

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Análisis de vulnerabilidad a inundaciones en aldea Colmenas, Villa
Canales, mediante *software* Quantum GIS

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por Iván Eduardo
López Román para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería
Civil

Guatemala

2025

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



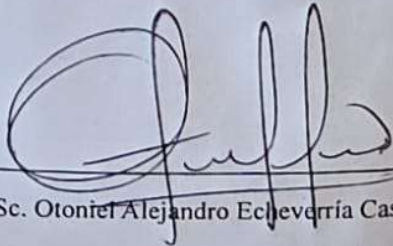
Análisis de vulnerabilidad a inundaciones en aldea Colmenas, Villa
Canales, mediante *software* Quantum GIS

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por Iván Eduardo
López Román para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería
Civil

Guatemala

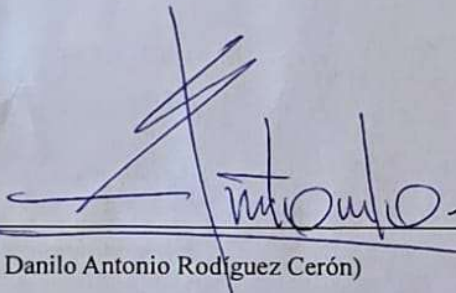
2025

V.ºB.º

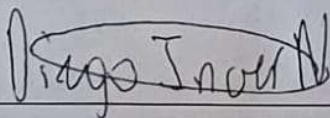


(M.Sc. Otoniel Alejandro Echeverría Castellanos)

Tribunal examinador.



(M.Sc. Danilo Antonio Rodríguez Cerón)



(M.Sc. Diego Josue Incer Nuñez)

Fecha de aprobación del examen de graduación

(Guatemala, 8 de diciembre de 2025)

Prefacio

La elaboración de este trabajo de graduación representa un punto muy importante de mi carrera y de mi vida académica y profesional. Durante este proceso de practica e investigación he vivido una experiencia enriquecedora que ha contribuido a la culminación de mis estudios profesionales a nivel licenciatura.

Por tal motivo, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a esta institución por haberme brindado todos los conocimientos necesarios para la elaboración de esta investigación, y a todas las personas que formaron parte de este proceso de enseñanza y superación.

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por el entendimiento, inteligencia y perseverancia para este logro. También quiero agradecer al Ing. Otoniel Alejandro Echeverría por su soporte profesional y asesoría en este trabajo de graduación, al Ing. Byron Valenzuela por su comprensión y apoyo prioritario para la realización exitosa de esta investigación, también a mis amigos y colegas profesionales que brindaron su apoyo y ánimo mutuo.

Finalmente, quiero agradecer y dedicar este esfuerzo a mis padres y a mi futura esposa quienes con su ánimo, apoyo y comprensión incondicional han sido el motivante que me impulsó a completar esta meta.

Este trabajo de investigación tiene como objetivo modelar un mapa de vulnerabilidad a inundaciones en la aldea Colmenas, Villa Canales ya que es un punto de acceso estratégico a la ciudad de Guatemala, en situaciones de precipitaciones intensas, tiende a causar daños a la infraestructura y a la comunidad, tengo como objeto aportar a la identificación de áreas vulnerables para medidas de adaptabilidad mediante infraestructura verde.

Ciudad de Guatemala, octubre 2025

Ivan Eduardo López Román

Índice general

Prefacio	i
Lista de tablas	iv
Lista de figuras	v
Resumen	vii
Abstract	viii
I. Introducción	1
II. Justificación	2
III. Objetivos	3
A. Objetivo general	3
B. Objetivos específicos.....	3
IV. Marco teórico	4
A. División política y administrativa	4
B. Situación topográfica.....	5
C. Situación climatológica	7
D. Situación hidrológica.....	8
E. Situación geológica	9
F. Cobertura vegetal del municipio	10
G. Biodiversidad.....	10
H. Amenazas y riesgos	11
I. Álgebra de mapas.....	11
J. Software Quantum GIS	13
4.10.1 Componentes vectoriales	13
4.10.2 Componentes ráster	14
4.10.3 Herramienta GRASS QGIS.....	15
4.10.4 Plugins QGIS.....	16
K. Clasificación de mapas ráster	17
4.11.1 Topografía y drenaje natural	17
4.11.2 Precipitación y humedad.....	19

4.11.3	<i>Uso y cobertura de suelo</i>	20
4.11.4	<i>Geología y fisiografía</i>	21
L.	Infraestructura verde.....	22
4.12.1	<i>Aplicaciones de la infraestructura verde</i>	23
M.	Sistemas urbanos de drenaje sostenible.....	24
N.	Jardines de lluvia	25
O.	Desconexión de canaletas y drenajes pluviales	27
V.	Metodología	29
VI.	Discusión y análisis de resultados	56
VII.	Conclusiones	59
VIII.	Recomendaciones	60
IX.	Bibliografía	61

Lista de tablas

Tabla 1: Fisiografía seleccionada.....	36
Tabla 2: Geología seleccionada	37
Tabla 3: Uso de suelo seleccionado	38
Tabla 4: Curvas de nivel seleccionadas	39
Tabla 5: Precipitación seleccionada.....	40
Tabla 6: Ecuación de análisis de vulnerabilidad a inundaciones	54

Lista de figuras

Figura 1: Sistemas urbanos de drenaje sostenible	25
Figura 2: Vista general del diseño complejo de jardines de lluvia.....	26
Figura 3: Desconexión de canaleta pluvial	28
Figura 4: Propiedades generales del proyecto	30
Figura 5: Propiedades SRC del proyecto.....	30
Figura 6: Propiedades variables del proyecto	31
Figura 7: Capas satelitales	31
Figura 8: Capa DEM Nacional	32
Figura 9: Área aproximada de análisis	33
Figura 10: DEM del área de análisis.....	34
Figura 11: Delimitación de área de análisis.....	35
Figura 12: Fisiografía nacional.....	36
Figura 13: Geología nacional.....	37
Figura 14: Uso del suelo nacional	38
Figura 15: Topografía nacional.....	39
Figura 16: Precipitación nacional	40
Figura 17: Función cortar para área de análisis	41
Figura 18: Fisiografía Colmenas, Villa Canales	42
Figura 19: Proceso de rasterización.....	43
Figura 20: Parámetros ráster de fisiografía.....	44
Figura 21: Ráster de fisiografía	44
Figura 22: Geología Colmenas, Villa Canales.....	45
Figura 23: Parámetros ráster de geología	45
Figura 24: Ráster de geología.....	46
Figura 25: Uso de suelo Colmenas, Villa Canales.....	46
Figura 26: Parámetros ráster de uso de suelo	47
Figura 27: Ráster de uso de suelo.....	47
Figura 28: Precipitación Colmenas, Villa Canales	48
Figura 29: Parámetros ráster de precipitación	48
Figura 30: Ráster de precipitación.....	49
Figura 31: Topografía Colmenas, Villa Canales	49
Figura 32: Parámetros ráster de topografía.....	50
Figura 33: Ráster de topografía	50

Figura 34: Parámetros watershed para drenaje natural	51
Figura 35: Drenaje natural Colmenas, Villa Canales.....	52
Figura 36: Drenaje natural poligonizado	52
Figura 37: Parámetros ráster de drenaje natural	53
Figura 38: Ráster de drenaje natural	53
Figura 39: Ecuación aplicada para mapa de inundación.....	54
Figura 40: Mapa de inundaciones de Colmenas, Villa Canales.....	55
Figura 41: Simbología de mapa de análisis	55
Figura 42: Modificación visual a mapa de inundaciones	56
Figura 43: Mapa de inundaciones 50% de opacidad	58

Resumen

El presente trabajo de investigación aborda el análisis de vulnerabilidad ante inundaciones en la aldea Colmenas, ubicada en Villa Canales, Guatemala. Esta comunidad enfrenta riesgos significativos derivados de fenómenos hidrometeorológicos como precipitaciones intensas, junto con factores geográficos y urbanos que agravan la susceptibilidad a inundaciones. El objetivo general del estudio es desarrollar un modelo espacial que identifique las áreas vulnerables a inundaciones considerando variables clave como morfología, geología, precipitación, drenaje topográfico, humedad y uso del suelo, utilizando para ello el software de sistemas de información geográfica Quantum GIS.

La metodología se basa en la integración y análisis de datos geospaciales provenientes de diversas fuentes, tales como archivos georreferenciados de curvas de nivel, red hidrográfica, cobertura vegetal e información climática. Se aplican técnicas de álgebra de mapas para generar mapas temáticos de vulnerabilidad y peligro. Además, se plantea la formulación de propuestas de adaptación mediante infraestructura verde, con el fin de mitigar impactos y promover el desarrollo sostenible local.

El modelo obtenido contribuye a la identificación precisa de zonas críticas de inundación en Colmenas, proporcionando una herramienta técnica útil para la gestión de riesgos, la planificación territorial y la toma de decisiones para la protección de la comunidad mediante infraestructura verde. Este estudio aporta sugerencias para diseñar soluciones eficientes que reduzcan la vulnerabilidad frente a desastres naturales y mejoren la resiliencia socioambiental de la población.

Abstract

This research paper addresses the analysis of flood vulnerability in the village of Colmenas, located in Villa Canales, Guatemala. This community faces significant risks derived from hydrometeorological phenomena such as intense rainfall, along with geographical and urban factors that aggravate its susceptibility to flooding. The general objective of the study is to develop a spatial model that identifies areas vulnerable to flooding by considering key variables such as morphology, geology, precipitation, topographic drainage, humidity, and land use, using the geographic information system software Quantum GIS.

The methodology is based on the integration and analysis of geospatial data from various sources, such as shapefiles of contour lines, hydrographic network, vegetation cover, and climate information. Map algebra techniques are applied to generate thematic maps of vulnerability and hazard. Additionally, the formulation of adaptation proposals through green infrastructure is proposed, in order to mitigate impacts and promote local sustainable development.

The resulting model contributes to the precise identification of critical flood zones in Colmenas, providing a useful technical tool for risk management, territorial planning, and decision-making for the protection of the community through green infrastructure. This study offers suggestions for designing efficient solutions that reduce vulnerability to natural disasters and improve the socio-environmental resilience of the population.

I. Introducción

La aldea Colmenas se distingue por su ubicación geográfica, ya que conecta directamente con distintos puntos estratégicos de la Ciudad de Guatemala, lo que representa un alto potencial para el desarrollo social, económico y de infraestructura. Sin embargo, este potencial se ve comprometido por la recurrencia de inundaciones derivadas de precipitaciones intensas y el deficiente manejo de los caudales generados especialmente en situaciones críticas.

Por lo que, el análisis de vulnerabilidad ante inundaciones permite identificar y categorizar las áreas más susceptibles, considerando factores hídricos y morfológicos, lo que resulta trascendental para modelar los aspectos actuantes mediante álgebra de mapas y orientar la toma de decisiones y priorizar intervenciones en la gestión del riesgo utilizando al máximo los recursos naturales de la aldea Colmenas. La vulnerabilidad ante las inundaciones no es constante, sino que evoluciona en función de variables como la capacidad de absorción del suelo, la calidad de la infraestructura, la organización social y las medidas de adaptación implementadas ante las precipitaciones altas. En este sentido, la generación de información precisa y contextualizada sobre las áreas críticas de la aldea Colmenas permitirá diseñar estrategias de mitigación más efectivas y sostenibles. La implementación de medidas basadas en el conocimiento técnico y científico, como la elaboración de modelos de vulnerabilidad, ha demostrado ser una herramienta eficaz para reducir los daños, optimizar la inversión pública, privada y promover un desarrollo más resiliente y sostenible.

Asimismo, la investigación aporta un criterio técnico valioso para la elaboración de planes reguladores y de gestión del territorio, permitiendo identificar tanto las limitaciones como las fortalezas de la cuenca y de la comunidad. Esto facilita la distribución adecuada de los recursos, la protección de la infraestructura y la mejora de la calidad de vida de los habitantes, al tiempo que se promueve una convivencia armónica con el entorno natural.

II. Justificación

Con el paso del tiempo se han ido extendiendo y ampliando las aldeas de la ciudad de Guatemala, lo cual ha tenido un efecto en el desarrollo económico y social de la comunidad, sin embargo, esto también ha tenido un impacto en la exposición creciente a inundaciones por factores climáticos y geográficos. La aldea Colmenas enfrenta riesgos elevados de inundaciones debido a su ubicación geográfica, patrones climáticos inestables y expansión urbana descontrolada. La experiencia en otras comunidades rurales ha evidenciado que la recurrencia de inundaciones genera impactos negativos significativos en la economía local, el desarrollo productivo y la calidad de vida de la población.

La falta de obras de mitigación contribuye al estancamiento del desarrollo y limita la atracción de inversiones externas, que son clave para la generación de empleo y el crecimiento económico. Las inundaciones no solo amenazan vidas humanas, sino que también generan pérdidas económicas, daños a infraestructuras y desplazamientos poblacionales. Por lo que es necesario contar con herramientas técnicas para evaluar vulnerabilidades, ya que la evaluación de riesgos en comunidades vulnerables se ha basado en métodos cualitativos o datos desactualizados, lo que limita la identificación precisa de zonas críticas.

De modo que la implementación de QGIS permite integrar datos espaciales como topografía, red hidrográfica, uso de suelo, precipitaciones, y otros aspectos que ofrecen un análisis más exacto de la vulnerabilidad de inundación en la aldea en enfoque con la finalidad de brindar un modelo digital de áreas vulnerables evaluadas por parámetros hidrológicos como morfología, geología, precipitación, drenaje topográfico, humedad y uso de suelo correspondiente a Colmenas, Villa Canales.

III. Objetivos

A. Objetivo general

- Desarrollar un modelo de áreas vulnerables a inundaciones con base en la morfología, geología, precipitación, drenaje topográfico, humedad y uso de suelo de la aldea Colmenas para la adaptación mediante propuestas de infraestructura verde.

B. Objetivos específicos

- Analizar los factores que contribuyen al aumento de vulnerabilidad a inundaciones mediante álgebra de mapas.
- Modelar la amenaza de inundaciones utilizando capas de información en formato de trabajo de Quantum GIS considerando los aspectos que afectan este fenómeno.
- Sugerir propuestas de adaptación para reducir la vulnerabilidad de la aldea Colmenas, Villa Canales ante inundaciones, a través de soluciones de infraestructura verde.

IV. Marco teórico

A. División política y administrativa

La aldea de Concepción Colmenas se localiza en el municipio de Villa Canales, a su vez este se encuentra en el departamento de la Ciudad de Guatemala. Concepción Colmenas pertenece a la microcuenca Amatitlán Villalobos, esta microcuenca pertenece a la subcuenca río Michatoya y esta subcuenca pertenece a la cuenca río María Linda (Sánchez, 2015).

A nivel municipal, Villa Canales está organizado en varias aldeas y caseríos, siendo Colmenas una de las aldeas reconocidas oficialmente. El municipio cuenta con catorce aldeas y cuarenta y cinco caseríos, además de su centro urbano. En cuanto a la división administrativa, Colmenas se encuentra bajo la jurisdicción del municipio de Villa Canales, cuya máxima autoridad es el alcalde. A nivel departamental, Colmenas pertenece al departamento de Guatemala, que es una de las veintidós divisiones administrativas de Guatemala. El departamento de Guatemala es uno de los más poblados y económicamente importantes del país, y Villa Canales es parte de la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur, una asociación de municipios que buscan coordinar esfuerzos para el desarrollo regional (Torres, 2023).

Según SEGEPLAN (2015), la aldea Colmenas se considera un punto estratégico de acceso a la ciudad por su promedio numérico de veintidós kilómetros hacia el sur de la ciudad, en cuanto a municipios aledaños, Colmenas se encuentra dentro del municipio de Villa Canales, que colinda con varios municipios importantes del departamento de Guatemala y otros departamentos. Al norte, Villa Canales limita con los municipios de Guatemala y Santa Catarina Pinula; al sur, con los municipios de San Vicente Pacaya (Escuintla) y Barberena (Santa Rosa); al este, con los municipios de Barberena (Santa Rosa), Santa Catarina Pinula y Fraijanes (Guatemala); y al oeste, con los municipios de Petapa y Amatitlán (Guatemala) y San Vicente Pacaya (Escuintla).

De acuerdo con el INSIVUMEH (2025), el municipio de Villa Canales se encuentra en el departamento de Guatemala, específicamente en la parte sur de la ciudad de Guatemala. Guatemala está ubicada en una zona donde convergen tres placas tectónicas, correspondientes a la placa de Norteamérica, Caribe y Cocos. Villa Canales esencialmente se encuentra en la región donde la placa del Caribe interactúa con la placa Norteamericana, pero no está directamente en la zona de subducción entre las

placas Cocos y Caribe, que se localiza más al sur, cerca de la costa del Pacífico. Por lo tanto, el municipio de Villa Canales se ubica principalmente en la placa del Caribe. Con esta información se tiene la ubicación espacial y condición tectónica de la aldea Colmenas del municipio de Villa Canales.

B. Situación topográfica

Esta aldea tiene una latitud de 14.48654° o $14^{\circ} 29' 12''$ norte; longitud: -90.51854° o $90^{\circ} 31' 7''$ oeste; altitud: 1,496 metros (4,908 pies) Mapcarta (s.f). De acuerdo con el SCEP (2023), Colmenas se encuentra en un entorno geográfico variado con acceso a vías de comunicación en el municipio, aunque enfrenta desafíos ambientales como la erosión y las inundaciones. El municipio en general tiene áreas con diferentes altitudes, incluyendo zonas montañosas y valles. La aldea cuenta con una carretera asfaltada de aproximadamente siete kilómetros en su parte oeste, lo que facilita la conexión con otras áreas del municipio. Los suelos del municipio son principalmente de ceniza volcánica, con buen drenaje que afecta el alto riesgo de erosión. La región enfrenta amenazas como inundaciones y deslizamientos debido a la topografía y la precipitación.

La microcuenca del lago de Amatitlán, que abarca el territorio del municipio de Villa Canales se encuentra a una altitud de 1188 metros sobre el nivel del mar. La microcuenca del río Platanitos, que forma parte de la cuenca del lago de Amatitlán, tiene una altitud máxima de 2300 metros y mínima de 1300 metros. La red de drenaje en la cuenca del lago de Amatitlán es compleja, con varios ríos y arroyos que desembocan en el lago (Morales, 2015).

Con base en capas de tipo *shapefiles* del programa de información georreferenciada “QGIS” se obtuvo la información de la microcuenca del lago de Amatitlán, con un área de 157,225,700 m² y un perímetro de 96,437.05 m, se encuentra dentro de la Caldera del lago de Amatitlán, ubicándose a 15 kilómetros al sur de la Ciudad de Guatemala. Esta región se caracteriza por una estructura volcanotectónica originada por el colapso del bloque donde actualmente se encuentra el lago de Amatitlán y el pequeño delta del río Villalobos.

El drenaje en la zona varía de subparalelo a subdendrítico en la caldera, mientras que en las áreas circundantes se observa un patrón dendrítico, subdendrítico, paralelo, subparalelo, enrejado y trenzado. La edad geológica de la región abarca desde el Plioceno al Pleistoceno en la caldera, extendiéndose al

Cuaternario Antiguo y Cuaternario en otras partes de la microcuenca. La zona se ubica en las Tierras altas Volcánicas, específicamente en la zona montañosa y planicie central (Tecpán - Jalpatagua), abarcando Sololá, Chimaltenango y Guatemala, y el norte de los departamentos de Santa Rosa, Jutiapa y parte de Jalapa.

La aldea de Colmenas, Villa Canales se compone de una diversa variedad de drenajes naturales, los patrones o la forma en que los ríos y afluentes se distribuyen y conectan para drenar el agua superficial. Estos patrones dependen de la topografía, estructura geológica y pendiente del terreno.

Debido a la topografía de la aldea en análisis se detectan distintos drenajes y con base a investigación y *shapefiles* se determina que la distribución de aguas superficiales drena con un comportamiento dendrítico, que es el patrón más común, con afluentes ramificados que se unen libremente, formando una estructura similar a las ramas de un árbol o dedos de una mano extendida. Ocurre en terrenos con rocas de resistencia uniforme, pendientes moderadas y litología homogénea, donde no hay un control estructural fuerte. Mientras que el drenaje subdendrítico es una variante o modificación del drenaje dendrítico, donde el curso principal del río tiene un patrón dendrítico, pero presenta algunas influencias estructurales o ligeras modificaciones en la ramificación. Se encuentra en zonas donde hay un nivel de control de la estructura geológica, pero predomina la forma dendrítica (Choquehuanca, s.f.).

De acuerdo con Choquehuanca (s.f), otro comportamiento importante en la zona es el drenaje paralelo, que se refiere a los canales fluviales que fluyen paralelamente, con una dirección definida por la pendiente regional. Se da en terrenos con pendientes uniformes, como llanuras, piedemontes o mesetas. A mayor pendiente en dirección fija, más paralelos serán los canales. Este patrón refleja un control más marcado de la pendiente del terreno que del tipo de roca. Mientras que el drenaje subparalelo es similar al paralelo, pero con canales que son aproximadamente paralelos, pero con ligeras variaciones, debido a un terreno con pendientes dominantes, pero menos uniformes o con ligeros cambios en el control topográfico o estructural.

Sin embargo, estas zonas también cuentan con drenaje enrejado que se caracteriza por corrientes principales que fluyen siguiendo una dirección dominante, mientras los afluentes menores fluyen en ángulo recto respecto a las corrientes principales, formando una estructura tipo rejilla o cuadrícula. Este patrón se asocia a terrenos con litología alternante (rocas resistentes y débiles) y control estructural fuerte,

como zonas plegadas o falladas donde la erosión sigue estas líneas. Esta topografía cuenta con drenaje trezado, es decir, ríos con múltiples canales entrelazados y barras de sedimentos, usualmente en zonas con alta sedimentación y cauces muy variables, no formando una red fija ramificada sino canales que se dividen y vuelven a unir constantemente. Este tipo es más típico en ríos con gran carga sedimentaria y pendiente variable, más común en zonas aluviales (Choquehuanca, s.f.).

Por lo que el drenaje dendrítico y subdendrítico son ramificados, con el primero sin control estructural claro y el segundo con leve control. Mientras que el drenaje paralelo y subparalelo presentan cursos dominados por pendientes con canales paralelos y variaciones en la uniformidad. Enrejado muestra un patrón angular con corrientes principales y afluentes que forman ángulos rectos, relacionados con control estructural y los drenajes trezados es un patrón de canales múltiples, cambiantes, no ramificados fijos, asociado a alta sedimentación.

C. Situación climatológica

La aldea Colmenas está ubicada en una región con un clima predominantemente tropical de sabana. Este tipo de clima caracteriza la mayor parte del municipio y se distingue por temperaturas cálidas y precipitaciones significativas durante la temporada de lluvias, que abarca de mayo a octubre. Los meses con mayor cantidad de lluvias son junio y septiembre, aunque existe una disminución notable en las precipitaciones durante la canícula, un período que ocurre entre mediados de julio y parte de agosto (Wikipedia, 2025). Según ClimateData (s.f), las condiciones climáticas específicas en Villa Canales, las temperaturas medias anuales son similares a las del resto del municipio, con una temperatura media de aproximadamente 21.3°C. Las temperaturas máximas promedio alcanzan los 26.7°C, mientras que las mínimas promedio son de alrededor de 15.9°C.

La precipitación total anual en el municipio es de aproximadamente 1242 mm. Durante ciertos días, las condiciones en Colmenas pueden incluir vientos moderados, con velocidades que pueden alcanzar hasta 29 km/h, y una probabilidad de precipitación variable. En términos de previsión meteorológica actual, Colmenas y el municipio de Villa Canales experimentan condiciones variables, con días parcialmente soleados y temperaturas agradables. En Villa Canales, las velocidades del viento pueden variar. En algunas áreas del municipio, como la finca El Sitio en la aldea Los Llanos, las velocidades promedio anuales oscilan entre 5.85 y 7.13 m/s (mem.gob, 2014).

D. Situación hidrológica

La aldea Colmenas depende principalmente de pozos administrados por la municipalidad. De acuerdo con Torres (2023), se identificó 52 pozos municipales en todo el territorio del municipio de Villa Canales, con 22 áreas de cobertura. Uno de los trabajos de los últimos años fue un proyecto para construir nuevos pozos en el caserío Ojo de Agua (de la aldea Colmenas), ante la escasez y acceso desigual al agua potable. La aldea Colmenas colinda con una red de ríos y quebradas que acompañan su topografía y entorno.

Estos cuerpos de agua no tienen más de 18 metros de ancho. Algunos de los cuerpos de agua superficiales aledaños a la aldea son la quebrada El Cangrejal; Esta quebrada se distingue por ser un río perenne, lo que significa que fluye continuamente a lo largo del año. Con longitudes registradas de 474.518 m y 572.143 m. Los ríos perennes como este regularmente se utilizan para el suministro de agua potable, el riego de cultivos y el mantenimiento de la biodiversidad acuática. Río El Bosque es un curso de agua intermitente, en otras palabras, un río que solo lleva agua durante o después de las lluvias. Aunque su flujo no es constante, el río El Bosque puede tener influencia en la recarga de acuíferos y el transporte de sedimentos, contribuyendo a la formación de suelos fértiles en sus alrededores.

Sus longitudes registradas de 2897.495 m, 543.377 m y 573.819 m que indican en los documentos tipo *shapefiles* del Insivumeh, a pesar de su naturaleza intermitente, tiene una extensión considerable que influye en el paisaje y la ecología local. Río El Molino es un curso de agua intermitente, un río que solo lleva agua durante o después de las lluvias, con una longitud registrada de 1077.775 m. Estos ríos, aunque no siempre visibles actúan como canales de drenaje durante las lluvias intensas y contribuyendo a la recarga de las fuentes de agua subterránea. La presencia de ríos intermitentes como El Molino puede influir en las prácticas agrícolas y la planificación del uso del suelo en la aldea Colmenas, requiriendo estrategias de gestión del agua que tengan en cuenta su variabilidad. Río Los Encuentros se caracteriza por ser perenne, al igual que la Quebrada El Cangrejal, permitiendo un flujo constante de agua. Con longitudes de 1499.324 m y 1388.448 m.

En cuanto a la cantidad y calidad de los recursos hídricos se reporta contaminación por microorganismos y residuos químicos agrícolas, especialmente en áreas rurales como Colmenas, según SEGEPLAN (2018).

E. Situación geológica

Geológicamente, la zona presenta una variedad de rocas, incluyendo basaltos toleíticos columnares y andesitas en las paredes alrededor del lago, flujos basálticos del Pacaya, dicitas, riadacitas y andesitas, así como flujos piroclásticos de pómez. Los materiales geológicos también incluyen rocas volcánicas, andesitas, basaltos, flujos riolíticos (obsidianas y perlitas), materiales aluviales, sedimentos fluviolacustres, lahares y ceniza volcánica. Esta región se caracteriza por una estructura volcanotectónica originada por el colapso del bloque donde actualmente se encuentra el lago de Amatitlán y el pequeño delta del río Villalobos.

La microcuenca del lago de Amatitlán presenta una geología compleja y rica, dominada por rocas volcánicas ígneas y metamórficas que se originaron durante el período Terciario según Bárbara Arroyo (2014). Esta era geológica, que abarca desde hace aproximadamente 66 millones de años hasta hace 2.6 millones de años, fue un período de intensa actividad tectónica y volcánica en la región, lo que resultó en la formación de una variedad de estructuras geológicas y depósitos volcánicos. Dentro de esta composición geológica, se distinguen varios tipos de materiales volcánicos que cuentan la historia de la actividad volcánica pasada. De acuerdo con geologyscience (2013), las tobas, formadas a partir de ceniza volcánica consolidada, revelan eventos explosivos que arrojaron grandes cantidades de material piroclástico. Las coladas de lava, flujos de roca fundida que se enfriaron y solidificaron, muestran episodios de actividad volcánica efusiva.

El material lahárico, una mezcla de agua, lodo y escombros volcánicos, indica la ocurrencia de deslizamientos y flujos de lodo asociados con volcanes según Mexicano (2017). Finalmente, los sedimentos volcánicos, que incluyen cenizas, lapilli y otros fragmentos volcánicos transportados y depositados por el agua y el viento, sugieren una continua erosión y redistribución de los materiales volcánicos en la cuenca. Estas formaciones geológicas ayudan para evaluar y gestionar los riesgos naturales en la microcuenca. La presencia de tobas y material lahárico incrementan la susceptibilidad a deslizamientos y flujos de lodo, especialmente durante períodos de fuertes lluvias. Además, la geología volcánica influye en la permeabilidad del suelo y la recarga de los acuíferos, lo que afecta la disponibilidad de agua y la calidad del agua en el lago. Por lo tanto, el conocimiento de la geología de la microcuenca es de gran importancia para la planificación del uso del suelo, la gestión de los recursos hídricos y la mitigación de los riesgos naturales en las zonas con este tipo de geología (Mexicano, 2017).

F. Cobertura vegetal del municipio

Villa Canales tiene aproximadamente un territorio de 353 km², con una gama amplia de usos del suelo. Según Archila (2022), el mapa del uso del suelo, los principales usos incluyen centros poblados, agricultura limpia, cultivo de café, pastos naturales y cultivados, bosques latifoliados, coníferas y mixtos. La agricultura es una actividad predominante, con cultivos como maíz, frijol, hortalizas, piña, flores, follajes, café, aguacate, y otros cultivos permanentes arbóreos. Sin embargo, muchas áreas agrícolas potenciales han sido ocupadas por asentamientos humanos, lo que genera problemas urbanos y ecológicos. Estos ocupan aproximadamente el 75.75% del territorio, incluyendo granos básicos, hortalizas, y cultivos permanentes (scep.gob, 2023).

Aunque Villa Canales tiene un potencial forestal significativo, solo un 5.12% del territorio está cubierto por bosques latifoliados, coníferas y mixtos. Además, un 9.50% corresponde a medios seminaturales como plantaciones de coníferas y latifoliadas. Según el diagnóstico territorial, el 42.2% del territorio tiene aptitud forestal, lo que sugiere un gran potencial para actividades forestales sostenibles. En Villa Canales, el desarrollo no planificado también afecta negativamente el uso de los recursos forestales (scep.gob, 2023).

Según Sánchez (2020), la aldea Colmenas se enfoca en la producción individualizada, con limitaciones para competir con productores asociados en otras regiones. Se ha propuesto mejorar la producción de jocote de corona mediante procesos adecuados para maximizar los ingresos de las familias productoras. La aldea enfrenta desafíos relacionados con el uso del suelo, incluyendo la necesidad de propuestas de desarrollo urbano y rural que consideren las condiciones físicas y socioeconómicas del área (RAMOS, 2004).

G. Biodiversidad

Con base a archivos tipo *shapefiles* la zona de vida se clasifica como bosque húmedo subtropical de tipo templado, lo que se traduce como un clima con alta humedad y temperaturas moderadas. El relieve se describe como ondulado, accidentado y escarpado, lo que sugiere una topografía variada con pendientes pronunciadas. El período de lluvias más frecuentes se extiende de mayo a noviembre, con variaciones en intensidad según la situación orográfica, lo que implica que la geografía local influye en la distribución de las precipitaciones. La vegetación predominante incluye especies pino colorado, lengua

de vaca, hoja de lija y roble. El uso apropiado de estos terrenos se enfoca en el manejo forestal, aunque también se cultivan maíz y frijol. El uso alternativo del suelo es mayoritariamente para bosques.

H. Amenazas y riesgos

De acuerdo con la URL (2025), debido a la geología del terreno y la topografía, la aldea puede ser propensa a deslizamientos durante eventos de lluvia intensa o terremotos. Esto puede causar daños significativos a infraestructuras y poner en peligro la vida de los habitantes. Las sequías pueden tener un impacto significativo en la agricultura, la ganadería y la disponibilidad de agua potable. Esto puede afectar la economía local y la calidad de vida de los residentes. La combinación de sequías y deslizamientos aumenta significativamente el riesgo, ya que las sequías pueden debilitar el suelo, haciéndolo más susceptible a inundaciones y deslizamientos durante eventos de lluvia.

Algunos puntos de Contaminación pueden ser los pozos de agua ya que según Torres (2023). En la aldea Colmenas y sus alrededores, como El Durazno, existen pozos de agua que pueden estar contaminados debido a la falta de regulación y tratamiento adecuado. Otro factor de contaminación son los desechos sólidos la ausencia de un manejo adecuado de los desechos sólidos puede llevar a la contaminación del suelo y las fuentes de agua existentes en la aldea según Archila (2022). Un factor importante que se debe considerar son las actividades agrícolas, debido que el uso de pesticidas y fertilizantes en las fincas cercanas puede contaminar el suelo y las aguas subterráneas si no se manejan correctamente (RAMOS, 2004).

I. Álgebra de mapas

El álgebra de mapas es un conjunto de técnicas y procesos dentro de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) que permiten desarrollar análisis espaciales mediante la manipulación y combinación de múltiples capas de datos geográficos, principalmente en formato ráster. Consiste en transformar y combinar capas de mapas base para generar capas nuevas que contienen información derivada. Estas operaciones pueden involucrar sumas, restas, multiplicaciones, divisiones, comparaciones lógicas y otras funciones matemáticas que actúan sobre los valores almacenados en cada celda o píxel del ráster. Más allá de ser solo un procedimiento matemático, el álgebra de mapas representa un sistema para explorar y modelar fenómenos geográficos complejos desde la perspectiva espacial y multivariable. La capacidad para trabajar con este tipo de análisis depende del control y la calidad de las capas ráster base (GeoInnova, 2016).

El propósito del álgebra de mapas consiste en la aplicación de operadores y funciones sobre datos espaciales organizados en formatos de trabajos tipo ráster, donde cada posición, lo que comprende celda o píxel, contiene un valor cuantitativo o cualitativo. Las operaciones pueden clasificarse según el ámbito espacial que consideran para calcular el nuevo valor en la capa resultado. Esta estructura de operadores permite una gran flexibilidad analítica, desde operaciones simples a complejas líneas de proceso que combinan diferentes tipos de funciones, con el objetivo de desentrañar patrones espaciales y relaciones entre variables territoriales según Olaya (2024).

Operadores locales: Evaluación y operación exclusivamente sobre las celdas correspondientes en las capas de origen. El nuevo valor de cada celda depende solo de uno o varios valores en la misma posición espacial en diferentes capas.

Operadores focales: Determinan el valor en cada celda basándose en un conjunto definido de celdas vecinas dentro de un radio o ventana determinada, funcionando como una operación contextual.

Operadores zonales: Operan considerando grupos de celdas que forman unidades contiguas bajo un mismo criterio o clase espacial, generando valores que pueden reflejar estadísticas o características integrales dentro de cada zona.

Operadores globales: Consideran el conjunto completo de celdas de una capa para calcular un valor único global que luego sirve para asignar o manipular otras capas.

La aplicación del álgebra de mapas requiere la disponibilidad de capas ráster compatibles entre sí en términos de resolución espacial, extensión y sistema de referencia, para asegurar coherencia en los resultados. El uso del álgebra de mapas se concreta en *software* SIG a través de herramientas específicas como calculadoras ráster o módulos de análisis espacial que permiten construir expresiones algebraicas combinando y transformando los datos rasterizados. La definición de estas expresiones matemáticas puede involucrar operadores básicos, funciones estadísticas, funciones de transición, y otras funcionalidades avanzadas realizadas sobre capas sencillas o compuestas (Olaya, 2024).

La implementación implica controlar la calidad y uniformidad de las capas originales, preparar los datos a través de procesos de interpolación, reclasificación, recorte, y conversión entre vector y ráster, y definir una lógica matemática clara para la combinación de variables según los objetivos del análisis. Un correcto diseño y ejecución del álgebra de mapas garantiza que el resultado sea una capa temática representativa, que sintetice la información relevante de las capas base y sirva para análisis posteriores, visualización o toma de decisiones eficientes en diferentes disciplinas (Olaya, 2024).

J. Software Quantum GIS

Quantum GIS es un Sistema de Información Geográfica (SIG) de *software* libre y código abierto que permite a los usuarios crear, visualizar, analizar, editar y publicar información geoespacial en diferentes plataformas. Fue uno de los primeros proyectos de la Fundación OSGeo y ha evolucionado desde su creación en 2002 para convertirse en una herramienta profesional ampliamente utilizada en ámbitos académicos, públicos y privados (MerginMaps, 2025).

Según MerginMaps (2025), QGIS soporta una amplia variedad de formatos de datos tanto vectoriales como ráster gracias a su integración con bibliotecas especializadas. Su interfaz gráfica está desarrollada para asegurar una experiencia de usuario completa, ligera y adaptable. Además, QGIS puede funcionar como una interfaz gráfica para el SIG GRASS, integrando las potentes capacidades de este último en un entorno de trabajo más amigable.

Un aspecto destacado de QGIS es su arquitectura extensible mediante complementos (*plugins*), que permiten adaptar y ampliar sus funcionalidades para diferentes necesidades específicas. Los usuarios pueden realizar análisis espaciales avanzados, álgebra de mapas, modelos hidrológicos, análisis de redes, y crear mapas cartográficos visualmente atractivos para presentaciones o publicaciones. El software también soporta funcionalidades para la publicación de mapas en internet mediante servicios estandarizados como WMS y WFS (MerginMaps, 2025).

4.10.1 Componentes vectoriales

El formato vectorial en QGIS consiste en un tipo de dato geoespacial que representa objetos y entidades del mundo real mediante formas geométricas definidas por coordenadas precisas dentro de un sistema de referencia espacial. Estas entidades se clasifican en tres tipos básicos de geometría: puntos, líneas (o polilíneas) y polígonos. Un dato vectorial está compuesto por vértices que son pares o tríos de

coordenadas que describen la posición exacta de cada objeto en el espacio geográfico. Los puntos se usan para representar ubicaciones concretas sin dimensión, como árboles o postes; las líneas para representar entidades lineales como carreteras o ríos; y los polígonos para delimitar áreas cerradas como parcelas, lagos o zonas urbanas según Morales (2013). Además de la representación geométrica, cada entidad vectorial almacena atributos en forma de tablas, que contienen información descriptiva relevante, como nombres, tipos, valores numéricos o categorías asociadas a cada objeto espacial.

Los datos vectoriales se destacan por su precisión para representar límites nítidos y entidades discretas, y por la eficiencia en el almacenamiento cuando se comparan con datos ráster, al permitir una compresión natural de la información espacial mediante vértices. Esto facilita realizar análisis espaciales complejos como detección de proximidad, superposición, consultas topológicas, cálculo de áreas y distancias en QGIS. Dentro del entorno QGIS. La interfaz ofrece herramientas robustas para la creación, edición, gestión y análisis de datos vectoriales. Además, permite aplicar simbología avanzada para una adecuada visualización cartográfica, facilitando interpretar los diferentes atributos y mejorar la comunicación visual de la información geográfica (Datos Vectoriales, 2025).

4.10.2 Componentes ráster

El formato ráster en QGIS corresponde a un tipo de dato geoespacial que representa fenómenos y objetos del mundo real mediante una matriz o cuadrícula compuesta por celdas o píxeles de tamaño uniforme. Cada celda contiene un valor numérico que representa información espacial específica correspondiente al área cubierta por esa celda, como puede ser un valor de elevación, temperatura, uso del suelo, reflectancia espectral. Los datos ráster se diferencian fundamentalmente de los datos vectoriales por su estructura matricial en lugar de geométrica. Mientras que los datos vectoriales modelan el espacio mediante puntos, líneas y polígonos con coordenadas precisas, los ráster son discretizaciones espaciales donde cada píxel tiene un valor que se asume constante dentro del área que representa. Esto hace que los rásteres sean especialmente útiles para representar fenómenos continuos o variables espaciales como la temperatura, humedad, elevación o imágenes captadas por satélites y sensores remotos (ESRI, 2021).

Las características principales del formato ráster en QGIS incluyen la capacidad de trabajar con diferentes tipos de valores almacenados en las celdas, que pueden ser enteros para representar categorías discretas como tipos de uso de suelo, o de punto flotante para representar datos continuos como la altitud

o temperatura. Además, las celdas pueden tener valores "*NoData*" para indicar ausencia de información en áreas específicas. El tamaño de la celda ráster es crucial, ya que determina la resolución espacial del dato: un tamaño de celda pequeño implica mayor detalle y suavidad en la representación, pero también aumenta el volumen de datos y los tiempos de procesamiento. Por otro lado, un tamaño de celda muy grande puede causar pérdida de información importante o la desaparición de elementos espaciales finos de acuerdo con ESRI (2021).

QGIS, mediante su soporte a formatos ráster a través de bibliotecas como GDAL, permite la visualización, análisis y procesamiento de datos ráster con múltiples herramientas integradas. Estos datos pueden provenir de imágenes aéreas, datos satelitales, modelos digitales de elevación, mapas escaneados o cualquier matriz espacial con georreferenciación. El usuario puede realizar operaciones de álgebra de mapas, análisis hidrológicos, interpolación, clasificación supervisada y no supervisada, entre otros procedimientos que aprovechan la estructura ráster (Ubuntu, 2015).

4.10.3 Herramienta GRASS QGIS

La herramienta GRASS (*Geographic Resources Analysis Support System*) es un sistema de información geográfica (SIG) complejo y modular, que se integra como una herramienta especializada dentro del *software* Quantum GIS (QGIS). La integración de GRASS en QGIS permite aprovechar de manera complementaria las capacidades avanzadas de análisis espacial, procesamiento y modelado geoespacial propias de GRASS con la interfaz más accesible y amigable que ofrece QGIS. GRASS GIS fue desarrollado originalmente en la década de 1980 por la Agencia de Defensa de los Estados Unidos (*U.S. Army Corps of Engineers*) y desde entonces se ha convertido en un *software* libre y de código abierto con más de 400 módulos que facilitan una amplia variedad de procesos SIG. Estos módulos comprenden análisis de datos raster y vectoriales, procesamiento de imágenes de satélite, corrección topológica, análisis de redes, cálculo de cuencas hidrográficas, transformación de coordenadas, visualización en 3D y muchas otras funcionalidades especializadas (Documentation, Integración GRASS SIG, 2025).

De acuerdo con Alonso (2016), la integración en QGIS consta de dos componentes principales: el proveedor y el complemento (*plugin*). El proveedor permite al usuario navegar, administrar y visualizar capas ráster y vectoriales originadas en GRASS directamente desde el navegador de QGIS, facilitando la carga y gestión de datos geoespaciales sin requerir salir de la interfaz QGIS. Por otra parte, el

complemento ofrece herramientas para crear nuevas ubicaciones y conjuntos de mapas propios de GRASS, modificar la región de análisis, además de generar y editar capas vectoriales, y ejecutar análisis en 2D y 3D empleando los módulos especializados de GRASS.

El flujo de trabajo integrado permite importar datos raster y vectoriales a bases de datos GRASS desde QGIS mediante arrastrar y soltar, así como procesar datos con algoritmos agrupados en categorías temáticas dentro de la caja de herramientas de QGIS, diferenciándose en análisis de imágenes, ráster, vectorial, miscelánea y visualización. La poderosa capacidad de procesamiento espacial de GRASS se complementa con la versatilidad visual y de manejo de QGIS, posibilitando realizar análisis espaciales sofisticados y la creación de mapas atractivos de manera eficiente. Estas dos herramientas unidas conforman una solución SIG libre robusta, utilizada tanto en la investigación académica, gestión ambiental, planificación territorial, monitoreo de recursos naturales, como en proyectos de ingeniería donde es necesario un manejo profundo de datos geoespaciales, análisis precisos y visualización cartográfica avanzada (Alonso, 2016).

4.10.4 Plugins QGIS

Los plugins en QGIS son extensiones o complementos diseñados para ampliar las funcionalidades del software de Sistema de Información Geográfica (SIG) de forma modular y flexible. Funcionan como aplicaciones adicionales que se integran en QGIS, permitiendo a los usuarios acceder a herramientas específicas, nuevas funcionalidades y automatizaciones que no están presentes en la versión base del programa. QGIS fue diseñado con una arquitectura de complementos que facilita la adición y personalización de funciones para adaptar el software a diversas necesidades profesionales y académicas. Existen dos tipos principales de plugins. Los complementos base, que son mantenidos por el equipo de desarrollo de QGIS y vienen integrados en la distribución estándar, y los complementos externos, desarrollados y mantenidos por terceros o la comunidad, que se pueden descargar e instalar desde un repositorio oficial o repositorios externos (Losada, 2024).

Según Complementos QGIS (2025), la instalación de plugins en QGIS es sencilla y se realiza a través del gestor de complementos, donde los usuarios pueden buscar, instalar, actualizar o desactivar plugins según sus requerimientos. La mayoría de los complementos externos están escritos en Python, aprovechando esta flexibilidad para crear desde herramientas de análisis espacial, procesamiento de datos, visualización avanzada, hasta utilidades para la gestión de datos y nuevas interfaces de usuario.

Las principales ventajas de utilizar plugins en QGIS incluyen la especialización funcional, la automatización de procesos rutinarios, la incorporación de análisis espaciales avanzados y la mejora significativa en la productividad y personalización del entorno de trabajo. Los plugins representan un componente fundamental dentro del ecosistema QGIS, ya que permiten potenciar y diversificar sus capacidades para satisfacer las demandas específicas del análisis y la gestión geoespacial. Así, usuarios de diferentes sectores, desde educación, planificación urbana, gestión ambiental, hasta ingeniería y cartografía, pueden adaptar el software con plugins que optimizan sus flujos de trabajo y resultados.

K. Clasificación de mapas ráster

4.11.1 Topografía y drenaje natural

Según el CEG (2021), la vulnerabilidad a inundaciones se define como la susceptibilidad o predisposición de un sistema social, económico o ambiental a sufrir daños cuando es expuesto a una amenaza hidrológica determinada. En el marco de análisis espacial y territorial, la altitud constituye un criterio fundamental para la estimación del grado de vulnerabilidad, dado que la topografía influye directamente en la probabilidad y nivel de inundación.

Zonas con altitud baja suelen ubicarse en llanuras aluviales o cercanas a cuerpos de agua, lo que las hace más expuestas a desbordamientos y acumulación de escorrentía superficial. Esto incrementa la vulnerabilidad, dado que la frecuencia e intensidad de inundaciones son mayores, generando impactos significativos sobre comunidades y bienes materiales ubicados en estas áreas. En contraste, las áreas de mayor altitud presentan menor exposición directa a eventos de inundación, por lo que la vulnerabilidad se reduce progresivamente conforme aumenta la elevación del terreno (CEG, 2021).

De acuerdo con Erick Cajigal (2020), la clasificación de la vulnerabilidad con un índice de 1 a 5, donde 5 corresponde a máxima vulnerabilidad en zonas de baja altitud y 1 a mínima vulnerabilidad en zonas altas, se fundamenta en la relación directa entre la altitud y la probabilidad de impacto inundable. Además, la vulnerabilidad se incrementa notablemente en áreas donde existen asentamientos humanos y vías de comunicación próximas. La concentración poblacional y la densidad de infraestructura exponen a un mayor número de personas y bienes, aumentando el riesgo social y económico. Además, la proximidad a vías de acceso también es crítica, pues su afectación durante inundaciones dificulta la evacuación, el rescate y la provisión de ayuda, elevando la vulnerabilidad funcional de la comunidad.

La evaluación de vulnerabilidad a inundaciones resalta la inclusión de variables socio-espaciales, como la cercanía a poblados y vías, para obtener un análisis integral que permita una planificación y mitigación adecuada. Para la elaboración de mapas de vulnerabilidad en QGIS, es pertinente considerar un modelo multifactorial que combine la altitud con la proximidad a elementos socio-infraestructurales, asignando valores crecientes de vulnerabilidad conforme la altitud disminuye y la densidad poblacional y vial aumenta, con el fin de reflejar con precisión las zonas de mayor riesgo ante eventos de inundación de acuerdo con CEG (2021).

El drenaje natural se define como el conjunto de procesos y estructuras geomorfológicas que permiten el movimiento, almacenamiento y evacuación del agua superficial y subterránea dentro de un área, a través del suelo, ríos, quebradas y otros cuerpos de agua. La capacidad de este drenaje natural para conducir las aguas pluviales de manera eficiente influye directamente en la susceptibilidad de la zona a experimentar eventos de inundación. El drenaje natural constituye un componente fundamental en la dinámica hidrológica de una región y desempeña un papel determinante en la vulnerabilidad a inundaciones de una zona (EcoFlow, 2022).

Según Nespolo (2007), cuando los sistemas de drenaje natural operan adecuadamente, facilitan la infiltración, almacenamiento temporal y derivación progresiva del agua proveniente de lluvias, contribuyendo a mitigar la acumulación súbita de agua en el terreno. Por el contrario, si el drenaje natural presenta limitaciones, obstrucciones o ha sido alterado debido a actividades antrópicas como la urbanización, deforestación, compactación del suelo o rellenos de cuerpos hídricos, se reduce la capacidad de evacuación, generando un incremento en el escurrimiento superficial y, por ende, en el riesgo de inundaciones. La alteración del drenaje natural también puede modificar los patrones hidrológicos propios de la región, reduciendo el tiempo de concentración y aumentando la magnitud de las crecidas (EcoFlow, 2022).

La condición del drenaje natural se considera un factor causal esencial para determinar la susceptibilidad a inundaciones. Se combinan análisis espaciales y físicos para medir cómo las características del suelo, la morfología del terreno y el uso del suelo interactúan para favorecer o mitigar la acumulación de agua. La preservación y restauración del drenaje natural mediante soluciones basadas en la naturaleza o infraestructura verde como humedales, franjas riparias y áreas de absorción son

prácticas recomendadas para aumentar la resiliencia ante inundaciones, complementando o sustituyendo parcialmente las infraestructuras convencionales de control de agua. Estas estrategias mejoran la capacidad del ecosistema para regular el agua y reducir la vulnerabilidad general de la zona frente a eventos hidrometeorológicos extremos (Nespolo, 2007).

4.11.2 Precipitación y humedad

La precipitación es un factor meteorológico clave que determina la magnitud y frecuencia del peligro de inundación, ya que condiciona la cantidad de agua que cae sobre una cuenca, saturando suelos y sistemas de drenaje, y generando corrientes superficiales que pueden producir inundaciones. Numerosos estudios han demostrado que cuando la precipitación es baja, el riesgo de saturación del terreno y de desbordes es reducido, lo que se traduce en una vulnerabilidad baja a inundaciones de acuerdo con PNUD (2014). En contraste, la intensificación intensa y prolongada aumenta la saturación del suelo y sobrecarga los sistemas naturales y artificiales de drenaje, incrementando la escorrentía superficial y la probabilidad de inundaciones severas, elevando así la vulnerabilidad (MITECO, 2019).

El análisis de riesgo de inundación se cuantifica la vulnerabilidad integrando la precipitación como un indicador de amenaza directa. Los modelos hidrológicos y sistemas de información geográfica (SIG) consideran la acumulación y distribución espacial de la precipitación para delimitar zonas con diferentes niveles de vulnerabilidad, donde sectores con alta precipitación exhiben mayor susceptibilidad a ser afectados por inundaciones. Además, factores naturales como la cobertura vegetal también modulan esta relación, ya que áreas con vegetación densa presentan menor escurrimiento, reduciendo la vulnerabilidad pese a la precipitación. Sin embargo, en general, la relación principal es directa, mayor recepción implica mayor riesgo y vulnerabilidad ante inundaciones (PNUD, 2014).

La humedad del suelo incide directamente en la dinámica hidrológica de un territorio y en la capacidad del suelo para absorber y retener agua. Este fenómeno es importante en estudios de gestión del riesgo ya que permite elaborar modelos de vulnerabilidad más precisos y ajustados a la realidad ambiental. La humedad se define como la cantidad de agua presente en los poros del suelo en un momento dado, la cual es condicionada por características intrínsecas como la textura, la estructura, la composición y la temperatura del suelo, así como por factores externos como las precipitaciones y la evapotranspiración (Palacios, 2019).

De acuerdo con Palacios (2019), cuando el suelo se encuentra con un alto grado de humedad, especialmente en condiciones cercanas a la saturación o al punto de capacidad de campo, la capacidad del terreno para absorber agua adicional disminuye considerablemente. Esto provoca que el exceso de precipitación no pueda infiltrarse y, en cambio, se transforme en escorrentía superficial o escurrimiento, incrementando el volumen y la velocidad del flujo hídrico hacia los cuerpos receptores como ríos, lagos o sistemas de drenaje urbanos. Este aumento en la escorrentía eleva la probabilidad de desbordamientos e inundaciones, especialmente en áreas donde la capacidad de almacenamiento del suelo es limitada.

Además, la vulnerabilidad ante inundaciones no depende únicamente del contenido de humedad, sino que se potencia cuando se considera en conjunto con características de permeabilidad, uso del suelo y condiciones de cobertura vegetal. Por ejemplo, suelos con alta proporción de partículas finas como arcillas retienen más agua y pueden saturarse rápidamente, generando escorrentías repentinas. Por otro lado, la cubierta vegetal contribuye a reducir la susceptibilidad al disminuir el impacto directo de la precipitación y favoreciendo la infiltración (Palacios, 2019).

4.11.3 Uso y cobertura de suelo

La transformación del uso del suelo, inducida principalmente por actividades antrópicas como la urbanización intensiva, la expansión agrícola y la deforestación, modifica sustancialmente las características físicas y funcionales del territorio, afectando la capacidad natural del suelo para infiltrar y almacenar el agua. En condiciones naturales, los suelos con cubierta vegetal, incluidos bosques, humedales y áreas agrícolas manejadas sustentablemente, regulan el ciclo hidrológico al favorecer procesos de infiltración, retención y gradual liberación del agua (Feline Schön, 2022).

Estos ecosistemas actúan como amortiguadores frente a eventos hidrometeorológicos extremos, contribuyendo a la reducción del escurrimiento superficial y, por ende, a la disminución del riesgo de inundaciones. Sin embargo, la transformación del suelo para usos urbanos o agrícolas intensivos suele implicar la remoción de esta cobertura natural y la compactación del terreno, reduciendo su permeabilidad y aumentando significativamente la escorrentía superficial durante eventos pluviales (Feline Schön, 2022).

La urbanización, en particular, introduce superficies impermeables (como pavimentos, techos y otras infraestructuras) que evitan la infiltración del agua, generando un incremento rápido y concentrado

del caudal hacia sistemas de drenaje y cuerpos de agua receptores, lo que eleva la probabilidad y severidad de inundaciones urbanas. Además, la ocupación de zonas bajas y áreas tradicionalmente consideradas como zonas de inundación naturales reduce la capacidad de almacenamiento temporal del agua, intensificando los impactos de las crecidas (Feline Schön, 2022).

De acuerdo con Feline Schön (2022), las actividades antrópicas no planificadas o mal reguladas incrementan la exposición de bienes, personas y ecosistemas a la amenaza de inundaciones, al haberse asentado en zonas de alto riesgo sin medidas adecuadas de mitigación. Esto contribuye a una alta vulnerabilidad física e institucional, que se refleja en daños estructurales, pérdidas económicas y afectación social tras eventos de inundación.

4.11.4 Geología y fisiografía

Las rocas ígneas y metamórficas volcánicas de origen Mio-Plioceno poseen diferentes grados de fracturación y alteraciones hidrotermales, que determinan su permeabilidad. Por lo general, las coladas de lava forman capas compactas y duras, caracterizadas por baja permeabilidad, lo cual limita la infiltración del agua de lluvia y favorece la escorrentía superficial rápida, incrementando el flujo hacia cauces y aumentando el riesgo de inundación. Las tobas y otros depósitos piroclásticos, aunque porosos, pueden estar compactados o cementados, disminuyendo también su capacidad para absorber agua y contribuyendo a una respuesta hidrológica rápida a precipitaciones intensas (JICA, 2011).

Según JICA (2011), el material lahárico es una mezcla de agua, cenizas, rocas y sedimentos junto con sedimentos volcánicos más finos, son especialmente susceptibles a ser movilizados durante eventos de lluvias intensas. Esto genera flujos de detritos que pueden obstruir cauces naturales y obras hidráulicas, provocando represamientos súbitos y desbordamientos posteriores, incrementando la vulnerabilidad a eventos de inundación. Además, la recurrencia de estos flujos y depósitos indica una predisposición del terreno a presentar respuestas hidrodinámicas abruptas.

Las áreas dominadas por rocas Mio-Pliocenas volcánicas suelen presentar laderas empinadas y cañones estrechos, características que aumentan la velocidad de escorrentía y advierten el riesgo de deslizamientos y caída de bloques que pueden alterar el curso normal de los ríos, generando acumulación de materiales y, eventualmente, inundaciones en zonas bajas o en valles fluviales. La interacción entre la topografía abrupta y la materialidad volcánica incrementa la exposición y sensibilidad del área a fenómenos hidrometeorológicos severos. Esta modificación favorece la susceptibilidad a procesos de

erosión, graduales y una mayor escorrentía superficial, factores que pueden aumentar la vulnerabilidad a inundaciones por acumulación rápida de agua y sedimentos en áreas bajas (JICA, 2011).

L. Infraestructura verde

La infraestructura verde es un sistema integral y estratégico que comprende un conjunto de zonas naturales, seminaturales y elementos ambientales diseñados y gestionados para ofrecer servicios ecosistémicos esenciales a la sociedad. Sirve como una red interconectada de ecosistemas que proporciona beneficios ambientales, sociales y económicos, contribuyendo a la sostenibilidad urbana y rural. La infraestructura verde se define como una red estratégicamente planificada de áreas naturales y seminaturales que incluyen bosques urbanos, humedales, riberas, parques, jardines, corredores ecológicos, techos verdes, sistemas de drenaje sostenible, entre otros elementos. Su objetivo principal es ofrecer servicios ambientales como purificación del aire, regulación climática, control de la erosión, fertilización del suelo, polinización, control de plagas y protección contra desastres naturales. Además, se le también conoce como infraestructura ecológica o infraestructura natural, y su implementación es esencial para el desarrollo de ciudades inteligentes y la transición hacia economías circulares y sostenibles (Ferrovial, 2025).

Los elementos que conforman la infraestructura verde pueden ser ecosistemas naturales o construidos, y abarcan desde bosques urbanos y jardines botánicos hasta humedales artificiales, corredores ecológicos, huertos comunitarios y pavimentos permeables. La infraestructura verde también incluye tecnologías limpias y prácticas de bajo impacto ambiental, que permiten la integración con áreas urbanas y suburbanas para mantener y recuperar ecosistemas degradados, promoviendo la biodiversidad y la conectividad ecológica (MITECO, 2019).

Según MITECO (2019), la infraestructura verde proporciona servicios ecosistémicos que mejoran la calidad ambiental y la calidad de vida humana. Entre sus funciones destacan la regulación hidrológica para prevenir inundaciones, el almacenamiento de carbono para mitigar el cambio climático, la mejora de la calidad del agua y aire, el control de la erosión y la conservación de la biodiversidad. Económicamente, es más rentable mantener estos servicios proporcionados por la naturaleza que desarrollan infraestructuras artificiales para sustituirlos. Además, fomenta oportunidades de empleo sostenible y potencia espacios recreativos y de esparcimiento. La planificación de la infraestructura verde requiere un enfoque integrado de gestión territorial que considere los diferentes usos del suelo y su

impacto ambiental. Se busca diseñar una red ecológica conectada para evitar la fragmentación de hábitats y facilitar la regeneración natural. La gobernanza de estos espacios implica la cooperación de sectores gubernamentales y comunitarios para armonizar objetivos ambientales, sociales y económicos en contextos urbanos y rurales. Diversos planos municipales y regionales en distintos países sirven como ejemplos exitosos de esta planificación estratégica.

4.12.1 Aplicaciones de la infraestructura verde

La retención y filtración de agua, básicamente consiste en las áreas verdes que forman parte de la infraestructura verde actúan como esponjas naturales para captar y retener el agua pluvial. Esta funcionalidad modula la escorrentía superficial, disminuyendo el volumen y la velocidad del agua que llega directamente a las redes de drenaje y cauces naturales, lo que atenúa el riesgo de inundaciones. La vegetación y el suelo funcionan como filtros biológicos que retienen sedimentos, metales pesados y otros contaminantes, contribuyendo a la mejora de la calidad del agua que se infiltra al suelo y recarga los acuíferos subterráneos. Este proceso es fundamental para mantener el equilibrio hidrológico y la salud ambiental en zonas urbanas y periurbanas (Rotoplas, 2021).

De acuerdo con Rotoplas (2021), el almacenamiento y uso de agua de lluvia implementan sistemas para captar el agua de lluvia que cae sobre las superficies impermeables, almacenándola en cisternas o depósitos para su posterior reutilización, típicamente en riego de áreas verdes o usos no potables. Esta práctica reduce la cantidad de agua que entra en el sistema de drenaje pluvial en períodos de lluvia intensa, mitigando el riesgo de que el sistema se sature y provoque inundaciones. Además, fomenta un uso sostenible de los recursos hídricos, reduciendo la dependencia de fuentes tradicionales y la presión sobre los sistemas urbanos de agua potable.

La implementación de sistemas de drenaje sostenible, conocidos en inglés como *Sustainable Urban Drainage Systems* (SUDS), imitan el ciclo natural del agua mediante tecnologías tales como pavimentos permeables, zanjas de infiltración, jardines de lluvia y cubiertas vegetadas. Las zanjas de infiltración y jardines de lluvia retienen temporalmente el agua de escorrentía, facilitando su filtración y reducción de caudales pico. Estos sistemas contribuyen a recargar acuíferos, mejorar la calidad del agua a través de procesos de filtración natural y controlan eficazmente las crecidas hidrológicas para prevenir inundaciones urbanas (Rotoplas, 2021).

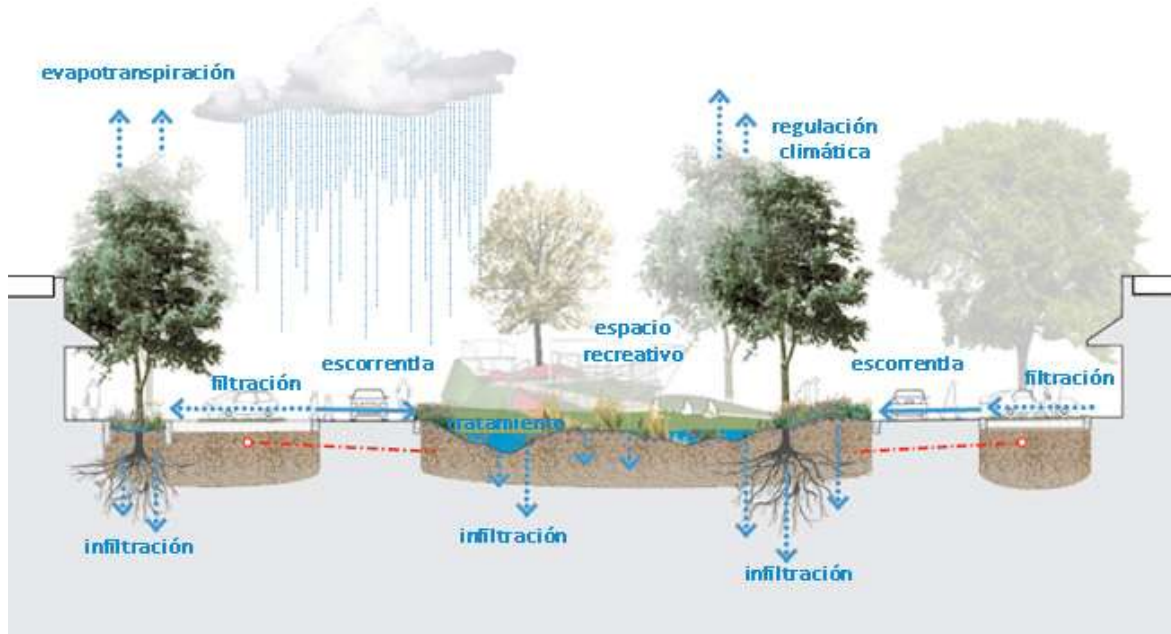
M. Sistemas urbanos de drenaje sostenible

Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) constituyen una estrategia integral para la gestión de las aguas pluviales en entornos urbanos, orientada a mitigar las consecuencias negativas derivadas de la impermeabilización del suelo que genera un aumento en los caudales de escorrentía y, por ende, la ocurrencia de inundaciones. Su principio fundamental es reproducir, lo más fielmente posible, el ciclo hidrológico natural previo a la urbanización, promoviendo la infiltración, retención y reutilización del agua de lluvia para evitar la saturación de los sistemas convencionales de drenaje (MINIVIVIENDA, 2022).

Según MINIVIVIENDA (2022), los SUDS proveen una serie de beneficios ecosistémicos que incluyen la regulación de la cantidad y calidad del agua, la mejora del confort ambiental y la preservación de la biodiversidad. Entre las medidas más comunes destacan los jardines de lluvia, que son depresiones vegetadas diseñadas para captar y filtrar el agua, facilitando su infiltración en el suelo. Adicionalmente, los sistemas incluyen zanjas y canales infiltrantes que dirigen y almacenan temporalmente el agua, facilitando su absorción en el terreno y reduciendo el riesgo de inundación aguas abajo. Las cuencas de retención natural también forman parte de esta estrategia, almacenando temporalmente el exceso de agua de lluvia para su posterior liberación controlada.

La implementación de los SUDS es un método efectivo para la reducción de inundaciones urbanas, ya que regula los picos del hidrograma de aguas pluviales, disminuye el impacto ambiental de los desarrollos urbanos y favorece la recarga de acuíferos subterráneos. Esta aproximación no solo evita la sobrecarga de los sistemas de drenaje convencionales, sino que también contribuye a la sostenibilidad ambiental y a la resiliencia frente al cambio climático, siendo cada vez más recomendada en normativas y planes urbanos para el desarrollo sostenible y la adaptación al riesgo de desastres por inundaciones (MINIVIVIENDA, 2022).

Figura 1: Sistemas urbanos de drenaje sostenible



Fuente: (ProJar, 2022)

N. Jardines de lluvia

Los jardines de lluvia constituyen una técnica avanzada de infraestructura verde orientada a mitigar los impactos negativos causados por la escorrentía superficial en zonas urbanas, siendo una solución eficaz para la reducción de inundaciones. Consisten en depresiones artificiales ajardinadas diseñadas específicamente para recoger y filtrar el agua de lluvia que corre desde superficies impermeables, como techos, calles y aceras, permitiendo su infiltración en el suelo. De esta manera, se logra disminuir el volumen y la velocidad del agua que llega a los sistemas de drenaje convencionales, evitando su saturación y el consecuente riesgo de desbordamientos e inundaciones (Recio, 2025).

Su diseño se basa en la reproducción de procesos hidrológicos naturales, buscando imitar y restituir el ciclo del agua que existía previo a la urbanización. Para ello, los jardines de lluvia disponen de varias capas: una superficie vegetal compuesta por plantas nativas adaptadas a condiciones de humedad variable, una capa de mantillo o material orgánico que ayuda a la filtración, y un medio filtrante permeable que favorece la infiltración profunda del agua. Algunos diseños incorporan sistemas de drenaje subterráneo para controlar el exceso de agua, así como estructuras para retener sedimentos al ingreso del jardín. Este conjunto de elementos permite que el agua

captada se infiltre lentamente, recargando acuíferos y retardando el aporte de escorrentía hacia las redes de drenaje de acuerdo con Recio (2025).

De acuerdo con Ornelas (2017), a su aplicación para la reducción de inundaciones, los jardines de lluvia funcionan reteniendo temporalmente y filtrando el agua pluvial durante eventos de lluvia intensa, disminuyendo los picos de caudal que normalmente ocasionan daños por inundaciones. Su efecto hidrológico se evidencia en la reducción significativa de los flujos máximos y la disminución del volumen total de escorrentía, contribuyendo a la prevención de la erosión y a la protección de infraestructuras urbanas. Además, la implementación de estos sistemas es compatible con otros métodos de gestión de aguas pluviales, constituyéndose en un complemento sostenible y económico frente a soluciones convencionales.

El proceso de implementación requiere primero de un estudio del área urbana para identificar los sitios apropiados en los que se pueda instalar el jardín de lluvia, considerando tanto aspectos hidráulicos como espaciales. Posteriormente, el diseño debe contemplar la topografía, la capacidad de infiltración del suelo y la selección de especies vegetales autóctonas que aseguren la adaptación, el filtrado y la retención de contaminantes. Finalmente, es fundamental establecer un plan de mantenimiento que garantice el correcto funcionamiento y la longevidad del jardín, incluyendo la limpieza de sedimentos y la poda de vegetación (Ornelas, 2017).

Figura 2: Vista general del diseño complejo de jardines de lluvia



Fuente: (BibLus, 2025)

O. Desconexión de canaletas y drenajes pluviales

El método de desconexión de bajantes pluviales consiste en desvincular físicamente los bajantes que normalmente conducen el agua lluvia desde los techos hacia el sistema de alcantarillado público. En lugar de enviar esta agua a los drenajes de la ciudad, el procedimiento permite que el agua se disperse y absorba directamente en el terreno de la propiedad, evitando sobrecargas en el sistema de alcantarillado y previniendo desbordamientos y contaminaciones en cuerpos de agua locales. Este método es una solución aplicada principalmente en edificios existentes y no se utiliza generalmente en nuevas construcciones (Portland.gov, 2025).

El proceso de desconexión incluye varios pasos técnicos, entre ellos asegurar los bajantes de la edificación en caso de existir, cortar el bajante en el punto adecuado, taponar o sellar el tubo que conecta con la red pública, y finalmente instalar accesorios y extensiones para dirigir el agua lejos de la edificación hacia áreas permeables del terreno. Además, se recomienda el uso de bloques para evitar la erosión y acumulación de agua cerca de la estructura habitable y subterránea. Estas medidas aseguran que el agua pluvial se maneje de manera segura y eficiente sin causar daños estructurales (Portland.gov, 2025).

Según Portland.gov (2025), se debe asegurar que el terreno tenga una pendiente adecuada para que el agua fluya alejándose de la construcción, y no se deben realizar desconexiones en pendientes superiores al 10%. También es necesario contar con suficiente área verde permeable en el suelo, al menos un 10% del área del techo que drena el agua, para que esta se pueda infiltrar con seguridad. La descarga del agua debe mantenerse a distancias mínimas de cimientos, sótanos, líneas de propiedad vecinas y aceras públicas para proteger las estructuras y respetar la vecindad.

El mantenimiento requerido es mínimo e incluye inspeccionar periódicamente que las extensiones no estén obstruidas, limpiar hojas y residuos que puedan impedir el flujo, y verificar que el agua se drene correctamente sin acumularse cerca de la base del edificio. Debido a su simplicidad y bajo costo, la desconexión de bajantes es una práctica recomendada en la gestión sostenible de aguas pluviales y puede incluso calificar para programas de incentivos municipales que reducen cargos relacionados con el tratamiento y manejo del agua en zonas urbanas (Portland.gov, 2025).

Figura 3: Desconexión de canaleta pluvial



Fuente: (Green, 2023)

V. Metodología

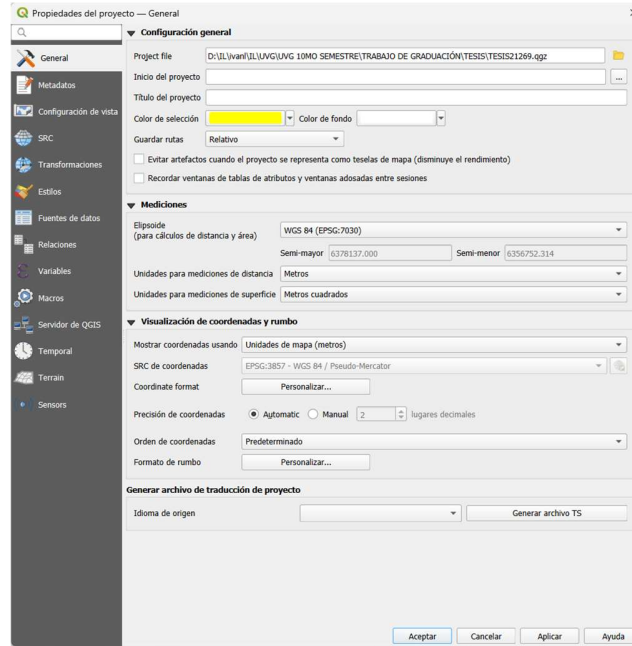
El objeto principal de la investigación se enfocó en la elaboración de un mapa de inundaciones para la aldea de Colmenas, ubicada en el municipio de Villa Canales, en la Ciudad de Guatemala. La elección de esta zona responde a su relevancia estratégica, dado que constituye un punto de conexión importante con áreas urbanas específicas de la ciudad, es particularmente afectada por episodios recurrentes de inundaciones durante la temporada de lluvias, resultado de precipitaciones intensas que generan problemas significativos para la población y la infraestructura.

Previo al análisis geoespacial, se realizó una validación rigurosa de la información contenida en las capas temáticas utilizadas para el estudio, a partir de investigaciones teóricas y antecedentes relacionados con la geología, fisiografía, uso del suelo, topografía, precipitación y drenaje natural. Esta validación permitió confirmar la congruencia y precisión de los datos geoespaciales empleados, aportando a la confiabilidad del modelo y la interpretación de los resultados obtenidos en el desarrollo del mapa de inundaciones.

El enfoque metodológico consistió en la recopilación, procesamiento y análisis de diversas variables ambientales y territoriales mediante el software QGIS, especializado en sistemas de información geográfica. Este programa facilitó la integración precisa de las diferentes capas de información, permitiendo obtener un modelo espacial detallado que refleja las áreas con mayor susceptibilidad a inundaciones. Con un proceso detallado y minucioso de los aspectos de configuración inicial del programa, como el sistema de medidas referenciadas ya que el mapa de trabajo debe ser congruente con la información georreferenciada obtenida.

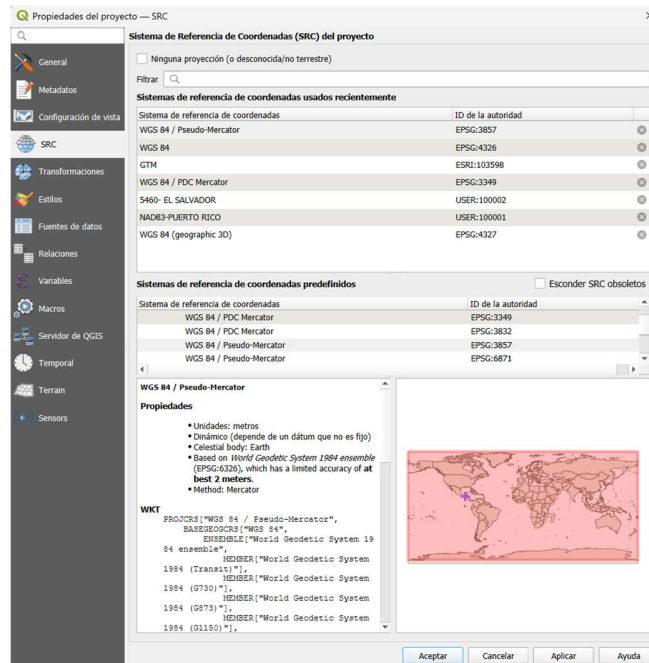
Para iniciar el proceso de elaboración del mapa de inundaciones utilizando el software QGIS, es indispensable realizar previamente una configuración adecuada de las propiedades generales del proyecto. Esta configuración inicial incluye la selección y definición precisa de las unidades de medida que se emplearán durante el análisis espacial. Además, se estableció el sistema de referencia espacial o sistema de georreferencia, el cual asegura que todas las capas geoespaciales cargadas y analizadas se encuentren correctamente alineadas en términos geográficos, facilitando la integración y superposición de datos de distintas fuentes, como se observa en la Figura 1 y Figura 2.

Figura 4: Propiedades generales del proyecto



(Fuente: Elaboración propia)

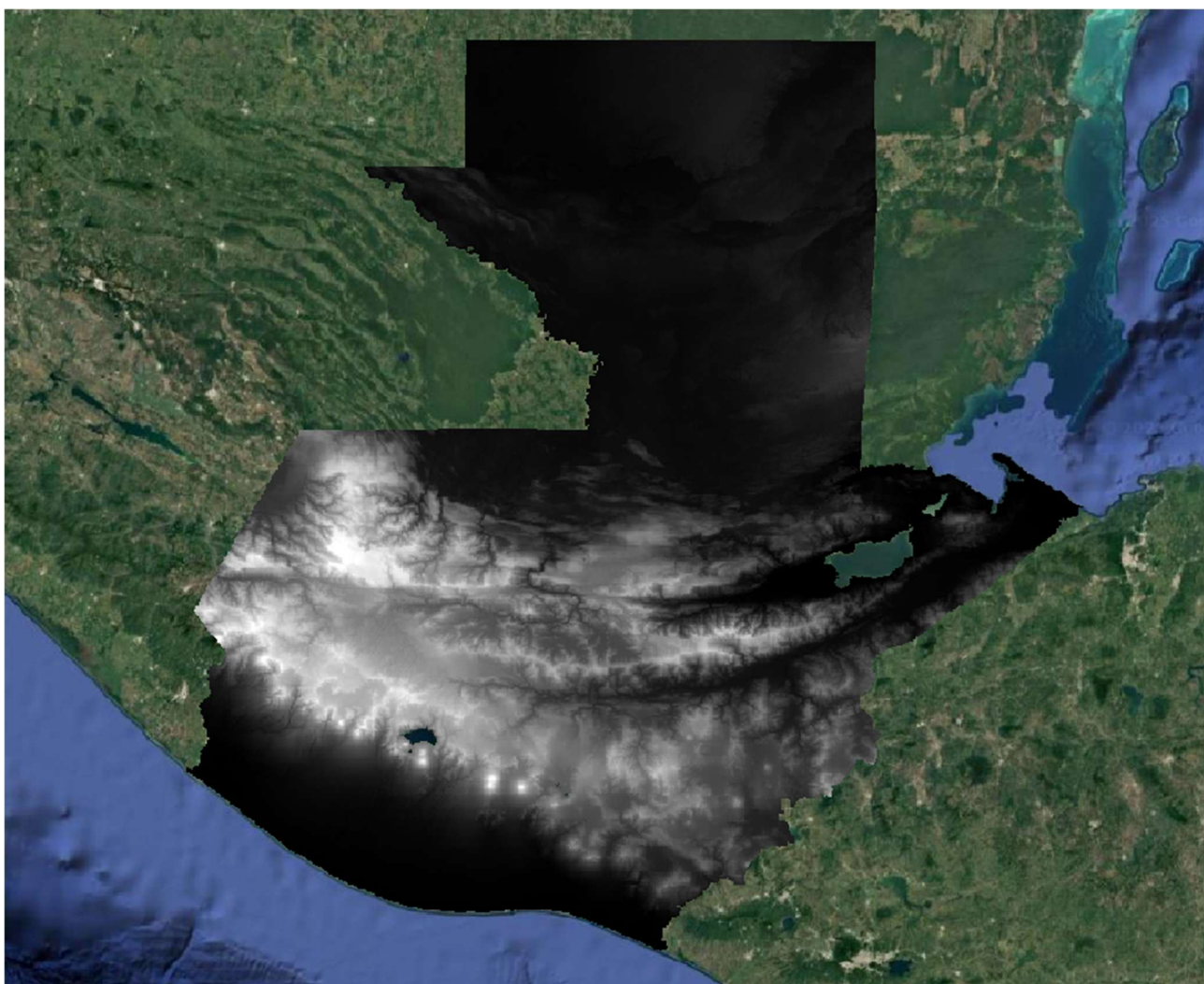
Figura 5: Propiedades SRC del proyecto



(Fuente: Elaboración propia)

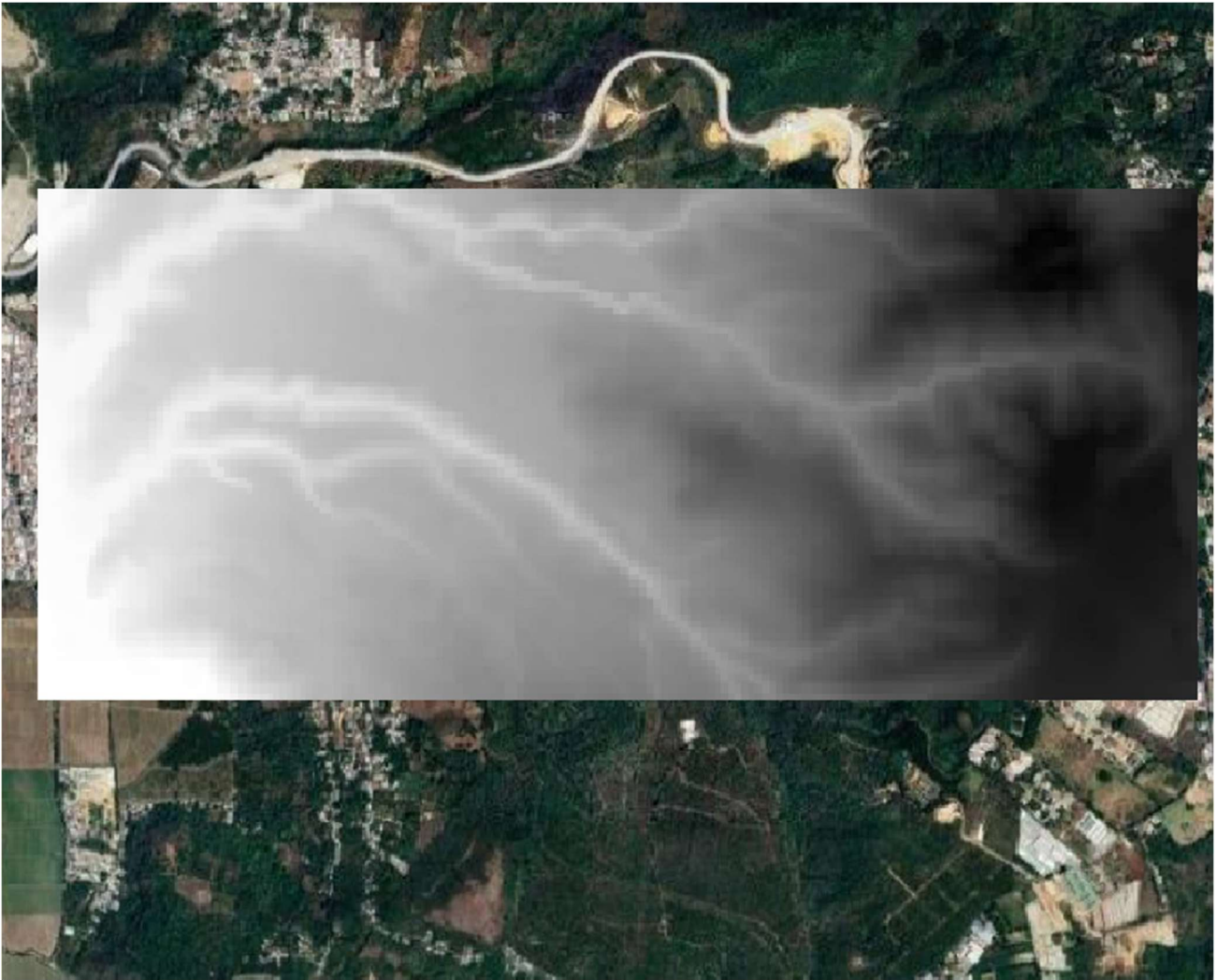
Una vez completada la configuración inicial de las propiedades generales del proyecto en QGIS, incluyendo la correcta definición del sistema de referencia espacial y las unidades de medida, el siguiente paso en el proceso de elaboración del mapa de inundaciones consistió en la incorporación de una capa digital fundamental para el análisis, el modelo digital de elevación (DEM) de Guatemala. Este modelo representa la topografía detallada del terreno y es un insumo esencial para identificar características morfológicas que influyen directamente en el comportamiento del agua, como pendientes, cuencas y corrientes naturales, elementos clave para el estudio de inundaciones.

Figura 8: Capa DEM Nacional



(Fuente: Elaboración propia)

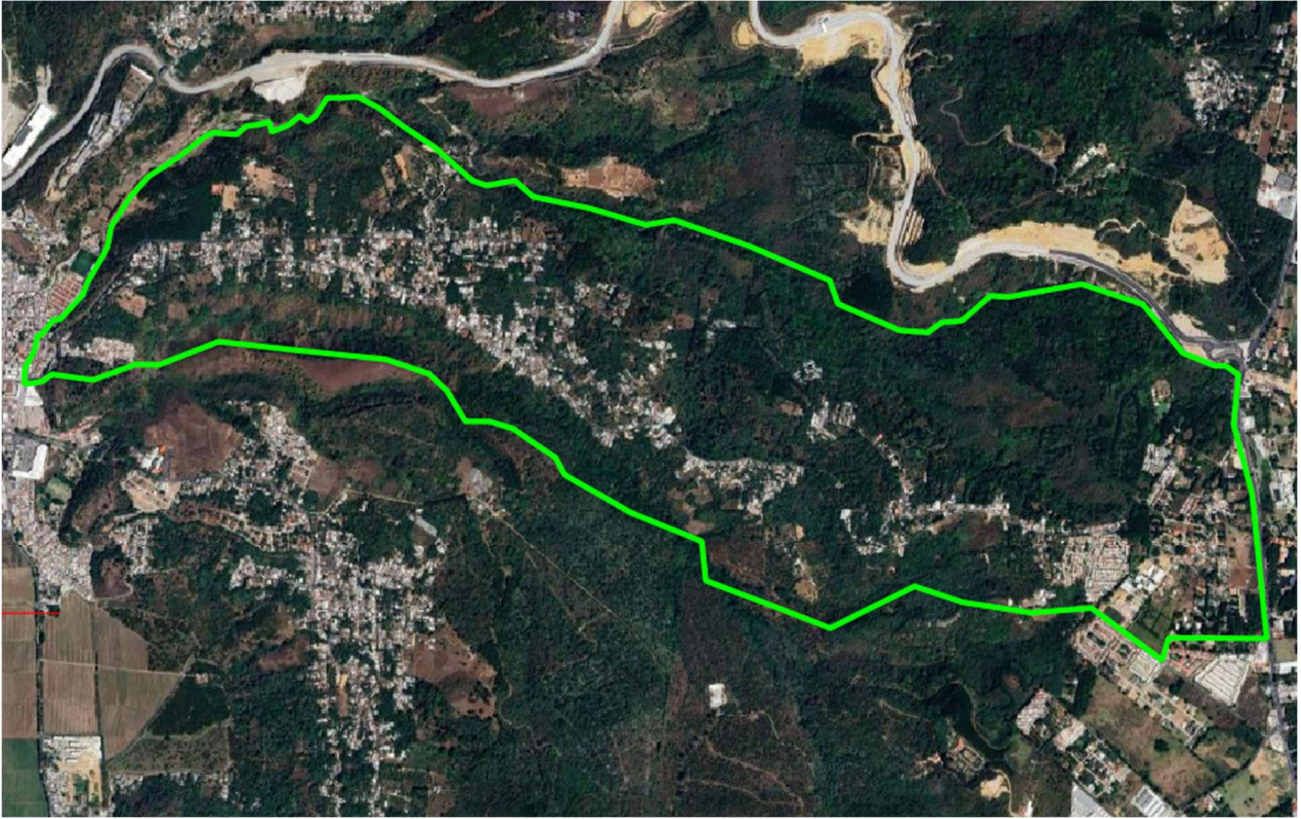
Figura 10: DEM del área de análisis



(Fuente: Elaboración propia)

Con el fragmento del DEM ya aislado, se procede a definir y limitar el área de estudio mediante la creación o uso de un polígono vectorial. Para delimitar este polígono, se toma como referencia las divisorias de aguas o parteaguas cercanos a la zona en estudio, ya que estos elementos geográficos naturales representan barreras hidrográficas que definen claramente los límites de las cuencas y subcuencas hidrográficas relevantes para el análisis hidrológico. Esta delimitación es esencial para focalizar los esfuerzos de análisis en las áreas que realmente influyen en la dinámica de las aguas superficiales y reducir la dispersión de información que no aporta valor al estudio.

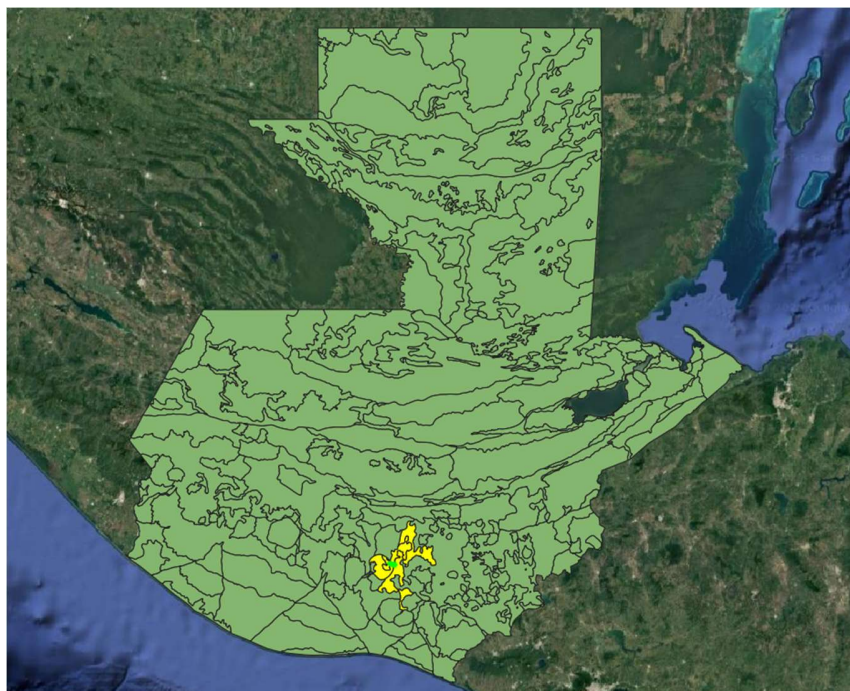
Figura 11: Delimitación de área de análisis



(Fuente: Elaboración propia)

Posteriormente a la definición y delimitación del modelo digital de elevación (DEM) correspondiente al área de estudio, se procedió a la integración de diversas capas geospaciales en formato *shapefile* proporcionadas por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH). Entre las capas cargadas destacan aquellas relacionadas con la topografía, geología, fisiografía, uso del suelo y precipitación. Estas capas contienen información fundamental para la construcción de un mapa detallado y preciso de las zonas susceptibles a inundaciones, ya que cada una aporta datos específicos sobre las condiciones físicas y ambientales que influyen en la dinámica del agua superficial y subterránea.

Figura 12: Fisiografía nacional



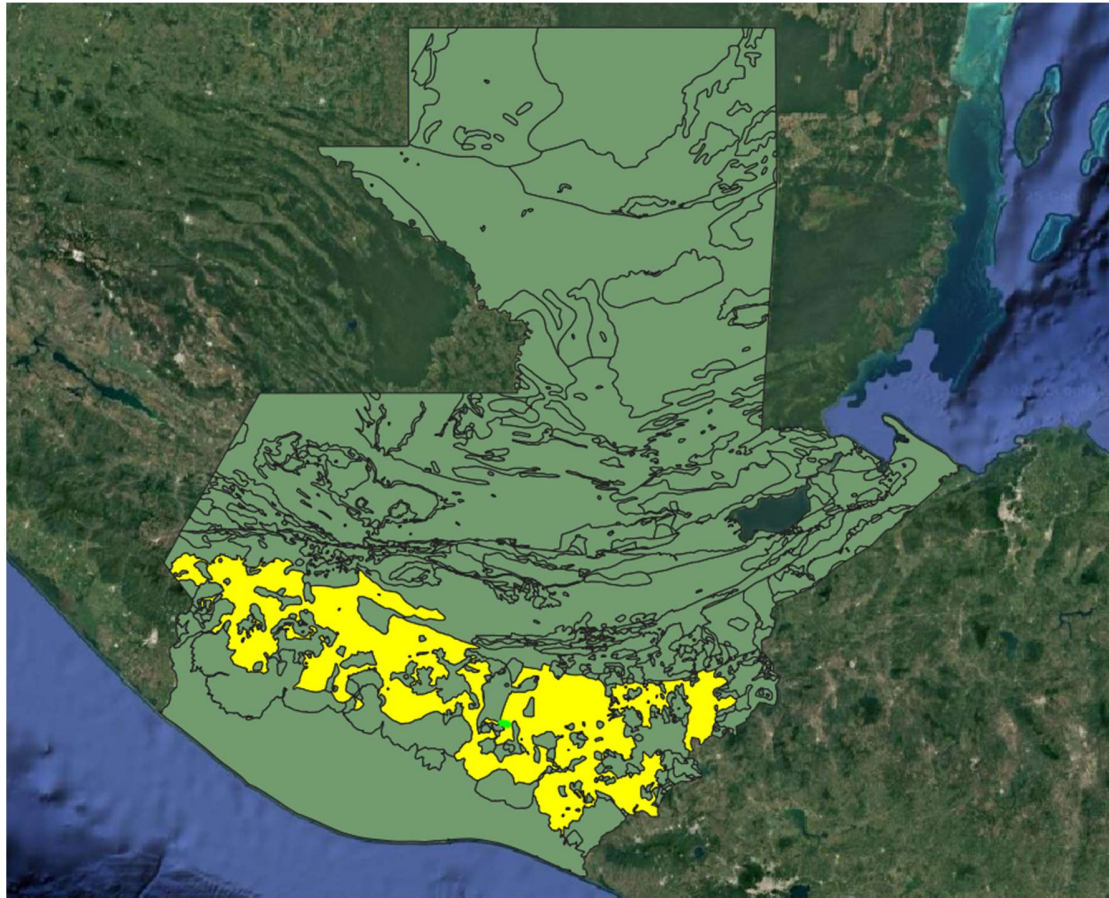
(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 1: Fisiografía seleccionada

Fisiografía			
	Nombre	Rocas	Morfología
1	Relleno piroclástico al este de Ciudad de Guatemala	Piroclastos de pómez tipo lapilli, con algunos fragmentos de rocas volcánicas andesíticas y basálticas de coloración gris y pardo amarillento cuando están meteorizadas	El origen está en la caída de fragmentos piroclásticos producto del colapso de la caldera del lago de Atitlán.
2	Montañas volcánicas del centro del país	Rocas volcánicas como andesitas y basaltos en su mayor parte, flujos riolíticos, piroclastos, aglomerados, tobas e ignimbritas	Al parecer la zona durante el cretácico tardío hasta el Paleoceno temprano, las rocas ígneas intruyeron las series cretácicas
3	Caldera del lago de Amatitlán	Basaltos toleíticos columnares y andesitas en las paredes alrededor del lago, flujos basálticos del Pacaya, dacitas, riadacitas y andesitas, flujos piroclásticos de pómez	Estructura volcano-tectónica originada al colapsamiento del bloque donde hoy se encuentra el Lago de Amatitlán y el pequeño delta del río Villalobos
4	Abanico aluvial del río Villalobos	Materiales aluviales formados por fragmentos de rocas volcánicas, dentro de una matriz piroclástica de granulometría de limo a arena con un espesor aprox. de 300 mm	El origen de este abanico se debe al aporte de material volcánico de la parte norte efectuado por los ríos Villalobos, Pinula, Molino y Platanitos

(Fuente: Elaboración propia)

Figura 13: Geología nacional



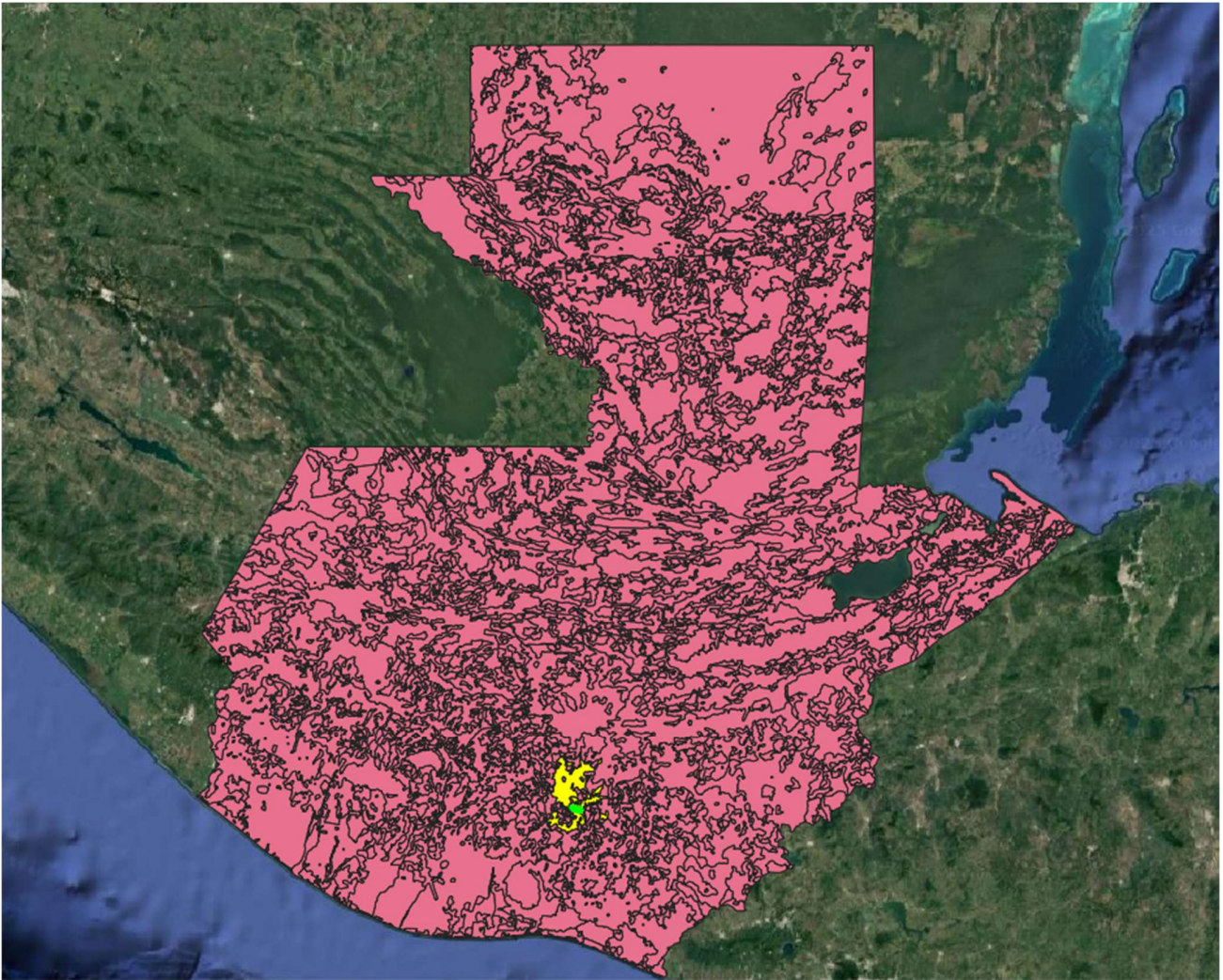
(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 2: Geología seleccionada

Geología			
	Tipo	Características	Periodo
1	Rocas ígneas y metamórficas	Rocas volcánicas sin dividir. Predominantemente Mio-Plioceno. Incluye tobas, coladas de lava, material lahárico, y sedimentos volcánicos	Terciario

(Fuente: Elaboración propia)

Figura 14: Uso del suelo nacional



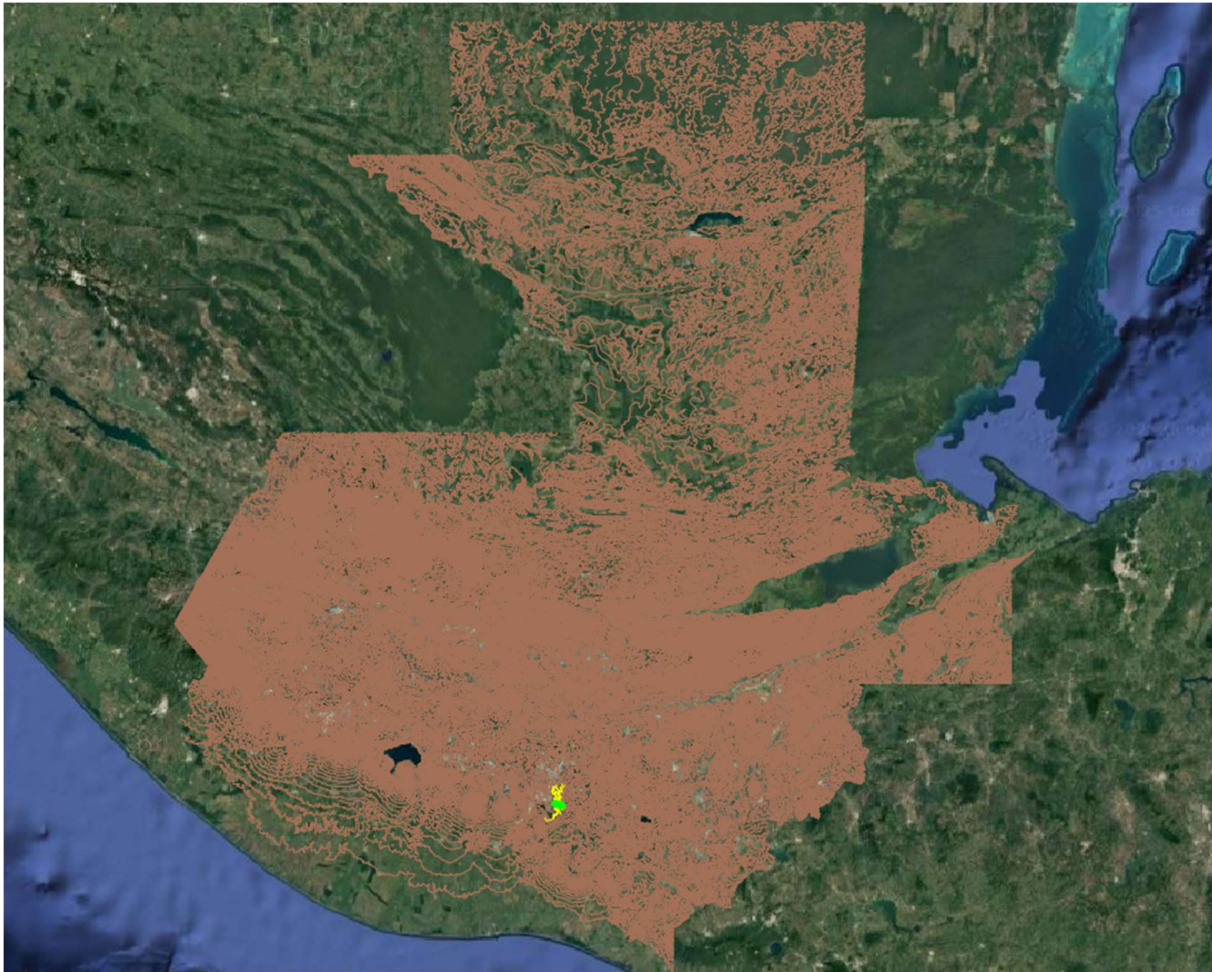
(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 3: Uso de suelo seleccionado

Uso de suelo			
	Grupo	Sub grupo	Detalle
1	Cultivos	Cultivos anuales	Agricultura limpia anual
2	Bosque natural	Latifoliadas	-
3	Infraestructura	Centros poblados	-
4	Cultivos	Cultivos perennes	Café

(Fuente: Elaboración propia)

Figura 15: Topografía nacional



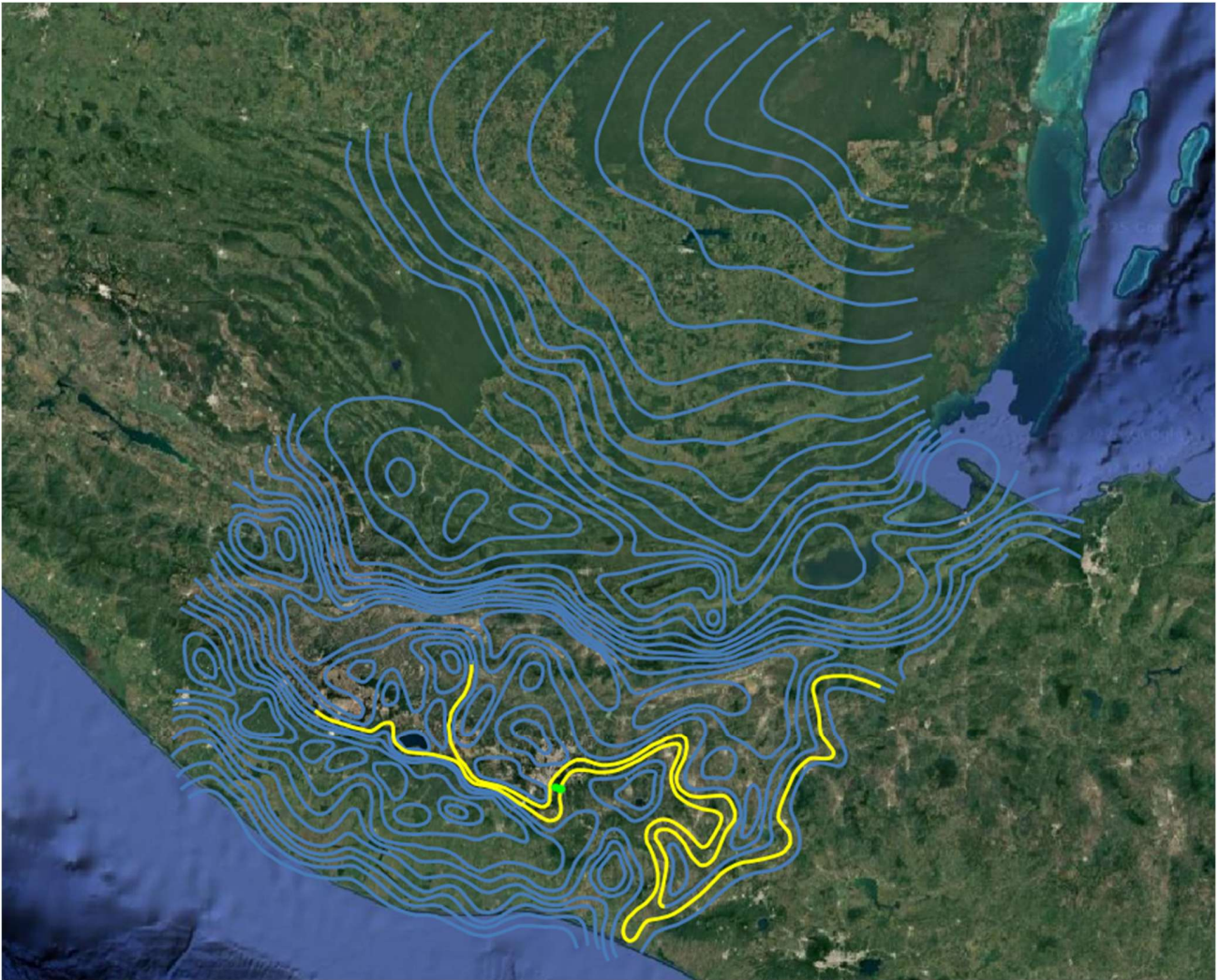
(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 4: Curvas de nivel seleccionadas

CURVAS DE NIVEL	
	ALTITUD
1	1250
2	1300
3	1350
4	1400
5	1450
6	1500
7	1600
8	1700

(Fuente: Elaboración propia)

Figura 16: Precipitación nacional



(Fuente: Elaboración propia)

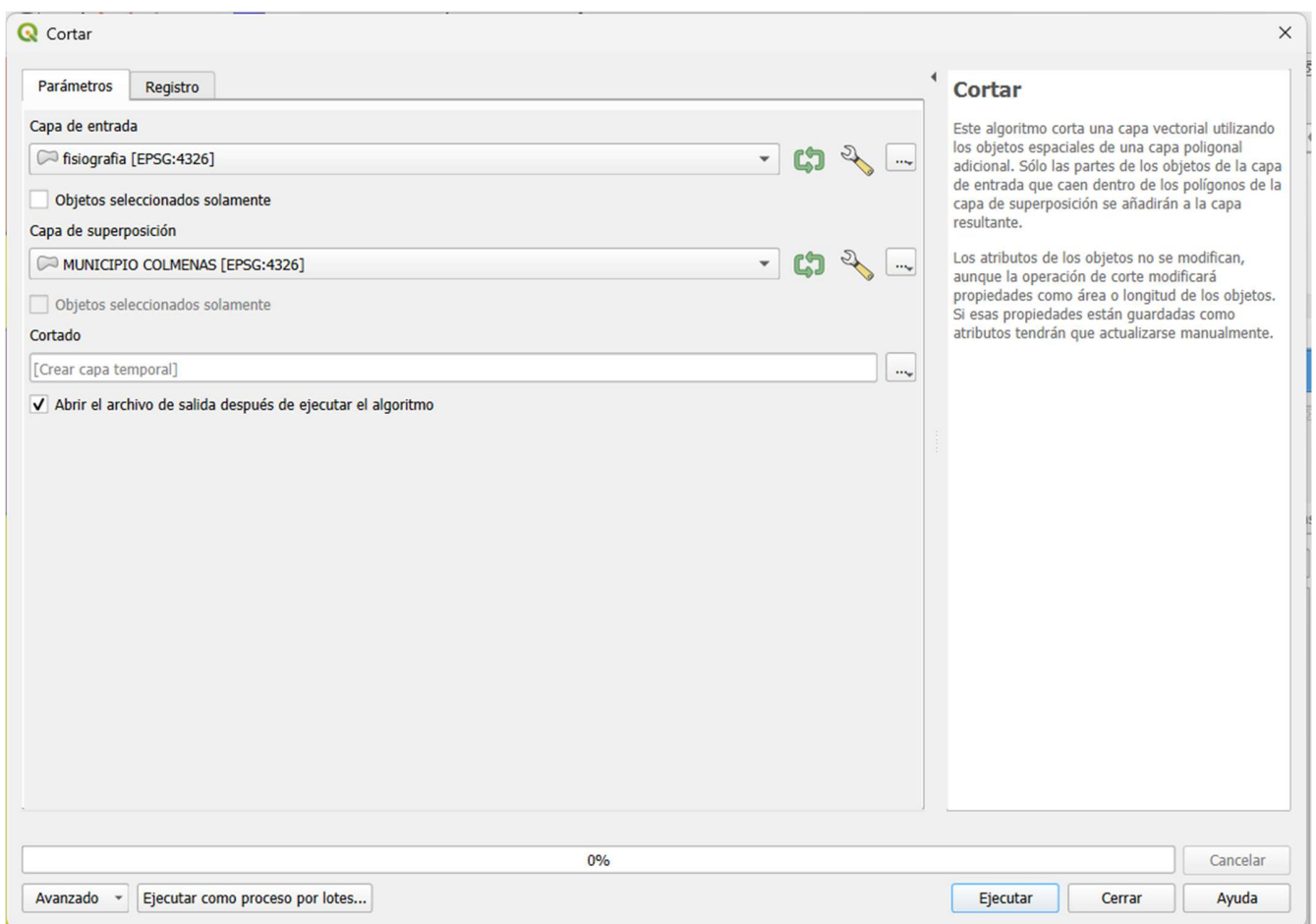
Tabla 5: Precipitación seleccionada

PRECIPITACIÓN	
	MM
1	1350
2	1400
3	1500

(Fuente: Elaboración propia)

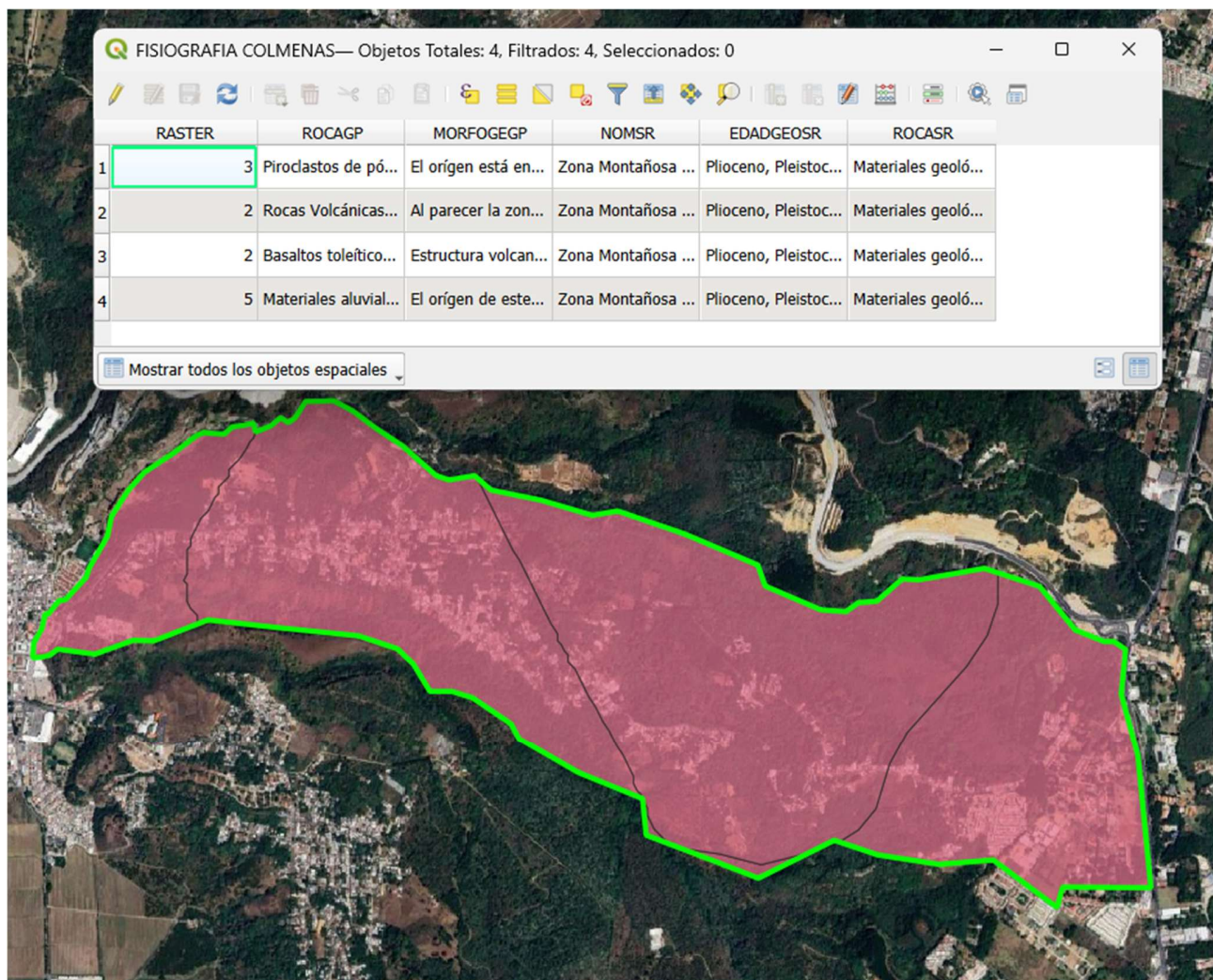
Dado que estas capas abarcan la cobertura total del territorio nacional, fue necesario realizar un análisis detallado de cada uno de los shapefiles. Para optimizar el manejo de la información y focalizar los recursos en el área delimitada previamente, se utilizó la función de corte vectorial (clip) en QGIS, la cual permitió extraer únicamente las porciones correspondientes al polígono que define el área de análisis. Este procedimiento es esencial para evitar el procesamiento y visualización innecesaria de datos fuera del ámbito de estudio, mejorando la eficiencia en términos de tiempo y capacidad computacional.

Figura 17: Función cortar para área de análisis



(Fuente: Elaboración propia)

Figura 18: Fisiografía Colmenas, Villa Canales

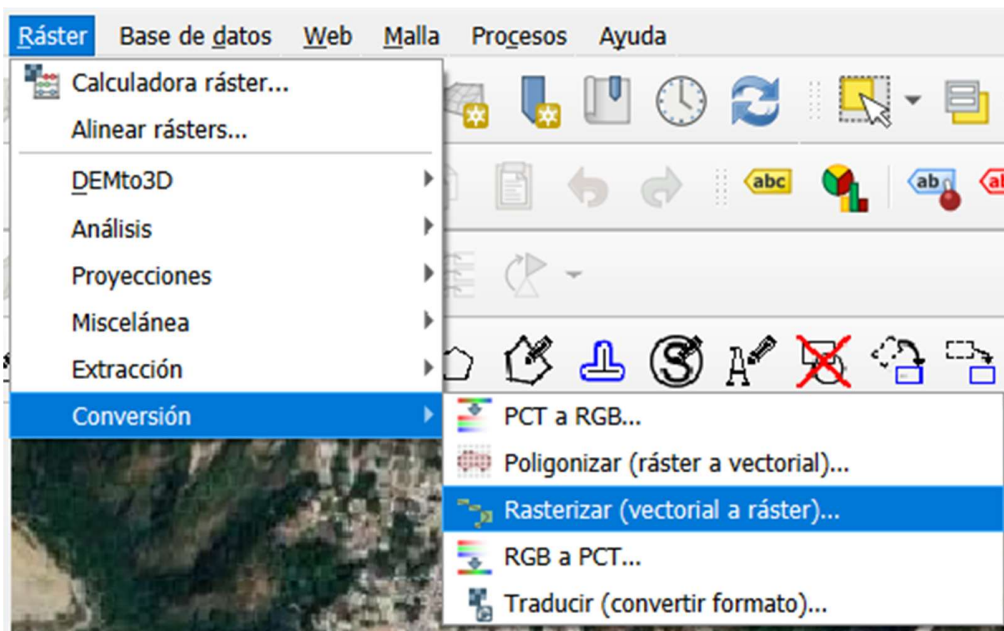


(Fuente: Elaboración propia)

Una vez obtenidas las capas vectoriales correspondientes exclusivamente al área de interés, se llevó a cabo el proceso de rasterización mediante la función de conversión a raster en QGIS. Este paso consistió en transformar las capas cortadas, originalmente en formato vectorial, a formato raster, lo que facilita posteriormente la realización de análisis espaciales específicos como superposiciones y cálculos de índices de vulnerabilidad. La elección del valor asignado a la columna raster de cada capa fue un paso clave, ya que, con base en una investigación exhaustiva de los componentes involucrados en el fenómeno de inundaciones, se determinó un valor numérico representativo para cada característica geoespacial.

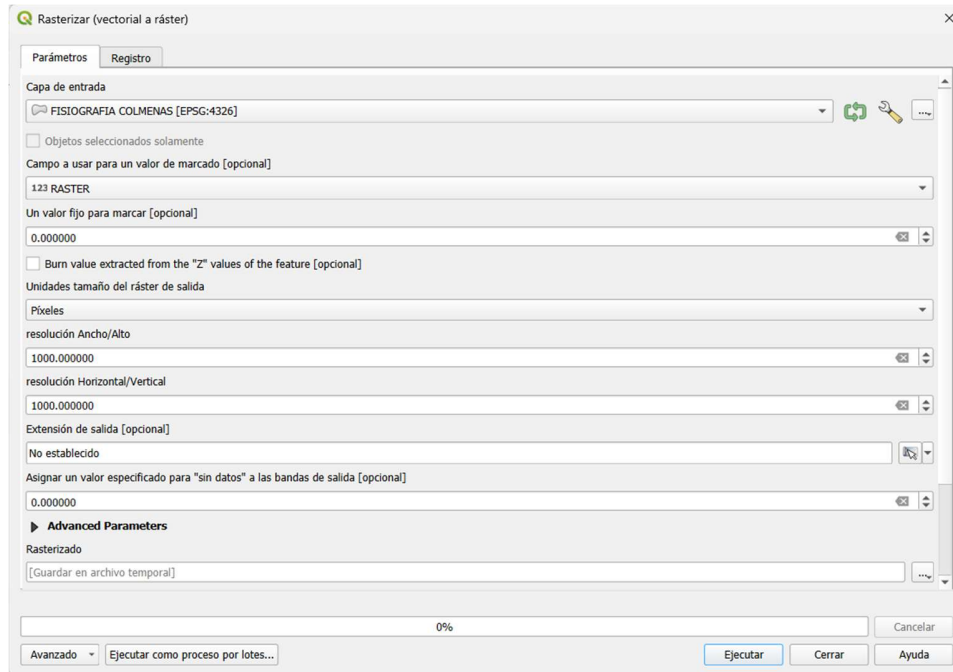
Estos valores definidos se asignaron en la columna correspondiente de la capa vectorial antes de la rasterización, garantizando así que la conversión a raster reflejara fielmente la importancia o peso relativo de cada factor estudiado. Un factor clave para la ejecución adecuada del mapa de inundaciones es el tamaño de los píxeles en cuanto al largo y ancho, en este caso se utilizó un tamaño de 1000 píxeles, este tamaño se aplicó a todos los procesos de conversión a raster para que los datos a trabajar sean congruentes entre sí. Esta metodología permite que cada componente del mapa de inundaciones influya adecuadamente en el análisis integrado, facilitando la posterior aplicación de técnicas como álgebra de mapas para la combinación y evaluación espacial de los riesgos asociados. De esta manera, el proceso asegura que los datos utilizados para modelar la vulnerabilidad a inundaciones sean consistentes, precisos y adecuados para la toma de decisiones informadas en la gestión del riesgo hídrico.

Figura 19: Proceso de rasterización



(Fuente: Elaboración propia)

Figura 20: Parámetros ráster de fisiografía



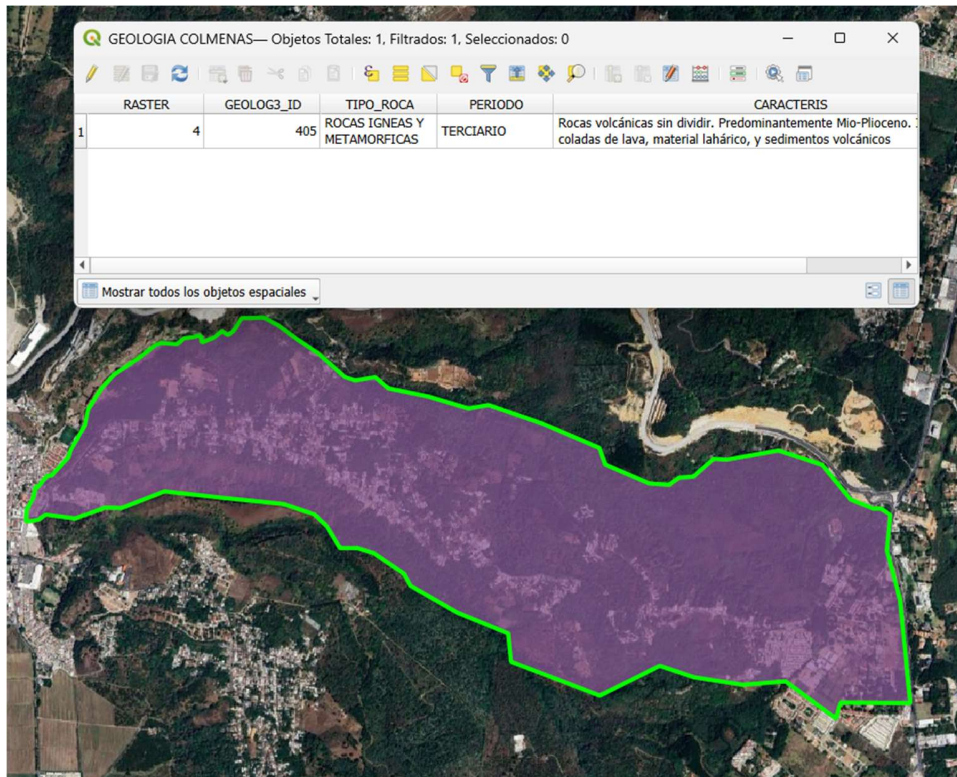
(Fuente: Elaboración propia)

Figura 21: Ráster de fisiografía



(Fuente: Elaboración propia)

Figura 22: Geología Colmenas, Villa Canales



(Fuente: Elaboración propia)

Figura 23: Parámetros ráster de geología

Parámetros Registro

Capa de entrada
GEOLOGIA COLMENAS [EPSG:4326]

Objetos seleccionados solamente

Campo a usar para un valor de marcado [opcional]
123 RASTER

Un valor fijo para marcar [opcional]
0.000000

Burn value extracted from the "Z" values of the feature [opcional]

Unidades tamaño del ráster de salida
Píxeles

resolución Ancho/Alto
1000.000000

resolución Horizontal/Vertical
1000.000000

Extensión de salida [opcional]
No establecido

Asignar un valor especificado para "sin datos" a las bandas de salida [opcional]
0.000000

► **Advanced Parameters**

Rasterizado
[Guardar en archivo temporal]

0%

Avanzado Ejecutar como proceso por lotes... Ejecutar Cerrar Ayuda

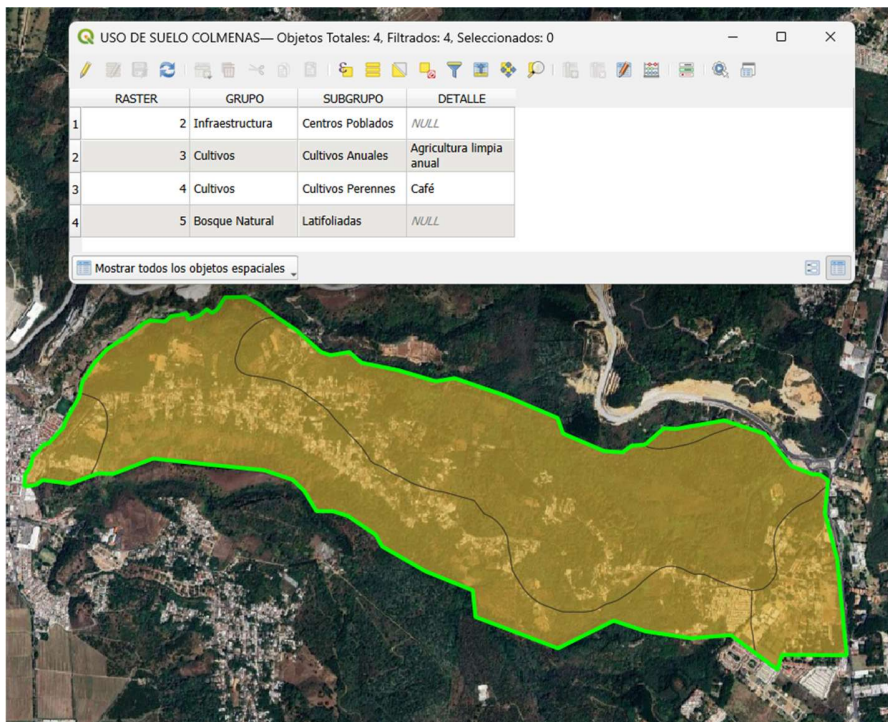
(Fuente: Elaboración propia)

Figura 24: Ráster de geología



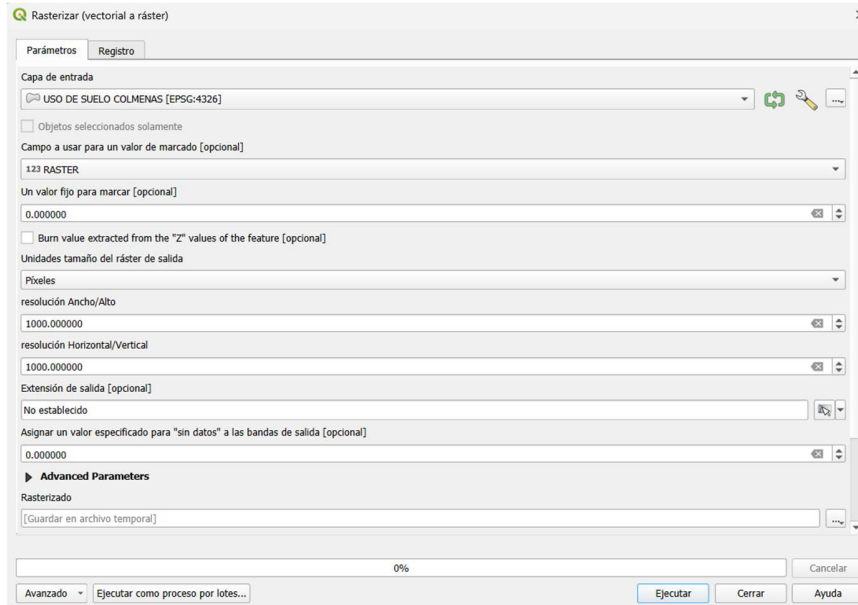
(Fuente: Elaboración propia)

Figura 25: Uso de suelo Colmenas, Villa Canales



(Fuente: Elaboración propia)

Figura 26: Parámetros ráster de uso de suelo



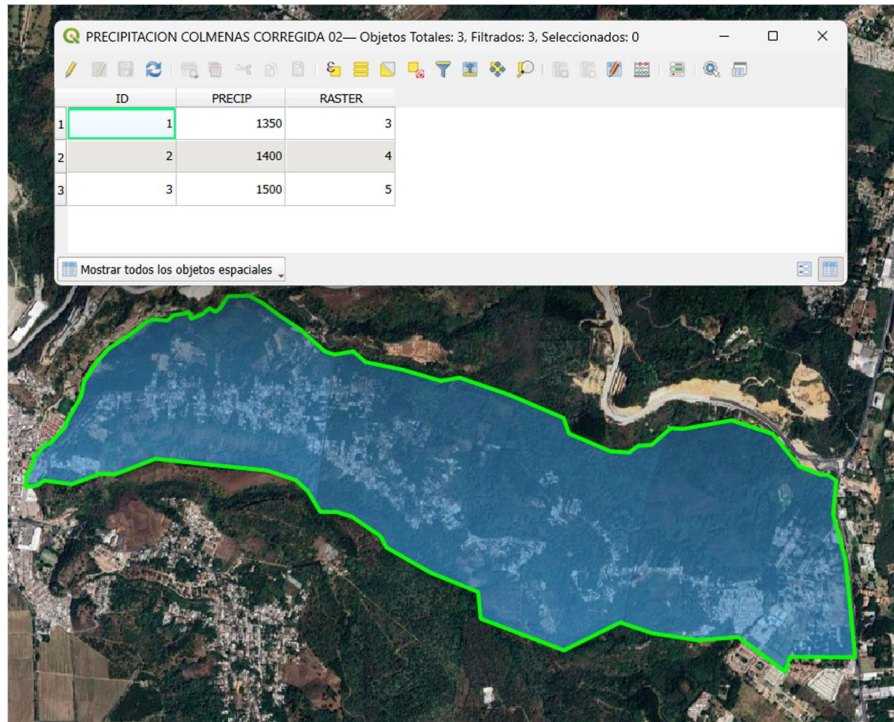
(Fuente: Elaboración propia)

Figura 27: Ráster de uso de suelo



(Fuente: Elaboración propia)

Figura 28: Precipitación Colmenas, Villa Canales



(Fuente: Elaboración propia)

Figura 29: Parámetros ráster de precipitación

The figure shows the "Rasterizar (vectorial a ráster)" dialog box in QGIS. The dialog is set to "Parámetros" and "Registro". The input layer is "PRECIPITACION COLMENAS CORREGIDA 02 [EPSG:4326]". The output format is "RASTER". The resolution is set to "Píxeles" with a resolution of 1000.000000. The output extension is "No establecido". The dialog also includes an "Advanced Parameters" section with a "Rasterizado" option set to "[Guardar en archivo temporal]".

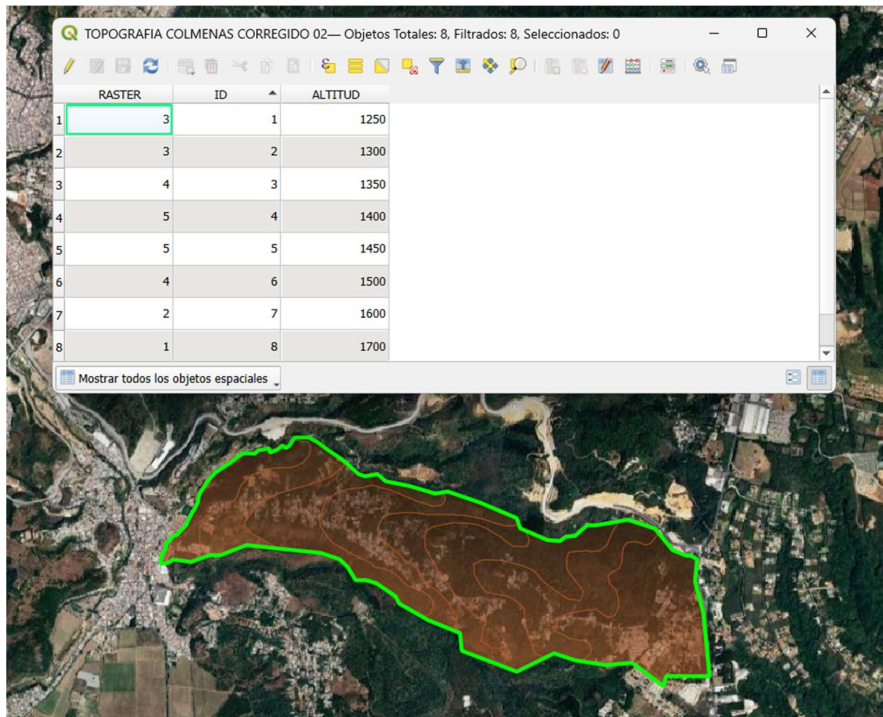
(Fuente: Elaboración propia)

Figura 30: Ráster de precipitación



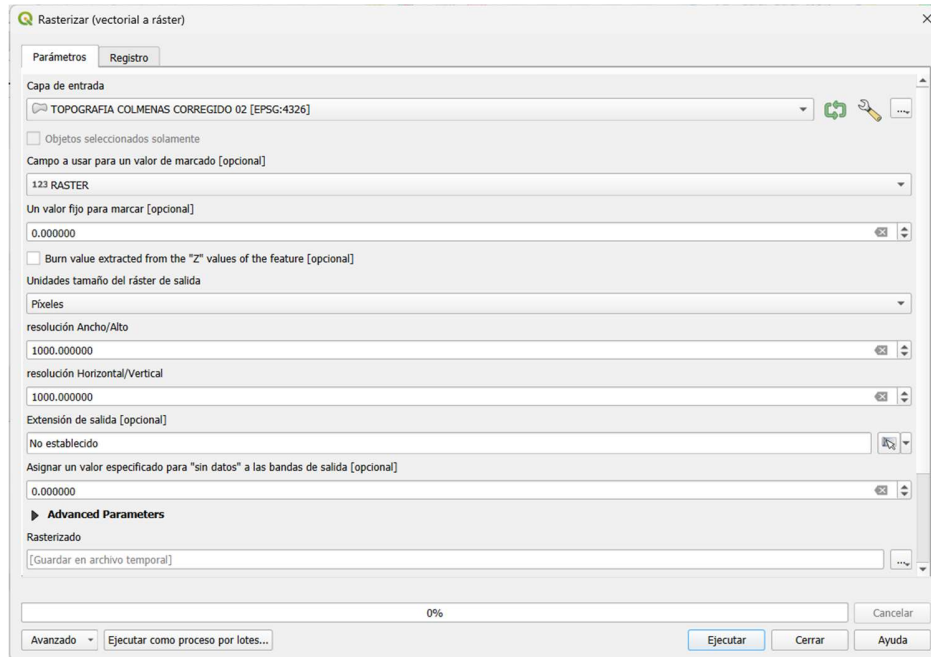
(Fuente: Elaboración propia)

Figura 31: Topografía Colmenas, Villa Canales



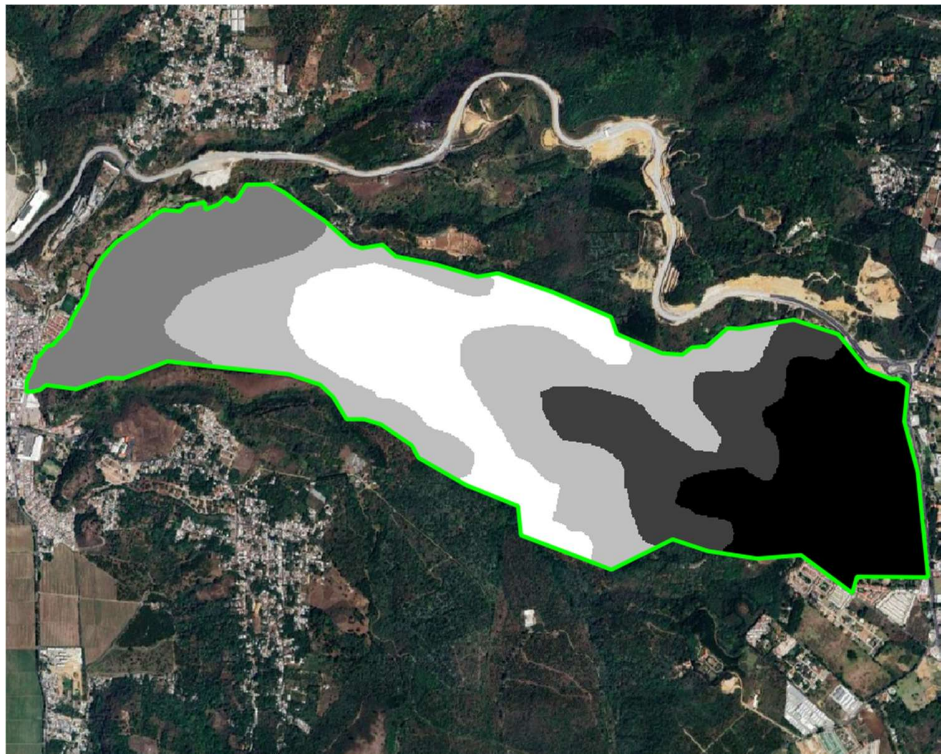
(Nota: Elaboración propia)

Figura 32: Parámetros ráster de topografía



(Fuente: Elaboración propia)

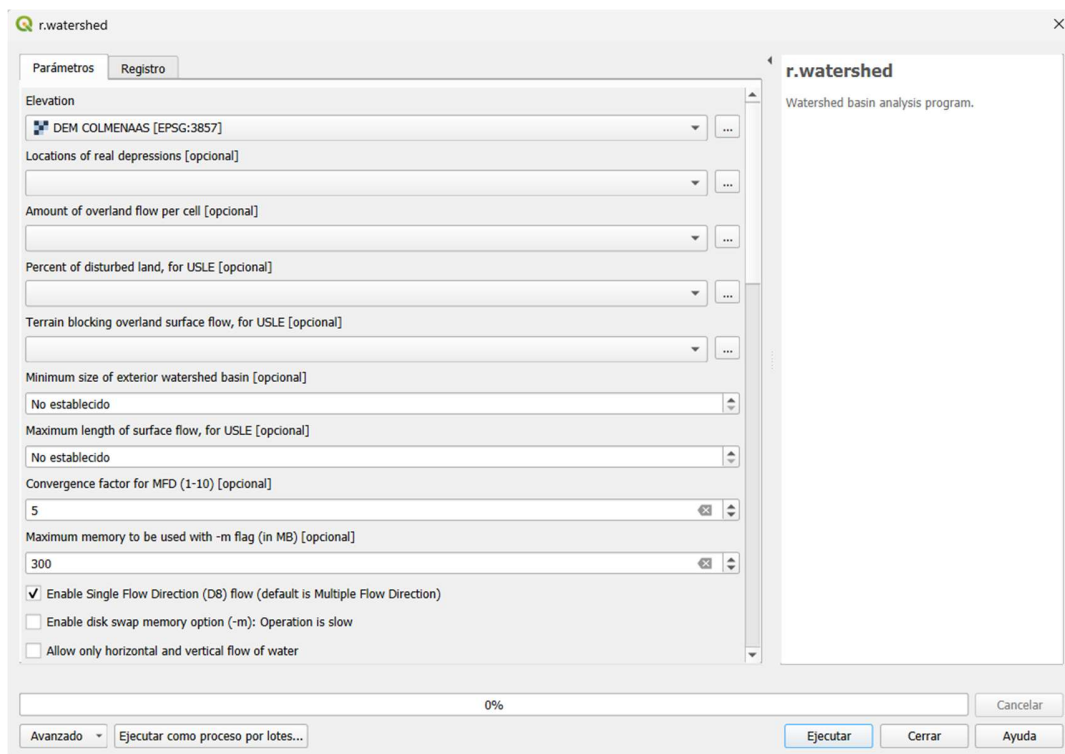
Figura 33: Ráster de topografía



(Fuente: Elaboración propia)

Posterior a la preparación y procesamiento de las capas geoespaciales iniciales, se identificó la necesidad de incorporar información relacionada con el comportamiento del drenaje natural dentro del área de análisis, específicamente en la aldea de Colmenas, Villa Canales. Dado que no se contaba con una capa vectorial preexistente que representara esta red de drenaje natural, se recurrió al uso de una herramienta especializada del complemento GRASS en QGIS denominada “*watershed*”. Esta herramienta permitió generar un modelo del comportamiento hidrológico del drenaje en el área estudiada a partir del Modelo Digital de Elevación (DEM), identificando las áreas naturales de escurrimiento y acumulación de agua.

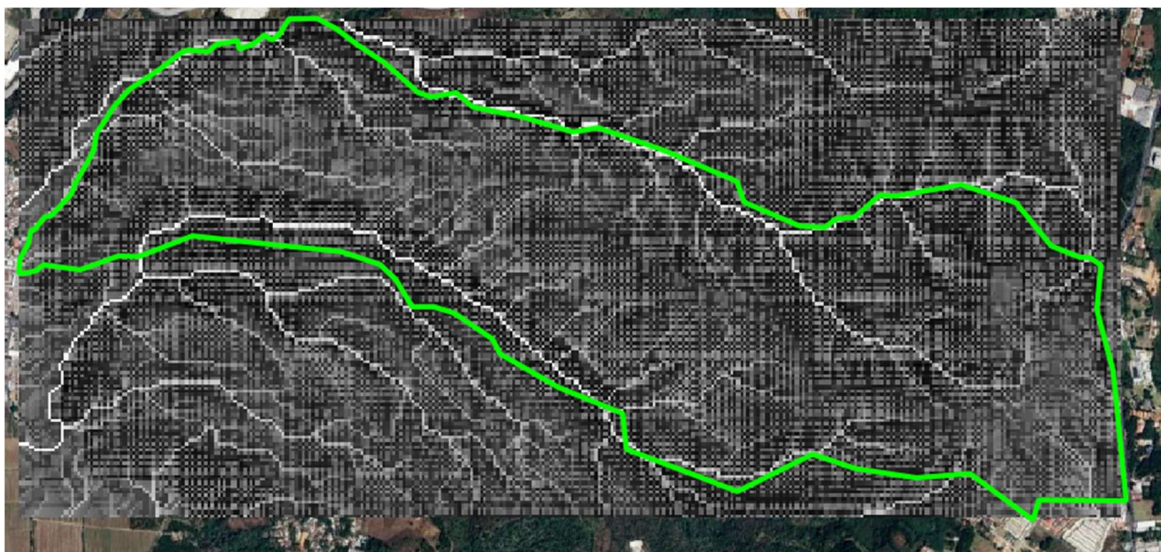
Figura 34: Parámetros watershed para drenaje natural



(Fuente: Elaboración propia)

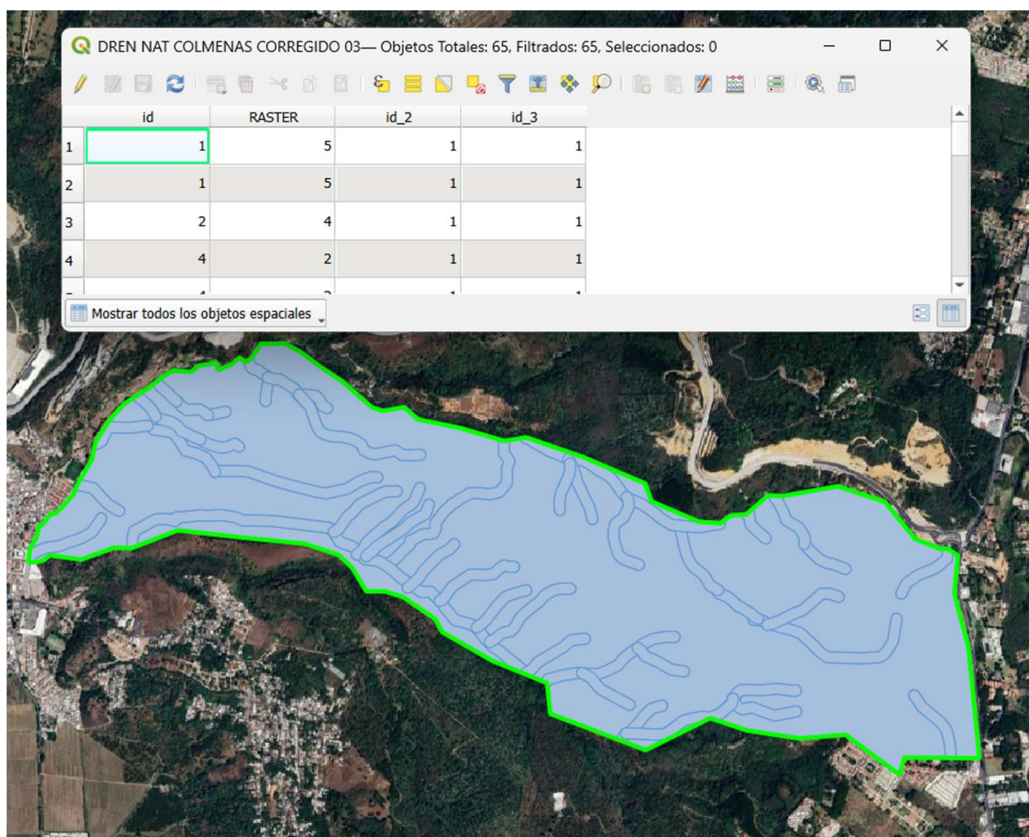
Con los resultados obtenidos mediante el análisis *watershed*, se procedió a la creación de un buffer alrededor de las zonas identificadas como áreas de drenaje. Este buffer tiene como objetivo destacar espacialmente las zonas de influencia directa del drenaje natural, facilitando su visualización y análisis en conjunto con las demás variables cartográficas. Posteriormente, esta nueva capa vectorial fue sometida a un proceso de rasterización, similar al aplicado con las capas anteriores, asignando valores numéricos específicos a la columna raster. La asignación de estos valores se fundamentó en la revisión y aplicación de criterios derivados de la investigación previa sobre vulnerabilidad a inundaciones.

Figura 35: Drenaje natural Colmenas, Villa Canales



(Fuente: Elaboración propia)

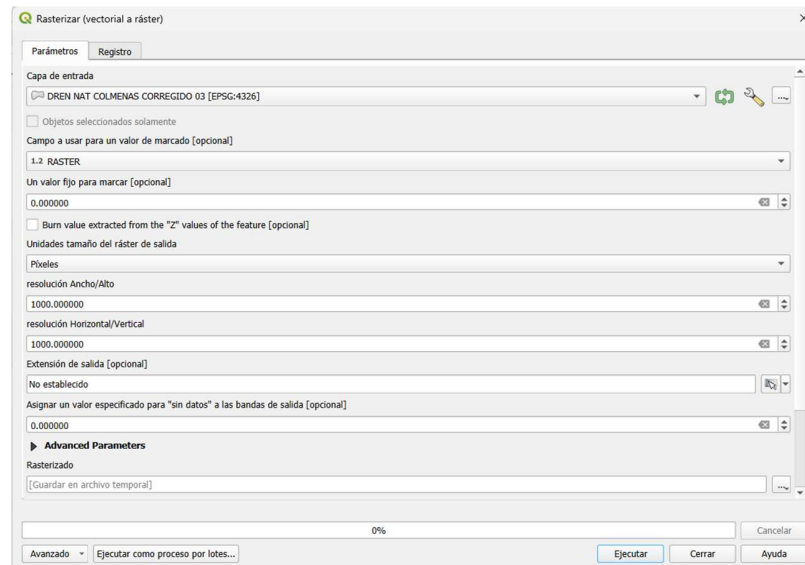
Figura 36: Drenaje natural poligonizado



(Fuente: Elaboración propia)

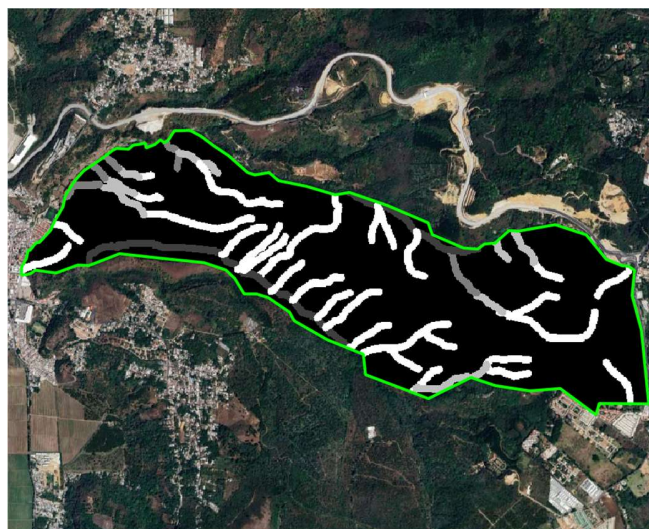
En particular, se consideró que las zonas colindantes con áreas pobladas como la aldea de Colmenas resultan especialmente vulnerables frente a eventos de precipitación intensa, debido al riesgo aumentado de desastres asociados al desbordamiento y escurrimiento no controlado. De esta manera, el valor asignado a la capa raster del drenaje natural refleja esta importancia, permitiendo su inclusión en el análisis integrado de vulnerabilidad. Esta metodología facilita la delimitación precisa de las zonas más expuestas y aporta información crítica para la planificación y prevención ante posibles eventos de inundación en el área de estudio.

Figura 37: Parámetros ráster de drenaje natural



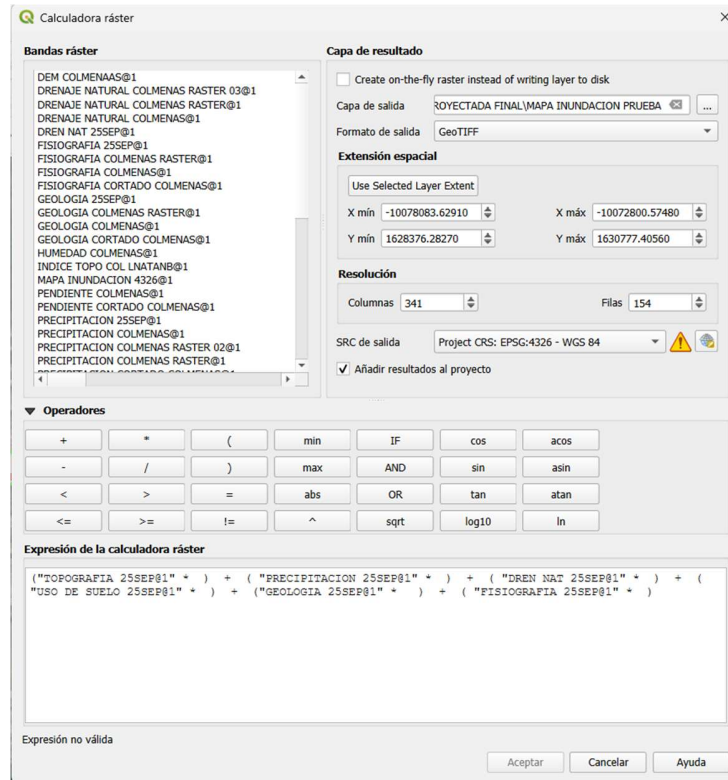
(Fuente: Elaboración propia)

Figura 38: Ráster de drenaje natural



(Fuente: Elaboración propia)

Figura 39: Ecuación aplicada para mapa de inundación



(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 6: Ecuación de análisis de vulnerabilidad a inundaciones

ECUACIÓN DE ANÁLISIS DE INUNDACIONES
$R = (0.15 * T) + (0.2 * DN) + (0.25 * P) + (0.1 * G) + (0.2 * US) + (0.1 * F)$
$T = Topografía$
$DN = Drenaje Natural$
$P = Precipitación$
$G = Geología$
$US = Uso de Suelo$
$F = Fisiografía$

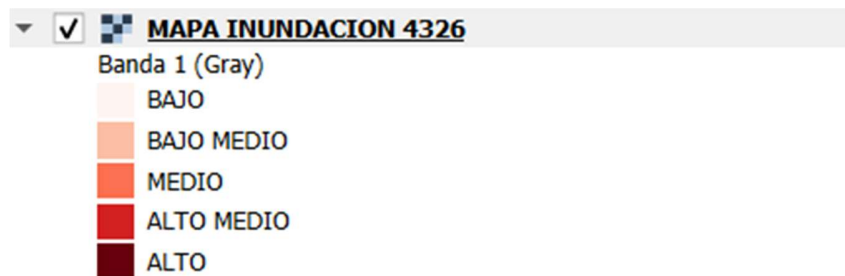
(Fuente: Elaboración propia)

Figura 40: Mapa de inundaciones de Colmenas, Villa Canales



(Fuente: Elaboración propia)

Figura 41: Simbología de mapa de análisis



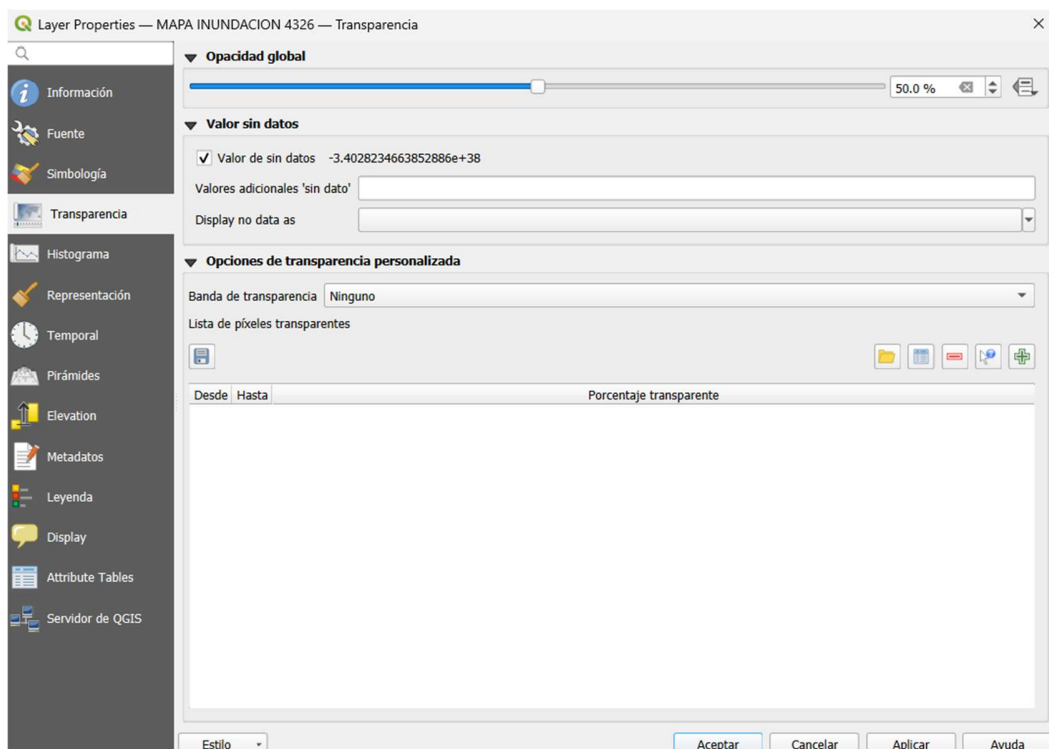
(Fuente: Elaboración propia)

VI. Discusión y análisis de resultados

Para facilitar el proceso de análisis e interpretación espacial de los resultados obtenidos en el mapa de vulnerabilidad, se aplicó una opacidad del 50% sobre la capa temática principal. Esta configuración permitió mejorar la visualización superpuesta de las diferentes capas y datos base, optimizando la percepción de las zonas con mayor grado de vulnerabilidad.

El análisis espacial para la identificación de áreas vulnerables a inundaciones en la aldea Colmenas, Villa Canales, se sustentó en la integración de múltiples variables ambientales y territoriales. La combinación de mapas temáticos de fisiografía, geología, uso de suelo, precipitación, topografía y drenaje natural permitió realizar una evaluación integral, puesto que cada capa aporta información relevante sobre los factores que influyen en la dinámica del agua superficial y la susceptibilidad a inundaciones.

Figura 42: Modificación visual a mapa de inundaciones



(Fuente: Elaboración propia)

Los mapas de geología presentan formaciones volcánicas compuestas por materiales como coladas de lava, tobas y depósitos laháricos, caracterizados por una baja capacidad de absorción de agua. Esto se traduce en un aumento de la escorrentía superficial y en una respuesta rápida a eventos de precipitación intensa, lo que incrementa la probabilidad de inundaciones repentinas y severas. Esta relación entre litología y respuesta hidrológica subraya la importancia de incorporar criterios geológicos en el diseño de modelos de riesgo.

Por otro lado, el análisis del uso de suelo complementa esta evaluación, evidenciando que las superficies impermeables o modificadas para agricultura intensiva contribuyen significativamente a la reducción de la infiltración y al aumento del flujo superficial. Por tanto, mejorar las prácticas de manejo del suelo y promover coberturas vegetales que aumenten la retención de agua son estrategias fundamentales para reducir la vulnerabilidad en estas áreas.

Los mapas de drenaje natural muestran que la red hidrográfica existente puede ser insuficiente para evacuar las lluvias en escenarios de precipitación elevada, especialmente cuando se presentan obstrucciones o intervenciones humanas no planificadas, como centros poblados y conexiones viales. La combinación del patrón dendrítico predominante y las características físicoquímicas del suelo y subsuelo genera áreas críticas de acumulación de agua.

Mediante este análisis espacial se logró identificar de manera clara y precisa que las áreas con niveles más elevados de vulnerabilidad se encuentran predominantemente concentradas en los centros poblados y en las principales vías de infraestructura vial. Este patrón espacial refleja la mayor exposición y sensibilidad de estas zonas debido a la densidad poblacional, la complejidad de la infraestructura y la alta dependencia de estas rutas para la movilidad y el desarrollo socioeconómico de la aldea. Dicha topografía favorece la formación de charcos y la saturación del terreno, especialmente en zonas urbanizadas o con uso de suelo agrícola intensivo, donde la impermeabilización del suelo es significativa. La urbanización y el manejo del suelo en estas áreas limitan la infiltración, por lo que el agua tiende a escurrir sobre la superficie, aumentando el volumen y la velocidad de la escorrentía. La identificación de estas áreas prioritarias para la mitigación y gestión del riesgo es fundamental para orientar acciones estratégicas de prevención de desastres y gestión territorial, considerando que la infraestructura vial principal actúa como un eje clave para la conectividad de Villa Canales y Carretera al Salvador.

Figura 43: Mapa de inundaciones 50% de opacidad



(Fuente: Elaboración propia)

Con base en el análisis detallado del mapa de inundaciones, se identifican claramente las áreas más vulnerables a eventos de inundación, caracterizadas por una mayor susceptibilidad a la acumulación y desbordamiento de aguas pluviales, las cuales ponen en riesgo tanto a la población como a la infraestructura existente. Estas zonas vulnerables requieren una intervención urgente y estratégica para mitigar el impacto de futuras crecidas y disminuir la vulnerabilidad socioambiental.

En este contexto analítico del mapa de vulnerabilidad se proponen medidas de adaptación basadas en la implementación de infraestructura verde, que representan una solución sostenible y eficiente para la gestión del riesgo hídrico. Además, estas medidas facilitan la reducción de la escorrentía superficial, disminuyen la velocidad de los flujos de agua y promueven la filtración y evapotranspiración, contribuyendo así a una menor incidencia de inundaciones.

VII. Conclusiones

- Se analizó los factores que incrementan la vulnerabilidad frente a inundaciones mediante álgebra de mapas, permitiendo integrar múltiples fuentes de información en un marco teórico y espacial.
- Se modeló la amenaza de inundaciones utilizando Quantum GIS, el cual incorporó capas geoespaciales representativas a las condiciones físicas y ambientales de la aldea, esto permitió generar un mapa temático que reflejan las dinámicas de peligro.
- Se sugirió propuestas de adaptación basadas en soluciones de infraestructura verde que contemplan la realidad social y ambiental de Colmenas tales como sistemas urbanos de drenaje sostenible, jardines de lluvia y la desconexión de canaletas y drenajes pluviales. Estas recomendaciones no solo contribuyen a mitigar la vulnerabilidad ante inundaciones, sino que promueven una visión integradora de desarrollo local que favorece el equilibrio entre el bienestar humano y la conservación ecológica.

VIII. Recomendaciones

Con base en el proceso de elaboración del mapa de vulnerabilidad se recomienda que las capas vectoriales utilizadas en el análisis deben estar completamente cerradas, es decir, sus polígonos deben terminar en vértices conectados que definan claramente el límite del área de interés. De esta forma, se asegura que los procesos de rasterización se realicen correctamente dentro del dominio espacial definido, evitando la generación de valores erróneos que podrían surgir si las geometrías sobresalen o quedan abiertas fuera del área de análisis.

Es importante evitar la presencia de vacíos o espacios sin información dentro de las capas vectoriales. Estos vacíos pueden causar que el proceso de conversión a raster presente valores indefinidos o infinitos en dichas zonas, lo que deterioraría la calidad y confiabilidad del modelo espacial. Por ello, se recomienda llevar a cabo una revisión minuciosa de las capas, empleando técnicas manuales o automatizadas para cerrar estos huecos y garantizar la integridad topológica de los datos.

Para obtener resultados representativos con la calculadora raster, se recomienda que todas las capas raster deben tener la misma extensión espacial y utilizar una resolución o tamaño de celda o píxel uniforme. La ausencia de estas condiciones genera discrepancias en la superposición de capas y afecta la exactitud de los cálculos, lo que impide que los resultados reflejen adecuadamente la realidad analizada. Por lo tanto, se recomienda estandarizar estas propiedades antes de realizar cualquier operación algebraica entre los datos. En casos donde alguna capa clave no se encuentre disponible en formato digital adecuado, se debe proceder a su elaboración con el máximo cuidado posible, utilizando fuentes confiables como imágenes satelitales o datos de campo. Se recomienda aprovechar las herramientas de geoprocetamiento disponibles en plataformas como Quantum GIS para facilitar la digitalización y corrección de estas capas, asegurando así que cumplan con los requisitos de precisión y validez espacial necesarios para el análisis, así como una validación teórica y espacial del modelo, mediante eventos históricos o modelos realizados.

Se sugiere realizar una investigación más profunda sobre el desarrollo y la viabilidad de cada aplicación de infraestructura verde propuesta en el estudio. Esto implica analizar aspectos técnicos, ambientales y sociales que impacten la factibilidad y eficacia de dichas aplicaciones en el contexto local, con el fin de fundamentar la elección de las soluciones más adecuadas y optimizar su implementación para lograr resultados sostenibles y ajustados a las condiciones específicas del área estudiada.

IX. Bibliografía

- Alonso, D. (2016). *Qué es y qué podemos hacer con GRASS GIS*. Obtenido de <https://mappinggis.com/2016/05/puedo-grass-gis-7/>
- ARCHILA, T. M. (2022). *DIAGNÓSTICO AMBIENTAL Y PLAN DE ACTIVIDADES DE GESTIÓN AMBIENTAL DESARROLLADAS EN AGROGENERADORA S.A, ALDEA JOCOTILLO, VILLA CANALES, GUATEMALA, 2022*. Obtenido de https://cunori.edu.gt/descargas/EPS_Thannia_Ramos_AgrogeneradoraSA_Guatemala.pdf
- Bárbara Arroyo, L. M. (2014). *datos ambientales del Lago de Amatitlán*. Obtenido de <https://www.asociaciontikal.com/simposio-28-ano-2014-2/024-del-preclasico-al-postclasico-datos-ambientales-del-lago-de-amatitlan-jon-c-lohse-karla-cardona-tom-williams-victoria-smith-jason-curtis-mark-brenner-y-molly-morgan-simposio-28-2014/>
- BibLus. (2025). *Diseño de un jardín de lluvia: guía técnica*. Obtenido de <https://biblus.accasoftware.com/es/disenio-de-un-jardin-de-lluvia/>
- CEG. (2021). *ESTIMACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A INUNDACIONES EN LA CUENCA INFERIOR DE RÍO NEGRO, ARGENTINA*. Bahía Blanca, Argentina.
- Choquehuanca, E. (s.f.). *Slideshare.net*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/slideshow/tipos-de-drenaje-116463246/116463246>
- ClimateData. (s.f.). *Data and graphs for weather & climate*. Obtenido de <https://en.climate-data.org/north-america/guatemala/guatemala/villa-canales-46125/>
- Documentation, Q. (2025). *Complementos de QGIS*. Obtenido de https://docs.qgis.org/3.40/es/docs/user_manual/plugins/plugins.html
- Documentation, Q. (2025). *Datos Vectoriales*. Obtenido de https://docs.qgis.org/3.40/es/docs/gentle_gis_introduction/vector_data.html
- Documentation, Q. (2025). *Integración GRASS SIG*. Obtenido de https://docs.qgis.org/3.40/es/docs/user_manual/grass_integration/grass_integration.html
- EcoFlow. (2022). *Causas de las inundaciones: una visión general completa*. Obtenido de <https://www.ecoflow.com/mx/blog/causes-of-floods>
- Erick Cajigal, A. L. (2020). *Metodología para el análisis de vulnerabilidad ante inundaciones. Un ejercicio emergente ante el cambio climático*. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-84212019000300543
- ESRI. (2021). *¿Qué son los datos ráster?* Obtenido de <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/manage-data/raster-and-images/what-is-raster-data.htm>
- Feline Schön, M. A. (2022). *Cambios de uso del suelo e inundaciones en espacios urbanos en Uruguay: tres casos de estudio*. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-215X2022000200414
- Ferrovial. (2025). *¿Qué es infraestructura verde?* Obtenido de <https://www.ferrovial.com/es/recursos/infraestructura-verde/>

- Geoinnova. (2016). *¿Qué es el álgebra de mapas?* Obtenido de <https://geoinnova.org/blog-territorio/que-es-el-algebra-de-mapas/>
- geologyscience. (2013). *Rocas ígneas intrusivas*. Obtenido de https://es.geologyscience.com/rocks/tuff/#google_vignette
- Green, J. (2023). *La guía definitiva: Partes de un sistema de canalones*. Obtenido de <https://totallycleanservices.com/parts-of-a-gutter-system/>
- Insivumeh. (2025). *MARCO TECTONICO PARA GUATEMALA*. Obtenido de <https://insivumeh.gob.gt/?p=1887>
- JICA. (2011). *Mapeo de Amenaza*. Guatemala.
- Losada, F. G. (2024). *Los 15 plugins imprescindibles para QGIS que necesitas conocer*. Obtenido de <https://geoinnova.org/blog-territorio/los-15-plugins-imprescindibles-para-qgis/>
- Mapcarta. (s.f.). *Mapcarta*. Obtenido de <https://mapcarta.com/es/19541836>
- mem.gob. (2014). *INFORME PARCIAL DEL RESULTADO DE LA MEDICIÓN EFECTUADA EN LA FINCA EL SITIO, ALDEA LOS LLANOS, VILLA CANALES, GUATEMALA CORRESPONDIENTES A LOS AÑOS 2011, 2012 Y 2013*. Obtenido de <https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2012/04/EL-SITIO-ALDEA-LOS-LLANOS-VILLA-CANALES-GUATEMALA.pdf>
- MerginMaps. (2025). *QGIS*. Obtenido de <https://es.merginmaps.com/glossary/qgis>
- Mexicano, S. G. (2017). *Depósitos piroclásticos y rocas piroclásticas*. Obtenido de <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Riesgos-geologicos/Depositos-piroclasticos-y-rocas.html>
- MINIVIVIENDA. (2022). *GUÍA METODOLÓGICA PARA LA FORMULACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE*. Obtenido de https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/suds_v.0.0.pdf
- MITECO. (2019). *Guía Divulgativa de la Infraestructura Verde Municipal*. Obtenido de <https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/recursos/pag-web/infraestructura-verde-municipal.html>
- MITECO. (2019). *INUNDACIONES Y CAMBIO CLIMÁTICO*. Madrid, España.
- Morales, A. (2013). *Los 20 formatos GIS vectoriales más populares*. Obtenido de <https://mappinggis.com/2013/11/los-formatos-gis-vectoriales-mas-populares/>
- Morales, M. Á. (2015). *Diagnóstico agroecológico de la microcuenca periurbana Río Platanitos, Guatemala*. Obtenido de https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0379-39822015000200169
- Nespolo, A. P. (2007). *Gestión de Inundaciones Urbanas*. Obtenido de https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/gestion-de-inundaciones/gestion-de-inundaciones-urbanas-esp.pdf
- Olaya, V. (2024). *Álgebra de mapas*. Obtenido de https://volaya.github.io/libro-sig/chapters/Algebra_de_mapas.html
- Ornelas, C. P. (2017). *JARDINES DE LLUVIA UNA ESTRATEGIA PAISAJÍSTICA PARA APROVECHAR EL AGUA PLUVIAL DE LAS CIUDADES CASO DE ESTUDIO: AZCAPOTZALCO*. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/232206898.pdf>
- Palacios, H. R. (2019). *Propiedades físicas del suelo*.

- PNUD. (2014). *METODOLOGÍAS PARA LA DETERMINACIÓN DE RIESGOS DE DESASTRES A NIVEL TERRITORIAL*. Cuba.
- Portland.gov. (2025). *Cómo manejar la lluvia en su propiedad*. Obtenido de <https://www.portland.gov/ppd/infrastructure/managing-rain-your-property/downspout-disconnect>
- ProJar. (2022). *Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SuDS) vs sistemas convencionales*. Obtenido de <https://projar.es/sistemas-urbanos-de-drenaje-sostenible-suds-vs-sistemas-convencionales/>
- RAMOS, G. A. (2004). *ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA DEL USO DEL SUELO ACTUAL EN VILLA CANALES Y PROPUESTA DE CRITERIOS DE DESARROLLO URBANO RURAL CASO ESPECÍFICO ALDEA COLMENAS*. Obtenido de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/02/02_1259.pdf
- Recio, S. (2025). *JARDINES DE LLUVIA: UNA SOLUCIÓN SOSTENIBLE PARA EVITAR INUNDACIONES EN LAS CIUDADES*. Obtenido de <https://amja.es/jardines-de-lluvia-una-solucion-sostenible-para-evitar-inundaciones-en-las-ciudades/>
- Rotoplas. (2021). *El papel de la infraestructura verde en la gestión del agua urbana*. Obtenido de <https://rotoplascentroamerica.com/el-papel-de-la-infraestructura-verde-en-la-gestion-del-agua-urbana/>
- Sánchez, I. C. (2015). *CRECIMIENTO URBANO Y CONTAMINACIÓN DEL LAGO DE AMATITLÁN*. Guatemala. Obtenido de <https://digi.usac.edu.gt/bvirtual/informes/puiah/INF-2015-03.pdf>
- SÁNCHEZ, J. R. (2020). *PRODUCCIÓN COMUNAL DE JOCOTE DE CORONA CON CALIDAD DE EXPORTACIÓN, EN ALDEA COLMENAS, MUNICIPIO DE VILLA CANALES, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA*. Obtenido de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/03/03_6579.pdf
- scep.gob. (2023). *Carta de Navegación municipal*. Obtenido de <https://scep.gob.gt/wp-content/uploads/2023/11/Villa-Canales.pdf>
- SEGEPLAN. (2015). *MONOGRAFÍA DEL MUNICIPIO DE VILLA CANALES, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA, REPÚBLICA DE GUATEMALA*. Obtenido de https://sistemas.segeplan.gob.gt/share/SCHESSINIP/PLANOS_DISENOS/202768-XVLORBGTD.pdf
- SEGEPLAN. (2018). Obtenido de CONSTRUCCION POZO(S) CASERIO OJO DE AGUA, ALDEA COLMENAS, VILLA CANALES:
https://snip.segeplan.gob.gt/reports/rwservlet?rpp_gen&report=snrpsg%24boleta2020&prm_proyecto=25663&prm_ejercicio=2018
- Torres, E. R. (2023). *GEORREFERENCIACIÓN DE POZOS Y ÁREAS DE COBERTURA, ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE DOTACIÓN Y ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD FINANCIERA DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE EN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE VILLA CANALES, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA*. Obtenido de <https://mgranciudadelsur.org/wp-content/uploads/2023/07/Estudio-Analisis-cap-dotacion-y-sost-financiera-Agua-Potable-VC.pdf>
- Ubuntu. (2015). *Documentación para QGIS 2.6*. Obtenido de <https://ubuntu.qgis.org/qgisdata/QGIS-Documentation-2.6/live/html/es/docs/index.html>
- URL. (2025). *Capas geográficas*. Obtenido de <https://sie.url.edu.gt/capas-geograficas/>
- Wikipedia. (2025). *Villa Canales*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Villa_Canales