

**Caracterización del riesgo de la vereda Aguazul del municipio de
Dosquebradas, Risaralda, Colombia.**
**Risk characterization of the Aguazul village of the Dosquebradas
municipality, Risaralda, Colombia.**

Laura Carolina Álvarez Herrera ¹, Andrey Felipe Escobar Gámez ², Alejandro Álzate
Buitrago ³

Resumen

La vereda Aguazul está ubicada en el noroccidente del municipio de Dosquebradas, Risaralda, más específicamente en la serranía del alto del nudo. Hace parte de la subcuenca de la quebrada Agua Azul, que en conjunto con la quebrada Manizales, forma la quebrada Dosquebradas, recorriendo el municipio desde el nororiente hasta el suroccidente; esta a su vez es una red hídrica que tributa al río Otún. Limita al norte con la vereda Alto de la Cruz, al oriente con la comuna La Hermosa, ambas en jurisdicción del municipio de Santa Rosa de Cabal, al suroriente con la vereda Boquerón, al occidente con la vereda La Rivera y al sur con la vereda el Rodeo, estas últimas en jurisdicción del municipio de Dosquebradas. La vereda Aguazul tiene un área aproximada de 385.85 ha (IGAC, 2014) y tienen una altitud de entre 2.150 y 1.562 msnm. Esta zona del municipio está compuesta en su mayoría por pequeñas parcelas de núcleos familiares que basan su economía en actividades agrícolas como el cultivo de frijol, granadilla, maíz, mora, plátano, hortalizas y café, y en menor proporción en trabajos dentro del sector urbano del municipio de Dosquebradas y Pereira. El paisaje se distingue por el verde de sus montañas y su ubicación estratégica permite divisar una panorámica del Municipio de Dosquebradas y parte del Municipio de Pereira. Según información del censo agropecuario (DANE, 2014) la vereda aguazul contaba con un total de 98 viviendas, 99 hogares y un total de 308 personas que residen en la misma. Este sector hace parte del suelo rural según el plan de ordenamiento territorial (POT, 2018) del municipio de Dosquebradas y por la misma razón el presente informe pretende brindar una caracterización del riesgo de la vereda Aguazul, concretamente en la vulnerabilidad estructural (susceptibilidad física de las viviendas y edificaciones de la zona), la identificación de los sitios geotécnicos críticos (estabilidad de taludes, actividad erosiva y medidas de mitigación del riesgo que se han ejecutado), la caracterización de las vías internas (especificaciones técnicas y patologías de los tramos pavimentados y destapados) y por último la caracterización de los drenajes de agua (afectaciones que pueda tener la zona por estos mismos) con el fin de que la dirección de gestión del riesgo de Dosquebradas (DIGER) complemente la caracterización de los factores de amenaza, exposición/vulnerabilidad en los escenarios de riesgo de esta zona.

¹ Estudiante del Programa de Ing. Civil, Universidad Libre Seccional Pereira. laurac-almazh@unilibre.edu.co

² Estudiante del Programa de Ing. Civil, Universidad Libre Seccional Pereira. andreyf-escobarg@unilibre.edu.co

³ Docente del Programa de Ing. Civil, Universidad Libre Seccional Pereira. aalzate@unilibrepereira.edu.co

Palabras Clave: Zonificación del riesgo, evaluación del riesgo, vulnerabilidad sísmica, susceptibilidad de deslizamiento, caracterización vial.

Abstract

The Aguazul village is in the northwest of the Dosquebradas municipality, Risaralda, more specifically in the highlands of the knot. It is part of the sub-basin of the Agua Azul creek, which together with the Manizales creek, forms the Dosquebradas creek, running through the municipality from the northeast to the southwest; this in turn is a water network that feeds into the Otún River. It limits to the north with the Alto de la Cruz village, to the east with the La Hermosa commune, both in the jurisdiction of the municipality of Santa Rosa de Cabal, to the southeast with the Boquerón village, to the west with the La Rivera village and to the south with the village El Rodeo, the latter in the jurisdiction of the Dosquebradas municipality. The Aguazul village has an approximate area of 385.85 ha (IGAC, 2014) and has an altitude of between 2,150 and 1,562 meters above sea level. This area of the municipality is composed mostly of small plots of family nuclei that base their economy on agricultural activities such as the cultivation of beans, passion fruit, corn, blackberries, bananas, vegetables, and coffee, and to a lesser extent on jobs within the urban sector from the municipality of Dosquebradas and Pereira. The landscape is distinguished by the green of its mountains and its strategic location allows a panoramic view of the Municipality of Dosquebradas and part of the Municipality of Pereira. According to information from the agricultural census (DANE, 2014) the Aguazul village had a total of 98 dwellings, 99 households and a total of 308 people residing in it. This sector is part of the rural land according to the territorial management plan (POT, 2018) of the Dosquebradas municipality and for the same reason this report aims to provide a risk characterization of the Aguazul village, specifically in terms of structural vulnerability (physical susceptibility of houses and buildings in the area), identification of critical geotechnical sites (slope stability, erosive activity and risk mitigation measures that have been implemented), characterization of internal roads (technical specifications and pathologies of the paved sections and uncovered) and finally the characterization of the water drains (effects that the area may have due to them) so that the Dosquebradas risk management department (DIGER) complements the characterization of the threat factors, exposure / vulnerability in risk scenarios in this area.

Key Words: Risk zoning, risk assessment, seismic vulnerability, landslide susceptibility, road characterization.

1. Introducción

La vereda Aguazul ubicada en el municipio de Dosquebradas, Risaralda en la región centro-occidente de Colombia, es una zona catalogada por la norma sismo resistente colombiana (NSR-10) como una zona de amenaza sísmica alta, además se caracteriza por formar parte de la cordillera de Los Andes, específicamente en la zona conocida como “La Serranía del Alto del nudo” la cual presenta procesos gravitacionales de movimientos en masa inducidos por las características morfológicas de la zona y las altas precipitaciones. “La evaluación de la resiliencia del sistema de infraestructura urbana que se enfrenta a perturbaciones depende de una evaluación integral del riesgo” (Ongkowijoyo & Doloi, 2018, p.1). De manera que el análisis holístico de los riesgos se hace imperativo en esta zona para lograr una visión más completa de las posibles amenazas que influyen en la seguridad de la vereda.

En Colombia el 35% de los 1102 municipios se encuentran en zonas de amenaza sísmica alta por lo que la vulnerabilidad que presentan las estructuras en gran parte de las ciudades ante eventos sísmicos es muy alta; los desastres naturales identificados en mapas de susceptibilidad, sugieren que la evaluación, la gestión y mitigación del riesgo aparte de que ayudan a ingenieros, planificadores y entes gubernamentales a evaluar la vulnerabilidad, se tienen que mejorar y deben ser el pilar en los programas de desarrollo sostenible y planeación urbana siendo una responsabilidad fundamental de las autoridades locales. (Biswas et al., 2018; Frolova et al., 2017; Lyu et al., 2020; Zaalishvili et al., 2018). Por lo que se hace fundamental la caracterización y cuantificación de la vulnerabilidad estructural ante el riesgo sísmico que amenaza una población determinada, en este caso la vereda Aguazul. Además de acuerdo con Shah et al. (2018), “La rápida urbanización conlleva a un riesgo mayor a eventos sísmicos” (p. 1). El propósito principal de una evaluación de riesgo de terremotos es evaluar la pérdida potencial de edificios en regiones propensas a terremotos y proporcionar suficiente información para emplear estrategias de mitigación adecuadas ya que las obras de construcción seguirán adelante y es vital tener información sobre el riesgo sísmico. (Fournier d’Albe, 1982; Mulyani et al., 2015).

La evaluación de la vulnerabilidad sísmica de forma visual es una detección rápida y eficaz ya que requiere menos experticia y tiempo para el análisis de cada estructura, la cual se utiliza para detectar, inventariar y clasificar los edificios más vulnerables a sufrir daños en un sismo o terremoto en una región específica definiendo rápidamente la vulnerabilidad sin analizar la estructura y además no implican un alto nivel de información de la estructura, siendo una metodología utilizada para la evaluación de estructuras de toda índole a nivel internacional. (Albayrak et al., 2015; Karima et al., 2020; Lazzali et al., 2020; Perrone et al., 2015). Aspectos como la configuración estructural, los materiales, la cimentación, la calidad de construcción, el sistema estructural empleado y patologías estructurales son características fundamentales para el análisis sismo resistente de las edificaciones a evaluar. En ese sentido, la evaluación global de la vulnerabilidad que presentan las edificaciones en un lugar determinado es elemental a fin de formar una visión integral para la caracterización y zonificación de los riesgos.

Los deslizamientos de tierra causan daños a la infraestructura y afectan a un gran número de recursos e incluso puede causar la pérdida de vidas cuando ocurren de manera catastrófica (Kaur et al., 2017). La identificación de factores premonitorios antes de la falla final de deslizamientos de tierra existentes es de gran importancia en la prevención de desastres y la reducción de riesgos, así que implementar un método para el análisis de susceptibilidad a la inestabilidad de taludes que sea de aplicación universal y se acople a la zona a estudiar es base para la caracterización del riesgo, para esta área el inventario de los taludes y laderas más significativos es una herramienta

valiosa, los inventarios de deslizamientos facilitan el estudio de la magnitud-frecuencia para determinar el riesgo en las áreas de este tipo de eventos ayudando a comprender la conducta de los mismos teniendo en cuenta factores interiores y exteriores, es decir las características propias del talud, como su pendiente, su morfometría, el tipo de suelo presente, la elevación, el patrón del uso del suelo y su patrón de drenajes, por otro lado, factores exteriores como las precipitaciones y sismicidad. (Dahal & Dahal, 2017; Ghosh et al., 2020; F. Wang et al., 2018).

En zonas de altas precipitaciones existe una gran susceptibilidad a las inundaciones y las lluvias están directamente relacionadas con los deslizamientos de tierra. “Las principales causas de deslizamientos de tierra en la cuenca son lluvias torrenciales, geología frágil, terremotos y deforestación” (Pal et al., 2016, p.1). Afectando la salud en general, generando pérdidas de vidas (Rufat et al., 2015). Para la priorización de las subcuencas en la gestión de los recursos hídricos, el análisis morfométrico utiliza ciertos parámetros morfométricos de forma muy cruciales, por lo que el manejo de las aguas superficiales es fundamental para la evaluación del riesgo por deslizamientos, inundaciones y deterioro de la infraestructura vial ya que, el aumento de la escorrentía puede crear un riesgo de inundación significativo incluso con lluvias moderadas, y se espera que la situación empeore a medida que el clima cambiante desencadena eventos de lluvia más extremos (Brini & Alexakis, 2021; Rubinato et al., 2019; Soetanto et al., 2017).

El proceso del agua en taludes, entendido como la conjunción de los procesos de precipitación, infiltración, flujo y escorrentía brinda el principal mecanismo físico de variación (espacial y temporal) de los estados de esfuerzos en el suelo, por lo que influye en la ocurrencia de deslizamientos aparte de las características del terreno en cuestión, condiciones geológicas y parámetros morfométricos para asignar la susceptibilidad relativa de las cuencas hidrográficas a las crecidas repentinas, siendo necesario delimitar todas las zonas susceptibles a las inundaciones (Karmokar & De, 2020; Lu & Godt, 2011; Periyasamy et al., 2018). La aplicación de información de riesgo en el proceso de toma de decisiones reduce el riesgo de inundaciones futuras para minimizar las fatalidades de estos desastres relacionadas a la hidrología, ya que permite la integración de opciones de mitigación de inundaciones durante la planificación del desarrollo, vulnerabilidad de la población y asignar fondos suficientes para el socorro y la rehabilitación. (Lahai et al., 2021; Weerasinghe et al., 2018).

Por otro lado, se ha demostrado como el cambio de la cubierta del terreno, el uso de la tierra, la topografía, la ineficiencia del sistema de alcantarillado y el crecimiento económico influyen en los daños causados por las inundaciones, ya que un crecimiento poblacional genera mayores pérdidas ya que implica una alteración en el ecosistema ocasionando más susceptibilidad a daños, sin embargo, estos podrían disminuir si se introduce medidas estructurales y no estructurales para la prevención de inundaciones. (Bae & Chang, 2019; Khalaj et al., 2021).

La infraestructura hidráulica comprende obras que ayudan a mejorar la calidad de vida de los ciudadanos mediante la canalización y tratamiento de sus aguas contribuyendo al mejoramiento de sus condiciones ambientales (Augusto et al., 2015). Las obras de drenaje son un componente vital en la infraestructura vial donde se ha de tener en cuenta que un eventual fallo en este tipo de elementos provoca igualmente el fallo del servicio global en la infraestructura (Campos et al., 2017). Así mismo el manejo de las aguas por escorrentía es necesario para las vías que no están pavimentadas ya que se genera erosión dado que se crean unas importantes vías de flujo de agua durante tempestades fuertes (C. Wang et al., 2021). Igualmente las redes de transporte se ven gravemente afectadas por los deslizamientos de tierra por lo que la priorización de las obras de mantenimiento es necesaria para preservar la eficiencia y funcionalidad de la infraestructura vial (Nappo et al., 2021).

2. Materiales y métodos

2.1. Vulnerabilidad Estructural

La vulnerabilidad de las edificaciones depende de diferentes factores involucrados durante el proceso de construcción como durante su uso y ocupación, una mayor vulnerabilidad aumenta el riesgo de las edificaciones a sufrir daños, e incluso colapsar, ante la ocurrencia de eventos extremos como fenómenos de remoción en masa, inundación o sismos de mediana y gran magnitud. La falta de planificación urbana, los procesos de autoconstrucción, el desconocimiento de las normas de construcción, el elevado crecimiento demográfico y los desarrollos subnormales en áreas propensas a la acción de fenómenos inducidos aumentan los índices de vulnerabilidad de las edificaciones.

Variables implicadas como el sistema constructivo, el tipo de materiales, año de construcción, topografía, el entorno, los daños presentes, entre otras, permiten evaluar la vulnerabilidad física de las viviendas. Con base en estos factores, se determinará el grado de vulnerabilidad que se define como la susceptibilidad de la vivienda a sufrir daños estructurales en caso de un evento determinado.

De acuerdo con la información anterior, el proceso para la toma de datos consta de los siguientes pasos:

- 1) Ingreso a la edificación si es posible, en el caso que no se tomaran los datos desde afuera de la misma.
- 2) Se diligencian datos iniciales como fecha de la evaluación, dirección, nombre del propietario y edad de la construcción, para esto se recurre a información proporcionada por la persona residente o encargada en la edificación.
- 3) Recorrido por la edificación y diagnóstico visual por parte del evaluador.
- 4) Toma de fotografías como vistas de la fachada y lateral de la edificación.
- 5) Se realizan preguntas a los habitantes del predio según el instructivo del formulario.
- 6) Diligenciar la evaluación en el formulario de acuerdo con la metodología y el diagnóstico realizado en el paso 3.

Para la toma de adquisición y registro de información en campo se utiliza el formato de Vulnerabilidad Estructural, el cual consta de las siguientes partes:

- 1) Identificador del formulario, fecha de toma de información, nombre de los encuestadores y barrio y/o vereda donde se realiza la caracterización.
- 2) Datos de la vivienda (propietario u ocupante, coordenadas, dirección, área construida, área del predio, estado de la vivienda, actividad desarrollada en la edificación, tipo de vivienda, niveles de la vivienda, número de sótanos, número de habitantes etc.)
- 3) Topografía (ubicación topográfica de la vivienda; plano, pendiente u otro).
- 4) Descripción del sistema estructural (tipo de estructura, sistema de piso, sistema de cubierta, sistema de entrepiso y cimentación).
- 5) Material de columnas y vigas.
- 6) Edad de la construcción.

- 7) Configuración geométrica (irregularidades en planta o en altura).
- 8) Prestación de servicios públicos en la zona (empresa privada o empresa pública)
- 9) Comentarios u observaciones.
- 10) Registro fotográfico de la fachada y lateral de la vivienda.

De acuerdo con lo anterior a continuación se mencionan los parámetros representativos a evaluar:

- 1) **Niveles de la vivienda.** Número de pisos sobre el nivel del suelo; El ático, el sótano y el entrepiso se aceptan como piso normal.
- 2) **Sistema estructural.**
Tipo de estructura: Pórtico en acero, pórtico en concreto, columnas y losa (sin vigas), uso riostras, estructura en madera.
Tipo de muros: Mampostería confinada, bloque de concreto, mampostería con refuerzo interior (dovelas), muro en ladrillo macizo, mampostería simple, muro en ladrillo farol, muro prefabricado o muro en concreto.
Sistema de piso: Losa maciza, madera o terreno natural
Sistema de cubierta: Losa maciza, asbesto cemento, zinc, teja de barro, PVC.
Sistema de entrepiso: Entramado en madera, losa maciza, losa aligerada, Steel deck.
Cimentación: Zapatas Aisladas, madera Zapatas corridas, pilotes / caissons, cimentación en ciclópeo, sub-duración, losa de cimentación, desconocida.
- 3) **Material de columnas y vigas.** El tipo de materiales constituyentes de estos elementos estructurales.
- 4) **Configuración geométrica.** Irregularidades en planta (Forma en L, C) y en altura (Piso débil, columna corta)
- 5) **Edad de la construcción.** El tiempo durante el cual ha existido un edificio.

2.2. Caracterización de la Vía

El objetivo con esta caracterización de las vías de la vereda Aguazul utilizando variables técnicas es determinar el tipo de intervenciones pendientes al mejoramiento de la transitabilidad, rehabilitación o mantenimiento de las vías de esta zona.

Para la toma de información de campo se deberá prever y motivar el uso de tecnologías innovadoras disponibles que permitan la visualización y la ubicación geográfica satelital de la carretera. De acuerdo con lo anterior se obtuvo de manera satelital el recorrido de la única vía de la Vereda Aguazul, la cual cuenta con una longitud de tramo aproximadamente de 3.80 km y una altura que varía entre 1627.24 msnm en su punto de inicio y 1723.21 msnm en su punto final:

Figura 1

Recorrido Satelital de la vía de la Vereda Aguazul.



La metodología utilizada para el levantamiento de la caracterización de las vías en campo corresponde a poder obtener la siguiente información con el uso del formato de caracterización vial:

- **Tipo de terreno:** En cada uno de los puntos correspondientes al origen, a cada elemento o estructura que sea levantado, o a la toma del ancho de la vía y al destino, se dejará consignado el tipo de terreno, de acuerdo con la tabla 1.

Tabla 1

Tipo de terreno.

TIPO DE TERRENO	DESCRIPCIÓN
Plano I	Terreno donde las vías presentan pendientes transversales a la vía menores o iguales al 5% y pendientes longitudinales normalmente menores del 3%
Ondulado II	Terreno donde las vías presentan pendientes transversales a la vía entre el 5% y el 12% y longitudinales típicamente del 3% al 6%.
Montañoso III	Terreno donde las vías presentan pendientes transversales a la vía entre el 12% y el 40% y longitudinales entre el 6% y el 8%.
Escarpado IV	Terreno donde las vías presentan pendientes transversales a la vía frecuentemente mayores del 40% y longitudinales mayores al 8%.

Nota. Tipo de terreno. [Fotografía], por Guía práctica para elaboración de inventarios de vías terciarias, 2016, USAID Colombia

- **Inventario de alcantarillas:** El estado se calificará de la siguiente manera:
 - Buena: Si no presenta ningún daño visible en las estructuras de entrada, o de salida, o en las tuberías y está funcionando.

- Regular: Si presenta algún daño en las estructuras de entrada o de salida, pero no ha perdido su funcionalidad.
 - Malo: Si presenta daños graves en las estructuras de entrada, o de salida, o en las tuberías que afecte su funcionalidad y no capte o transporte las aguas.
- **Inventario de Box Coulvert:** El estado se calificará de la siguiente manera:
 - Buena: Si no presenta ningún daño visible en la estructura y está funcionando.
 - Regular: Si presenta algún daño en la estructura, pero no presenta desplazamientos o deformaciones y no ha perdido su funcionalidad.
 - Malo: Si presenta daños graves en la estructura que afecte su funcionalidad y no capte o transporte las aguas.
- **Inventario puentes:** Respecto al puente se identificará su longitud total con cinta métrica, medido en el eje; el número de luces y el material de la estructura. El estado se calificará de la siguiente manera:
 - Bueno: Si no presenta ningún daño visible en la infraestructura, o socavación en las bases o aletas. Si no presenta daños en la estructura.
 - Regular: Si presenta algún daño o grieta que no afecte la estabilidad de la estructura y que no presente ningún tipo de desplazamiento.
 - Malo: Si presenta daños graves en la estructura, con desplazamientos que haga temer por su estabilidad o su adecuada operación.
- **Inventario de cunetas:** Respecto a las cunetas se identificará su ubicación a la derecha o a la izquierda del eje en el sentido del desplazamiento, el material de que esta y su longitud medida con cinta métrica. El estado se calificará de la siguiente manera:
 - Bueno: Si es cuneta revestida no debe presentar ningún daño visible en la estructura. Si es cuneta en tierra no debe presentar pérdida de la sección transversal ni obstrucciones.
 - Regular: Si presenta algún daño o grieta que no afecte la evacuación de las aguas; o si no es revestida no presente deformaciones u obstáculos que afecten la evacuación de las aguas.
 - Malo: Si presenta daños graves o deformaciones, o derrumbes, o vegetación que no permita la evacuación de las aguas superficiales
- **Inventario de muros de contención:** Respecto al muro de contención se identificará su ubicación a la derecha o a la izquierda del eje, la altura promedio, el tipo de material y su longitud medida con cinta métrica. El estado se calificará de la siguiente manera:
 - Bueno: Si no presenta ningún daño visible en la estructura.
 - Regular: Si presenta algún daño o grieta que no afecte la estabilidad de la estructura y que no presente ningún tipo de desplazamiento.
 - Malo: Si presenta daños graves en la estructura, con desplazamientos que haga temer por su estabilidad.
- **Identificación visual de puntos críticos y/o zonas inestables:** Se denomina sitio crítico, aquel tramo de vía cuya movilidad está restringida parcial o totalmente por un derrumbe, por una pérdida de banca, por una pérdida de estructura u otro fenómeno que haya generado dicha afectación.

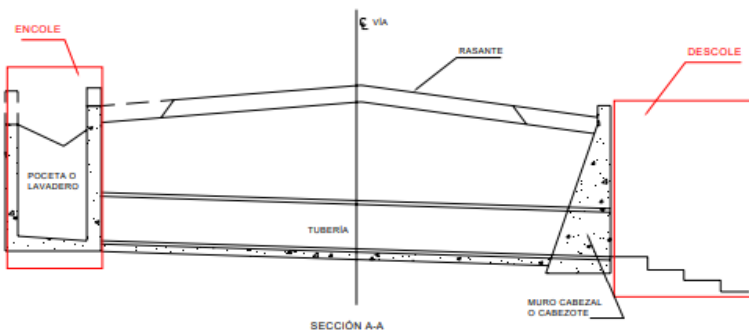
2.3. Caracterización de los pasos de Agua (Secciones Transversales)

Los sistemas de drenaje transversal son aquellos elementos que transportan agua cruzando el eje de la carretera. Por lo general, el cruce se realiza de manera perpendicular al eje y transportan el aporte de la cuenca que se encuentra aguas arriba de la vía en dirección aguas abajo. De acuerdo con lo anterior, es importante mencionar las partes principales de una alcantarilla con poceta:

- **Encole:** Estructura diseñada para reducir la velocidad y disipar la energía de los flujos de agua en la entrada de las obras de drenaje, y así entregar de manera segura el agua a la tubería de la alcantarilla.
- **Estructura de entrada:** Se refiere a todas las obras construidas con el fin de conducir el flujo hacia la tubería y de estabilizar el terraplén de la vía y/o el terreno natural tales como: aletas, solado, muro cabezal, etc.
- **Poceta o lavadero:** Estructura que recibe el agua recolectada por las diferentes estructuras de drenaje longitudinal, especialmente cunetas. Se utiliza como encole y en algunas ocasiones puede encontrarse en el descole acompañada de otras estructuras de conducción de agua.
- **Muro Cabezal:** Tiene como finalidad contener el material que sirve como estructura de la vía, así como de protección de la tubería.
- **Aletas:** Se utilizan para contener los taludes que conforman el terraplén de la vía y/o el terreno natural.
- **Tubería:** Puede ser de concreto o láminas metálicas, especialmente de acero. Tiene como fin garantizar la conducción del flujo de un lado al otro de la vía, evitando infiltraciones que puedan afectar los materiales que componen la estructura de pavimento. Los extremos de los tubos y el diseño de las juntas deben garantizar un encaje adecuado entre secciones, de manera que formen un conducto continuo, libre de irregularidades en la línea de flujo.
- **Estructura de salida:** Se refiere a todas las obras construidas con el fin de entregar el flujo hacia el descole o sitio de vertimiento de las aguas y de estabilizar las zonas aledañas. Se debe garantizar una estructura adecuada de tal forma que no se presente socavación del terreno donde se encuentre cimentada la alcantarilla. Generalmente está constituida por los mismos elementos de la estructura de entrada.

Figura 2

Partes principales de una alcantarilla con poceta.

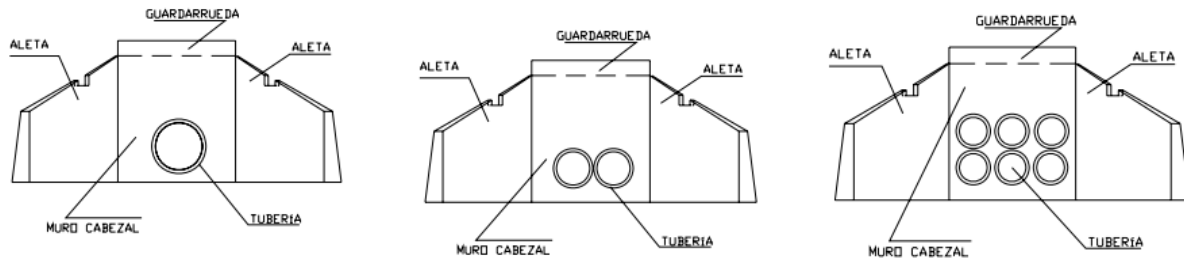


Nota. Adaptado de Partes principales de una alcantarilla con poceta [Fotografía], por Manual para la inspección visual de estructuras de drenaje – INVIAS, 2006

Las alcantarillas pueden ser sencillas, dobles o múltiples (tres o más tubos). Esto dependiendo del número de ductos que la componen:

Figura 3

Alcantarilla simple, doble y múltiple.



Nota. Alcantarilla simple, doble y múltiple [Fotografía], por Manual para la inspección visual de estructuras de drenaje – INVIAS, 2006.

Para la caracterización de los diferentes pasos de agua encontrados en el corredor vial de la Vereda Aguazul se diligenció el formato de inspección visual de drenajes (obras transversales), el cual contempla los siguientes campos:

- **Tipo de alcantarilla:** Cuadrada, circular o abovedada.
- **Tipo de entrega:** Abierta, controlada u otra.
- **Características de la tubería:** Diámetro, área, longitud, profundidad de encole y descole. Todas estas características en unidades de metros.
- **Fracturas o desprendimientos:** En encole y descole. Este tipo de daño afectan tanto la estabilidad como la funcionalidad de la estructura. Durante la inspección se deberá registrarse la longitud, el ancho en metros y la profundidad de la grieta o fractura en metros o en milímetros.
- **Grietas o fracturas en canales disipadores:** Este daño deberá registrarse indicando el área afectada en metros cuadrados, en caso de daño parcial o total de la estructura; se deberá hacer la aclaración de que porcentaje de la estructura está involucrada. En caso de presentarse grietas o fracturamientos muy pequeños (afectando menos de 0.10m de longitud) se registrará además de la longitud, el ancho y la profundidad de esta en metros.
- **Exposición del acero de refuerzo en muro cabezal, aletas, poceta y tubería:** En encole y descole. La exposición del acero de refuerzo genera corrosión que reduce la vida útil de la estructura, hasta llegar a generar colapso de esta. Deberá registrarse en el formato el elemento donde se presenta la exposición y el área afectada en metros cuadrados.
- **Socavación del concreto y suelo de fundación en aletas, solado y/o muro cabezal:** En encole y descole. Los efectos de la socavación sobre las estructuras son bien conocidos, provocando en la mayoría de los casos el colapso. En el formato deberá registrarse el elemento de la alcantarilla que presenta la socavación, así como el área de afectación en metros cuadrados. Además, se deberá verificar si existe socavación que este removiendo el suelo de cimentación de los diferentes componentes de la alcantarilla,
- **Mantenimiento inadecuado:** Deben registrarse en el formato problemas de mantenimiento tales como invasión de maleza, colmatación parcial o total de las estructuras de entrega y salida de la alcantarilla, del encole, descole y de la tubería. También se

registrarán los efectos antrópicos tales como acumulación de materiales de construcción, basuras, golpes, etc. que afectan el buen funcionamiento de la estructura.

- **Mal estado de encoles, descoles y tuberías de los pasos agua:**





- Menor: No presenta ninguna obstrucción en el paso de agua, pero se observa poco material debido al tipo de entrega como materia orgánica, hojas.
- Parcial: Presentación de algún material, objeto o basura que obstruye parcialmente el flujo del agua.
- Considerable: Obstrucción de la mitad de la sección de cada una de las partes de la alcantarilla, en donde el agua puede fluir pero no acorde a lo esperado.
- Crítico: Obstrucción total de las partes de la alcantarilla donde se impide el paso del agua, debido a un mantenimiento inadecuado.

Además, se registra fotografías del encole y descole (panorámica y detalle) de cada uno de los diferentes pasos de agua.

Ficha de la caracterización de los pasos de agua del tramo vial

Figura 4

Ficha ejemplo de la caracterización de los pasos de agua del tramo vial.

FECHA	27/09/2021			Formulario N°	001		
HORA	8:50 a. m.			COORDENADAS			
NOMBRE DE LA VÍA	VEREDA AGUAZUL			X	427606.87		
CODIGO DE LA VÍA				Y	538549.39		
ANCHO DE LA VÍA							
TIPO DE ALCANTARILLA				TIPO DE ENTREGA			
SIMPLE DOBLE MULTIPLE				BUEN ESTADO MAL ESTADO			
CUADRADA	X			ABIERTO	X		
CIRCULAR				CONTROLADA			
ABOVEDADA				CUAL			
CARACTERÍSTICAS DE LA TUBERÍA							
DIAMETRO (m)	ÁREA (m2)	LONGITUD (m)	PROFUNDIDAD ENCOLE (m)	PROFUNDIDAD DESCOLE (m)			
0,25		6	2,00	2,00			
FRACTURAS O DESPRENDIMIENTOS							
SI		NO		SI		NO	
		X				X	
ENCOLE				DESCOLE			
LONGITUD(m)		ANCHO(m)		LONGITUD(m)		ANCHO(m)	
ALETAS		PROFUNDIDAD(m)		PROFUNDIDAD(m)			
MURO CABEZAL							
MUROS DE POCETA							
LAVADERO							
GRIETAS O FRACTURAS EN CANALES DISIPADORES							
SI		NO		TIPO			
		X		ENROCADO DE FONDO DISIPADOR			
DAÑO PARCIAL		LONGITUD (m)		ANCHO (m)		% AFECTADO	
DAÑO MENOR							
EXPOSICIÓN DE ACERO DE REFUERZO EN MURO CABEZAL, ALETAS, POCETA Y TUBERÍA							
SI		NO		OBSERVACIONES			
		X					
ENCOLE		DESCOLE					
MURO CABEZAL							
ALETAS							
POCETA							
TUBERÍA							
CONSIDERABLE		PARCIAL		MENOR			
SOCAVACIÓN DEL CONCRETO Y SUELO DE FUNDACIÓN EN ALETAS, SOLADO Y/O MURO CABEZAL							
SI		NO		SI		NO	
		X				X	
SOCAVACIÓN ENCOLE				SOCAVACIÓN DESCOLE			
PARCIAL		MENOR		PARCIAL		MENOR	
ALETAS				ALETAS			
MURO CABEZAL				MURO CABEZAL			
SOLADO				SOLADO			
MANTENIMIENTO INADECUADO							
SI		NO					
		X					
TIPO		ENTRADA ENCOLE		TUBERÍA		SALIDA DESCOLE	
INVASION DE MALEZA		X					
ACUMULACION DE ESCOMBROS							
ACUMULACION DE BASURAS							
ACUMULACION DE TIERRA							
OTRO:							
ENCOLE		TUBERÍA		DESCOLE			
CRITICO		CRITICO		CRITICO			
CONSIDERABLE		CONSIDERABLE		CONSIDERABLE			
PARCIAL		PARCIAL		PARCIAL			
MENOR		MENOR		MENOR			
ENCOLE							
FOTOGRAFÍA - PANORAMICA				FOTOGRAFÍA - DETALLE			
							
DESCOLE							
FOTOGRAFÍA - PANORAMICA				FOTOGRAFÍA - DETALLE			
							

Fuente: Trabajo investigativo

3. Resultados y discusión

3.1. Caracterización de la Vulnerabilidad Estructural de las viviendas

De la información obtenida de las 63 viviendas registradas mediante las fichas técnicas y teniendo en cuenta las variables de vulnerabilidad estructural, se obtuvieron los siguientes resultados.

3.1.1. Número de pisos

Tabla 2

Número de pisos.

Niveles	N° de Viviendas
1 Nivel	24
2 Niveles	30
3 Niveles	9

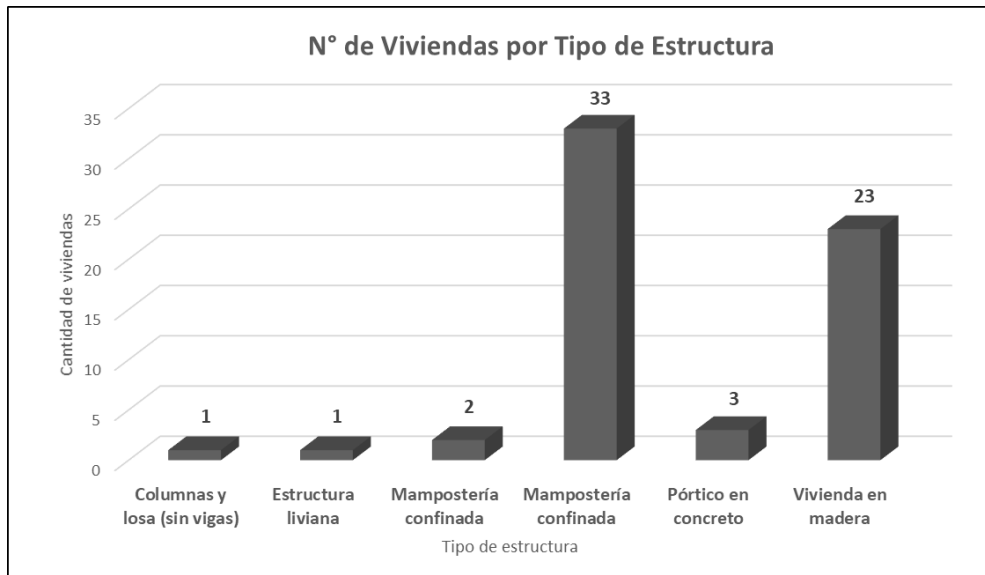
Fuente: Trabajo investigativo

Las viviendas con 2 niveles son las predominantes en las edificaciones de la vereda Aguazul con un 48% del total de las viviendas y se observa que no es muy común las viviendas de 3 niveles o más, ya que representan solamente un 14%.

3.1.2. Sistema estructural

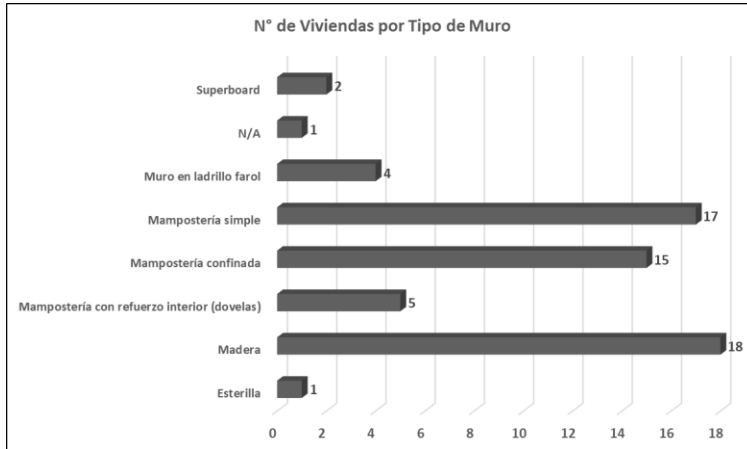
Figura 5

Número de viviendas por tipo de estructura.



Fuente: Trabajo investigativo

Figura 6
Número de viviendas por tipo de muros.



Fuente: Trabajo investigativo

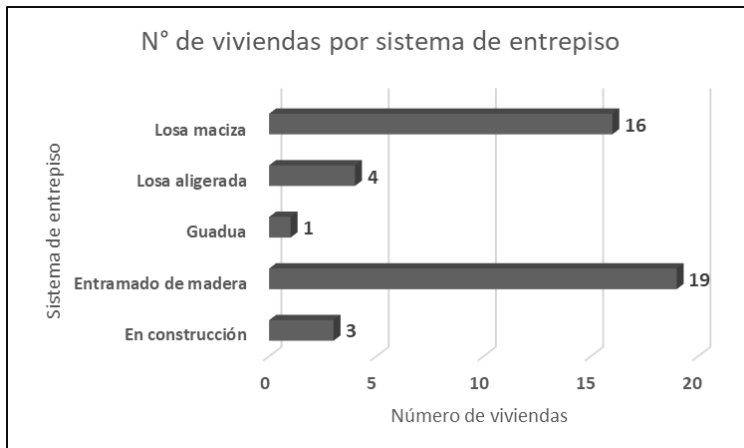
El tipo de estructura más utilizado para las viviendas de la vereda Aguazul es muros en mampostería, seguido de la vivienda en madera como se observa en la figura 5 con una representación del 52% y 37% respectivamente, por otro lado de acuerdo con la figura 6 el tipo de muro más usado es de madera y mampostería simple.

Tabla 3
Sistema de pisos de las viviendas.

Sistema de piso	N° de Viviendas
Losa maciza	52
Madera	11

Fuente: Trabajo investigativo

Figura 7
Número de viviendas por sistema de entrepiso.

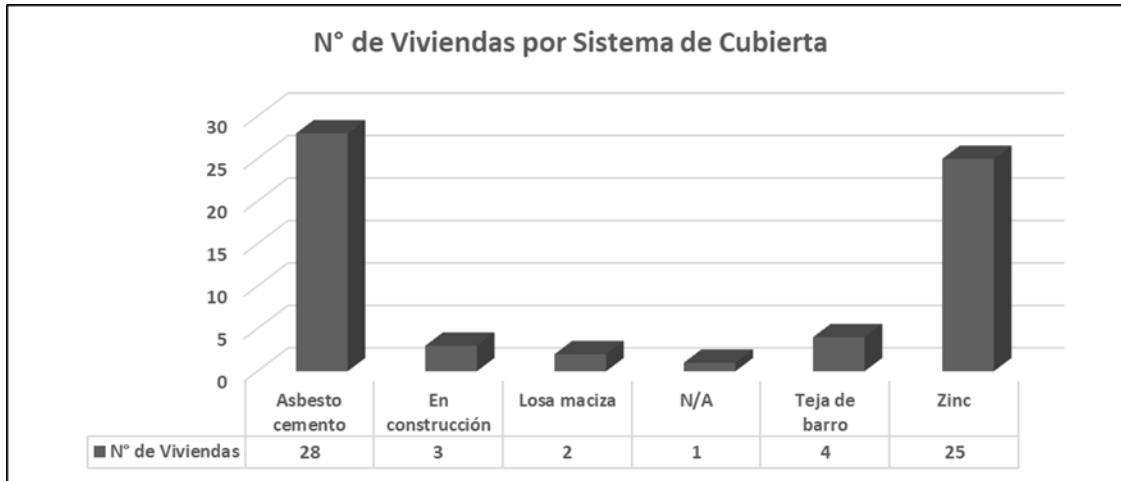


Fuente: Trabajo investigativo

Los únicos dos sistemas de piso utilizados en las viviendas teniendo en cuenta los datos de la tabla 3 son la losa maciza y la madera, siendo utilizada en un 83% la losa maciza, mientras que para el sistema de entrepiso como se muestra en la figura 7 predomina el entramado de madera con un 44% seguido de la losa maciza con un 37%.

Figura 8

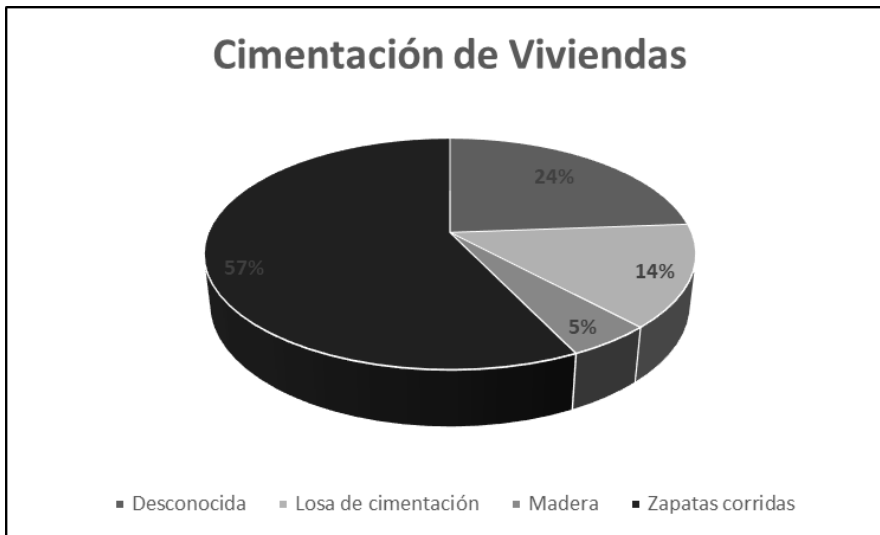
Número de viviendas por sistema de cubierta.



Fuente: Trabajo investigativo

Figura 9

Cimentación de las viviendas.



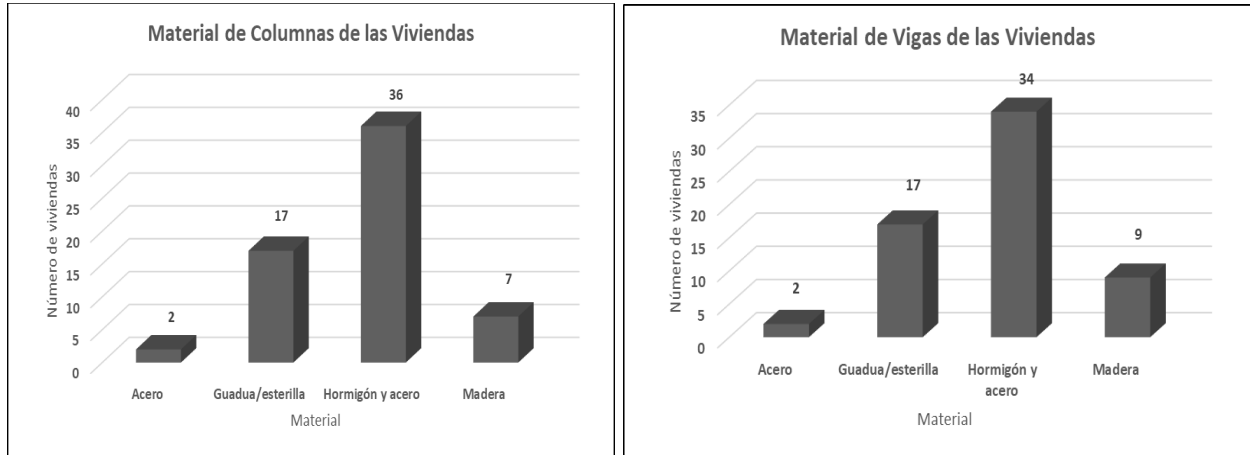
Fuente: Trabajo investigativo

Los resultados obtenidos del sistema de cubierta más usado en las viviendas es la utilización de tejas de asbesto cemento y zinc esto según la figura 8, en términos de cimentación se obtuvo que las zapatas corridas son las más usadas con un 57% y un 24% de las cimentaciones de viviendas analizadas son desconocidas esto conforme a la figura 9.

3.1.3. Material de columnas y de vigas

Figura 10

Material de las columnas y vigas de las viviendas.



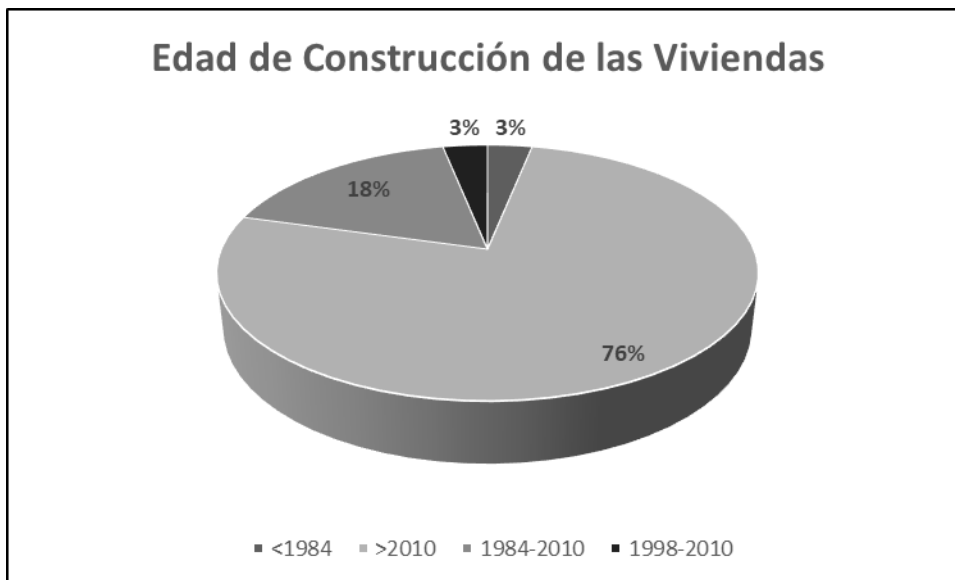
Fuente: Trabajo investigativo

Se obtuvo que los materiales predominantes en columnas son el hormigón y acero con un 58%, seguido de la guadua con un 27% y que el material de las vigas son el hormigón y acero, y guadua con un 55% y 27% respectivamente.

3.1.4. Edad de construcción de las viviendas

Figura 11

Edad de la construcción de las viviendas.

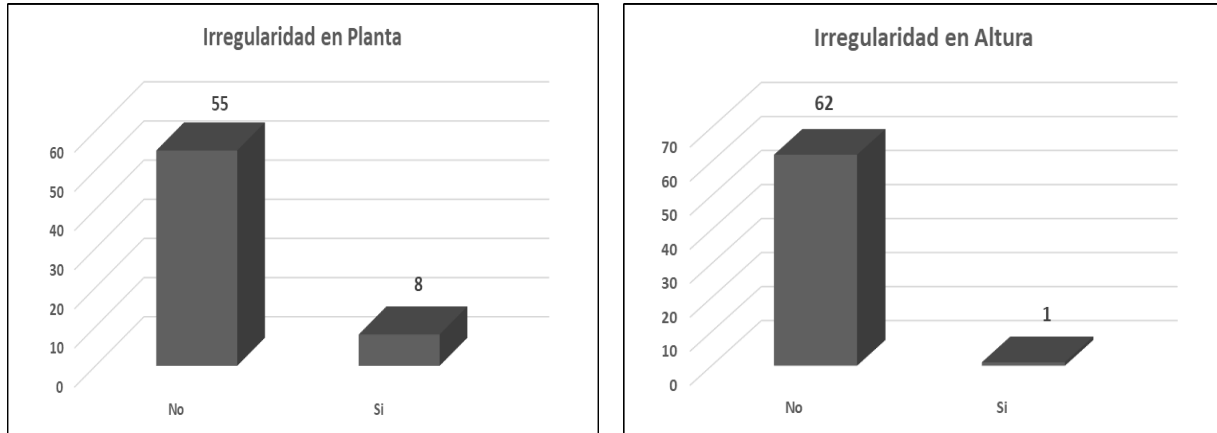


Fuente: Trabajo investigativo

3.1.5. Configuración geométrica de las estructuras

Figura 12

Irregularidades en planta y en altura de las viviendas.



Fuente: Trabajo investigativo

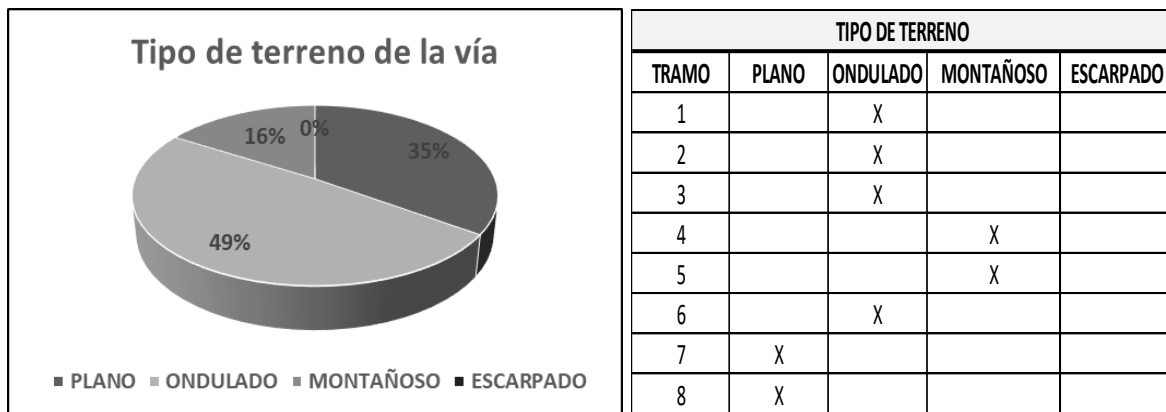
Como se presenta en la figura 12, el número de viviendas con irregularidad en planta es considerablemente menor que las viviendas que no presentan este tipo de irregularidad y se tiene que solo 1 edificación presenta irregularidad en altura, por lo que las irregularidades por configuración geométrica en las edificaciones de la vereda Aguazul no afectan su vulnerabilidad.

3.2. Caracterización vial

3.2.1. Tipo de terreno

Figura 13

Terrenos de la vía.

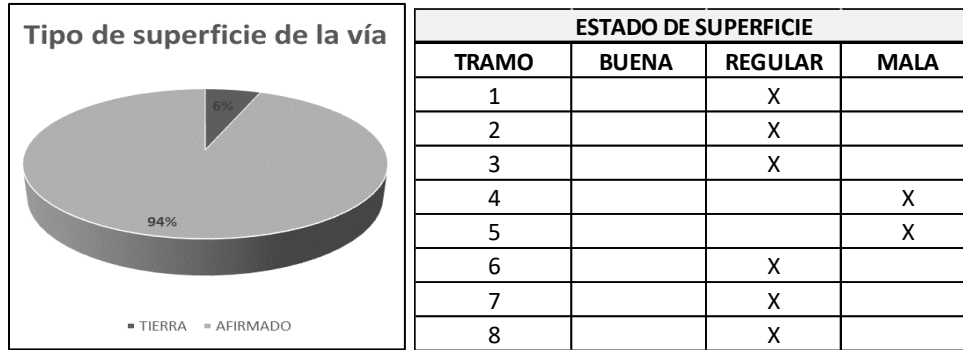


Fuente: Trabajo investigativo

De acuerdo con la figura 13 el tipo de terreno que predomina a lo largo de todo el tramo vial de la vereda Aguazul corresponde a un tipo de terreno ondulado (pendiente del 3% al 6%), lo cual es un condicionante de los fenómenos de remoción en masa que afectan tanto la vía como la infraestructura de las viviendas.

3.2.2. Tipo y estado de superficie

Figura 14
Superficies de la vía.

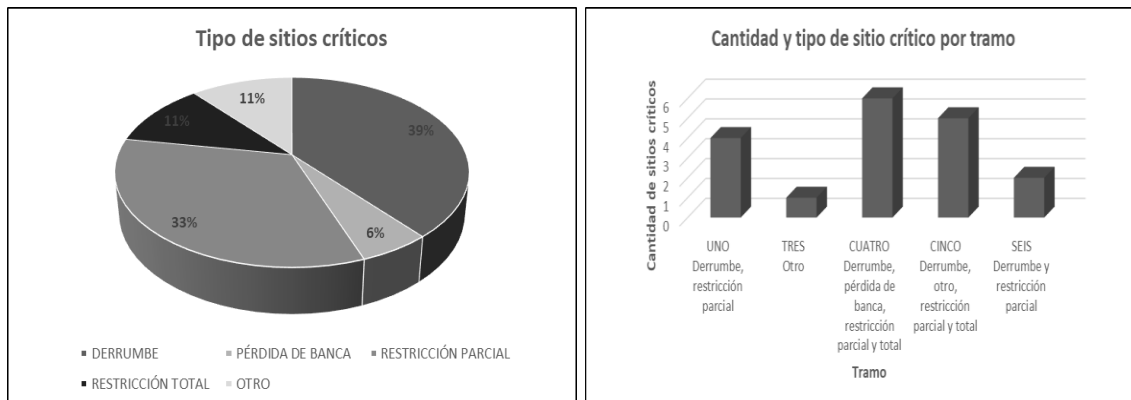


Fuente: Trabajo investigativo

A partir de la figura 14 se determina que el tipo de superficie principal de la vía es el afirmado por lo que se puede establecer que no hay una estructura vial bien definida para la vereda y que el estado de esta superficie es predominantemente regular ya que cuenta con muchos baches y erosión en el terreno.

3.2.3. Sitios críticos

Figura 15
Sitios críticos.



Fuente: Trabajo investigativo

El tipo de sitio crítico más representativo a lo largo de la vía son los derrumbes, los cuales obstruyen de manera parcial la sección de la vía provocando interrupciones constantes en la

movilidad de los habitantes de la vereda. Por otro lado los tramos más afectados por sitios críticos son el cuatro y el cinco, esto de acuerdo con la figura 15.

3.2.4. Muros de contención

Tabla 4

Muros de contención.

MURO CONTENCIÓN				
TRAMO	CANTIDAD	ESTADO		
		BUENO	REGULAR	MALO
2	1	X		
6	1		X	
7	1	X		

Fuente: Trabajo investigativo

Como se puede observar en la tabla 4, a lo largo del tramo vial hay solo tres estructuras de contención, teniendo en cuenta el tipo de terreno y la cantidad de sitios críticos principalmente de deslizamientos de tierra se puede deducir que estos muros no suplen el requerimiento de la zona.

3.2.5. Puentes

Tabla 5

Puentes.

PUENTES		
CANTIDAD	LONGITUD (m)	ESTADO
1	10.5	MALO

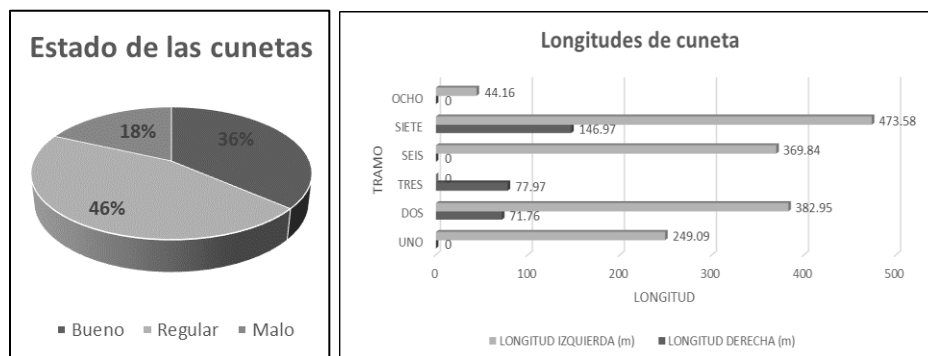
Fuente: Trabajo investigativo

El único puente existente en la vereda se encuentra en un mal estado, ya que presenta socavación en sus cimientos y una grieta importante en su estribo izquierdo.

3.2.6. Cunetas

Figura 16

Estado y longitud de las cunetas.



Fuente: Trabajo investigativo

Al analizar la figura 16 se encuentra que el estado general de las cunetas es mayormente regular ya que en algunos tramos se presentan obstrucciones por maleza y basuras que no permiten su buen funcionamiento para conducir el agua aguas abajo, de acuerdo con la figura 16 se tiene que el tramo con mejor conducción a las obras de drenaje transversales es el tramo 7 ya que tiene la mayor longitud de cunetas tanto en el lado izquierdo como en el derecho de la vía. Así mismo la longitud de las cunetas del lado izquierdo respecto a la longitud total de la vía tiene una representación del 40% de la misma, y las cunetas del lado derecho representan solamente un 8% de la longitud total de la vía.

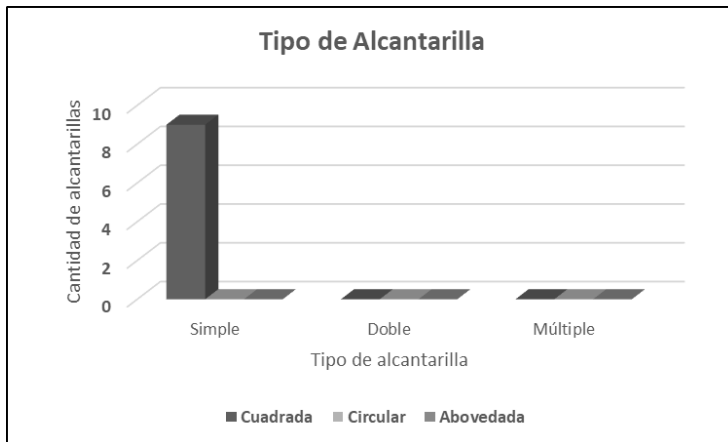
3.3. Caracterización de los pasos de agua del tramo vial

De acuerdo con los 9 pasos de agua transversales caracterizados en el tramo vial de 3.76 km de la vereda Aguazul se obtuvieron los siguientes resultados teniendo en cuenta el tipo de alcantarilla, tipo de entrega y estado, exposición de acero de refuerzo, mantenimiento y mantenimiento inadecuado de la alcantarilla y mal estado de encoles, descoles y tuberías.

3.3.1. Tipo de alcantarilla

Figura 17

Tipos de alcantarilla.



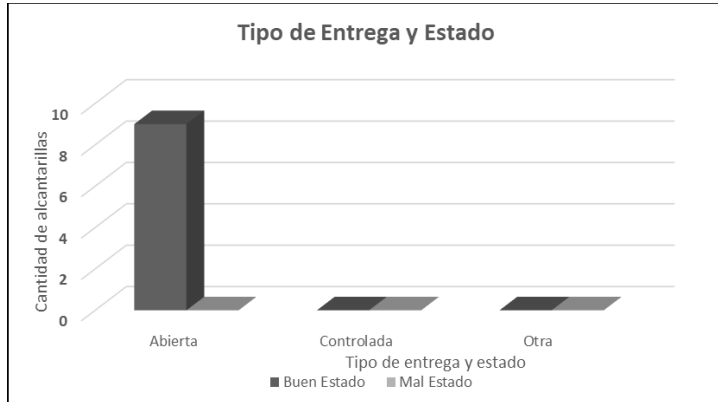
Fuente: Trabajo investigativo

El único tipo de alcantarilla que se presenta en las obras de drenaje de la vereda Aguazul es la cuadrada simple.

3.3.2. Tipo de entrega y estado

Figura 18

Tipos de entrega y estado.



Fuente: Trabajo investigativo

La estructura de entrega para todos los pasos de agua es de carácter abierto lo que implica que la conducción del agua no es cubierta y tampoco controlada.

3.3.3. Pasos de agua con exposición de acero de refuerzo

Tabla 6

Alcantarillas con exposición de acero de refuerzo.

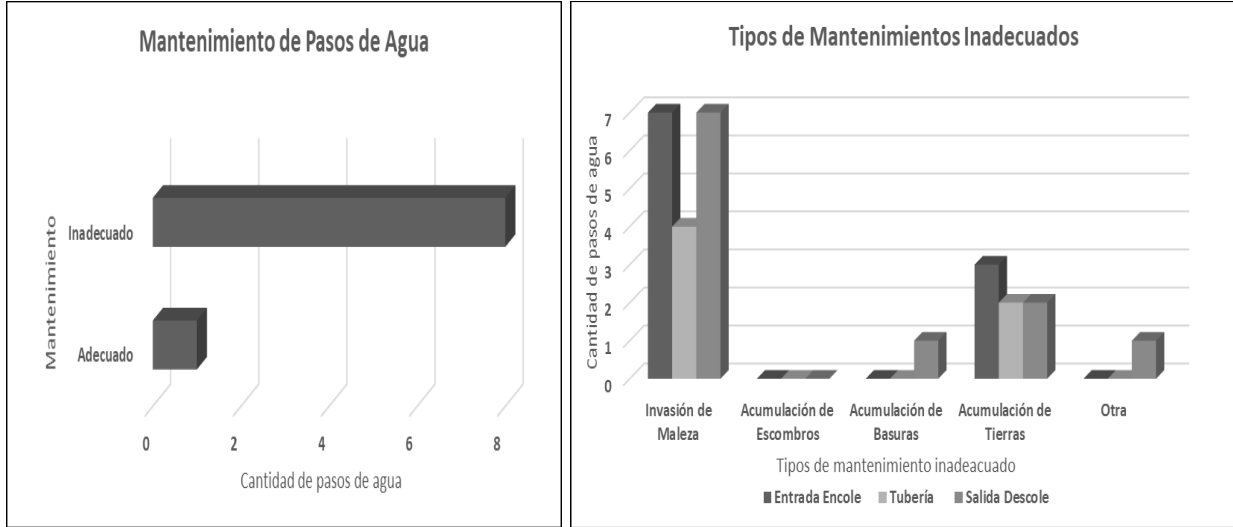
PASOS DE AGUA CON EXPOSICIÓN DE ACERO DE REFUERZO	
Si	No
0	9

Fuente: Trabajo investigativo

Se obtuvo que ninguno de los pasos de agua presenta exposición de refuerza lo que se traduce en una mayor vida útil en encole y descole.

3.3.4. Mantenimiento adecuado e inadecuado de los pasos de agua

Figura 19
Mantenimiento de pasos de agua.

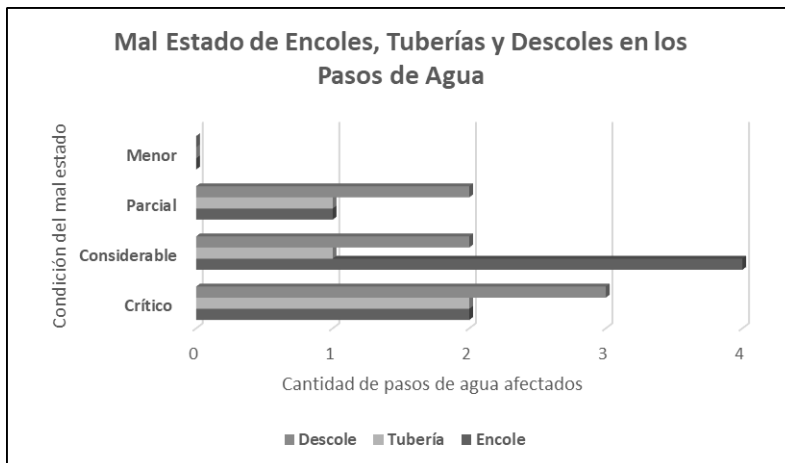


Fuente: Trabajo investigativo

De acuerdo con las figura 19 se observa que predomina en los pasos de agua un mantenimiento inadecuado en el que mayormente se presenta invasión de maleza en el encole y el descole con una representación del 64% seguido de la invasión de maleza en la tubería con una representación del 36%, también se puede determinar que debido a este mantenimiento inadecuado se genera acumulación de tierras ya que nadie se encarga de realizar la limpieza de las alcantarillas, provocando un mal funcionamiento al impedir el paso de agua.

3.3.5. Mal estado de encoles, descoles y tuberías de los pasos agua.

Figura 20
Mal estado de encoles, tuberías y descoles en los pasos de agua.



Fuente: Trabajo investigativo

Se puede contemplar que el encole presenta un mal estado principalmente de tipo considerable, esto debido a que debido al mal mantenimiento esta parte de la estructura se obstruye de forma tal que el agua no fluye de forma adecuada en la entrada de la alcantarilla. También se observa que el descole y la tubería presentan un mal estado primordialmente de tipo crítico ya que se encontró una obstrucción casi total en el trayecto de la tubería y salida de la estructura del paso del agua por escombros, basuras y maleza.

4. Conclusiones

En la caracterización de la vulnerabilidad estructural de las viviendas se obtuvo que la madera es uno de los principales materiales usados en las viviendas de la vereda Aguazul tanto para el sistema estructural como para losas de entrepiso y muros, su módulo de elasticidad incide sustancialmente sobre la deformación de los elementos resistentes y sus posibilidades de pandeo por lo que probablemente con el tiempo no supla las necesidades de servicio.

En lo considerado para el sistema estructural, el tipo de estructura predominante en las viviendas de la vereda Aguazul es la mampostería confinada seguido de la estructura en madera, en el que el sistema de entrepiso más usado es el entramado de madera con un 83% del total de las viviendas, la cimentación de las viviendas en un 57% son zapatas corridas sin embargo se tiene que el 24% de las viviendas tienen cimentación desconocida.

Los materiales usados en columnas y vigas son en su mayor parte de hormigón y acero, lo que corresponde al tipo de estructura predominante en las viviendas, sin embargo la guadua es el segundo material más común para estos elementos estructurales en la vereda.

Las viviendas analizadas fueron construidas en un 76% después del 2010, lo que implicaría que teóricamente debieron ser construidas bajo los reglamentos técnicos de la NSR-10, también se tiene que el 18% de las viviendas fueron construidas entre 1984 y 2010.

Se encontró que las viviendas de la vereda no presentan irregularidades significativas en planta ni en altura, por lo que no es una característica que influya en su vulnerabilidad.

En cuanto a la caracterización vial de la vereda, se concluye que el tipo de terreno de la vía si bien es en su mayor parte ondulado y plano con un 49% y un 35% del total de la longitud respectivamente, hay tramos de la vía que son montañosos y en estos se presentaron mayormente sitios críticos de fenómenos de remoción en masa y restricciones en la vía parciales y totales.

El tipo de superficie de la vía es en afirmado un 94% y su estado es en gran parte regular y el tramo 4 y 5 en mal estado, donde coincide con que son los tramos con más sitios críticos en toda la vía de tipo derrumbe, pérdida de banca y restricciones parciales y totales, en general el tipo de sitio crítico más representativo en la vía es el derrumbe con un 39%, seguido de la restricción parcial de la vía con un 33% causados por los mismos deslizamientos, también se obtuvo que solamente hay 3 muros de contención en los tramos 2, 6 y 7. Respecto con el manejo de aguas superficiales, las cunetas del lado izquierdo respecto a la longitud total de la vía tiene una representación del 40% de la misma, y las cunetas del lado derecho representan solamente un 8% de la longitud total de la vía, de manera que indiscutiblemente hacen falta más cunetas para la conducción del agua así mejorando las condiciones de la vía por erosión y de la estabilidad de los taludes.

En consecuencia de lo anterior se infiere que los fenómenos de remoción en masa en la vereda juegan un papel importante en la misma ya que actúan de manera sinérgica con la vía y el estado y existencia de obras de manejo de aguas.

En lo relacionado con la caracterización de pasos de agua se tiene que el tramo vial de la vereda Aguazul no se encuentra en condiciones óptimas de funcionalidad en cuanto a pasos de agua se refiere, pues todos los pasos de agua registrados presentan afectación en cuanto a uso y mantenimiento inadecuado de todas las obras transversales.

Los pasos de agua en términos estructurales no presentan mayor afectación de daños, ya que no hay presencia de grietas o daños en la estructura, ningún paso de agua presenta daños por exposición de acero de refuerzo, no obstante la gran mayoría de los pasos de agua existentes se encuentran en mal estado debido principalmente a un mantenimiento inadecuado donde se presenta invasión de maleza, acumulación de escombros, acumulación de basuras y acumulación de tierra, lo que permite afirmar que la principal falla en la funcionalidad de los pasos de agua registrados se debe por la falta de concientización de la comunidad y el mantenimiento inadecuado.

Referencias

- Albayrak, U., Canbaz, M., & Albayrak, G. (2015). A Rapid Seismic Risk Assessment Method for Existing Building Stock in Urban Areas. *Procedia Engineering*, 118, 1242–1249. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.476>
- Augusto, H., García, C., No, P. M. P., Antonio, M., Ospina, Á., No, P. M. P., Mantilla, L., & Pmp, M. (2015). *Análisis del sector de infraestructura en Colombia*. 1679397.
- Bae, S., & Chang, H. (2019). Urbanization and floods in the Seoul Metropolitan area of South Korea: What old maps tell us. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 37(November 2018). <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101186>
- Biswas, R. N., Islam, M. N., & Islam, M. N. (2018). Modeling on management strategies for spatial assessment of earthquake disaster vulnerability in Bangladesh. *Modeling Earth Systems and Environment*, 4(4), 1377–1401. <https://doi.org/10.1007/s40808-018-0507-0>
- Brini, I., & Alexakis, D. D. (2021). *applied sciences Linking Soil Erosion Modeling to Landscape Patterns and Geomorphometry : An Application in Crete , Greece*.
- Campos, J., González, J., Diaz, S., & Galán, Á. (2017). *Metodología para la evaluación del riesgo y la priorización de inversiones en el mantenimiento de obras de drenaje transversal*. 1–10.
- Dahal, B. K., & Dahal, R. K. (2017). Landslide hazard map: tool for optimization of low-cost mitigation. *Geoenvironmental Disasters*, 4(1). <https://doi.org/10.1186/s40677-017-0071-3>
- Fournier d'Albe, E. M. (1982). An approach to earthquake risk management. *Engineering Structures*, 4(3), 147–152. [https://doi.org/10.1016/0141-0296\(82\)90002-5](https://doi.org/10.1016/0141-0296(82)90002-5)
- Frolova, N. I., Larionov, V. I., Bonnin, J., Sushchev, S. P., Ugarov, A. N., & Kozlov, M. A. (2017). Seismic risk assessment and mapping at different levels. *Natural Hazards*, 88, 43–62. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2654-9>
- Ghosh, T., Bhowmik, S., Jaiswal, P., Ghosh, S., & Kumar, D. (2020). Generating Substantially Complete Landslide Inventory using Multiple Data Sources: A Case Study in Northwest Himalayas, India. *Journal of the Geological Society of India*, 95(1), 45–58. <https://doi.org/10.1007/s12594-020-1385-4>
- Karima Amari, Amina Abdessemed Foufa, Mustapha Cheikh Zouaoui, G. U. (2020). *Seismic Vulnerability of Masonry Lighthouses: A Study of the Bengut Lighthouse, Dellys, Boumerdès, Algeria*.
- Karmokar, S., & De, M. (2020). Flash flood risk assessment for drainage basins in the

- Himalayan foreland of Jalpaiguri and Darjeeling Districts, West Bengal. *Modeling Earth Systems and Environment*, 6(4), 2263–2289. <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00807-9>
- Kaur, H., Gupta, S., & Parkash, S. (2017). Comparative evaluation of various approaches for landslide hazard zoning: a critical review in Indian perspectives. *Spatial Information Research*, 25(3), 389–398. <https://doi.org/10.1007/s41324-017-0105-7>
- Khalaj, M. R., Noor, H., & Dastranj, A. (2021). *Investigation and simulation of flood inundation hazard in urban areas in Iran*. 1–13.
- Lahai, Y. A., Anderson, K. F. E., Jalloh, Y., Rogers, I., & Kamara, M. (2021). A comparative geological, tectonic and geomorphological assessment of the Charlotte, Regent and Madina landslides, Western area, Sierra Leone. *Geoenvironmental Disasters*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/s40677-021-00187-x>
- Lazzali, F., Meziane, Y. A. I. T., & Farsi, M. N. (2020). *Seismic Vulnerability Assessment of Buildings in the Casbah of Algiers*. 7(i), 3–4.
- Lu, N., & Godt, J. W. (2011). Hillslope hydrology and stability. In *Hillslope Hydrology and Stability*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139108164>
- Lyu, H.-M., Shen, S.-L., Yang, J., & Zhou, A.-N. (2020). Risk Assessment of Earthquake-Triggered Geohazards Surrounding Wenchuan, China. *Natural Hazards Review*, 21(3), 05020007. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)nh.1527-6996.0000375](https://doi.org/10.1061/(asce)nh.1527-6996.0000375)
- Mulyani, R., Ahmadi, R., Pilakoutas, K., Hajirasouliha, I., & Taufik. (2015). A multi-hazard risk assessment of buildings in Padang city. *Procedia Engineering*, 125, 1094–1100. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.11.093>
- Nappo, N., Mavrouli, O., Nex, F., van Westen, C., Gambillara, R., & Michetti, A. M. (2021). Use of UAV-based photogrammetry products for semi-automatic detection and classification of asphalt road damage in landslide-affected areas. *Engineering Geology*, 294, 106363. <https://doi.org/10.1016/J.ENGGEOL.2021.106363>
- Ongkowijoyo, C. S., & Doloi, H. (2018). Risk-based Resilience Assessment Model Focusing on Urban Infrastructure System Restoration. *Procedia Engineering*, 212, 1115–1122. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2018.01.144>
- Pal, R., Biswas, S. S., Mondal, B., & Pramanik, M. K. (2016). Landslides and Floods in the Tista Basin (Darjeeling and Jalpaiguri Districts): Historical Evidence , Causes and Consequences. *J. Ind. Geophys. Union*, 20(2), 66–72.
- Periyasamy, P., Yagoub, M. M., & Sudalaimuthu, M. (2018). Flood vulnerable zones in the rural blocks of Thiruvallur district, South India. *Geoenvironmental Disasters*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s40677-018-0113-5>
- Perrone, D., Aiello, M. A., Pecce, M., & Rossi, F. (2015). Rapid visual screening for seismic evaluation of RC hospital buildings. *Structures*, 3, 57–70. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2015.03.002>
- Rubinato, M., Nichols, A., Peng, Y., Zhang, J. min, Lashford, C., Cai, Y. peng, Lin, P. zhi, & Tait, S. (2019). Urban and river flooding: Comparison of flood risk management approaches in the UK and China and an assessment of future knowledge needs. *Water Science and Engineering*, 12(4), 274–283. <https://doi.org/10.1016/j.wse.2019.12.004>
- Rufat, S., Tate, E., Burton, C. G., & Maroof, A. S. (2015). Social vulnerability to floods: Review of case studies and implications for measurement. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 14, 470–486. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2015.09.013>
- Shah, M. F., Kegyes-B., O. K., Ray, R. P., Ahmed, A., & Al-ghamadi, A. (2018). Vulnerability assessment of residential buildings in Jeddah: A methodological proposal. *International*

- Journal of GEOMATE*, 14(44), 134–141. <https://doi.org/10.21660/2018.44.85087>
- Soetanto, R., Mullins, A., & Achour, N. (2017). The perceptions of social responsibility for community resilience to flooding: the impact of past experience, age, gender and ethnicity. *Natural Hazards*, 86(3), 1105–1126. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2732-z>
- Wang, C., Liu, B., Yang, Q., Pang, G., Long, Y., Wang, L., Cruse, R. M., Dang, W., Liu, X., & Wang, E. (2021). Unpaved road erosion after heavy storms in mountain areas of northern China. *International Soil and Water Conservation Research*. <https://doi.org/10.1016/J.ISWCR.2021.04.012>
- Wang, F., Dai, Z., Okeke, C. A. U., Mitani, Y., & Yang, H. (2018). Experimental study to identify premonitory factors of landslide dam failures. *Engineering Geology*, 232, 123–134. <https://doi.org/10.1016/J.ENGGEOL.2017.11.020>
- Weerasinghe, K. M., Gehrels, H., Arambepola, N. M. S. I., Vajja, H. P., Herath, J. M. K., & Atapattu, K. B. (2018). Qualitative Flood Risk assessment for the Western Province of Sri Lanka. *Procedia Engineering*, 212(2017), 503–510. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2018.01.065>
- Zaalishvili, V. B., Kanukov, A. S., Melkov, D. A., Makiev, V. D., & Dzobelova, L. V. (2018). Development of a unified model of geoinformation system for city planning and integration. *International Journal of GEOMATE*, 15(51), 160–166. <https://doi.org/10.21660/2018.51.78666>
- INVIAS. (2006). *MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE ESTRUCTURAS DE DRENAJE*.
- USAID. (2016). *Guía práctica para elaboración de inventarios de vías terciarias*.