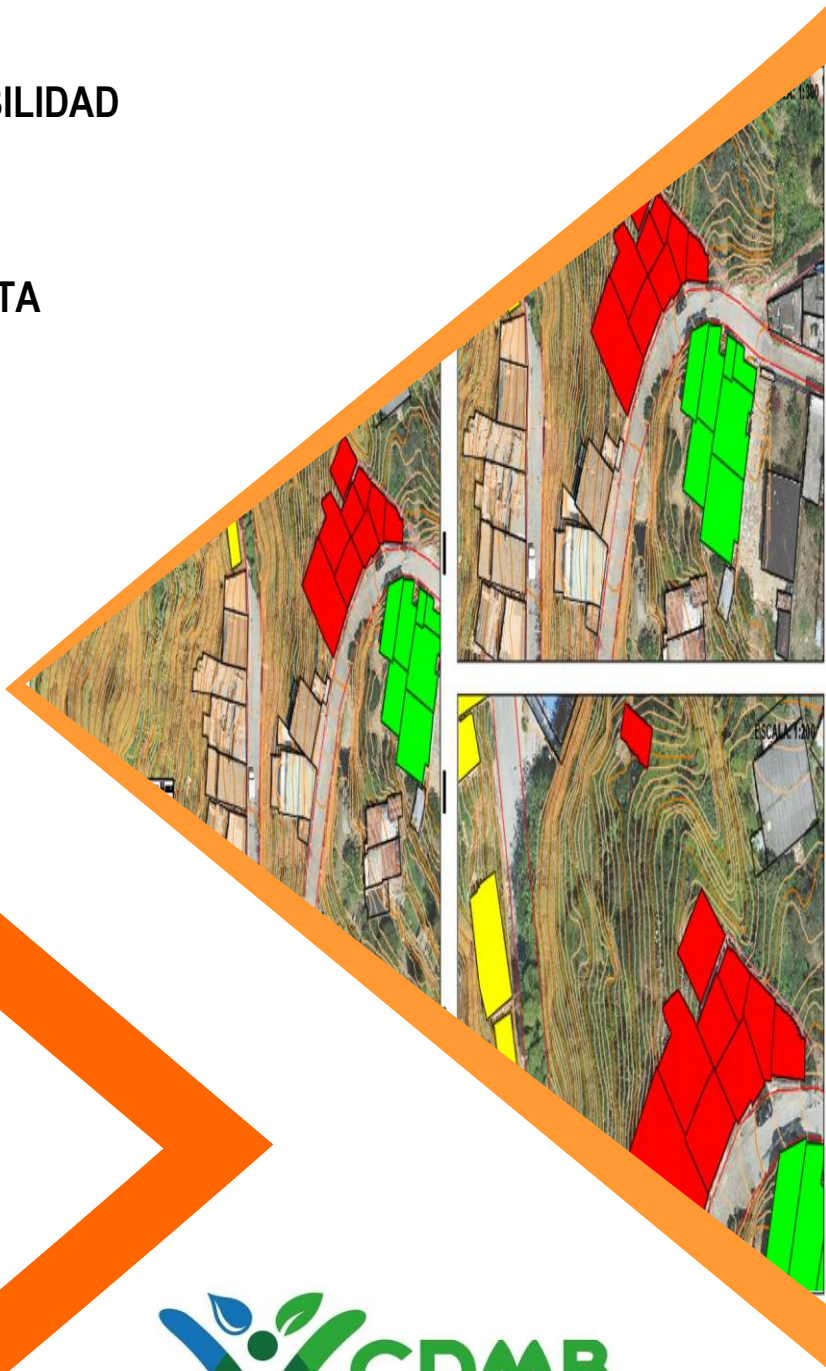
CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA (CDMB)

ANALISIS DE VULNERABILIDAD

SECTOR BUENAVISTA



CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO PARA EL CONTROL DE LA EROSIÓN EN ZONAS PRIORIZADAS DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA, DEFINIDAS POR LA CDMB, COMO APOYO AL CUMPLIMIENTO DE ÓRDENES, ACCIONES JUDICIALES Y ACTUACIONES PREVENTIVAS DE LOS ÓRGANOS DE CONTROL RELACIONADAS CON LA GESTIÓN DEL RIESGO.

CDMB
CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA

TABLA DE CONTENIDO.

1. LOCALIZACION DEL PROYECTO 4

2. ANALISIS DE VULNERABILIDAD 6

2.1. VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL 7
2.1.1. Introducción y zona de estudio 7
2.1.2. Levantamiento de la información 7
2.1.3. Marco teórico para evaluación de la vulnerabilidad 9
Conceptos de Vulnerabilidad 9
2.1.4. Modelos de estimación de la vulnerabilidad 10
2.1.5. ESTIMACIÓN CUANTITATIVA DE UZIELLI ET AL (2008) 11
2.1.6. METODO DE LA MATRIZ DE VULNERABILIDAD DE LEONE ET AL (1996) 14
2.1.7. MANEJO DEL RIESGO POR DESLIZAMIENTOS DE FELL & HARDFORD (1997). 15
2.1.8. EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL ANÁLISIS DE RIESGO DE DESLIZAMIENTOS DE GLADE (2003A) 16
2.1.9. DESARROLLO, APLICACIÓN Y VALIDACIÓN DE PROCEDIMIENTOS Y MODELOS PARA LA EVALUACIÓN DE AMENAZAS, VULNERABILIDAD Y RIESGO DEBIDOS A PROCESOS GEOMORFOLÓGICOS, BONACHEA (2006) 17
2.1.10. FUNCIONES DE VULNERABILIDAD 19
2.1.11. PARÁMETROS DEL MODELO 19
2.1.12. DEFINICIÓN DEL MODELO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD 24
2.1.13. Variables lingüísticas utilizadas 27
2.1.14. INDICE DE VULNERABILIDAD 28
2.2. VULNERABILIDAD FISICA 33

3. CONCLUSIONES 37

4. REGISTRO FOTOGRÁFICO 42

5. BIBLIOGRAFIA 48

LISTA DE FIGURAS.

Figura 1. Ubicación detallada del área de estudio – Sector Buenavista 4
Figura 2. Ubicación del área de estudio – Sector Buenavista. 5
Figura 3. Índice de Vulnerabilidad por movimientos en Masa 34
Figura 4. Plano de Índice de Vulnerabilidad por Movimientos en masa. 35

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Formato de campo, diagnostico estructural e inspección visual-Edificaciones (Guía metodología de estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa escala detallada, Convenio especial de cooperación 020 de 2013- Servicio Geológico Colombiano (SGC) y Universidad Nacional de Colombia (UNAL) 20
Tabla 2: Resultado de Vulnerabilidad física por Movimientos en masa. 33

1. LOCALIZACION DEL PROYECTO



Figura 1. Ubicación detallada del área de estudio – Sector Buenavista

El sector Buenavista se localiza en el costado nororiental de la ciudad de Bucaramanga, sobre la ladera oriental que asciende desde el barrio Morrorico hacia la vereda Bocabuenavista, en inmediaciones de la vía secundaria que comunica la zona urbana con los sectores rurales de la parte alta. El área de estudio se sitúa alrededor de los 1.360 m s. n. m., en un entorno de ocupación residencial dispersa desarrollado sobre laderas boscosas del Macizo de Santander. Su localización marca una transición clara entre el borde urbano consolidado y las laderas naturales del oriente de la ciudad, con presencia de viviendas, taludes intervenidos y coberturas vegetales densas.



Figura 2. Ubicación del área de estudio – Sector Buenavista.

2. ANALISIS DE VULNERABILIDAD





2.1. VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL

2.1.1. Introducción y zona de estudio

Dentro de la documentación del estudio realizada por la CDMB, se presenta el informe sobre la evaluación de vulnerabilidad realizada a los predios que comprenden la zona objeto de intervención.

El barrio objeto del presente estudio se encuentra ubicado en la zona occidental del municipio de Bucaramanga, la gran mayoría de los barrios se encuentran asentados sobre laderas que limitan la meseta sobre la cual se encuentra fundada la ciudad de Bucaramanga. Las características anteriormente expuestas resaltan la alta vulnerabilidad que presentan los barrios respecto a los posibles escenarios de movimientos en masa, evidenciando técnicas constructivas en algunos casos de muchos años desde su construcción y que por lo tanto sin presencia de algún sistema estructural bien concebido y en otros casos construcciones que pueden categorizarse como aceptables al momento de enfrentarse a solicitaciones debido a los fenómenos naturales.

A continuación, se presenta la base teórica y los resultados obtenidos en forma estadística, adicionalmente se presentarán las conclusiones e interpretación de los resultados en el presente estudio.

2.1.2. Levantamiento de la información

Mediante la elaboración de un levantamiento general se logró conocer el número de predios y a su vez clasificar e identificar los tipos de estructuras en el sector, para ello referimos la guía metodología del servicio geológico colombiano[1] Universidad Nacional de Colombia, 2016 en el cual se presentan

[1] Guía metodología de estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa escala detallada, Convenio especial de cooperación 020 de 2016- Servicio Geológico Colombiano (SGC) y Universidad Nacional de Colombia (UNAL).

los parámetros necesarios para realizar la recopilación de las características fundamentales en la evaluación de la vulnerabilidad.

Lo descrito anteriormente conduce obtener las características principales del total de los predios aferentes a la obra a desarrollar, los levantamientos realizados en el sector fueron tomados a partir del formato de "Campo, diagnostico estructural e inspección visual- edificaciones" propuesto en la Guía metodología de estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa escala detallada, Convenio especial de cooperación 020 de 2013- Servicio Geológico Colombiano (SGC) y Universidad Nacional de Colombia (UNAL). Diseñados para la recopilación de las características fundamentales de las edificaciones, así como la ubicación y entornos de estas, para ello se dispuso de visitas a cada uno de los predios del sector en donde casa a casa se hizo el levantamiento de la información. A cada uno de los predios se le amarró su respectiva ubicación en los mapas del barrio, logrando así, una identificación individualizada para conseguir mostrar en mapas los resultados de su evaluación dentro del estudio de vulnerabilidad.

El nivel de desempeño de las edificaciones fue realizado con visitas al sitio para una evaluación de resistencia de los materiales que componen los sistemas resistentes de las edificaciones y configuraciones estructurales característicos de la zona. Se observó gran presencia de mampostería no confinada y casas en sistemas estructurales no permitidos por las normativas Colombianas (NSR-10) como lo son mampostería sin confinas y con una baja calidad de los materiales que la componen.

Los levantamientos de las estructuras y la recopilación de la información en sitio fueron llevados a cabo por ingenieros capacitados para tal fin, posteriormente la tarea de la evaluación de la vulnerabilidad estructural parte de una recopilación de información entregada para su procesamiento previo análisis de esta en la base de datos destinada para tal fin.

2.1.3. Marco teórico para evaluación de la vulnerabilidad

Conceptos de Vulnerabilidad

UNDRO y UNESCO (1979), unifican el concepto de vulnerabilidad y la definen *como "el grado de pérdida de un elemento dado en situación de riesgo o un conjunto de elementos como resultado de la ocurrencia de un fenómeno natural de una magnitud dada y expresada en una escala de 0 (sin daño) a 1 (pérdida total) "*.

Varmes (1984) es uno de los primeros autores en utilizar el término de vulnerabilidad, este hace una revisión de los aspectos involucrados en el riesgo debido a fenómenos naturales o tecnológicos. Para este autor la vulnerabilidad se define como el grado de daños potenciales, expresado de 0-1, sufrido por un elemento o grupo de elementos expuestos como consecuencia de un fenómeno natural de intensidad dada. Esta definición ha aceptada por un gran número de autores quienes referencian al trabajo anterior.

Suarez (2009 a) enuncia que el valor de vulnerabilidad de una construcción depende tanto de las características y la calidad de la construcción como de las del a amenaza. Por ejemplo, la profundidad de cimentación de una estructura afecta la vulnerabilidad. Ragozin y Tikhvinsky (2000) proponen unos valores de vulnerabilidad de una estructura de acuerdo con su profundidad de cimentación.

Leone et al. (1996), consideran la vulnerabilidad como el nivel de daños potenciales, en un rango de 0 a 1, sufridos por un determinado elemento, el cual se ve afectado por un evento o fenómeno, real o posible, con una intensidad dada. La evaluación de la vulnerabilidad implica conocer cómo es la interacción entre el fenómeno natural y el elemento expuesto.

Dai (2001), Fell, (1994), Leona, et al. (1996) y Wong et al. (1997), dicen que la vulnerabilidad, en el contexto actual, puede definirse como el nivel de daño potencial, o el grado de pérdida, de un determinado elemento (expresada en una escala de 0 a 1) sometido a un deslizamiento de tierra de una determinada intensidad. Consideran que la evaluación de la vulnerabilidad consiste en la comprensión de la interacción entre un deslizamiento de tierra determinada y los elementos afectados.

Leroi (1996), estima la vulnerabilidad como el grado de pérdidas, de 0% a 100% resultantes de un fenómeno potencialmente dañino. El propio autor considera que la intensidad del deslizamiento es un factor importante para estimar las funciones de daños o vulnerabilidad. Sin embargo, la estimación de estas funciones no es fácil para todos los tipos de amenaza. Si bien la evaluación de la intensidad de un terremoto es clara, no sucede lo mismo con los deslizamientos.

Castro et al. (2001) mencionan que para la evaluación de la vulnerabilidad es necesario conocer y cuantificar las características de la interacción entre el fenómeno y los elementos expuestos introduciendo dos conceptos, el de capacidad de daño de un fenómeno y el modo de daño de los elementos expuesto (como lo pueden ser las edificaciones). Sin embargo, la complejidad de movimientos en masa ha hecho difícil cuantificar numéricamente los dos conceptos. Luego, esto ha llevado a un análisis semicuantitativo basado en la evaluación de eventos anteriores de los que se tengan registros estadísticos y gráficos.

Como se observa, un gran número de autores concuerdan con las definiciones de vulnerabilidad en sus diferentes investigaciones, por lo cual podemos manejar una universalidad del término.

2.1.4. Modelos de estimación de la vulnerabilidad

Como se puede observar a través de la presentación del concepto de vulnerabilidad, la forma de evaluarla depende de la manera en que cada autor aborda la problemática. Sin embargo, el resultado final en un Análisis de vulnerabilidad es el índice de daño que sufriría una tipología estructural específica, sometida a una determinada acción. Este resultado puede obtenerse mediante dos procedimientos: el primero por medio de las denominadas matrices de probabilidad de daño, y el segundo a través de las funciones de vulnerabilidad. Los principales métodos utilizados para la generación de las matrices de probabilidad de daño o funciones de vulnerabilidad, difieren básicamente en los datos de entrada y en la forma como se obtienen las probabilidades asociadas a

cada estado de daño; estos métodos pueden ser experimentales, analíticos o estar basados en observaciones de campo o en la opinión de expertos.

2.1.4.1.1. Matrices de Probabilidad de Daño

Las matrices de probabilidad de daño expresan una probabilidad discreta de la distribución de daño, para un tipo de estructura y una intensidad de la acción determinada. Es decir, expresan la probabilidad condicional P[D=j{i}] de obtener un nivel de daño en una determinada tipología igual a j, dado un deslizamiento de una magnitud i.

2.1.4.1.2. Funciones de Vulnerabilidad

Una función de vulnerabilidad es una relación matemática que expresa de forma continua el daño que puede sufrir un tipo de estructura específico, cuando se somete a una solicitación de determinado nivel. Las funciones de vulnerabilidad se deducen por medio de una regresión estadística de los datos de daño observado o generadas artificialmente. Una de sus principales variantes la constituyen las funciones de vulnerabilidad que relacionan un índice de vulnerabilidad con un índice de daño, condicionado por un parámetro que describe el movimiento del terreno; este parámetro puede ser la magnitud del desplazamiento provocado por el deslizamiento.

A continuación, se exponen algunos de los métodos más importantes que existen para la evaluación de la vulnerabilidad de edificaciones:

2.1.5. ESTIMACIÓN CUANTITATIVA DE UZIELLI ET AL (2008).

Uzielli et al (2008) proponen un método basado en el análisis cuantitativo de la vulnerabilidad física para amenazas naturales, éste método se deriva de un enfoque probabilístico de la vulnerabilidad hecho por Uzielli (2006), el cual provee una herramienta de trabajo para la cuantificación de la incertidumbre en la estimación de la vulnerabilidad.

La definición de vulnerabilidad del ISSMGE considera la que vulnerabilidad depende del agente actuante, y el elemento vulnerable. Consecuentemente con la anterior definición, proponen un modelo cuantitativo para estimar la vulnerabilidad física, el cual parametriza la severidad de la acción del deslizamiento y la capacidad del elemento vulnerable de resistir una acción que se presente y lo definen en la ecuación 1.

$$V = I * S \qquad (1)$$

En el cual V es vulnerabilidad, I es intensidad del deslizamiento, y S es la susceptibilidad del elemento en riego: Intensidad y susceptibilidad son expresadas en términos adimensionales con valores entre 0 y 1, consistentemente con la definición del ISSMGE. La estimación de la vulnerabilidad es abordada de una perspectiva, basada en escenarios, en los cual el efecto de un evento específico puede ser investigado independientemente de su probabilidad de ocurrencia en el tiempo.

Los autores se refieren a la susceptibilidad como la falta de capacidad inherente de los elementos ubicados en la zona que se estudia de preservar su integridad física y su funcionalidad en el momento de la interacción física con un evento que involucre masas en deslizamiento, se destaca que la definición de susceptibilidad que se presenta en el método es independiente de las características del agente o evento que actúa, es decir, un deslizamiento de tierra.

La susceptibilidad S de cualquier categoría de elementos en riesgo, se encuentra en un rango de 0 (no susceptible) a 1 (máxima susceptibilidad). Se propone un modelo general de susceptibilidad.

$$S = 1 - \prod_{i=1}^{n_s}(1 - \varepsilon_i) \qquad (2)$$

En el cual ε_i es el $i - ésimo$ del n_s Factor de susceptibilidad (cada uno definido en el rango de [0,1]) que contribuye a la categoría de susceptibilidad. Tales factores son dependientes de la categoría, y pueden ser definidos en la base de la literatura existente o por un grupo de criterios dados por el usuario.

Proponen un modelo tentativo para el cálculo de la susceptibilidad de un número de categorías en riesgo, sin embargo, exponen la necesidad de someter dicho método a efectos de calibración y

refinarlo con base en un número adicional de datos disponibles, así como la revisión y aceptación por parte de expertos en el tema.

A continuación, se presentan los elementos que hacen parte del modelo propuesto para la estimación de la susceptibilidad:

Susceptibilidad de estructuras

La susceptibilidad de una estructura cuantifica su resistencia física a la acción del deslizamiento. Esta depende principalmente de las tipológicas de la estructura y su estado de mantenimiento.

Factor de susceptibilidad para la tipología estructural

Heinimann (1999) propone seis categorías de estructuras en términos de la vulnerabilidad ante deslizamientos. Los valores del factor de susceptibilidad parcial para tipos de estructuras $\varepsilon_{\mathrm{STY}}$ pueden ser asignados según lo presentado en la siguiente tabla.

Valores propuestos de los factores de susceptibilidad para tipología estructural		
Tipología estructural	**Resistencia**	$\boldsymbol{\varepsilon_{STY}}$
Más ligeras, estructuras simples	nada	1.00
Estructuras ligeras	Muy baja	0.90
Mampostería en roca, concreto y madera	Baja	0.70
Mampostería en ladrillo, estructuras de concreto	Media	0.50
Estructuras de concreto reforzado	Alta	0.30
Estructuras reforzadas	Muy alta	0.10

Valores del factor de susceptibilidad parcial para tipos de estructuras ($\varepsilon_{\mathrm{STY}}$)

Factor de susceptibilidad para estado de mantenimiento

El factor de susceptibilidad para el estado de mantenimiento $\varepsilon_{\mathrm{SMN}}$ es esencialmente un factor de reducción, el cual expresa la reducción de la capacidad de estructura en comparación con la categoría “muy buena” en la cual se espera la máxima capacidad. Los valores de susceptibilidad pueden ser asignados según la siguiente tabla.

Valores propuestos de factores de susceptibilidad para el estado de mantenimiento	
Estado de mantenimiento	ε_{SMN}
Muy pobre	0.50
Pobre	0.40
Medio	0.25
Bueno	0.10
Muy bueno	0.00

Valores del factor de susceptibilidad para el estado de mantenimiento (ε_{SMN})

La susceptibilidad de las estructuras puede ser cuantificada según la ecuación 3.

$$S_{STR} = 1 - (1 - \varepsilon_{STY})(1 - \varepsilon_{SMN}) \qquad (3)$$

2.1.6. METODO DE LA MATRIZ DE VULNERABILIDAD DE LEONE ET AL (1996).

Leone et al. (1996) proponen un modelo para evaluar la vulnerabilidad debida a movimientos en masa basado en matrices de daño. Para ello consideran tres grupos de elementos expuestos: las propiedades, las personas y las actividades que se desarrollan en la zona. Estiman que la vulnerabilidad en cada uno de estos tres elementos es diferente y que depende de distintos factores como la intensidad del fenómeno, las características intrínsecas y extrínsecas de las personas, la capacidad de resistencia de los elementos físicos y de aspectos técnicos.

Las matrices propuestas por Leone et al. (1996) son de la forma en el presente estudio. En las abscisas se representan los elementos expuestos con sus características y en las ordenadas se encuentran las características del fenómeno. En función de estos parámetros y del valor económico, del valor funcional y del valor humano, se le asigna un estimativo de vulnerabilidad a cada tipo de elemento, entre 0 y 1. Los autores proponen una lista de elementos afectados con diferentes niveles de daño, siendo el mínimo I y el máximo V, a los cuales se les asignan diferentes valores de vulnerabilidad.

2.1.7. MANEJO DEL RIESGO POR DESLIZAMIENTOS DE FELL & HARDFORD (1997).

Fell (1994) y Fell & Hartford (1997) discuten sobre los diferentes factores a considerar en el riesgo y diferencian entre el riesgo específico (peligrosidad por vulnerabilidad de un determinado elemento) y el riesgo total (número esperable de muertes, personas heridas, daños a propiedades, etc.), coincidiendo con la idea de Varnes (1984) y UNDRO (1991).

También discuten sobre el nivel de riesgo aceptable (riesgo con el cual la sociedad está preparada para convivir: en el caso de personas podría aplicarse un valor de 10-3, mientras que en propiedades se podría aceptar un riesgo, en términos de probabilidad, de 10-2. Mejía-Navarro et al. (1994) y Mejía-Navarro & García (1996), desarrollan un algoritmo para evaluar la vulnerabilidad, que descomponen en un conjunto de componentes culturales y físicos, líneas de transporte y usos del suelo, donde:

$$Vulnerabilidad = \frac{(densidad\ humana\ x\ A + uso\ del\ suelo\ x\ B + lineas\ de\ transporte\ x\ C)}{(A + B + C)} \quad (4)$$

Los parámetros A, B y C, son valores de pesos asignados a los diferentes elementos vulnerables, que pueden ser modificados en función de los criterios adoptados por expertos. Así, por ejemplo, asignan pesos altos a las áreas de alta densidad de población, a zonas próximas a líneas de comunicación o de transporte, o bien a zonas con construcciones de gran entidad.

En el caso de las autopistas se incluye un corredor de 40 metros con el fin de protegerlas, ya que su mantenimiento es muy caro. Modificando estos pesos se pueden simular una serie de escenarios de vulnerabilidad o riesgo. El uso de los SIG y de los Sistemas de Toma de Decisiones, permite realizar dichas simulaciones en cortos espacios de tiempo.

Este método presenta un alto grado de subjetividad. En la asignación de pesos no se tienen en cuenta las características del propio deslizamiento, tampoco se explica cómo incorporar los resultados obtenidos a los mapas de riesgo, ni cómo se incorporan los distintos elementos considerados al análisis, ya que el valor de vulnerabilidad obtenido es un valor general para todo el conjunto de elementos considerados.

2.1.8. EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL ANÁLISIS DE RIESGO DE DESLIZAMIENTOS DE GLADE (2003A)

Glade (2003a), hace una revisión de algunos trabajos que consideran la vulnerabilidad en los análisis de riesgo por deslizamiento. Este autor lleva a cabo un estudio de riesgo por deslizamientos en dos zonas, una en Alemania afectada por deslizamientos superficiales y rotacionales, y otra en Islandia. Como en la zona de Alemania no existen datos sobre daños materiales a elementos en el pasado, se supone que, si un deslizamiento afecta a un elemento, la vulnerabilidad es máxima (1). En función de esos valores se crea un mapa de unidades de elementos con un grado de vulnerabilidad cualitativo (bajo, moderado, alto y muy alto); la intersección de este mapa con el de peligrosidad permite obtener un mapa de riesgo, dividido en las mismas clases cualitativas. El estudio en la zona de Islandia se presenta en Bell & Glade (2004). Estos autores asignan los valores de vulnerabilidad en función del tipo y magnitud del proceso y del tipo de elemento afectado. Posteriormente, generan los mapas de riesgo para deslizamientos tipo rock fall y debris flow. Así calculan:

a) Riesgo individual de una persona en un edificio o probabilidad anual de pérdidas de vidas (R_{ipe}):

$$R_{ipe} = \left(H\ x\ Ps\ x\ Pt\ x\ V_p\ x\ V_{pe}\ x\ P_{so}\right)\ x\ \ E_{ipe} \quad (5)$$

donde,

H = peligrosidad anual del evento.
Ps = probabilidad de impacto espacial (que el edificio sea afectado)
Pt = probabilidad temporal (que exista gente en el edificio)
Vp = vulnerabilidad del edificio
V_{pe}= vulnerabilidad de las personas
P_{so}= probabilidad de ocurrencia en determinadas épocas
E_{ipe}= persona individual

b) Riesgo de personas en edificios (R_{pe})

$$R_{pe} = \left(H\ x\ Ps\ x\ Pt\ x\ V_p\ x\ V_{pe}\ x\ P_{so}\right)\ x\ \ E_{pe} \quad (6)$$

donde,

E_{pe} = número de personas en cada edificio

c) Riesgo económico a edificios e infraestructuras (R_p) o pérdidas económicas anuales

$$R_p = \left(H\ x\ Ps\ x\ V_p\ x\ P_{so}\right) x\ E_p \qquad (7)$$

donde,

E_p = valor económico del edificio o infraestructura

Los autores indican que existen incertidumbres en los valores de riesgo obtenidos debido a las incertidumbres existentes en los datos de entrada, como por ejemplo valores de vulnerabilidad obtenidos de forma subjetiva, pero con un peso muy importante en el resultado de riesgo final, falta de datos, etc. Por tanto, los valores resultantes deben ser tomados con mucha cautela y considerados como valores relativos y no absolutos. De cualquier forma, estos mapas han permitido a la administración hacer una zonificación del riesgo en el área estudiada y extrapolar el método a otras zonas.

2.1.9. DESARROLLO, APLICACIÓN Y VALIDACIÓN DE PROCEDIMIENTOS Y MODELOS PARA LA EVALUACIÓN DE AMENAZAS, VULNERABILIDAD Y RIESGO DEBIDOS A PROCESOS GEOMORFOLÓGICOS, BONACHEA (2006)

Bonachea (2006) describe su metodología basada en el principio del uniformismo, que considera el presente como la clave del pasado. A partir de la identificación de un proceso, en este caso los movimientos de ladera, y en función de un determinado modelo de rotura y su relación con una serie de factores condicionantes, es posible identificar dónde se puede producir un proceso de similares características; esto es, elaborar un modelo de susceptibilidad a los deslizamientos por medio de técnicas estadísticas. Asimismo, del análisis de la frecuencia de movimientos en el pasado y de su magnitud, en función de una serie de escenarios, se pueden hacer extrapolaciones sobre el comportamiento futuro de los deslizamientos, tanto en lo relativo a su magnitud como a su frecuencia.

Expresión matemática del riesgo

La metodología planteada en este trabajo se basa conceptualmente, en la expresión de Varnes (1984) y UNDRO (1991), es conceptualmente muy clara y de general aceptación. Sin embargo, su aplicación a situaciones reales presenta problemas, en la mayoría de los casos no resueltos de manera totalmente satisfactoria. Esos problemas surgen de la dificultad de expresar en términos cuantitativos los distintos factores que intervienen en la función, ya sea la probabilidad de ocurrencia de futuros episodios peligrosos, los elementos expuestos o el grado de daño que cada uno de ellos experimentará como consecuencia de un evento futuro. Algunos autores han abordado este aspecto y han propuesto expresiones que tratan de aportar una mayor precisión a la formulación general.

Morgan et al. (1992) formulan una expresión similar para expresar el riesgo:

$$R = P(H) * P(S|H) * P(P|S) * E \qquad (8)$$

Donde:

R Son las pérdidas anuales en el valor de un elemento.
$P(H)$ Es la probabilidad anual de que se produzca un deslizamiento.
$P(S|H)$ Es la probabilidad anual de que el elemento sea afectado por un deslizamiento.
$P(P|S)$ Es la vulnerabilidad del elemento o proporción de valor perdido.
E Es el valor del elemento.

Chung & Fabbri (2004), para obtener una representación de carácter cuantitativo e inequívoco del riesgo, reformulan la expresión de Varnes (1984) y UNDRO (1991), que ahora adopta la siguiente forma:

$$R = Valor\ del\ elemento * Prob\{D|L\} * Prob\ \{L|G\} \qquad (9)$$

Que es una formulación más precisa que la expresión propuesta por Varnes (1984) antes citada.

Bonachea (2006) presenta un nuevo procedimiento para la evaluación del riesgo que implica:

a) Estimación de la $Prob\ \{L|G\}$ o peligrosidad en dos fases:

- Construcción de un modelo de probabilidad espacial o modelo de susceptibilidad considerando la magnitud y alcance de los deslizamientos.

- Transformación del modelo de susceptibilidad en un modelo de probabilidad espacio-temporal.

b) Estimación de la vulnerabilidad $Prob\{D|L\}$, para cada tipo de elemento, a partir de la relación entre pérdidas sufridas por el elemento si éste es afectado por un deslizamiento, y el valor o coste de reemplazar ese elemento

c) Obtención de modelos de riesgo, incorporando el valor de los elementos expuestos, $Prob\ \{L|G\}$ y $Prob\{D|L\}$.

2.1.10. FUNCIONES DE VULNERABILIDAD

El modelo consiste en estimar un índice de vulnerabilidad, el cual permite clasificar las edificaciones entre vulnerabilidad baja, media y alta y relacionarlas con un índice de daño para un efecto de movimiento en masa de una magnitud determinada, a través de unas funciones de vulnerabilidad.

2.1.11. PARÁMETROS DEL MODELO

El modelo propuesto se basa en la definición de 8 secciones y 35 parámetros del formato para el análisis de la edificación y de su entorno más cercano, los cuales se consideran como los de mayor influencia en la vulnerabilidad de una edificación ante los efectos de movimientos en masa.
Las secciones definidas en el modelo corresponden a:

(1) Identificación de la Edificación
(2) Clasificación de la Edificación
(3) Descripción del Sistema Estructural
(4) Evaluación y Diagnóstico de Daños de la Edificación
(5) Condiciones de los Movimientos en Masa en el Predio
(6) Fotografías-Esquemas de Detalle
(7) Comentarios y observaciones
(8) Evaluador

A continuación, se muestra el formato utilizado en el levantamiento de campo ejecutado:

Tabla 1: Formato de campo, diagnostico estructural e inspección visual-Edificaciones (Guía metodología de estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa escala detallada, Convenio especial de cooperación 020 de 2013- Servicio Geológico Colombiano (SGC) y Universidad Nacional de Colombia (UNAL)

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

CONVENIO ESPECIAL DE COOPERACIÓN 020 DE 2013

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE BOGOTÁ

Guía metodológica de estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa a escala detallada

FORMATO DE CAMPO, DIAGNÓSTICO ESTRUCTURAL E INSPECCIÓN VISUAL - EDIFICACIONES

N.° Formulario | Hora y fecha de visita

Sección 1. IDENTIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN

1.1 Departamento | **1.2 Municipio** | **1.3 Barrio**

1.4 Identificación catastral

Sector	Manzana	Predio	Construcción

1.5 Coordenadas

Este	Norte	Cota

1.6 Tipo de identificación

Inspección

- Exterior ☐
- Parcial ☐
- Completa ☐

N.° Inspección

- No se permitió ☐
- Colapso ☐
- Desocupada ☐
- Otro ☐

Registro fotográfico - ID foto (N.°)

1.7 Identificación predial

Dirección ☐ Carrera ☐ Calle ☐ Transversal ☐ Diagonal ☐ Otro

Número (N.°)

1.8 Tenencia del bien

Propietario ☐ C.C.

Arrendatario ☐ C.C.

Otro ☐ C.C.

Sección 2. CLASIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN

2.1 Uso predominante ☐

Indispensables: G IV	**Ocupación Especial: G II**	**Ocupación normal: G I**
1. Salud pública	6. Institucionales	12. Residencial
2. Salud privada	7. Gubernamentales	13. Comercio
Atención comunidad. G III	8. Comerciales	14. Multipropósito ☐ ☐ ☐
3. Seguridad	9. Industria	15. Otro ☐
4. Emergencia	10. Oficinas	
5. Educación	11. Parqueaderos	

2.2 Ubicación en la manzana

Esquinera ☐ Medianera ☐ Aislada ☐

2.3 Número de pisos

Niveles sobre terreno ☐ Sótanos ☐ Total ☐ Altura entrepiso ☐

2.4 Dimensiones aproximadas del lote

Frente(m) ☐ Profundidad (m) ☐

2.5 Área total construida (m^2) ☐

2.6 Estado de la construcción

Completa ☐ En construcción ☐
Incompleta ☐ No construido ☐

2.7 Calidad en la construcción

Autoconstrucción ☐ Edad de la construcción (años) ☐
Supervisión profesional ☐

2.8 Servicios Públicos en el predio

Alcantarillado
Aguas servidas ☐ Aguas lluvias ☐
Acueducto ☐ Energía eléctrica ☐
Teléfono ☐ Gas ☐

2.9 Parámetros Socioeconómicos

Habitada ☐ No habitada ☐ Estratificación ☐
Ocupación máxima (n.° de habitantes) ☐
Valor Catastral del inmueble ($ millones) ☐
Valor de bienes -enseres ($ millones) ☐
Valor x m² de edificación ($ miles) ☐

Sección 3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL

3.1 Cimentación

1. Zapatas ☐ 2. Vigas corridas ☐ 3. Sistema mixto ☐ 4. Caissons ☐
5. Concreto ciclópeo ☐ 6. Pilotes ☐ 7. Placa de cimentación ☐ 8. No identificada ☐
9. No existe ☐ 10. Otro ☐ _____

3.2 Sistema de entrepiso

1. Placa maciza de concreto ☐ 4. Vigas metálicas ☐ 7. No aplica ☐
2. Placa aligerada de concreto ☐ 5. Cerchas metálicas ☐ 8. Otro _____
3. Lámina colaborante (SteelDeck) ☐ 6. Entramado en madera ☐

3.3 Sistema estructural

1. Pórticos en concreto reforzado ☐
2. Muros estructurales en concreto reforzado ☐
3. Sistema combinado en concreto reforzado ☐
4. Prefabricados en concreto ☐
5. Mampostería confinada ☐
6. Mampostería reforzada ☐
7. Mampostería no reforzada ☐
8. Pórticos en acero ☐
9. Pórtico arriostrado en acero ☐
10. Pórticos y páneles en madera ☐
11. Pórticos y páneles en otros materiales ☐
12. Muros en bahareque ☐
13. Muros en tapia pisada ☐
14. Muros en adobe ☐
15. Construcción improvisada ☐
16. Mixto ☐
17. Otro ☐ _____

3.4 Sistema de cubierta

1. Placa en concreto ☐ 3. Estructura metálica y teja ☐
2. Placa en Steel Deck ☐ 4. Estructura de madera y teja ☐
5. Otro _____

3.5 Fecha de construcción

Antes de 1960 ☐ Después de 1998 ☐
De 1961 a 1997 ☐

3.6 Reformas en la estructura

No realizadas ☐
En altura: número de pisos adicionales ☐
En extensión: ancho (paralelo vía) ☐
Profundidad (perpendicular vía) ☐

3.7 Irregularidad en planta

Irregularidad alta ☐ Irregularidad media ☐
Irregularidad baja o inexistente ☐

3.8 Irregularidad en altura

Irregularidad alta ☐ Irregularidad media ☐
Irregularidad baja o inexistente ☐

3.9 Tipología estructural de la edificación

	Código		Código
1. Con reforzamiento especial: GIII y GIV		5. Estructuras ligeras	
2. Reforzadas: GI y GII		6. Construcciones simples	
3. Mampostería reforzada		7. Lotes vacíos	
4. Con confinamiento deficiente e híbridas		8. Otra	

Sección 4. EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE DAÑOS DE LA EDIFICACIÓN

4.1 Causa de daños presentes

1. Asentamientos
2. Movimientos en masa
3. Sismos
4. Inundaciones
5. Impactos
6. Deficiencias constructivas
7. Otra

4.2 Consecuencias presentes

1. No presenta daños
2. Humedades
3. Empozamientos
4. Fisuras
5. Grietas
6. Roturas
7. Otra

4.3 Inundaciones previas

1. Se ha inundado
2. Altura de inundación (m)
3. Fecha/periodicidad (mes)
4. No se ha inundado
5. Períodos de lluvias

4.4 Evaluación de daños en elementos estructurales

ELEMENTO	DAÑO				
	Ninguno	Leve	Moderado	Fuerte	Severo
Elementos verticales					
Elementos horizontales					
Elementos no estructurales					

4.5 Sistema de recolección de aguas servidas

1. Conexiones aguas servidas mpio.
2. Conexiones improvisadas
3. No son recogidas

4.6 Reparación de daños anteriores

1. Total
2. Parcial
3. No se han reparado
4. No hay daños

Sección 5. CONDICIONES DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA EN EL PREDIO

5.1 Zonas o escenarios de exposición

Zona 1. Elementos ubicados sobre la zona estable en la parte superior del talud, sin posibilidad de afectación por retrogresión

Zona 2. Elementos ubicados sobre una ladera potencialmente inestable, o potencialmente afectados por efectos de retrogresión

Zona 3. Elementos ubicados en la trayectoria del movimiento en masa o en la zona de depósito del material deslizado

Zona 4. Elementos fuera del alcance del movimiento en masa y su área de depositación

Sección 6. FOTOGRAFÍAS-ESQUEMAS DE DETALLE

Sección 7. COMENTARIOS Y OBSERVACIONES

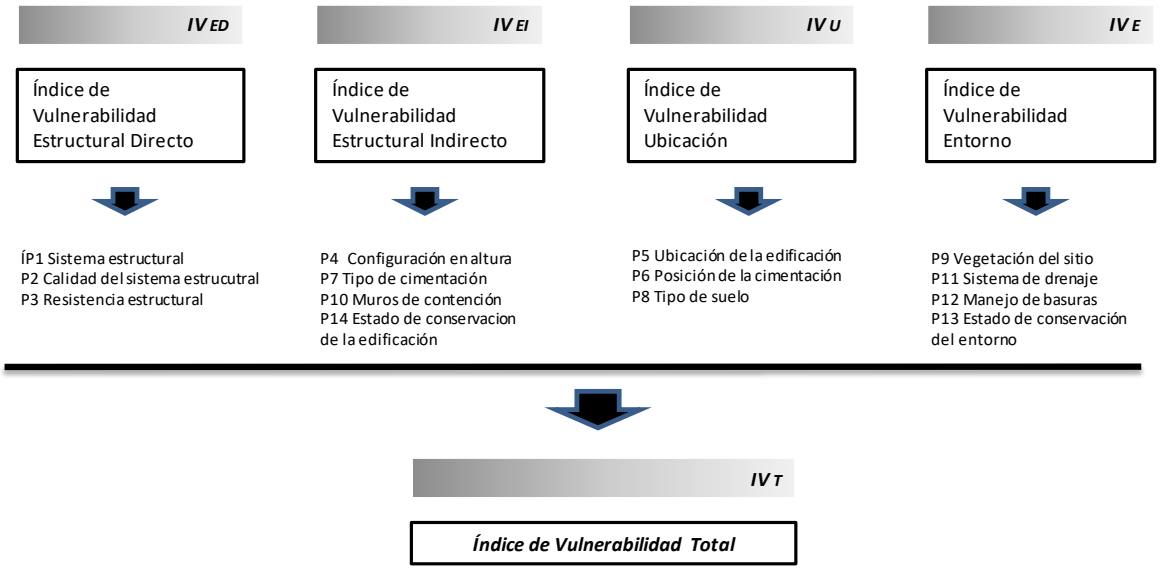
8 - EVALUADOR

1. Nombre y apellidos _____
2. Fecha y número de formato _____

2.1.12. DEFINICIÓN DEL MODELO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD

La vulnerabilidad se define cuantitativamente como la susceptibilidad de los elementos vulnerables a sufrir daños debido a los efectos de movimientos en masa.

El método propuesto constituye una descripción completa de la información necesaria para la obtención de una expresión cuantitativa de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones denominada Índice de vulnerabilidad. Luego, la vulnerabilidad se estimará a partir de un índice de vulnerabilidad el cual relaciona los grados de vulnerabilidad de los parámetros que más influyen en la vulnerabilidad de las edificaciones y sus valores de importancia dentro del estimativo total de vulnerabilidad. Los parámetros considerados se asocian de acuerdo a las características propias de las estructuras, a su ubicación y a factores de entorno. A su vez, el aporte asociado a aspectos estructurales puede ser directo e indirecto.



Esquema de la definición del modelo del índice de vulnerabilidad.

El modelo se basa en la estimación de un índice de vulnerabilidad total (IVT) el cual es la contribución de cuatro estimativos de índices de vulnerabilidad parciales; uno asociado a los aspectos directos (IVED), otro a los estructurales indirectos (IVEI), otro a los aspectos de localización de las edificaciones (IVL) y finalmente uno asociado a los aspectos de entorno (IVE). Cada uno de ellos se encuentra en un rango de 0 (nada vulnerable) a 1 (absolutamente vulnerable).

Cada índice se estima a partir de las calificaciones de las diferentes condiciones de calidad de los parámetros seleccionados, Ki (A, B, C y D) y los valores de importancia de cada uno de los parámetros dentro de la determinación de la vulnerabilidad sísmica total de la edificación, Wi, los cuales se representan a partir de números difusos dada la ambigüedad en su definición (Zadeh, 1965; Chakroborty y Kikuchi, 1990; Chao y Ayyub, 1995; Maldonado 2000b y 2000c). La aritmética difusa (Bandemer y Gottwald, 1995; Tee et. al., 1988) se emplea para relacionar las calificaciones de cada parámetro y sus respectivos valores de importancia. El método propuesto de combinación de varias piezas de información difusas, con desigual importancia o pesos, es el factorial y es el que se utiliza para calcular el índice de vulnerabilidad de viviendas, expresándose como:

$$I.V. = 1 - \prod_{i=1}^{n}(1 - \varepsilon_i) \qquad (10)$$

$$\varepsilon_i = K_i * W_i \qquad (27)$$

Donde I.V. es el índice de vulnerabilidad; ε_i es el iésimo del n Factor de Vulnerabilidad (cada uno definido en el rango de [0,1]); K_i es el grado de vulnerabilidad de la categoría del parámetro i; W_i es una medida de la importancia asociada al parámetro i respecto a los demás parámetros y n es el número de parámetros del modelo.

De esta forma cada uno de los índices se determinará de la siguiente manera:

IVED= Índice de vulnerabilidad estructural directa

$$I.V_{ED} = 1 - \prod_{i=1}^{n}(1 - \varepsilon_i) \qquad (11)$$

Los parámetros que están asociados a este índice son los correspondientes al sistema estructural, a la calidad y a la resistencia estructural.

IVEI= Índice de vulnerabilidad estructural indirecta

$$I.V_{EI} = 1 - \prod_{i=1}^{n}(1 - \varepsilon_i) \qquad (12)$$

En este índice estarán los parámetros asociados con: configuración en altura, tipo de cimentación, muros de contención y estado de conservación.

IVL= Índice de vulnerabilidad por localización

$$I.V_L = 1 - \prod_{i=1}^{n}(1 - \varepsilon_i) \qquad (13)$$

En este índice se considerarán los parámetros asociados a la localización, al nivel de cimentación y al tipo de suelo donde se encuentre la edificación.

IVE= Índice de vulnerabilidad por entorno

$$I.V_L = 1 - \prod_{i=1}^{n}(1 - \varepsilon_i) \qquad (14)$$

En este índice se consideran los parámetros que formar parte del entorno de la edificación pero que están directamente relacionados con ellas y cuya afectación pueden alterar su vulnerabilidad. Luego, los parámetros asociados a este grupo son: vegetación del sitio, sistema de drenaje, manejo de basuras y conservación del entorno.

IVT= Índice de vulnerabilidad total

Para la estimación del índice de vulnerabilidad total se realizará de siguiente manera se tomará el aporte de los anteriores índices de la siguiente manera:

a. Escoger el mayor valor entre los índices de vulnerabilidad estructural directa IVED y el índice correspondiente a la ubicación, IVL.
b. Se tomarán los índices de vulnerabilidad restante y se realizara un promedio de ellos.
c. Finalmente, el índice de vulnerabilidad total corresponderá:

$$I.V_T = IV_{ED\,o\,L} - \left[1 + 0.2\frac{IV_{EI} + IV_E}{2}\right] \qquad (15)$$

2.1.13. Variables lingüísticas utilizadas

En la definición de los grados de vulnerabilidad de los parámetros del modelo y de los valores de importancia a partir de números difusos fue necesario definir adecuadamente las variables lingüísticas para describir los diferentes grados de vulnerabilidad y valores de importancia.

Estas variables lingüísticas fueron utilizadas para calificar cada una de las condiciones de calidad impuestas a cada parámetro y para definir el peso de cada parámetro dentro de la estimación de la vulnerabilidad total de la estructura. Así pues, las variables lingüísticas naturales seleccionadas para calificar los grados de vulnerabilidad fueron nada, poco, medianamente, muy y absolutamente vulnerable. Cada una de estas variables requiere de la asignación de un valor numérico, que se escoge arbitrariamente en una escala comprendida entre 0 y 1. Los valores numéricos asignados a cada variable para la recopilación de la información de los expertos son:

- 0 Vulnerabilidad muy baja
- 0,3 Vulnerabilidad baja
- 0,5 Vulnerabilidad media
- 0,7 Vulnerabilidad alta
- 1 Vulnerabilidad muy alta

En esta investigación, los conjuntos difusos que representan las variables relativas al grado de vulnerabilidad, se asumen como:

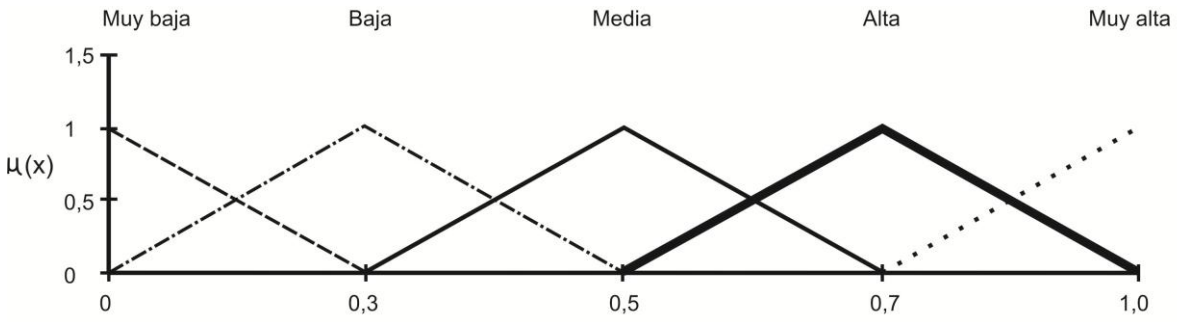
- Muy baja= {1|0 , 0|0.3}
- Baja= {0|0 , 1|0.3 , 0|0.5}
- Media = 0|0.3 , 1|0.5 , 0|0.7}
- Alta = {0|0.5 , 1|0.7 , 0|1}
- Muy alta = {0|0.7 , 1|1 }

Siendo de la forma:

$$y = \{\mu_{(x)}|x\} \qquad (16)$$

Donde $\mu_{(x)}$ denota el grado de pertenencia de x, definiendo x como el universo de la vulnerabilidad de la edificación en los conjuntos difusos.

La representación gráfica de las funciones de pertenencia de las variables lingüísticas utilizadas en este estudio se muestra en la figura:



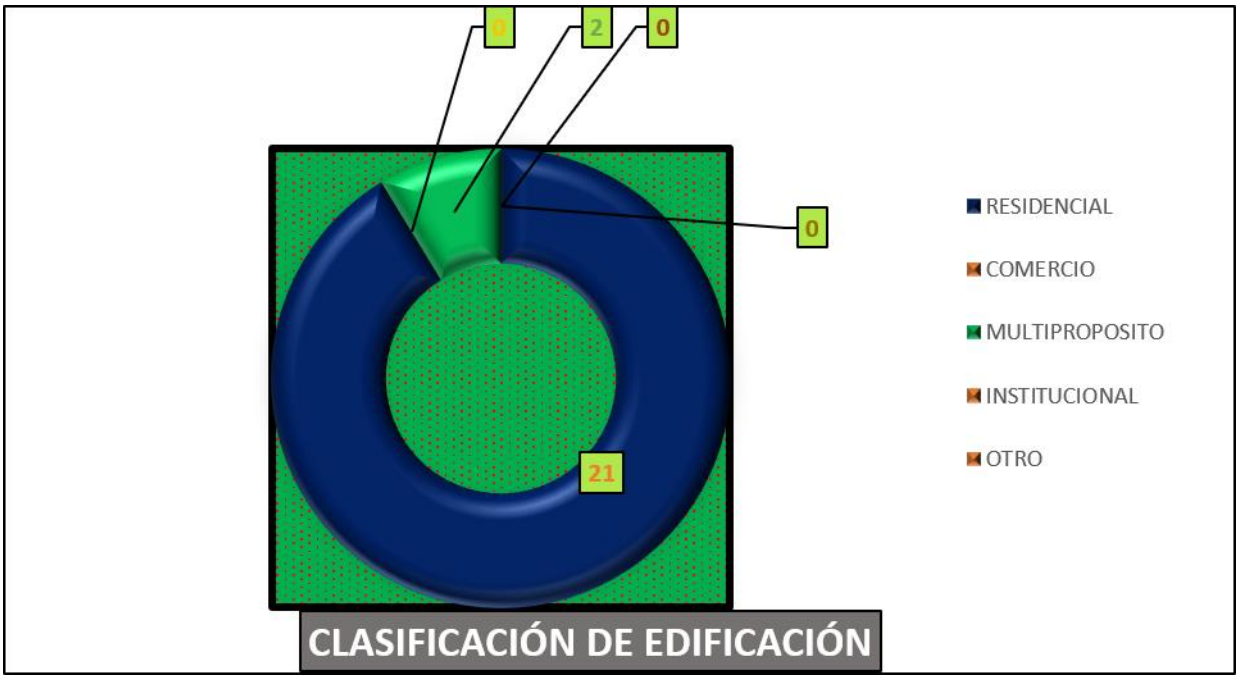
Funciones de pertenencia de las variables lingüísticas nada, poco, medianamente, muy y absolutamente vulnerable.

2.1.14. INDICE DE VULNERABILIDAD

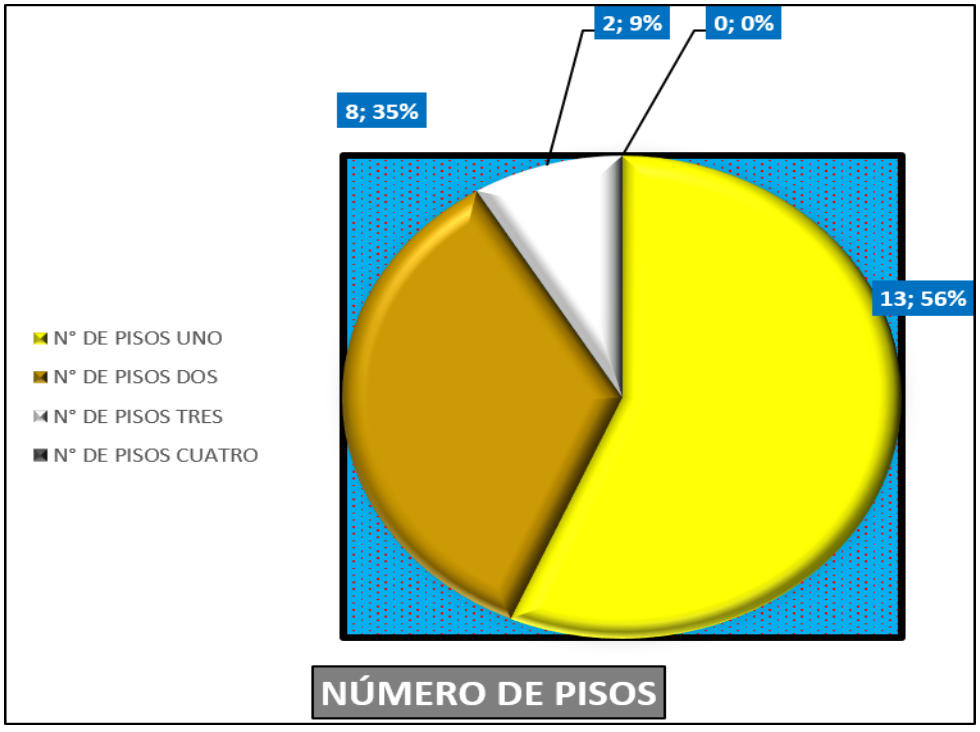
A partir de la evaluación de los parámetros de la muestra total y de la aplicación del modelo de índice de vulnerabilidad propuesto en la guía metodología de estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa escala detallada, Convenio especial de cooperación 020 de 2013- Servicio Geológico Colombiano (SGC) y Universidad Nacional de Colombia (UNAL), se obtuvo los siguientes resultados:

INDICE DE VULNERABILIDAD
N° DE EDIFICACIONES
23

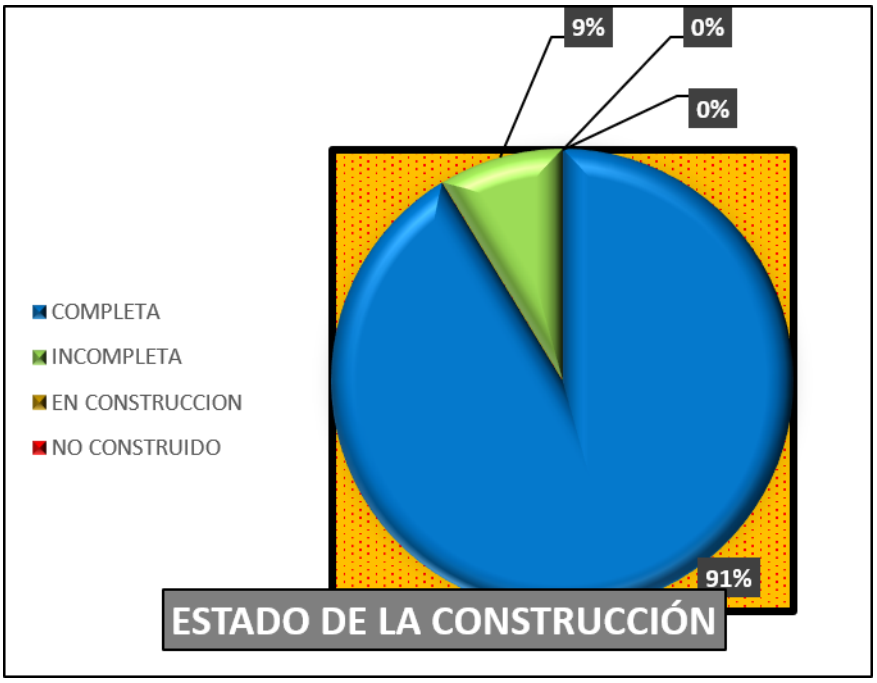
❖ **CLASIFICACION DE EDIFICACION:**



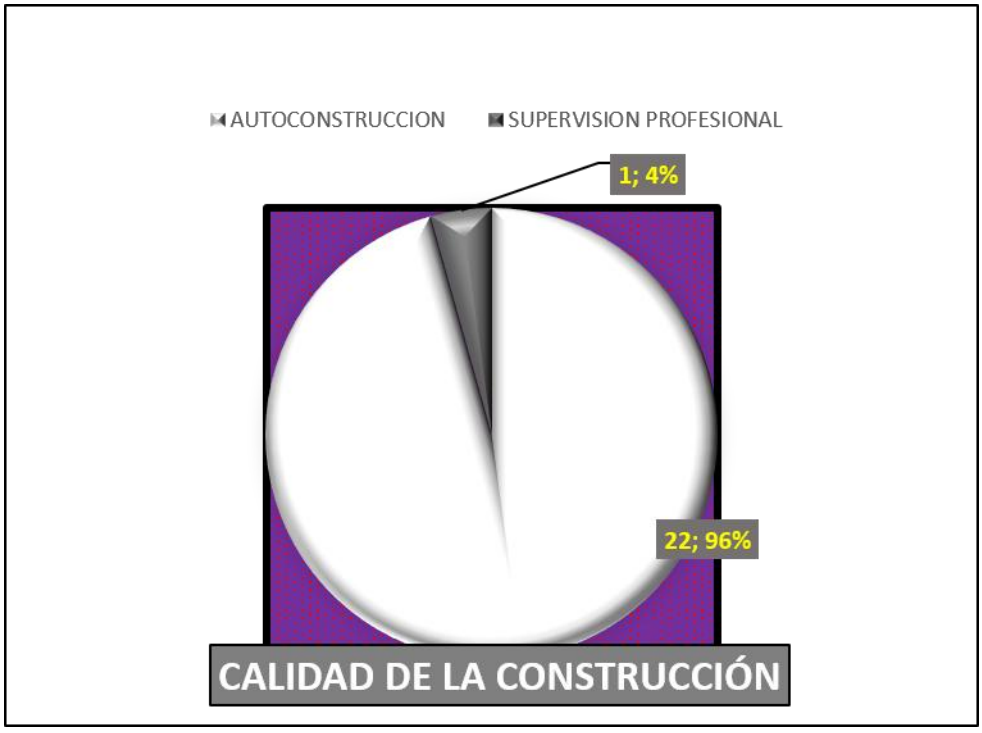
❖ **N° DE PISOS:**



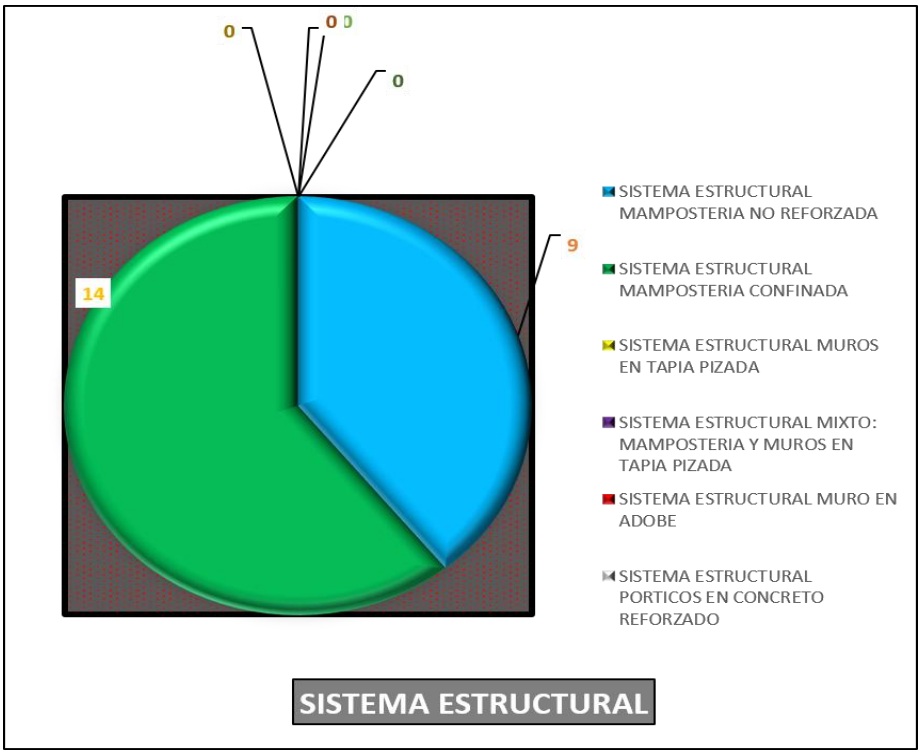
❖ ESTADO DE LA CONSTRUCCIÓN



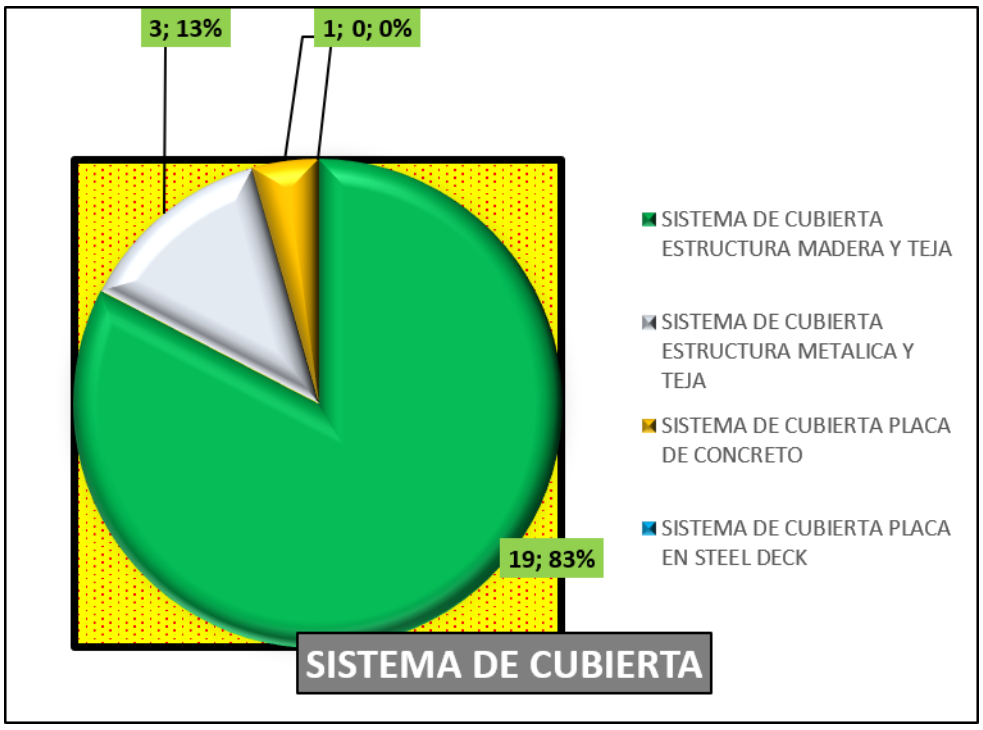
❖ CALIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN



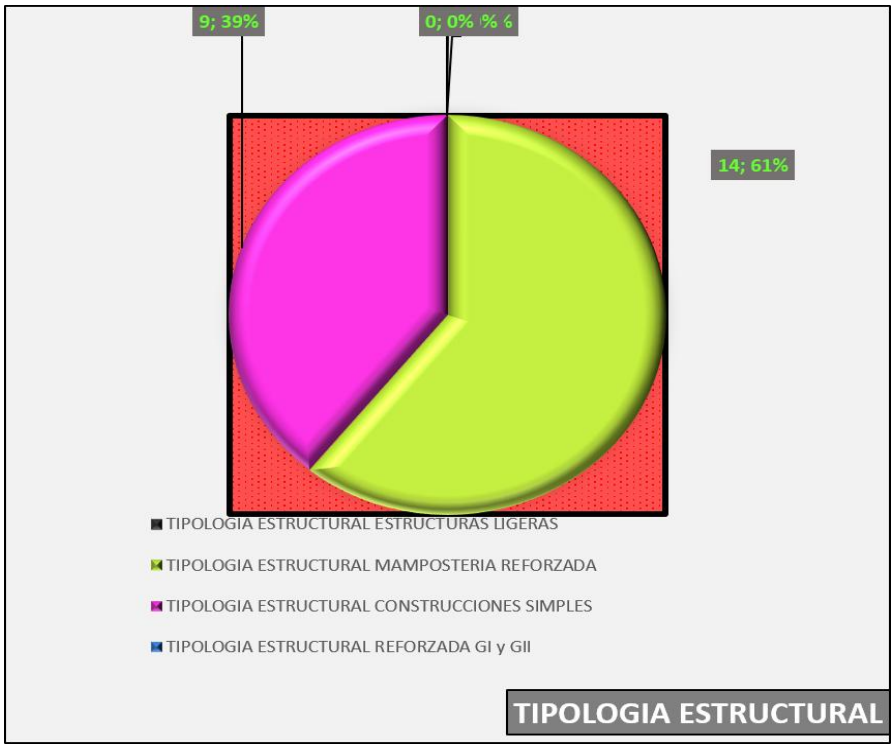
❖ SISTEMA ESTRUCTURAL



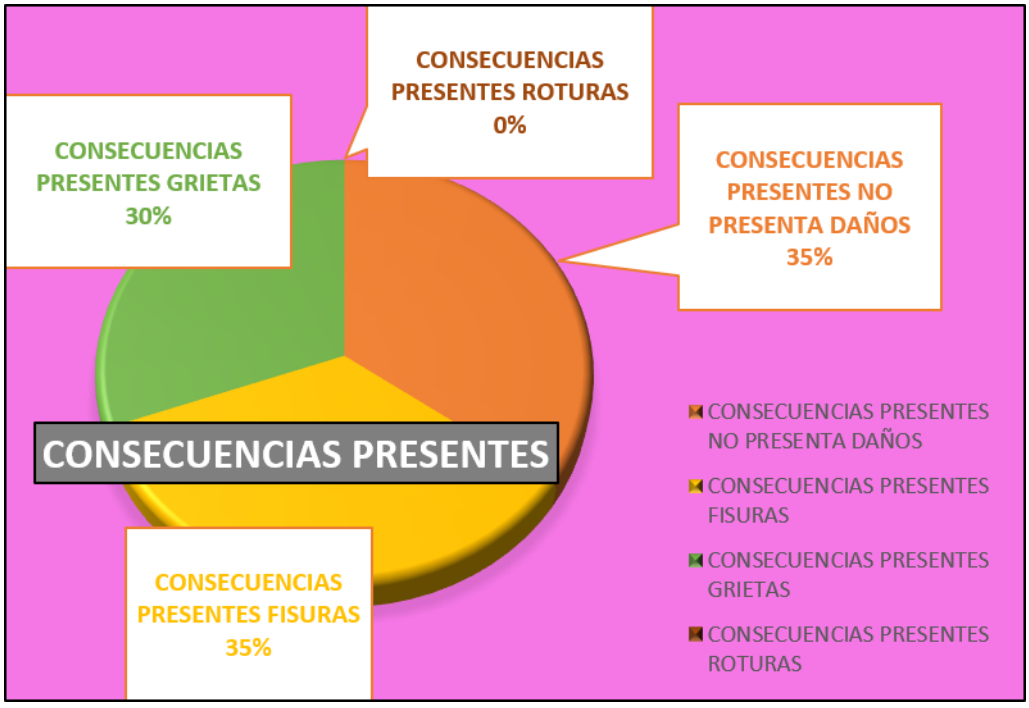
❖ SISTEMA DE CUBIERTA



❖ TIPOLOGIA ESTRUCTURAL



❖ CONSECUENCIAS PRESENTES

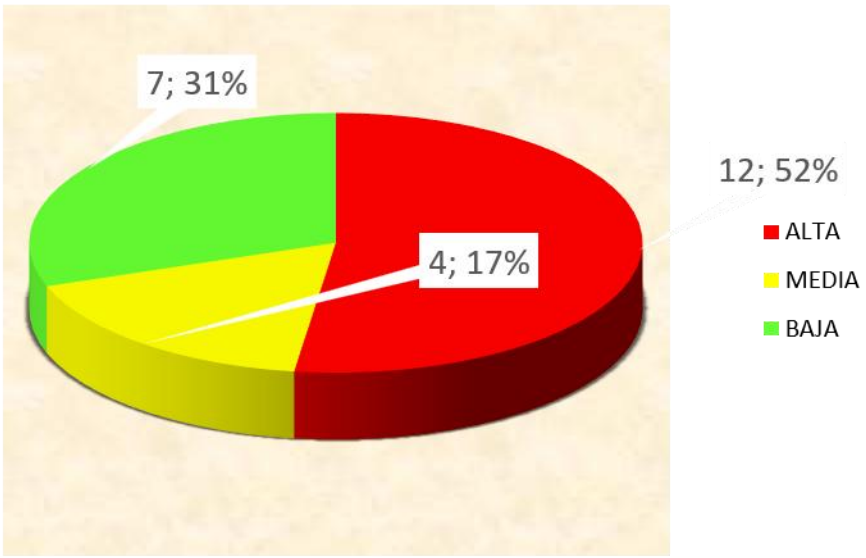


2.2. VULNERABILIDAD FISICA

Tabla 2: Resultado de Vulnerabilidad física por Movimientos en masa.

ÍNDICE DE VULNERABILIDAD		N° DE EDIFICACIONES	INDICE
	Vulnerabilidad Baja	7	0
	Vulnerabilidad Media	4	0,3
	Vulnerabilidad Alta	12	0,7
	TOTAL	23	

El índice de vulnerabilidad total de la muestra de las edificaciones de la zona aferente al proyecto nos enseña una distribución proporcional de los dos índices correspondientes a vulnerabilidad estructural, el predominio de la vulnerabilidad estructural alta corresponde principalmente a las edificaciones ubicadas sobre los taludes, razón por la cual debemos entender que el parámetro de ubicación de la edificación es el que tiene mayor importancia junto con el sistema estructural predominante, en este caso mampostería, en la mayoría de los casos sin confinar, aunque la calidad de los sistemas de mampostería son en gran porcentaje buenos, la zona de estudio presenta edificaciones sin capacidad estructural de resistir un fenómeno natural de alta intensidad debido a que presentan cimentaciones deficientes y mampostería mal dispuesta, de igual forma, como se puede observar en el mapa de vulnerabilidad total y en el porcentaje presentado en tablas y gráficos en el presente numeral, la mayor parte del porcentaje de edificaciones se encuentra en una zona de amenaza alta. Es de resaltar que la falta de obras de contención y estabilización de los taludes sobre los cuales se desarrollan urbanísticamente la gran mayoría de barrios y la sobrepresión sobre dichos taludes que se aumenta en proporción a la nueva aparición de edificaciones, he incluso, a las edificaciones existentes en las que se realizan reformas enfocadas en ampliaciones en altura, implican un aumento considerable en las zonas vulnerables a movimientos en masa.



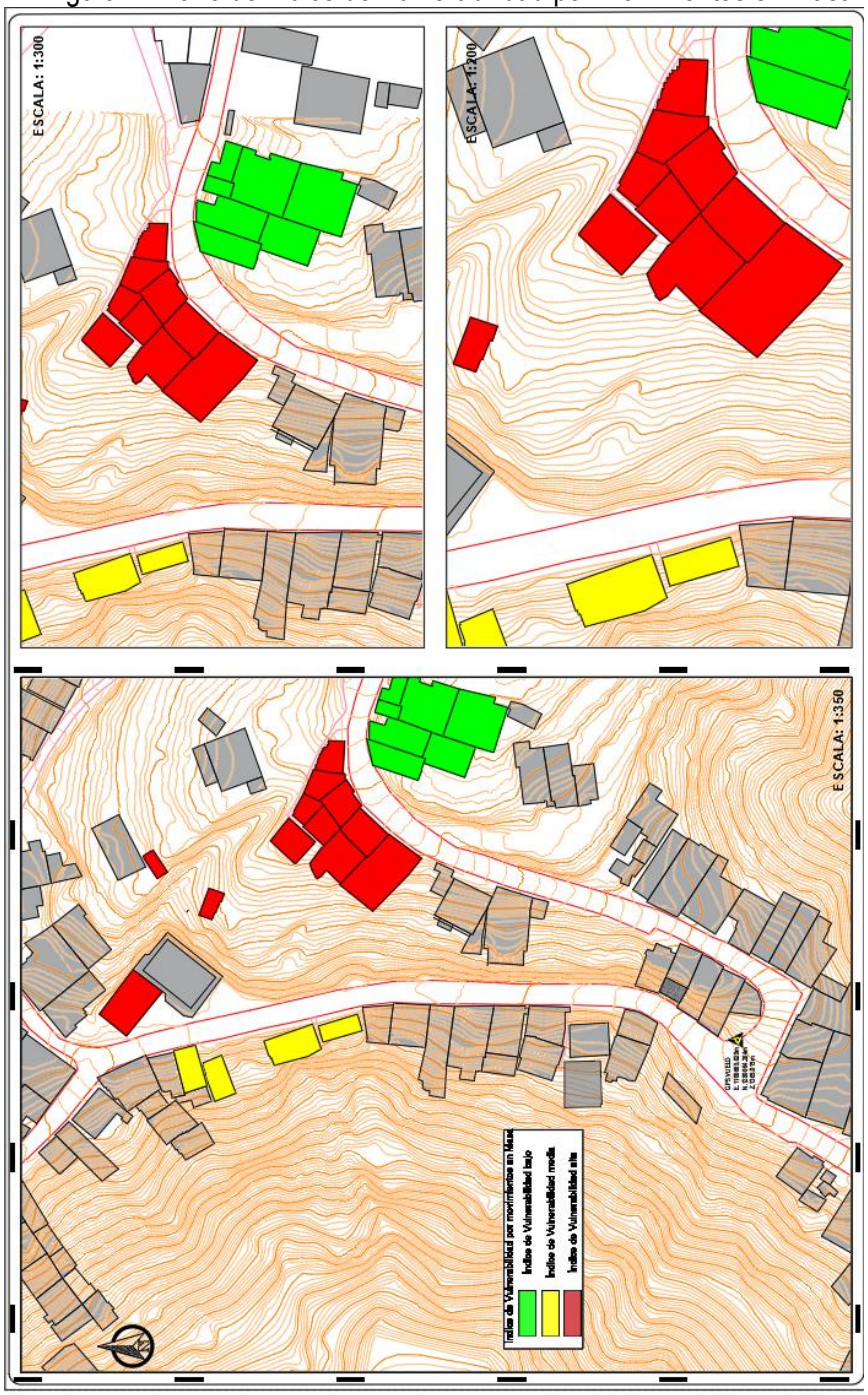
ÍNDICE DE VULNERABILIDAD		N° DE EDIFICACIONES	%
	Vulnerabilidad Baja	7	30,4%
	Vulnerabilidad Media	4	17,4%
	Vulnerabilidad Alta	12	52,2%
	TOTAL	23	

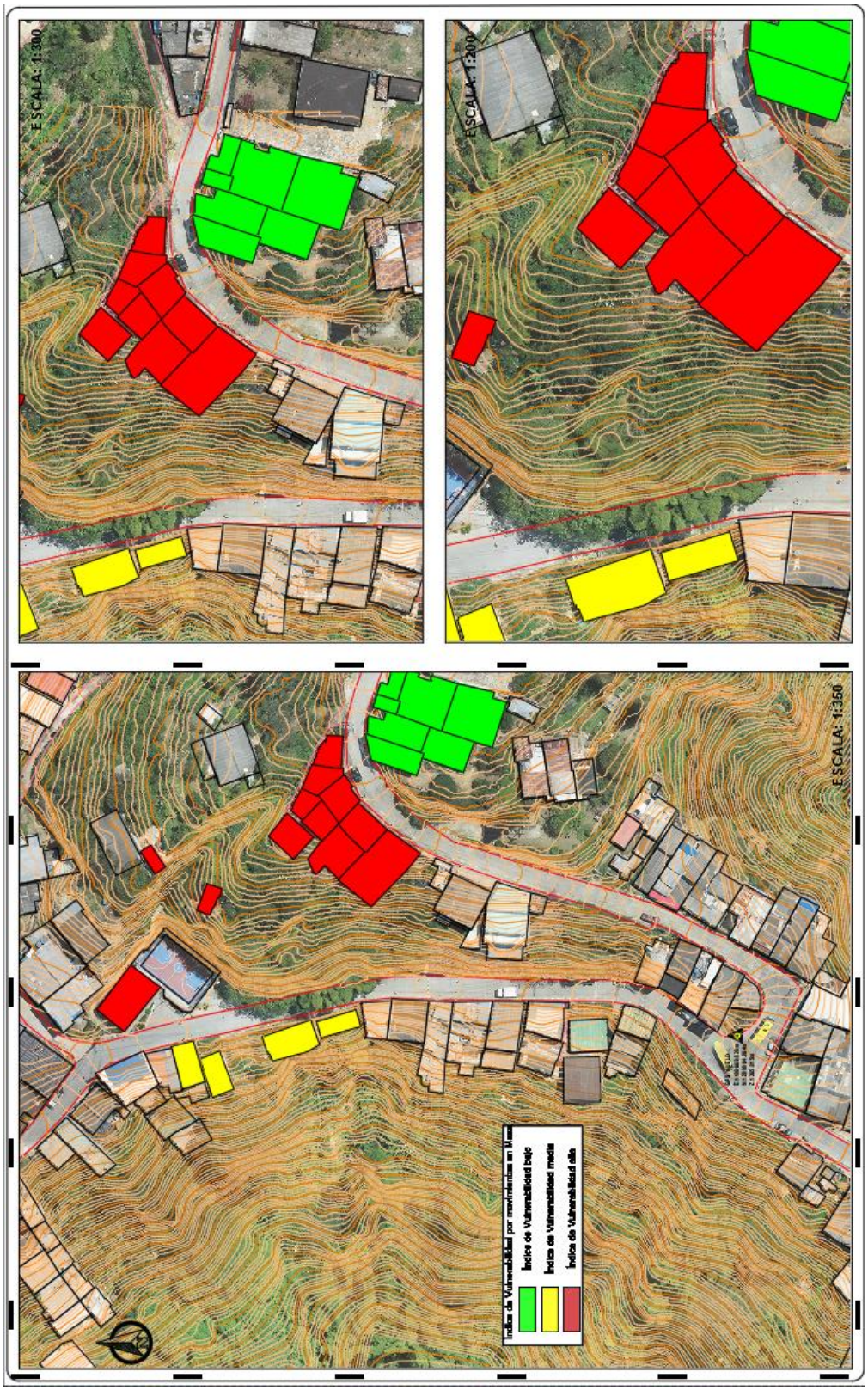
Figura 3. Índice de Vulnerabilidad por movimientos en Masa

La gran mayoría de los barrios del área metropolitana de Bucaramanga que se encuentran emplazados en laderas con pendientes fuertes sufren amenaza alta desde el punto de vista estructural al desarrollarse urbanísticamente sobre las coronas y pies próximos a los taludes, como se muestra en la gráfica de vulnerabilidad, un porcentaje alto (50%) de las edificaciones estudiadas están bajo una vulnerabilidad alta permanente y el (45%) bajo vulnerabilidad media, por lo anterior, es necesario intervenir los taludes con obras de mitigación como lo son drenajes, un buen manejo de las aguas lluvias, muros de contención, pantallas ancladas y en general obras geotécnicas especializadas para estabilizar posibles movimientos del talud desde la pata hasta su corona según los resultados mostrados en el estudio de amenaza.

No obstante, a lo anterior, es necesario indicar que los trabajos a desarrollarse deben tener especial consideración con las edificaciones toda vez que las intervenciones pueden generar su colapso, ya que el sector objeto del proyecto presenta ÍNDICES DE VULNERABILIDAD que en promedio se ubican en **0.7**.

Figura 4. Plano de Índice de Vulnerabilidad por Movimientos en masa.




ESCALA: 1:300
ESCALA: 1:200
ESCALA: 1:350
Índice de Vulnerabilidad por movimientos en Masa
Índice de Vulnerabilidad baja
Índice de Vulnerabilidad media
Índice de Vulnerabilidad alta

3. CONCLUSIONES

- De acuerdo con los resultados obtenidos en la evaluación de vulnerabilidad realizada en el sector Buenavista, se establece que las edificaciones localizadas en el área aferente al proyecto presentan condiciones de vulnerabilidad física que requieren atención prioritaria, asociadas tanto a las características propias de sus sistemas constructivos como a las condiciones geotécnicas y topográficas del terreno donde se encuentran emplazadas. La ubicación de las viviendas sobre laderas de pendientes fuertes, particularmente en proximidad a las coronas y patas de los taludes, constituye un factor determinante en su exposición frente a posibles procesos de inestabilidad y movimientos en masa.

- La evaluación efectuada sobre una muestra de veintitrés (23) edificaciones permitió establecer que el 52,2 % presenta vulnerabilidad alta, correspondiente a doce (12) viviendas; el 17,4 % presenta vulnerabilidad media, equivalente a cuatro (4) viviendas; y el 30,4 % restante presenta vulnerabilidad baja, correspondiente a siete (7) viviendas. Esta distribución evidencia que el 69,6 % de las edificaciones evaluadas se encuentra en categorías de vulnerabilidad media y alta, situación que refleja una condición generalizada de susceptibilidad frente a posibles afectaciones derivadas de movimientos en masa.

- El índice de vulnerabilidad reportado en el estudio, con un valor promedio de 0,7, corresponde a una categoría de vulnerabilidad alta. Este resultado pone de manifiesto que una proporción importante de las edificaciones presenta limitaciones en su capacidad para conservar su integridad física y funcionalidad ante la acción de un fenómeno de inestabilidad del terreno. En consecuencia, las condiciones identificadas requieren que las medidas de mitigación contemplen no solamente la estabilización del terreno, sino también la protección de las estructuras existentes.

- Desde el punto de vista estructural, se identificó una presencia significativa de edificaciones construidas mediante sistemas de mampostería, particularmente mampostería no confinada, así como construcciones que presentan deficiencias en su configuración y disposición estructural.

Estas características pueden reducir la capacidad de las viviendas para responder adecuadamente ante solicitaciones adicionales generadas por desplazamientos del terreno, pérdida de soporte en la cimentación o deformaciones diferenciales del suelo de fundación.

- La tipología estructural predominante, las condiciones de cimentación y el estado de conservación de las edificaciones constituyen factores relevantes en la determinación de su vulnerabilidad. En particular, las cimentaciones deficientes y la limitada capacidad de confinamiento de algunos sistemas de mampostería representan condiciones desfavorables frente a eventuales procesos de desplazamiento del terreno, debido a que pueden favorecer la aparición de fisuras, agrietamientos, inclinaciones, asentamientos diferenciales y, en escenarios de mayor intensidad, pérdida de estabilidad o colapso parcial de las estructuras.

- La localización de las edificaciones constituye uno de los factores de mayor incidencia en la vulnerabilidad identificada. La presencia de viviendas próximas a las coronas y patas de los taludes incrementa su susceptibilidad ante procesos de inestabilidad, particularmente cuando se presentan desplazamientos superficiales o profundos, pérdida de material de soporte y fenómenos de retrogresión. Por lo tanto, la evaluación de las condiciones de seguridad de las edificaciones debe considerar de manera conjunta las características estructurales y la interacción de estas con el comportamiento geotécnico de los taludes.

- De acuerdo con las condiciones identificadas, los posibles mecanismos de afectación sobre las edificaciones comprenden la pérdida de soporte del terreno de fundación, los asentamientos diferenciales, las deformaciones progresivas, las inclinaciones de elementos estructurales y los agrietamientos en muros y demás componentes constructivos. En escenarios de movimientos en masa de mayor magnitud o velocidad, estos mecanismos podrían evolucionar hacia daños estructurales severos e incluso el colapso de las viviendas, dependiendo de la intensidad del fenómeno y de la capacidad de resistencia de cada edificación.

- La ausencia o insuficiencia de obras de contención, estabilización y manejo adecuado de las aguas en los taludes representa una condición desfavorable para la estabilidad del sector. En

este sentido, el manejo de las aguas superficiales y de infiltración constituye un aspecto fundamental, dado que la concentración y circulación descontrolada de escorrentías puede contribuir al deterioro de los materiales que conforman los taludes y favorecer condiciones propicias para el desarrollo de procesos de inestabilidad.

- La intervención geotécnica del sector constituye una medida necesaria para reducir las condiciones de amenaza asociadas a los movimientos en masa y disminuir la exposición de las viviendas localizadas en el área de influencia. Las obras deberán responder a las condiciones particulares de estabilidad de los taludes y contemplar, según los resultados de los estudios y diseños correspondientes, sistemas de drenaje, manejo de aguas lluvias, estructuras de contención y demás soluciones geotécnicas requeridas para mejorar las condiciones de estabilidad de los taludes.

- Las obras de mitigación deberán ejecutarse considerando expresamente la condición de vulnerabilidad de las edificaciones existentes. Las actividades constructivas, especialmente aquellas relacionadas con excavaciones, perforaciones, instalación de anclajes, construcción de estructuras de contención y modificaciones en las condiciones de confinamiento del terreno, pueden generar solicitaciones o alteraciones sobre el suelo de fundación de las viviendas. Por esta razón, resulta indispensable implementar procedimientos constructivos controlados, secuencias de intervención técnicamente definidas y medidas de seguimiento que permitan identificar oportunamente cualquier manifestación de deformación o afectación estructural.

- Se considera necesario realizar un registro detallado del estado físico de las edificaciones antes del inicio de las obras, mediante inspecciones visuales y registros fotográficos individualizados que permitan establecer las condiciones iniciales de cada inmueble. Este registro deberá servir como referencia para el seguimiento durante la ejecución de las intervenciones y para la identificación de posibles cambios en el comportamiento de las estructuras, particularmente en lo relacionado con la aparición o evolución de fisuras, grietas, asentamientos, desplomes y demás manifestaciones asociadas a movimientos del terreno.

- El análisis de vulnerabilidad desarrollado constituye una herramienta para identificar y caracterizar las condiciones de susceptibilidad de las edificaciones frente a los movimientos en masa. Sin embargo, sus resultados deben interpretarse en conjunto con los estudios de amenaza y las condiciones particulares de exposición del sector, teniendo en cuenta que el índice de vulnerabilidad representa el grado de afectación potencial de los elementos evaluados y no constituye, por sí solo, una estimación de la probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento ni del nivel de riesgo total.

- Los resultados obtenidos para las veintitrés (23) edificaciones evaluadas permiten establecer una condición representativa del sector crítico objeto de análisis; no obstante, las características constructivas y las condiciones de emplazamiento pueden presentar variaciones entre predios. Por consiguiente, las decisiones relacionadas con intervenciones específicas, medidas de protección o eventuales restricciones de uso deberán considerar las condiciones particulares de cada edificación y su relación espacial con los taludes intervenidos.

- Se recomienda que, durante y después de la ejecución de las obras de mitigación, se mantenga un seguimiento técnico de las condiciones geotécnicas y estructurales del sector. Este seguimiento deberá permitir verificar el comportamiento de los taludes, el funcionamiento de los sistemas de drenaje y la respuesta de las edificaciones localizadas en el área de influencia, con el propósito de identificar oportunamente posibles procesos de deformación o comportamientos que requieran medidas correctivas.

- Una vez finalizadas las obras de estabilización y mitigación, se deberá actualizar la evaluación de vulnerabilidad por movimientos en masa de las veintitrés (23) viviendas que conforman el sector crítico del barrio Buenavista. Esta actualización permitirá establecer los cambios en las condiciones de exposición y susceptibilidad de las edificaciones frente a los escenarios de inestabilidad considerados, así como determinar la efectividad de las intervenciones ejecutadas. Para ello, será necesario verificar las condiciones finales de los taludes, el funcionamiento de las obras geotécnicas y la evolución del estado físico de las estructuras.

- Finalmente, los resultados del presente estudio permiten concluir que la problemática identificada en el sector Buenavista no corresponde exclusivamente a las condiciones individuales de las edificaciones, sino a la interacción entre las características constructivas de las viviendas, su localización sobre terrenos de pendiente y las condiciones de estabilidad de los taludes circundantes.

- De acuerdo a lo anterior, la reducción de la vulnerabilidad requiere un enfoque integral que articule las intervenciones geotécnicas, el control de las aguas superficiales y de infiltración, el seguimiento de las estructuras existentes y la implementación de medidas de prevención que eviten el incremento de las cargas y las intervenciones no controladas sobre las laderas.

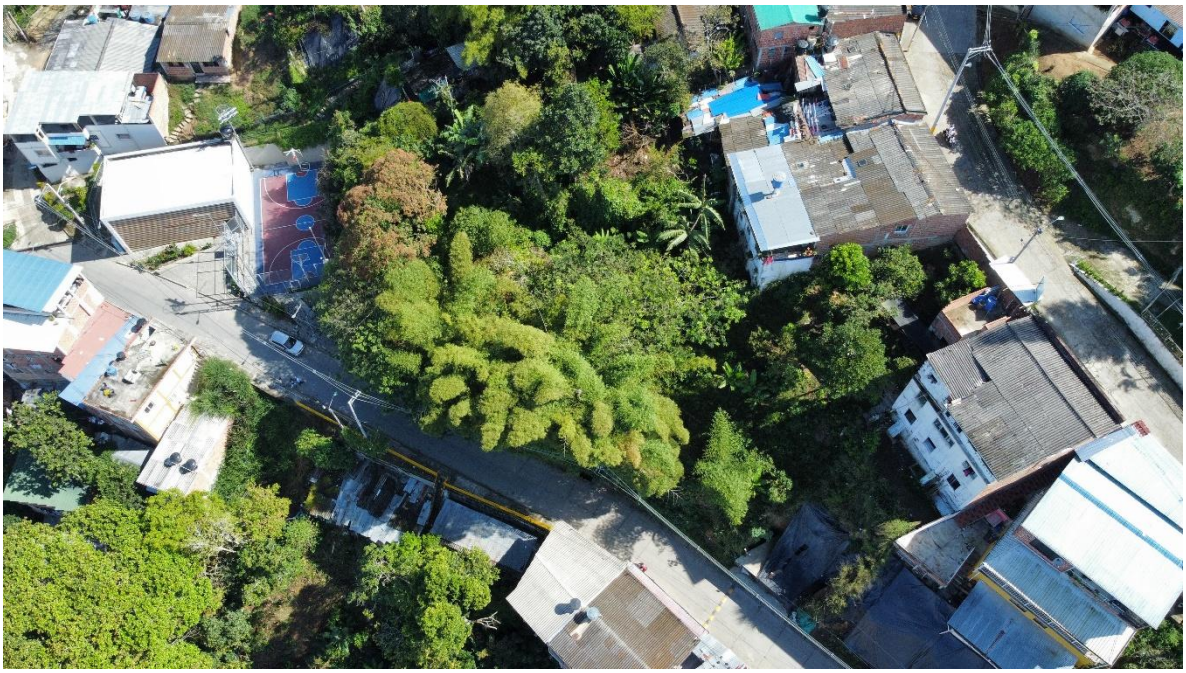
- De acuerdo con el análisis de VULNERABILIDAD para la zona donde se va a desarrollar el proyecto, se encuentra que las edificaciones aferentes a este presentan un INDICE DE VULNERABILIDAD ALTA.

- Dado que el índice de vulnerabilidad es ALTO, por encontrase en la zona 2 en donde los Elementos ubicados sobre una ladera potencialmente inestable o potencialmente afectados por efectos de retrogresión, es posible esperar Colapso o daños instantáneos debido a pérdida de soporte (Suelo). Asentamientos diferenciales, inclinaciones y agrietamientos asociados con movimientos lentos; colapso de la estructura asociado con movimientos rápidos, entre otras perturbaciones.

- De acuerdo con la evaluación de Vulnerabilidad, se encuentra que las edificaciones aferentes a la zona del proyecto Presentan Categorización de Vulnerabilidad física ALTA, tanto por sus condiciones constructivas, como por las condiciones donde se localizan, ya que la mayoría se encuentra en zona de pendientes fuertes y sobre la corona o pata de los taludes, condición que las hace aún más susceptibles al colapso tanto por condiciones naturales como sismos y movimientos en masa.

4. REGISTRO FOTOGRÁFICO







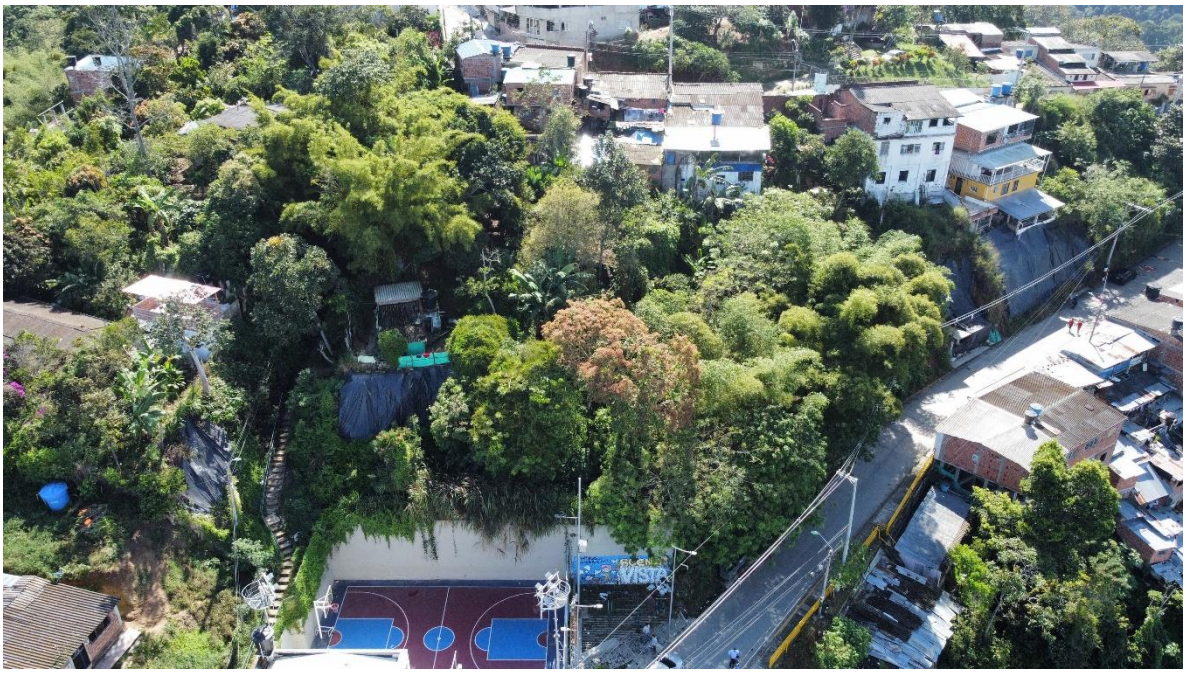


















5. BIBLIOGRAFIA

Bloom, A. 2004. Geomorphology: A systematic analysis of Late Cenozoic landforms. Waveland Pr Inc, Third edition, 482 p.

BUENO y SOLARTE, 1994. Geología, geotecnia y comportamiento erosivo de las áreas de reserva forestal de Bucaramanga. Proyecto de grado (inédito). UIS, Escuela de Geología. Bucaramanga, Santander. Vol. 1, 140 Págs.

Cediel, F. 1968. El Grupo Girón una molasa mesozoica de la Cordillera Oriental: Servicio Geológico Nacional (Colombia), Bol, Geológico, v. XVI, p. 5-96.

De Porta, J., 1959. La terraza de Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander (Colombia), Bol de Geología, N°3, p. 3-13

Diederix, H., Torres, E., Hernández, C. y Botero, P. 2008. Modelo de evolución morfotectónica cuaternaria basado en evidencias estructurales, neotectónicas, y paleosismológicas de los principales sistemas de falla en la región de Bucaramanga. INGEOMINAS, 84 p.

Etayo,. *et al.*, 1983. Mapa de terrenos geológicos de Colombia. Publicaciones geológicas especiales INGEOMINAS, (14-I): 235 p.

Hettner A., 1892. Die Kordillere von Bogotá: Gotha, Patermans Mitteil., Bd. 22, Erganzungsheft 104, 131 p.

Guía para la construcción de indicadores de gestión (2012), Departamento Administrativo de la Función Pública.

Guía Metodológica para la elaboración de Planes Departamentales para la Gestión del Riesgo.

Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. (2016).

Guía Metodológica para la formulación de indicadores (2009), Departamento Nacional de Planeación.

Plan de Ordenamiento y Manejo Ambiental Sub-Cuencarío Suratá, 2007.

Plan de Ordenamiento Territorial municipio de Bucaramanga. 2013-2027, disponible en: http://www.bucaramanga.gov.co/Contenido.aspx?Param=56

Vulnerabilidad (2004), Oficina de las Naciones Unidas para la prevención y atención de desastres, Disponible en: http://www.unisdr.org/2004/campaign/booklet-spa/page8-spa.pdf.

Rodríguez Ernesto, (2005), Metodología de la investigación, la creatividad, el rigor del estudio y la integridad son factores que transforman al estudiante en un profesionista de éxito.

Ministerio de Minas y Energía, Servicio Geológico Colombiano SGC, Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, (2016) 182 paginas.

1108600.000 1108640.000 1108680.000 1108720.000

1280240.000 1280200.000 1280160.000 1280120.000 1280080.000 1280040.000

Índice de Vulnerabilidad por movimientos en Masa

- Índice de Vulnerabilidad bajo
- Índice de Vulnerabilidad media
- Índice de Vulnerabilidad alta

GPS VUELO
E.1108669.029m
N.1280064.264m
Z.1365.015m

ESCALA: 1:350

ESCALA: 1:300

ESCALA: 1:200

SECTOR CRÍTICO: ÍNDICE DE VULNERABILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA	**PROYECTO:** CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO PARA EL CONTROL DE LA EROSIÓN EN ZONAS PRIORIZADAS DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA, DEFINIDAS POR LA CDMB, COMO APOYO AL CUMPLIMIENTO DE ÓRDENES, ACCIONES JUDICIALES Y ACTUACIONES PREVENTIVAS DE LOS ÓRGANOS DE CONTROL RELACIONADAS CON LA GESTIÓN DEL RIESGO.
ESCALA: La indicada 0 10.5 21 Metros	**ENTIDAD :** CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA CDMB
PLANO : 01 DE 02	**SUBPROYECTO:** CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE MITIGACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DEL TALUD ZONA NORTE DEL BARRIO BUENAVISTA DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA, SANTANDER

LOCALIZACIÓN



BUCARAMANGA - SANTANDER

ZONA CRITICA



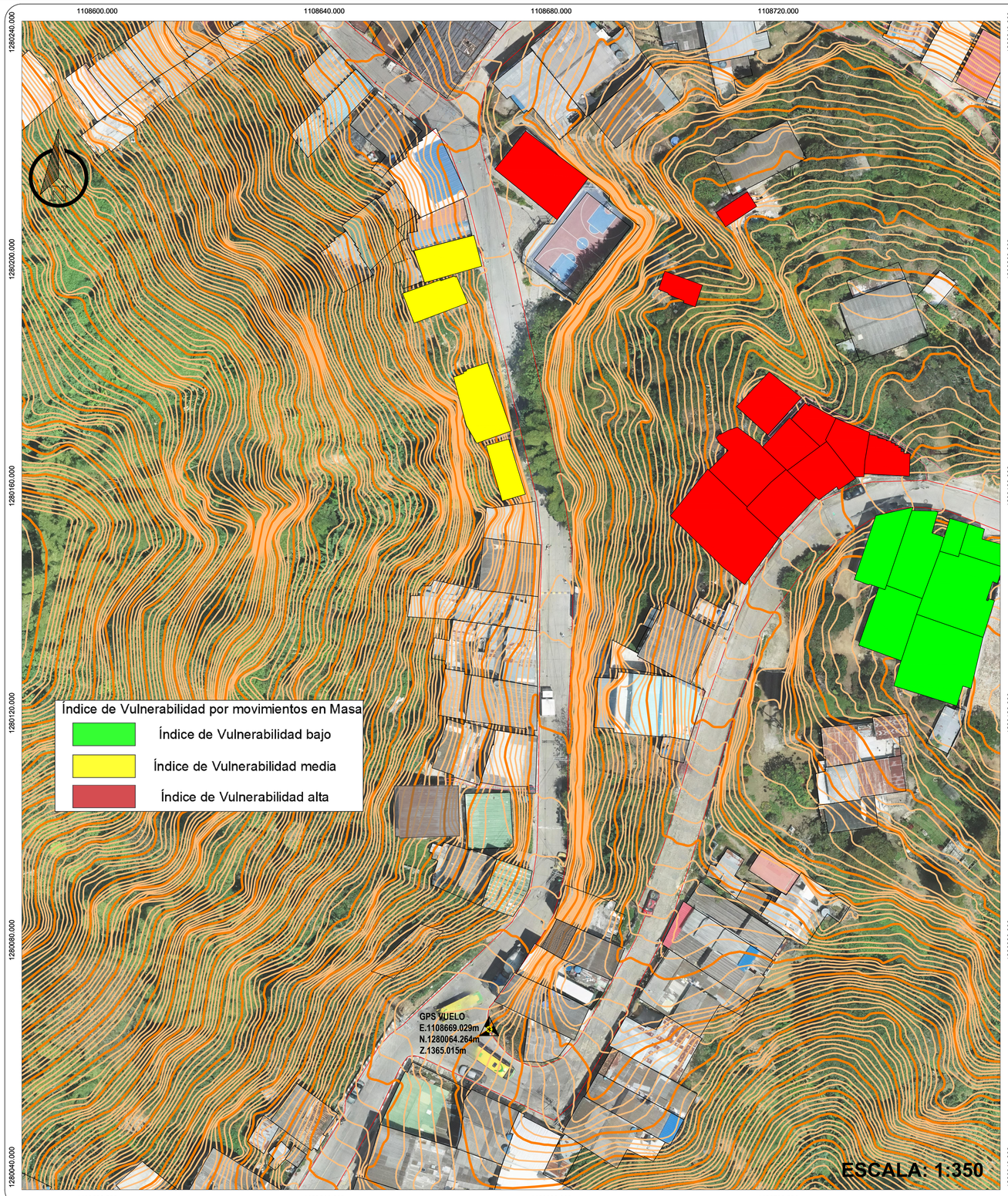
SECTOR BUENA VISTA - BUCARAMANGA

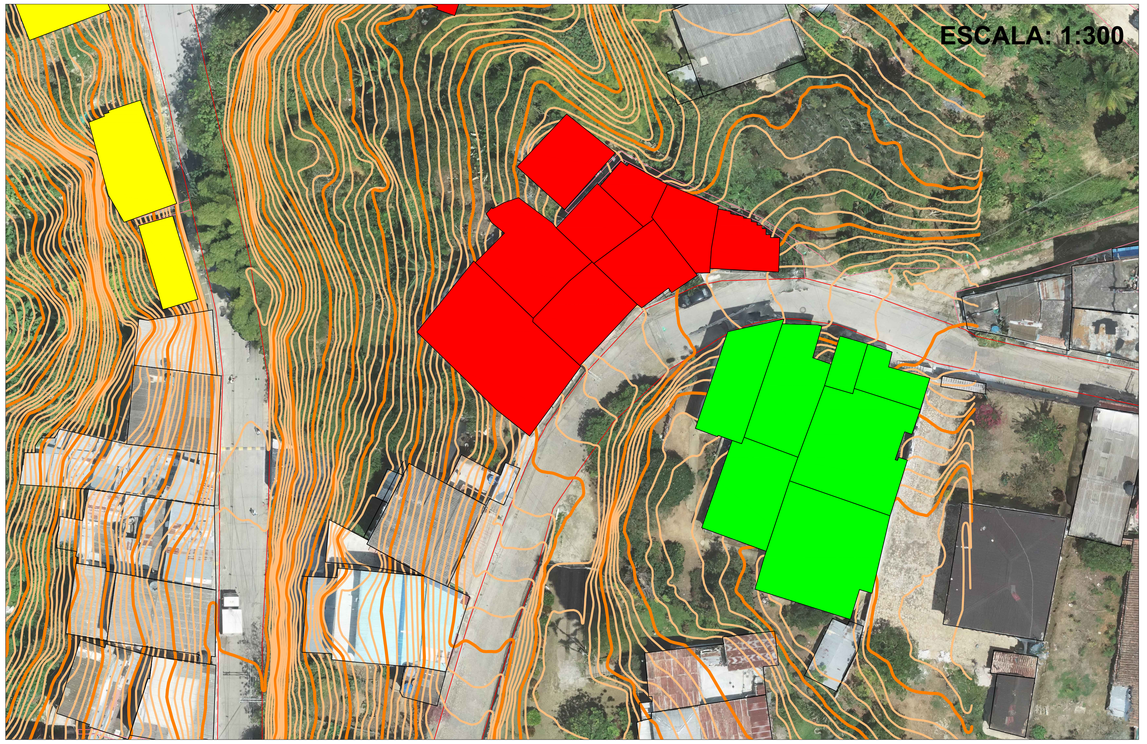
CONVENCIONES

- Paramentos
- Grupo de arboles
- Via
- Camino
- Curvas de nivel
- Cerca
- Drenaje
- Perfil longitudinal
- Secciones Transversales

FECHA : Octubre 2026	**ACOTACIONES :** EN MTS

Subdirección de Gestión del Riesgo y Seguridad Territorial (SURYT)







SECTOR CRÍTICO: ÍNDICE DE VULNERABILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA CON IMAGEN	**PROYECTO:** CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO PARA EL CONTROL DE LA EROSIÓN EN ZONAS PRIORIZADAS DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA, DEFINIDAS POR LA CDMB, COMO APOYO AL CUMPLIMIENTO DE ÓRDENES, ACCIONES JUDICIALES Y ACTUACIONES PREVENTIVAS DE LOS ÓRGANOS DE CONTROL RELACIONADAS CON LA GESTIÓN DEL RIESGO.	**ENTIDAD :** CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA CDMB	**SUBPROYECTO:** CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE MITIGACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DEL TALUD ZONA NORTE DEL BARRIO BUENAVISTA DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA, SANTANDER	**LOCALIZACIÓN** BUCARAMANGA - SANTANDER	**ZONA CRITICA** SECTOR BUENA VISTA - BUCARAMANGA	**CONVENCIONES** Paramentos; Grupo de arboles; Via; Camino; Curvas de nivel; Cerca; Drenaje; Perfil longitudinal; Secciones Transversales
ESCALA: La indicada 0 10.5 21 Metros					**FECHA :** Octubre 2026
PLANO : 02 DE 02					**ACOTACIONES :** EN MTS
					Subdirección de Gestión del Riesgo y Seguridad Territorial (SURYT)