



**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.....	3
Universidad Nacional de Colombia.....	7
1. NOMBRE DEL PROYECTO.....	9
2. JUSTIFICACIÓN.....	9
3. OBJETIVO GENERAL.....	10
4. METODOLOGÍA.....	10
4. ALCANCE.....	20
5. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	20
6. CONDICIONES DE DESEMBOLSO.....	22
7. PRESUPUESTO ESTIMADO.....	22
5. PROPIEDAD INTELECTUAL.....	28
6. ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO.....	28
7. VALIDEZ DE LA OFERTA.....	29
CONTACTO.....	29



## **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 registrá 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
<p>Nombre proyecto: ACTUALIZACIÓN DEL MAPA NACIONAL DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1:25.000 - BLOQUE 05 (03-2022)</p> <p>Tiempo de ejecución: 10 meses</p> <p>Valor: 2.019.367.252</p> <p>Entidad contratante: Servicio Geológico Colombiano</p>						
<p>Nombre proyecto: EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD, AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES (4600007767)</p> <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>						
Nombre del proyecto: Prestar servicios para						



<p>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 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 SBALETAS 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, INUNDACIONES Y AVENIDAS TORRENCIALES EN LOS MUNICIPIOS DE CALDAS, SABANETA, LA ESTRELLA, ENVIGADO, ITAGÜÍ, BELLO, COPACABANA, GIRARDOYA 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.

El profesor experto que liderará el proyecto se presenta a continuación.

## Universidad Nacional de Colombia

**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, jefa de la Unidad de Hidráulica y directora del Departamento de Ingeniería Civil; autora del libro "Hidráulica de aguas subterráneas", con amplia actividad en docencia, investigación y asesoría técnica.

**Luis Fernando Carvajal Serna.** 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.

## 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. 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.

### 3. 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

### 4. 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 dunitico, 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 dunítico y de los depósitos asociados para obtener parámetros representativos de su comportamiento mecánico y estructural.

- **Actividades principales:**
  - **Perforaciones exploratorias:**
    - Ejecución de **diez (10) perforaciones** con taladro rotatorio de **30 m** de profundidad cada una, distribuidas así: dos (2) en el área de influencia directa del deslizamiento de Granizal (una en la corona y otra en el pie del depósito) y las ocho (8) restantes en sitios estratégicos sobre la Dunita.
    - Recuperación continua de testigos para su descripción geológica y geotécnica.
    - Instalación de piezómetros en perforaciones seleccionadas.
  - **Ensayos de campo:**
    - **Diez (10) sondeos** de penetración estándar (SPT) de **10 m** cada uno.
    - Realización de **diez (10) pruebas** de permeabilidad en perforaciones (Lefranc y/o Lugeon) en los tramos de interés.
  - **Muestreo y ensayos de laboratorio:**



- Cincuenta (50) ensayos de clasificación de suelos (granulometría, límites de Atterberg, humedad natural).
- Diez (10) ensayos triaxiales, cincuenta (50) de corte directo y ensayos de consolidación.
- **Equipos y recursos:**
  - Taladro rotatorio con capacidad de recuperación de testigos continuos.
  - Equipo SPT con martillo automático.
  - Laboratorio acreditado en mecánica de suelos y rocas.
- **Productos esperados:**
  - Perfiles estratigráficos detallados de cada perforación y SPT.
  - Registro y descripción geotécnica de testigos.
  - Resultados de ensayos de laboratorio y de campo.
  - Informe técnico con parámetros representativos para modelación de estabilidad.

### Fase 3. Exploración Geofísica

**Objetivo de la fase:** Caracterizar las propiedades físicas del subsuelo y la estructura interna del macizo dunítico mediante técnicas geofísicas para complementar los estudios geotécnicos y definir zonas de debilidad y karstificación.

- **Actividades principales:**
  - **Sísmica de refracción y MASW:**
    - **Veinte (20) líneas sísmicas mixtas** para estimar velocidades sísmicas ( $V_{s30}$ ) y profundidad del basamento.
  - **Tomografía geoeléctrica:**



- Ejecución de **veinte (20) perfiles** para caracterizar estratigrafía y zonas de alteración.
- **Equipos y recursos:**
  - Sismógrafos multicanal, geófonos y martillos sísmicos.
  - Resistivímetro multielectrodo.
- **Productos esperados:**
  - Modelos sísmicos y geoeléctricos de las secciones investigadas.
  - Informe técnico con integración geofísica para complementar parámetros geotécnicos.

#### Fase 4. Estudios Hidrogeológicos e Hidroquímicos

**Objetivo de la fase:** Caracterizar el sistema hidrogeológico de la Dunita de Medellín, diferenciando niveles superficiales y profundos, e identificar el papel del agua en la saturación de suelos y macizo rocoso.

- **Actividades principales:**
  - **Levantamiento hidrogeológico de campo:**
    - Inventario y aforo de manantiales, quebradas y puntos de descarga.
    - Medición de niveles freáticos en piezómetros instalados.
  - **Investigaciones hidroquímicas e isotópicas:**
    - Se proponen **dos campañas de muestreo** (época seca y lluviosa) para isotopía e hidroquímica: una primera campaña de **20 puntos** en la Etapa I, y una segunda campaña de **40 puntos** en la Etapa II.
    - Se instalarán **4 recolectores de agua lluvia** para los análisis de Deuterio ( $^2\text{H}$ ), Oxígeno-18 ( $^{18}\text{O}$ ) e iones mayoritarios ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ).
  - **Estimación de la recarga:**

- Aplicación de metodologías de balance hídrico SWB (Soil Water Balance).
- Análisis satelital con datos GRACE para cuantificación de almacenamiento subterráneo.
- **Modelación hidrogeológica:**
  - Desarrollo de modelo conceptual y numérico de flujo subterráneo (MODFLOW).
- **Evaluación de la influencia en la tragedia de Granizal:**
  - Determinar el papel de la infiltración y flujos subterráneos en la saturación del 24 de junio de 2025.
- **Equipos y recursos:**
  - Piezómetros, equipos de muestreo y análisis portátil.
  - Laboratorio especializado en análisis hidroquímicos e isotópicos.
  - Software hidrogeológico (MODFLOW, Visual MODFLOW Flex, FEFLOW).
- **Productos esperados:**
  - Inventario hidrogeológico, base de datos hidroquímica e isotópica.
  - Estimación cuantitativa de la recarga subterránea.
  - Modelo conceptual y numérico de flujo subterráneo.
  - Informe técnico sobre el papel del agua en la tragedia de Granizal (2025).

#### **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 (2025), para establecer escenarios de susceptibilidad y orientar las obras de estabilización.

- **Actividades principales:**



- **Retroanálisis del evento de Granizal (2025):**
  - Reconstrucción geométrica del deslizamiento y validación de parámetros geomecánicos.
- **Modelación de estabilidad de laderas:**
  - Análisis de equilibrio límite y modelos numéricos 2D/3D (PLAXIS, FLAC3D).
- **Simulación de flujos de detritos y avenidas torrenciales:**
  - Uso de herramientas de modelación dinámica (RAMMS-DF, FLO-2D).
- **Escenarios de amenaza:**
  - Construcción de mapas de deformación, probabilidad de falla y propagación de flujos.
- **Equipos y recursos:**
  - Software especializado (GeoStudio, PLAXIS, FLAC3D, RAMMS-DF, FLO-2D).
  - Base cartográfica LIDAR y ortofotos de alta resolución.
- **Productos esperados:**
  - Retroanálisis documentado del evento Granizal (2025).
  - Modelos 2D y 3D de estabilidad de laderas y simulación de flujos.
  - Mapas de probabilidad de falla y propagación.
  - Informe técnico con conclusiones para orientar obras y gestión.

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

**Objetivo de la fase:** Diseñar, a nivel de planos constructivos, las obras de estabilización y mitigación necesarias para controlar el fenómeno de Granizal y reducir la amenaza en sectores críticos.

- **Actividades principales:**

- **Diagnóstico para intervención:**
  - Análisis de resultados del retroanálisis e identificación de sectores prioritarios.
- **Diseño de obras de estabilización:**
  - Muros, pantallas ancladas, drenes, manejo de aguas superficiales y bioingeniería.
- **Verificación de diseños:**
  - Cálculos de estabilidad bajo escenarios de carga hidráulica y sísmica.
- **Formulación de lineamientos técnicos:**
  - Recomendaciones para estudios de detalle y criterios de diseño según NSR-10 (Título H).
- **Equipos y recursos:**
  - Software de diseño geotécnico y estructural (GeoStudio, PLAXIS, SAP2000).
  - Información consolidada de fases anteriores.
- **Productos esperados:**
  - Planos constructivos y memorias de cálculo de obras de estabilización.
  - Especificaciones técnicas para construcción y mantenimiento.
  - Informe técnico con justificación, diseño y priorización de obras.
  - Lineamientos y términos de referencia para futuros estudios.

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

Esta etapa utiliza los datos y modelos de la Etapa I para escalar el análisis, definir la amenaza a nivel regional, proponer los lineamientos técnicos para la planificación territorial y establecer un sistema de monitoreo permanente.

### **Fase 7. Investigación Geofísica Avanzada (Magnetotelúrica)**

**Objetivo de la fase:** Realizar una campaña de exploración geofísica profunda para obtener un modelo detallado de la estructura interna de la Dunita de Medellín.

- **Actividades principales:**
  - **Planificación y adquisición de datos en campo:**
    - Definición de malla de estaciones y registro de señales en un rango de frecuencias amplio (0.001–1000 Hz).
  - **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 y software de inversión 2D/3D.
- **Productos esperados:**
  - Modelos 2D y 3D de resistividad eléctrica profunda.
  - Informe técnico con interpretación integrada para fortalecer la modelación.

### **Fase 8. 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, como insumo para la planificación territorial.

- **Actividades principales:**
  - **Integración y construcción de mapas temáticos:**
    - Consolidación de resultados de cartografía, geotecnia, geofísica e hidrogeología.



- **Zonificación y definición de escenarios de amenaza:**
  - Aplicación de métodos estadísticos para la clasificación de la susceptibilidad a escala 1:2.000.
  - Construcción de escenarios de amenaza en diferentes condiciones.
- **Equipos y recursos:**
  - SIG especializados (ArcGIS, QGIS) y bases de datos del proyecto.
- **Productos esperados:**
  - Mapas de susceptibilidad y amenaza a escala 1:2.000.
  - Informe técnico con lineamientos para orientar estudios de detalle.

#### **Fase 9. 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 que apoye la gestión del riesgo.

- **Actividades principales:**
  - **Diseño e instalación de la red:**
    - Selección de variables clave (niveles freáticos, precipitación, humedad del suelo) y ubicación estratégica de sensores.
    - Instalación de **300 ml de piezómetros** para el monitoreo continuo de niveles freáticos.
    - Instalación de **10 estaciones de monitoreo de lluvia y humedad del suelo.**
  - **Integración y protocolos de alerta:**
    - Configuración de sistemas de adquisición de datos (dataloggers).
    - Comunicación en tiempo real vía telemetría.
    - Plataforma digital para almacenamiento, análisis y visualización.



- Definición de umbrales de alerta e integración con entidades locales.
- **Equipos y recursos:**
  - Sensores (piezómetros, pluviómetros, sensores de humedad), dataloggers y plataforma de software.
- **Productos esperados:**
  - Red de monitoreo instalada y operativa.
  - Plataforma digital de visualización y análisis.
  - Protocolos de alerta temprana y manual de operación.

#### 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.

#### 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.

Etapas	Fase	Actividad	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
--------	------	-----------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

## Principal

Etapa	Actividad	Geología	Geomorfología	Geotecnia	Geofísica	Cartografía y LIDAR	Estudios Hidrogeológicos	Análisis de Estabilidad	Diseño de Obras	Geofísica Avanzada (MT)	Mapas de Susceptibilidad
I	1					Cartografía y LIDAR					
	2						Exploración Geotécnica				
	3							Exploración Geofísica			
	4						Estudios Hidrogeológicos				
I	5							Análisis de Estabilidad			
	6								Diseño de Obras		
	7									Geofísica Avanzada (MT)	
II	8										Mapas de Susceptibilidad



II      9      Red      de  
Monitoreo      y  
Alerta



## 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
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 global obras		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
<b>Personal Etapa I</b>				
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
<b>VALOR TOTAL ETAPA I</b>			<b>1,442,711,000</b>

**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 ml		150	490,000	73,500,000

depósitos

Geofísica (Sísmica y Tomografía) línea	50	2,500,000	125,000,000
Geofísica (Magnetotelúrica) Avanzada global	1	2,500,000,000	2,500,000,000
Isotopía e Hidroquímica punto	40	3,000,000	120,000,000
Ensayos de Laboratorio (Clasificación, Humedad, muestra Índices)	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

**Personal Etapa II**

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>4,277,750,000</b>
Administración (22%)			941,105,000

**VALOR TOTAL ETAPA II****5,218,855,000****Resumen del Presupuesto Total**

Ítem	Valor (\$)
<b>VALOR TOTAL ETAPA I</b>	1,442,711,000
<b>VALOR TOTAL ETAPA II</b>	5,218,855,000
<b>VALOR TOTAL DEL PROYECTO (Antes de IVA)</b>	<b>6,661,566,000</b>

**5. 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.



## **6. 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.

## **7. 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