

**ELABORACIÓN DEL MAPA DE PROCESOS MORFODINAMICOS DE
SUSCEPTIBILIDAD A EVENTOS DE REMOCIÓN EN MASA A ESCALA
1: 2000 EN LA ZONA DE PUEBLO HUNDIDO, PUEBLO BELLO, CESAR.**

JACOBO JESUS GUTIERREZ LOPEZ (201310027399)

MARIA CECILIA MESA OCHOA (201310010399)



**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DEL AREA ANDINA – SEDE
VALLEDUPAR**

FACULTAD DE INGENIERIA

INGENIERÍA GEOLÓGICA

2018

**ELABORACIÓN DEL MAPA DE PROCESOS MORFODINAMICOS DE
SUSCEPTIBILIDAD A EVENTOS DE REMOCIÓN EN MASA A ESCALA
1: 2000 EN LA ZONA DE PUEBLO HUNDIDO, PUEBLO BELLO, CESAR.**

JACOBO JESUS GUTIERREZ LOPEZ (201310027399)

MARIA CECILIA MESA OCHOA (201310010399)

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TITULO DE INGENIEROS
GEOLOGOS**

ASESOR TEMATICO: GEOLOGO. LUIS CARLOS TAPIA VELA



**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DEL AREA ANDINA – SEDE
VALLEDUPAR**

FACULTAD DE INGENIERIA

INGENIERÍA GEOLÓGICA

2018

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Fundación Universitaria del Área Andina por la oportunidad de abrirnos la puerta del seno científico que es la institución y de ayudarnos a formar como profesionales integrales, con responsabilidad y ética profesional, al Director del programa de Ingeniería Geológica Detmer Pitre, a nuestro asesor temático el Geólogo Luis Carlos Tapia Vela por dejarnos recurrir a su conocimiento, capacidad científica y por la paciencia en el transcurso de guiarnos en el desarrollo de este proyecto y apoyo absoluto, a la Gobernación del Cesar y a la Oficina Departamental de Gestión del Riesgo de Desastres y Cambio climático, por la oportunidad de permitirnos realizar nuestras pasantías profesionales, a la Jefa de La Oficina María José Páez Díaz, por su entrega y responsabilidad frente al presente trabajo, en especial al Geólogo Gabriel Fernando Rengifo Luque por su entrega, dedicación y consejos que se aplicaron en el desarrollo del proyecto enriqueciéndonos profesional y personalmente, al Ingeniero Freddy Díaz por su apoyo incondicional, a todos los docentes de La Fundación Universitaria que contribuyeron a culminar con éxitos esta etapa de nuestras vidas y a todos nuestros compañeros de clase que gracias al compañerismo y la amistad aportaron a nuestras ganas de seguir adelante en nuestra carrera profesional.

Agradecer a Cabildo Gobernador Arhuaco José María Arroyo y a las autoridades Arhuacas por el apoyo y autorización para el acceso al área de trabajo, agradecimientos al municipio de Pueblo Bello y al Secretario de Gobierno del municipio por el apoyo logístico.

DEDICATORIA

Gracias Dios por la vida, la fuerza y los logros obtenidos; gracias a mi madre, quien vivió día a día cada paso de este trabajo, a mi hermano quien aconsejó y apoyó en cada difícil decisión, y finalmente gracias a toda mi familia, por ser un soporte y fuente de calor incondicional.

Jacobo de Jesús Gutiérrez López

DEDICATORIA

Agradezco a Dios por bendecir mi vida, permitirme brillar con luz propia, tu amor y tu bondad no tiene fin, sonrío ante este logro de tu mano, porque a pesar de las adversidades me levanto con la frente en alto y crezco como ser humano; este proyecto es una bendición, un triunfo que dedico en especial a mi madre, Carolina Leonor Ochoa Quiñones, porque no es solo mío, también es de ella, gracias por estar a mi lado no solo en esta etapa importante de mi vida, sino en todo instante ofreciéndome lo mejor de ti y creando en mí una mujer con base en tus virtudes, honrada, leal y sobre todo temerosa de Dios. A mis hermanos, sobrinos, mi familia, profesores y amigos que aportaron a este proyecto y a mi vida profesional un granito de arena con su conocimiento en mi vida académica y personal.

María Cecilia Mesa Ochoa

CONTENIDO

	Pág.
LISTAS DE FIGURAS	8
LISTAS DE FOTOGRAFÍAS	9
LISTAS DE TABLAS.....	11
LISTAS DE ANEXOS	12
RESUMEN.....	13
INTRODUCCIÓN.....	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	3
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	4
4. ALCANCE	6
5. OBJETIVOS.....	7
5.1. OBJETIVO GENERAL	7
5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
6. MARCO DE REFERENCIA	8
6.1. ANTECEDENTES GEOGRAFICOS	8
6.2. GEOLOGIA.....	10
6.2.1. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL.....	10
6.3. MARCO INVESTIGATIVO	12
6.3.1 ANTECEDENTES	12
6.3.2. PRECIPITACION	14
6.3.3. SISMICIDAD	16
6.4. MARCO LEGAL.....	19
6.4.1. PRESENTACIÓN DE LA EMPRESA	19
7. MARCO TEORICO	26

7.1. TEMA DISCIPLINAR.....	26
7.2. TEMA ESTRATEGICO QUE SE PROPONE EN LA INVESTIGACIÓN....	27
8. MARCO METODOLOGICO.....	29
8.1. TIPO DE INVESTIGACION.....	29
8.3. ESTRATEGIA METODOLÓGICA TÉCNICAS DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.....	32
8.3.1. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	32
8.3.2. TRABAJO DE CAMPO.....	34
8.2.3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS, Y ELABORACIÓN DE MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD.....	40
8.4. POBLACION.....	43
9. MARCO DE RESULTADOS.....	44
9.1. RESULTADOS METODOLOGICOS.....	44
9.1.1. GEOLOGIA LOCAL.....	44
9.1.2. COBERTURA Y USO DEL SUELO.....	53
9.1.3. GEOMORFOLOGÍA.....	60
9.1.4. ENSAYOS DE LABORATORIO Y RESULTADOS.....	77
9.1.2.4. LIMITES (INV- E- 126).....	79
9.1.2.6. PESO UNITARIO (INV-E-217):.....	88
9.2. RESULTADOS INVESTIGATIVOS.....	95
9.2.1. ANÁLISIS DE EROSIONABILIDAD.....	95
9.2.1. CARACTERISTICAS DE LA CARCAVA.....	100
9.2.2. TIPO DE CÁRCAVA.....	107
CONCLUSIONES.....	112
RECOMENDACIONES.....	115
LISTO DE ANEXOS.....	116
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	118

LISTAS DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Localización geográfica del área de estudio.	8
Figura 2: Promedio de la precipitación mensual entre los años 1981 y 2010.	15
Figura 3: Promedio mensual de precipitación durante el año 2017.	15
Figura 4: Curva de amenaza de aceleración máximo del terreno en Valledupar. .	17
Figura 5: Mapa de las zonas de amenazas sísmicas aplicable a edificaciones para NSR-10 según la región norte del país.	18
Figura 6: Organigrama de la estructura de la administración central departamental del Cesar.	22
Figura 7: Organigrama de La oficina departamental para la Gestión del Riesgo de Desastres y Cambio Climático.	23
Figura 8: Flujograma de la metodología empleada en el desarrollo del trabajo.	31
Figura 9: Esquema de Jerarquización geomorfológica propuesto por Carvajal (2003) en INGEOMINAS (2012).	36
Figura 10: Mapa geológico del área analizada en la zona de Pueblo Hundido.	46
Figura 11: Mapa de unidades geológicas para ingeniería, del área analizada en la zona de Pueblo Hundido.	52
Figura 12: Mapa de cobertura vegetal y uso del suelo, del área analizada en la zona de Pueblo Hundido.	59
Figura 13: Mapa de pendientes, del área analizada en la zona de Pueblo Hundido.	61
Figura 14: Mapa de componentes geomorfológicos del área de estudio.	66
Figura 15: Comportamiento de un deslizamiento rotacional, establecido por Cruden y Varnes en 1996.	76
Figura 16: Curva granulométrica de la muestra MJ_001.	84
Figura 17: Curva granulométrica de la muestra MJ_002.	87
Figura 18: Cálculo del ángulo de fricción y la cohesión.	93
Figura 19: Corte de la muestra MJ_001. Esfuerzo vs deformación.	94
Figura 20: Cálculo del ángulo de fricción y la cohesión.	94

Figura 21: Corte de la muestra MJ_002. Esfuerzo vs deformación.	95
Figura 22: Inicio de formación de cárcavas por erosión subsuperficial, Suárez 1992.	104
Figura 23: Avance de formación de cárcavas por erosión subsuperficial, Suárez 1992.	106
Figura 24: Forma de “V” de la cárcava.	108
Figura 25: Mapa producto de procesos morfodinámicos del área de estudio.	111

LISTAS DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1: Limite entre los dos tipos de suelos que se observan en la zona alta de la cárcava, (línea amarilla punteada), de base a techo un suelo de color rojizo y por encima de éste uno de color mucho más oscuro.	49
Fotografía 2: En la siguiente fotografía se delimita los dos estados de la roca analizada, debido a su estado de meteorización y grado de alteración de los minerales formadores de rocas y con una línea roja punteada se representan los diques máficos encontrados.	51
Fotografía 3: Señalización con línea punteada de color rojo de la vía de comunicación entre la comunidad Pueblo Bello y Nabusimake.	54
Fotografía 4: Superficies de suelos cubiertas con pastos, malezas y rastros55	55
Fotografía 5: Zona cubierta de pasto con presencia de árboles.....56	56
Fotografía 6: Área con arbustos y matorrales.57	57
Fotografía 7: Zonas desprotegidas de capa vegetal casi en su totalidad o en su defecto totalmente descubiertas por acción antropogénica o procesos erosivos. .58	58
Fotografía 8: Erosión laminar, detallada en el área de estudio analizada.68	68
Fotografía 9: Erosión laminar, detallada en el área de estudio analizada.68	68
Fotografía 10: Erosión en surcos, detallada en el área de estudio analizada.69	69
Fotografía 11: Erosión en surcos, detallada en el área de estudio analizada70	70
Fotografía 12: Erosión en surcos, detallada en el área de estudio analizada.70	70
Fotografía 13: Erosión en cárcavas, detallada en el área de estudio analizada. ...71	71
Fotografía 14: Erosión en cárcavas, detallada en el área de estudio analizada. ...72	72
Fotografía 15: Caída de suelos, detallada en el área de estudio analizada.73	73
Fotografía 16: Presencia de “talus” provocada por la caída de detritos, detallada en el área de estudio analizada.....74	74

Fotografía 17: Deslizamiento rotacional, detallada en el área de estudio analizada, en la etapa de campo.	76
Fotografía 18: Unidad de Limos Arcillosos, sin cobertura vegetal.	96
Fotografía 19: Comportamiento de un suelo arcilloso, analizado en el Laboratorio de la Fundación Universitaria del Área Andina, sede Valledupar, luego de haber sido sometido a ensayos de peso unitario.	97
Fotografía 20: Avance de la cárcava de la zona de Pueblo Hundido.	102
Fotografía 21: Comportamiento de un suelo arcilloso, analizado en el Laboratorio de la Fundación Universitaria del Área Andina, sede Valledupar, luego de haber sido sometido a ensayos de peso unitario.	103
Fotografía 22: Inicio de formación de cárcavas por erosión subsuperficial en la zona de pueblo Hundio.	105
Fotografía 23: Avance de formación de cárcavas por erosión subsuperficial en la zona de pueblo Hundio.	106
Fotografía 24: Planet de la Cárcava de la zona de Pueblo Hundido.	107
Fotografía 25: Forma de “V” de la cárcava observada en campo.	109

LISTAS DE TABLAS

Tabla 1: Tabla descriptiva de propiedades de las pendientes en un área determinada.	37
Tabla 2: Parámetro de susceptibilidad, SGC (2006). ⁸	41
Tabla 3: Clasificación del perfil de Meteorización, Hong Kong (1979).	47
Tabla 4: Descripción y nomenclatura de los componentes del ambiente denudacional para el área de estudio.	63
Tabla 5: Limite plástico de la muestra MJ_001	80
Tabla 6: Tabla para datos granulométricos, numero del tamiz y abertura correspondiente.	82
Tabla 7: Tabla para datos granulométricos, numero del tamiz, pesos retenidos y porcentajes que pasan.	83
Tabla 8: Tabla para datos granulométricos, numero del tamiz, pesos retenidos y porcentajes que pasan.	86
Tabla 9: Tabla de resultados obtenidos para la muestra MJ_001 en el ensayo de laboratorio de peso específico.....	91
Tabla 10: Tabla de resultados obtenidos para la muestra MJ_001 en el ensayo de laboratorio de peso específico.....	92

LISTAS DE ANEXOS

Anexo 1: Cronograma de Actividades.....116

RESUMEN

En el sector de Pueblo Hundido, al norte del municipio de Pueblo Bello, en el Departamento del Cesar, se encuentra un área que a lo largo de su historia geológica- geotécnica, ha sido afectada por diversos procesos denudativos que

han generado riesgos naturales, consecuentes de los movimientos de remoción en masa, donde actualmente se en el terreno las afectaciones de erosión como lo son los surcos y el constante avance de las cárcavas, sucesos liderados por la exposición del suelo, afectando directamente proporcional a la estabilidad de este, por tanto como Ingenieros Geólogos desarrollamos este proyecto con el objetivo de realizar un mapa el cual provee información de los procesos morfodinámicos que se dan en el área para determinar las zonas de mayor riesgo a procesos de movimientos en masa, utilizando la Guía Metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa del Servicio Geológico Colombiano, cuyo análisis se fundamenta en lo plasmado en la Ley 1523 de 2012 planteando un proceso de análisis, evaluación y mitigación de riesgo. Para fin de este proyecto se plasmó caracterizar las cárcavas, determinar el impacto de estas en cuanto a su degradación, y proponer medidas para su control. Los estudios de campo se realizaron en las áreas l2afectadas por procesos erosivos de carcavamiento en el sector de Pueblo Hundido, permitiendo entonces evaluar las propiedades geo-mecánicas del suelo y así poder plantear unas posibles alternativas de solución o mitigación a la problemática actual en el área de estudio.

Los resultados obtenidos determinan que la cárcava localizada en el sector de Pueblo Hundido, área de estudio del presente proyecto, tiene como primer parámetro de formación las escasas de la vegetación que cubre la zona, la pérdida del horizonte orgánico de los suelos consecuente con la pérdida de propiedades físicas y químicas de la roca protolito, (rocas acidas), el alto contenido de arcillas que alteran su comportamiento debido a las épocas siendo de lluvias o sequias y la afectación directamente proporcional de la precipitación con respecto a la susceptibilidad de desprendimiento de material.

INTRODUCCIÓN

La Oficina Departamental para la Gestión del Riesgo y Cambio Climático, es la entidad pública con propósito de contribuir para el mejoramiento de la calidad de vida de las personas, a través del conocimiento del riesgo, y por medio de esto el manejo y reducción del mismo en relación con fenómenos naturales y socio-naturales. El detalle del estudio permite centrar problemática y servir de insumo para ofrecer soluciones puntuales y directas, información que se utilizará para bien de la comunidad que está siendo afectada, siendo los movimientos en masa procesos en los que se remueve material por la acción de diversos agentes internos y externos dados en la tierra, que normalmente afectan la seguridad de comunidades enteras, por lo que siempre analizar y evaluarlos ha sido tema de discusión para los ingenieros geólogos e interesados en la geotecnia, debido a que se consideran relacionados con los más grandes desastres donde ocurren pérdidas económicas y sociales que afectan las condiciones de calidad de vida de las personas, En la zona de Pueblo Hundido, municipio de Pueblo Bello este riesgo es de cuidado, debido a los estados de relieve, clima y condiciones del suelo radica la importancia de aplicar investigaciones científicas aplicadas al estudio y la práctica ingenieril que conlleven a tener conocimiento de todos estos factores y poder proponer soluciones a los estados de carcavamiento en la zona es necesario un estudio de reconocimientos en campo de los movimientos en masa, y los procesos de erosión, con el fin de evaluar los diferentes factores condicionantes y desencadenantes que intervienen en el desprendimiento del material, dentro de lo que se encuentra establecido en la metodología planteada en el Servicio Geológico Colombiano (SGC) cumpliendo así con los objetivos propuestos en el proyecto donde como resultado se tendrá un mapa para la comprensión morfolodinámicos del área de estudio.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El área de estudio se encuentra localizada en la llanura del Caribe colombiano, en el flanco suroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta, específicamente el sitio de Pueblo Hundido, zona montañosa al pie del Cerro El Aguacil, al norte del casco urbano del municipio de Pueblo Bello en el departamento del Cesar, correspondiente a la plancha 26 IVD a escala 1:25.000 del IGAC. En este sitio existe desde hace más de 15 años una gran cárcava de más de 4 hectáreas de carácter creciente generando peligro a la vía principal de acceso al resguardo Arhuaco y a las comunidades que transitan por ese sector. La revisión de la bibliográfica de donde se encuentra el área de estudio concluye que no existe información de análisis geológico – geotécnico de la zona de Pueblo Hundido a la escala de detalle de este proyecto. Teniendo en cuenta también que interpretaciones obtenidas a partir del mapa de amenazas de la plancha 26 por movimientos en masa, fuente de información Servicio Geológico Colombiano (SGC) a escala 1:100.000¹ que determina que la zona en estudio presenta alto riesgo ante fenómenos de remoción en masa, debido a las altas pendientes que presentan las laderas presentes, escasa cobertura vegetal, altas precipitaciones y la notoria afectación de los agentes atmosféricas, no solo por factores geomorfodinámicos naturales sino también por la acción antrópica que atenúan sobre los terrenos degradación del suelo y pérdida de propiedades que geotécnicamente determinan suelos estables o aptas para el desarrollo de obras ingenieriles ya que generan la exposición a procesos erosivos de los terrenos y por tanto aumenta el deterioro de infraestructuras, la geomorfología del área y

¹ Servicio Geológico Colombiano (2013) Memoria Explicativa de la Zonificación de la Susceptibilidad y la Amenaza relativa por Movimientos en Masa, Plancha 26 – Pueblo Bello. Escala 1:100000. Bogotá D.C

afectan al desarrollo de la calidad de vida de la comunidad y pérdida de vidas humanas en las más trágicas condiciones.

2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuáles son los procesos morfo-dinámicos que afectan las características geotécnicas de la cárcava de la zona de Pueblo Hundido, municipio de Pueblo Bello, Departamento del Cesar, que generan susceptibilidad del terreno antes los eventos de remoción en masa?

3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente tanto el departamento del Cesar, como cada uno de sus Municipios se ve afectado por un sin número de desastres naturales, lo que genera vulnerabilidad ante esas amenazas para las comunidades expuestas. Específicamente en el sitio de Pueblo Hundido existe una gran cárcava activa y creciente que amenaza con la destrucción de la única vía de acceso del resguardo Indígena Arhuaco a su capital Nabusimake, por esto se ve la necesidad de llevar a cabo un proyecto del análisis de los fenómenos de erosión y de la remoción en masa en el sector mencionado.

El análisis del área de estudio y una zonificación de los diversos procesos morfo-dinámicos que se encuentren afectando de manera directa o indirecta como se propone llevar a cabo en este proyecto en una escala a 1:2000 dando como resultado un mapa de procesos morfodinámicos a escala 1:2000 que facilitará la identificación a detalle de los eventos que conllevan a que las diferentes comunidades que se encuentren aledañas a la zona de estudio estén vulnerables y los terrenos susceptibles a los fenómenos de remoción en masa y erosión que permitirán hacer un mejor reconocimiento de las problemáticas ambientales a las cuales la población está expuesta y así servir de insumo para plantear posibles alternativas de solución en áreas con mayor susceptibilidad a eventos de remoción en masa.

En los últimos 30 años, Colombia ha sido uno de los países más vulnerables a desastres naturales en América. Un informe presentado en septiembre de 2008 por la Dirección Nacional de Planeación (DNP) revela que en promedio cada año ocurren 597 desastres en Colombia, superando a Perú (585), México (241) y

Argentina (213).²; Donde según estudios por expertos en la temática establecen que en el país muchos de estos fenómenos se deben a la escasez de elaboración de herramientas que conlleven a la prevención de movimientos en remoción en masa, radicando entonces importancia no solo en la construcción de ciertas obras civiles, sino también en realizar el debido proceso de análisis de riesgos y geológico- geotécnicos que determinen las características fisiográficas y susceptibilidad de la zona.

² VANGUARDIA, Los 10 desastres naturales que marcaron al país, 2009.

4. ALCANCE

Con la ejecución del proyecto se busca realizar un mapa de procesos morfodinámicos donde se puedan identificar los procesos morfo-genéticos (erosión intensa y movimientos en masa del sitio de cárcava) y describir las causas de erosión, que de alguna manera contribuyen al condicionamiento de la zona a sufrir deslizamientos o desprendimiento de material por procesos de remoción en masa., ayudando a evaluar las posibilidades de la mitigación del problema, con el fin de trabajar por la seguridad de la población que pueda verse afectada.

Asimismo se busca verificar la replicabilidad de la Guía de trabajo del Servicio Geológico Colombiano para estudios de Amenaza por Movimientos en Masa, enfocada para escalas menores (1:5000, 1:2000) y para un sitio puntual con problemas geotécnicos planteando un documento fácilmente entendible, tanto en el estudio en campo, ensayos de laboratorios como en el análisis de datos.

Su importancia radica en conocer el comportamiento geotécnico y geomorfodinámicos de los materiales presentes en la estructura geológica de la cárcava de Pueblo Hundido, que conllevarían a analizar y estimar los puntos más críticos del área en cuanto a procesos morfodinámicos como erosión y movimientos de remoción en masa, mediante la implementación de la metodología empleada y propuesta por el Servicio Geológico Colombiano (SGC 2013)³, sirviendo como información básica e insumo para el diseño futuro de obras y actividades de reducción del riesgo.

³ Servicio Geológico Colombiano (Mayo 2016) Guía Metodológica para estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa. Bogotá D.C

5. OBJETIVOS

5.1. OBJETIVO GENERAL

Estudiar los procesos morfodinámicos que generen susceptibilidad a eventos de remoción en masa y erosión a escala 1:2000 en la zona de Pueblo Hundido, Pueblo Bello- Cesar para posteriormente realizar la cartografía correspondiente.

5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

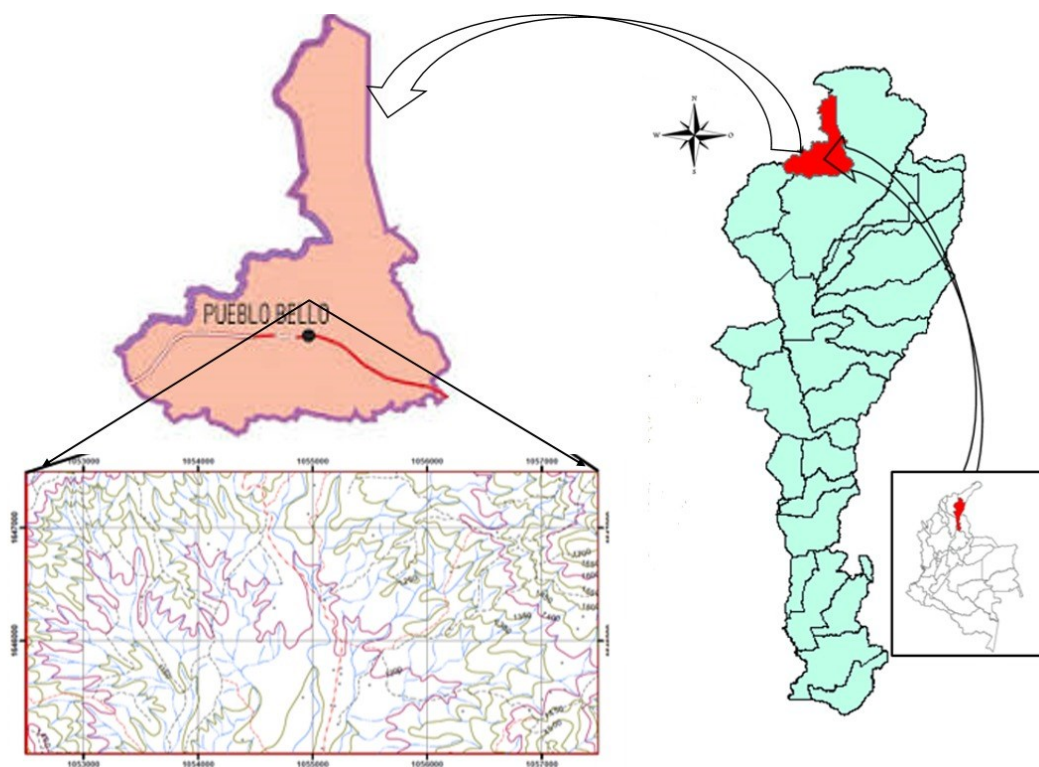
- ✓ Identificar y correlacionar las características geológicas y aspectos estructurales de la cárcava presente en la zona de Pueblo Hundido.
- ✓ Analizar morfo-dinámicamente, los factores condicionantes y detonantes de eventos de remoción en masa y erosión identificados en el área de estudio.
- ✓ Determinar y relacionar las propiedades geo-mecánicas del terreno, respecto a los procesos erosivos que éste sufre.

6. MARCO DE REFERENCIA

6.1. ANTECEDENTES GEOGRAFICOS

El estudio se realizó en la llanura del caribe colombiano, en el flanco suroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta, específicamente en el sector de Pueblo Hundido, al norte del municipio de Pueblo Bello, zona montañosa al pie del Cerro El Aguacil, en el departamento del Cesar, comprende un área en la parte norte de la plancha 26 IVD a escala 1:25.000 del IGAC (Figura 1).

Figura 1: Localización geográfica del área de estudio.



Fuente: Elaborado por los autores.

El municipio de Pueblo Bello limita al norte y oeste con el departamento del Magdalena (Municipio de Fundación), al sur y este con el municipio de Valledupar, y al suroeste con el municipio del copey. El sector de Pueblo Hundido se localiza al norte de la población de Pueblo Bello, a unos 6,1 km sobre la vía que conduce a la población de Nabusímake, el área estudiada se encuentra al margen derecho de esta vía y hace parte del resguardo Indígena Arhuaco.

6.2. GEOLOGIA

6.2.1. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

En el Departamento del Cesar afloran rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias, cuyas edades varían desde el Meso-proterozoico más específicamente el período Ectásiano hasta el Reciente. Teniendo en cuenta que se presentan tres regiones con características geológicas distintas (Sierra Nevada de Santa Marta donde se ubica el área de estudio, Serranía del Perijá y Norte de la Cordillera Central) para la descripción de las unidades litológicas se utilizó la nomenclatura empleada por Tschanz (1969, en Ingeominas, 2007)⁴ para la región de la Sierra Nevada de Santa Marta. Las terrazas, los depósitos de pendiente y los aluviones recientes son comunes a las tres regiones. Consecuentemente a la Sierra Nevada de Santa Marta los principales estudios fueron llevados a cabo por Tschanz et al. (1969), Ordoñez (2002) e Ingeominas (2007).

La región de la Sierra Nevada de Santa Marta en el Departamento del Cesar fue estudiada por (Tschanz, 1969 en Ingeominas 2007)⁴, quienes la denominaron como la Provincia III, donde se localiza el área del proyecto. En esta región afloran rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias, que incluyen sus estribaciones y los Cerros aislados ubicados en este mismo sector adyacente a la parte plana de la llanura del Cesar, con cobertura de sedimentos aluviales cuaternarios; las más abundantes son las primeras, mientras que las últimas están restringidas a la parte más sur de la Sierra. La edad de las rocas varía desde Precámbrico hasta el Reciente. En general, este relieve montañoso de base más o menos triangular se

⁴ Ingeominas (2007) Geología de las planchas 11, 12, 13, 14, 18, 19,20, 21, 25, 26 ,27, 33, 34 y 40. Proyecto "Evolución Geo histórica de La Sierra Nevada de Santa Marta". Bogotá D.C

divide en tres terrenos diferentes, teniendo en cuenta la apreciación inicial de Tschanz et al. 21 (1974 en Ingeominas 2007)⁴, como provincias geotectónicas que son los terrenos Santa Marta, Sevilla y Sierra Nevada. El Terreno Sierra Nevada se ubica al sur del macizo y es el terreno más grande y antiguo y se diferencia de los otros dos por la presencia de un basamento Precámbrico (MacDonald y Hurley, 1969; Tschanz et al., 1974; Restrepo-Peace et al., 1997; Ordóñez et al., 2002; Cordani et al., 2005 representado en gneises, granulitas y anfibolitas, y los productos de eventos magmáticos durante el Mesozoico)⁴. El terreno Sevilla presenta como constituyente litológico al denominado por Tschanz et al. (1969, 1974), Complejo Metamórfico de Sevilla. Esta unidad se compone de neises y esquistos de composición máfica y ultramáfica (Tschanz et al., 1974 en Ingeominas 2007)⁴. Tschanz et al. (1969, 1974), la han señalado como del Proterozoico. Así mismo se encuentra representado por unidades estratigráficas como el Neis de Buritaca, el Neis Los Muchachitos, las Metamorfitas de San Pedro de La Sierra (Hernández, 2001). El terreno de Santa Marta comprende rocas metamórficas que conforman las Formaciones Cinto, Esquistos de Gaira, Esquistos de San Lorenzo, Punta Betín, Rodadero otra que se compone de un gran cuerpo ígneo intrusivo denominado al Batolito de Santa Marta (Tschanz et al., 1969, 1974; Hernández, 2003 a; Gómez et al., 2007 a y b en Ingeominas 2007)⁴.

6.3. MARCO INVESTIGATIVO

6.3.1 ANTECEDENTES

Mora, C. R. (2004)⁵ en la Evaluación de la susceptibilidad al deslizamiento del cantón de San José, provincia de San José, Costa Rica, Realiza una zonificación, utilizando su metodología (Mora-Varhson), y evaluando los parámetros teniendo en cuenta las características geotécnicas del suelo. Mujica, S., & Pacheco, H. (2013)⁶ en el proyecto Metodología para la generación de un modelo de zonificación de amenaza por procesos de remoción en masa, en la cuenca del río Camurí Grande, estado Vargas, Venezuela, plantea una problemática asociada a la población en el lugar anteriormente mencionado, y presenta una pequeña modificación en cuanto a los factores, agregando el uso del suelo, debido al impacto en esta zona especialmente.

Cupacan, H., & Erney, H. (2014)⁷ en el trabajo Zonificación de susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa mediante geoprocésamiento con herramientas SIG en la cuenca del río azulfral y Medina, Y. (2017) en Zonificación De Susceptibilidad A Deslizamientos De Tierra En La Cuenca Del Rio Patía,

⁵ Mora, C. R. (2004). Evaluación de la susceptibilidad al deslizamiento del cantón de San José, provincia de San José, Costa Rica. Universidad de Costa Rica.

⁶ Mujica, S., & Pacheco, H. (2013). Metodología para la generación de un modelo de zonificación de amenaza por procesos de remoción en masa, en la cuenca del río Camurí Grande, estado Vargas, Venezuela. Revista de Investigación, 37(80).

⁷ Cupacan, H., & Erney, H. (2014). Zonificación de susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa mediante geoprocésamiento con herramientas SIG en la cuenca del río azulfral (Bachelor's thesis, Universidad Militar Nueva Granada).

Departamento Del Cauca. Universidad de Manizales, muestran un paso a paso de la elaboración del mapa de amenaza, y muestran la clara subjetividad a la hora de otorgar los valores de importancia de cada factor teniendo en cuenta el efecto que causan estos sobre la zona.

El Convenio Interadministrativo (N° 005 de 2014) en el trabajo Determinación de Zonas de Amenaza y Escenarios de Riesgo Por Deslizamiento en el Municipio de Jericó, Boyacá, se realiza una descripción minuciosa de las geoformas y los procesos morfodinámicos que moldean la zona y la valoración de cada una de ellas teniendo en cuenta la importancia en cuanto a amenaza de cada una de ellas.

La Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa, publicada por el Servicio Geológico Colombiano en el 2016¹, es el aporte de estandarización de procedimientos más reciente disponible para el país. En ella se describen los lineamientos metodológicos para realizar estudios de riesgo por movimientos en masa a escala detallada o local y fue consensuada con actores científicos, estatales y académicos “para lograr legitimidad y aceptación por parte de quienes deben emplearla”. “En esta guía se presentan con detalle los procesos metodológicos que se deben seguir para cumplir con la normatividad en lo relacionado con las etapas de evaluación del riesgo por movimientos en masa, de modo que su ejecución sea viable a partir de la información y las herramientas disponibles y que con ello se consigan condiciones básicas de calidad, rigurosidad y uniformidad en los estudios”... En ella “se plantean procedimientos metodológicos claros, basados en una muy buena cartografía temática –levantada al nivel de detalle que exige la escala de trabajo–, una exploración y caracterización del subsuelo acorde con la complejidad geológica y los problemas de inestabilidad identificados, el uso de la información hidrológica y sismológica disponible para los análisis de estabilidad, la utilización

de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para los procesamientos y análisis cartográficos”⁸

6.3.2. PRECIPITACION

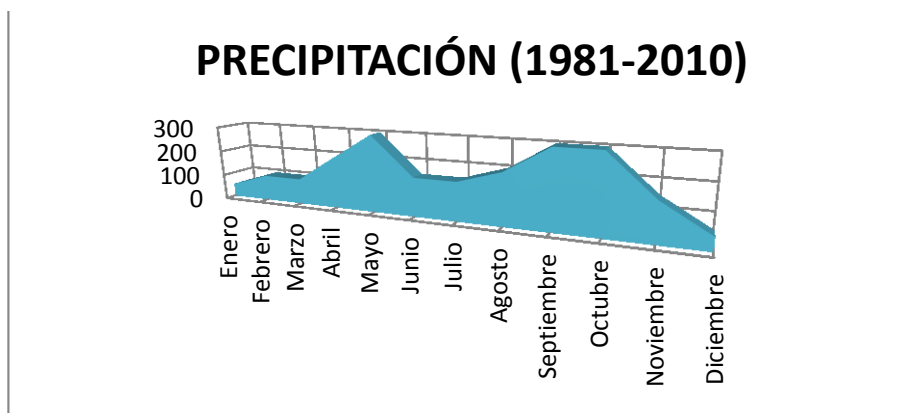
Para este segundo parámetro desencadenante, el cual toma una gran importancia en el proyecto, es identificado y analizado con los boletines climatológicos mensuales del año 2017⁹, lo que permitió que con reportes promedios de años anteriores fuese notable la relación del comportamiento de la precipitación con los cambios frente a la problemática de erosión.

A continuación (Fig.2), se muestra el promedio de precipitación de cada mes entre los años 1981 y 2010, y la segunda gráfica Fig. 3, muestra el promedio mensual de precipitación durante el año 2017.

⁸ Servicio Geológico Colombiano (Mayo 2016) Guía Metodológica para estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa. Bogotá D.C

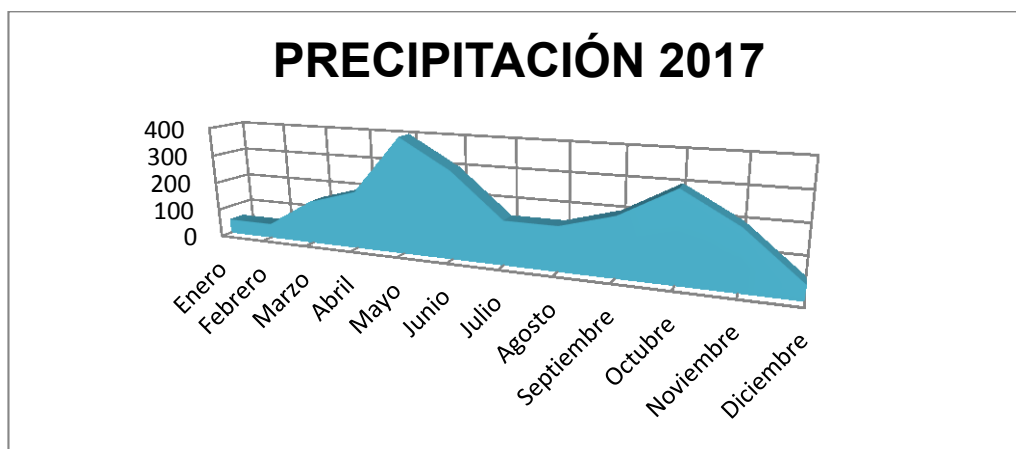
⁹ Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales, IDEAM, (2018): Boletines Climatológicos mensuales del año 2017. Bogotá, D.C., Colombia

Figura 2: Promedio de la precipitación mensual entre los años 1981 y 2010.



Fuente: Elaborado por los autores con base en datos IDEAM 2018⁹

Figura 3: Promedio mensual de precipitación durante el año 2017.



Fuente: Elaborado por los autores con base en datos IDEAM 2018⁹.

En ambas gráficas se pueden identificar una tendencia bimodal en el régimen anual de precipitación; la primera temporada de lluvias parte desde el mes de abril

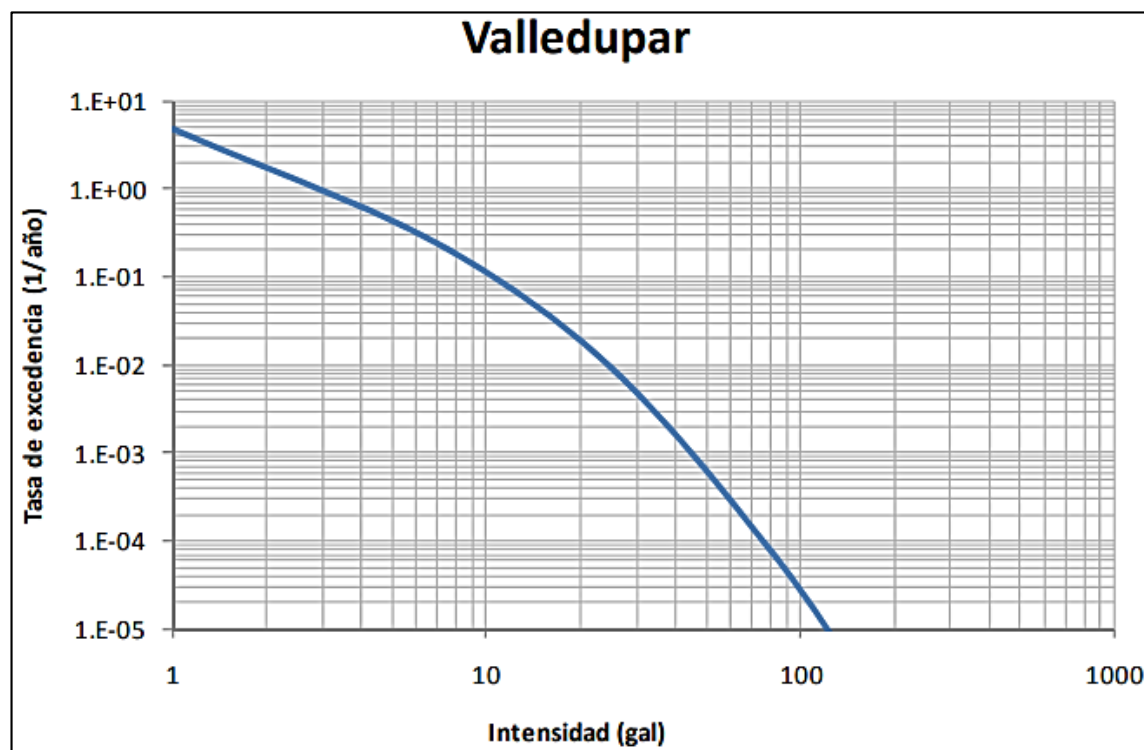
hasta el mes de junio, y el segundo periodo entre los meses de septiembre y noviembre; claramente estos periodos se encuentran intercalados por temporadas de pocas lluvias. La diferencia más importante entre las características de precipitación pasadas y la registrada en 2017, es que aunque en el año se presenta casi la misma cantidad, estas no están distribuidas de la misma manera, y se observa que últimamente los periodos de alta precipitación tienden a ser más intensos. En una zona expuesta, como el área de estudio, estos periodos pueden ser críticos como factor erosivo y debido a la cantidad de agua que cae, aumenta y acelera los procesos de erosión por surcos y cárcavamiento del área.

6.3.3. SISMICIDAD

Para la evaluación de este parámetro se toma la información planteada en la actualización de las normas colombianas de construcción sismo resistente NRS-10 en el documento Estudio de amenaza sísmica de Colombia (AIS, 2009)¹⁰ quienes realizan nuevos mapas de amenaza sísmica del país analizando una recopilación de información de localización y magnitud de los sismos, sumado al cálculo de los parámetros estadísticos y por último la generación de espectros de amenaza en términos de aceleración sísmica. El sitio de estudio se encuentra a menos de 50 km desde la ciudad de Valledupar, se toma también la curva de microzonificación de amenaza sísmica de esta ciudad para corroboración de la información.

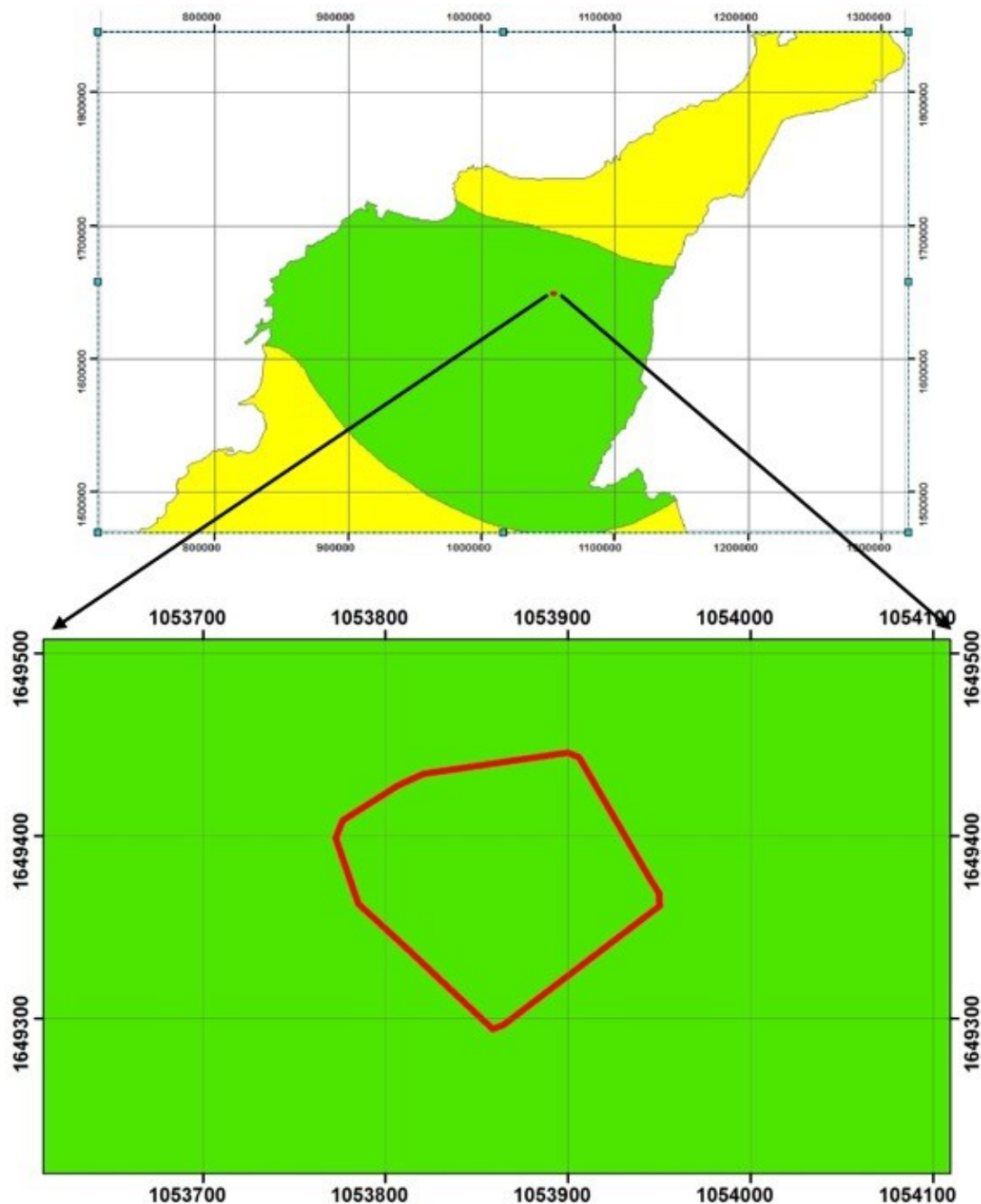
¹⁰ Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, AIS, (2009): Estudio de amenaza sísmica de Colombia. ISBN 978-958-97609-6-3. Bogotá, D.C., Colombia.

Figura 4: Curva de amenaza de aceleración máximo del terreno en Valledupar.



Fuente: Según AIS 2009¹⁰

Figura 5: Mapa de las zonas de amenazas sísmicas aplicable a edificaciones para NSR-10 según la región norte del país.



Fuente: Según AIS 2009¹⁰, editado por los autores en ArcGis 10.4.

Como puede observarse, la región donde se encuentra el área de estudio presenta una baja amenaza. Esto se ve reflejado en el bajo valor que se le otorga como factor detonante, sumándole de esta manera notoriamente importancia a la precipitación como característica principal en el análisis de amenaza.

La poca presencia de fallas geológicas, y la falta de actividad de las mismas, ratifican la información dada en los mapas de amenaza sísmica.

6.4. MARCO LEGAL

6.4.1. PRESENTACIÓN DE LA EMPRESA

6.4.1.1. BREVE RESEÑA HISTÓRICA

En 1989 con el decreto 919, inició la oficina de atención de desastres en el departamento del Cesar, la cual ha contado con la jefatura de seis funcionarios diferentes, hasta la actualidad. A partir de la Ley 1523 de 2012, pasa a ser la **OFICINA PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES Y CAMBIO CLIMÁTICO**, con sede única en el segundo piso del CRUE, en el Barrio las Delicias, la cual actualmente se encuentra bajo la dirección de la ingeniera María José Páez Díaz.

Ésta oficina se encarga de la articulación del proceso social de planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas y acciones permanentes para el conocimiento del riesgo y promoción de una mayor conciencia del mismo, impedir o evitar que se genere, reducirlo o controlarlo cuando ya existe y para prepararse y manejar las situaciones de desastre, así como para la posterior recuperación, entiéndase: rehabilitación y reconstrucción. Lo anterior integra la destreza de diferentes áreas profesionales y técnicas del conocimiento que permiten el cumplimiento cabal de las funciones dispuestas por el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.

6.4.1.2. ASPECTOS ESTRATEGICOS

MISIÓN

La Oficina departamental para la gestión del riesgo y desastres es una unidad que dirige, orienta y coordina la Gestión del Riesgo de Desastres en el Departamento del Cesar, fortaleciendo las capacidades de las entidades públicas, privadas, comunitarias y de la sociedad en general, con el propósito explícito de contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible, a través del conocimiento del riesgo, su reducción y el manejo de los desastres asociados con fenómenos de origen natural, socionatural, tecnológico y humano no intencional.

VISIÓN

La intención de la unidad es empoderar a las autoridades nacionales e internacionales, entidades públicas o privadas y a la sociedad en general, sobre su responsabilidad en cuanto a la gestión del riesgo de desastres se refiere, impulsando la participación social en la vigilancia del desempeño institucional, promoviendo el uso óptimo de la tecnología en la materia y disminuyendo significativamente las condiciones de riesgo, la pérdida de vidas y los costos asociados a los desastres

6.4.1.3. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

Según lo establecido en el decreto 000294 del 26 de Octubre del 2016 se determina que la estructura de la administración Central del departamento del Cesar está regido por la figura que se muestra a continuación en la cual la Oficina departamental para Gestión del Riesgo de Desastres y Cambio climático se denomina como una oficina de asesoría del ejercicio del Gobernador del departamento.

Figura 6: Organigrama de la estructura de la administración central departamental del Cesar.



Fuente: Decreto 000294 del 26 de Octubre del 2016, editada por los autores.

La oficina departamental para la Gestión del Riesgo de Desastres y Cambio Climático, presenta un esquema operativo conformado por:

Figura 7: Organigrama de La oficina departamental para la Gestión del Riesgo de Desastres y Cambio Climático.



Fuente: Los autores con base en la información de La Oficina Departamental de Gestión del Riesgo de Desastres y Cambio Climático.

6.4.1.4. PORTAFOLIO DE PRODUCTOS Y SERVICIOS

Hoy día la oficina departamental para la Gestión del Riesgo de Desastres, según lo establecido en la guía para la formulación del plan municipal para la gestión del riesgo y de desastres ofrece como actividades funcionales la prestación de servicios tales como:

- ✓ **Proceso de conocimiento de riesgo:** Parámetro mediante el cual se identifican, analizan y evalúan las condiciones de riesgo, a través de sus principales factores (amenaza, elementos expuestos y vulnerabilidad), las causas, actores causales, monitoreo de estos y la comunicación del riesgo.

- ✓ **Proceso de reducción del riesgo:** Este proceso hace referencia a la aplicación de las medidas de intervención frente a las condiciones actuales y futuras del riesgo. Por tanto, se consideran que son las que permiten la prevención de desastres, influyendo directamente en la protección financiera permitiendo la reposición del valor económico de las pérdidas.

- ✓ **Proceso de manejo de desastres:** Aspecto primordial ya que consiste en la aplicación de medidas orientadas con la finalidad de poder preparar y ejecutar respuesta ante las emergencias y posteriormente la recuperación de la problemática consecuente.

6.4.1.5. DESCRIPCIÓN DE LA DEPENDENCIA EN LA QUE SE REALIZÓ LLA PRACTICA

La Oficina Departamental de Gestión del Riesgo de Desastres y cambio climático está constituida por tres áreas definidas, conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y manejo del riesgo; donde cada área se encuentra conformada por profesionales y técnicos capacitados para llevar a cabo el cumplimiento de dichas actividades o tareas propuestas en cada una de las áreas. La práctica empresarial se desarrolló dentro del ámbito del conocimiento del riesgo, el cual se fundamenta en la identificación, caracterización, análisis y monitoreo de los riesgos, siendo estos de carácter geológico, climático, meteorológico y/o antrópicos, con la finalidad de tomar medidas de mitigación, acciones de reducción y manejo de la problemática como tal.

7. MARCO TEORICO

7.1. TEMA DISCIPLINAR

Hoy día se tiene en cuenta la geología ambiental como la rama de la geología encargada de estudiar los riesgos geológicos naturales y antropogénicos, donde se aplican los conocimientos con el fin de contribuir y mitigar la problemática de contaminación consecuente de dichos procesos y por tanto ser capaz de analizar y a partir de allí generar posibles alternativas de solución.

Reconociendo como riesgos geológicos naturales a aquellos que son generados por causas naturales como erupciones volcánicas, actividad sísmica, desprendimiento de material y demás, donde los antropogénicos pues entran en el campo de la geología ambiental ya que es allí donde operan actividades como la minería, utilización de productos químicos, entre otros, que conducen en ocasiones a la contaminación de aguas subterráneas y al aumento de la vulnerabilidad del terreno frente a movimientos de remoción en masa; afectando directamente las condiciones físicas y químicas propias del suelo, alterando la resistividad que estas oponen frente a la acción de los agentes atmosféricos ya sea para la planeación o ejecución de una posterior obra ingenieril.

7.2. TEMA ESTRATEGICO QUE SE PROPONE EN LA INVESTIGACIÓN

El IUGDS (1977) define una serie de términos, utilizados por Suarez (1988)¹¹, para el análisis de amenaza y riesgos en cuanto a deslizamientos:

AMENAZA: La amenaza es una condición donde las consecuencias se consideran indeseables y las cuales tienen un potencial a que estos sucedan¹¹.

ANÁLISIS DE AMENAZAS: Según SGC (2016)⁸ esta etapa comprende la definición de un modelo geotécnico- geológico, planteamiento de amenaza y la zonificación de esta. Para Suarez (1998)¹¹ un análisis y descripción de amenaza respecto a erosión y deslizamientos debe incluir las características de los suelos y los deslizamientos.

VULNERABILIDAD: Según IUGS (1997) en Suarez (1998)¹¹, son condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, económicos y ambientales, que aumentan la susceptibilidad de una comunidad al impacto de amenazas.

¹¹ Suarez, J., 1998. Deslizamientos Y Estabilidad De Taludes En Zonas Tropicales. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

RIESGO: Fiorito (2006)¹² utiliza el término riesgo para situaciones que involucran incertidumbre, en el sentido de que el rango de posibles resultados para una determinada acción es en cierta medida significativo. Convencionalmente el riesgo es expresado por la expresión: $\text{Riesgo} = \text{Amenazas} \times \text{vulnerabilidad}$.

ANÁLISIS DEL RIESGO: Para el SGC (2016)⁸ se basa en una revisión tanto de las características de la amenaza, como su ubicación, magnitud o intensidad, frecuencia y probabilidad; así como en el análisis de su alcance físico, social, económico y ambiental; con especial consideración a la capacidad de enfrentar los diferentes escenarios del riesgo.

¹² Fiorito, F., 2006. La Simulación Como Una Herramienta Para El Manejo De La Incertidumbre. Universidad CEMA, Buenos Aires, Argentina

8. MARCO METODOLOGICO

8.1. TIPO DE INVESTIGACION

La investigación a realizar para el cumplimiento del proyecto será de tipo cuantitativo, donde se obtiene como resultado el análisis y evaluación de ciertos parámetros descritos por los autores del proyecto; por tanto en la investigación se hará énfasis en la implementación de herramientas informáticas, ensayos de laboratorios y estudios estadísticos para poder proporcionar resultados de la problemática y las mejores propuestas de mitigación de la misma.

8.2. METODO DE INVESTIGACION

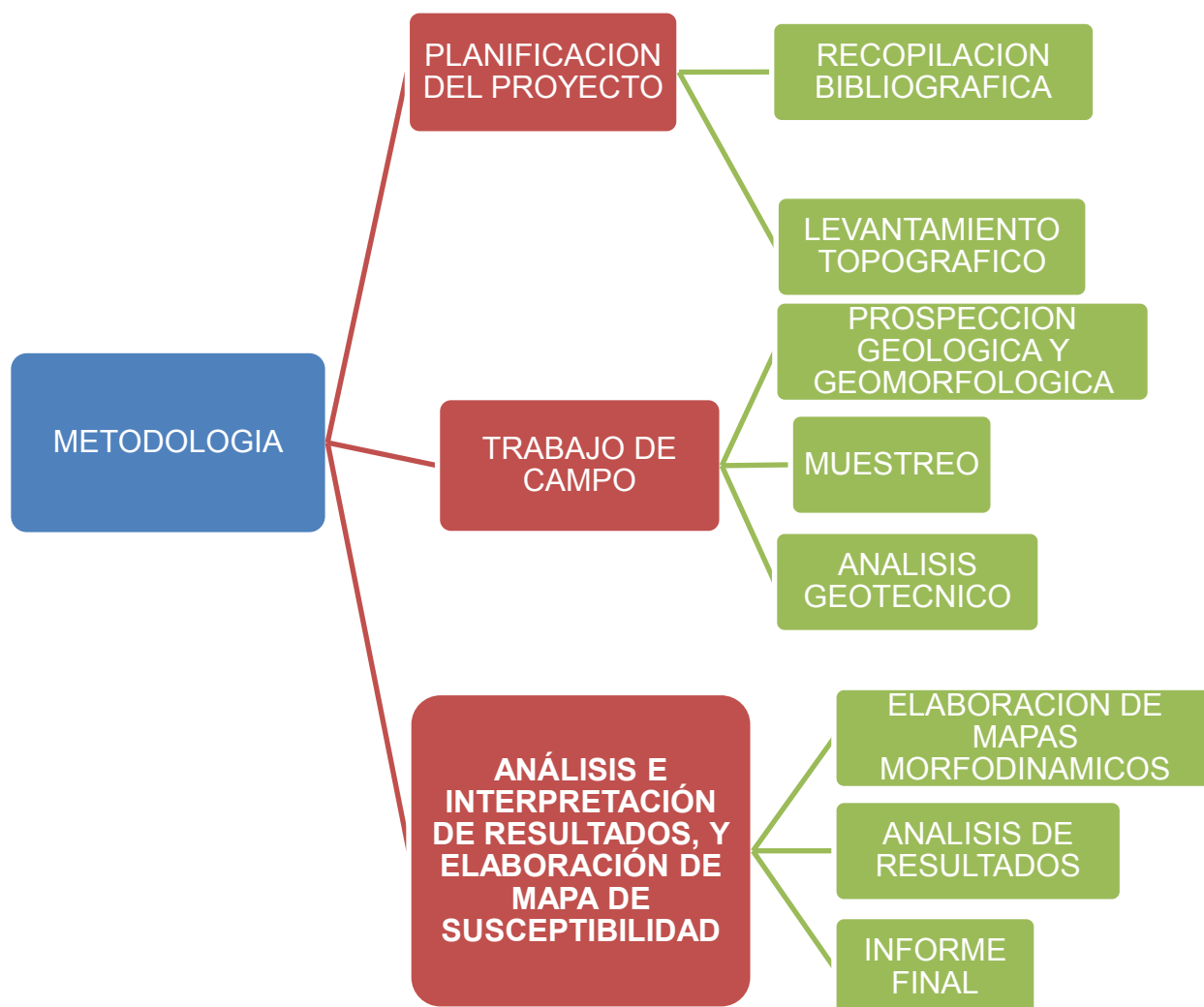
Se aplicó un método de investigación inductivo donde a partir de la identificación y correlación de todas aquellas características y estructuras geológicas que condicionan el comportamiento morfodinámicos y geotécnico del área de estudio, determinadas no solo a partir de la revisión bibliográfica si no corroboradas al momento de realizar campo y prospección geológica geomorfológica que permitiría además de conocer la temática el involucrarse en el proceso y por tanto llegar a unos resultados plasmados en un mapa de procesos morfodinámicos a escala 1:2000, de la zona de Pueblo Hundido, Pueblo Bello – Cesar, a detalle de

las características de la cárcava y la evolución de los procesos morfodinámicos que aceleren la susceptibilidad del área frente a movimientos de remoción en masa y por tanto el poner en riesgo la calidad de vida de las comunidades ubicadas en áreas aledañas a la estructura analizada y pérdida de propiedades geo mecánicas del suelo; confirmando el argumento que dice: Una nueva manera de encontrar la verdad es ir a buscar los hechos en vez de basarse en la autoridad (experto) o en la mera especulación; con el tiempo esa actitud habría de convertirse en el principio fundamental de todas las ciencias ¹³.

Para la el análisis de los diferentes factores se emplearan los métodos determinísticos establecido en la Guía Metodológica para estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa, (SGC 2016)⁸

¹³ EL RAZONAMIENTO INDUCTIVO Y DEDUCTIVO DENTRO DEL PROCESO INVESTIGATIVO EN CIENCIAS EXPERIMENTALES Y SOCIALES Lic. Gladys Dávila Newman Universidad Pedagógica Experimental Libertador Instituto Pedagógico “Rafael Alberto Escobar Lara” de Maracay

Figura 8: Flujograma de la metodología empleada en el desarrollo del trabajo.



Fuente: Elaborado por los autores.

8.3. ESTRATEGIA METODOLÓGICA TÉCNICAS DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Para la realización de este proyecto se tendrá como base la siguiente metodología, la cual se dividió en tres etapas:

8.3.1. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO

8.3.1.1. Recopilación bibliográfica

En esta etapa se realiza la compilación bibliográfica de la geología, geomorfología y estructuras geológicas dominantes de la zona de Pueblo Hundido. Dentro del cual se incluye la localización geográfica del área, elaboración y adquisición de mapas del Servicio Geológico Colombiano; Adicionalmente se realiza la consulta de antecedentes de la zona, donde es importante reconocer si entidades como CORPOCESAR, el IDEAM, Servicio Geológico Colombiano, Oficina Nacional Para La Gestión Del Riesgo Y Desastres y/o cualquier estudio nacional, departamental o local han tenido como objetivo el análisis de la susceptibilidad por procesos de remoción en masa en el área de estudio, debido a que influyen directamente en el análisis de resultados de éste proyecto y generan incertidumbres o posibles

soluciones en caso de encontrar situaciones o fenómenos similares, en la realización del presente.

Investigación y recopilación de información que hace referencia a la geología y geomorfología del municipio de Pueblo Bello. Dentro de esta información se encuentran los mapas geológicos y geomorfológicos, uso del suelo, datos climatológicos y consultas de proyectos realizados en la zona de estudio y zonas aledañas relacionadas con eventos de remoción en masa.

8.3.1.2. Levantamiento Topográfico

Mapa topográfico a escala 1:2000, el cual se realizó mediante la toma de puntos en el área de estudio con un GPS topográfico submétrico, TOPCON GR3, que permitirá mediante el software ArcGis 10.4, bajo los parámetros “Se utilizan para crear un Data set de entidades de poli líneas a partir de un Raster de entrada” ¹⁴ para realizar el plano ideal de la topografía analizada.

¹⁴ desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-contouring-works.htm

8.3.1.3. Interpretación de sensores remotos

Además se recurrió al software libre SAS PLANET¹⁵ de donde se extrajo una imagen satelital landsat que contribuiría para la descripción de la cárcava y a la realización de los mapas del área de estudio a escala 1:2000; entre los cuales resultarían:

- ✓ Mapa geológico.
- ✓ Mapa de cobertura vegetal.
- ✓ Mapa de pendientes.
- ✓ Mapa de componentes geomorfológicos.
- ✓ Mapa de componentes morfodinámicos

8.3.2. TRABAJO DE CAMPO

Se comprueba la veracidad de los datos obtenidos en la fase siguiente y se realiza un estudio más detallado de la zona.

¹⁵ <http://www.sasgis.org/sasplaneta/>

8.3.2.1. Prospección geológica y geomorfológica

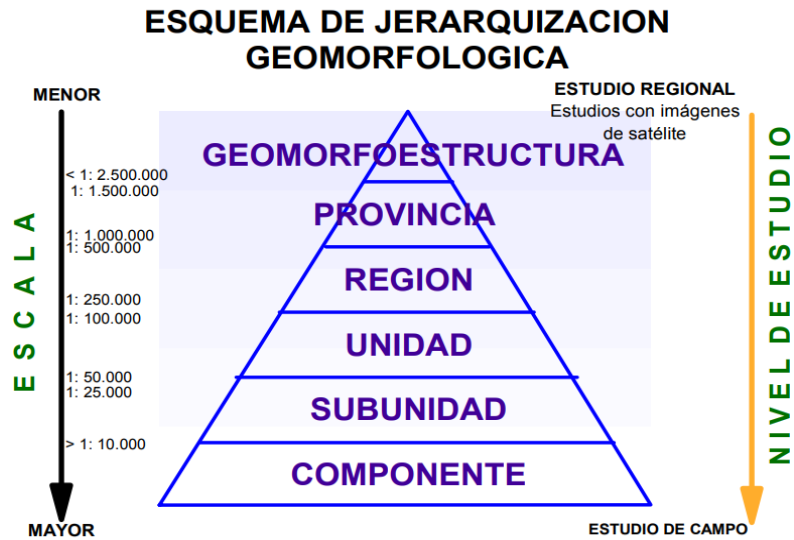
La exploración geológica y geomorfológica son actividades primarias a realizar en el área del proyecto. Se realizó el estudio detallado a una escala 1:2000, siguiendo la metodología establecido por el Servicio Geológico Colombiano (SGC 2016)⁸ para MAPAS DE UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES – GEOLOGÍA PARA INGENIERÍA Y MAPAS DE ELEMENTOS GEOMORFOLÓGICOS. Para levantamiento de información en campo se siguieron los formatos de campo establecidos por el (SGC 2016)⁸: Caracterización de Macizo Rocos, Caracterización de Geoformas - Geomorfología Aplicada y para la diferenciación de unidades de suelo y roca se utilizó el perfil generalizado de Dearman (1974, 1991)¹⁶ del grado de meteorización.

Para la caracterización geomorfológica se realizó un mapeo a nivel de elementos geomorfológicos. Estos corresponden a la categoría de menos jerarquía, mayor escala y nivel de estudio, de acuerdo a la metodología del Servicio Geológico Colombiano (2016)

Para poder clasificar este parámetro se debe tener en claro la escala y el detalle del trabajo, debido a que esto reflejará el nivel de estudio como lo muestra INGEOMINAS (2012)¹⁶ en la siguiente figura:

¹⁶ Servicio Geológico Colombiano, 2013, Zonificación de susceptibilidad a los Movimientos en Masa del predio Mazatlán – Jalisco del Municipio de Pacho – Cundinamarca.

Figura 9: Esquema de Jerarquización geomorfológica propuesto por Carvajal (2003) en INGEOMINAS (2012)¹⁷.



Fuente: Tomado de INGEOMINAS (2012).

Para este caso, a escala detallado, se realizó la clasificación a nivel de componentes.




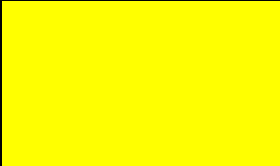


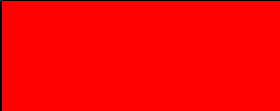
Otro aspecto para la realización de la geomorfología es la identificación y caracterización de las geoformas desde el punto de vista de morfometría y morfodinámica.

Para morfometría se tuvo en cuenta las pendientes del área de estudio, los rangos y descripciones de esta característica se toman de los estándares establecidos en

¹⁷ INGEOMINAS, 2012, Estudios de geología y Geomorfología escala 1:125.000 para la reubicación del Casco urbano del municipio de Gramalote, Norte de Santander. Bogotá D.C.

la metodología para la clasificación de las tierras por su capacidad de uso, por el IGAC (2014)¹⁸.

Tabla 1: Tabla descriptiva de propiedades de las pendientes en un área determinada.

PENDIENTE (%)	DESCRIPCION	SIMBOLOGÍA
0-3	A nivel	
3-7	Ligeramente inclinada – Ligeramente ondulada	
7-12	Moderadamente inclinada – Moderadamente ondulada	
12-25	Fuertemente inclinada – Fuertemente ondulada – Quebrada	
25-50	Ligeramente escarpada – Fuertemente quebrada	
50-75	Moderadamente escarpada	
>75	Fuertemente Escarpada	

Fuente: Elaborada por los autores. Basado en el IGAC (2014)¹⁸

¹⁸ IGAC, 2014, Metodología Para la Clasificación de las Tierras Por Su Capacidad de Uso. Bogotá D.C.

Finalmente, para el análisis morfodinámico, se realizó un inventario de los eventos erosivos y de remoción en masa observados en campo.

8.3.2.2. Cobertura y usos del suelo

Para el estudio y la elaboración del mapa de cobertura y uso del suelo se hace necesaria la aplicación de la metodología CORINE Land Cover que ha sido adaptada por el IDEAM (2010)¹⁹ para el territorio colombiano (CLC). Con esto se permite describir, caracterizar y clasificar las diferentes cualidades de la cobertura del suelo, por medio de la utilización de imágenes satelitales de alta y mediana resolución, y estudio de campo.

8.3.2.3. Muestreo

El muestreo es aleatorio estratificado, debido a que estratificó de acuerdo al tipo de material presente, una muestra para suelo y otra para roca meteorizada. La escogencia del sitio puntual de muestreo si fue aleatorio, en las zonas que puedan ser susceptible a deslizamiento (teniendo en cuenta el factor relieve), la muestra

¹⁹ IDEAM, 2010, Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover Adaptada Para Colombia. Bogotá D.C.

fue parte representativa del material (suelo o roca). El tipo de muestreo y número de muestras dependió de la viabilidad y accesibilidad a la toma de muestra.

De acuerdo a características propias del área de estudio se aplicó el método de muestreo por canales para la toma de muestras que por lo general se realiza en áreas donde el objeto de estudio se encuentra en la superficie.

8.3.2.4. Análisis geotécnico

El análisis geotécnico dará respuesta a la problemática del riesgo por movimientos de remoción en masa del área de estudio, el cual está comprendido desde la documentación de vulnerabilidad de la zona, hasta la realización de ensayos in situ y de laboratorio, aplicando las Normas I.N.V Sección 100, acordes y respectivas. Los ensayos son necesarios para conocer y comprender la información mecánica del suelo. Los ensayos se realizarán en el Laboratorio de Suelos de La Fundación Universitaria del área Andina, sede Valledupar con los equipos aptos para el desarrollo de los análisis geotécnicos necesarios, los cuales serían:

- ✓ Análisis Granulométrico de suelos por tamizado (Norma INV E 123: 2013)
- ✓ Ensayo de propiedades naturales del suelo (Humedad y Peso específico) (Norma INV E 128 y 148: 2013)

- ✓ Determinación de límites de Atterberg – Líquido y plástico (Norma INV E 125 y 126: 2013)
- ✓ Ensayos de corte directo (Norma INV E 154: 2013)

8.2.3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS, Y ELABORACIÓN DE MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD

A partir de la información adquirida en las fases preliminares, de campo y laboratorio se evaluarán los diferentes factores geomorfodinámicos que influyen en el área de estudio.

8.2.3.1. Elaboración de mapa de procesos morfodinámicos

Esto tiene como objetivo la realización del mapa de análisis de procesos morfodinámicos que permitirán determinar las áreas que presentan mayor susceptibilidad ante eventos de erosión, de remoción en masa y/o activos en la zona de estudio como se menciona en el capítulo de antecedentes. Así como aquellos que influyen directa e indirectamente en la disminución de la estabilidad del terreno analizado, por lo que es necesario llevar a cabo un método el cual estudie y analice que tan propenso o no es un terreno a procesos de remoción en masa. El método escogido el desarrollado en la guía metodológica del Servicio

Geológico Colombiano (SGC 2016)⁸ para eventos de movimientos de remoción en masa, consiste en la evaluación de diferentes factores (condicionantes y desencadenantes), que son coherente con el enfoque del trabajo.

Tabla 2: Parámetro de susceptibilidad, SGC (2006).⁸

Factores Tipo	Parámetro
Condicionantes	Cobertura y uso del suelo
	Unidades de Geología para ingeniería
	Elementos Geomorfológicos
	Exploración básica y ensayos de laboratorio del suelo
	Inventarios de movimientos en masa
Detonantes	Precipitación
	Actividad Sísmica

Fuente: Elaborado por los autores basada en el (SGC 2016)⁸

Para poder evaluar cada uno de los parámetros es necesario un estudio detallado de todos ellos, para el cual se implementa un diseño de los mapas con la metodología y el factor de riesgo otorgado por el Servicio Geológico Colombiano; esto facilita el la correlación de los indicadores morfodinámicos sobre el área de

estudio. La toma de estos datos se realizará en las 2 fases anteriores, por medio de los datos bibliográficos, análisis foto interpretativo y visitas a campo.

8.2.3.2. Análisis de Resultados

Los diferentes procesos, nombrados anteriormente permitirán realizar un análisis donde se relacionen los factores tanto condicionantes como detonante del cual resultará un mapa de procesos morfodinámicos a escala 1:2000 que permitirán establecer el diseño ingenieril geotécnico preferible para la mitigación y/o prevención de desastres provocados por las precipitaciones o actividades sísmicas bajo parámetros determinísticos establecidos en la Guía metodológica (SGC, 2016)⁸ para los análisis de la cartografía temática.

8.3.2.3. Informe Final

Finalmente toda la información estará presentada en un informe final, donde se expongan todas las conclusiones del proyecto y se establezcan las recomendaciones apropiadas de mitigación.

8.4. POBLACION

El proyecto involucra la población correspondiente a las unidades geológicas para ingeniería, geomorfológicas denudativas y rasgos morfodinámicos presentes en la cárcava de Pueblo Hundido, Municipio de Pueblo Bello– Cesar.

La población de unidades geológicas para ingeniería se compone de suelos residuales, y rocas ígneas en diversos grados de meteorización. Las unidades geomorfológicas corresponde a la jerarquía de componentes geomorfodinámicos que en esta zona son de carácter denudacional; los rasgos morfodinámicos se ven representados con un cumulo de procesos erosivos y eventos de remoción en masa de escala y dimensión variable.

9. MARCO DE RESULTADOS

9.1. RESULTADOS METODOLOGICOS

El área de estudio corresponde a la cárcava activa con procesos morfodinámicos complejos del sitio de Pueblo Hundido. Esta cárcava de aproximadamente cuatro hectáreas de afectación y una decena de metros de altura se ubica peligrosamente cerca de la vía carretable que es el acceso principal de la comunidad Arhuaca y a su capital espiritual: Nabusímake, generando preliminarmente riesgo alto para la población que trafica por este sitio, y la economía del Resguardo.

Siguiendo la metodología, se presenta a continuación la descripción de los diferentes parámetros y factores detonantes de este proceso geológico:

9.1.1. GEOLOGIA LOCAL

9.1.1.1. UNIDADES GEOLÓGICAS

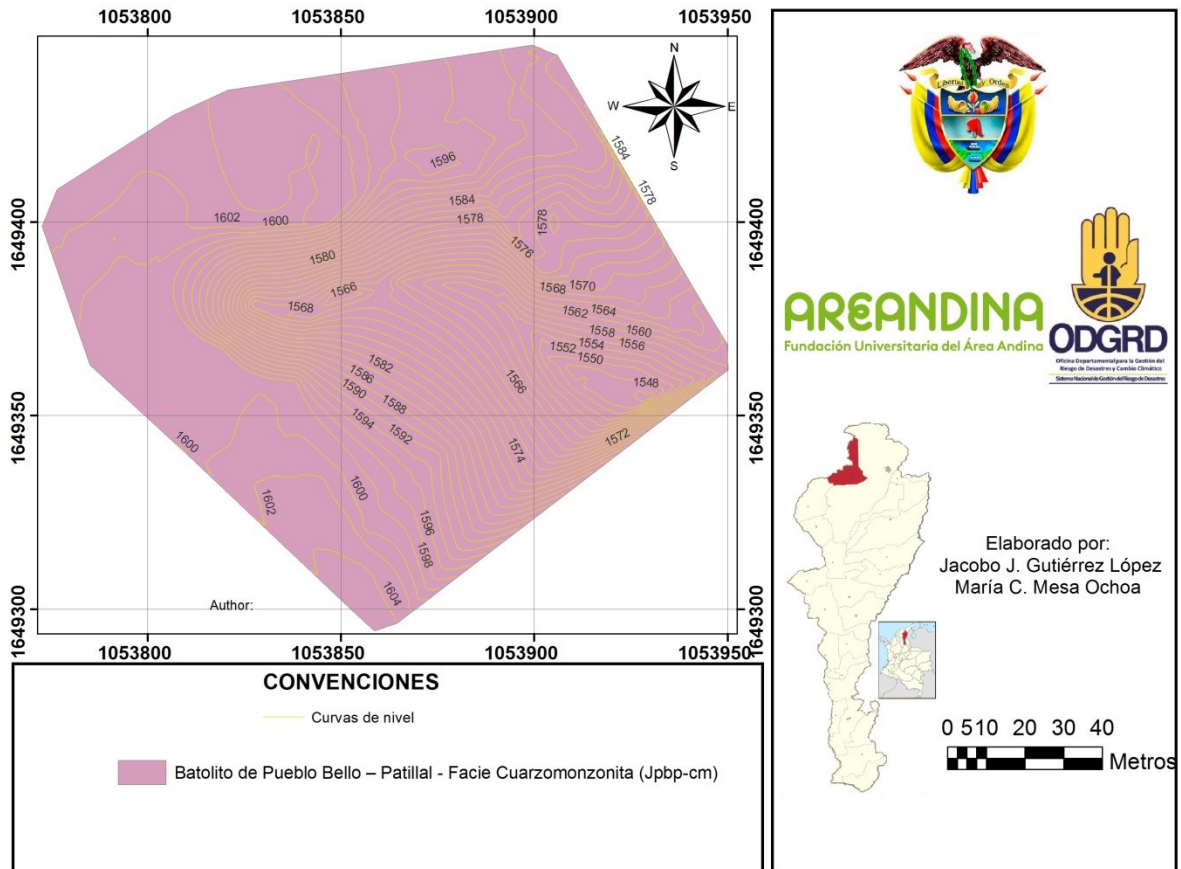
El área puntual de trabajo, presenta una sola unidad geológica aflorante, la cual se describe a continuación:

Batolito de Pueblo Bello – Patillal – Facies Cuarzomonzonita (Jbbp-cm)

El Batolito de Pueblo Bello - Patillal, definido así por Ingeominas (2007)⁴ se extiende en dirección NE – SW como un cinturón no continuo dentro de la SNSM. En este cuerpo, Tschanz et al. (1996) en Ingeominas (2007)⁴ diferenció tres facies diferentes composicionalmente. En el caso que corresponde al sitio de trabajo, se centra sobre el Batolito de Pueblo Bello Facies Cuarzo monzonita (Jbbp-cm), la cual está constituida por rocas ígneas intrusivas, que muestran una textura fanerítica, holocristalina, de grano medio a grueso, compuesta por QAP (15–40–45), índice de color (10-15); el cuarzo generalmente se presenta en cristales anhedrales, la plagioclasa en cristales euhedrales y el anfíbol en cristales euhedrales a subhedrales. Sobresale su coloración rosácea (tonalidad dada por los gruesos y abundantes cristales de feldespato potásico) y un bajo porcentaje (10%) de minerales melanocratos, principalmente anfíbol y biotita.

En el área, los afloramientos evidencian alto grado y profundos perfiles de meteorización, la presencia de diques máficos, alta y medianamente meteorizados, con espesor de 50 cm que dividen ambos flancos de la cárcava. También se observan venas de feldespato potásico que van de 1 a 4 cm de espesor.

Figura 10: Mapa geológico del área analizada en la zona de Pueblo Hundido.



Fuente: Los autores.

9.1.1.2. UNIDADES DE GEOLOGÍA PARA INGENIERÍA (UGI)

Siguiendo la Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa del Servicio Geológico Colombiano (SGC, 2015), uno de los factores condicionantes de la amenaza es la “Geología para Ingeniería”.

Las Unidades de Geología para Ingeniería (UGI) homogenizan las características ingenieriles de los materiales del área del estudio; con ellas se pretende diferenciar tres aspectos fundamentales para obtener los modelos que permitan realizar los análisis de estabilidad: 1) diferenciar los materiales aflorantes entre suelos y rocas, 2) definir los espesores de suelo o las características estructurales del macizo rocoso, y 3) caracterizar los materiales de acuerdo con sus propiedades mecánicas” (SGC, 2015).

La diferenciación de los diversos materiales se realizó con base en el sistema de clasificación del perfil de meteorización de Hong Kong en Agudelo (2012). Para el sitio de estudio se identificaron las UGI teniendo en cuenta si se trata de roca o suelos y las características de estos:

Tabla 3: Clasificación del perfil de Meteorización, Hong Kong (1979).

Grado	Descomposición	Detalles de diagnóstico en las muestras
VI	Suelo	No aparece textura reconocible de la roca
V	Completamente descompuesta	Roca completamente descompuesta pero aun aparece textura de roca
IV	Muy descompuesta	Pedazos grandes que pueden ser destruidos con las manos
III	Moderadamente Descompuesta	Pedazos grandes que no pueden ser descompuestos por las manos
II	Algo descompuesta	Aparece como roca sana pero tiene manchas muestras de descomposición

I	Roca Sana	
---	-----------	--

Fuente: Influencia de los procesos de meteorización en la estructura del suelo y la estabilidad de taludes, Agudelo (2012)

- Suelo Residual arcilloso de cuarzomonzonita – Sracm
- Roca muy blanda de arenas de Cuarzomonzonita – Rmbarc
- Roca blanda de arenas de Cuarzomonzonita – Rbarc

9.1.1.2.1. Suelo Residual arcilloso de cuarzomonzonita – Sracm

Corresponde a suelos de textura limo arcillosa, grado de meteorización VI, nivel de descomposición: suelo, cuyo diagnóstico de reconocimiento es que no aparece textura reconocible de la roca, (Fotografía 1), según Hong Kong.

Es un suelo de textura limo arcillosa (muestra MJ_001), color rojizo a pardo rojizo claro, de aproximadamente 1,5 a 2,0 m de espesor. Este suelo tiene un horizonte A u horizonte orgánico casi totalmente erosionado, aflorando los horizontes B y C en superficie.

Esta unidad se expone en el sector más alto del terreno, correspondiente a la geoforma de cima, con topografía semi plana al W del área de estudio. De base a techo tenemos un suelo de color rojizo con alto contenido de arcilla, horizontes B y C, producto de la meteorización y alteración total de la roca in situ. Por encima de esta capa en sitios puntuales no cartografiables a escala de trabajo se observó un Horizonte A, u horizonte orgánico de suelo, cual presenta un color mucho más

oscuro por el contenido de materia orgánica. Este horizonte se encuentra casi totalmente ausente de la zona producto de la remoción y erosión laminar debido a la exposición del suelo y la alta precipitación de la región. (Fotografía 1).

Fotografía 1: Limite entre los dos tipos de suelos que se observan en la zona alta de la cárcava, (línea amarilla punteada), de base a techo un suelo de color rojizo y por encima de éste uno de color mucho más oscuro.



Fuente: Elaborado por los autores.

9.1.1.2.2. Roca muy blanda de arenas de Cuarzomonzonita – Rmbarc

Infrayaciendo la unidad de suelo, dentro de la cárcava, se encuentra la roca con grado de meteorización V, con descomposición: completamente descompuesta, cuyo diagnóstico es que la roca está totalmente descompuesta pero aún aparece textura de roca, siguiendo la clasificación de Hong Kong (1979) en Agudelo (2012). Se observa que conserva la textura ígnea fanerítica de grano medio a grueso del protolito, pero su estado de meteorización es alto a muy alto, y los cristales principalmente de plagioclasas se han alterado a arcillas, preservándose los cuarzos y algunos feldespatos. (Ver análisis de la muestra MJ_002)

9.1.1.2.3. Roca blanda de arenas de Cuarzomonzonita – Rbarc

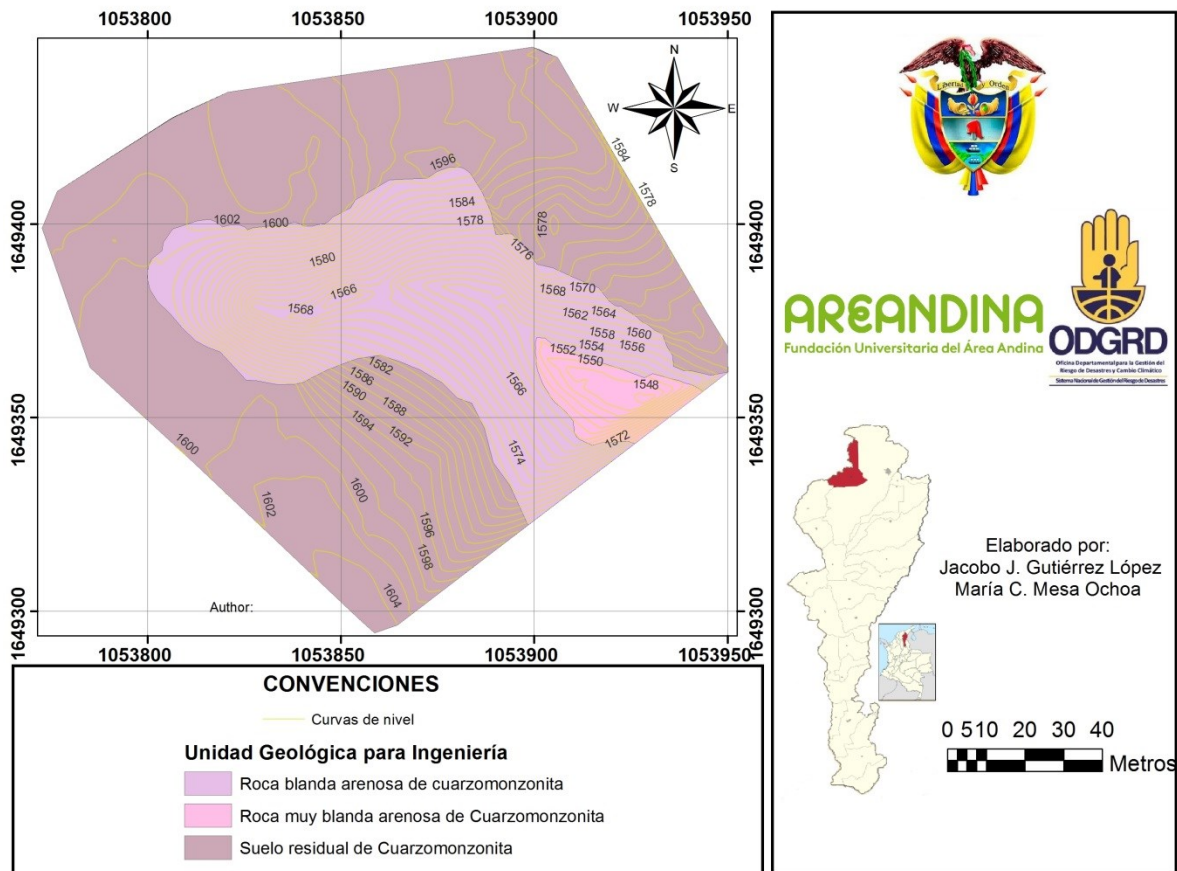
Hacia el fondo de la cárcava, sector suroriental de la zona de estudio, se localizan rocas con grado de meteorización IV, descomposición: Muy descompuesta, cuyo diagnóstico es de pedazos grandes que pueden ser destruidos con las manos, siguiendo la clasificación de Hong Kong (1979) en Agudelo (2012). Es un grado de meteorización menor de las cuarzomonzonitas, caracterizada por ser deleznable fácilmente con la mano o martillo y se aprecian de mejor manera los cristales parcialmente meteorizados, que se separan fácilmente formando un material suelto de textura arenosa, granos frágiles y muy poco contenido de arcillas. Se determinó la existencia de diques máficos, con 50cm de espesor con un grado alto de meteorización.

Fotografía 2: En la siguiente fotografía se delimita los dos estados de la roca analizada, debido a su estado de meteorización y grado de alteración de los minerales formadores de rocas y con una línea roja punteada se representan los diques máficos encontrados.



Fuente: Elaborada por los autores.

Figura 11: Mapa de unidades geológicas para ingeniería, del área analizada en la zona de Pueblo Hundido.



Fuente: Los autores.

9.1.2. COBERTURA Y USO DEL SUELO

La zona estudiada tiene 25667,02 m² (0,0256 km²) de área. Con la metodología CORINE Land Cover Adapada para Colombia, IDEAM (2010)¹⁶ encontraron las siguientes coberturas:

9.1.2.1. Red vial

Espacio con infraestructura que funciona como vía de comunicación entre la comunidad de Pueblo Bello y Nabusímake, sobre el lado izquierdo del área, cerca de la zona donde se presenta el carcavamiento. La vía es de Tipo 4, angosta y sin pavimentar (Fotografía 3).

Fotografía 3: Señalización con línea punteada de color rojo de la vía de comunicación entre la comunidad Pueblo Bello y Nabusimake.



Fuente: Autores

9.1.2.2. Pastos Enmalezados

Esta cobertura presenta superficies de suelo cubiertas con pastos, malezas y rastrojos pero con predominancia de la primera.

Fotografía 4: Superficies de suelos cubiertas con pastos, malezas y rastrojos



Fuente: Autores

9.1.2.3. Pastos Enmalezados con arboles

En esta categoría se incluyen las zonas que se encuentran cubiertas de pastos pero que también tienen la presencia de árboles de hasta 5 metros altura y se encuentran de forma dispersa (Fotografía 5)

Fotografía 5: Zona cubierta de pasto con presencia de árboles.



Fuente: Autores

9.1.2.4. Arbustos y Matorrales

Esta cobertura se constituye por vegetación de procedencia natural con porte bajo, donde existe el dominio de arbustos con presencia de matorrales, donde se superan el medio metro de altura (Fotografía 6).

Fotografía 6: Área con arbustos y matorrales.



Fuente: Autores

9.1.2.5. Tierras Desnudas

Estas zonas son las que se encuentran desprotegidas de una capa vegetal, o es tan escasa que no entra en cualquier otra clasificación debido a la ocurrencia de procesos tanto naturales como antrópicos de erosión y degradación extrema. En el área se presentan con intensos procesos de erosión que pueden llegar hasta la formación de cárcavas (Fotografía 7).

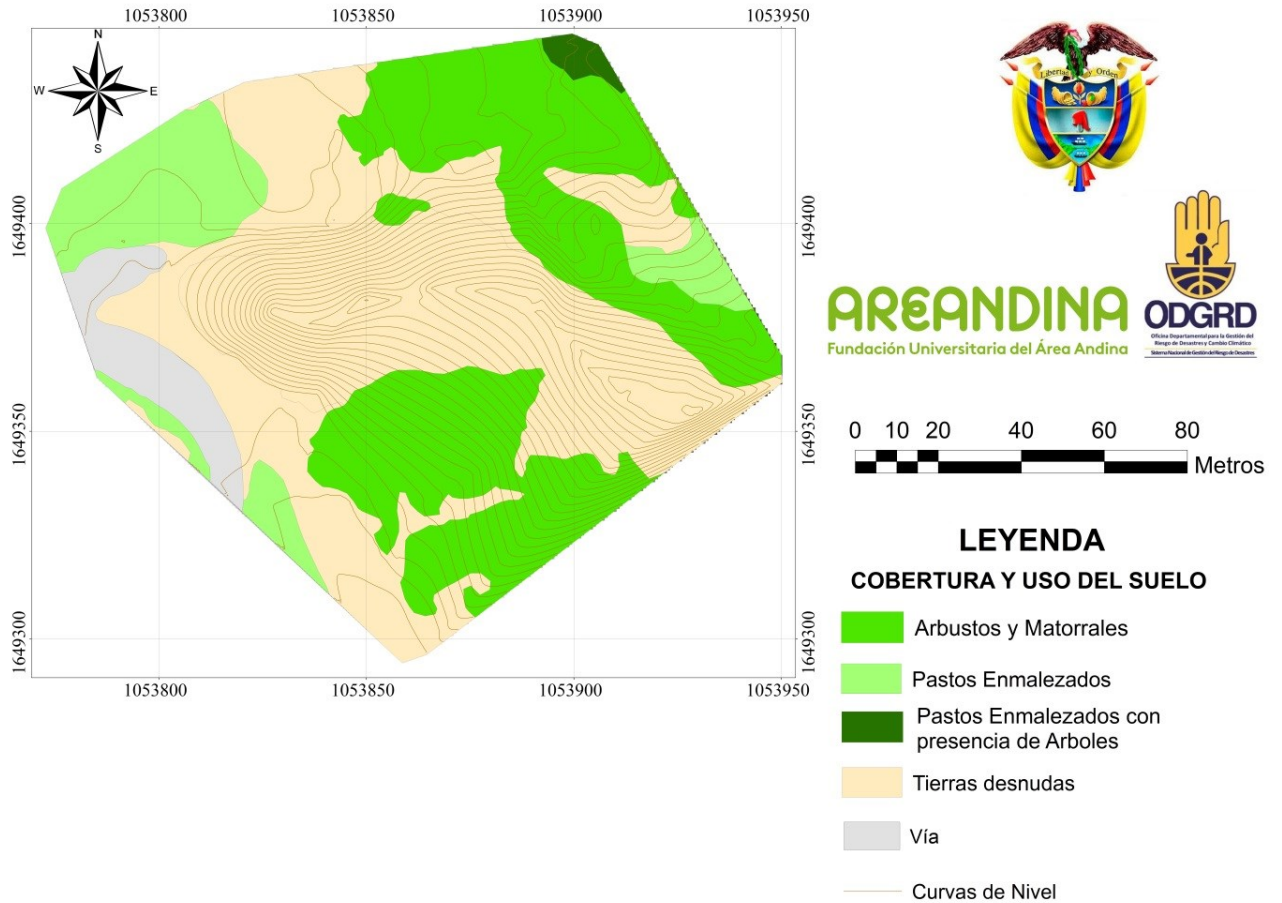
Fotografía 7: Zonas desprotegidas de capa vegetal casi en su totalidad o en su defecto totalmente descubiertas por acción antropogénica o procesos erosivos.



Fuente: Elaborado por los autores.

Con base en la clasificación de los diferentes tipos de unidades de cobertura y usos del suelo que se caracterizaron anteriormente, se generó el siguiente mapa:

Figura 12: Mapa de cobertura vegetal y uso del suelo, del área analizada en la zona de Pueblo Hundido.



Fuente: Autores.

Es notable en el mapa, la presencia de los diferentes tipos de cobertura vegetal que van desde arbustos y matorrales a un área con tierras desnudas. Se resalta que esta última es la de mayor extensión en el área, que incide claramente en la intensidad de los procesos erosivos, igualmente, es importante hacer notar que no existen coberturas boscosas o vegetación arbórea, de talla mayor a 5 metros de

altura, restringiéndose a vegetación arbustiva o de pastos con árboles bajos, lo que incide a que el suelo no se encuentre tan protegido frente a los agentes erosivos.

9.1.3. GEOMORFOLOGÍA

Para el análisis de la geomorfología se tuvieron en cuenta tres aspectos, como se menciona en la metodología de trabajo: La morfometría o análisis del relieve, la cartografía de unidades geomorfológicas a nivel de componentes y la morfodinámica que corresponde a la identificación y mapeo de eventos erosivos y de movimientos en masa:

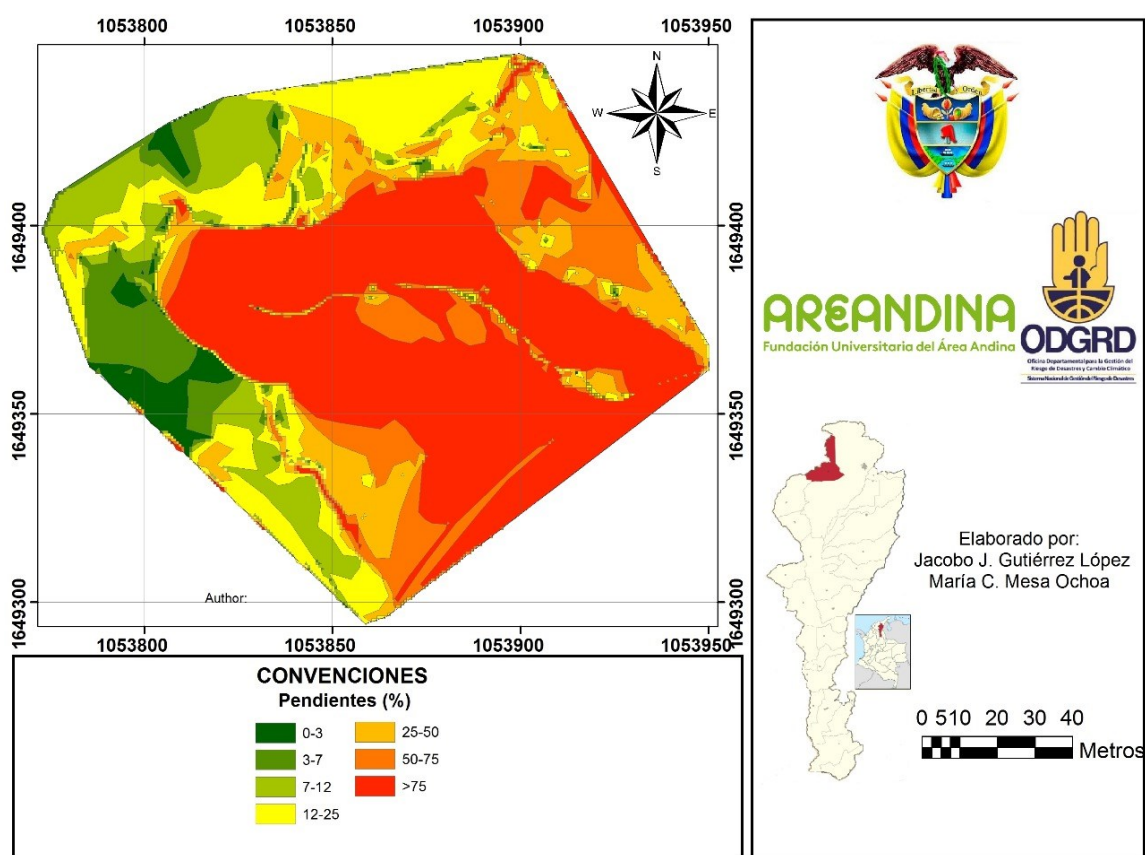
9.1.3.1. MORFOMETRÍA

Para Cioccale, M. (2017)²⁰, el relieve es fundamental en la acción de los procesos atmosféricos, geológicos, geomorfológicos, hidrológicos y ecológicos que operan sobre o cerca de la superficie de la Tierra. El lazo que une los procesos y las geoformas es fundamental para comprender la naturaleza y magnitud de la dinámica del planeta.

²⁰ Cioccale, M., (2017): Análisis de Modelos Digitales de Elevación (MDE): Geomorfometría. Universidad Nacional de La Pampa, Facultad de ciencias exactas y naturales.

Teniendo en cuenta la clasificación de los rangos de pendientes establecidos por el IGAC (2012)¹⁷, se generó un mapa de pendientes empleando el modelo digital de elevación (DEM) con base en la topografía hecha en campo, del cual se derivó, empleando el software ArcGIS 10.4, el parámetro de pendientes. Como se observa en la Figura 10.

Figura 13: Mapa de pendientes, del área analizada en la zona de Pueblo Hundido.



Fuente: Elaborado por los autores.

Se observa que la mayor parte de la cárcava tiene pendientes en el rango >75%, cubriendo un alto porcentaje de la zona de estudio. La zona adyacente a la corona de la cárcava presenta una pendiente con rangos desde 0 a 12 %. La parte norte y sur con respecto a la cárcava, presentan pendientes intermedias y altas que van desde 12 a 75%.

9.1.3.2. UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

La información disponible a nivel regional para geomorfología corresponde al mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa Escala 1:100.000, plancha 26, Pueblo Bello (SGC 2015)²¹ la cual define, dentro del sistema orogénico SNSM, para la zona de estudio, el ambiente morfo-genético denudacional.

Cuando se comienza a tratar dentro de la geomorfología dinámica se debe analizar en detalle la morfogénesis, es decir, la relación entre las geoformas generadas y presentes en el área, y los procesos dinámicos que los produjeron (Corporación SUNA HISCA, 2003)²².

El ambiente denudacionales corresponde a la modificación de los paisajes por los procesos exógenos se manifiesta en procesos erosivos hídricos y gravitatorios o una combinación de los dos. Estos están mayormente relacionados por las condiciones climáticas de la región (Robertson, et. 2013)²³. Sin embargo, existen

²¹ SGC, 2015, Memoria explicativa, Mapa de Amenaza Plancha 26, Escala 1:100.000. Bogotá D.C.

²² Corporación SUNA HISCA, (2003): Parque ecológico Distrital de Montaña Entrenubes, Geomorfología, Componente biofísico. Departamento técnico administrativo del medio ambiente.

²³ Robertson, K.; Jaramillo, O.; Castiblanco, M., (2013): Guía Metodológica Para La Elaboración De Mapas Geomorfológicos. IDEAM

combinaciones entre las dos, que involucra erosión de forma laminar, surcos y cárcavas, y deslizamientos y flujos de suelos y escombros. Por ende, estos subambientes interactúan para crear un sinnúmero de geoformas (SGC, 2013)¹.

En el área de estudio se delimitaron y caracterizaron las unidades geomorfológicas a nivel de componentes, teniendo en cuenta la metodología del SGC (2016)⁸ descrito en la Tabla 3:

Tabla 4: Descripción y nomenclatura de los componentes del ambiente denudacional para el área de estudio.

AMBIENTE	COMPONENTE	NOMENCLATURA
DENUACIONAL	Cárcava	Dcv
	Cima Semiplano	Dcs
	Ladera inclinada	Dli

Fuente: Elaborada por los autores.

9.1.3.2.1. Cárcava (Dcv)

Acá se hacen evidentes los procesos erosivos hídricos, ayudado de la ausencia de vegetación; estos atacan directamente al suelo generando surcos que evolucionan rápidamente a cárcava. Hay que agregar que otro factor a tener en cuenta para esta geoforma es el profundo nivel de meteorización que se encuentra en la zona.

En esta geoforma también se logra apreciar deslizamientos planares productos del debilitamiento de las aun conservadas diaclasas que hacen la función de plano de rotura.

La cárcava, hacia el sector occidental, presenta una cabeza semicircular de 25 metros de diámetro, con taludes subverticales, que se transforman hacia el oriente en una cárcava en “V”, las paredes a través de la garganta se comportan de manera similar a ambos costados, manteniendo la alta pendiente.

9.1.3.2.2. Cima semiplano (Dcs)

Se encuentra en la occidental del área y es la parte más alta de la zona de estudio, este presenta un relieve de bajas y muy bajas pendientes. La erosión es laminar por precipitación, esto ayudado también por la escasa vegetación que la cubre, es esta misma erosión que deja al descubierto el terreno para que sea mucho más fácil y rápido el avance del proceso de carcavamiento.

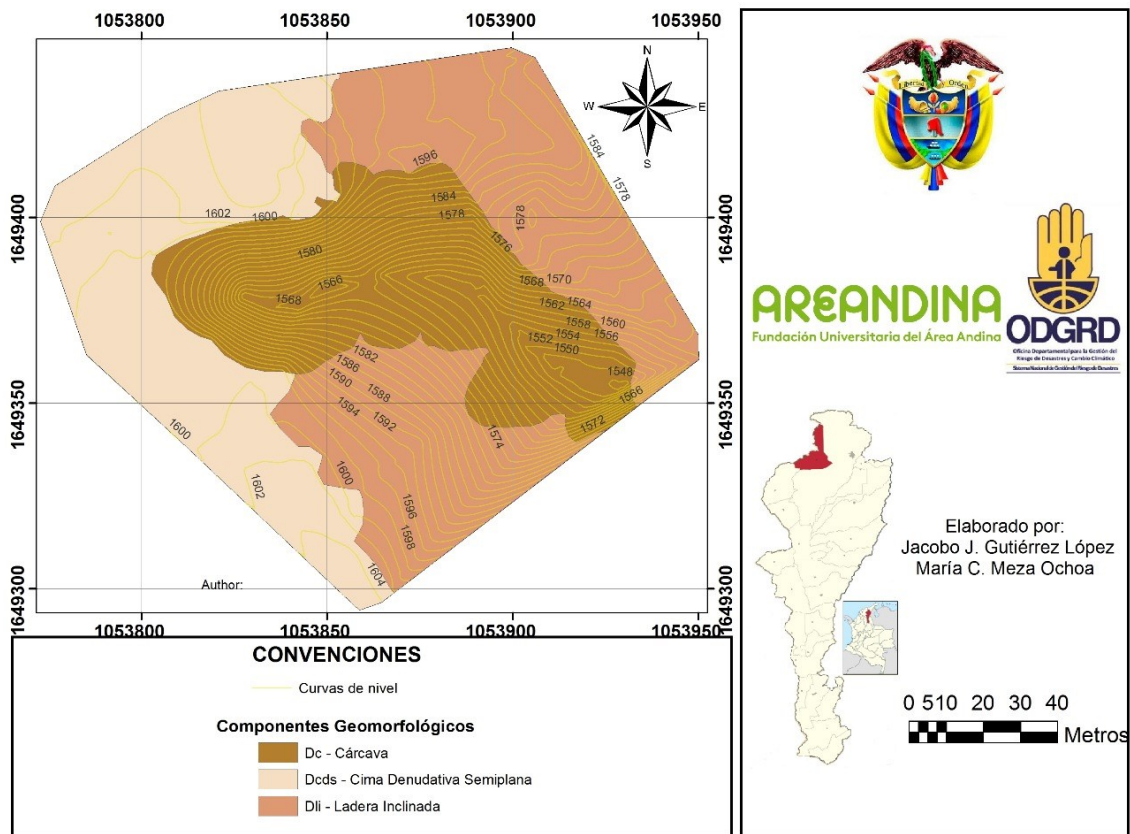
El tipo de suelo que compone este componente geomorfológico es arcilloso, debido a la posición de la unidad, se encuentra sobre la dirección de avance de la cárcava anteriormente descrita.

9.1.3.2.3. Ladera inclinada (Dlai)

Geoforma de pendientes inclinadas y ligeramente escarpadas, caracterizada por procesos fuertes de erosión, provocando surcos y grietas profundas. Este componente geomorfológico se encuentra cubierto de vegetación, sin embargo, no es suficiente protección para los suelos, debido a que en toda la superficie se logran identificar erosión laminar y reptación evidenciada por la inclinación de la de algunos árboles.

Esta se encuentra a los costados de la cárcava (Nororiental y Sur), a medida que la erosión avanza y los procesos hídricos debilitan el subsuelo alimentará la erosión por carcavamiento.

Figura 14: Mapa de componentes geomorfológicos del área de estudio.



Fuente: Elaborado por los autores.

Se observa en el mapa anterior que los tres componentes geomorfológicos dentro del área de estudio, se caracterizan por presentar una velocidad e intensidad de erosión diferente una a la otra, en la parte central la cárcava muestra un avance en dirección occidental, el carácter denudacional de la Cima y las laderas (alrededor de la cárcava) pueden significar un avance rápido de surcos, facilitando el carcavamiento.

9.1.3.3. MORFODINÁMICA

Son aquellos procesos correspondientes a acciones a través de los cuales los agentes morfodinámicos (Externos, relacionados a elementos y condiciones climáticas, e internos, relacionados con eventos tectónicos y endógenos de la tierra) tienen la capacidad de modelar y modificar los paisajes geomorfológicos.

Como se mencionó anteriormente, la modificación del paisaje se rige ambiente denudacional. Es normal encontrar rastros de erosión fuerte sobre los materiales del área estudiada como se muestra a continuación:

9.1.3.3.1. Erosión

La erosión en la zona, ataca al suelo de diferentes maneras, teniendo en cuenta características de este, como el relieve y la cobertura vegetal.

9.1.3.3.1.1. Erosión laminar

Primeramente tenemos la erosión más básica, y esta se encuentra en la zona plana de la cima, donde la falta de vegetación permite que, de manera fácil, la

precipitación remueve laminarmente delgadas películas de suelo, a medida que el agua fluye (Fotografía 8).

Fotografía 8: Erosión laminar, detallada en el área de estudio analizada.



Fuente: Elaborado por los autores.

Fotografía 9: Erosión laminar, detallada en el área de estudio analizada.



Fuente: Elaborado por los autores.

La dirección del flujo laminar se ve caracterizado en un patrón común, y es que se presenta de occidente a oriente, más precisamente hacia la cárcava, lo que es una característica importante que indica el avance de esta.

9.1.3.3.1.2. Erosión en surcos

Este tipo de erosión, a diferencia del anterior, es producto del flujo en superficies irregulares, ya sea por la evolución de la erosión laminar, o por las grietas que puedan presentar los suelos; por todo eso, en estos casos las acciones de desprendimiento son mucho mayores.

Fotografía 10: Erosión en surcos, detallada en el área de estudio analizada.



Fuente: Elaborado por los autores.

Fotografía 11: Erosión en surcos, detallada en el área de estudio analizada



Fotografía 12: Erosión en surcos, detallada en el área de estudio analizada.



Fuente: Elaborado por los autores.

9.1.3.3.1.3. Erosión en cárcavas

Son el resultado de avanzados procesos de erosión laminar y en surcos. La cantidad de material que este transporta supera a los mencionados anteriormente. En la zona de estudio este se encuentra en la parte central, y debido al debilitamiento de las paredes de la cárcava, se observan deslizamientos y desprendimientos de material (Fotografía 13). El avance de la cárcava se ve ayudado por la incisión de los surcos alrededor de este.

Fotografía 13: Erosión en cárcavas, detallada en el área de estudio analizada.



Fuente: Elaborado por los autores.

Fotografía 14: Erosión en cárcavas, detallada en el área de estudio analizada.



Fuente: Elaborado por los autores.

9.1.3.3.2. Caídas

Para Jaime Suarez (1989)²⁴, los caídos incluyen los suelos, materiales relativamente pequeños y grandes bloques, y el movimiento se produce sobre un talud de fuerte pendientes, ya sea por caída libre, saltos o rodando.

²⁴ Suarez, J., (1995): Deslizamientos: Análisis Geotécnico. Capítulo 1: Nomenclatura y clasificación de los Movimientos. Pag. 1-39.

9.1.3.3.2.1. Caída de suelos

Estos normalmente se llevan a cabo en las partes altas, condicionadas por las altas pendientes y precedido por agrietamientos. En la Zona de estudio el evento se produce en algunas áreas de las partes laterales de la cárcava (Fotografía 15).

Fotografía 15: Caída de suelos, detallada en el área de estudio analizada.



Fuente: Autores

9.1.3.3.2.2. Caída de detritos

Debido al tipo de suelo residual arenoso correspondiente a las paredes de la cárcava, es normal poder observar el desprendimiento y caída de partículas consideradas detritos por el tamaño de los granos. Estos se acumulan en la parte de la garganta formando “Talus” (Fotografía 16).

Fotografía 16: Presencia de “talus” provocada por la caída de detritos, detallada en el área de estudio analizada.



Fuente: Elaborado por los autores.

9.1.3.3.3. Deslizamientos

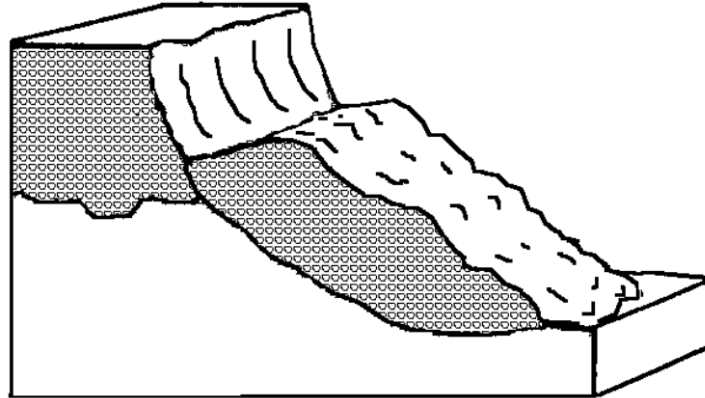
Los deslizamientos son movimientos los cuales se caracterizan por fallar a través de una superficie de rotura, y una zona de deslizamiento (Vargas 2000)²⁵. Estos se clasifican en rotacionales (Roca homogénea) y trasnacionales (Heterogeneidad litológica) según Varnes (1978).

9.1.3.3.3.1. Deslizamiento Rotacional

Estos se caracterizan por tener una superficie de rotura cóncava hacia arriba. Para Cruden & Varnes (1996) El movimiento produce poca deformación interna del material. En el área de estudio este se encuentra en las paredes de la parte izquierda (aguas abajo) de la garganta de la cárcava. El deslizamiento se encuentra inactivo, ya que la vegetación evidencia el tiempo de quietud del material (Fotografía 17).

²⁵ Vargas Cuervo, G., (2000): Criterios para la clasificación y descripción de movimientos en masa. Universidad Industrial de Santander, Revista Boletín de Geología Vol 22, No 37.

Figura 15: Comportamiento de un deslizamiento rotacional, establecido por Cruden y Varnes en 1996.



Fuente: Varnes, 1996.

Fotografía 17: Deslizamiento rotacional, detallada en el área de estudio analizada, en la etapa de campo.



Fuente: Elaborado por los autores.

9.1.4. ENSAYOS DE LABORATORIO Y RESULTADOS

9.1.2.3. HUMEDAD NATURAL (INV-E-122)

Ensayo que permite determinar en el laboratorio el contenido de agua natural (Humedad), por masa de suelo, roca y mezclas de suelo agregado. La humedad o contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas.

La importancia de este ensayo radica en que el contenido de agua como una de las propiedades más significativas de los materiales empleada para establecer correlaciones con el comportamiento de los suelos.

CÁLCULOS

Se calcula el contenido de humedad de la muestra, mediante la siguiente ecuación:

$$\%W = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_3} * 100$$

Donde:

%W = es el contenido de humedad en porcentaje (%)

W_1 = es el peso de tara más el suelo húmedo, en gramos

W_2 = es el peso de tara más el suelo secado en horno, en gramos:

W_3 = es el peso de tara, en gramos

MUESTRA MJ_001:

$W_1 = 422.2$ gr.

$W_2 = 380.4$ gr.

$W_3 = 61.6$ gr.

$$\%W = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_3} * 100$$

$$\%W = \frac{422.2 - 380.4}{380.4 - 61.6} * 100 = 13.11 \%$$

MUESTRA MJ_002:

$W_1 = 455.3$ gr.

$W_2 = 394.9$ gr.

$W_3 = 74.2$ gr.

$$\%W = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_3} * 100$$

$$\%W = \frac{453.3 - 396.9}{394.9 - 74.2} * 100 = 17.58\%$$

9.1.2.4. LÍMITES (INV- E- 126)

Determinación del límite plástico e índice de plasticidad de suelos. El límite plástico de un suelo es el contenido más bajo de agua, determinado por este procedimiento, en el cual el suelo permanece en estado plástico. El índice de plasticidad de un suelo es el tamaño del intervalo de contenido de agua, expresado como un porcentaje de la masa seca de suelo, del cual el material está en un estado plástico. El índice corresponde a la diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico del suelo.

CÁLCULOS

MUESTRA MJ_001:

9.1.2.4.1. LÍMITE PLÁSTICO

$$LP = \frac{\text{Masa de agua}}{\text{Masa de suelo seco}} * 100$$

Tabla 5: Limite plástico de la muestra MJ_001

LIMITE PLASTICO- LP			
Muestra	MJ_001_LP1	MJ_001_LP2	MJ_001_LP3
Peso tara (gr)	19.1	20	22.4
Peso húmedo + Peso Tara (gr)	20.4	21.7	24.3
Peso Seco (gr) + Peso J8uTara (gr)	20	21.2	23.7
Peso del Agua	0.4	0.5	0.6
Peso Suelo Seco	0.8	1.2	1.3
%W Cont. de Humedad	44.44	41.67	46.15
LIMITE PLÁSTICO LP- MUESTRA MJ_001			44.08%

Fuente: Elaborada por los autores.

9.1.2.4.2. LÍMITE LÍQUIDO

El límite líquido, en este caso, es hallado a partir de un solo punto de ensayo, debido a que el número de golpes resultantes en la práctica en la cuchara de Casagrande eran muy elevados. Se escoge el valor más cercano a 25 golpes:

$$L = Wn * \left(\frac{N}{25}\right)^{0.121}$$

LL = Limite liquido para un punto, en un tanteo

Wn = Contenido de agua del tanteo

N= Numero de golpes para que se cierre la ranura

$$LL = 48.2 * \left(\frac{27}{25}\right)^{0.121} = 48.6\%$$

Según Atteberg en 1911, establece arbitrariamente tres límites para los cuatros estados de la materia e indica que el limite liquido es la humedad a la que el suelo pasa de estado plástico a líquido, es decir, comienza a comportarse como un lodo viscoso y a fluir bajo su propio peso.

9.1.2.4.3. ÍNDICE DE PLASTICIDAD

IP = Límite Líquido – Límite Plástico

$$IP = 48.6 - 44.08 = 4.52\%$$

Para un valor de 4,52% se ubica en intervalo de humedades dentro del cual el suelo se comporta como un material ligeramente plástico, característica notoria en campo ya que se tritura fácilmente con los dedos.

9.1.2.5. GRANULOMETRÍA (INV-E- 123)

Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos. Esta norma se refiere a la determinación cuantitativa de la distribución de los tamaños de las partículas de un suelo, en este caso se determinará por tamizado ya que las partículas son mayores a 75μ , es decir, con un diámetro 0,075 mm y quedan retenidas el tamiz No. 200, que permite determinar qué porcentaje presenta de gravas, arenas y finos la muestra seleccionada.

Tabla 6: Tabla para datos granulométricos, numero del tamiz y abertura correspondiente.

Diámetro Malla (mm)	Tamiz (Pulg. "- No.)
75 mm	3/4
25.0 mm	1/2
19.00 mm	3/8 "
9.5 mm	No.4
4.75 mm	No.10
2.00 mm	No. 40
0.075 mm	No. 200
	Pasa 200

Fuente: Elaborado por los autores.

CÁLCULOS

Se calcula el peso inicial P_1 , mediante la siguiente fórmula:

$$P_1 = \frac{MH}{\%HN + 1}$$

Donde:

P_1 = es la masa o peso inicial

MH = es el peso de la muestra húmeda primeramente registrada, en gramos.

$\%HN$ = es el valor de la humedad natural de la muestra, en porcentaje.

RESULTADOS

✓ MJ_001:

Tabla 7: Tabla para datos granulométricos, número del tamiz, pesos retenidos y porcentajes que pasan.

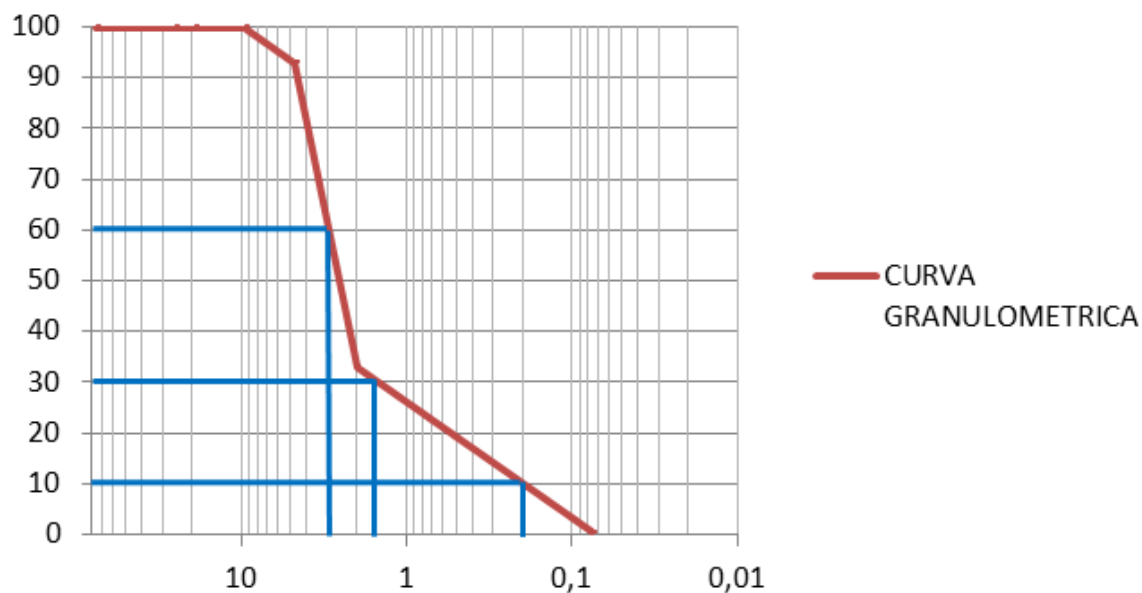
$P_1 = 952.6$ gr		$P_2 = 281.2.6$ gr	
Tamiz No.	Peso Retenido (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje que pasa (%)
$\frac{3}{4}$ "	0	0	100
$\frac{1}{2}$ "	0	0	100

3/8"	0	0	100
No. 4	0.28	0.099	99.901
No. 10	19.6	6.97	92.93
No. 40	168.4	59.92	33.01
No. 200	91.3	32.49	0.57
P 200	1.62	0.57	0
Σ	281.6	100	100

Fuente: Elaborado por los autores.

Figura 16: Curva granulométrica de la muestra MJ_001

CURVA GRANULOMETRICA



Fuente: Elaborado por los autores.

D10= 0,13

D30= 0,38

D60= 0,82

COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD

$$CU = \frac{D60}{D10}$$

$$CU = \frac{0,82}{0,13} = 6,307$$

COEFICIENTE DE CURVATURA:

$$CC = \frac{D30^2}{D10 * D60}$$

$$CC = \frac{D30^2}{D10 * D60} \quad CC = \frac{0,38^2}{0,13 * 0,82} = \frac{0,1444}{0,1066} = 1,354$$

El grado de distribución del tamaño de las partículas indica que el suelo es bien graduado.

CLASIFICACIÓN DE MUESTRA

Según AASHTO; la muestra *MJ_001* es un suelo tipo A-2-5 (Limos arcillosos).

✓ **MJ_002:**

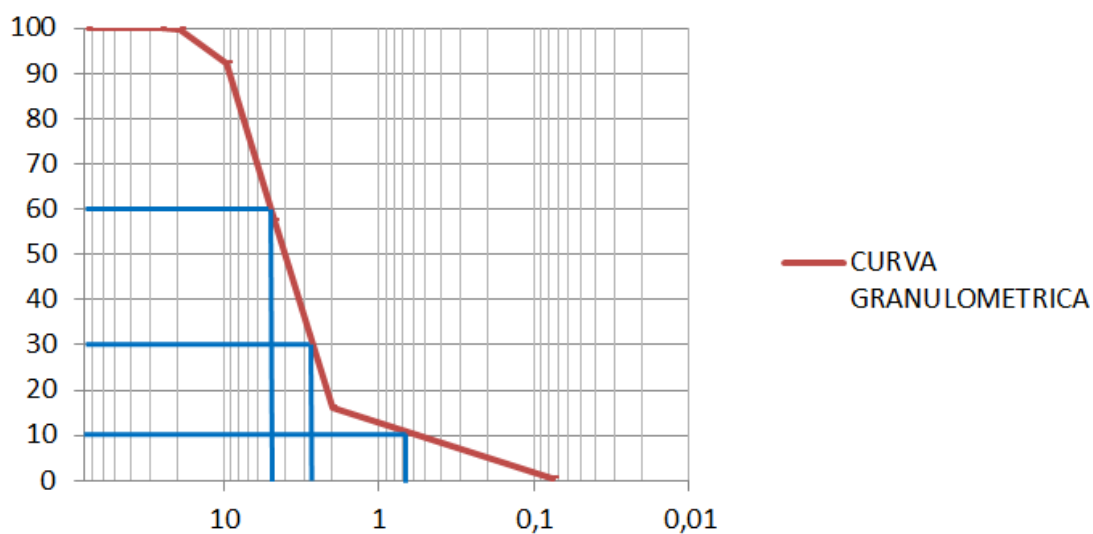
Tabla 8: Tabla para datos granulométricos, número del tamiz, pesos retenidos y porcentajes que pasan.

P₁= 887.1		P₂= 785,8	
Tamiz No.	Peso Retenido (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje que pasa (%)
3/4"	0	0	100
1/2"	0	0	100
3/8"	1.2	0,152	99,848
No. 4	59.4	7,55	92,298
No. 10	273.3	34,77	57,52
No. 40	324.2	41,25	16,278
No. 200	123.1	15,66	0,618
P 200	4,6	0,58	0,038
Σ	785,8	100	100

Fuente: Elaborada por los autores.

Figura 17: Curva granulométrica de la muestra MJ_002

CURVA GRANULOMETRICA



D10= 0,22

D30= 0,70

D60= 2,20

COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD

$$CU = \frac{D60}{D10}$$

$$CU = \frac{2,20}{0,22} = 10$$

COEFICIENTE DE CURVATURA:

$$CC = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}}$$

$$CC = \frac{0,70^2}{0,22 * 2,20} = \frac{0,49}{0,484} = 1,01$$

El grado de distribución del tamaño de las partículas indica que el suelo es una arena limosa bien graduada.

CLASIFICACIÓN DE MUESTRA

Según AASHTO; la muestra MJ_002 es A-1-b (Fragmentos pétreos, arenas).

- 9.1.2.6. **PESO UNITARIO (INV-E-217):** Determinación de la densidad bulk (peso unitario) y el porcentaje de los vacíos. Esta norma tiene por objeto establecer el método para determinar la densidad bulk (peso unitario) y el porcentaje de los vacíos de los agregados, ya sean finos, gruesos o una mezcla de ambos.

CÁLCULOS

Densidad Bulk

$$M = \frac{G - T}{V}$$

M= Densidad bulk del agregado (kg/m³)

G= Masa del agregado + la del recipiente de medida (kg)

T= Masa del recipiente de medida (kg)

V= Volumen del recipiente de medida (m³)

MUESTRA MJ_001:

G= 6.707 gr

T= 4.892 gr

V= 1364.6 cm³

$$M = \frac{6.707 - 4892}{1364.6} = 1.33 \frac{gr}{cm^3}$$

MUESTRA MJ_002:

$$G = 6.390 \text{ gr}$$

$$T = 4.892 \text{ gr}$$

$$V = 1364.6 \text{ cm}^3$$

$$M = \frac{6.707 - 4892}{1364.6} = 1.33 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

CÁLCULOS

Gravedad específica Bulk

$$Gsb \text{ sp}_{gr} = \frac{A}{B + S - C}$$

Gravedad específica Saturada

$$Gsb \text{ ss sp}_{gr} = \frac{S}{B + S - C}$$

Gravedad específica Aparente

$$Gsa \text{ sp}_{gr} = \frac{A}{B + A - C}$$

% Absorción

$$\%Abs = \frac{S - A}{A} * 100$$

Donde:

A= Masa en el aire de la muestra seca al horno (gr)

B= Masa del picnómetro aforado lleno de agua (gr)

C= Masa total del picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua (gr)

S= Masa de la muestra saturada y superficialmente seca (gr)

MUESTRA MJ_001:

Tabla 9: Tabla de resultados obtenidos para la muestra MJ_001 en el ensayo de laboratorio de peso específico.

Peso Especifico Y Absorción Agregado Fino Inv E-222				
Pruebas	1	2	3	Promedio
A = Peso En El Aire Muestra Seca	458,3			
B = Peso Picnómetro Lleno Agua	734,0			
C = Peso Picnómetro Lleno + Muestra	1013,1			
S = Peso Muestra Saturada S.S.S.	500,0			
B + S – C	220,9			

B + A - C	179,2			
Gs APARENTE = $A / (B+S-C)$	2,075			2,075
Gs Bulksss = $S / (B+S-C)$	2,263			2,263
Gs NOMINAL = $A / (B+A-C)$	2,557			2,557
Absorción = $((S-A) / A) * 100$	9,099			9,099

Fuente: Elaborado por los autores.

MUESTRA MJ_002:

Tabla 10: Tabla de resultados obtenidos para la muestra MJ_001 en el ensayo de laboratorio de peso específico.

PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN AGREGADO FINO INV E-222				
PRUEBAS	1	2	3	PROMEDIO
A = PESO EN EL AIRE MUESTRA SECA	487,5			
B = PESO PICNÓMETRO LLENO AGUA	734,0			
C = PESO PICNÓMETRO LLENO + MUESTRA	1034,9			
S = PESO MUESTRA SATURADA S.S.S.	500,0			

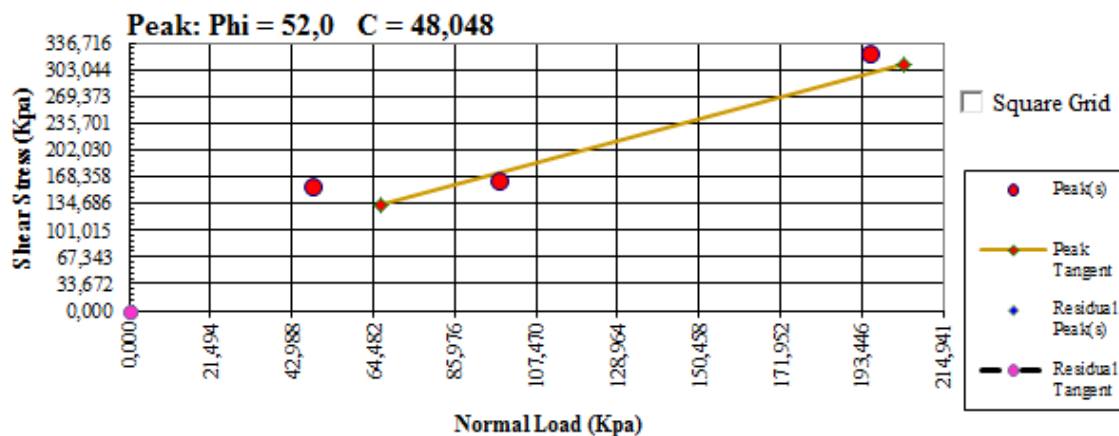
B + S - C	199,1		
B + A - C	186,6		
Gs APARENTE = A / (B+S-C)	2,449		2,449
Gs BULKsss = S / (B+S-C)	2,511		2,511
Gs NOMINAL = A / (B+A-C)	2,613		2,613
ABSORCIÓN = ((S-A) / A) *100	2,564		2,564

Fuente: Elaborado por los autores.

9.1.2.7. CORTE DIRECTO (NTC1917)

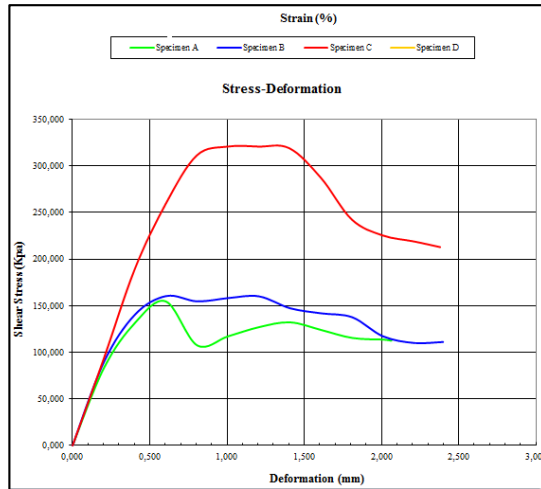
Muestra MJ_001

Figura 18: Cálculo del ángulo de fricción y la cohesión.



Fuente: Elaborado por los autores.

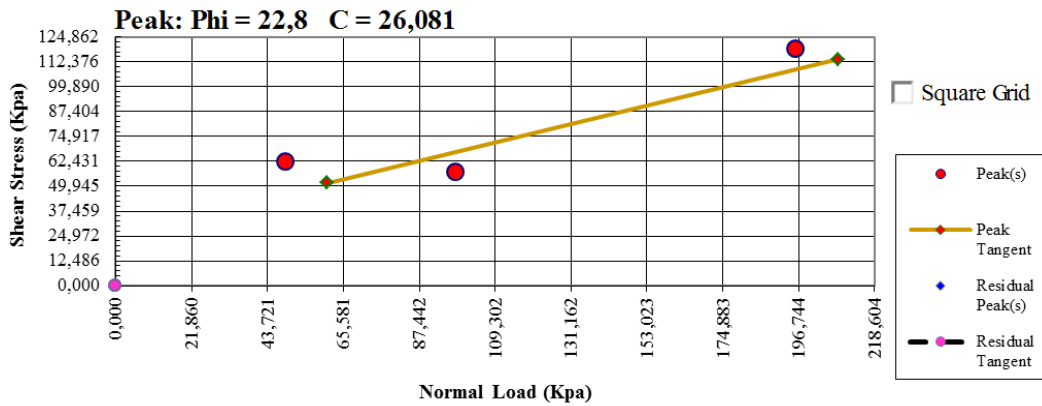
Figura 19: Corte de la muestra MJ_001. Esfuerzo vs deformación.



Fuente: Elaborado por los autores.

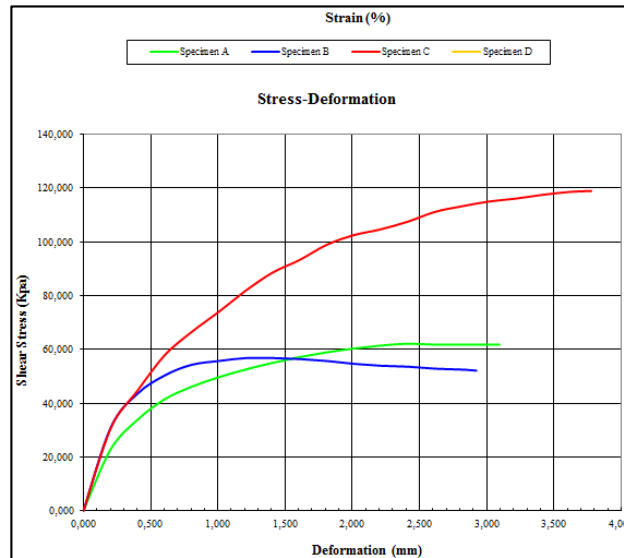
Muestra MJ-002

Figura 20: Cálculo del ángulo de fricción y la cohesión.



Fuente: Elaborado por los autores.

Figura 21: Corte de la muestra MJ_002. Esfuerzo vs deformación.



Fuente: Elaborado por los autores.

9.2. RESULTADOS INVESTIGATIVOS

9.2.1. ANÁLISIS DE EROSIONABILIDAD

La relación entre los factores de unidades geológicas para ingeniería, cobertura y uso del suelo, y geomorfología, van ligadas a los ensayos realizados en el laboratorio de la siguiente manera:

9.2.1.1 Erosionabilidad unidad Suelo en geoforma de cima semiplana.

En primera medida se tienen los suelos que con el ensayo de granulometría de la muestra MJ_001, se clasifican como Limos Arcillosos; sumado a los resultados de los ensayos de Límite Líquido y plásticos se denominan cohesivos, esto quiere decir que los suelos presentan una mayor resistencia a la erosión, debido a que estas características indica que las partículas tienden a mantenerse unidas o cohesionadas por las propiedades físico químicas de las arcillas (Fotografía 18).

Estos suelos se encuentran desprotegidos (coberturas de Red vial y Tierras desnudas), por lo que están directamente afectados por denudación de la precipitación. Como consecuencia de esto, la erosión hídrica es realizada de forma laminar, como se evidencia en el punto de morfodinámica.

De otro lado estos suelos presentan una capacidad de adsorción considerable (9,09%) (la capacidad de adsorción normal de los suelos es del 2%) según el ensayo de peso unitario, y por esta razón, debido al alto contenido de arcillas expansivas es común que sobre esta se generen grietas de disecación (Fotografía 19) al perder el contenido de agua.

Fotografía 18: Unidad de Limos Arcillosos, sin cobertura vegetal.



Fuente: Autores

Fotografía 19: Comportamiento de un suelo arcilloso, analizado en el Laboratorio de la Fundación Universitaria del Área Andina, sede Valledupar, luego de haber sido sometido a ensayos de peso unitario.



Fuente: Autores.

Las grietas anteriormente mencionadas facilitan la canalización de la erosión, aumentando la profundidad de incisión en el terreno.

9.2.1.1 Erosionabilidad unidad Suelo en geoforma de ladera inclinada

El suelo en zonas con cobertura vegetal de Arbustos y Pastos, en laderas con inclinación entre 12% y 50% (Ladera Inclinada) sigue presentando erosión pero con una intensidad mucho menor; como factor en contra tienen la pendiente que facilita y aumenta la velocidad del movimiento del agua y por ende aumenta la capacidad de erosión de la lluvia en la parte superficial (Fotografía 20). Es importante resaltar que las grietas en los suelos también pueden ser producto de estructuras heredadas de las rocas o por su alto contenido de arcillas como se corroboró en el ensayo de peso unitario, debido a que esta propiedad permite que se alteren sus características, mostrando un hinchamiento al momento de absorber agua y disecación cuando pierden el contenido de humedad óptimo.

Fotografía 20: Unidad de Limos Arcillosos, sobre la Ladera Inclinada.



Fuente: Autores

9.2.1.2 Erosionabilidad en unidad de rocas blandas en geoforma de cárcava

Clasificado según el ensayo granulométrico como agregados pétreos arenosos, cuyo material suelto no permite realizar ensayos de límites líquidos y plástico ya que por el tamaño y distribución de los granos y mínima cantidad de arcillas, no son cohesivos, lo que los hace más vulnerables a procesos denudativos.

Lo anterior es evidente pues la erosión se da de una manera más concentrada, los surcos en el terreno y el efecto de carcavamiento son quienes atacan esta unidad, esto es producto de que conserva estructuras de la roca madre, como diaclasas y diques (Como se mostró en las Unidades Geológicas para Ingeniería) que hacen papel de vía conductora para la erosión.

En esta unidad, las pendientes presentes tienen un rango entre 50% hasta mayores a 75%, son áreas que no poseen cobertura vegetal (Tierras Desnudas)

(Fotografía 21) y por esto, las caídas de detritos, caída de suelos y deslizamientos en las paredes de los taludes, y la erosión en surcos y cárcavas, condicionan la morfodinámica de esta área.

Fotografía 21: Unidad de Rocas Blandas, sobre la geoforma de Cárcava.



Fuente: Autores

9.2.1. CARACTERÍSTICAS DE LA CARCAVA

Los procesos de carcavamiento evidentes, siguiendo los conceptos de Suarez Díaz (2001),²⁷ en el sitio de trabajo son:

- ✓ **Profundización del fondo de la cárcava:** Se presenta profundización discontinua debido al escarpe vertical en la cabeza o corona circular de la cárcava en la parte occidental, de ese sector en sentidos aguas abajo, se presenta profundización continua sin escarpe como se observa en los sectores de las laderas inclinadas en ambos costados de la cárcava.

- ✓ **Avance Lateral:** Los taludes laterales tanto Norte como Sur, se evidencia la pérdida de estabilidad geotécnica, en la ladera norte aguas abajos margen izquierdo, evidente la ampliación lateral de la cárcava con la presencia de deslizamientos traslacionales, caída de suelos y caídas de detritos y surcos.

- ✓ **Erosión acelerada concentrada en los sitios de cambio topográfico en el fondo de la cárcava:** Es notoria la presencia en el canal central de la cárcava este proceso con la evidencia de una garganta profunda.
“En los cambios de pendiente la turbulencia y la fuerza concentrada de la corriente de agua acelera localmente el proceso de erosión y socavación” ²⁷

- ✓ **Avance de la cabeza de la Cárcava:** Aquí se evidencia esta situación en la cárcava de la Zona de Pueblo Hundido, Fotografía 20.

Fotografía 20: Avance de la cárcava de la zona de Pueblo Hundido.



5. Erosión laminar y en surcos: Parámetro notorio en esta cárcava donde se evidencia en la geforma de la cima laminar y en las paredes de las laderas y la cárcava se generan los surcos. Ver Fotografías (8,9 y 10).

Para poder correlacionar todas las características que posee la cárcava localizada en el sector de Pueblo Hundido, área de estudio del presente proyecto, se debe estudiar las posibles razones de la génesis de la estructura.

Como primer parámetro se debe analizar la razón de la escasa vegetación que cubre el área de estudio, esto se le puede atribuir a la falta del horizonte A o suelo orgánico, debido a las propiedades físicas y químicas de procedencia de estos (rocas ácidas) agregado a la pérdida física del elemento por la erosión, Según la FAO²⁶ 2015, por la precipitación.

Las características de los suelos es otro factor que se debe tener en cuenta, puesto que debido a su alto contenido de arcillas, que alteran sus propiedades y se hinchan al momento de absorber agua (época de lluvias) y quienes generan grietas de disecación cuando se pierden contenido de humedad optimo (época de escasas lluvias).

Fotografía 21: Comportamiento de un suelo arcilloso, analizado en el Laboratorio de la Fundación Universitaria del Área Andina, sede Valledupar, luego de haber sido sometido a ensayos de peso unitario.

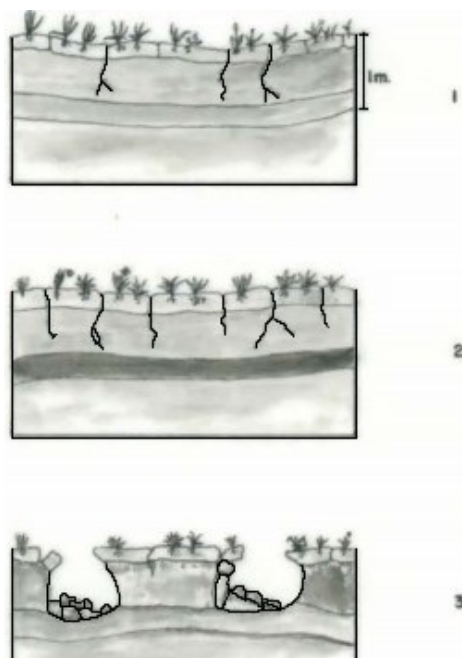


Fuente: Autores.

²⁶ FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), (2015): Estado Mundial del recurso suelo, resumen técnico. Grupo Técnico Intergubernamental del Suelo. Roma, Italia.

Dichas grietas, sirven como conducto para que el agua pueda hacer un trabajo erosivo a mayor profundidad, de tal manera que posterior a la exposición del suelo a estas condiciones se den como resultado surcos superficiales que concentran los procesos denudativos.

Figura 22: Inicio de formación de cárcavas por erosión subsuperficial, Suárez 1992.



Fuente: Extraído de: Estudio y control de la erosión hídrica (Juan Peláez, 1999)

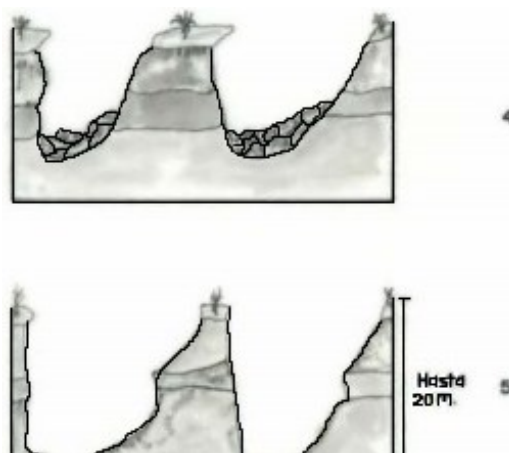
Fotografía 22: Inicio de formación de cárcavas por erosión subsuperficial en la zona de pueblo Hundio.



Fuente: Autores.

Ahora bien, una vez formados los surcos o canales de profundidad considerable, empiezan los procesos en los cuales la erosión se concentra en estos puntos, actuando con mayor agresividad y el material removido es mayor; es decir aumenta la debilidad del terreno y acelera la acción de los agentes atmosféricos.

Figura 23: Avance de formación de cárcavas por erosión subsuperficial, Suárez 1992.



Fuente: Extraído de: Estudio y control de la erosión hídrica (Juan Peláez, 1999)

Fotografía 23: Avance de formación de cárcavas por erosión subsuperficial en la zona de pueblo Hundio.



Fuente: Autores.

9.2.2. TIPO DE CÁRCAVA

Las cárcavas se pueden clasificar por diferentes aspectos, de acuerdo a la Secretaría de Agricultura de México²⁷, los cuales se especificarán a continuación:

- ✓ **Según su forma:** La cárcava en el sector de Pueblo Hundido es Lineal, debido a que mantiene una forma alargada, y tiene pocos drenajes tributarios en su costado, sin embargo la evolución de estos drenajes puede cambiar la forma principal de éste.

Fotografía 24: Planet de la Cárcava de la zona de Pueblo Hundido.

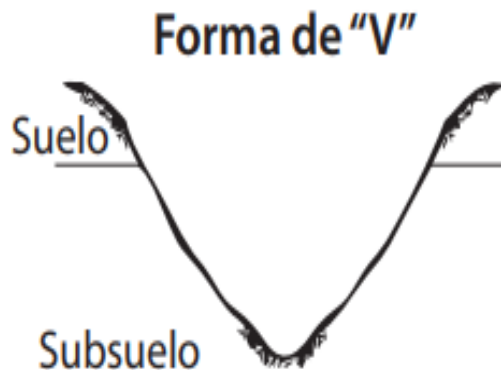


²⁷ Secretaría de Agricultura de México, (2005), Control de cárcavas.

Fuente: Imagen satelital Landsat extraída de SAS.

- ✓ **Según la forma de la sección:** La forma de la sección depende de las características de resistencia a la erosión que posea el suelo, en este caso, a medida de que la erosión profundiza el terreno, este tiende a ofrecer cierta oposición (Comparado con el suelo superficial) a ser removido por la erosión, por lo tanto de manera transversal este forma una "V" como se muestra a continuación.

Figura 24: Forma de "V" de la cárcava.



Fuente: Extraído de: Control de cárcavas, Secretaria de Agricultura de México. (2005)

Fotografía 25: Forma de “V” de la cárcava observada en campo.



Fuente: Autores.

- ✓ **Según su continuidad a lo largo de la pendiente:** Esta cárcava se consideró como continua, ya que conforma un sistema de drenaje bien definido, conformado por un sistema de erosión principal a lo largo de ella, y pequeñas redes a los costados pero que se conectan con el eje principal anteriormente mencionado.

También se considera una clasificación de Cárcavas según Suarez Díaz (2001)²⁸. De acuerdo a ésta se identifica que la cárcava estudiada, es una Cárcava Alargada con escarpe vertical superior.

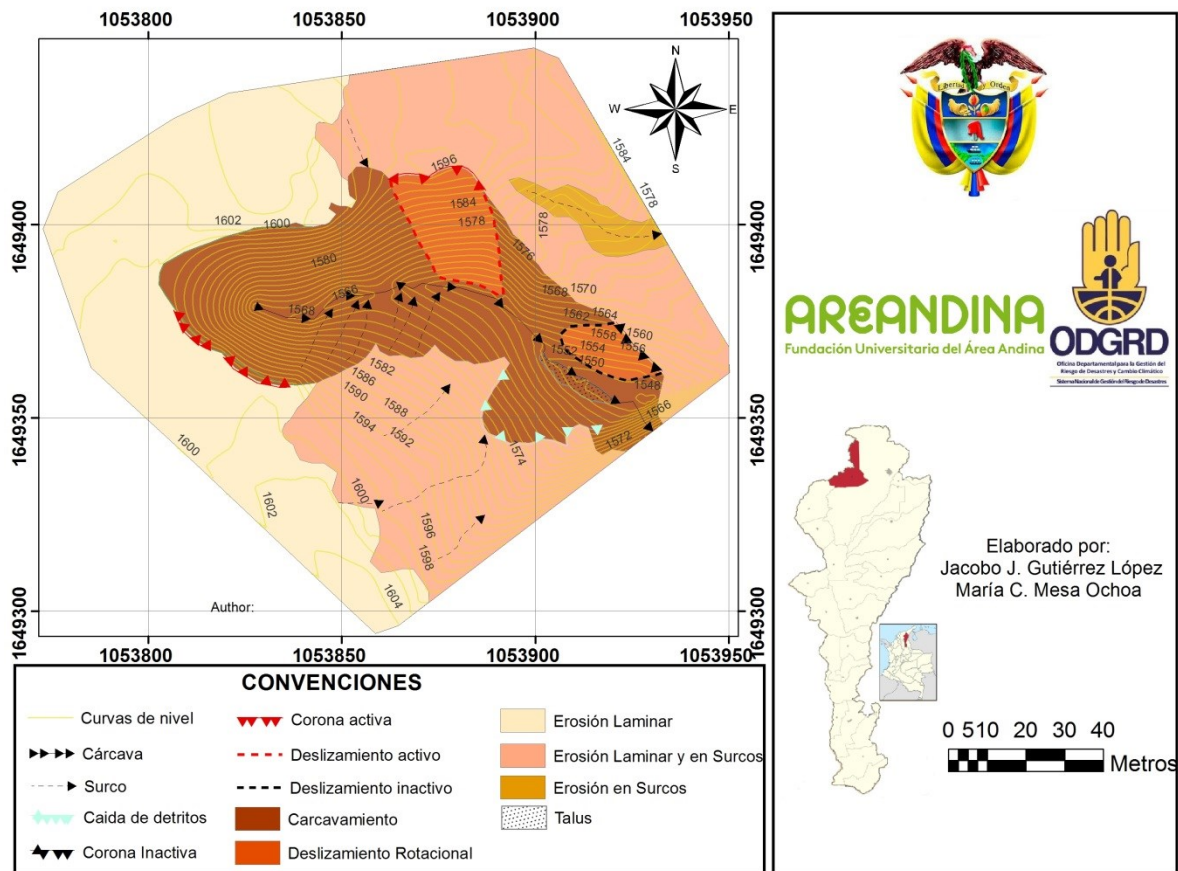
Las cárcavas alargadas con escarpe vertical superior se definen como: “Ocurre en suelos cohesivos o con coberturas de raíces; son retrogresivas con avance y fallas

²⁸ Jaime Suárez Díaz, TIPOS DE EROSIÓN Y SU CONTROL, (2001)

de los taludes resultantes por el esfuerzo al o volteo. En ocasiones se agrava el proceso por afloramiento de agua subterránea en el pie del escarpe formado”.²⁷

Los suelos cohesivos superiores se refieren a la unidad geológica Suelo residual arcilloso, aflorantes al occidente de la cárcava que es la parte superior de la geoforma, se evidencia el proceso retrogresivo en el continuo desplome y fallas de los taludes resultantes, así mismo con la información verbal de las personas que habitan en el área que indican que con el pasar del tiempo la cárcava ha aumentado su proceso erosivo avanzando hacia el oriente, posterior a deslizamientos.

Figura 25: Mapa producto de procesos morfodinámicos del área de estudio.



Fuente: Autores.

CONCLUSIONES

- ✓ En el área de estudio se encuentra una cárcava de tipo Alargada con escarpe vertical superior, Según Suarez (2001), estas características se originan por el tipo de materiales presentes en ésta, arriba un suelo cohesivo resistente a la erosión y debajo un material no cohesivo arenoso, que corresponde a rocas con un grado de meteorización de alto a muy alto.

- ✓ Los procesos morfodinámicos encontrados son de 3 tipos, Erosión, caída de material y deslizamientos.
Dentro de la erosión se encontró 3 tipos:
 - Erosión laminar: Se encuentra en la geoforma de Cima Semiplana, en suelos cohesivos lo cual incide en que sea resistente a la erosión, a pesar de no tener cobertura vegetal o es muy escasa de tipo pastos
 - Erosión en surcos: Se encuentra sobre la geoforma Ladera Inclinada, que debido a la pendiente moderada que este presenta, intensifica el efecto del agua sobre los suelos cohesivos. También se presentan sobre las paredes de los taludes de la cárcava, ya que este suelo granular poco cohesivo se encuentra totalmente expuesto a la erosión
 - Erosión en cárcava: Se encuentra sobre la geoforma Cárcava, se encuentra sobre Tierras completamente desnudas, y suelos arenosos sin cohesión.

- ✓ La caída de material se da de 2 formas:
 - Caída de Suelos: se encuentran en la parte superior de la cárcava, producto de las altas pendientes.
 - Caída de detritos: Este se efectúa sobre la pared derecha (aguas abajo) de la cárcava, producto de la erosión y disgregación de los cristales de las unidades de Rocas Blandas y Muy Blandas.

- ✓ Los deslizamiento son de tipo rotacionales, sobre En el área de estudio este se encuentra en las paredes de la parte izquierda (aguas abajo) de la garganta de la cárcava. El deslizamiento se encuentra inactivo, ya que la vegetación evidencia el tiempo de quietud del material.
- ✓ La zona interna de la cárcava presenta un material clasificado en las unidades geológicas para ingeniería como Rocas Blandas y muy Blandas, los suelos se encuentran totalmente desnudos lo que genera un proceso de carcavamiento creciente profundo y lateral.

- ✓ Los estudios realizados en el laboratorio dejan como resultado que los suelos superficiales son Limos Arcillosos, cohesivos y que ofrecen una resistencia a la erosión. Las rocas blandas y muy blandas que se encuentran dentro de la cárcava, se clasifican como Arenas, con poca o sin cohesión.

- ✓ Con base en todo lo anterior concluimos que el tipo de cárcava presente en el área es de tipo Alargada con escarpe vertical superior, Según Suarez (2001), con corona redonda, en la cual los procesos erosivos, como erosión en surcos, laminares, caída de detritos, caída de suelos y deslizamientos se están concentrando en la parte interna de la estructura geológica en los taludes inclinados y verticales.

RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda implementar un sistema para el control de cárcavas y prácticas de conservación a nivel de las laderas como repoblación de pastos y elaboración de zanjas de desviación de flujos para reducir la velocidad y magnitud de erosión.
- ✓ Es necesario el cambio del trayecto de la vía Pueblo Bello – Nabusímake debido a la cercanía con respecto a la cárcava.
- ✓ Se recomienda ensayos más profundos en cuanto a las propiedades mecánicas del terreno, para la elaboración de obras como modificación de la ladera.
- ✓ Realizar un estudio de erosión retrospectivo de los materiales presentes en el área, para conocer la velocidad de avance de la cárcava.
- ✓ Es recomendable realizar un constante monitoreo de la cárcava, para observar la velocidad de avance de esta.

LISTO DE ANEXOS

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Fase 1 **Fase 2** **Fase 3**

Anexo 1: Cronograma de Actividades.

N°	Actividades	Se m.1	Se m.2	Se m.3	Se m.4	Se m.5	Se m.6	Se m.7	Se m.8	Se m.9	Sem .10	Sem .11
1	Recopilación bibliográfica											
2	Levantamiento topográfico											
3	Prospección geológica y geomorfológica											
4	Muestreo											
5	Ensayos de laboratorio											

6	Elaboración de mapa de procesos morfodinámicos											
7	Análisis de resultados											
8	Propuesta de posible alternativa											
9	Informe final											

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- ✓ Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa. Servicio Geológico Colombiano.

- ✓ Normatividad del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres. Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres. Edición 2012. Jairo Bárcenas Sandoval, Benjamín Collante Fernández, Nelson Hernández Marulanda, y Phanor Saa Parra.

- ✓ Plan Departamental de Gestión del Riesgo, Cesar, 2012. Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastre.

- ✓ Mora, C. R. (2004). Evaluación de la susceptibilidad al deslizamiento del cantón de San José, provincia de San José, Costa Rica. Universidad de Costa Rica.

- ✓ Mujica, S., & Pacheco, H. (2013). Metodología para la generación de un modelo de zonificación de amenaza por procesos de remoción en masa, en la cuenca del río Camurí Grande, estado Vargas, Venezuela. Revista de Investigación, 37(80).

- ✓ Cupacan, H., & Erney, H. (2014). Zonificación de susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa mediante geoprocesamiento con herramientas SIG en la cuenca del río azufral (Bachelor's thesis, Universidad Militar Nueva Granada).

- ✓ Dra. Marcela A. CIOCCALE, (2017): Análisis de Modelos Digitales de Elevación (MDE): Geomorfometría. Universidad Nacional de La Pampa, Facultad de ciencias exactas y naturales.

- ✓ Corporación SUNA HISCA, (2003): Parque ecológico Distrital de Montaña Entrenubes, Geomorfología, Componente biofísico. Departamento técnico administrativo del medio ambiente.

- ✓ SGC, (2013): Memoria Explicativa Mapa De Geomorfología De La Plancha 149 Departamentos De Boyacá, Antioquia Y Santander. DIRECCION DE GEOAMENAZAS.

- ✓ Robertson, K.; Jaramillo, O.; Castiblanco, M., (2013): Guía Metodológica Para La Elaboración De Mapas Geomorfológicos. IDEAM

- ✓ FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), (2015): Estado Mundial del recurso suelo, resumen técnico. Grupo Técnico Intergubernamental del Suelo. Roma, Italia.

- ✓ Vargas Cuervo, G., (2000): Criterios para la clasificación y descripción de movimientos en masa. Universidad Industrial de Santander, Revista Boletín de Geología Vol 22, No 37.

- ✓ Secretaría De Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca Y Alimentación, (2005). Control de Cárcavas. México D.F., México.

- ✓ Suarez, J., (1995): Deslizamientos: Análisis Geotécnico. Capítulo 1: Nomenclatura y clasificación de los Movimientos. Pag. 1-39.

- ✓ Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, AIS, (2009): Estudio de amenaza sísmica de Colombia. ISBN 978-958-97609-6-3. Bogotá, D.C., Colombia.

- ✓ Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales, IDEAM, (2018): Boletines Climatológicos mensuales del año 2017. Bogotá, D.C., Colombia

