrales podría constituir un punto de inflexión en la agilización de los procesos catastrales, así como en la mejora de la calidad y precisión de la información geoespacial.

La necesidad de automatización surge a raíz de la urgente búsqueda de una gestión más ágil por parte de las entidades y organismos competentes. La carencia de soluciones efectivas para abordar los errores topológicos nanométricos y de "gaps" en las capas vectoriales catastrales no solo resulta en demoras sustanciales, sino que también influye en la calidad y confiabilidad de la información catastral, fundamental para la adecuada administración del territorio.

En un panorama más amplio, la falta de destrezas técnicas, el uso de software obsoleto y la falta de recursos para edición manual son los factores determinantes que han limitado la generación de soluciones innovadoras y de vanguardia en la gestión catastral. La implementación de una herramienta automatizada en Python tiene el potencial de superar estas limitaciones, impulsando la agilidad y precisión en la corrección de errores topológicos en las capas vectoriales catastrales.

La propuesta de esta investigación se sitúa en la intersección de la tecnología de programación, el análisis espacial y la administración catastral, con el objetivo de explorar y validar la factibilidad de desarrollar una herramienta tecnológica basada en Python que aborde la corrección topológica automatizada en capas vectoriales catastrales. Esta solución no solo tiene

un alcance técnico, sino que también conlleva beneficios sustanciales en términos de eficiencia administrativa, calidad de datos catastrales y satisfacción del usuario. En consecuencia, la formulación del problema se centra en la interrogante central: ¿Será posible el diseño y desarrollo de una herramienta en Python que aborde la corrección topológica automatizada de errores en las capas vectoriales catastrales, y cómo podría esta solución impactar de manera efectiva en la gestión catastral y en la colaboración entre entidades relacionadas con los datos catastrales?

1.3 Justificación

El presente trabajo se fundamenta en la imperante necesidad de superar desafíos técnicos y operativos en el ámbito de la gestión catastral mediante la aplicación de soluciones tecnológicas avanzadas, específicamente en el contexto de la corrección topológica automatizada en capas vectoriales catastrales. El presente estudio persigue un impacto significativo en la calidad, eficiencia y precisión de la información geoespacial utilizada en la administración de territorios, así como en la colaboración interinstitucional en el ámbito catastral.

La justificación técnica de esta investigación se enmarca en la necesidad de abordar los errores topológicos nanométricos y de "gaps" en capas vectoriales catastrales. Estos errores, debido a su escala extremadamente reducida, suelen pasar desapercibidos en las inspecciones manuales tradicionales, lo que compromete la exactitud de los datos catastrales y la toma de decisiones informadas. Si bien, actualmente, se han creado topologías con la definición de las reglas respectivas, es la solución de los errores la que se hace de forma manual, lo cual es comprensible cuando los espacios geográficos tienen dimensiones suficientemente considerables como abordar cambios que sean representativos, en condiciones físicas de los predios o valor por unidad de terreno de los predios. Al respecto y, para el caso de Colombia, tal como lo presentó

(Peña Rojas, 2018), se desarrolló de una herramienta para el control de calidad de la información cartográfica catastral digital del IGAC, no obstante, la herramienta no incluía la depuración masiva de inconsistencias tales como las relacionadas con el presente estudio.

Es por todo lo anterior que la implementación de una solución automatizada basada en Python podría identificar y corregir estos errores con una precisión sin precedentes, mejorando así la calidad y confiabilidad de la información geoespacial utilizada en la gestión catastral.

Desde una perspectiva técnica, la justificación radica en la capacidad de Python para el procesamiento de datos geoespaciales y su potencial para integrarse con sistemas de información geográfica existentes. La utilización de librerías específicas de Python permite la manipulación y análisis detallado de capas vectoriales, así como la aplicación de algoritmos complejos de corrección topológica. La automatización de este proceso reduce drásticamente el tiempo y el esfuerzo requerido en comparación con las técnicas manuales, lo que conlleva a una optimización en la eficiencia administrativa y a la liberación de recursos valiosos para otros aspectos de la gestión catastral.

En cuanto a la justificación operativa, la implementación de una herramienta automatizada en Python permitiría agilizar y mejorar la calidad de las respuestas a los usuarios, reduciendo así la insatisfacción causada por la demora en los trámites y solicitudes. Al disminuir la necesidad de intervención manual, las entidades competentes pueden proporcionar una atención más ágil y precisa a los usuarios, lo que a su vez fortalece la percepción de la gestión estatal y contribuye a una mayor satisfacción de los ciudadanos.

Adicionalmente, la justificación de la presente propuesta, se sustenta en la importancia de la colaboración interinstitucional en el ámbito catastral. La corrección manual de errores topológicos ha demostrado ser un proceso costoso y lento, lo que obstaculiza la colaboración

armoniosa entre entidades relacionadas con datos catastrales. La implementación de una herramienta automatizada en Python puede establecer una base tecnológica para la colaboración más eficiente, ya que las entidades pueden compartir y trabajar en conjunto en la corrección de errores, optimizando así el flujo de información y la toma de decisiones conjuntas.

En cuanto a la aplicabilidad, la justificación se extiende al hecho de que esta solución podría ser adaptada y escalada a nivel global. Aunque se enfoque inicialmente en las Zonas Homogéneas Físicas del municipio de Villamaría, la metodología y las herramientas desarrolladas pueden ser transferidas y aplicadas en otras entidades territoriales y sistemas de información geográfica a nivel mundial. Esto abre oportunidades para mejorar la gestión catastral en diversas regiones y contextos, impulsando la innovación y la eficiencia en la administración territorial.

En resumen, el presente desarrollo, se sustenta en la necesidad crítica de abordar los errores topológicos en capas vectoriales catastrales mediante soluciones tecnológicas avanzadas. La aplicación de Python como herramienta para la corrección topológica automatizada tiene el potencial de revolucionar la gestión catastral al mejorar la calidad de datos, optimizar procesos, agilizar la respuesta a usuarios y fomentar la colaboración interinstitucional. Esta investigación se erige como una contribución sustancial al avance en la administración geoespacial y a la innovación en sistemas de información geográfica a nivel global.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Sistematizar de la depuración topológica de errores en capas vectoriales catastrales, empleando una librería de python para datos geográficos.

2.2 Objetivos específicos

Delimitar las áreas geográficas específicas susceptibles de depuración.

Construir un script en lenguaje python para depuración vectorial

Analizar la percepción de mejoramiento de la imagen institucional interna

3. ANTECEDENTES

El presente trabajo, se desarrolla en el marco de la política del catastro con enfoque multipropósito en la cual se establece cómo contribuir con la seguridad jurídica del inmueble, a través del manejo de la información predial; donde se incluye el fortalecimiento del ordenamiento territorial de los fiscos locales, la planeación social y económica: según el Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2018 – 2022 “Pacto por Colombia, pacto por la equidad”, Acosta Rodríguez, et al. (2022). Pérez Burgos & Restrepo Rodríguez (2020) resaltan que el panorama macroeconómico de Colombia presenta un desempeño adecuado en el corto y largo plazo, no obstante, ante el agotamiento de los factores productivos tradicionales es necesario explotar el potencial productivo de la tierra de manera sostenible; es importante contar con instrumentos que permitan la adecuada gestión del territorio como el catastro; también indica que en los últimos años se han establecido lineamientos de política que han posicionado en la agenda nacional la importancia de contar con un catastro completo, actualizado, confiable y consistente con el sistema de registro de la propiedad inmueble y que para consolidar la implementación de la política catastral del país, es necesario continuar avanzando en tres pilares: 1) descentralización; 2) adecuada regulación; e 3) integración catastro-registro.

Sin embargo, Acosta Rodríguez et al. (2022b) resaltan que Colombia adelanta esfuerzos por consolidar un sistema de administración del territorio SAT, pero que, a la fecha no se cuenta con un Sistema robusto que integre las diferentes fuentes de información y que permita la articulación de todas las instancias; lo anterior debido en gran parte, a que si bien existen avances significativos en la implementación de la política de catastro multipropósito, en particular la actualización catastral en el territorio nacional, aún no está completa, con corte al 31 de diciembre de 2021 el 20,35% del territorio nacional contaba con un catastro actualizado y,

con respecto a los municipios PDET, según datos del mismo año, tan solo el 21,19% del área de los municipios PDET tenía catastro actualizado. Nwafor et al. (2022) estudiaron la utilidad técnica, económica e institucional alrededor del sistema multipropósito de información de la tierra y se enfocó en la forma de modernizar los registros de la tierra mediante la aplicación de sistemas de información geográfica y determinaron que existen barreras económicas e institucionales para la implementación del catastro multipropósito. Al respecto, Villaveces Niño (2016) resalta que los municipios, en muchas ocasiones, argumentan escasez de recursos para la ejecución de proyectos tendentes a la actualización catastral, como si se desconociera que un mecanismo para lograr mayores recursos es este, pareciera que los municipios se encontrarán a gusto con un recaudo basado en información obsoleta sin motivación aparente para mejorarlo. Por ejemplo, para el caso específico en Bogotá, mencionado por Ibagón Rojas et al. (2021), se observa frecuentemente que no se actualiza en tiempo real las transacciones que producen cambios de propietario o condición jurídica de los predios por lo que no se conoce el proceso de integración de información entre entidades tales como la Superintendencia de Notariado y Registro y Catastro Distrital, específicamente.

Debe mencionarse que, el sistema catastral debe estar enfocado en la interoperabilidad con el respectivo estándar específico LADM que, a su vez, es un estándar específico que provee una ontología y una terminología común para la administración de la tierra, esto establecido por Hagemans et al. (2022) estándar que, plantea ventajas sobre la implementación del modelo LADM, a saber: aumento de la automatización de extracción de información de los mapas, acceso a modelos lógicos para identificar las relaciones de los procesos, mejorar la calidad de los metadatos para incrementar la interoperabilidad, incrementar la satisfacción del usuario

aumentando el número de productos y servicios derivados y, en general, mejorar la eficiencia de los procesos.

No obstante, Aleem et al. (2022), concluyeron que, a pesar de los importantes avances que ha tenido la implementación de esta política, no se ha logrado cumplir con las metas establecidas y, factores tales como, la pandemia por cuenta del COVID 19, generaron evidentes dificultades para los entes territoriales de tipo fiscal. De igual forma, y como lo manifiesta en la entrevista realizada al coordinador de la política de catastro del DNP, para muchos alcaldes esta política representa costos sociales que no quieren asumir, y que ha futuro podrían generarles consecuencias negativas en materia electoral. Lo anterior, relacionado directamente con el hecho de que uno de los requisitos técnicos básicos del catastro multipropósito es la producción de un mapas completos y actualizados, los cuales requieren una enorme red de controles, Ospina & Jeffrey (2017).

Adicionalmente, Acosta Rodríguez et al. (2022), menciona que, según el IGAC, hasta el momento y desde la implementación de esta política, se han habilitado 36 gestores catastrales, exceptuando, a Cali, Bogotá, Antioquia - Medellín, y Barranquilla recientemente, los cuales ya realizaban esta actividad antes de la implementación de esta política. Refiere el IGAC que, en el 2021 Colombia pasó de tener el 2,25% del territorio con información catastral actualizada, al 15,39%, equivalente a 17,56 millones de hectáreas, área correspondiente a casi ocho veces el departamento de Cundinamarca, gracias a la política de Catastro Multipropósito del Gobierno Nacional. Los resultados según el CONPES no son los esperados, sin embargo, es un importante avance que no se habría podido cumplir con el anterior diseño de gestión, teniendo en cuenta, los diferentes resultados de los diagnósticos plasmados en los CONPES 3886 de 2016 y 3859 de 2019. Lo anterior, es apoyado por Escobar & Cárdenas (2020), en donde el autor menciona que

la participación de operadores especializados en formación masiva catastral es una de las necesidades más apremiantes del sistema; indica que el sistema está monopolizado y desbordado por contar con un solo oferente, que se requiere un grupo plural de operadores, con alta dosis de innovación y enfoque competitivo, de modo que se estimulen los cambios que la adopción del catastro multipropósito requiere.

Ahora bien, Agnieszka et al. (2021b), resaltan que, a pesar de la desactualización de los datos, con las tecnologías geoespaciales se facilita su verificación y se provee una base para su actualización y con lo cual se podrán alcanzar beneficios económicos a nivel de gestión gubernamental.

Es en este punto, donde cobran vital importancia los sistemas de información geográfica, punto resaltado por Peña Rojas (2018b), Autor que menciona que durante el transcurso del tiempo, tales sistemas, han sufrido muchos cambios debido a las eras de la tecnología, ya que esta ha permitido el desarrollo de nuevos instrumentos y herramientas para la gestión y desarrollo de los mismos, de igual forma agilizando los tiempos de respuesta y el cumplimiento de requerimientos más a la medida de los usuarios respectivamente. Adicionalmente, tal como lo menciona Ostadabbas et al. (2019), en su estudio, con la ayuda de los sistemas de información geográfica, se pueden analizar los datos necesarios para la determinación de valores de la tierra; datos que consisten en información catastral: edificaciones, predios, áreas y datos geocodificados sobre mercado inmobiliario; en el trabajo del autor, se describe un proceso automatizado para ajustar las capas basadas en datos catastrales, usando un script en python con una herramienta de código abierto como lo es QGIS.

Relacionado con lo anterior, el Gobierno Colombiano, y, tal como está establecido por Instituto Geográfico Agustín Codazzi, (2022), se dispone de la Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales ICDE, la cual brinda información de suma importancia respecto a la producción, acceso y aprovechamiento de los datos geospaciales como complemento de la implementación de la política de Catastro Multipropósito y la administración del Territorio; Sánchez Chávez (2019), particulariza que la plataforma dispuesta por el gobierno nacional, contiene recursos geográficos, geospaciales y tecnológicos, identificando oportunidades clara para mejorar la planificación y ordenamiento territorial, la implementación y seguimiento de políticas públicas para la administración del territorio. Y es que, respecto a la importancia de la disposición de la información, Zápotocký & Koreň (2022), afirmaron que ésta es de gran ayuda a los formuladores de políticas públicas, investigadores, defensores ambientales, lo cual puede redundar en la generación de respuestas efectivas de gobernanza, por ejemplo, ambiental, para la adecuada administración de recursos naturales y anticipación de impactos ambientales. Así mismo, como lo indicó Arias M. & Guzmán H., (2018) y, extrapolado al caso del catastro, se hace necesario establecer planes de acción que garanticen la calidad, nivel de actualización y confiabilidad en la información involucrando el componente espacial a los datos alfanuméricos; además de garantizar que los datos estén centralizados y facilitar las actividades de edición y actualización de información cartográfica, evitando la duplicidad de los datos, la inconsistencia en la información producida y conservando la estructura lógica y funcional de los datos.

Si la información no se tiene dispuesta con oportunidad, puede conllevar problemas como lo mencionado por Majewicz et al. (2022), sobre los retrasos innecesarios en la obtención de títulos de tierras y su información asociada, lo cual les ha generado fallas y abandono de muchos proyectos factiblemente desarrollables, el acceso a tal información es muy difícil, lo cual

contribuye a que el gobierno esté perdiendo ingresos considerables en el sector, a excepción de unos pocos estados que se han aventurado hacia la digitalización del sistema de información de la tierra. Otro problema es el referido por Salleh et al. (2021b), donde el Autor menciona que, de forma común, los datos geográficos estén dispuestos en mapas web, el cual permite al usuario, ver e interactuar con las capas, pero, normalmente, impide la descarga de tal información; el autor está de acuerdo en la importancia de los datos abiertos, pero en la práctica, existen restricciones además de elevados costos de su disposición al usuario.

Hasta este momento se han expuesto los desafíos y consecuencias de no tener información actualizada respecto al catastro y de no contar con los respectivos datos abiertos; a continuación se plasma lo referido por los respectivos autores, referente a herramientas y desarrollo, con los cuales se puede vislumbrar un futuro promisorio de evolución tanto de la disposición de la información como de herramientas que pueden facilitar el desarrollo del catastro multipropósito, todo esto materializado en la aplicación propuesta en el presente trabajo:

Arias M. y Guzmán H., (2018b), presentan que los Sistemas de Información Geográfica, emergen como una herramienta significativa, para la integración, almacenamiento, edición análisis y representación de la información geográficamente referenciada, con el fin de generar diagnósticos y propiciar la toma de decisiones, por lo cual, son fundamentales a la hora de generar un inventario del territorio, resolver preguntas relacionadas con la oferta y demanda, en cuanto a recursos naturales, además de caracterizar porciones del territorio a partir de la morfología y topografía del terreno, influencia de vías, disponibilidad de servicios, y usos de suelo; más aún, en el sentido de conocer cómo se ocupa el territorio en cuanto a la vocación de este en términos físicos y ambientales, además de definir conflictos y usos potenciales en términos de gestión y descripción del territorio. Relacionado con esto y, sobre hardware, García

González (2022), refirieron que la continua mejora y abaratamiento del hardware; la consolidación en la facilidad de uso de software más intuitivo, sencillo y gratuito y la desbordante cantidad de geodatos han permitido multiplicar el uso de procedimientos y herramientas de análisis basados con Tecnologías de la Información Geográfica (TIGs); Majewicz et al. (2022b) mencionó que, respecto a los datos espaciales abiertos, estos son suministrados mediante variedad de plataformas y tecnologías; para el caso de pequeñas organizaciones, éstas publican los conjuntos de datos para descargas directas y, las organizaciones con gran cantidad de datos geoespaciales disponen de un portal geoespacial tal como ArcGIS Hub, el cual puede integrar búsquedas en mapas, pre visualización de servicios web geoespaciales, los cuales permiten a los usuarios examinar y consultar datos a través de una interfaz, sin necesidad de descargar datos ni abrirlos en una aplicación SIG de escritorio. De igual forma, Bar-Maor (2022), destacó la aplicación de la empresa ESRI, Parcel Fabric, cuya primera, se ajustaba parcialmente al estándar LADM ISO 19152, y que actualmente, tal desarrollo ha evolucionado y cumple con el estándar establecido.

Adicionalmente, para el caso de nuestro país, tal como está definido por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, (2022b), se disponible de nueva herramienta para la producción de datos geoespaciales en los territorios colombianos, refiriéndose a la Infraestructura Colombiana de datos espaciales.

Finalmente, como se muestra a continuación, se indican los antecedentes de desarrollos y aplicaciones que fundamentan y que trazan la ruta investigativa del presente trabajo de grado que se materializará en la aplicación para depuración vectorial de inconsistencias topológicas:

Agnieska et al. (2021c), establecen la importancia de la verificación de los datos catastrales concernientes a los bordes de los predios, proponiendo una metodología para verificar que los datos son correctos, aplicando técnicas geoespaciales, siendo lo anterior crucial para actualizar la información catastral. También Salleh et al. (2021b), dispusieron que, en análisis y reglas topológicas de bases de datos espaciales, los polígonos no pueden tener vacíos entre ellos, las líneas no deben intersectarse a sí mismas.

Particularizando aún más los referentes aplicados para el presente trabajo de grado, se tiene que, en el trabajo de Ospina y Jeffrey (2017b), se generó Script bajo Python y Modelbuilder para automatizar procesos repetitivos de las solicitudes de los usuarios del área SIG, caso extrapolable al análisis catastral, creando modelos automatizados de edición y actualización. Ligado a lo anterior, Sahar et al. (2022), indicaron que otra utilidad de las herramientas SIG, es la determinación de sitios o áreas apropiadas para establecimiento de escuelas. Relacionado con esto, Zúñiga (2019) indica que las bases cartográficas deben pasar por un proceso de control de calidad, en la cual se realiza control topológico, que permita establecer las relaciones que tienen los elementos entre sí, sean estos puntos, líneas y polígonos, lo cual permita determinar posibles errores entre los elementos vectoriales, utilizando las reglas establecidas para elementos lineales y poligonales mediante la revisión de elementos de forma individual.

De igual manera, Peña Rojas (2018b), mencionó que existen herramientas que permiten realizar procesos de control de calidad tales como la propuesta de Esri - Data Reviewer la cual permite automatizar el proceso Existen herramientas que permiten realizar procesos de control de calidad tales como la propuesta de Esri - Data Reviewer la cual permite automatizar el proceso; que, de acuerdo a los ítem de calidad a evaluar en su trabajo, se realiza la validación

para una base de datos geográfica con el fin de comprobar que los requerimientos en cuanto a calidad de información se suplan de forma automática respectivamente, desarrollando una herramienta para el control de calidad de la información cartográfica catastral digital del IGAC. Refiriéndose a software ArcGIS 10.4, conjuntamente con el lenguaje de programación Python y su librería ArcPy, Ospina y Jeffrey (2017c), estos se usaron para el manejo, procesamiento, análisis y publicación de datos geográficos; también se creó un base de datos geográficos para estructurar la información requerida en el modelo espacial; esto relacionado directamente con lo afirmado por Bar-Maor (2022b), acerca de la aplicación desarrollada por ESRI, denominada parcel fabric, estableciendo que se provee un marco de trabajo para administrar, editar y compartir paquetes de datos en ambientes de usuario y multiusuario usando arquitectura de software basada en servicios, la cual permite los datos a través de todas las plataformas: de escritorio, móviles y web y que los paquetes de datos están compuestos por polígonos, líneas y puntos, que son definidos por la organización que gestiona los datos; aplicación que se encuentra en su segunda generación de producción, la cual tiene implícita el modelo LADM para su uso, permitiendo así a las organizaciones cumplir con los estándares y requisitos del mercado actual, lo cual no pasaba con la primera generación que estaba parcialmente conforme al modelo de datos en mención.

Respecto a la calidad gráfica de las líneas perimetrales representadas en el mapa catastral y, área que atañe al presente trabajo ya que se analizan los espacios faltantes en capas de zonas homogéneas respecto a la prediación, Hagemans et al. (2022b), menciona que la calidad gráfica de las líneas perimetrales representadas en el mapa catastral, convierte estos últimos en poco útiles para medidas precisas en el mapa; la anterior, es la razón por la cual las observaciones determinadas en el respectivo estudio, fueron utilizadas para la reconstrucción de los perímetros.

Ahora bien, como lo afirma Guo et al. (2020), debido al, cada vez mayor, numero de datos espaciales, los algoritmos de análisis de buffer vectoriales, no pueden suplir la demanda del procesamiento rápido de datos, para lo cual, en su trabajo, se desarrollaron cómputos paralelos para acelerar el análisis vectorial, sin embargo, concluyo que se hace difícil que las plataformas GIS incorporen o adopten tales procesos paralelos.

Uno de los referentes directos más recientes y aplicados al objeto del presente, fue lo desarrollado por Arias M. y Guzmán H. (2018b), en donde el software SIG empleado para ejecutar el proyecto fue ArcGIS, una plataforma de ESRI (Environmental Systems Research Institute), la cual, permite, manipular la información cartográfica, para capturar, editar, diseñar, procesar, analizar y publicar los datos geográficos, por medio de diferentes herramientas.

Sin embargo, profundizando aún más en las capacidades del software ArcGIS, la empresa productora ESRI (2022) y, concentrándose en el análisis espacial para el desarrollo de la aplicación del presente trabajo, menciona la regla relacionada de análisis topológico "Must be covered by feature class of", la cual establece que cada polígono en una feature class debe estar cubierto por todos los polígonos de otro feature class; Al respecto del presente trabajo para optar al título de Especialista en Sistemas de Información Geográfica, no se requerirá utilizar el inspector de errores de ArcGIS, sino utilizando una secuencia lógica a partir de las herramientas de análisis espacial, con lo cual no se pretende editar una capa original sino crear una nueva.

Otro trabajos importantes y relacionados con el presente trabajo de grado, fueron el realizado por Peña Rojas (2018b), en el cual la herramienta desarrollada permitía realizar el proceso de control de calidad de la cartografía catastral digital para los feature Dataset de entrada, brindando una salida gráfica para las inconsistencias y su subsecuente archivo en Excel, para análisis posteriores. Cabe mencionar que, el objeto presente es depurar inconsistencias

catastrales relacionadas, sin hacer uso del inspector de errores del editor, es decir, haciendo uso de un flujo automatizado utilizando herramientas de análisis espacial; así mismo, el realizado por Arias M. y Guzmán H. (2018c), en donde el fin de su trabajo fue la elaboración de los mapas de cada una de las variables, referidas a zonas homogéneas físicas, las combinaciones de las mismas, y como producto final el mapa propuesto de zonas; lo anterior, resultado de la integración de las variables y los datos previamente seleccionados, depurados, digitalizados, procesados en el modelo espacial, de zonas homogéneas de tierra, cartografía básica, variables físicas, modelo de elevación digital del terreno, cobertura terrestre, y el Plan Básico de Ordenamiento Territorial; campo específico de desarrollo de los autores que está directa e intrínsecamente, pues se aborda el área de zonas homogéneas, buscando automatizar y simplificar procesos.

4. REFERENTE NORMATIVO Y LEGAL

A continuación, se relacionan los fundamentos normativos más importantes en el marco del Catastro con enfoque multipropósito para la gestión territorial en Colombia, basados en políticas públicas y lineamientos técnicos establecido por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi como máxima Autoridad Catastral de nuestro País:

Consejo nacional de política económica y social república de Colombia departamento nacional de planeación. Estrategia para la implementación de los objetivos de desarrollo sostenible (ods) en Colombia. CONPES 3918 (2018).

Consejo nacional de política económica y social república de Colombia departamento nacional de planeación. Política para la adopción e implementación de un catastro multipropósito rural – urbano. CONPES 3859 (2018).

Consejo nacional de política económica y social república de Colombia departamento nacional de planeación. Estrategia para la implementación de la política pública de Catastro Multipropósito. CONPES 3958 (2019).

Decreto 148 de 2020. Por el cual se reglamentan parcialmente los artículos 79, 80, 81 y 82 de la Ley 1955 de 2019 y se modifica parcialmente el Título 2 de la Parte 2 del Libro 2 del Decreto 1170 de 2015, del Departamento Administrativo Nacional de Estadística.

Decreto 1983 de 2019. Por el cual se reglamentan parcialmente los artículos 79, 80, 81 y 82 de la Ley 1955 de 2019 y se modifica parcialmente el Título 2 de la Parte 2 del Libro 2 del Decreto 1170 de 2015, del Departamento Administrativo Nacional de Estadística.

LEY 1955 DE 2019, por el cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2018 – 2022 ‘Pacto por Colombia, pacto por la equidad’. Congreso de la Republica de Colombia.

RESOLUCIÓN 070 de 2011. Por la cual se reglamenta técnicamente la formación catastral, la actualización de la formación catastral y la conservación catastral, del Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

RESOLUCIÓN 1149 de 2021. Por la cual se actualiza la reglamentación técnica de la formación, actualización, conservación y difusión catastral con enfoque multipropósito, establecida por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

RESOLUCIÓN 388 DE 2020. Por la cual se establecen las especificaciones técnicas para los productos de información generados por los procesos de formación catastral con enfoque multipropósito, del Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

LEY 1755 DE 2015. “Por medio de la cual se regula el Derecho Fundamental de Petición y se sustituye un título del Código de Procedimiento Administrativo y de lo Contencioso Administrativo”. Congreso de la Republica de Colombia.

5. REFERENTE TEÓRICO

Para el presente trabajo de grado, el marco teórico se construyó a partir de conceptos de sistemas de administración y uso del territorio, catastro, sistemas de Información Geográfica, disposición de datos y datos geoespaciales, principalmente:

5.1 Sistemas de administración y uso del territorio

Nwafor et al. (2022b), indican que un sistema de administración del territorio es una herramienta computarizada que coadyuva la toma de decisiones en el ámbito legal, administrativo y económico para la planeación del territorio y su desarrollo; consiste en una base de datos estructurada con atributos que tienen referencia espacial y datos espaciales para un área determinada; lo anterior, definido en técnicas y procedimientos para la recolección sistemática, procesamiento, actualización y distribución de los datos; los registros de la tierra incluyen registros de los predios, derechos, registro de mutaciones; también se puede incluir información geológica, información del suelo, información económica; adicionalmente, un sistema de información geográfica es un sistema que permite la captura, almacenamiento, manipulación, análisis y presentación de datos y que tienen en su núcleo un concepto multidisciplinario, información que puede usarse en temas catastrales. Relacionado con lo anterior, Ciencia (2021b), reconoce que el uso de la tierra constituye un elemento clave de los datos catastrales, no obstante, este término varía en cada país, en los cuales se disponen de diversas soluciones para llevar el registro de la información; tal información es usada como base para la liquidación de impuestos, planificación del territorio, influenciando el valor de la propiedad y afectando los procedimientos de la administración de la tierra. Como información pública, el catastro debe

constituir como un sistema de bases de datos interoperable que contenga la información de objetos espaciales, con el concepto de protección de los derechos asociados a la propiedad.

Respecto al catastro, foco de interés del presente, Duarte Castro (2021), menciona que el catastro consiste en el levantamiento de información física, jurídica y económica de los predios, lo que permite a los municipios y al país mantener actualizadas las bases de datos prediales en cuanto a su ubicación, área, forma, acceso, valor catastral y situación legal. Este es el soporte a partir del que se generan políticas públicas, inversiones, ordenamiento territorial y obras de infraestructura. Así mismo, como lo menciona Barros Jaramillo (2022), el catastro multipropósito es el motor del sistema de administración del territorio ya que, al garantizar el levantamiento de información para múltiples usos, permite tanto a las autoridades como a la ciudadanía conocer los derechos, deberes y responsabilidades sobre el territorio, para así tomar decisiones informadas que contribuyan al desarrollo.

5.2 Catastro multipropósito y tecnologías SIG

Conforme al avance actual de la tecnología, es importante acotar lo establecido por Ospina y Jeffrey (2017d), ya que indica que los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han convertido en una herramienta muy útil al momento de representar, administrar y analizar información alfanumérica basada en el componente geográfico que conjuntamente con el desarrollo herramientas automatizadas bajo lenguajes de programación como python facilita la producción cartografía para los usuarios finales, manteniendo los datos actualizados, permitiendo su consulta y centralizar el manejo de información geográfica; también que la tecnología de los SIGs se inició con proyectos canadienses de mapeo, registro y manejo de los vastos recursos naturales de SIG en los años 60, de hecho, Canadian Geographical Information System (CSIG)

produjo la estructura que maneja las informaciones geográficas en capas o niveles de información separadas, estructura que ofrece gran flexibilidad en el proceso final de integración y análisis espacial; Este estudio resalta la importancia de los SIG's en el sector público y en general en el análisis de los recursos naturales, más aún en momentos donde la información digital es de gran auge y promueve el uso de tecnologías aplicadas a la geografía; Se destaca el uso de los SIG's como herramienta integradora en un ambiente multidisciplinario que va desde contenidos fotogramétricos, cartografía, estadística, análisis espacial, ciencias de la computación, ingeniería, sensores remotos, etc. Donde el común denominador es la ubicación de fenómenos y variables en función de la ubicación geográfica y el entendimiento del territorio; también citan en su artículo, diferentes áreas de aplicación de modelos bajo estándar de datos geográficos, tal como el caso del catastro: el objetivo de la aplicación de SIG en catastro o registro de tierras es proporcionar a los usuarios capacidades de mantener actualizada la base de datos por conceptos de actualización de áreas, su ubicación, extensión, propietario, dirección y demás información que permita al usuario obtener información de transacciones y asuntos legales de los predio.

Es importante recalcar, que, conforme a lo mencionado por Nwafor et al. (2022c), la combinación de un mercado eficiente de la tierra y una efectiva administración del uso de la tierra formarían las bases del desarrollo económico, social y medioambiental y que el sistema de información de administración de la tierra es un componente crítico para la construcción de nación; todo lo anterior, presta asistencia a los actores constructores de políticas decisivas que se basadas en evidencias y que permiten una planeación efectiva.

5.3 Datos geoespaciales

Ya, en este punto, es necesario enfatizar que el servicio de gestión catastral debe prestarse con eficiencia, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, (2021); también, que la información geoespacial, goza de un rol fundamental: los datos geoespaciales son información que describe objetos, eventos u otras características con una ubicación en la superficie de la tierra o cerca de ella, involucran grandes conjuntos de datos recopilados de muchas fuentes diversas en diferentes formatos y pueden incluir información como datos de censos, imágenes por satélite, datos meteorológicos, datos de teléfonos celulares, imágenes dibujadas y datos de redes sociales, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, (2022c). Así mismo, Majewicz et al. (2022c), establecen que los datos geográficos pueden considerar puntos, líneas, polígonos, imágenes ráster y sus tipos y bases de datos que contienen información espacial; no obstante, para considerarlos como datos abiertos, deben tener implícitos los respectivos permisos de uso abierto, en otras palabras, que los usuarios de esa información no requieran licencia alguna y que no haya restricción para su uso para compartirlos además que los datos no contengan información privada o confidencial; así mismo, los datos deben ser accesibles, descargables y no solo visualizables a través de aplicaciones web. Adicionalmente, Sánchez Chávez (2019b), para el caso de los objetos territoriales, corresponden a una porción del territorio con condiciones homogéneas dentro de sus límites y con una normatividad asociada para su funcionamiento, objetos que para el caso de Colombia, fueron definidos y dispuestos por la Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales, y que son importantes para para la conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables que contribuyen al desarrollo sostenible. Cabe mencionar que, tales objetos, se disponen a través de Modelos Extendidos LADM_COL que buscan representar la realidad en el territorio; también, Salleh et al. (2021c), recalca que un

objeto que tiene una ubicación espacial se denomina dato espacial; Así mismo, una base datos espacial, permite manejar atributos espaciales y no espaciales, soportando el respectivo modelo de datos, soporte de consulta. Es aquí donde las propiedades topológicas prestan gran importancia para describir la forma en que los objetos espaciales están relacionados, todo lo anterior almacenado e incorporado a un sistema de información geográfica, a través una herramienta GIS.

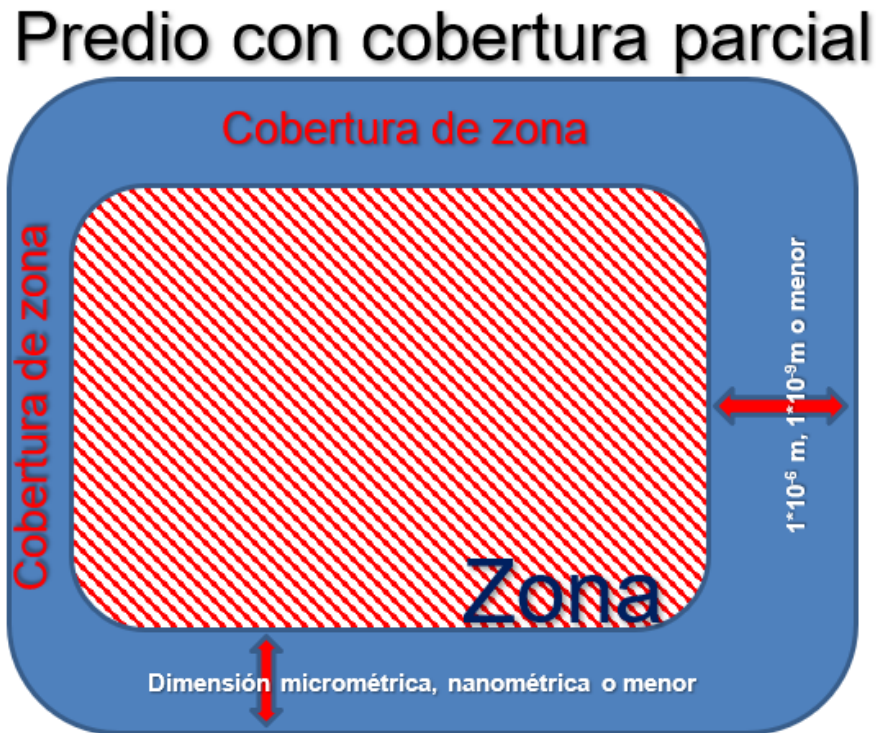
5.4 Definición de predio y relaciones topológicas

Y es aquí donde debe hacerse énfasis en la definición de predio, establecida por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, (2011): es un inmueble no separado por otro predio público o privado, con o sin construcciones y/o edificaciones, perteneciente a personas naturales o jurídicas, el predio mantiene su unidad, aunque esté atravesado por corrientes de agua pública. Cada predio debe tener cobertura de zona homogénea física y geoeconómica para que pueda calcularse, con el uso de muchas otras variables, su valor catastral.

Por consiguiente, para la presente propuesta de trabajo de grado, se definió la siguiente unidad de análisis para comprender, de forma directa, lo planteado en el presente desarrollo:

Imagen 1.

Representación de predio con cobertura parcial de zonas

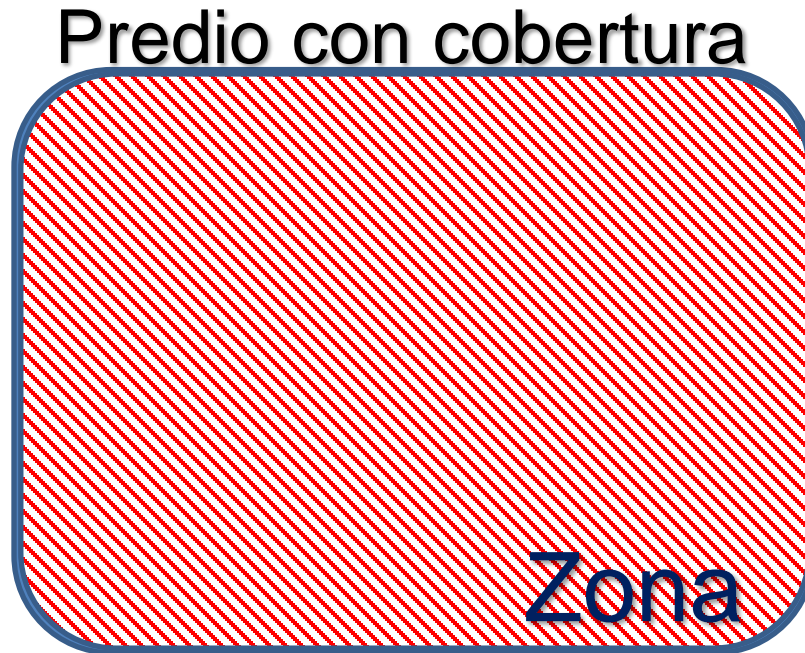


Conforme a la imagen 1 se tiene que, en materia de catastro, cada predio no puede tener áreas sin la respectiva cobertura de zona, en este caso, zona homogénea física; es común encontrar este tipo de errores en las bases catastrales, los cuales se depuran o solucionan de forma manual empleando la herramienta tradicional de topología, a través del inspector de errores topológicos del software, labor que se vuelve totalmente improductiva e ineficiente, cuando el área geográfica que debe ajustarse, presenta dimensiones enfáticamente minúsculas, del orden milimétrico, nanométricos o menores.

Lo que se pretende con la tarea propuesta de edición vectorial es obtener que cada predio tenga cobertura total de la capa de zonas, de la siguiente manera:

Imagen 2.

Representación de predio con cobertura total de zonas



En la imagen 2 se representa una unidad predial que tiene cobertura total de zonas, la cual es necesaria, así como muchas otras variables para determinar el avalúo catastral, propio de cada predio.

Ya representadas las capas de predio y zona, se hace hincapié en la importancia de la topología: en las bases de datos geográficas, la topología se refiere a la estructura que define cómo las entidades de punto, línea y polígono comparten geometría coincidente. Por ejemplo, las calles pueden tener líneas centrales que comparten geometría común, y, para el caso del presente trabajo de grado, las zonas homogéneas deben tener cobertura total sobre la capa predial, asegurando así la integridad de los datos geográficos (ESRI, 2023).

5.5 Automatización con lenguajes de programación

Así mismo, para el objeto del presente trabajo debe resaltarse la importancia de los lenguajes de programación para el proceso de automatización; al respecto Challenger Pérez et al. (2014), mencionan que los lenguajes de programación son la herramienta básica de construcción de programas como lo son, analógicamente, el machete y el azadón para un campesino, el pico y la pala para un constructor; es así como Python ha ido ganando adeptos en comunidades como la de software libre, científica y educacional, por su sencillez y posibilidad de concentrarse en los problemas actuales; es un lenguaje de alto nivel ya que contiene implícitas algunas estructuras de datos como listas, diccionarios, conjuntos y tuplas, que permiten realizar algunas tareas complejas en pocas líneas de código y de manera legible.

Naturalmente, respecto a un lenguaje de programación, se deben tener en cuenta los conceptos de algoritmo, programa y diagrama de flujo, resaltados por Llerena Izquierdo (2020); algoritmo es la secuencia de pasos, ordenados que alcanzan un fin determinado, una tarea o un resultado; programa es el conjunto de instrucciones que se escribe en un lenguaje de programación para que el computador puede entender o realizar una actividad y, diagrama de flujo, como la forma de representar los algoritmos; así mismo denota que antes de iniciar el desarrollo de un programa, es prioritario entender el problema a resolver mediante un detallado análisis, luego representarlo con un diagrama de flujo y finalmente escribirlo en un lenguaje adecuado.

Y es aquí donde cumple un rol importante, la librería ArcPy de python, la cual es un paquete que ofrece una forma útil y productiva de realizar análisis de datos geográficos, conversión de datos, gestión de datos y automatización de mapas con Python; este paquete proporciona una rica

experiencia, ofreciendo autocompletado de código y documentación de referencia para cada función, módulo y clase (ESRI, 2023).

6. METODOLOGÍA

A continuación, se precisan los procedimientos y actividades necesarias para desarrollar el planteamiento del presente trabajo de grado y dar cumplimiento a los objetivos que, finalmente, redundarán en la automatización de tareas de edición vectorial para solucionar inconsistencias topológicas.

6.1 Enfoque metodológico

El desarrollo de la metodología, integra claramente un enfoque cuantitativo, correspondiente a un proceso secuencial de tareas con el fin máximo de obtener uno o varios feature class depurados vectorialmente de forma automatizada empleando PYTHON, cuya utilidad esperada es ser replicada en diferentes campos de los sistemas de información geográfica que incluyan capas vectoriales en sus procesos.

6.2 Tipo de estudio

El tipo de estudio desarrollado corresponde a un estudio exploratorio en el cual se investiga la forma de edición automatizada de inconsistencias vectoriales basadas en relaciones topológicas. Se trata de una solución innovadora que puede ser escalada a otras aplicaciones de análisis geoespacial en donde se requieran gestionar atributos faltantes o incorrectos de espacios geográficos.

6.3 Procedimiento

Tal como sigue, se describen las actividades de forma secuencial que, deberán desarrollarse para cumplir con los objetivos planteados, agrupadas en las respectivas fases:

6.3.1 Fase 1. Delimitar áreas geográficas específicas susceptibles de depuración.

Se parte de la premisa fundamental de la autorización por parte del INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI, para el uso de la información únicamente con fines estrictamente académicos y con las respectivas restricciones de uso y difusión; entonces se dispone de las capas de entrada: prediación zonas homogéneas con sus respectivos atributos.

Con las dos (2) feature class de entrada de prediación y zonas homogéneas, sea urbana o rural, se procede a realizar la unión de ambas, generando espacios geográficos que, en este punto comparten atributos basados en su unión geométrica; cabe mencionar que, se generan campos tipo FID y que son el punto de partida para identificar la ubicación y número de espacios geográficos, para los cuales no existe cobertura de zonas para el respectivo predio.

Con los espacios geográficos identificados, se procede a hacer una selección por atributos, basados en el campo FID de interés. Posteriormente se genera archivo shape de polígono con las áreas obtenidas; adicionalmente se procede a borrar los campos necesarios, mencionando que, desde el inicio mismo del análisis espacial, se debe conservar la estructura predeterminada del feature class, shape de polígono, que ha sido diseñada desde administración central. En esta actividad, la finalidad es tener un shape de polígono cuyo único atributo sea la identificación de la zona homogénea física.

Es de esperarse que tales espacios que, hasta este momento tienen únicamente identificador de zona, deben tener los mismos tipos de atributos asociados a otra zona con atributos completos; es por eso que se aplica spatial join, desde el shape original de zonas al shape que cuenta con únicamente código de zona, para que éste último adopte la información vinculada respectiva y se procede nuevamente a borrar los campos que no corresponden a la estructura de la GDB original. No obstante, al utilizar spatial join, ArcGIS Pro, conserva

solamente los valores únicos de otras variables tales como influencia vial, por lo que, nuevamente deben dejarse como único campo en el shape, el campo identificador de zona.

Para solucionar lo anterior, se debe hacer un join field: Lo primero que debe disponerse en el algoritmo, son las tablas de atributos, por lo que se utiliza la herramienta table to table para las dos (2) capas: shape obtenido hasta el momento y shape de zonas original, entonces se utiliza join field para vincular todos aquellos atributos desde el shape original de zonas, al shape de trabajo, basados en el campo común de identificador o código de zonas, sean físicas u homogéneas. Una vez más se procede a borrar los campos que no corresponden a la estructura de la GDB original.

Hasta este punto ya se cuenta con un shape con polígonos que tienen los mismos atributos de la capa inicial de zonas. Sin embargo, se tiene la particularidad de tener polígonos que comparten exactamente la misma información, pero en polígonos diferentes, por lo que deben disolverse a partir del código de zonas.

Aquí ya se cuenta con el shape definitivo que debe ser adicionado a la capa de zonas inicial y, como se explica a continuación, se procede a utilizar la herramienta append de ArcGIS Pro, para tener una sola capa definitiva como resultado.

Teniendo entonces el shape de espacios con atributos respectivos, se debe proceder a integrar tales espacios adicionales, a la capa original de zonas, susceptible a análisis, haciendo uso de la herramienta append.

Es entonces cuando, se adjuntan las capas de zonas homogéneas físicas, sin dejar de mencionar que como en el caso anteriormente referido, para los campos se conservan únicamente los valores únicos, lo cual se debe corregir, con el uso de join field.

Nuevamente, se hace uso de join field, disponiendo primero las tablas de atributos, por lo que se utiliza la herramienta table to table para las dos (2) capas: shape obtenido hasta el momento y shape de zonas original; de manera posterior, a través de join field, se vinculan todos aquellos atributos desde el shape inicial de zonas al shape de trabajo, basados en el campo común de identificador o código de zonas, sean físicas u homogéneas. Una vez más se procede a borrar los campos que no corresponden a la estructura de la GDB original.

Como paso final, sobre la capa resultado, se aplica una disolución, pero este caso, seleccionando todos y cada uno de los atributos, ya que se presentan varios polígonos con los mismos atributos, pero con diferente geometría.

Estructurar la secuencia lógica para el flujo de trabajo en Model Builder

Ya definido la serie de etapas y análisis espaciales, se continua con la construcción del respectivo flujo de trabajo, Model Builder, el cual en este punto puede utilizarse para realizar una depuración automatizada, pero con la limitación de ser usada en una sesión de ArcGIS Pro, siendo lo deseado, poder realizar la corrección de errores topológicos, sin necesidad de tener instalado tal SIG; Como lo referido, se empleara lenguaje de Programación Python, usando las módulos y/o librerías respectivas.

6.3.2 Fase 2. Construir un script en lenguaje python para depuración vectorial

Partiendo del flujo de trabajo construido con Model Builder, se continua con la exportación a código Python, con la finalidad máxima de editarlo, particularizarlo y probarlo. Ya con el código generado en Python se utiliza el entorno de desarrollo integrado PyCharm para realizar revisión y optimización del código, con el fin principal de permitir al experto SIG, seleccionar la carpeta donde se encuentra la GeoDataBase como entorno de trabajo, y donde se alojará la Feature Data Set resultado. Con lo anterior, se evita inicializar el software ArcGIS Pro

para realizar el análisis espacial y así disminuir el tiempo de procesamiento del algoritmo, es decir, no se requiere una instancia de ArcGIS ni Model Builder para ejecutar el flujo de trabajo.

Estimar el tiempo de depuración manual tradicional

Con el fin de realizar una comparación posterior de los tiempos estimados de depuración manual habitual versus depuración usando el script, se procederá a solicitar concepto técnico a funcionarios expertos de la entidad, ya que son quienes realizan las labores de edición manual en el software respectivo y pueden evidenciar con conocimiento pleno la estimación de los tiempos típicos.

Debe mencionarse que, para la gestión manual de las inconsistencias topológicas, normalmente se debe crear la topología respectiva, abordando las capas de interés, creando las configuraciones y reglas topológicas, tiempo que deberá sumarse a la edición uno a uno, de los errores de la base de datos.

Ejecución de script

Ya con el script obtenido en la presente fase, se ejecuta el código, el cual solicitará el usuario del software que elija la carpeta correspondiente a la base de datos institucional, y de forma automatizada, se depurarán los errores topológicos, mediante etapas o fases internas del algoritmo; finalmente, el código presenta el tiempo de ejecución del mismo.

Posteriormente y, con el fin de informar al personal técnico de la entidad, se realizará infografía donde se plasmarán los aspectos más importantes del trabajo de grado, enfocado en los resultados y beneficios para las partes interesadas.

6.3.3 Fase 3. Analizar la percepción de mejoramiento de la imagen institucional interna

Finalmente, mediante la aplicación de una encuesta al personal técnico que edita las bases de datos institucionales, se realizará análisis del cambio en la percepción de la imagen institucional.

7. CRONOGRAMA

Como sigue, se muestra la relación de actividades realizadas en función del tiempo, en el periodo de ejecución del proyecto. La fecha de inicio es 01 de septiembre de 2022 y la fecha de finalización fue 15 de mayo de 2023.

Imagen 3.

Cronograma de ejecución

Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
Sistematizar de la depuración topológica de errores en capas vectoriales catastrales, empleando una librería de python para datos geográficos	183 días	jue 1/09/22	lun 15/05/23
Delimitar las áreas geográficas específicas susceptibles de depuración.	87 días	jue 1/09/22	sáb 31/12/22
Elegir las operaciones de análisis espacial para crear secuencia lógica	43 días	jue 1/09/22	lun 31/10/22
Estructurar la secuencia lógica para el flujo de trabajo en Model Builder	45 días	mar 1/11/22	sáb 31/12/22
Construir un script en lenguaje python para depuración vectorial	85 días	dom 1/01/23	dom 30/04/23
Modificación de código inicial generado en Model Builder	66 días	dom 1/01/23	vie 31/03/23
Estimar tiempo de depuración manual tradicional	12 días	sáb 1/04/23	sáb 15/04/23
Difundir los resultados obtenidos	12 días	sáb 15/04/23	dom 30/04/23
Analizar la percepción de mejoramiento de la imagen institucional interna	11 días	lun 1/05/23	lun 15/05/23
Realizar encuesta institucional sobre impacto de resultados	5 días	lun 1/05/23	vie 5/05/23
Analizar los resultados de la encuesta de percepción	7 días	sáb 6/05/23	lun 15/05/23

8. PRESUPUESTO

Fase 1. Delimitar las áreas geográficas específicas susceptibles de depuración.

Fase 2. Construir un script en lenguaje python para depuración vectorial.

Fase 3. Analizar la percepción de mejoramiento de la imagen institucional interna.

Tabla 1.

Presupuesto estimado del proyecto

Actividad	Presupuesto (millones de pesos)									
	Personal	Equipos	Software	viajes	Salidas campo	Materiales	Servicios	Técnicos	Bibliografía	Total
1										
2	5	3	5	0	0	0	0	0	0	13
3										
Total	5	3	5	0	0	0	0	0	0	13

9. RESULTADOS

9.1 Desarrollo del procedimiento

Considerando la metodología y procedimiento propuestos en el presente trabajo de grado, se desarrollan cada una de las fases, con el fin de obtener los resultados que aportan gran valor a la innovación en procedimientos de análisis espacial y finalmente, beneficiar a los usuarios de la información geográfica por contribución a la disminución en tiempos de respuesta.

9.1.1 Fase 1. Delimitar áreas geográficas específicas susceptibles de depuración.

Como insumos fundamentales se dispone de la GeoDataBase, la cual trae definida la respectiva tolerancia que hace parte del sistema de referencia, para fines de análisis espacial; la GDB contiene las capas de prediación y zonas físicas con sus respectivos atributos y algunas muestras de perímetro y área de polígonos, como se presenta en la tabla 5 y tabla 6, respectivamente.

Tabla 2.

Atributos propios de la Feature Data Set de prediación

OBJECTID	CODIGO	VEREDA_CODIGO	NUMERO_SUBTER RANEOS	CODIGO_ANTERIO R	USUARIO_LOG	FECHA_LOG	GLOBALID_SNC	GLOBALID	CODIGO_MUNICIPI O	SHAPE_Length	SHAPE_Area
----------	--------	---------------	-------------------------	---------------------	-------------	-----------	--------------	----------	----------------------	--------------	------------

Tabla 3.

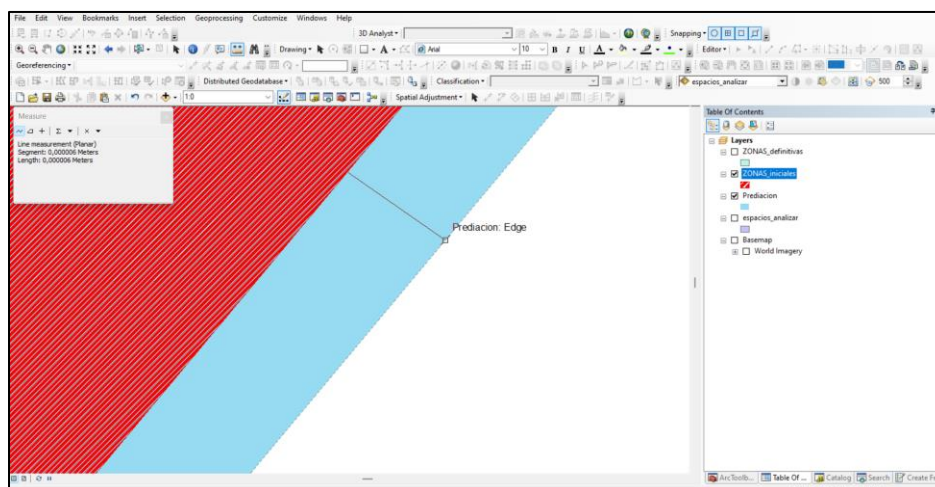
Muestra de dimensiones perímetro y área de cada predio

Codificación_cifrada_predio	CODIGO_MUNICIPIO	SHAPE_Length	SHAPE_Area
vmArz8{&hh	17873	7076,903434	2104358,423
.%w24cS=7)	17873	3707,457334	435172,503
XE!r4-NfXc	17873	1586,542969	148004,1804
a-mGiF:bhb	17873	1731,213769	148516,5173
DQCerV/bAt	17873	1963,110822	225408,4809
6?DR;R.[tL	17873	3731,354363	651293,4212
[.TA65Z8u.	17873	2552,624295	228943,2278
\$_mA(h[W]D	17873	3194,115686	421851,969
i?xf2r]xv=	17873	3207,416214	373561,9095

Adicionalmente, en la imagen 3 se visualiza la falta de cobertura de zona para un predio de la base de datos abordada y en la imagen 4 una representación de la capa predial rural del municipio de Villamaría.

Imagen 4.

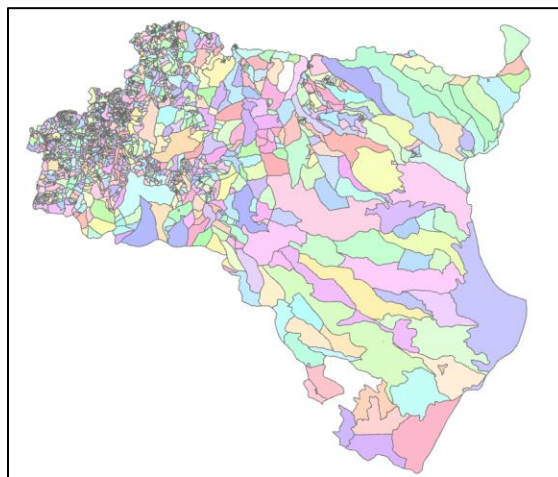
Predio con cobertura parcial de zonas



Nota. En rojo las zonas que deben extenderse hasta cubrir totalmente la prediación en azul.

Imagen 5.

Predicación rural municipio de Villamaría, Caldas



FEATURE CLASS DE ZONAS HOMOGÉNEAS FÍSICAS RURALES:

La base de datos geográficos (GDB) incluye información sobre las zonas homogéneas físicas, en cuanto a sus atributos y una muestra de valores, así como perímetro y el área de los polígonos, tal como se presenta en la tabla 7 y la tabla 8.

Tabla 4.

Atributos propios de la Feature Data Set de zonas homogéneas físicas

OBJECTID
CODIGO
CODIGO_ZONA_FISICA
AREA_HOMOGENEA_TIER RA
DISPONIBILIDAD_AGUA
INFLUENCIA_VIAL
USO_ACTUAL_SUELO
NORMA_USO_SUELO
VIGENCIA
USUARIO_LOG
FECHA_LOG
GLOBALID_SNC
GLOBALID
CODIGO_MUNICIPIO
SHAPE_Length
SHAPE_Area

Tabla 5.

Muestra de dimensiones perímetro y área de zona homogénea física rural

Codificación_cifrada_zonas	AREA_HOMOGENEA_TIER RA	DISPONIBILIDAD_AGUA	INFLUENCIA_VIAL	USO_ACTUAL_SUELO	NORMA_USO_SUELO	CODIGO_MUNICIPIO	SHAPE_Length	SHAPE_Area
S2EgZK K	MHd	2	2	4	Agrícola s, ganadero s, forestale	17873	5791,879 582	1286649, 357
E69Yzjq	MHd	2	2	4	Agrícola s, ganadero s, forestale	17873	4874,545 661	997018,7 648
5ZyJ6%_	MHe	2	2	4	Agrícola s, ganadero s, forestale	17873	3391,191 961	432224,6 882
HBZih3.	MHe	2	2	4	Agrícola s, ganadero s, forestale	17873	14018,70 826	3348599, 197
/u53}P)	(MHtFU)c	2	2	4	Agrícola s, ganadero s, forestale	17873	1635,367 998	130244,6 233
K!H[47[(MHtFU)c	2	2	4	Agrícola s, ganadero s, forestale	17873	2049,183 889	236906,5 64
*ij3RGg	FHc	2	2	4	Agrícola s, ganadero s, forestale	17873	6554,368 707	1427460, 466

Aq4Hggv	FHc	2	2	4	Agrícola s, ganadero s, forestale	17873	2060,622 878	225734,7 997
e%%,ex?	FHc	2	2	4	Agrícola s, ganadero s, forestale	17873	6658,114 265	991859,4 931
zB%{tg=	FHc	2	9	9	Agrícola s, ganadero s, forestale	17873	1476,594 95	115130,7 637

Imagen 6.

Estadísticas feature class Zona Homogénea Física Rural inicial

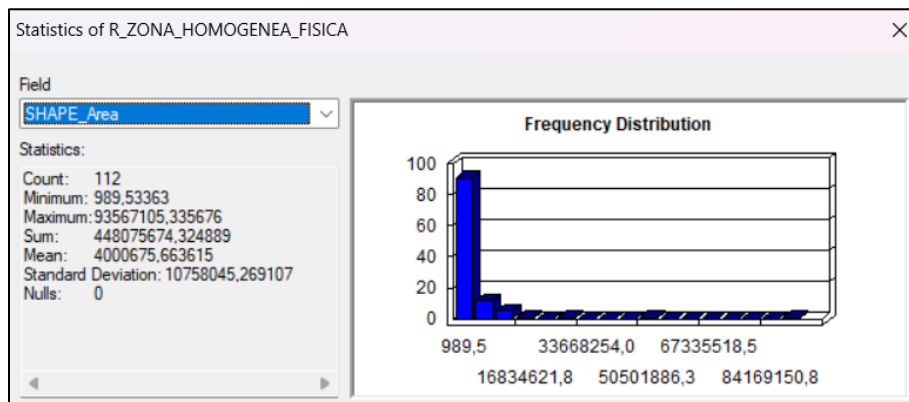
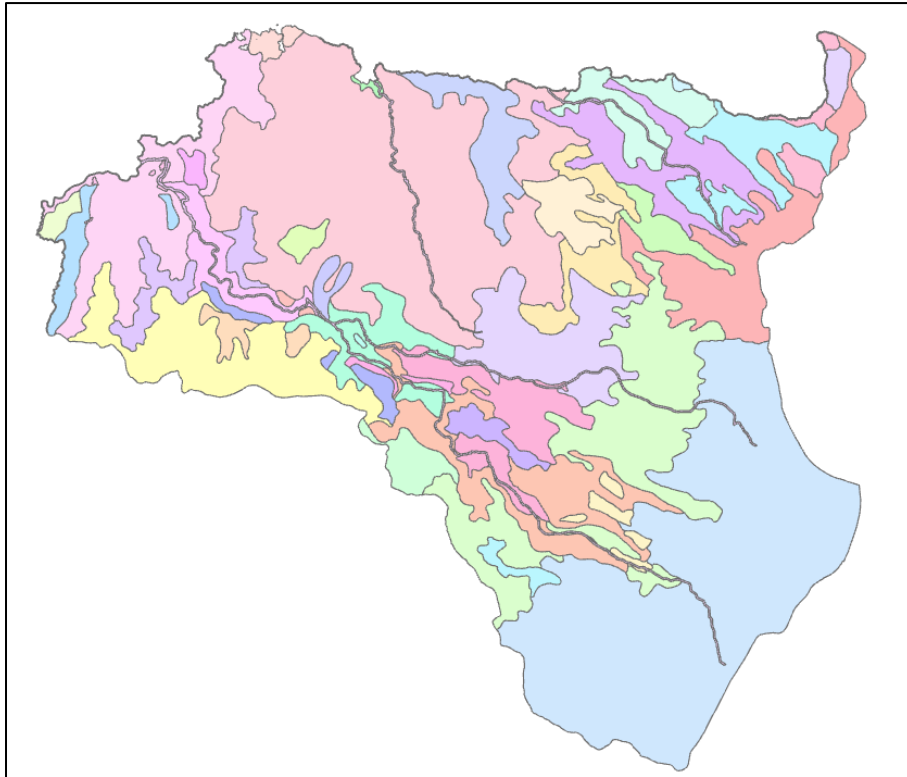


Imagen 7.

Zonas homogéneas físicas rurales, municipio de Villamaría, Caldas



Se hace especial énfasis en la imagen 5, donde se observa que el área total es de 448075674,324889 m² de la capa de zonas homogéneas físicas rurales, pues es este valor, el que deberá aumentar después de depurar la base de datos. También, en la imagen 6, se representa la capa de zonas homogéneas físicas del área rural, en donde se espera encontrar aquellos espacios geográficos susceptibles de depuración.

Con las dos (2) feature class de entrada de prediación y zonas homogéneas, sea urbana o rural, se procede a realizar la unión de ambas, generando espacios geográficos que, en este punto comparten atributos basados en su unión geométrica; cabe mencionar que, se generan campos

tipo FID y que son el punto de partida para identificar la ubicación y número de espacios geográficos, para los cuales no existe cobertura de zonas para el respectivo predio.

Con los espacios geográficos identificados, se procede a hacer una selección por atributos, basados en el campo FID de interés; debe mencionarse que se estableció también la condición de que el área del espacio a analizar, fuera menor que $0,1 \text{ m}^2$, para asumir que no requiriera un estudio profundo por parte del profesional de catastro asignado y que pudiera automatizarse su gestión. Posteriormente se genera archivo shape de polígono con las áreas obtenidas; adicionalmente se procede a borrar los campos necesarios, mencionando que, desde el inicio mismo del análisis espacial, se debe conservar la estructura predeterminada del feature class, shape de polígono, que ha sido diseñada desde administración central. En esta actividad, la finalidad es tener un shape de polígono cuyo único atributo sea la identificación de la zona homogénea física.

Es de esperarse que tales espacios que, hasta este momento tienen únicamente identificador de zona, deben tener los mismos tipos de atributos asociados a otra zona con atributos completos; es por eso que se aplica spatial join, desde el shape original de zonas al shape que cuenta con únicamente código de zona, para que éste último adopte la información vinculada respectiva y se procede nuevamente a borrar los campos que no corresponden a la estructura de la GDB original. No obstante, al utilizar spatial join, ArcGIS Pro, conserva solamente los valores únicos de otras variables tales como influencia vial, por lo que, nuevamente deben dejarse como único campo en el shape, el campo identificador de zona.

Para solucionar lo anterior, se debe hacer un join field: Lo primero que debe disponerse en el algoritmo, son las tablas de atributo, por lo que se utiliza la herramienta table to table para las dos (2) capas: shape obtenido hasta el momento y shape de zonas original, entonces se utiliza

join field para vincular todos aquellos atributos desde el shape original de zonas, al shape de trabajo, basados en el campo común de identificador o código de zonas, sean físicas u homogéneas. Una vez más se procede a borrar los campos que no corresponden a la estructura de la GDB original.

Hasta este punto ya se cuenta con un shape con polígonos que tienen los mismos atributos de la capa inicial de zonas. Sin embargo, se tiene la particularidad de tener polígonos que comparten exactamente la misma información, pero en polígonos diferentes, por lo que deben disolverse a partir del código de zonas.

En este punto ya se cuenta con el shape definitivo que debe ser adicionado a la capa de zonas inicial y, como se explica a continuación, se procede a utilizar la herramienta append de ArcGIS Pro, para tener una sola capa definitiva como resultado.

Teniendo entonces el shape de espacios con atributos respectivos, se debe proceder a integrar tales espacios adicionales, a la capa original de zonas, susceptible a análisis, haciendo uso de la herramienta append.

Es entonces cuando, se adjuntan las capas de zonas homogéneas físicas, sin dejar de mencionar que como en el caso anteriormente referido, para los campos se conservan únicamente los valores únicos, lo cual se debe corregir, con el uso de join field.

Nuevamente, se hace uso de join field, disponiendo primero las tablas de atributos, por lo que se utiliza la herramienta table to table para las dos (2) capas: shape obtenido hasta el momento y shape de zonas original; de manera posterior, a través de join field, se vinculan todos aquellos atributos desde el shape inicial de zonas al shape de trabajo, basados en el campo común de identificador o código de zonas, sean físicas u homogéneas. Una vez más se procede a borrar los campos que no corresponden a la estructura de la GDB original.

Como paso final, sobre la capa resultado, se aplica una disolución, pero este caso, seleccionando todos y cada uno de los atributos, ya que se presentan varios polígonos con los mismos atributos, pero con diferente geometría, obteniéndose el respectivo shapefile de polígonos de los espacios geográficos que son, finalmente, inconsistencias catastrales y que se presentan en la imagen 8 de forma global y en detalle en la imagen 9:

Imagen 8.

Espacios geográficos de análisis – extensión área rural del municipio

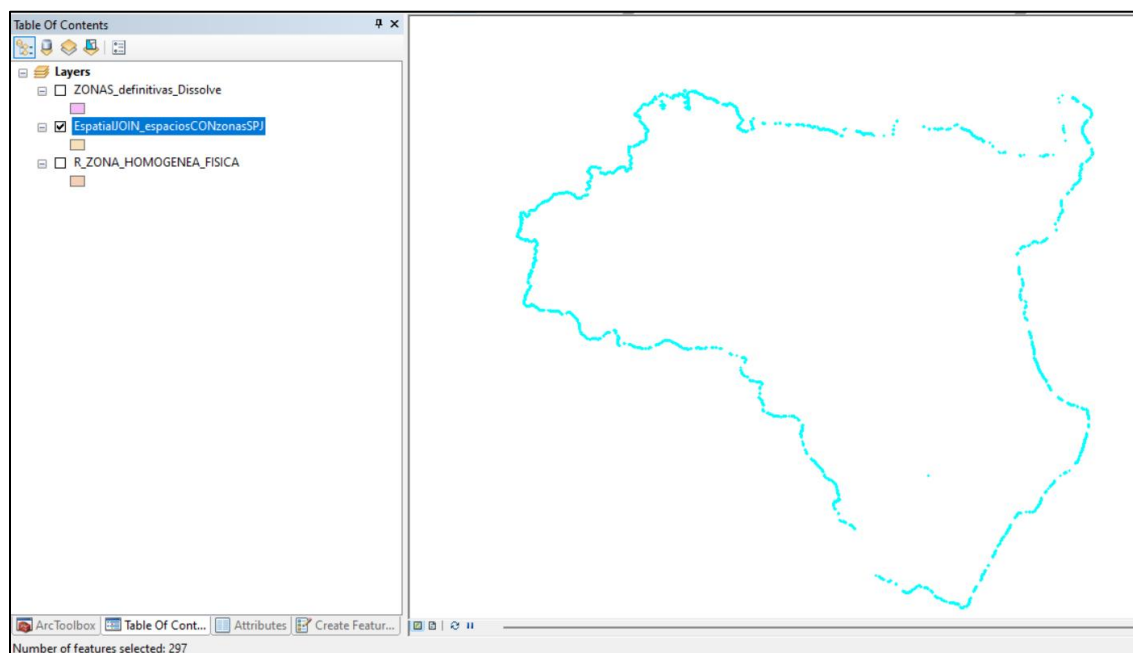
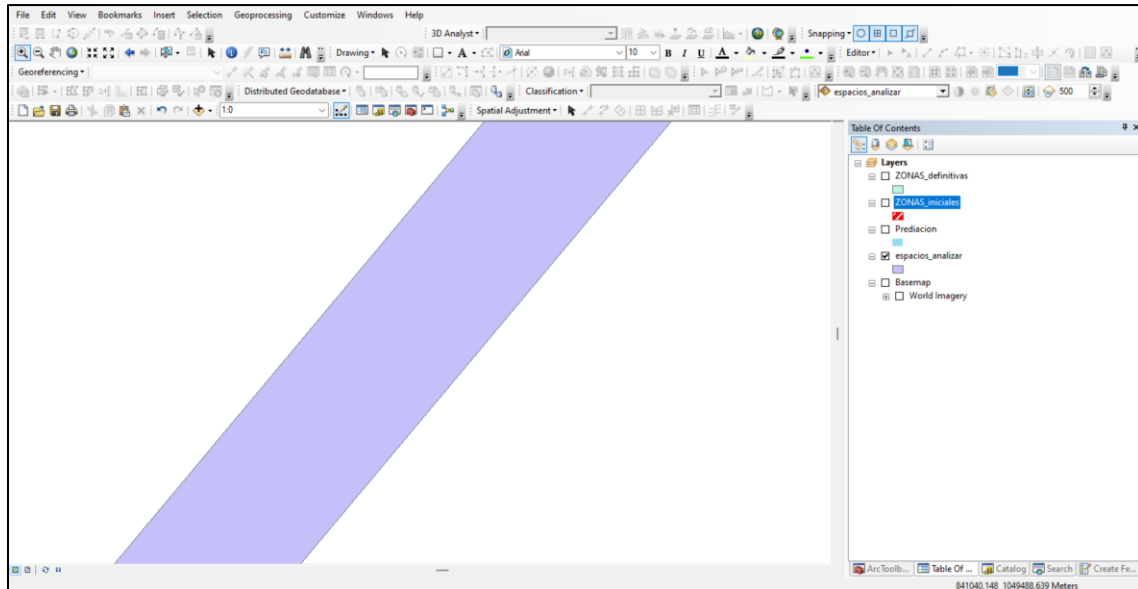


Imagen 9.

Espacio geográfico de análisis – zoom de detalle

**Estructurar la secuencia lógica para el flujo de trabajo en Model Builder**

Ya definidos la serie de etapas y análisis espaciales, se continua con la construcción del respectivo flujo de trabajo, Model Builder, el cual en este punto puede utilizarse para realizar una depuración automatizada, pero con la limitación de ser usada en una sesión de ArcGIS Pro, siendo lo deseado, poder realizar la corrección de errores topológicos, sin necesidad de tener instalado tal SIG; Como lo referido, se empleara lenguaje de Programación Python, usando las módulos y/o librerías respectivas.

En la imagen 10 se presenta el flujo de trabajo global construido en model builder partir de la lógica obtenida con el análisis espacial, así mismo, en las imágenes 11,12 y 13 el flujo se puede visualizar con más detalle:

Imagen 10.

Flujo de trabajo global para cobertura de zonas homogéneas física sobre prediación

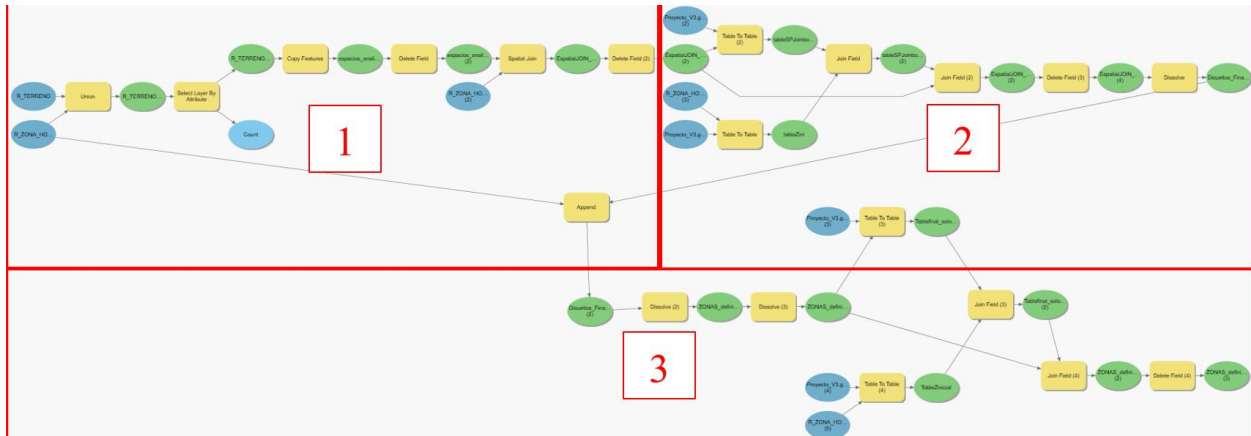


Imagen 11.

Flujo de trabajo parte 1

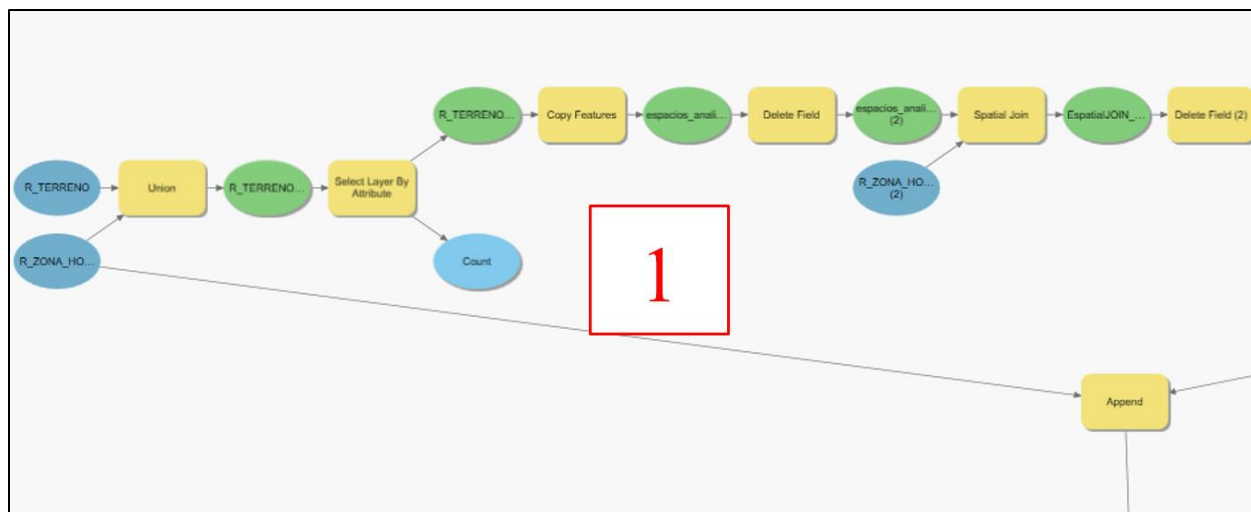


Imagen 12.

Flujo de trabajo parte 2

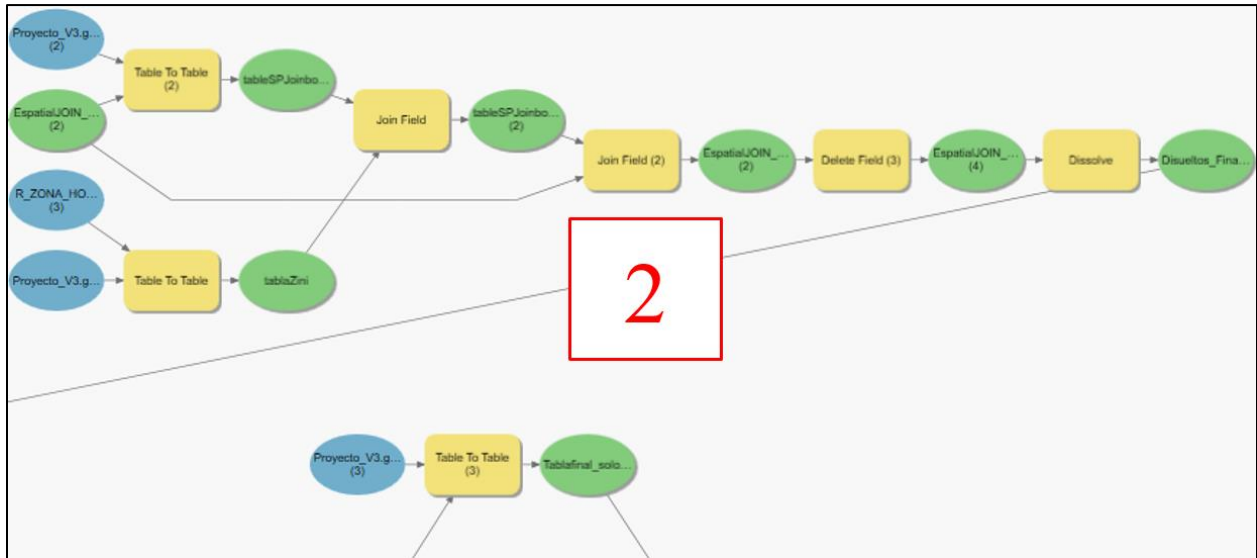
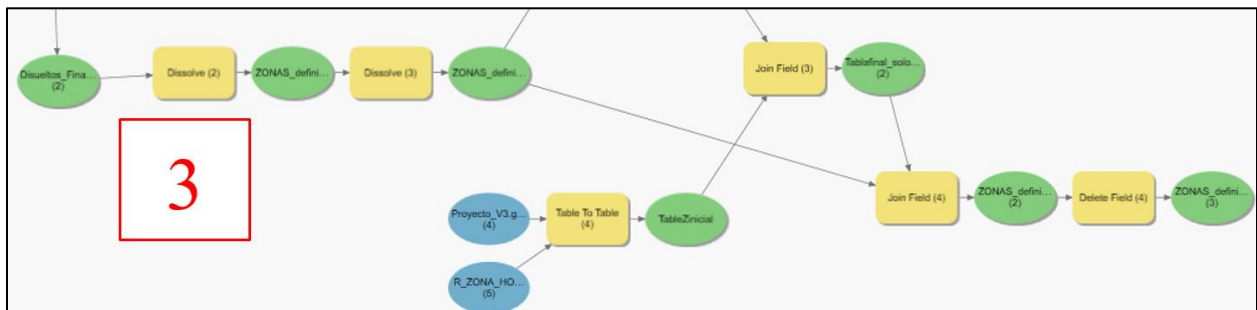


Imagen 13.

Flujo de trabajo parte 3



9.1.2 Fase 2. Construir un script en lenguaje python para depuración vectorial

Partiendo del flujo de trabajo construido con Model Builder, se continua con la exportación a código Python, con la finalidad máxima de editarlo, particularizarlo y generar el

respectivo script. Cabe mencionar que, si se requiere abordar una GDB con estructura diferente, el código debe modificarse para lo pertinente. A continuación, se presentan algunas muestras de código exportado:

Muestra 1:

```
# -*- coding: utf-8 -*-
"""
Generated by ArcGIS ModelBuilder on : 2023-01-16 11:03:30
"""
import arcpy

def Model(): # Model

    # To allow overwriting outputs change overwriteOutput option to True.
    arcpy.env.overwriteOutput = False

    # Model Environment settings
    with
arcpy.EnvManager(scratchWorkspace=r"D:\Especializacion_SIG\Trabajo_Grado\Test_Villa
maria_3\Proyecto_V3\Proyecto_V3.gdb",
workspace=r"D:\Especializacion_SIG\Trabajo_Grado\Test_Villamaria_3\Proyecto_V3\Proye
cto_V3.gdb"):
    R_TERRENO = "R_TERRENO"
    R_ZONA_HOMOGENEA_FISICA = "R_ZONA_HOMOGENEA_FISICA"
    R_ZONA_HOMOGENEA_FISICA_2_ = "R_ZONA_HOMOGENEA_FISICA"
    Proyecto_V3_gdb_2_ =
"D:\Especializacion_SIG\Trabajo_Grado\Test_Villamaria_3\Proyecto_V3\Proyecto_V3.g
db"
    R_ZONA_HOMOGENEA_FISICA_3_ = "R_ZONA_HOMOGENEA_FISICA"
    Proyecto_V3_gdb =
"D:\Especializacion_SIG\Trabajo_Grado\Test_Villamaria_3\Proyecto_V3\Proyecto_V3.g
db"
    Proyecto_V3_gdb_3_ =
"D:\Especializacion_SIG\Trabajo_Grado\Test_Villamaria_3\Proyecto_V3\Proyecto_V3.g
db"
    R_ZONA_HOMOGENEA_FISICA_5_ = "R_ZONA_HOMOGENEA_FISICA"
    Proyecto_V3_gdb_4_ =
"D:\Especializacion_SIG\Trabajo_Grado\Test_Villamaria_3\Proyecto_V3\Proyecto_V3.g
db"
```

Muestra 2:

```

# Process: Table To Table (Table To Table) (conversion)
    tablaZini =
arcpy.conversion.TableToTable(in_rows=R_ZONA_HOMOGENEA_FISICA_3_,
out_path=Proyecto_V3_gdb, out_name="tablaZini", where_clause="",
field_mapping="CODIGO \"Codigo\" true true true 7 Text 0
0,First,#,R_ZONA_HOMOGENEA_FISICA,CODIGO,0,7;CODIGO_ZONA_FISICA
\"Codigo_Zona_Fisica\" true true true 4 Text 0
0,First,#,R_ZONA_HOMOGENEA_FISICA,CODIGO_ZONA_FISICA,0,4;AREA_HOMOGE
NEA_TIERRA \"Area_Homogenea_Tierra\" true true false 600 Text 0
0,First,#,R_ZONA_HOMOGENEA_FISICA,AREA_HOMOGENEA_TIERRA,0,600;DISPONI
BILIDAD_AGUA \"Disponibilidad_Agua\" true true false 4 Long 0
0,First,#,R_ZONA_HOMOGENEA_FISICA,DISPONIBILIDAD_AGUA,-1,-
1;INFLUENCIA_VIAL \"Influencia_Vial\" true true false 4 Long 0
0,First,#,R_ZONA_HOMOGENEA_FISICA,INFLUENCIA_VIAL,-1,-
1;USO_ACTUAL_SUELO \"Uso_Actual_Suelo\" true true false 4 Long 0
0,First,#,R_ZONA_HOMOGENEA_FISICA,USO_ACTUAL_SUELO,-1,-
1;NORMA_USO_SUELO \"Norma_Uso_Suelo\" true true false 250 Text 0
0,First,#,R_ZONA_HOMOGENEA_FISICA,NORMA_USO_SUELO,0,250;VIGENCIA
\"Vigencia\" true true false 8 Date 0 0,First,#,R_ZONA_HOMOGENEA_FISICA,VIGENCIA,-
1,-1;USUARIO_LOG \"Usuario_Log\" true true false 100 Text 0
0,First,#,R_ZONA_HOMOGENEA_FISICA,USUARIO_LOG,0,100;FECHA_LOG
\"Fecha_Log\" true true false 8 Date 0
0,First,#,R_ZONA_HOMOGENEA_FISICA,FECHA_LOG,-1,-1;GLOBALID_SNC
\"GLOBALID_SNC\" true true false 38 Text 0
0,First,#,R_ZONA_HOMOGENEA_FISICA,GLOBALID_SNC,0,38;GLOBALID
\"GLOBALID\" false false true 38 GlobalID 0
0,First,#,R_ZONA_HOMOGENEA_FISICA,GLOBALID,-1,-1;CODIGO_MUNICIPIO
\"CODIGO_MUNICIPIO\" true true false 5 Text 0
0,First,#,R_ZONA_HOMOGENEA_FISICA,CODIGO_MUNICIPIO,0,5;SHAPE_Length
\"SHAPE_Length\" false true true 8 Double 0
0,First,#,R_ZONA_HOMOGENEA_FISICA,SHAPE_Length,-1,-1;SHAPE_Area
\"SHAPE_Area\" false true true 8 Double 0
0,First,#,R_ZONA_HOMOGENEA_FISICA,SHAPE_Area,-1,-1", config_keyword="")[0]

# Process: Join Field (Join Field) (management)
    tableSPJoinborrar_2_ = arcpy.management.JoinField(in_data=tableSPJoinborrar,
in_field="CODIGO_ZONA_FISICA", join_table=tablaZini,
join_field="CODIGO_ZONA_FISICA", fields=[])[0]

# Process: Join Field (2) (Join Field) (management)
    EspatialJOIN_espaciosCONzonasSPJ_2_ =
arcpy.management.JoinField(in_data=EspatialJOIN_espaciosCONzonas_2_,
in_field="CODIGO_ZONA_FISICA", join_table=tableSPJoinborrar_2_,
join_field="CODIGO_ZONA_FISICA", fields=[])[0]

```

Muestra 3:

```

# Process: Join Field (3) (Join Field) (management)
  Tablafinal_soloZONAS_2_ =
arcpy.management.JoinField(in_data=Tablafinal_soloZONAS,
in_field="CODIGO_ZONA_FISICA_12", join_table=TableZinicial,
join_field="CODIGO_ZONA_FISICA", fields=[])[0]

# Process: Join Field (4) (Join Field) (management)
  ZONAS_definitivas_Dissolve_2_ =
arcpy.management.JoinField(in_data=ZONAS_definitivas_Dissolve,
in_field="CODIGO_ZONA_FISICA_12", join_table=Tablafinal_soloZONAS_2_,
join_field="CODIGO_ZONA_FISICA_12", fields=[])[0]

# Process: Delete Field (4) (Delete Field) (management)
  ZONAS_definitivas_Dissolve_3_ =
arcpy.management.DeleteField(in_table=ZONAS_definitivas_Dissolve_2_,
drop_field=["CODIGO_ZONA_FISICA_12", "CODIGO_ZONA_FISICA_12_13",
"SHAPE_Length_1", "SHAPE_Area_1"])[0]

if __name__ == '__main__':
  Model()

```

MUESTRAS DE CÓDIGO FINAL:

Ya con el código exportado en Python se utiliza el entorno de desarrollo integrado PyCharm para realizar revisión y optimización del código y creación de la respectiva interfaz, con el fin principal de permitir al experto SIG, seleccionar la carpeta de trabajo de la GeoDataBase como entorno de trabajo, donde se alojará la Feature Data Set resultado. Con lo anterior, se evita inicializar el software ArcGIS Pro para realizar el análisis espacial y así disminuir el tiempo de procesamiento del algoritmo, es decir, no se requiere una instancia de ArcGIS ni Model Builder para ejecutar el flujo de trabajo:

Muestra 1:

```

import arcpytry: print("ARCPY ok")except: print("error importando ARCPY")}from site
import addsitedirfrom sys import executablefrom os import pathinterpreter =
executablesitepkg = path.dirname(interpreter) + "\\site-packages"addsitedir(sitepkg)import
timetiempo_inicial=time.time()

```

Muestra 2:

```
def Model(): # Model print("...Seleccione la carpeta (descomprimida) donde esta la gdb...")
root = Tk() root.iconbitmap(sys.executable) root.title("H_Vec_2.0") filepath =
filedialog.askdirectory(initialdir="/") root.destroy() Ruta_gdb = filepath
print(Ruta_gdb) print(" ") print(".....procesando algoritmo: (21 fases).....") # To
allow overwriting outputs change overwriteOutput option to True.
arcpy.env.overwriteOutput = True # Model Environment settings with
arcpy.EnvManager(scratchWorkspace=Ruta_gdb, workspace=Ruta_gdb):
R_TERRENO="R_TERRENO"
R_ZONA_HOMOGENEA_FISICA="R_ZONA_HOMOGENEA_FISICA" #1 Process:
Union (Union) (analysis): Union inicial ZHF con R_Terreno
R_TERRENO_union_R_ZHF_1= Ruta_gdb+"/"+R_TERRENO_union_R_ZHF_1"
arcpy.analysis.Union(in_features=[[R_TERRENO, ""], [R_ZONA_HOMOGENEA_FISICA,
""]], out_feature_class=R_TERRENO_union_R_ZHF_1, join_attributes="ALL",
cluster_tolerance="", gaps="NO_GAPS") print("...fase_1 OK...")
```

Muestra 3:

```
# Process: Join Field (4) (Join Field) (management) ZONAS_definitivas_Dissolve_2_ =
arcpy.management.JoinField(in_data=ZONAS_definitivas_Dissolve,
in_field="CODIGO_ZONA_FISICA_12", join_table=Tablafinal_soloZONAS_2_,
join_field="CODIGO_ZONA_FISICA_12", fields=[])[0] print("...fase_20 OK...") #
Process: Delete Field (4) (Delete Field) (management) ZONAS_definitivas_Dissolve_3_
= arcpy.management.DeleteField(in_table=ZONAS_definitivas_Dissolve_2_,
drop_field=["CODIGO_ZONA_FISICA_12", "CODIGO_ZONA_FISICA_12_13",
"SHAPE_Length_1", "SHAPE_Area_1"])[0] print("...fase_21 OK...") tiempo_final =
time.time() print("El tiempo de procesamiento del algoritmo fue: " + str(tiempo_final -
tiempo_inicial) + " segundos")if __name__ == '__main__': Model()
```

Explicación del código:

El código proporcionado es un script en Python que utiliza la biblioteca ArcPy para realizar una serie de procesamientos espaciales y de datos en un archivo GeoDataBase. Aquí está la estructura y la utilidad de cada parte del código:

Importación de módulos y librerías:

`import time`: Importa el módulo `time` para realizar mediciones de tiempo.

`from Tkinter import *`: Importa el módulo `Tkinter` para crear una interfaz gráfica básica.

`import Tkinter, tkFileDialog`: Importa el módulo `Tkinter` y `tkFileDialog` para manejar cuadros de diálogo para seleccionar archivos.

`import os`: Importa el módulo `os` para realizar operaciones relacionadas con el sistema operativo.

`import sys`: Importa el módulo `sys` para acceder a variables y funciones específicas del sistema.

`import arcpy`: Importa la biblioteca `arcpy`, que es una parte de ArcGIS, para realizar análisis y procesamiento de datos geoespaciales.

Creación de una instancia de la interfaz gráfica `Tkinter`: Se crea una instancia de la clase `Tk()` para crear una ventana de la interfaz gráfica.

Definición de la función `Model()`: Esta función contiene el algoritmo principal.

Configuración del entorno del modelo:

`arcpy.env.overwriteOutput = True`: Establece la opción para sobrescribir los datos de salida si ya existen.

`arcpy.EnvManager(scratchWorkspace=r"D:\\Especializacion_SIG\\Trabajo_Grado\\PYTHON\\Otras_Pruebas\\17873_2.gdb", workspace=r"D:\\Especializacion_SIG\\Trabajo_Grado\\PYTHON\\Otras_Pruebas\\17873_2.gdb")`: Establece el entorno de trabajo y el espacio de trabajo en la geodatabase especificada.

Procesamiento de datos:

El código contiene una serie de llamadas a funciones de la biblioteca `arcpy` para realizar operaciones espaciales y de datos, como `Union`, `MakeFeatureLayer`, `SelectLayerByAttribute`,

CopyFeatures, DeleteField, SpatialJoin, TableToTable, etc. Cada llamada a función realiza una operación específica en los datos geoespaciales y produce un resultado.

Impresión de mensajes de estado:

`print(".....procesando algoritmo: (21 fases).....")`: Imprime un mensaje para indicar que se está procesando un algoritmo con 21 fases.

`print("...fase_X OK...")`: Imprime un mensaje para indicar que la fase X se ha completado correctamente.

Mediciones de tiempo:

`tiempo_inicial = time.time()`: Registra el tiempo de inicio del script.

Se puede calcular el tiempo total de ejecución restando `tiempo_inicial` del tiempo actual y mostrar el resultado al final del script.

En resumen, este código utiliza la biblioteca `arcpy` para realizar una serie de operaciones espaciales y de datos en una geodatabase, como uniones, selecciones, eliminación de campos y combinaciones de tablas. El código también utiliza la biblioteca `Tkinter` para crear una interfaz gráfica básica y el módulo `time` para medir el tiempo de ejecución del script.

Estimar el tiempo de depuración manual tradicional

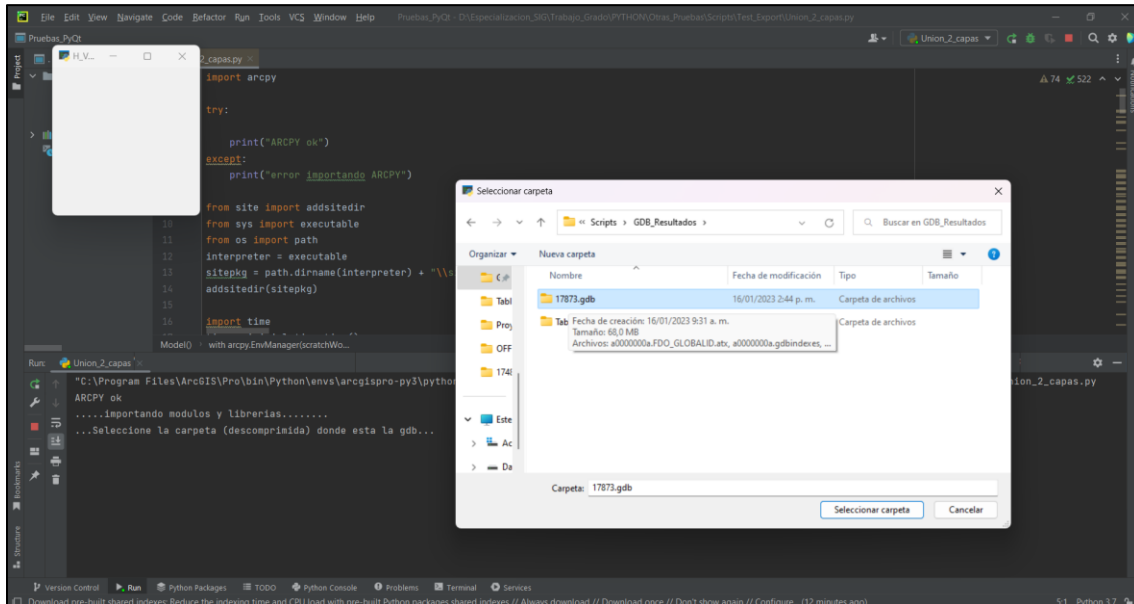
Basado en informe técnico por parte de funcionario experto y delegado para análisis espacial y depuración manual, se estimó un tiempo de gestión manual de las inconsistencias de 18000 segundos, tomando en cuenta cien (100) errores como referencia.

Difundir los resultados obtenidos

En esta fase de desarrollo, se ejecuta el script de python, obteniéndose la siguiente visualización:

Imagen 14.

Selección de carpeta donde se encuentra la GDB a modificar



ARCPY ok

....importando módulos y librerías.....

...Seleccione la carpeta (descomprimida) donde está la gdb...

D:/Especializacion_SIG/Trabajo_Grado/PYTHON/Otras_Pruebas/Scripts/GDB_Resultados/17873.gdb

.....procesando algoritmo: (21 fases).....

...fase_1 OK...

...fase_2 OK...

...fase_3 OK...

...fase_4 OK...

...fase_5 OK...

...fase_6 OK...

...fase_7 OK...

...fase_8 OK...

```
...fase_9 OK...  
...fase_10 OK...  
...fase_11 OK...  
...fase_12 OK...  
...fase_13 OK...  
...fase_14 OK...  
...fase_15 OK...  
...fase_16 OK...  
...fase_17 OK...  
...fase_18 OK...  
...fase_19 OK...  
...fase_20 OK...  
...fase_21 OK...
```

El tiempo de procesamiento del algoritmo fue: **60.25054407119751 segundos**

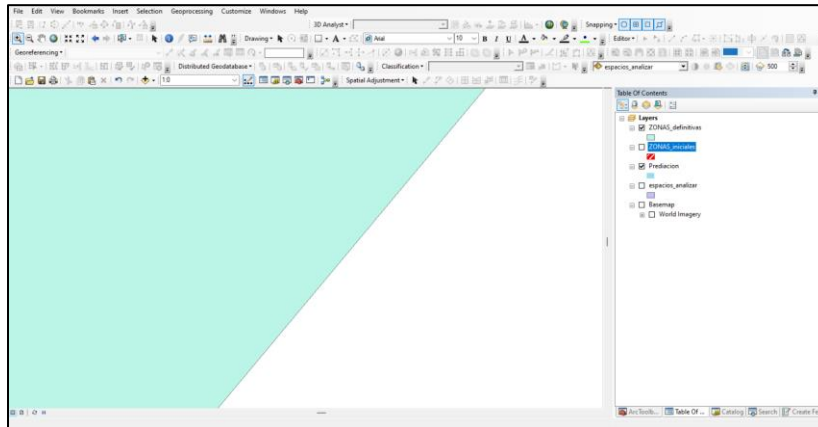
Process finished with exit code 0

Es entonces como se lograron depurar 297 inconsistencias topológicas con la lógica de programación establecida, permitiendo, conforme a los objetivos del presente trabajo de grado, aumentar la cobertura de zonas homogéneas físicas rurales sobre la prediación rural. Lo anterior, en tan solo **60.25054407119751 segundos** referente a los 297 errores; si se hace una proyección para 100 errores, el tiempo sería $100 * 60.25054407119751 / 297 = \mathbf{20.28637847515 \text{ segundos}}$, comparado con la depuración manual tradicional que, se estima, por parte de funcionarios expertos del IGAC Territorial Caldas, en **18000 segundos**, para 100 errores, lo cual representa un 0,1127 % del tiempo requerido a través de depuración manual.

En este punto de avance y, al haber ejecutado el script, la GDB ya cuenta con un shapefile de espacios geográficos de análisis, adicional a la capa de zonas depurada y otras capas intermedias generadas en el proceso de depuración, tal como se presenta en la imagen 7.

Imagen 15.

Predio de análisis – zoom de detalle a cobertura total de zonas

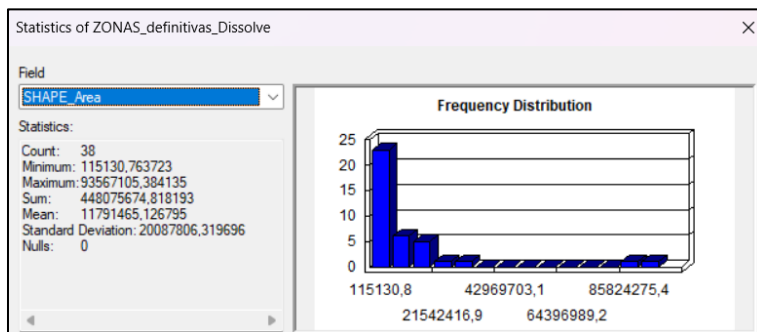


Así como en la imagen 3 se presentó un ejemplo real de error topológico por falta de cobertura de zonas, en la imagen 11, se muestra que, posterior al procesamiento automatizado, el predio ya cuenta con cobertura total de zonas físicas.

FEATURE CLASS ZONA HOMOGÉNEA FÍSICA RURAL FINAL:

Imagen 16.

Estadísticas feature class Zona Homogénea Física Rural final

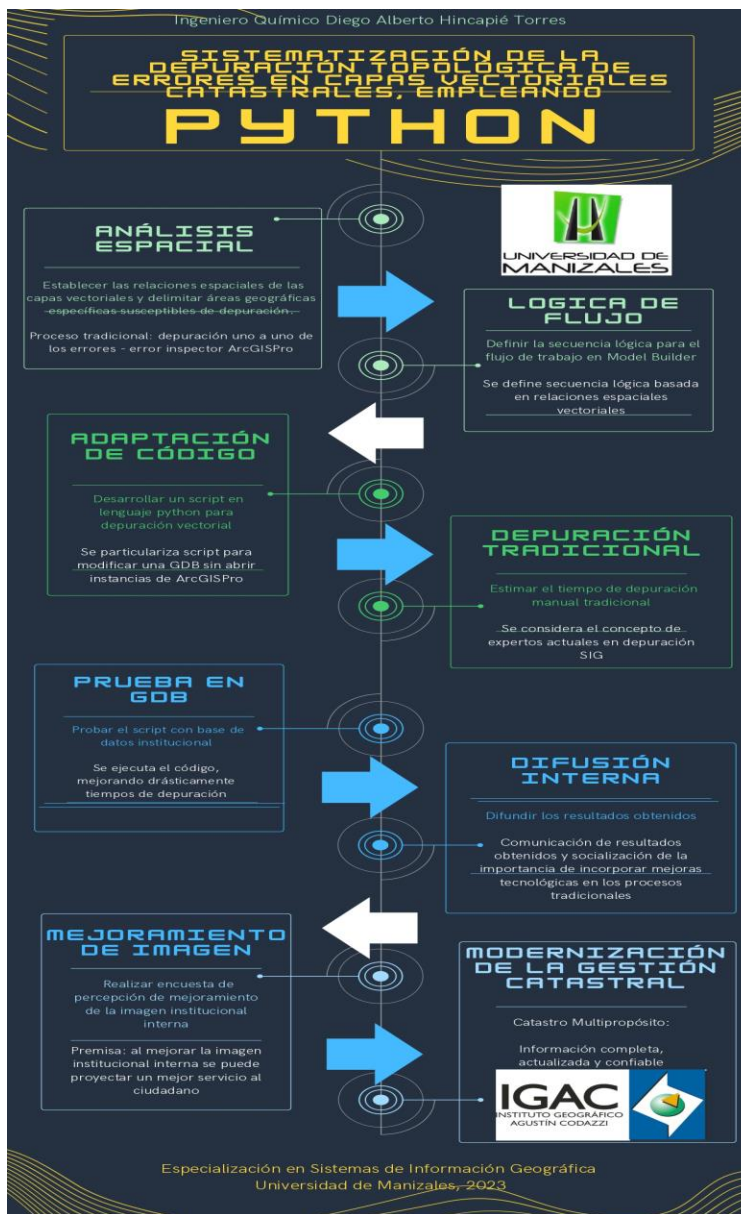


Conforme al reporte estadístico de la imagen 11, se obtuvo una Feature Class de Zonas Homogéneas Físicas con un área total de 448075674,818193 m², comparada con la Feature Class inicial que tenía un área de 448075674,324889 m² y que se presentó en la imagen 5, es decir, se logró extender la Feature Class de Zonas sobre la prediación, en 0,493304 m², con el fin de que cada predio tuviera su respectiva cobertura y así solucionar las inconsistencias topológicas respectivas, cifra que representa un $1,100939 * 10^{-7}$ % adicional respecto al área total de la capa de zonas del municipio; es decir, de forma manual habría sido virtualmente imposible e ineficiente, obtener tal valor haciendo uso de ajustes manuales de polígonos con las herramientas tradicionales de las herramientas SIG.

A continuación, se muestra la infografía enviada por correo electrónico institucional, donde se plasmaron los aspectos más importantes del proceso de depuración automatizada.

Imagen 17.

Infografía difusión de resultados



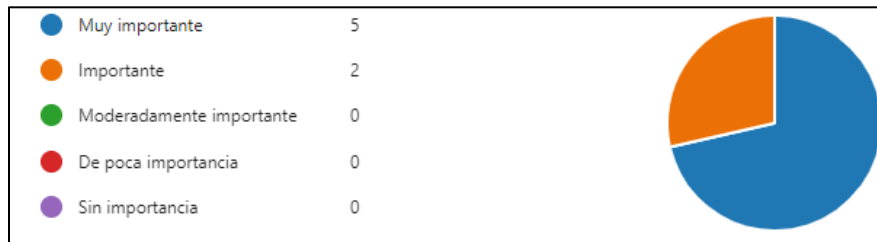
9.1.3 Fase 3. Analizar la percepción de mejoramiento de la imagen institucional interna

Así mismo, se realizó encuesta al personal de la entidad en la Dirección Territorial Caldas, considerando los objetivos del proyecto, así como sus resultados, evidenciándose lo siguiente:

1. El proyecto mejora la eficiencia en la detección de errores topológicos en las capas vectoriales catastrales.

Imagen 18.

Pregunta 1 encuesta de percepción



La mayoría de los encuestados consideró esta mejora como “Importante” o “Muy importante”. Estos resultados respaldan la efectividad del proyecto en agilizar y optimizar el proceso de detección de errores. (ver imagen 14).

2. La delimitación de áreas geográficas específicas es útil para la depuración de errores.

Imagen 19.

Pregunta 2 encuesta de percepción



La mayor parte de los encuestados asignó una calificación de “Muy Importante” o “Importante “. Estos resultados indican que la delimitación de áreas geográficas específicas ayuda a focalizar y solucionar de manera más efectiva los errores en las capas vectoriales catastrales. (ver imagen 15).

3. La secuencia lógica establecida en el flujo de trabajo en Model Builder facilita la depuración de errores.

Imagen 20.

Pregunta 3 encuesta de percepción



La mayoría de los participantes de la encuesta consideró esta declaración como “Muy importante” o “Moderadamente importante”. Estos resultados sugieren que seguir una secuencia lógica en el flujo de trabajo contribuye a una detección y resolución de errores más eficiente. (ver imagen 16).

4. El script en lenguaje Python es efectivo para la depuración vectorial automatizada.

Imagen 21.

Pregunta 4 encuesta de percepción

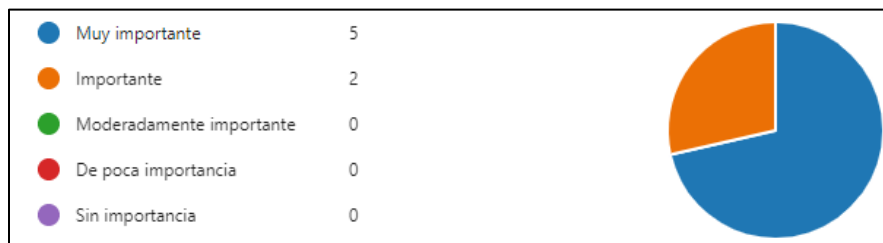


De forma mayoritaria, los encuestados calificó esta afirmación como “Muy Importante”. Estos resultados indican que la secuencia lógica establecida en el flujo de trabajo contribuye a una detección y resolución más eficiente de errores. (ver imagen 17).

5. La estimación del tiempo de depuración manual tradicional demuestra la eficacia del proyecto.

Imagen 22.

Pregunta 5 encuesta de percepción



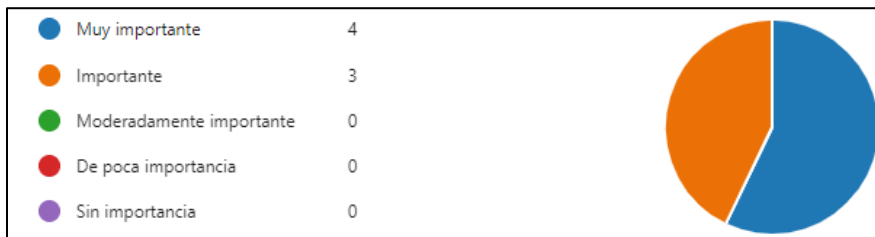
Las respuestas varían, pero la mayoría de los encuestados asignó una calificación de “Importante”, siguiendo en orden la valoración de “Importante”. Estos resultados indican que la

comparación entre el tiempo de depuración manual tradicional y el tiempo ahorrado mediante el proyecto es percibida como una evidencia válida de su eficacia. (ver imagen 18).

6. La automatización del proceso de depuración agiliza las tareas relacionadas con las capas vectoriales catastrales.

Imagen 23.

Pregunta 6 encuesta de percepción



Casi todos los encuestados consideró esta afirmación como “Importante” o “Muy importante”. Estos resultados respaldan la noción de que la automatización contribuye a la eficiencia y ahorro de tiempo en las tareas de depuración. (ver imagen 19).

7. El proyecto aumenta la precisión en la detección de errores topológicos.

Imagen 24.

Pregunta 7 encuesta de percepción



La calificación asignada por los encuestados varía, pero la mayoría considera esta afirmación como “Importante” o “Muy importante”. Estos resultados indican que el proyecto ha logrado mejorar la precisión en la detección de errores topológicos, lo cual es un aspecto clave en su éxito. (ver imagen 20).

8. El proyecto ahorra tiempo y recursos en comparación con los métodos manuales de depuración.

Imagen 25.

Pregunta 8 encuesta de percepción



La mayoría de los encuestados considera esta afirmación como “Muy importante”. Estos resultados respaldan la eficiencia y el ahorro que proporciona el proyecto en términos de tiempo y recursos utilizados en la depuración manual. La calificación de “De poca importancia” podría evidenciar una necesidad de capacitación y calificación técnica para los funcionarios. (ver imagen 21).

9. La implementación del proyecto mejora la calidad de los datos catastrales

Imagen 26.

Pregunta 9 encuesta de percepción



Los encuestados asignaron principalmente una calificación de “Importante” o “Muy importante” a esta afirmación. Esto indica que la implementación del proyecto ha demostrado ser efectiva en la mejora de la calidad de los datos catastrales, lo cual es fundamental para garantizar la fiabilidad y precisión de la información geográfica. (ver imagen 22).

10. Recomendaría la implementación de este proyecto en otras instituciones.

Imagen 27.

Pregunta 10 encuesta de percepción



En su mayoría, los encuestados asignaron una calificación de “Importante” o “Muy importante” a esta afirmación. Esto indica que la implementación del proyecto ha demostrado ser efectiva en la mejora de la calidad de los datos catastrales, lo cual es fundamental para garantizar la fiabilidad y precisión de la información geográfica. (ver imagen 23).

11. El proyecto ha contribuido al mejoramiento de la imagen institucional interna.

Imagen 28.

Pregunta 11 encuesta de percepción

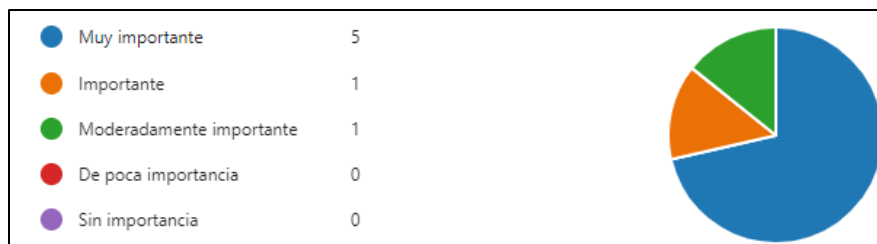


Existen diferentes respuestas, pero la mayoría asignó calificaciones como “Muy importante” y “Moderadamente importante”. Esto sugiere que, si bien el proyecto ha tenido algún impacto en la imagen institucional interna, aún hay margen para mejorar y fortalecer esta área. (ver imagen 24).

12. El proyecto genera un impacto positivo en la eficacia del trabajo institucional.

Imagen 29.

Pregunta 12 encuesta de percepción



La mayoría de los participantes de la encuesta, consideró esta afirmación como “Muy importante”. Esto indica que el proyecto ha logrado mejorar la eficacia del trabajo institucional, lo cual es un resultado positivo y respalda el éxito de su implementación. (ver imagen 25).

Análisis global:

En general, el análisis de las respuestas muestra que el proyecto de sistemas de información geográfica ha sido exitoso en la consecución de sus objetivos. La mayoría de las preguntas recibieron una alta importancia en sus respuestas, lo cual indica que el proyecto ha tenido un impacto positivo en diferentes aspectos, como la eficiencia en la detección de errores, la precisión en la detección de errores topológicos, el ahorro de tiempo y recursos, y la mejora en la calidad de los datos catastrales.

La consistencia en las respuestas y las tendencias generales reflejan la percepción positiva de los encuestados sobre el proyecto y su impacto en diferentes áreas.

En conclusión, el proyecto de sistemas de información geográfica ha logrado cumplir satisfactoriamente con sus objetivos establecidos. La automatización de la depuración de errores topológicos en capas vectoriales catastrales ha demostrado ser efectiva, ahorrando tiempo y recursos en comparación con los métodos manuales. La delimitación de áreas geográficas específicas y la secuencia lógica establecida en el flujo de trabajo han facilitado la depuración de errores. El uso de un script en lenguaje Python ha sido valorado como eficaz en la depuración vectorial automatizada.

El proyecto ha contribuido a mejorar la eficiencia del trabajo institucional y la precisión en la detección de errores topológicos, lo que a su vez ha mejorado la calidad de los datos catastrales. Los resultados obtenidos han sido reconocidos por los encuestados, quienes recomendarían la implementación de este proyecto en otras instituciones.

9.2 Relación de resultados

En este apartado, se describen los resultados concretos conforme a los objetivos específicos planteados y la metodología descrita asociada.

Tabla 6.

Relación de resultados

Objetivos	Resultados / productos esperados	Evidencia	Beneficiario
Delimitar las áreas geográficas específicas susceptibles de depuración.	Shape de polígonos de los espacios geográficos obtenidos para extender cobertura de zonas	GDB inicial GDB depurada	Funcionario o contratista encargado de análisis SIG catastral
	Shape de polígonos correspondiente a la capa de zonas homogéneas depurada.		Administradores y gerentes de entidades o gestores catastrales
	Flujo de trabajo construido con Model Builder	Flujo de trabajo con extensión .pdf	Usuarios con información catastral actualizada
Construir un script en lenguaje python para depuración vectorial	Script en lenguaje python	script .py	Estado Colombiano con mejores insumos para la planeación del territorio
	Shape de polígonos de los espacios geográficos obtenidos para	GDB de prueba, inicial	

	extender cobertura de zonas	
	Shape de polígonos correspondiente a la capa de zonas homogéneas depurada.	GDB de prueba, depurada
	Campaña de difusión por medios institucionales	Infografía con resultados
Analizar la percepción de mejoramiento de la imagen institucional interna	Encuesta de percepción de imagen institucional	Encuesta y análisis de percepción

Análisis de resultados:

En la tabla 8 se presenta un resumen sistemático de los objetivos y productos de este proyecto, lo cual constituye una clara manifestación de los logros obtenidos y la evidencia que respalda cada paso crítico de la implementación.

El proyecto se propuso inicialmente delimitar áreas geográficas susceptibles de depuración, un objetivo fundamental para mejorar la calidad de los datos catastrales. Los resultados revelan la obtención exitosa de un Shape de polígonos que refleja los espacios geográficos propensos a depuración, tanto en la GDB inicial como en la GDB depurada. Tal delimitación de las áreas en cuestión, no solo demuestran la aplicabilidad de la solución propuesta, sino que también sirven como un instrumento valioso para aquellos encargados del análisis SIG catastral.

La definición de una secuencia lógica del flujo de trabajo, mediante Model Builder, establece una base robusta para la implementación y gestión eficiente de la solución. Este flujo

de trabajo se convierte en una guía esencial para los profesionales que buscan aplicar la metodología en situaciones similares.

La implementación de un script en lenguaje Python para depuración vectorial, se traduce en un avance significativo hacia la automatización de procesos. El script .py es más que un simple producto técnico; representa una herramienta potente que puede ser compartida y utilizada en diferentes contextos, allanando el camino hacia la optimización en el análisis SIG catastral.

La campaña de difusión por medios institucionales, con su Infografía de resultados, es un paso estratégico que trasciende los confines técnicos del proyecto. La comunicación efectiva de los resultados alcanzados amplifica el impacto del proyecto al involucrar a un público más amplio y al generar un reconocimiento y comprensión más profundos de la importancia de la gestión catastral mejorada.

El análisis de la percepción de mejoramiento de la imagen institucional interna, apoyado por la Encuesta de percepción de imagen institucional y su subsiguiente análisis, aporta una dimensión humana al proyecto. Más allá de los logros técnicos, este análisis capta la impresión subjetiva y la respuesta a los esfuerzos realizados, contribuyendo a la construcción de un respaldo sólido tanto dentro como fuera de la institución.

En conjunto, esta sección de resultados no solo presenta logros tangibles, sino que también destaca el impacto multifacético de estos logros en diferentes ámbitos. La alineación entre los objetivos, productos esperados y evidencias es un testimonio de la coherencia interna del proyecto, mientras que los beneficiarios abarcan desde profesionales en SIG catastral hasta el Estado mismo. Estos resultados robustos sirven como pilares fundamentales para el éxito de la

propuesta y establecen una base sólida para futuras implementaciones y mejoras en la gestión catastral y los sistemas de información geográfica.

10. CONCLUSIONES

La implementación exitosa de la herramienta desarrollada en Python para automatizar la depuración topológica de errores en las capas vectoriales catastrales ha demostrado su efectividad en la mejora de la eficiencia en el proceso catastral; la herramienta se alinea con el objetivo de un sistema de administración del territorio, en cuanto a ayudar en la toma de decisiones en los ámbitos legal, administrativo y económico para la planificación y desarrollo del territorio.

La automatización mediante lenguajes de programación, en este caso Python, aumentan la eficiencia de la representación y análisis de información geográfica a través de los SIG.

La posibilidad de delimitar áreas geográficas susceptibles de depuración y su integración a la capa original, ha contribuido significativamente a la gestión eficiente de la información catastral.

La definición de una secuencia lógica del flujo de trabajo mediante Model Builder, simplifica el proceso de depuración y se relaciona con la importancia de sistemas de administración del territorio y sistemas de información geográfica, donde la estructuración y organización de los datos son fundamentales para la planificación y el desarrollo territorial.

Los resultados obtenidos con el uso de la herramienta automatizada han llevado a una notable disminución en los tiempos de respuesta a los usuarios: la capacidad de identificar y resolver errores topológicos de manera ágil, no solo optimiza los procesos catastrales, sino que también fortalece la confianza en la gestión estatal y la calidad de los datos catastrales.

La aplicación de esta solución innovadora no solo ha mejorado la eficiencia operativa, sino que también ha tenido un impacto positivo en la percepción de la gestión estatal. La reducción del riesgo disciplinario para los funcionarios y la mejora de la estabilidad laboral, se

traducen en un beneficio tangible para la institución, al tiempo que refuerzan la confianza en los datos catastrales y su calidad.

La metodología y las herramientas desarrolladas, son escalables y adaptables para su implementación en diferentes contextos. La posibilidad de aplicar esta solución en otras capas vectoriales, en distintas entidades territoriales y sistemas de información geográfica a nivel mundial que manejen polígonos, subraya su relevancia y potencial de impacto a gran escala.

Una hito estratégico, a futuro, sería la realización de estudios detallados para cuantificar y analizar las mejoras en las cargas laborales derivadas de la disminución en los tiempos de depuración gracias a la herramienta automatizada.

11. RECOMENDACIONES

Estudio de Escalabilidad y Aplicación Global: Dado el éxito demostrado en la automatización de la depuración topológica en capas vectoriales catastrales, se sugiere realizar un estudio exhaustivo de la escalabilidad de la metodología y herramientas desarrolladas. Esto permitirá evaluar su aplicabilidad en otros contextos geográficos y sistemas de información geográfica a nivel mundial. Por ejemplo, podría explorarse su implementación en otras bases de datos geográficas distintas, que manejen datos vectoriales y así evaluar su adaptabilidad y rendimiento en diferentes entornos.

Comparación Internacional: Para enriquecer aún más los resultados y conclusiones de su trabajo, se recomienda realizar un estudio comparativo entre los resultados obtenidos en Colombia y los de otros países que enfrenten desafíos similares en la gestión catastral. Esto permitirá identificar patrones, desviaciones y buenas prácticas que podrían enriquecer futuras implementaciones y optimizaciones.

Integración con Sistemas Existentes: Se sugiere investigar la posibilidad de integrar la aplicación desarrollada en Python con los sistemas de gestión de información catastral ya existentes en instituciones y entidades territoriales. Esta integración podría potenciar la eficacia y el alcance de la solución, al permitir una gestión más holística y eficiente de los datos catastrales.

Análisis Costo-Beneficio: Para una implementación exitosa a gran escala, es crucial llevar a cabo un análisis detallado de los costos y beneficios asociados con la solución propuesta. Esto proporcionará una perspectiva económica sólida y respaldará la toma de decisiones informadas sobre su adopción y expansión.

Interfaz de Usuario Mejorada: Considerando la diversidad de usuarios que podrían utilizar la herramienta, se recomienda explorar la creación de una interfaz de usuario intuitiva y amigable. Esto facilitará su adopción y uso por parte de los funcionarios encargados de la gestión de información catastral, reduciendo posibles barreras de entrada.

Optimización de Recursos Laborales: Para maximizar el uso eficiente de los recursos públicos, se sugiere llevar a cabo un estudio detallado de la carga laboral asociada a la implementación de la solución propuesta. Esto permitirá optimizar la asignación de personal y recursos, garantizando un equilibrio adecuado entre eficiencia y gasto.

Replicación Institucional: Dada la mejora en la eficiencia y calidad de los datos catastrales demostrada en su trabajo, se recomienda considerar la implementación de este proyecto en otras instituciones similares. Esto podría llevarse a cabo en colaboración con otras entidades gubernamentales o instituciones que enfrenten desafíos similares en la gestión de información geográfica.

Ampliación del Estudio de Percepción: Con el fin de obtener una imagen más completa de la percepción institucional, se sugiere ampliar el estudio de percepción de la imagen institucional a variables externas al proyecto. Esto podría incluir la evaluación de factores contextuales y la opinión de un público más diverso para obtener una comprensión más completa de los impactos generales.

12. REFERENCIAS

- Acosta Rodríguez, F., Andrade Pérez, F., & Rivera Pernet, N. (09 de 10 de 2022). Obtenido de Los gestores catastrales en el marco de la política de catastro multipropósito.: <http://hdl.handle.net/1992/59082>.
- Agnieska, C., Katarzyna, S., & Szymon, S. (2021). Credibility of the cadastral data on land use and the methodology for their verification and update. *Land Use Policy*, 102(0), 14. doi:<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.105204>
- Aleem, K., Babayo, A., & QO, A. (2022). Global Navigation Satellite System (GNSS) and other geospatial tools for various applications. *International Journal of Science and Research Archive*, 05(2). doi:<https://doi.org/10.30574/ijrsra.2022.5.2.0205>
- Arias M., G., & Guzmán H., L. (2018). IMPLEMENTACION DE UN MODELO ESPACIAL PARA GENERAR PLANO PROPUESTO DE ZONAS FÍSICAS DE PALESTINA CALDAS. [Trabajo de Grado presentado como opción parcial para optar al título de Especialista en Sistemas de Información Geográfica]. Universidad de Manizales.
- Bar-Maor, A. (2022). Mapping ArcGIS Parcel Fabric to LADM - Commonalities, Gaps and Implementation. *10th Land Administration Domain Model Workshop (LADM2022)*. doi:<https://doi.org/10.4233/uuid:5af28bb8-ab49-4ec5-bf9e-e1c3639215a8>
- Barros Jaramillo, M. (27 de 05 de 2022). Uso de la información catastral en los municipios PDET. Trabajo de grado para optar por el título de Magíster en Derecho Público para la Gestión. Bogotá: Universidad de los Andes.

Challenger Pérez, I., Díaz Ricardo, Y., & Becerra García, R. (2014). El lenguaje de programación Python. *Ciencias Holguín*, XX(2), 2.

doi:<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181531232001>

Departamento nacional de planeación. (15 de 03 de 2018). *Documento CONPES 3918*. Obtenido de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3918.pdf>

Duarte Castro, J. (2021). El catastro multipropósito como una construcción que parte de la comunidad: propuesta para alcanzar una visión con propiedad. *Equidad y Desarrollo*(36), 239-262. doi:<https://doi.org/10.19052/eq.vol1.iss36.10>

Escobar , N., & Cárdenas, J. (2020). RETOS DE UN NUEVO SISTEMA CATASTRAL EN EL MARCO DE CONSTRUCCIÓN DE PAZ EN COLOMBIA. *Revista de Ingeniería*(46), 46. doi:<https://doi.org/10.16924/revinge.46.9>

ESRI. (10 de 2022). *ArcGIS® Geodatabase Topology Rules* . Obtenido de https://resources.arcgis.com/en/help/main/10.2/01mm/pdf/topology_rules_poster.pdf

ESRI. (06 de 2023). *¿Qué es ArcPY?* Obtenido de <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/arcpy/get-started/what-is-arcpy-.htm>

García González, J. (2022). De la topología a la geometría: implementación de mapas mentales a los Sistemas de Información Geográfica. *Cuadernos Geográficos*, 61(2), 88-107. doi:<https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v61i2.22859>

Guo, M., Han, C., Guan , Q., Huang, Y., & Xie, Z. (2020). A universal parallel scheduling approach to polyline and polygon vector data buffer analysis on conventional GIS platforms. *Transactions in GIS*, 24(0), 1630-1654. doi:<https://doi.org/10.1111/tgis.12670>

- Hagemans, E., Unger, E., Soffers, P., Wortel, T., & Lemmen, C. (2022). The new, LADM inspired, data model of the Dutch cadastral map. *Land Use Policy*, 117(0), 14.
doi:10.1016/j.landusepol.2022.106074
- Ibagón Rojas, D., Herrán Álvarez, M., & Camacho, T. E. (08 de 2021). Propuesta de mejoramiento al proceso tradicional de toma de información física y articulación de los componentes físico, jurídico y económico en la actualización catastral. *Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Especialista en Gerencia de*. Bogotá: Corporación Universitaria Minuto de Dios.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (04 de 02 de 2011). *RESOLUCIÓN 070*. Obtenido de https://www.igac.gov.co/sites/igac.gov.co/files/normograma/resolucion_70_de_2011.pdf
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (19 de 08 de 2021). *RESOLUCIÓN 1149*. Obtenido de Por la cual se actualiza la reglamentación técnica de la formación, actualización, conservación y difusión catastral con enfoque multipropósito:
https://www.igac.gov.co/sites/igac.gov.co/files/normograma/resolucion_1149_de_2021.pdf
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (10 de 2022). *Disponible nueva herramienta para la producción de datos geoespaciales en los territorios colombianos*. Obtenido de <https://www.igac.gov.co/es/noticias/disponible-nueva-herramienta-para-la-produccion-de-datosgeoespaciales-en-los-territorios>
- Llerena Izquierdo, J. (2020). *Codifica en Python*. Universidad Politécnica Salesiana.
doi:<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19346>

- Majewicz, K., Martindale, J., & Kernik, M. (2022). Open geospatial data: A comparison of data cultures in local government. *IASSIST Quarterly*, 46(1), 1.
doi:<https://doi.org/10.29173/iq1013>
- Nwafor, I., Sado, R., & Johnnie, I. (2022). A Review of Land Information Management Systems. *African Journal of Economics and Sustainable Development*, 5(1). doi:10.52589/AJESD-RI2X0ZQ2
- Ospina, S., & Jeffrey, J. (2017). Gestión de información agrícola de tierras dedicadas al cultivo de caña de azúcar en Manuelita S.A mediante herramientas SIG. [Trabajo de Grado presentado como opción parcial para optar al título de Especialista en Información Geográfica]. Universidad de Manizales.
- Ostadabbas, H., Weippert, H., & Behr, F.-J. (2019). DATABASE TRANSFORMATION, CADASTRE AUTOMATIC DATA PROCESSING IN . *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-4/W14, 175. doi:<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W14-175-2019>
- Peña Rojas, J. (2018). Desarrollo de una herramienta para el control de calidad de la información cartográfica catastral digital del IGAC. [Trabajo de Grado presentado como opción parcial para optar al título de Especialista en Sistemas de Información Geográfica]. Universidad de Manizales.
- Pérez Burgos, J., & Restrepo Rodríguez, S. (2020). CATASTRO COMO INSTRUMENTO PARA EL DESARROLLO TERRITORIAL: Propuestas para la implementación de la

política catastral del país. *Revista de Ingeniería*(46), 1.

doi:<https://doi.org/10.16924/revinge.46.7>

Sahar, E., Badria, A., & Ibrahim, A. (2022). *Applying ArcGIS Model Builder to Determination the Suitable Sites for Establishing Basic Schools (Case Study: Eastern Unit - Port Sudan City)*. Obtenido de SUST Journal of Engineering and Computer Sciences (JECS), 22(3): <http://repository.sustech.edu/bitstream/handle/123456789/27385/Applying%20ArcGIS%20ModelBuilder.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Salleh , S., Ujang , U., & Azri, S. (2021). 3D TOPOLOGICAL SUPPORT IN SPATIAL DATABASES: AN OVERVIEW, *Int. Arch. P. Remote Sens, XLVI-4/W5-2021*, 473-478.

doi:<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-4-W5-2021-473-2021>

Sánchez Chávez, A. (2019). *Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales para la Gestión Ambiental del Territorio*. Obtenido de <https://tinyurl.com/236ygsjt>

Villaveces Niño, M. (2016). INSTITUCIONES LOCALES Y EL IMPUESTO PREDIAL RURAL EN COLOMBIA, 1998 -2010. *Semestre Económico*, 20(42), 163.

doi:10.22395/seec.v20n42a7

Zápotocký, M., & Koreň, M. (2022). Multipurpose GIS Portal for Forest Management, Research, and Education. *International Journal of Geo-Information*, 11(7), 1.

doi:<https://doi.org/10.3390/ijgi11070405>

Zúñiga, G. (03 de 2019). CONTROL DE CALIDAD TOPOLÓGICO DE LOS OBJETOS ESPACIALES. *DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE*

INGENIERO GEÓGRAFO EN PLANIFICACIÓN TERRITORIAL. Quito, Ecuador:

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

A. Anexo: Glosario

ArcGIS Pro: ArcGIS Pro es la aplicación de SIG de escritorio profesional más actual de Esri. Con ArcGIS Pro, puede explorar, visualizar y analizar datos, crear mapas 2D y escenas 3D, además de compartir su trabajo con ArcGIS Online o un portal de ArcGIS Enterprise.

Feature Class: son conjuntos homogéneos de entidades comunes, cada una con la misma representación espacial, tal como puntos, líneas o polígonos y un conjunto común de columnas de atributos, por ejemplo, una clase de entidad de línea para representar las líneas de centro de carreteras. Las cuatro clases de entidad que se utilizan con mayor frecuencia son puntos, líneas, polígonos y anotaciones.

FID: FID se refieren a un identificador único de un objeto dentro de una tabla.

GDB (Geo data base): es un contenedor escalable que alberga un conjunto de datasets geográficos.

PyCharm: PyCharm es un entorno de desarrollo integrado (IDE) utilizado en programación informática, concretamente para el lenguaje de programación Python. Está desarrollado por la empresa checa JetBrains (antes conocida como IntelliJ).

Python: Python es un lenguaje de programación ampliamente utilizado en las aplicaciones web, el desarrollo de software, la ciencia de datos y el machine learning (ML). Los desarrolladores utilizan Python porque es eficiente y fácil de aprender, además de que se puede ejecutar en muchas plataformas diferentes. El software Python se puede descargar gratis, se integra bien a todos los tipos de sistemas y aumenta la velocidad del desarrollo.

Shape: un shapefile es un formato que se utiliza para almacenar la ubicación geométrica y la información de atributos de las entidades geográficas.

SIG: Un sistema de información geográfica (SIG) es un sistema que crea, administra, analiza y representa cartográficamente todo tipo de datos. Un SIG conecta datos a un mapa integrando datos de ubicación con información descriptiva.

Zonas Homogéneas Físicas: Son espacios geográficos con características similares en cuanto a vías, topografía, servicios públicos, uso actual del suelo, norma de uso del suelo, tipificación de las construcciones y/o edificaciones, áreas homogéneas de tierra, disponibilidad de aguas superficiales permanentes u otras variables que permitan diferenciar estas áreas de las adyacentes.

Zonas Homogéneas Goeconómicas: espacios geográficos determinados por Zonas Homogéneas Físicas con valores unitarios similares en cuanto a su precio, según las condiciones del mercado inmobiliario.