



**ESTUDIO MULTIDISCIPLINARIO DE LA DUNITA DE MEDELLÍN Y LA OCURRENCIA DE  
MOVIMIENTOS EN MASA EN EL VALLE DE ABURRÁ: CASO DESLIZAMIENTO DE  
GRANIZAL (2025)**

Propuesta técnico económica

**18 DE AGOSTO DE 2025**

**FACULTAD DE MINAS**

ciencia, tecnología e innovación para el país

Carrera 80 No. 65-223 - Bloque M6, Oficina 106

Teléfono 425 50 76 -425 50 72 Telefax 234 10 02

Correo electrónico: [cdiminas\\_med@unal.edu.co](mailto:cdiminas_med@unal.edu.co)

Medellín, Colombia, Sur América



**PROPUESTA TÉCNICO ECONÓMICA PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO**  
**ESTUDIO MULTIDISCIPLINARIO DE LA DUNITA DE MEDELLÍN Y LA OCURRENCIA DE**  
**MOVIMIENTOS EN MASA EN EL VALLE DE ABURRÁ: CASO DESLIZAMIENTO DE**  
**GRANIZAL (2025)**

**Entidad Interesada:**

**Departamento Administrativo para la Gestión del Riesgo de Antioquia**  
**-DAGRAN-**

**Entidades Ejecutoras:**

**Facultad de Minas**  
**Departamento de Geociencias y Medio Ambiente**

**Grupo de investigación:**

**GEOHAZARDS**

**Director del Proyecto:**

**Edier V. Aristizábal G.**  
**FACULTAD DE MINAS**



## Contenido

PRESENTACIÓN.....	3
EXPERIENCIA ESPECÍFICA DEL PROFESOR EDIER ARISTIZÁBAL COMO DIRECTOR.....	4
Universidad Nacional de Colombia.....	8
1. ANTECEDENTES.....	11
2. JUSTIFICACIÓN.....	12
3. OBJETIVO GENERAL.....	13
4. METODOLOGÍA.....	13
4. ALCANCE.....	23
5. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	24
6. CONDICIONES DE DESEMBOLSO.....	26
7. PRESUPUESTO ESTIMADO.....	27
5. PROPIEDAD INTELECTUAL.....	32
6. ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO.....	33
7. VALIDEZ DE LA OFERTA.....	33
CONTACTO.....	34



## PRESENTACIÓN

La información que se describe en esta propuesta es de carácter confidencial y por lo tanto no puede ser revelada, y en caso que en los términos de referencia no se estipule la publicidad de las propuestas, éste no podrá ser publicada sin previa autorización por escrito del Representante Legal de la Universidad Nacional de Colombia.

El único uso de este documento es que sirva de base para realizar la evaluación de la propuesta presentada. Respecto a la propiedad intelectual, se entenderá que la Universidad Nacional estará subordinada al imperio de las leyes nacionales que rijan en la materia conforme al tipo de contratación que se derive por la presentación de la presente propuesta. En caso de requerirse un acuerdo de propiedad intelectual por la naturaleza del proyecto, se realizarán los tramites que haya lugar conforme a la normativa vigente.

La presente propuesta no es de carácter vinculante, y en consecuencia no se registrará por las normas de la oferta mercantil. Las condiciones para la prestación de los servicios serán pactadas entre las partes al momento de la suscripción del respectivo contrato y convenio.

## EXPERIENCIA ESPECÍFICA DEL PROFESOR EDIER ARISTIZÁBAL COMO DIRECTOR

Proyectos ejecutados	Amenaza	Vulnerabilidad	Riesgo	Movimientos en masa	Avenidas torrenciales	Inundaciones
Nombre proyecto: ACTUALIZACIÓN DEL MAPA NACIONAL DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1:25.000 - BLOQUE 05 (03-2022) Tiempo de ejecución: 10 meses Valor: 2.019.367.252 Entidad contratante: Servicio Geológico Colombiano						
Nombre proyecto: EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD, AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES (4600007767)						



<p>Tiempo de ejecución: 8 meses</p> <p>Valor: 551.652.000</p> <p>Entidad contratante: DAGRAN</p> <p>Nombre proyecto: EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD, AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA PARA EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA CON EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN APLICATIVO WEB PARA LA GESTIÓN (4600017471)</p> <p>Tiempo de ejecución: 4 meses</p> <p>Valor: 1.034.560.000</p> <p>Entidad contratante: DAGRAN</p>						
<p>Nombre del proyecto: Prestar servicios para generar una guía metodológica mediante la elaboración de documentos y formatos que conformen una especificación técnica para la definición y gestión de riesgos asociados a la geodinámica externa en los sitios de los proyectos. (4600004716)</p> <p>Tiempo de ejecución: 11 meses</p> <p>Valor: 680.850.159</p> <p>Entidad contratante: ISA</p>						
<p>Nombre del proyecto: ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD Y FACTIBILIDAD PARA PROYECTOS DE VIVIENDA PARA CINCO (5) ESPACIOS TERRITORIALES DE CAPACITACIÓN Y REINCORPORACIÓN - ETCRs (725-2020)</p> <p>Tiempo de ejecución: 5 meses</p> <p>Valor: 1.987.133.401</p> <p>Entidad contratante: Ministerio de Vivienda</p>						
<p>Nombre de proyecto: Elaborar la prefactibilidad para establecer la viabilidad en términos jurídicos de ordenamiento territorial, amenaza y disponibilidad del recurso hídrico para proyecto de vivienda en los inmuebles</p>						



<p>identificados en el municipio de Acacías (Meta) para la reubicación del AETCR “Mariana Páez” del municipio de Mesetas, con acompañamiento social</p> <p>Tiempo de ejecución: 5 meses</p> <p>Valor: 589.747.800</p> <p>Entidad contratante: ARN</p>					
<p>Nombre de proyecto: ESTUDIOS DE DETALLE POR AVENIDAS TORRENCIALES EN EL MUNICIPIO DE DABEIBA (URG 001 DE 2022)</p> <p>Tiempo de ejecución: 7 meses</p> <p>Valor: 583.092.820</p> <p>Entidad contratante: DAGRAN</p>					
<p>Nombre de proyecto: Estudios de prefactibilidad y factibilidad para establecer la viabilidad en términos jurídicos en ordenamiento territorial, y de amenaza y riesgo por movimientos en masa, inundación y avenidas torrenciales, y los estudios hidrológicos y diseños definitivos para prestar los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado para proyectos de vivienda en los AETCR (309010032211)</p> <p>Tiempo de ejecución: 13 meses</p> <p>Valor: 3.222.709.653</p> <p>Entidad contratante: PNUD</p>					
<p>Nombre de proyecto: ESTUDIOS DE AMENAZA A NIVEL DE DETALLE EN EL SECTOR SABALETAS DEL MUNICIPIO DE VALPARAÍSO (ANTIOQUIA) PARA ESTABLECER LAS ÁREAS CON CONDICIÓN DE AMENAZA Y CONDICIÓN DE RIESGO. (003-2022)</p> <p>Tiempo de ejecución: 3 meses</p> <p>Valor: 475.240.950</p> <p>Entidad contratante: DAGRAN</p>					
<p>Nombre de proyecto: ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA,</p>					



<p>INUNDACIONES Y AVENIDAS TORRENCIALES EN LOS MUNICIPIOS DE CALDAS, SABANETA, LA ESTRELLA, ENVIGADO, ITAGÜÍ, BELLO, COPACABANA, GIRAROTA Y BARBOSA (715-2017)</p> <p>Tiempo de ejecución: 15 meses</p> <p>Valor: 1.694.755.000</p> <p>Entidad contratante: AMVA</p>						
--	--	--	--	--	--	--

### Universidad Nacional de Colombia

La Universidad Nacional de Colombia es la universidad más grande del país, con presencia en nueve regiones: Bogotá, Medellín, Manizales, Caribe, Palmira, Tumaco, Amazonia, Orinoquia y La Paz. En la actualidad, más de 57,000 estudiantes y 3,000 profesores participan en la Universidad. Este gran capital humano, junto con sus 156 años de experiencia, han llevado a la Universidad a estar en las mejores instituciones del país en excelencia académica y capacidades de investigación. Hoy en día, la Universidad cuenta con más de 900 grupos de investigación, la mitad de ellos categorizados oficialmente por Minciencias, que trabajan no solo en investigación, sino también en servicios de innovación, interventorías y consultorías para instituciones gubernamentales y empresas privadas, con proyección nacional e internacional.

En particular, la Facultad de Minas del campus de Medellín es la facultad más grande de la Universidad Nacional Sede Medellín y una de las escuelas de ingeniería más grandes del país. En términos de experiencia en gerencia de proyectos la Facultad de Minas, en este caso representada por el Grupo de Investigación GEOHAZARDS ([www.geohazards.com.co](http://www.geohazards.com.co)), tiene hoy una cartera de proyectos de alrededor de 40 millones de dólares en investigación y servicios de consultoría externa, y unos 20 millones de dólares actualmente en ejecución.

### EQUIPO

**Edier Aristizábal.** El profesor Aristizábal es Ing. Geólogo con especialización en riesgos geológicos y asociados con el clima de la Universidad de Ginebra (Suiza), maestría en ingeniería de la Universidad de Shimane (Japón), doctorado en Ingeniería con énfasis en recursos hidráulicos de la Universidad Nacional, y recientemente desarrolló su postdoctorado en la Universidad de Potsdam (Alemania). Con

experiencia en el sector público como coordinador de gestión del riesgo en la subdirección Ambiental del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, y en el sector privado en ISAGEN como profesional encargado de movimientos en masa y planes de manejo por rotura de presas. Desde el año 2015 se encuentra vinculado al Departamento de Geociencias y Medio Ambiente de la Facultad de Minas como profesor de dedicación exclusiva.

**José Humberto Caballero Acosta.** El profesor Caballero es Ingeniero Geólogo de la Universidad Nacional de Colombia y Magíster en Geología del Cuaternario por la Université libre de Bruxelles (Bruselas). Ha trabajado en el entonces INGEOMINAS/Servicio Geológico Colombiano y ha coordinado proyectos interinstitucionales sobre lineamientos técnicos para intervenciones en laderas del Valle de Aburrá con el Área Metropolitana (AMVA). Fue profesor del Departamento de Geociencias y Medio Ambiente y ha desarrollado docencia y extensión en temas de geomorfología cuaternaria, patrimonio geológico y gestión del riesgo.

**Diego Armando Rendón Giraldo.** El profesor Rendón es Ingeniero Geólogo, con formación de Maestría. Su experiencia combina academia y consultoría geotécnica, incluyendo participación en estudios de microzonificación sísmica del Valle de Aburrá y trabajo en el sector privado (Solingral S.A.). En docencia e investigación desarrolla exploración y caracterización geotécnica, evaluación dinámica de suelos, cartografía aplicada a amenazas y evolución tectónica y sedimentaria de cuencas; actualmente está vinculado como profesor del Departamento de Geociencias y Medio Ambiente.

**Gaspar Monsalve Mejía.** El profesor Monsalve es Doctor en Geofísica por la University of Colorado at Boulder. Se desempeña como Profesor Asociado del Departamento de Geociencias y Medio Ambiente de la Universidad Nacional de Colombia (Sede Medellín). Su trabajo se centra en el uso de técnicas geofísicas para esclarecer la configuración litosférica y la tectónica de los Andes del norte, incluyendo sismología y geodinámica regional.

**María Victoria Vélez Otálvaro.** La profesora Vélez es Ingeniera Civil de la Facultad de Minas (UNAL Medellín) y realizó estudios de posgrado en la Escuela de Minas de París, donde obtuvo en 1984 el Diplôme d'Études Approfondies en Hidrogeología. Ha sido profesora de larga trayectoria en hidráulica e hidrogeología; autora del libro Hidráulica de aguas subterráneas, con amplia actividad en docencia, investigación y asesoría técnica.



**Luis Fernando Carvajal.** El profesor Carvajal es Ingeniero Civil con Maestría, especializado en recursos hídricos. Su experticia abarca la predicción y simulación de sistemas hidrológicos, la planeación y análisis de sistemas hidráulicos, y la evaluación de riesgo y cambio climático. Ha participado en estudios técnicos para ordenación y manejo de cuencas y actualmente se desempeña como profesor del Departamento de Geociencias y Medio Ambiente .

**Mauricio Arboleda Zapata.** Ingeniero Geólogo con maestría en Geofísica Aplicada (UNAM) y doctorado en Geofísica Aplicada (Universidad de Potsdam, Alemania). Especialista en refracción sísmica, tomografía y magnetotelúrica. Actualmente es docente en la Universidad de Tübingen (Alemania). Con experiencia en diseño y ejecución de campañas geofísicas, procesamiento e interpretación de datos y modelación del subsuelo para soporte a la evaluación de amenazas geológicas.

**Edwin García.** Ingeniero Civil con maestría y doctorado en Geotecnia (Universidades de Tokio y Kioto, Japón). Profesor de la Universidad de Antioquia. Experto en caracterización e instrumentación geotécnica, análisis de estabilidad de laderas y diseño de medidas de mitigación. **Con experiencia en el liderazgo del componente geotécnico** (campañas de campo, parametrización, back-analysis y criterios de diseño de obras).

## 1. NOMBRE DEL PROYECTO

Estudio integral de la Dunita de Medellín y su relación con la ocurrencia de movimientos en masa en el Valle de Aburrá: Estudio de causa-raíz de la tragedia de Granizal y diseño de medidas de reducción del riesgo

## 2. ANTECEDENTES

La Dunita de Medellín, recientemente denominada Metahazburguita, corresponde a una unidad geológica de carácter metamórfico, de edad mesozoica (Jurásico). Esta unidad aflora principalmente en la ladera oriental de los municipios de Medellín y Envigado, así como en las laderas occidental y oriental del municipio de Bello. En el Valle de Aburrá abarca un área aproximada de 56,26 km<sup>2</sup>, de los cuales 32,19 km<sup>2</sup> corresponden al distrito de Medellín. En términos geomorfológicos, constituye una franja elongada de alrededor de 35 km en dirección NNW, que se extiende desde el sector de Las Palmas (límite entre Envigado y Medellín), donde alcanza su mayor amplitud (cerca de 4 km), hasta el

suroccidente del área urbana del municipio de San Pedro de los Milagros, donde se adelgaza a menos de 1 km. Esta franja conforma las zonas de topografía más abrupta ubicadas al oriente del valle.

Estas rocas están compuestas principalmente por olivino como mineral esencial, acompañado por proporciones menores de cromita y magnetita. El olivino se encuentra parcialmente alterado a tremolita, la cual a su vez evoluciona hacia minerales del grupo de la serpentina, como talco y clorita. El perfil de meteorización de la dunita es, en general, de carácter extremadamente meteorizado, con predominio de una textura arcillosa y coloraciones rojo intenso en zonas de pendiente moderada a baja. En las áreas de alta pendiente, la intensa erosión y la escasa o nula cobertura vegetal exponen la roca, conservándola en un estado relativamente fresco. En el sector del altiplano, el perfil meteorizado es de bajo espesor, con frecuentes afloramientos rocosos y abundancia de geoformas de disolución como dolinas, macrodolinas, uvalas y valles kársticos.

Sobre la unidad de la Dunita de Medellín se reconocen diversos depósitos de vertiente, entre los que se destacan depósitos de flujo de escombros, deslizamientos y depósitos aluviales localizados en la parte alta del altiplano. Los depósitos de deslizamientos se caracterizan por una mala selección de materiales, con bloques de diámetros menores a 50 cm, inmersos en una matriz predominantemente arcillosa. Los depósitos de flujo están constituidos por bloques heterométricos con grado de meteorización moderado a alto, en una matriz de textura arcillo-limosa o limo-arcillosa.

En la cartografía geológica de la armonización de la microzonificación sísmica realiza del 2015 se presentan un total de 128 depósitos de vertientes en contacto o sobre la dunita de Medellín sumando un total de 24.54 km<sup>2</sup> de superficie sobre el territorio del distrito de Medellín.

### **3. JUSTIFICACIÓN**

El Valle de Aburrá ha sido históricamente afectado por movimientos en masa de gran magnitud, muchos de ellos directamente relacionados con la Dunita de Medellín. Esta unidad geológica, por sus características geotécnicas e hidrogeológicas, presenta una alta susceptibilidad a la inestabilidad, un hecho trágicamente confirmado por desastres como los de Media Luna (1957), Santo Domingo (1974), Villatina (1987), Alto Verde (2008) y La Presidenta (2011).

La reciente tragedia ocurrida el 24 de junio de 2025 en la vereda El Granizal, en la zona limítrofe entre el municipio de Bello y el Distrito de Medellín, subraya con urgencia la necesidad de un entendimiento profundo y actualizado de esta amenaza. Este evento, que dejó un saldo de 27 personas fallecidas y cientos de damnificados, no fue un simple deslizamiento. Se trató de un fenómeno complejo, de tipo multiamenaza y en cadena: un deslizamiento inicial de material saturado en la parte alta (Bello) se transformó en un flujo de lodos que, al canalizarse por la quebrada La Negra, impactó áreas en ambas jurisdicciones.

La complejidad de estos fenómenos, que no respetan límites administrativos, exige una respuesta coordinada y multidisciplinaria. Es imperativo no solo investigar las causas generales que explican la recurrencia de estos desastres asociados a la Dunita, sino también realizar un estudio de causa-raíz específico y detallado del evento de Granizal. Solo a partir de un diagnóstico preciso se podrán diseñar y proponer obras de estabilización efectivas y estrategias de ordenamiento territorial que reduzcan la probabilidad de ocurrencia de eventos similares y protejan la vida de los habitantes de la región.

Esta propuesta, liderada por la Universidad Nacional de Colombia - Facultad de Minas, convoca a expertos de diversas disciplinas para abordar este desafío de manera integral, articulando los esfuerzos del municipio de Bello, el Distrito de Medellín, el Departamento de Antioquia y el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

#### **4. OBJETIVO GENERAL**

Realizar un estudio integral y multidisciplinario de la unidad geológica Dunita de Medellín para caracterizar su comportamiento y su relación con la ocurrencia de movimientos en masa, determinando la causa-raíz del desastre de Granizal (2025) y proponiendo medidas de estabilización y estrategias para la gestión del riesgo en las áreas en condición de amenaza o riesgo

#### **5. METODOLOGÍA**

El proyecto se desarrollará en dos (2) etapas principales, con un plazo de ejecución total de dieciséis (16) meses contados a partir de la firma del contrato.

**Etapas I: Diagnóstico Integral, Caracterización de Campo y Soluciones para Granizal**

Esta etapa se enfoca en la adquisición de datos de alta resolución y la caracterización detallada para entender la física del macizo dunítico, con un enfoque prioritario en el retroanálisis y diseño de soluciones para la tragedia de Granizal.

**Fase 1. Cartografía y levantamiento LIDAR–Fotogramétrico**

**Objetivo de la fase:** Generar un modelo cartográfico geológico y geomorfológico a escala 1:2.000 de la zona de influencia de la Dunita de Medellín mediante la adquisición y procesamiento de datos LIDAR y fotogrametría aérea, que permita la identificación precisa de geoformas de karstificación.

- **Actividades principales:**
  - **Adquisición de datos LIDAR y fotogramétricos:**
    - Vuelo LIDAR con densidad  $\geq 12$  pts/m<sup>2</sup>.
    - Captura de imágenes aéreas multiespectrales y RGB con resolución < 10 cm.
    - Calibración de sensores y control de calidad en vuelo.
  - **Procesamiento de datos:**
    - Generación de Modelo Digital del Terreno (MDT) y Modelo Digital de Superficie (MDS).
    - Corrección geométrica y ortorrectificación de imágenes aéreas.
    - Clasificación automática y manual de puntos LIDAR (suelo, vegetación, edificaciones).
  - **Levantamiento cartográfico geomorfológico y geológico superficial:**
    - Identificación de unidades geomorfológicas y geoformas asociadas a la karstificación.
    - Delimitación de drenajes, escarpes, zonas de acumulación y erosión.
    - Cartografía geológica superficial enfocada en perfiles de meteorización de la Dunita.
    - Delimitación y caracterización de depósitos de vertiente que cubren el macizo dunítico.
    - Integración con cartografía geológica existente y bases topográficas.
  - **Validación en campo:**



- Recorridos de verificación de geoformas, estructuras y depósitos de vertiente.
- Ajustes de interpretación en zonas críticas.
- **Equipos y recursos:**
  - Aeronave no tripulada (UAV) equipada con sensor LIDAR de alta resolución.
  - Cámara multiespectral y RGB de precisión.
  - Estaciones GNSS para puntos de control terrestre (GCPs).
  - Software especializado: Terrascan, Global Mapper, ArcGIS/QGIS, Agisoft Metashape.
- **Productos esperados:**
  - Modelo Digital del Terreno (MDT) de 1 m de resolución.
  - Modelo Digital de Superficie (MDS) y nubes de puntos clasificadas.
  - Ortofotos de alta resolución (<10 cm).
  - Cartografía geomorfológica y geológica superficial a escala 1:2.000.
  - Informe técnico con metodología, resultados y validación en campo.

## Fase 2. Exploración Geotécnica

**Objetivo de la fase:** Definir las condiciones geotécnicas del macizo dunitico y de los depósitos asociados para obtener parámetros representativos de su comportamiento mecánico y estructural.

- **Actividades principales:**
  - **Perforaciones exploratorias:** Se ejecutarán **100 ml** de perforaciones en la Etapa I (70 ml en roca/depósitos y 30 ml en suelo).
  - **Ensayos de campo:**
    - **Diez (10) sondeos** de penetración estándar (SPT) de **10 m** cada uno.
    - Realización de **5 pruebas** de permeabilidad en perforaciones (Lefranc y/o Lugeon).
  - **Muestreo y ensayos de laboratorio:**
    - Cincuenta (50) ensayos de clasificación de suelos (granulometría, límites de Atterberg, humedad natural).
    - Diez (10) ensayos triaxiales y cincuenta (50) de corte directo.

- **Equipos y recursos:**
  - Taladro rotatorio, Equipo SPT, Laboratorio acreditado.
- **Productos esperados:**
  - Perfiles estratigráficos, registros geotécnicos, resultados de ensayos, informe técnico.

### Fase 3. Exploración Geofísica

**Objetivo de la fase:** Caracterizar las propiedades físicas del subsuelo para complementar los estudios geotécnicos.

- **Actividades principales:**
  - Se ejecutarán un total de **50 líneas/perfiles geofísicos**, combinando sísmica de refracción (MASW) y tomografía geoelectrica.
  - **Geofísica de Pozo:** Ejecución de **100 ml** de registros geofísicos en las perforaciones, incluyendo Caliper, Rayos Gamma, Temperatura, Eléctrico Focalizado, Potencial Espontáneo, Sónico (Ondas P y S), Verticalidad, Densidad y Caudalímetro.
- **Equipos y recursos:**
  - Sismógrafos, geófonos, resistivímetro multielectrodo, equipo de logging.
- **Productos esperados:**
  - Modelos sísmicos y geoelectricos, registros de pozo, informe técnico.

### Fase 4. Estudios Hidrogeológicos e Hidroquímicos

**Objetivo de la fase:** Caracterizar el sistema hidrogeológico e identificar el papel del agua en la saturación de los materiales.

- **Actividades principales:**
  - Levantamiento hidrogeológico de campo.
  - **Primera campaña de muestreo** para isotopía e hidroquímica en **20 puntos**.
  - Instalación de **4 recolectores de agua lluvia**.
  - Modelación hidrogeológica y evaluación de la influencia del agua en la tragedia de Granizal.
- **Equipos y recursos:**
  - Piezómetros, equipos de muestreo, laboratorio especializado, software hidrogeológico.

- **Productos esperados:**
  - Inventario hidrogeológico, base de datos, modelo numérico de flujo, informe técnico.

#### **Fase 5. Análisis de Estabilidad y Modelación**

**Objetivo de la fase:** Evaluar la estabilidad del macizo dunítico, con énfasis en el retroanálisis de la tragedia de Granizal.

- **Actividades principales:**
  - Retroanálisis del evento de Granizal.
  - Modelación de estabilidad de laderas y simulación de flujos de detritos.
  - Construcción de escenarios de amenaza.
- **Equipos y recursos:**
  - Software especializado (GeoStudio, PLAXIS, etc.), base cartográfica LIDAR.
- **Productos esperados:**
  - Retroanálisis documentado, modelos 2D y 3D, mapas de probabilidad de falla, informe técnico.

#### **Fase 6. Obras de Estabilización y Lineamientos Técnicos**

**Objetivo de la fase:** Diseñar las obras de estabilización y mitigación para el caso de Granizal.

- **Actividades principales:**
  - Diagnóstico y priorización de sectores.
  - Diseño de obras (muros, anclajes, drenes, etc.).
  - Verificación de diseños y formulación de lineamientos técnicos según NSR-10.
- **Equipos y recursos:**
  - Software de diseño geotécnico y estructural.
- **Productos esperados:**
  - Planos constructivos, memorias de cálculo, especificaciones técnicas, informe técnico.

#### **Etapas II: Modelación Avanzada, Zonificación de Amenaza y Gestión del Riesgo**

Esta etapa utiliza los datos de la Etapa I para escalar el análisis, definir la amenaza a nivel regional y establecer un sistema de monitoreo.

**Fase 7. Exploración Complementaria (Geotecnia y Geofísica)**

**Objetivo de la fase:** Ampliar la cobertura de datos para mejorar la resolución de los modelos del subsuelo a escala regional.

- **Actividades principales:**
  - **Perforaciones exploratorias:** Se ejecutarán **200 ml** de perforaciones adicionales (50 ml en suelo y 150 ml en roca/depósitos).
  - **Ensayos de campo:** Realización de **15 pruebas de permeabilidad**.
  - **Geofísica Complementaria:** Ejecución de **50 líneas/perfiles geofísicos adicionales**, combinando sísmica y tomografía.
  - **Geofísica de Pozo:** Ejecución de **200 ml** de registros geofísicos en las nuevas perforaciones con el mismo set de herramientas de la Etapa I.
  - **Ensayos de laboratorio:** Se ejecutará un plan de ensayos idéntico a la Etapa I (50 de clasificación, 10 triaxiales, 50 de corte directo).
  - **Hidroquímica:** **Segunda campaña de muestreo** para isotopía e hidroquímica en **40 puntos**.
- **Equipos y recursos:**
  - Mismos equipos de exploración de la Etapa I.
- **Productos esperados:**
  - Informes técnicos con la nueva información de subsuelo.

**Fase 8. Investigación Geofísica Avanzada (Sísmica de Refracción y Magnetotelúrica)**

**Objetivo de la fase:** Obtener un modelo detallado de la estructura interna profunda de la Dunita de Medellín.

- **Actividades principales:**
  - **Sísmica de Refracción Profunda:** Se realizarán **3 perfiles de sísmica de refracción** de entre 2-3 km de longitud para obtener profundidades de investigación de alrededor de 500 m.
  - **Magnetotelúrica:** El levantamiento comprenderá **50 sondeos magnetotelúricos (MT)** adquiridos con sistemas MT de Phoenix Geophysics. Cada registro constará de dos componentes de campo eléctrico horizontal (Ex, Ey) y tres componentes de campo magnético (Hx, Hy, Hz). Los tiempos de adquisición variarán según la frecuencia, registrando las frecuencias de audio-magnetotelúrica (AMT) (10,000–1 Hz) durante



aproximadamente 1 hora, y las frecuencias MT más bajas (<100 Hz) hasta por 15 horas por sondeo.

- **Procesamiento de datos e integración:**
  - Cálculo de funciones de transferencia e inversiones 2D/3D para modelar resistividad.
  - Correlación con geofísica somera y datos hidrogeológicos.
- **Equipos y recursos:**
  - Estaciones magnetotelúricas portátiles, sismógrafos y software de inversión 2D/3D.
- **Productos esperados:**
  - Modelos 2D y 3D de resistividad y velocidad sísmica profunda.
  - Informe técnico con interpretación integrada para fortalecer la modelación.

#### **Fase 9. Mapas de Susceptibilidad y Amenaza**

**Objetivo de la fase:** Delimitar y clasificar las áreas de la Dunita de Medellín según su nivel de susceptibilidad y amenaza.

- **Actividades principales:**
  - Integración de toda la información del proyecto en un SIG.
  - Zonificación de susceptibilidad a escala 1:2.000.
- **Equipos y recursos:**
  - SIG especializados (ArcGIS, QGIS).
- **Productos esperados:**
  - Mapas de susceptibilidad y amenaza, informe técnico con lineamientos.

#### **Fase 10. Red de Monitoreo y Alerta Temprana**

**Objetivo de la fase:** Diseñar e instalar una red de monitoreo como insumo para un sistema de alerta temprana.

- **Actividades principales:**
  - Instalación de **300 ml de piezómetros**.
  - Instalación de **10 estaciones de monitoreo de lluvia y humedad del suelo**.

- Integración de datos y definición de protocolos de alerta.
- **Equipos y recursos:**
  - Sensores (piezómetros, pluviómetros, etc.), dataloggers, plataforma de software.
- **Productos esperados:**
  - Red de monitoreo operativa, plataforma digital, protocolos de alerta.

#### 4. ALCANCE

Los temas cartográficos en geología y geomorfología se realizarán a escala 1:2.000, garantizando un nivel de detalle adecuado para la identificación de geoformas, depósitos y estructuras relevantes para el análisis de la amenaza.

El proyecto tendrá un componente robusto de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Este componente acogerá las directrices o guías suministradas por la entidad contratante, y se desarrollarán la geodatabase y la estructura SIG del proyecto de acuerdo con dicha guía para asegurar la compatibilidad y transferencia de la información.

En lo que respecta a los diseños de obras para el caso del evento de Granizal, los presupuestos detallados de construcción se realizarán de forma diferenciada para las intervenciones que correspondan al Municipio de Bello y al Distrito de Medellín, facilitando la gestión administrativa y financiera de cada entidad territorial.

Durante el proyecto se utilizará una página web donde se consignará toda la información levantada por el proyecto en tiempo real, tal como estaciones de campo, perforaciones y sus resultados, ensayos, entre otros. De tal forma que las entidades contratantes puedan hacer seguimiento y consultar la información parcial. Esta aplicación solo tendrán ingreso las entidades contratantes y no será de uso abierto o público. Al final del proyecto y si así lo consideran las entidades propietarias de la información, dicha aplicación será de consulta abierta y libre por parte de la comunidad. Esto solo se podrá adelantar cuando se tengan los informes revisados y ajustados, y aprobados por parte de las entidades contratantes.

#### 5. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

El proyecto se desarrollará en un plazo de ejecución total de **dieciséis (16) meses**, iniciando en septiembre de 2025 y finalizando en diciembre de 2026.

Etapa Fase	Actividad Principal	Sep Oct Nov Dic Ene Feb Mar Abr May Jun Jul Ago Sep Oct Nov Dic											

[illegible]

## 6. CONDICIONES DE DESEMBOLSO

El contrato contará con recursos de vigencias futuras. Se sugiere la siguiente forma de pago, condicionada a la entrega y aprobación de los productos conforme al cronograma y a los hitos de cada etapa:

### Desembolsos Etapa I

- **Primer Pago (40% del valor de la Etapa I):** Contra entrega y aprobación del informe de avance que consolide los productos de las **Fases 1, 2 y 3** (Cartografía, Exploración Geotécnica y Geofísica).
- **Segundo Pago (40% del valor de la Etapa I):** Contra entrega y aprobación del informe de avance que consolide los productos de las **Fases 4 y 5** (Estudios Hidrogeológicos y Análisis de Estabilidad).
- **Pago Final (20% del valor de la Etapa I):** Contra entrega y aprobación del informe final de la Etapa I, incluyendo la **Fase 6** (Diseño de Obras de Estabilización).

### Desembolsos Etapa II

- **Primer Pago (40% del valor de la Etapa II):** Contra entrega y aprobación del informe técnico de la **Fase 7** (Investigación Geofísica Avanzada).
- **Segundo Pago (40% del valor de la Etapa II):** Contra entrega y aprobación del informe técnico de la **Fase 8** (Mapas de Susceptibilidad y Amenaza).
- **Pago Final (20% del valor de la Etapa II):** Contra entrega y aprobación del informe final del proyecto, incluyendo la **Fase 9** (Red de Monitoreo y Alerta Temprana) y el informe ejecutivo consolidado.

## 7. PRESUPUESTO ESTIMADO

### Presupuesto Etapa I

Rubro	Unidad	Cantidad (Hombres-Mes)	Valor Unitario (\$)	Valor Total (\$)
<b>Costos Directos</b>				
Perforaciones en suelo	ml	70	180,000	12,600,000
Perforaciones en roca o depósitos	ml	30	490,000	14,700,000

Geofísica (Sísmica y Tomografía)	línea	50	2,500,000	125,000,000
Geofísica de Pozo	ml	100	350,000	35,000,000
Isotopía e Hidroquímica	punto	20	3,000,000	60,000,000
Ensayos de Laboratorio (Clasificación, Humedad, Índices)	muestra	50	500,000	25,000,000
Ensayos de Laboratorio (Corte Directo)	muestra	50	950,000	47,500,000
Ensayos de Laboratorio (Triaxial CU)	muestra	10	1,500,000	15,000,000
Ensayos de permeabilidad	muestra	5	450,000	2,250,000
Topografía LIDAR y Fotogrametría	global	1	80,000,000	80,000,000
Topografía de campo para diseño obras	global	1	20,000,000	20,000,000
Diseño Obras de Estabilización	m2	500	52,000	26,000,000
Diseño Obras de Drenaje	m2	500	55,000	27,500,000
Instalación de inclinómetros	ml	60	150,000	9,000,000
Transporte	mes	4	6,000,000	24,000,000

**Personal Etapa I**

Director del Proyecto	Hombre-mes 4	10,000,000	40,000,000
Asistente Administrativo	Hombre-mes 4	6,000,000	24,000,000
Asistente Legal	Hombre-mes 4	6,000,000	24,000,000
Coordinador Geomorfología	Hombre-mes 4	8,000,000	32,000,000
Profesionales Geomorfología	Hombre-mes 16	6,000,000	96,000,000
Coordinador Geotecnia	Hombre-mes 4	8,000,000	32,000,000
Geotecnistas	Hombre-mes 8	6,000,000	48,000,000
Coordinador Hidrogeología	Hombre-mes 4	8,000,000	32,000,000
Hidrogeólogos	Hombre-mes 8	6,000,000	48,000,000
Coordinador Modelación	Hombre-mes 4	8,000,000	32,000,000
Ingenieros Modelación	Hombre-mes 8	6,000,000	48,000,000
Coordinador Geofísica	Hombre-mes 4	8,000,000	32,000,000
Geofísicos	Hombre-mes 8	6,000,000	48,000,000
Profesional SIG	Hombre-mes 4	5,500,000	22,000,000
Auxiliares de Ingeniería	Hombre-mes 60	2,500,000	150,000,000
Auxiliar SIG	Hombre-mes 4	2,000,000	8,000,000
<b>Subtotal Costos Etapa I</b>			<b>1,182,550,000</b>

Administración (22%)

260,161,000

**VALOR TOTAL ETAPA I****1,442,711,000****Presupuesto Etapa II**

Rubro	Unidad	Cantidad (Hombres-Mes)	Valor Unitario (\$)	Valor Total (\$)
<b>Costos Directos</b>				
Perforaciones en suelo	ml	50	180,000	9,000,000
Perforaciones en roca o depósitos	ml	150	490,000	73,500,000
Geofísica (Sísmica y Tomografía)	línea	50	2,500,000	125,000,000
Geofísica de Pozo	ml	200	350,000	70,000,000
Perfiles sísmicos de refracción profunda	perfil	3	25,000,000	75,000,000
Geofísica (Magnetotelúrica)	Avanzada punto	50	5,200,000	260,000,000
Isotopía e Hidroquímica	punto	40	3,000,000	120,000,000
Ensayos de Laboratorio (Clasificación, Humedad, Índices)	muestra	50	500,000	25,000,000
Ensayos de Laboratorio (Corte Directo)	muestra	50	950,000	47,500,000

Ensayos de Laboratorio (Triaxial CU) muestra	10	1,500,000	15,000,000
Ensayos de permeabilidad muestra	15	450,000	6,750,000
Instalación de piezómetros ml	300	800,000	240,000,000
Instalación instrumentación lluvia y humedad del suelo estación	10	1,500,000	15,000,000
Transporte mes	12	6,000,000	72,000,000
<b>Personal Etapa II</b>			
Director del Proyecto	Hombre-mes 12	10,000,000	120,000,000
Asistente Administrativo	Hombre-mes 12	6,000,000	72,000,000
Asistente Legal	Hombre-mes 12	6,000,000	72,000,000
Coordinador Geotecnia	Hombre-mes 6	8,000,000	48,000,000
Geotecnistas	Hombre-mes 12	6,000,000	72,000,000
Coordinador Hidrogeología	Hombre-mes 6	8,000,000	48,000,000
Hidrogeólogos	Hombre-mes 12	6,000,000	72,000,000
Coordinador Modelación	Hombre-mes 4	8,000,000	32,000,000
Ingenieros Modelación	Hombre-mes 8	6,000,000	48,000,000
Coordinador Geofísica	Hombre-mes 8	8,000,000	64,000,000



Geofísicos	Hombre-mes 16	6,000,000	96,000,000
Profesional SIG	Hombre-mes 12	5,500,000	66,000,000
Auxiliares de Ingeniería	Hombre-mes 120	2,500,000	300,000,000
Auxiliar SIG	Hombre-mes 12	2,000,000	24,000,000
<b>Subtotal Costos Etapa II</b>			<b>2,127,750,000</b>
Administración (22%)			468,105,000
<b>VALOR TOTAL ETAPA II</b>			<b>2,595,855,000</b>

**Resumen del Presupuesto Total**

<b>Ítem</b>	<b>Valor (\$)</b>
VALOR TOTAL ETAPA I	1,442,711,000
VALOR TOTAL ETAPA II	2,595,855,000
<b>VALOR TOTAL DEL PROYECTO</b>	<b>4,038,566,000</b>

**6. PROPIEDAD INTELECTUAL**

Teniendo en cuenta que, en caso de ser aceptada la propuesta, el proyecto que se ejecutará se realizará bajo la modalidad de una obra por encargo a favor del contratante, la UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA se sujetará a las leyes colombianas en la materia, entendiendo que la titularidad patrimonial de los resultados le corresponde al Contratante, salvo cualquier acuerdo diferente que se realice, entre otros.

Sin embargo, se hacen las siguientes salvedades:

La metodología utilizada por la Universidad para presentar la propuesta, así como la metodología para ejecutar el proyecto, es de titularidad exclusiva de la Universidad Nacional de Colombia y no se entienden cedidos al Contratante bajo ningún concepto.

Así la titularidad patrimonial de los resultados que se obtengan de la ejecución del proyecto le corresponda al Contratante, la Universidad Nacional de Colombia estará autorizada para utilizar tales resultados para fines académicos y de investigación sin reconocer ningún tipo de regalía o contraprestación al Contratante, así como tampoco requerir ninguna autorización.

## **7. ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO**

La coordinación, control y ejecución del proyecto requiere un grupo de personas que realizan actividades técnicas, administrativas y de gestión que garantiza la ejecución del proyecto en sus objetivos, alcances, metodología y programación que están vinculadas al Centro de Desarrollo e Innovación de la Facultad de Minas con suficiente experiencia para realizar estas tareas de manera satisfactoria.

Para la prestación del servicio se designará y mantendrá a su costa, durante todo el tiempo de ejecución del contrato, al personal requerido quienes cumplirán con las obligaciones laborales legales vigentes.

En general la obligación en la prestación del servicio es propender porque la entidad contratante, obtenga del ejecutor unos resultados cuyas especificaciones finales no sean en ningún punto inferiores a las que estaban contractualmente pactadas.

## **8. VALIDEZ DE LA OFERTA**

La presente oferta tiene validez de 30 días contados a partir de su fecha de entrega.

## **CONTACTO**

**EDIER V. ARISTIZABAL G.**

Facultad de Minas

Universidad Nacional de Colombia

Sede Medellín

Email: [evaristizabalg@unal.edu.co](mailto:evaristizabalg@unal.edu.co)

Tel: 425 50 76 – 425 50 72