

DISEÑO DE MAPA URBANO DE ZONIFICACIÓN GEOTECNICA DEL ÁREA ORIENTAL DE LA COMUNA CUATRO, DUITAMA

DESIGN OF URBAN MAP OF GEOTECHNICAL ZONING OF THE WESTERN AREA OF COMMUNE FOUR, DUITAMA

Rosas Valderrama, Oscar Francisco¹; Barbosa Pico, Angie Paola²;

¹ Universidad Antonio Nariño, Colombia, Estudiante: orosas76@uan.edu.co

² Universidad Antonio Nariño, Colombia, Director: abarbosa93@uan.edu.co

Resumen: El presente proyecto de grado tiene como objetivo diseñar un mapa de zonificación geotécnica, en la parte oriental de la comuna 4 en la ciudad de Duitama - Boyacá, teniendo en cuenta la información disponible de las bases de datos de los entes administrativos municipales y los estudios de suelos que comprenden nivel freático, capacidades portantes, tipo de suelo, geología, geomorfología, base catastral y plano de comunas de la ciudad. En este orden de ideas, se llevó a cabo, por medio de una metodología experimental, la recopilación de datos, fuentes de información secundaria y toma de muestras en campo con el fin de establecer las características geotécnicas del área de influencia utilizando la aplicación de herramientas SIG y el método de interpolación Kriging de ArcGIS que permitieron establecer un indicador de la capacidad portante en zonas en las cuales no se contaba con esta información. En consecuencia, se evidencio que es viable la aplicación de herramientas SIG para el diseño de mapas de categorización geotécnica a nivel micro, en concordancia con los resultados obtenidos y la comparación realizada con los sondeos en campo, se evidencia que la zona de estudio cuenta con una capacidad portante óptima, lo cual hace que los futuros inversionistas minimicen costos en actividades de cimentación.

Palabras claves: Estudio de suelos, zonificación urbana, estudio geotécnico, población, cimentación, construcción, nivel freático, tipo de suelo, capacidad portante y zona de amenaza.

Abstract: This graduation Project has like an object desaing a map to geotechnical zoning, which is to be carried out in the eastern part of commune 4 in the city of Duitama, Boyaca All of this taking into consideration the information available from the databases of the municipal administrative entities and the soil studies that include the phreatic level, bearing capacities, type of soil, geology, geomorphology, cadastral base and map of the city communes. In this order of ideas, it was carried out, through an experimental methodology, data collection, sources of secondary information and sampling in the field in order to establish the geotechnical characteristics of the area of influence using the application of GIS tools and the ArcGIS Kriging interpolation method that allowed establishing an indicator of the bearing capacity in areas where this information was not available Consequently, it was evidenced that the application is viable of GIS tools for the design of geotechnical categorization maps at the micro level, in

accordance with the results obtained and the comparison made with the field surveys, it is evident that the study area has an optimal bearing capacity, which makes future investors minimize costs in foundation activities.

Key words: Soil study, urban zoning, geotechnical study, population foundation construction water table, soil type, bearing capacity, threat zone.

INTRODUCCIÓN

Antes de comprar un predio o realizar un proyecto de construcción, se recomienda llevar a cabo un estudio de prefactibilidad que ofrezca un panorama de la viabilidad del proyecto, y en el cual se evalúan ciertos factores externos (Garzón y Salazar, 2015), como las características geotécnicas del suelo en el cual se va a construir, las cuales se encuentran estipuladas en los estudios de suelos, y son de gran importancia para la planificación, diseño y ejecución de un proyecto de construcción.

Los estudios de suelos dan a conocer las características físicas, químicas y mecánicas del terreno, para lo cual se realiza la toma de muestras en campo, que son llevadas al laboratorio y sometidas a ensayos de geotecnia como SPT, corte directo, compresión simple, clasificación granulométrica, humedad natural y límites de Atterberg (límite líquido y límite plástico). Sus resultados definen las características indispensables previas al iniciar cualquier diseño y construcción lo cual dictamina que las estructuras cumplan con los parámetros para resistir eventos como los sismos y definir aspectos como si decidir comprar o no un terreno, determinar los materiales en los que es viable desarrollar una edificación o como determinar las dimensiones de una edificación. (TEC, 2021)

Por esta razón, el diseño de un mapa urbano de zonificación geotécnica del área oriental de la comuna 4 de Duitama, que considere parámetros geotécnicos como el tipo de suelo al que pertenece el terreno, nivel freático y de cimentación, perfiles, y capacidades portantes, se convierte en una herramienta de apoyo para la toma de decisiones y evaluación de la prefactibilidad de compra de predios o construcciones futuras, que aporten al crecimiento social y económico de la ciudad, se convierte en un documento base para complementar el plan de gestión de riesgo municipal, articulado con el plan de ordenamiento territorial, y puede a su vez, facilitar el trabajo en curadurías y entes de control, para la revisión de proyectos y construcciones futuras.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, muchos proyectos de construcción y urbanización inician su diseño arquitectónico y estructural, sin antes conocer algún panorama de las características geotécnicas del suelo en el cual van a construir, las cuales inciden en la estabilidad de una edificación y pueden, a su vez, hacer más complejo su diseño o generar costos adicionales en la obra, llegando a ocasionar pérdidas económicas

que afectan la viabilidad del proyecto o hacen más tedioso su desarrollo, hasta el punto de causar el desistimiento o suspensión de la construcción en algunos casos.

Adicional a esto, en los entes administrativos municipales como Curadurías, Archivo y Planeación municipal, existen estudios geotécnicos de dominio público del área urbana oriental de la comuna 4 de Duitama, la cual está conformada por los barrios Bellavista, La Gruta, Colombia, Libertador, Santander, Manzanares, Siratá, Progreso Sector Seminario y la Tolosa , dichos estudios geotécnicos pueden brindar una base de esta información, pero no han sido recopilados, y muchas veces, la población no sabe de su existencia.

Con lo anterior planteado, se formula la siguiente pregunta, que resolverá la problemática del proyecto, **¿Es viable diseñar un mapa geotécnico a partir de herramientas SIG que permitan establecer zonas homogéneas y representen las características geotécnicas del suelo, facilitando la toma de decisiones en proyectos de inversión en la zona oriental de la comuna 4 del municipio de Duitama?**

Figura 1. Ubicación y delimitación de la parte oriental de la comuna 4.



Nota: La figura muestra la ubicación y delimitación de la parte oriental de la comuna 4 de la ciudad de Duitama. Fuente: POT Duitama (2009)

ESTADO DEL ARTE

Basados en el presente proyecto de investigación, se puede tener información de muy diversas fuentes para que aporten al mismo, sin embargo, se hace énfasis en trabajos de grado realizados en la Universidad Antonio Nariño, entre los cuales se realizan estudios de la composición del suelo usando métodos geofísicos como el “ensayo de resistividad eléctrica del subsuelo” (Martínez, 2022); o, por otro lado, estudios del estado de pavimentos, en la ciudad de Duitama teniendo en cuenta análisis de necesidades, tránsito, topografía, clima y deterioros (Bernal, 2021).

Además de realizar estudios, se plantean alternativas, para diferentes problemáticas como pueden serlo los asentamientos diferenciales, dichas alternativas pueden ser elaboradas con la comparación de comportamientos de las estructuras geotécnicas de determinado lugar (Muñoz y Morales, 2022); la búsqueda de fosas, por medio de diferentes métodos, en este caso usando el análisis de perfiles de resistencia mecánica del suelo con respecto a la profundidad usando un penetrológico y el análisis de perfiles de resistividad eléctrica del suelo usando un tomógrafo eléctrico en modo Dipolo-Dipolo y en modo Wenner (Gaona y Torres, 2020).

Por otro lado, se resaltan estudios que tiene como eje principal el uso de software para la creación de imágenes por medio de satélites, dando lugar a mapas que sirven para la zonificación de diferentes proyectos (Beltrán y Oyola, 2020); el uso de metodologías para el desarrollo de modelos digitales de terreno topobatemétricos, utilizando información de tecnología LiDAR aéreo, topografía convencional y datos batimétricos (Arias y Mesa, 2020), dando como resultado zonificaciones y hasta microzonificaciones muy precisas que son útiles para desarrollar algunos aspectos del presente proyecto.

Muchos de los estudios mencionados están muy relacionados con las características del presente trabajo, sin embargo, no se puede seguir sin resaltar proyectos que, si bien no están relacionados completamente, pueden aportar al desarrollo del mismo, como es la estimación de parámetros de infiltración en el suelo de la Universidad Antonio Nariño, la cual arroja datos importantes en estudios de suelos como la porosidad, capilaridad y precipitación (Guanumen, 2020); el estudio de drenajes convencionales en la ciudad de Duitama, hallándose en la necesidad de realizar estudio topográficos (Tibaduiza, 2022); la postulación de uso de geomallas multiaxiales como refuerzo en vías sin pavimentar, demostrando cuando un suelo es blando o cuando una subrasante es débil (Díaz, 2020); resaltar de la importancia de la resistividad eléctrica que es un método útil en la obtención de datos del subsuelo (Barbosa y Torres, 2020); la postulación del uso de geosintéticos en determinada calle del Tunal - Bogotá, dentro del cual resalta un estudio que aborda el tema de las implicaciones que pueden tener las cámaras de inspección en las estructuras de pavimentos, con sus respectivos datos geotécnicos (Lozano, 2020).

Luego de hacer un repaso por diferentes proyectos de investigación, se entra aún más en materia en la zonificación geotécnica, mostrando el trabajo que realiza dicho proyecto en la ciudad de Bogotá, analizando la similitud de espesores y materiales, lo cual sirve como base en la determinación de las áreas de amenaza y riesgo no mitigable (IDIGER, 2022); una zonificación semejante en la ciudad de Rio Negro - Santander ayudando en la toma de decisiones a la hora de realizar proyectos estructurales (Benavides, 2019); más alejada, una zonificación que respecta al municipio de valledupar mediante el uso de un SIG, abarcando datos y muestras como el nivel freático y el soporte máximo de cimientos en edificaciones (Palacio, et al, 2021); todo lo anterior, tomando en cuenta formatos y relaciones de escalas de mapas (IGAC, 2023).

Los anteriores mapas geotécnicos son de ciudades externas a Duitama, ya que son muy contados los de dicha ciudad, no obstante, no es el caso de la tesis para maestría de la Universidad Nacional que realizó el mapa geotécnico de la ciudad de Duitama utilizando el software Arc-Gis con el fin de mejorar estudios a la hora de ejecutar infraestructura. (Perico, 2018)

Sin embargo, es de saber general que los estudios más variados son los que provienen de países angloparlantes, que son beneficiosos para la investigación, como lo es el estudio de la microzonificación sísmica de nivel 3 la cual sirve como mitigación del riesgo sísmico, usando disciplinas que van desde la sismología aplicada y geología, hasta la ingeniería estructural y geotécnica (Pergalani, et. al, 2019); la microzonificación hecha en Catania - Italia la cual es una ciudad afectada por varios terremotos devastadores con valores altos de magnitud estimada (Castelli, et al, 2017), también en Italia más al centro se realiza una de las primeras zonificaciones de tercer nivel, siendo ejecutada en solo 6 meses (Amanti, et al, 2020); también se puede mencionar el análisis sísmico por medio de ondas incidentes oblicuas 2D basados en un valle lleno de agua lo cual da una lectura mucho más precisa de las fuerzas sísmicas (Yang, 2023) y la evaluación del desempeño de la densificación del suelo para evitar la licuefacción cerca de los edificios (Hwang, 2023), por la misma problemática de licuefacción también se realizan microzonificaciones por medio de la subdivisión de un territorio a escala municipal o submunicipal en áreas caracterizadas por la probabilidad de dicho problema (Bozzoni, 2020).

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede enfatizar el proyecto de caracterización del potencial sismogénico de accidentes en Algarve occidental (CAPSA) el cuál es uno de los estudios más importantes de lectura sísmica hecho en el sur de Portugal, ayudando en la evaluación de los parámetros geotécnicos (Carvalho, et al, 2017), en el mismo país, pero en Lisboa se realizó una microzonificación referenciada en la clasificación del suelo del eurocódigo 8 basada en el parámetro VS30, utilizando una gran base de datos geotécnicos y geológicos (Oliveira, et al, 2020); también se puede exaltar la microzonificación de peligros geofísicos y selección de sitios adecuados, la cual se hace por medio del análisis multicriterio utilizando sistemas de información geográfica hecha en muzaffarabad - Himalaya (Rehman, et al, 2021).

En este orden de ideas, se evidencian los estudios y soluciones que acarrear los mapas geotécnicos, indiferente de la localidad en la cual se esté aplicando, demostrando su importancia en el desarrollo tanto de infraestructura como de extensión ya sea de un país o un municipio.

MARCO REFERENCIAL

MARCO TEORICO

Las zonificaciones urbanas, así como los estudios de suelos, contienen gran cantidad de variables que muchas son pasadas por alto, haciendo que las representaciones de mapas no sean del todo precisas, sin embargo, hay muchas zonificaciones que pueden un buen ejemplo como los son las realizadas en el país de Italia en Catania (Castelli, et al, 2017), o más al centro del país (Amanti, et al, 2020), ambas siendo microzonificaciones de tercer nivel ejecutadas en muy poco tiempo, promoviendo la mitigación del riesgo sísmico por medio de diversos estudios de suelos.

Con lo anterior mencionado, no se pueden dejar de lado los trabajos hechos en Boyacá o sus departamentos y ciudades a sus alrededores, como la zonificación realizada al municipio de Valledupar mediante el uso de un SIG (Palacio, et al, 2021) o en la ciudad que compete, Duitama, utilizando software como Arc-Gis (Perico, 2018), como se puede evidenciar que, la mayoría de las veces se opta por realizar las zonificaciones por medio de SIG.

Las zonificaciones se entienden como el acto de dividir una ciudad, pueblo o distrito en zonas reservadas para diferentes propósitos o como el conjunto de ordenanzas por las que se establecen y regulan las zonas ya mencionadas anteriormente (MerriamWebster, 2023).

En ese mismo sentido, las microzonificaciones son zonificaciones a menor escala, especialmente para mapear zonas sísmicas pequeñas con el fin de tener una perspectiva sobre las zonas sísmicas (WordSense, 2023), pero una zonificación no puede estar completa sin sus respectivos estudios de suelos que determinan la naturaleza y propiedades del terreno, necesarios para definir el tipo y condiciones de cimentación (Abouthaus, 2016); los tipos de estudios de suelos pueden ser el ensayo de penetración estándar (SPT), ensayo de penetración estática (CPT), ensayos de tamizado, sedimentación, humedad, densidad, permeabilidad, compresión, CBR's, ensayos triaxiales, corte directo, entre otros, (Structuralia, 2020), cada uno determinando un tipo de característica del suelo.

Una vez repasados los anteriores conceptos y proyectos, cabe recalcar que, para la correcta realización de la presente zonificación, se necesita tener en cuenta varios acuerdos, normas leyes y decretos, como lo pueden ser las NTC's respectivas del estudio de suelos y zonificaciones, como por ejemplo la NTC 1522 que respecta a estudios granulométricos, la NTC 1917 con el ensayo de corte directo de suelos bajo

condiciones consolidadas y drenadas, la NTC 1967 de la determinación de propiedades de consolidación unidimensional de los suelos.

Siguiendo lo anterior planteado, también se hace mención de la ley 1523 del 2012 que hace alusión a la gestión del riesgo de desastres, el acuerdo 039 del 2009 que añade disposiciones legales en cuanto al ordenamiento territorial y, por último, pero no menos importante el Título H del decreto 926 del 2010 - Norma de Sismo Resistencia (NSR 10), que respecta a estudios geotécnicos.

Todos los parámetros que se evidenciaron anteriormente como conceptos que abarca la investigación, proyectos en los cuales se basa el presente trabajo y las respectivas especificaciones legales, son esenciales para realizar una correcta y óptima zonificación geotécnica que, en este caso, se planea realizar en la parte oriental de la comuna 4 en la ciudad de Duitama.

MARCO CONCEPTUAL

El proyecto de investigación que se abordará contiene diversidad de conceptos que pueden resultar desconocidos para algunas personas, se plantea evitar este problema profundizando en dichos términos de índole técnica.

Para entender la importancia de conocer el suelo en el que se quiere construir o invertir se debe empezar por la geotecnia que es la rama de la geología que investiga materiales que constituyen la corteza terrestre implicados en el diseño y construcción de proyectos civiles (Muchik Corp, 2015) o también, la ciencia que explica la mecánica de suelos y rocas, junto con sus aplicaciones (Geo Engineer, 2023); con lo anterior explicado se puede enfatizar en el estudio de suelos que se puede definir como el conjunto de actividades que nos permiten obtener información de un determinado terreno (MTL geotecnia, 2022), estos estudios ayudan a saber el tipo de cimentación apropiada para la obra que se va a construir y también cuáles son los asentamientos ideales para soportar la estructura (PyH construyendo soluciones, 2021), al igual que son importantes para implementar la gestión sostenible del suelo (FAO, 2023).

Dentro del vasto mundo de los estudios de suelos existen diferentes características a tener en cuenta como la granulometría que es la medición y gradación de los granos pertenecientes a una muestra de suelos o formación sedimentaria con el fin de determinar sus propiedades mecánicas, entre otros parámetros (Upct, 2023), pero a menudo, se puede caracterizar por el porcentaje de partículas con ciertos rangos de diámetro (ChemSafetyPRO, 2016); los límites de Atterberg que se clasifican según su contenido de humedad como límite líquido, donde el suelo pasa del estado plástico a uno semilíquido, y límite plástico donde el suelo pasa de estado semisólido al plástico (González, 2022).

También resaltando ensayos como el de corte directo que es usado para determinar las propiedades de un material bajo el efecto de cargas combinadas, como la cohesión y el ángulo de fricción interna, para

así conocer los esfuerzos de fallas del mismo (UNITEC, 2020); SPT y CPT que consiste en contabilizar el número de golpes obligatorios para penetrar el suelo con una masa a una establecida altura (Navarro, 2017); resistencia a la compresión que es la capacidad para soportar una carga por unidad de área y se expresa en términos de esfuerzo (CEMEX, 2019); la consolidación, denominada como la sobrecarga a los esfuerzos totales y se incrementan en esa misma cuantía (UNAL, 2018).

Además de estudios de suelos, se pueden tener en cuenta otras variables en el presente proyecto, bien puede ser la zonificación geotécnica que es la definición de las zonas que resguarda el subsuelo considerando la dispersión de las ondas sísmicas (Idegeo, 2017) o como la clasificación de unidades geotécnicas homogéneas que pueden abarcar diferentes edades geológicas (Albarracín, et al, 2015); junto con la zonificación hay que tener en cuenta a la cartografía que es bien vista como el arte y la ciencia de representar gráficamente un área geográfica, generalmente en una superficie plana como un mapa o gráfico (Britannica, 2023) y guía los principios y estándares prácticos detrás de la elaboración de mapas (Unearth, 2022), al igual que se puede definir más simplificada como la representación visual de un espacio o lugar (USC Dornsife, 2021).

Por otro lado, también se tienen en cuenta problemáticas como lo son el riesgo sísmico que es una medida que combine la peligrosidad sísmica con la vulnerabilidad y la posibilidad de que se produzcan daños por movimientos sísmicos y refiere a daños potenciales (Sensagent, 2023), pero no se debe confundir con peligro sísmico que es expresado por medio del valor esperado de la tasa de ocurrencia por unidad de tiempo que es un año (Maraboto, 2018); no se puede terminar de especificar las problemáticas sin enfatizar en la licuefacción que es la pérdida de resistencia en un suelo haciendo que éste actúe como un líquido viscoso (Rafferty, 2021).

Con todas las definiciones revisadas, se puede especular que el desarrollo del proyecto de investigación puede llevarse de la mejor manera, abarcando la mayor cantidad de términos con naturaleza técnica.

MARCO LEGAL

Después de dar revisión a los diferentes conceptos, antecedentes y demás incisos, se van a identificar las diferentes normas vigentes relacionadas con la zonificación geotécnica en Colombia hasta el presente año 2023, describiendo superficialmente su contenido, empezando por la más antigua:

Tabla 1. Normas vigentes relacionadas con la zonificación geotécnica.

| TIPO | ESPECIFICACIÓN | OBJETIVO |
|--|----------------------------|---|
| NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS Y DE CERTIFICACIÓN: | Bogotá: ICONTEC (NTC 1522) | Suelos. Ensayo para determinar la granulometría por tamizado. |
| | Bogotá: ICONTEC (NTC 1527) | Suelos. Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión inconfiada de suelos cohesivos. |
| | Bogotá: ICONTEC (NTC 1495) | Suelos. Ensayo para determinar el contenido de humedad. |
| | Bogotá: ICONTEC (NTC 1917) | Suelos. Método de ensayo para determinar el corte directo de suelos bajo condiciones consolidadas y drenadas. |
| | Bogotá: ICONTEC (NTC 1967) | Suelos. Método de ensayo para determinar las propiedades de consolidación unidimensional de los suelos. |
| | Bogotá: ICONTEC (NTC 2041) | Suelos. Determinación de la resistencia a la compresión triaxial no consolidada no drenada en suelos cohesivos. |
| | Bogotá: ICONTEC (NTC 4630) | Método de ensayo para la determinación del límite líquido, del límite plásticos y del índice de plasticidad de los suelos cohesivos. |
| SISTEMA DE INFORMACIÓN NORMATIVA, JURISPUDECIAL Y DE CONCEPTOS “RÉGIMEN LEGAL” | ACUERDO 039 DEL 2009 | <p>“Por medio del cual se modifica la estructura del articulado del acuerdo 010 de 2002 y se incluye otras disposiciones legales aplicables al ordenamiento territorial”.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ajustes al POT, para el municipio de Duitama, como instrumento de planificación permanente (art. 1°). • Se definen las prioridades del ordenamiento territorial (art. 3°). • Sujeción de la actuación pública en el plan de ordenamiento (art. 4°). • Ajustes de la administración municipal sobre la estructura institucional (art. 5°). • Se definen acciones político - administrativas sobre el POT (art. 8°). • Se definen las normas urbanísticas estructurales (art. 9°). |

| TIPO | ESPECIFICACIÓN | OBJETIVO |
|--|-------------------------|---|
| NORMA DE SISMO RESISTENCIA (NSR 10) TÍTULO H | Decreto 926 del 2010 | Estudios geotécnicos. <ul style="list-style-type: none"> • Se establecen los diferentes procesos para los diversos parámetros de estudios geotécnicos. • Se establecen factores de seguridad de los estudios de suelos. • Se clasifican los tipos de suelos en cohesivos y no cohesivos. |
| GESTOR NORMATIVO | LEY 1523 DEL 2012 | “Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el sistema nacional de gestión del riesgo de desastres y se dictan otras disposiciones”. <ul style="list-style-type: none"> • La gestión del riesgo de desastres es un proceso social orientado a la ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo y para el manejo de desastres (art. 1°). • La gestión del riesgo es responsabilidad de todas las autoridades y de los habitantes del territorio colombiano (art. 2°). • El sistema nacional de gestión del riesgo de desastres es el conjunto de entidades públicas, privadas y comunitarias, de políticas, normas, procesos, recursos, planes, estrategias, instrumentos y mecanismos, que se aplican de manera organizada para garantizar la gestión del riesgo en el país (art. 5°). |

OBJETIVOS

A continuación, se presenta el objetivo general y específicos que comprende el proyecto de investigación.

GENERAL

Diseñar un mapa urbano de zonificación geotécnica del área oriental de la comuna 4 de la ciudad de Duitama, basados en parámetros como el tipo de suelo al que pertenece el terreno, su nivel freático y de cimentación, perfiles, y capacidades portantes.

ESPECÍFICOS

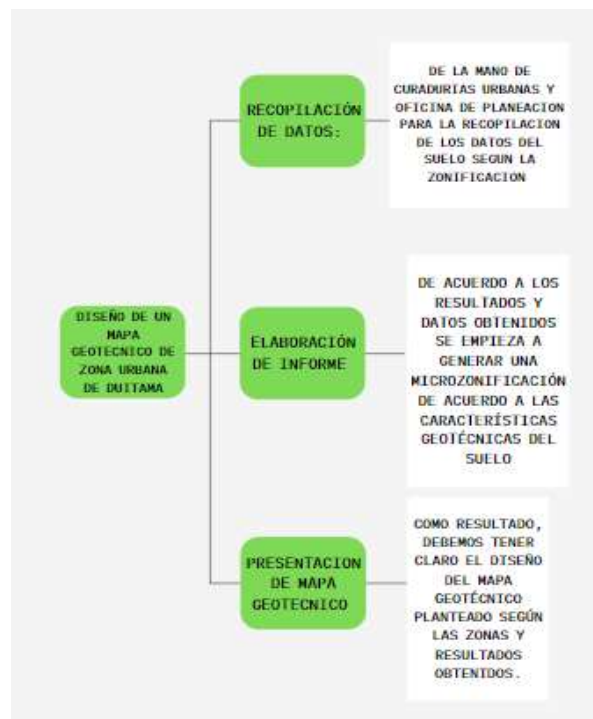
- Realizar recopilación y análisis de información secundaria recabada de entes territoriales para llevar a cabo la base de datos que permita identificar posibles puntos de muestreo necesarios para complementar la información a partir de estudios de suelos, teniendo en cuenta la normativa vigente.
- Establecer los parámetros de caracterización geotécnica requeridos para cimentaciones superficiales específicamente para viviendas de 1 a 3 pisos con el fin de determinar los lineamientos requeridos para el desarrollo y elaboración de un mapa geotécnico en el área de influencia, comprobando la viabilidad de realizar una zonificación a nivel macro.
- Recopilar y analizar datos de estudios de suelos en la zona de influencia y realizar estudios complementarios, realizados en los laboratorios de la universidad con su respectiva asesoría, en las áreas donde no se cuente con información preliminar, con motivo de optimización y precisión de datos en el momento de elaborar la zonificación, realizando estudios geotécnicos como límites de Atterberg (límite líquido y límite plástico), compresión simple, clasificación granulométrica, corte directo, humedad natural y SPT.

METODOLOGÍA

El presente proyecto, se basa en una metodología experimental y mixta que abarca resultados tanto cualitativos como cuantitativos, al igual que busca realizar estudios geotécnicos que complementen la zonificación. Al ser en parte experimental, se desea probar de primera mano una microzonificación con la ayuda de herramientas GIS, en ese orden de ideas, al verificar que dicha microzonificación da resultado, se puede pasar a un proceso mucho mayor (macro). También, se pretende que brinde como resultados las cualidades y características geotécnicas del suelo arrojando datos numéricos en ensayos y datos teóricos en la recopilación de información general. Llevando a cabo las siguientes actividades:

- Selección de la zona a estudiar que, en este estudio, resulta ser la parte oriental de la comuna cuatro de la ciudad de Duitama.
- Recopilación de datos, según estudios consignados en las curadurías urbanas y oficinas de archivo, secretarías de planeación e infraestructura y laboratorio de suelos.
- Realizar una interpolación por medio del método ranking que es una clasificación que ordena a sus elementos por orden de importancia o preferencia (Thefreedictionary, 2022).
- Elaboración de zonificación basados en los resultados y datos obtenidos, de acuerdo con las características geotécnicas del suelo.
- Elaboración de informe final según los resultados obtenidos y según los requerimientos geotécnicos de los terrenos.
- Realización del diseño del mapa geotécnico planteado según la información experimentada y la zona de estudio.

Figura 2. Metodología para desarrollo de proyecto.



Nota: La figura muestra el método de estudio para el desarrollo óptimo del proyecto. Fuente: Creación propia.

Para reforzar los estudios necesarios en la zonificación, también se planea hacer uso de la metodología kriging que es un proceso que consta de 2 pasos, siendo el primero la estructura de covarianza espacial de los puntos muestreados usando un variograma y el segundo paso es el uso de los pesos derivados de dicha estructura de covarianza para usarlos en la interpolación de valores para puntos o bloques no muestreados en el campo espacial (Columbia, 2020).



RECOLECCIÓN DE DATOS O INFORMACIÓN

Para la recolección de datos se solicitó a la curaduría urbana número dos, a la oficina asesora de planeación y al archivo municipal del municipio de Duitama, que se suministrara información de algunos estudios que se realizaron a predios ubicados en la comuna cuatro. Teniendo la información relacionada, se ubicaron 45 puntos, sin embargo, solo se tuvieron en cuenta 16 de esos 45 puntos, ya que estaban ubicados en la parte oriental de dicha comuna, resaltando que los puntos no escogidos no tenían mayor concentración. De estos informes se tomaron en cuenta las observaciones que tenía cada uno, adicionalmente se colocaron los perfiles, que eran complementarios a cada estudio, en dichos perfiles se evidencia la composición del suelo, la carencia del nivel freático en la parte alta y tipo de suelo. Por otro lado, se realizaron 4 estudios complementarios, gracias al laboratorio de suelos que posee la Universidad Antonio Nariño, permitiendo analizar las muestras de suelos en su composición, teniendo en cuenta granulometría, límite líquido, límite plástico, humedad relativa.

PROCESAMIENTO DE DATOS O INFORMACIÓN

Una vez recolectada la información, el procesamiento de datos es indispensable para empezar con la zonificación, como lo pueden ser los diferentes análisis de estudios de suelos, comenzando por los análisis respectivos de suelos.

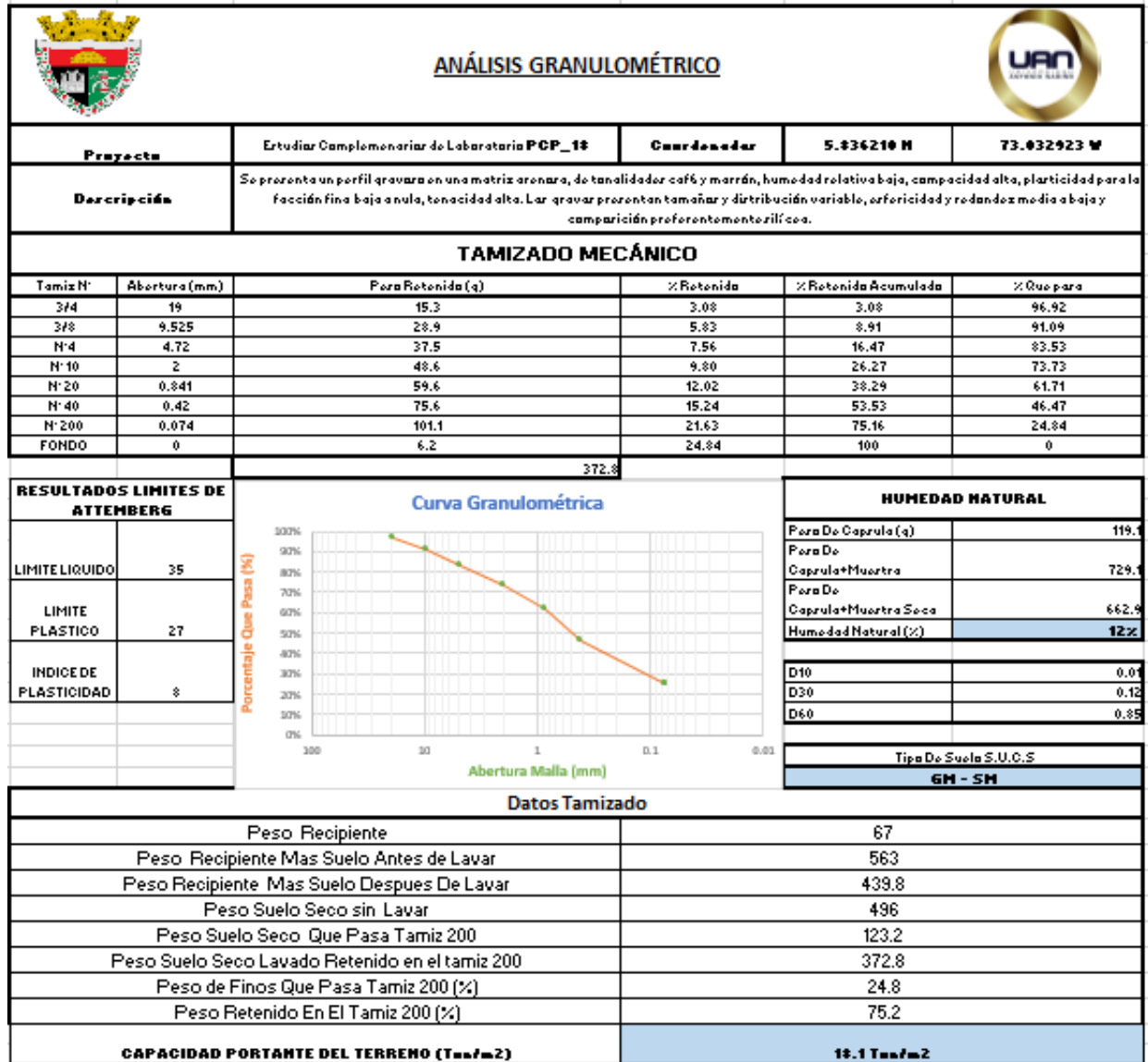
Figura 3. Coordenadas de los puntos de muestreo.

| COORDENADAS DE LOS PUNTOS DE MUESTREO | | | | | | |
|---|--------|----------|------------|------------|------------|--------|
| SIMBOLO | NAME | LONG | LAT_W | ESTE | NORTE | TON_M2 |
| 01 ESTUDIOS EXISTENTES CURADURIA ARC. MUNICIPAL | PCP_1 | 5.844157 | -73.035714 | 1115379.5 | 1138110.2 | 30.0 |
| | PCP_2 | 5.845047 | -73.035692 | 1115381.7 | 1138208.7 | 34.0 |
| | PCP_3 | 5.840092 | -73.034490 | 1115515.9 | 1137660.9 | 22.0 |
| | PCP_4 | 5.842411 | -73.033661 | 1115607.2 | 1137917.5 | 32.3 |
| | PCP_5 | 5.838195 | -73.033404 | 1115636.6 | 1137451.3 | 20.4 |
| | PCP_6 | 5.840874 | -73.034778 | 1115483.8 | 1137747.3 | 23.0 |
| | PCP_7 | 5.838317 | -73.034225 | 1115545.60 | 1137464.6 | 21.0 |
| | PCP_8 | 5.836839 | -73.032417 | 1115746.2 | 1137301.5 | 17.6 |
| | PCP_9 | 5.840907 | -73.033281 | 1115649.6 | 1137751.3 | 23.5 |
| | PCP_10 | 5.844112 | -73.035537 | 1115419 | 1138105.3 | 27.3 |
| | PCP_11 | 5.843209 | -73.036082 | 1115338.9 | 1138005.3 | 26.0 |
| | PCP_12 | 5.840834 | -73.035317 | 1115424.1 | 1137742.80 | 22.0 |
| | PCP_13 | 5.840349 | -73.031555 | 1115841 | 1137689.9 | 21.0 |
| | PCP_14 | 5.837104 | -73.034747 | 1115488 | 1137330.4 | 21.0 |
| | PCP_15 | 5.837704 | -73.031868 | 1115806.8 | 1137397.3 | 23.0 |
| | PCP_16 | 5.834916 | -73.034182 | 1115551 | 1137088.4 | 19.0 |
| | PCP_17 | 5.835457 | -73.032007 | 1115791.8 | 1137148.8 | 15.0 |
| 02 ESTUDIOS COMPLEMENTARI OS DE | PCP_18 | 5.835457 | -73.032923 | 1115690.2 | 1137231.8 | 17.0 |
| | PCP_19 | 5.839518 | -73.032696 | 1115714.8 | 1137597.8 | 22.0 |
| | PCP_20 | 5.834631 | -73.033823 | 1115590.9 | 1137057.00 | 19.0 |
| | PCP_21 | 5.839359 | -73.034206 | 1115547.5 | 1137579.8 | 21.5 |
| 03 PUNTO COMPROBACIÓN | PCP_22 | 5.839280 | -73.032150 | 1115775.2 | 1137571.6 | 22.3 |

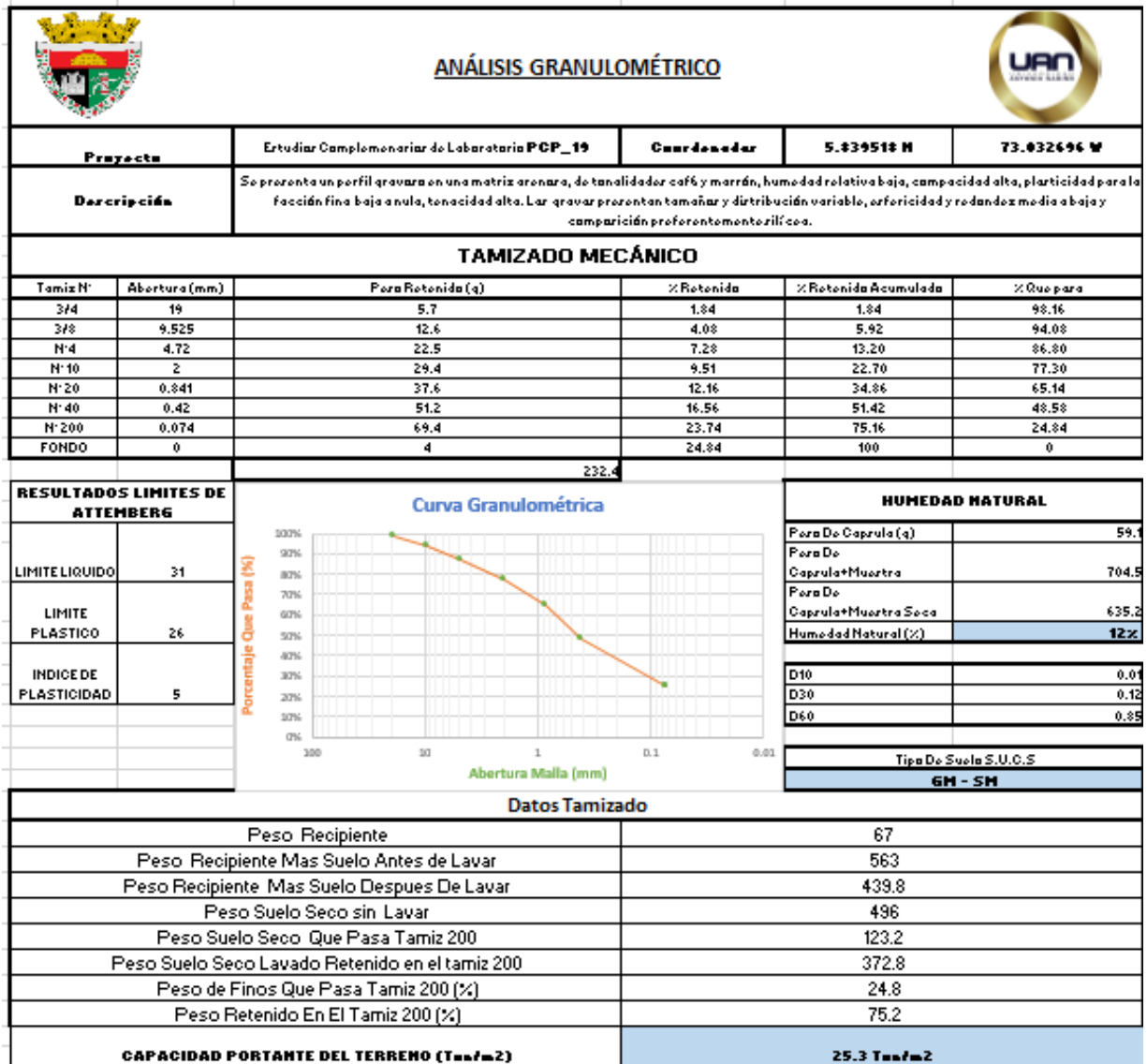
Nota: La figura muestra las coordenadas de los puntos de muestreo junto con sus respectivas cargas portantes. Fuente: Creación propia por medio del software Excel.

Figura 4. Análisis granulométrico (PCP_18).



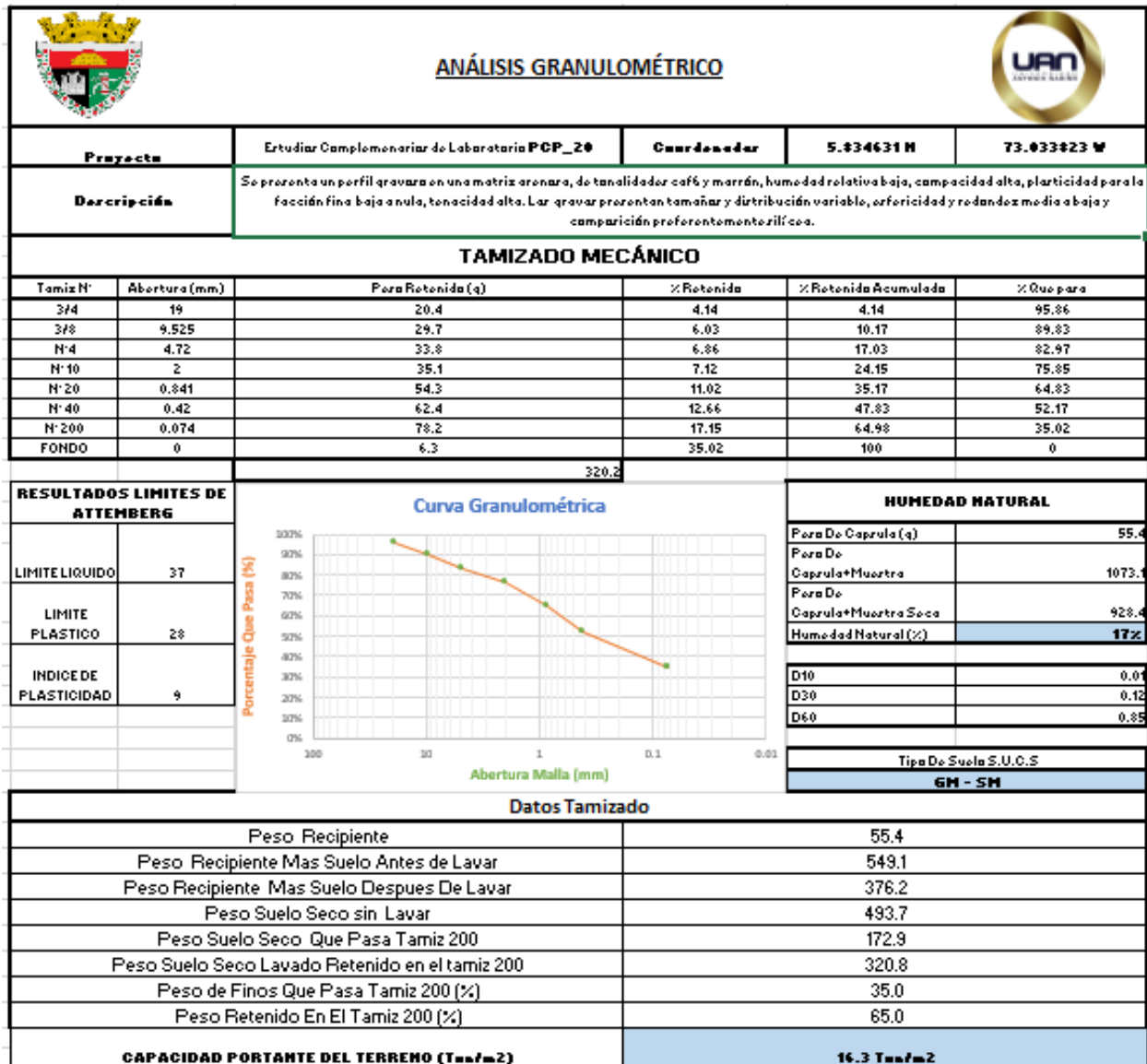
Nota: La figura muestra el análisis respectivo del PCP_18. Fuente: Creación propia por medio del software Excel.

Figura 5. Análisis granulométrico (PCP_19).



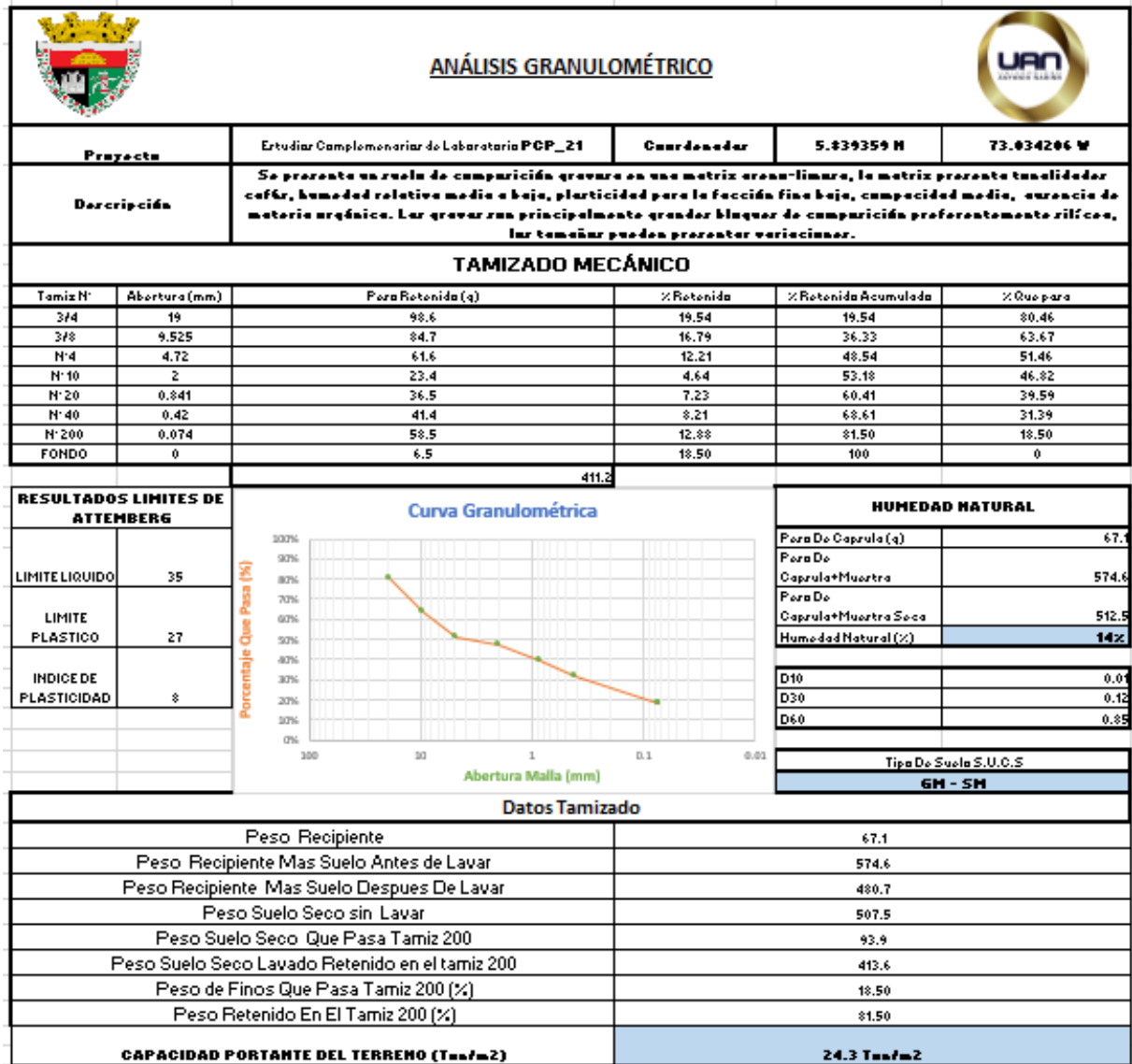
Nota: La figura muestra el análisis respectivo del PCP_19. Fuente: Creación propia por medio del software Excel.

Figura 6. Análisis granulométrico (PCP_20).



Nota: La figura muestra el análisis respectivo del PCP_20. Fuente: Creación propia por medio del software Excel.

Figura 7. Análisis granulométrico (PCP_21).



Nota: La figura muestra el análisis respectivo del PCP_21. Fuente: Creación propia por medio del software Excel.

Luego de realizar los análisis granulométricos de los diferentes puntos, se procede a llevar a cabo los estudios complementarios de laboratorio.

Figura 8. Estudios complementarios de laboratorio (PCP_18).

| PROYECTO | | ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS DE LABORATORIO PCP_18 | | | | | COORDENADAS | | S.836210 N - T3.032023 W | | | | |
|---------------|---------------------|--|--------------|---------|---------------------|--------------------|---------------------|------|--------------------------|-----------------------|-----|-----------------|----------------|
| Pof. (m) | Prof. Nvl. Fredisco | Simbolo | Descripción | Simbolo | Humedad Natural (%) | Límite Líquido (%) | Límite Plástico (%) | SUSC | Peso Especifico (g/cm3) | Índice De Plasticidad | OCR | Suelo Expansivo | Suelo Licuable |
| 0.2 | | | Capa Vegetal | | | | | | | | | | |
| 0.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 0.6 | | | | | | | | | | | | | |
| 0.8 | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | |
| 1.2 | | | | | | | | | | | | | |
| 1.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 1.6 | | | | | | | | | | | | | |
| 1.8 | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | |
| 2.2 | | | | | | | | | | | | | |
| 2.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 2.6 | | | | | | | | | | | | | |
| 2.8 | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | | | |
| 3.2 | | | | | | | | | | | | | |
| 3.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 3.6 | | | | | | | | | | | | | |
| 3.8 | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | | | |
| 4.2 | | | | | | | | | | | | | |
| 4.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 4.6 | | | | | | | | | | | | | |
| 4.8 | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | | | |
| 5.2 | | | | | | | | | | | | | |
| 5.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 5.6 | | | | | | | | | | | | | |
| 5.8 | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | | |
| 6.2 | | | | | | | | | | | | | |
| 6.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 6.6 | | | | | | | | | | | | | |
| 6.8 | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | |
| 7.2 | | | | | | | | | | | | | |
| 7.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 7.6 | | | | | | | | | | | | | |
| 7.8 | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | | | |
| 8.2 | | | | | | | | | | | | | |
| 8.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 8.6 | | | | | | | | | | | | | |
| 8.8 | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | | | |
| 9.2 | | | | | | | | | | | | | |
| 9.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 9.6 | | | | | | | | | | | | | |
| 9.8 | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | | | |
| 10.2 | | | | | | | | | | | | | |
| 10.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 10.6 | | | | | | | | | | | | | |
| 10.8 | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | | | | | | |
| 11.2 | | | | | | | | | | | | | |
| 11.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 11.6 | | | | | | | | | | | | | |
| 11.8 | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | | | | | | |
| 12.2 | | | | | | | | | | | | | |
| 12.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 12.6 | | | | | | | | | | | | | |
| 12.8 | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | | | | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | | | | | | | | | | |

Figura 2. Perfil Sonda 1

Nota: La figura muestra la tabla con los estudios complementarios respectivos del PCP_18. Fuente: Creación propia por medio del software AutoCad.

Figura 9. Estudios complementarios de laboratorio (PCP_19).

| PROYECTO | | ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS LABORATORIO PCP_19 | | | | | COORDENADAS | | 9.830318 N - 73.032896 W | | | | |
|---------------|---------------------|---|--------------|---------|---------------------|--------------------|---------------------|---------|--------------------------------------|-----------------------|-----|-----------------|----------------|
| Pof. | Prof. Nvl. Freatico | Simbolo | Descripción | Simbolo | Humedad Natural (%) | Limite Líquido (%) | Limite Plástico (%) | SUSC | Peso Especifico (g/cm ³) | Índice De Plasticidad | OCR | Suelo Expansivo | Suelo Licuable |
| 0.2 | | | Capa Vegetal | | | | | | | | | | |
| 0.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 0.6 | | | | | | | | | | | | | |
| 0.8 | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | |
| 1.2 | | | | S2M1 | 12 | 31 | 26 | GM - SM | 1.93 | 5 | NC | NO | NO |
| 1.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 1.6 | | | | | | | | | | | | | |
| 1.8 | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | |
| 2.2 | | | | | | | | | | | | | |
| 2.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 2.6 | | | | S2M2 | 15 | 32 | 27 | GM - SM | 1.93 | 5 | NC | NO | NO |
| 2.8 | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | | | |
| 3.2 | | | | | | | | | | | | | |
| 3.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 3.6 | | | | | | | | | | | | | |
| 3.8 | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | | | |
| 4.2 | | | | | | | | | | | | | |
| 4.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 4.6 | | | | | | | | | | | | | |
| 4.8 | | | | S2M3 | 15 | 35 | 27 | GM - SM | 1.93 | 8 | NC | NO | NO |
| 5 | | | | | | | | | | | | | |
| 5.2 | | | | | | | | | | | | | |
| 5.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 5.6 | | | | | | | | | | | | | |
| 5.8 | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | | |
| 6.2 | | | | | | | | | | | | | |
| 6.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 6.6 | | | | | | | | | | | | | |
| 6.8 | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | |
| 7.2 | | | | S2M4 | 16 | 32 | 29 | GM - SM | 1.93 | 3 | NC | NO | NO |
| 7.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 7.6 | | | | | | | | | | | | | |
| 7.8 | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | | | |
| 8.2 | | | | | | | | | | | | | |
| 8.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 8.6 | | | | | | | | | | | | | |
| 8.8 | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | | | |
| 9.2 | | | | | | | | | | | | | |
| 9.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 9.6 | | | | | | | | | | | | | |
| 9.8 | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | | | |
| 10.2 | | | | | | | | | | | | | |
| 10.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 10.6 | | | | | | | | | | | | | |
| 10.8 | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | | | | | | |
| 11.2 | | | | | | | | | | | | | |
| 11.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 11.6 | | | | | | | | | | | | | |
| 11.8 | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | | | | | | |
| 12.2 | | | | | | | | | | | | | |
| 12.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 12.6 | | | | | | | | | | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | | | | | | | | | | |

Figura 3. Perfil Sondeo 2

Nota: La figura muestra la tabla con los estudios complementarios respectivos del PCP_19. Fuente: Creación propia por medio del software AutoCad.

Figura 10. Estudios complementarios de laboratorio (PCP_20).


| PROYECTO | | ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS DE LABORATORIO PCP_20 | | | | COORDENADAS | | 9.834831 N - 75.033825 | |  | | | |
|---------------|---------------------|--|--------------|---------|---------------------|--------------------|---------------------|------------------------|--------------------------------------|---|-----|-----------------|----------------|
| Prof. (m) | Prof. Nvl. Freatico | Símbolo | Descripción | Símbolo | Humedad Natural (%) | Límite Líquido (%) | Límite Plástico (%) | SUBC | Peso Específico (g/cm ³) | Índice De Plasticidad | OCR | Suelo Expansivo | Suelo Licuable |
| 0.2 | | | CAPA VEGETAL | | | | | | | | | | |
| 0.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 0.6 | | | | | | | | | | | | | |
| 0.8 | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | |
| 1.2 | | | | | | | | | | | | | |
| 1.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 1.6 | | | | | | | | | | | | | |
| 1.8 | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | |
| 2.2 | | | | | | | | | | | | | |
| 2.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 2.6 | | | | | | | | | | | | | |
| 2.8 | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | | | |
| 3.2 | | | | | | | | | | | | | |
| 3.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 3.6 | | | | | | | | | | | | | |
| 3.8 | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | | | |
| 4.2 | | | | | | | | | | | | | |
| 4.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 4.6 | | | | | | | | | | | | | |
| 4.8 | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | | | |
| 5.2 | | | | | | | | | | | | | |
| 5.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 5.6 | | | | | | | | | | | | | |
| 5.8 | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | | |
| 6.2 | | | | | | | | | | | | | |
| 6.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 6.6 | | | | | | | | | | | | | |
| 6.8 | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | |
| 7.2 | | | | | | | | | | | | | |
| 7.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 7.6 | | | | | | | | | | | | | |
| 7.8 | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | | | |
| 8.2 | | | | | | | | | | | | | |
| 8.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 8.6 | | | | | | | | | | | | | |
| 8.8 | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | | | |
| 9.2 | | | | | | | | | | | | | |
| 9.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 9.6 | | | | | | | | | | | | | |
| 9.8 | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | | | |
| 10.2 | | | | | | | | | | | | | |
| 10.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 10.6 | | | | | | | | | | | | | |
| 10.8 | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | | | | | | |
| 11.2 | | | | | | | | | | | | | |
| 11.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 11.6 | | | | | | | | | | | | | |
| 11.8 | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | | | | | | |
| 12.2 | | | | | | | | | | | | | |
| 12.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 12.6 | | | | | | | | | | | | | |
| FIN DE SONDEO | | | | | | | | | | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | | | | | | | | | | |

Figura 2. Perfil Sondeo 1

Nota: La figura muestra la tabla con los estudios complementarios respectivos del PCP_19. Fuente: Creación propia por medio del software AutoCad.

Figura 11. Estudios complementarios de laboratorio (PCP_20).

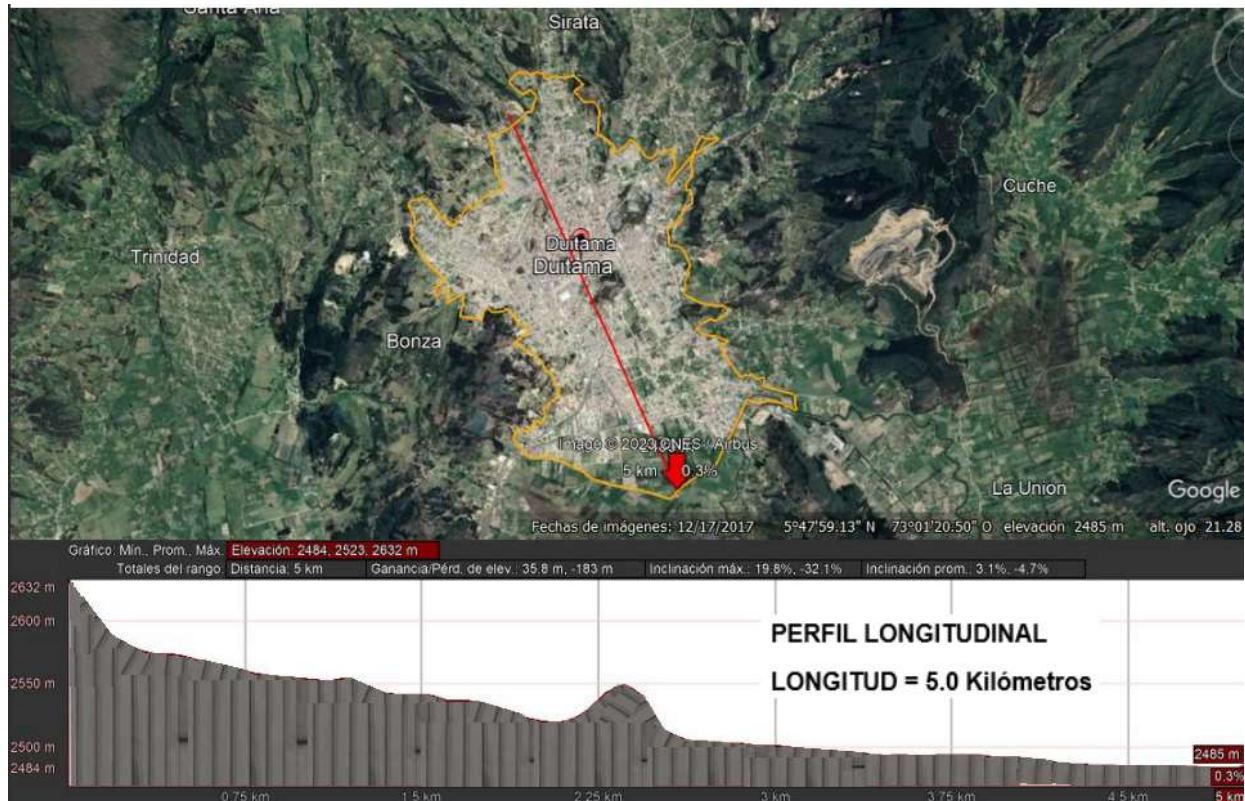
| Proyecto | | ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS DE LABORATORIO PCP_21 | | | | Coordenadas | | 5.83055N - 72.0342W | | | | | |
|---------------|--------------------|--|--|---------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|-------------------------|-----------------------|-----|-----------------|----------------|
| Pof. (m) | Pof. Nvl. Freatico | Simbolo | Descripción | Simbolo | Humedad Natural (%) | Límite Líquido (%) | Límite Plástico (%) | SUSC | Peso Específico (g/cm3) | Índice De Plasticidad | OCR | Suelo Expansivo | Suelo Licuable |
| 0.2 | | | Capa Vegetal | | | | | | | | | | |
| 0.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 0.6 | | | | | | | | | | | | | |
| 0.8 | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | |
| 1.2 | | | Se presenta un suelo de composición gravosa en una matriz arno-limosa, la matriz presenta tonalidades café, humedad relativa media a baja, plasticidad para la fracción fina baja, compacidad media, ausencia de materia orgánica. Las gravas son principalmente grandes bloques de composición predominantemente sílica, los tamarios pueden presentar variaciones. | STM1 | 14 | 44 | 29 | GM - SM | 1.95 | 15 | NC | NO | NO |
| 1.4 | | STM2 | | 15 | 45 | 30 | GM - SM | 1.95 | 15 | NC | NO | NO | |
| 1.6 | | STM3 | | 12 | 46 | 32 | GM - SM | 1.95 | 14 | NC | NO | NO | |
| 1.8 | | STM4 | | 13 | 48 | 33 | GM - SM | 1.95 | 15 | NC | NO | NO | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | |
| 2.2 | | | | | | | | | | | | | |
| 2.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 2.6 | | | | | | | | | | | | | |
| 2.8 | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | | | |
| 3.2 | | | | | | | | | | | | | |
| 3.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 3.6 | | | | | | | | | | | | | |
| 3.8 | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | | | |
| 4.2 | | | | | | | | | | | | | |
| 4.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 4.6 | | | | | | | | | | | | | |
| 4.8 | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | | | |
| 5.2 | | | | | | | | | | | | | |
| 5.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 5.6 | | | | | | | | | | | | | |
| 5.8 | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | | |
| 6.2 | | | | | | | | | | | | | |
| 6.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 6.6 | | | | | | | | | | | | | |
| 6.8 | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | |
| 7.2 | | | | | | | | | | | | | |
| 7.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 7.6 | | | | | | | | | | | | | |
| 7.8 | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | | | |
| 8.2 | | | | | | | | | | | | | |
| 8.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 8.6 | | | | | | | | | | | | | |
| 8.8 | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | | | |
| 9.2 | | | | | | | | | | | | | |
| 9.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 9.6 | | | | | | | | | | | | | |
| 9.8 | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | | | |
| 10.2 | | | | | | | | | | | | | |
| 10.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 10.6 | | | | | | | | | | | | | |
| 10.8 | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | | | | | | |
| 11.2 | | | | | | | | | | | | | |
| 11.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 11.6 | | | | | | | | | | | | | |
| 11.8 | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | | | | | | |
| 12.2 | | | | | | | | | | | | | |
| 12.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 12.6 | | | | | | | | | | | | | |
| 12.8 | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | | | | | | | |
| 13.2 | | | | | | | | | | | | | |
| 13.4 | | | | | | | | | | | | | |
| 13.6 | | | | | | | | | | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | | | | | | | | | | |

Nota: La figura muestra la tabla con los estudios complementarios respectivos del PCP_19. Fuente: Creación propia por medio del software AutoCad.

RESULTADOS

El estudio dio inicio con la identificación del mapa de Duitama, se procede a realizar un corte longitudinal para visualizar el perfil, pendiente y topografía del terreno, usando el software Google earth se facilita la tarea, ya que cuenta con todo tipo de especificaciones del suelo y el programa permite realizar diferentes modificaciones.

Figura 12. Mapa con corte longitudinal. (Anexo No. 1)

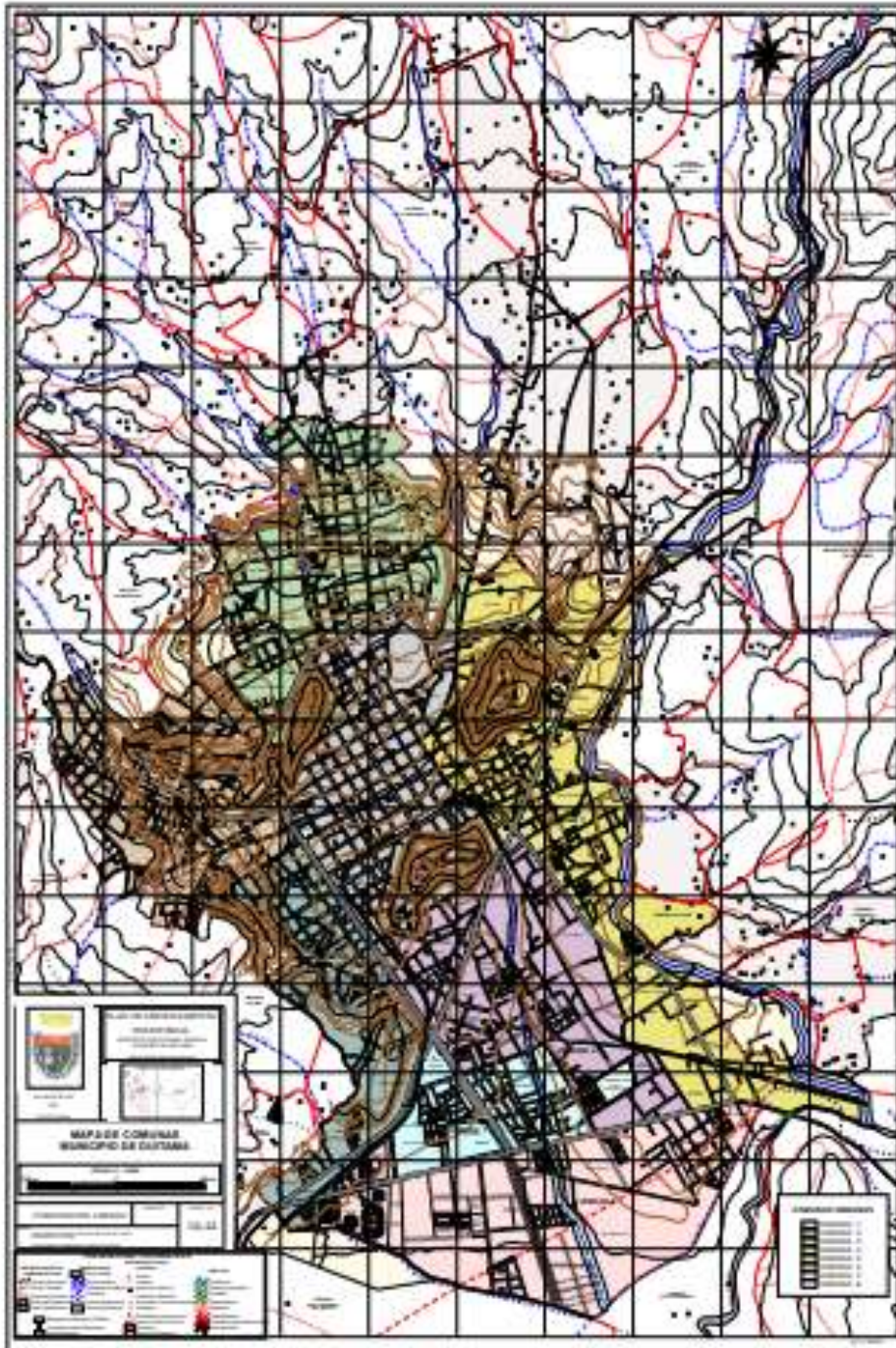


Nota: La figura muestra el mapa de Duitama junto con el perfil longitudinal Fuente: Creación propia por medio del software Google Earth (2014).

Una vez identificada el área en cuestión, junto con su respectivo corte y perfil longitudinal, se deben tener en cuenta características como la longitud del corte, la elevación a la cual se encuentra la ciudad, la inclinación máxima e inclinación promedio que presenta el corte en relación a la ciudad, la ubicación exacta de la ciudad, es decir, que se especifique más acertadamente con las coordenadas, ya que la zonificación requiere coordenadas exactas.

Posteriormente, se selecciona la comuna en cuestión de la ciudad de Duitama, siendo, en este caso, la comuna cuatro.

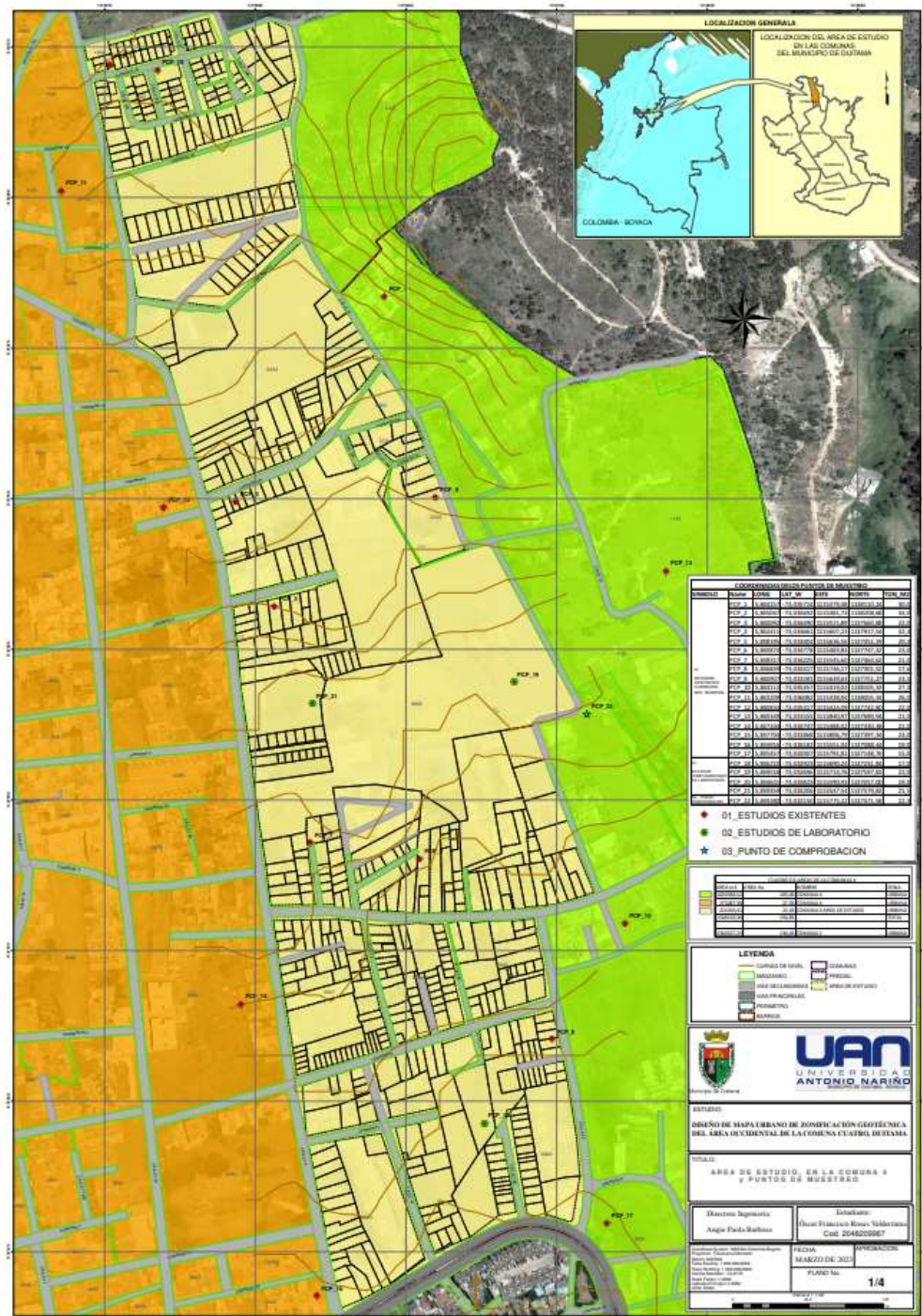
Figura 13. Mapa comunas de Duitama



Nota: La figura muestra el mapa que ubica las diferentes comunas de la ciudad de Duitama. Fuente: POT Duitama (2009).

Después de identificar el área en cuestión, se selecciona la zona más específica de la comuna (zona oriental).

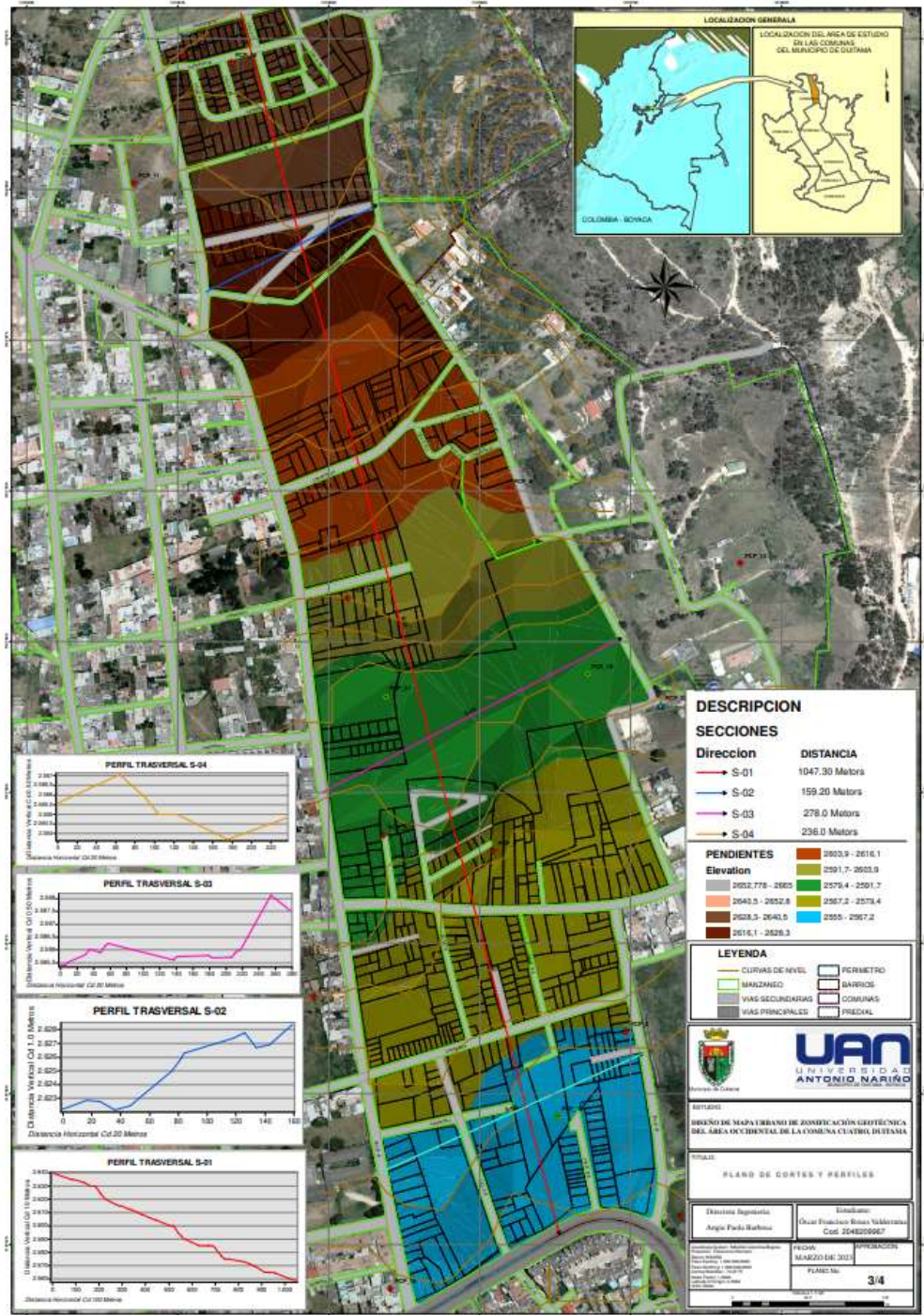
Figura 14. Mapa base de la comuna 4. (Anexo No. 2)



Nota: La figura muestra el mapa base de la comuna 4 junto con los puntos tomados diferenciados por colores rojo, verde y azul. Fuente: Creación propia por medio del software ArcGis.

Posteriormente, se identifican los cortes y perfiles transversales que, acto seguido, servirán para empezar con la determinación de las capacidades portantes.

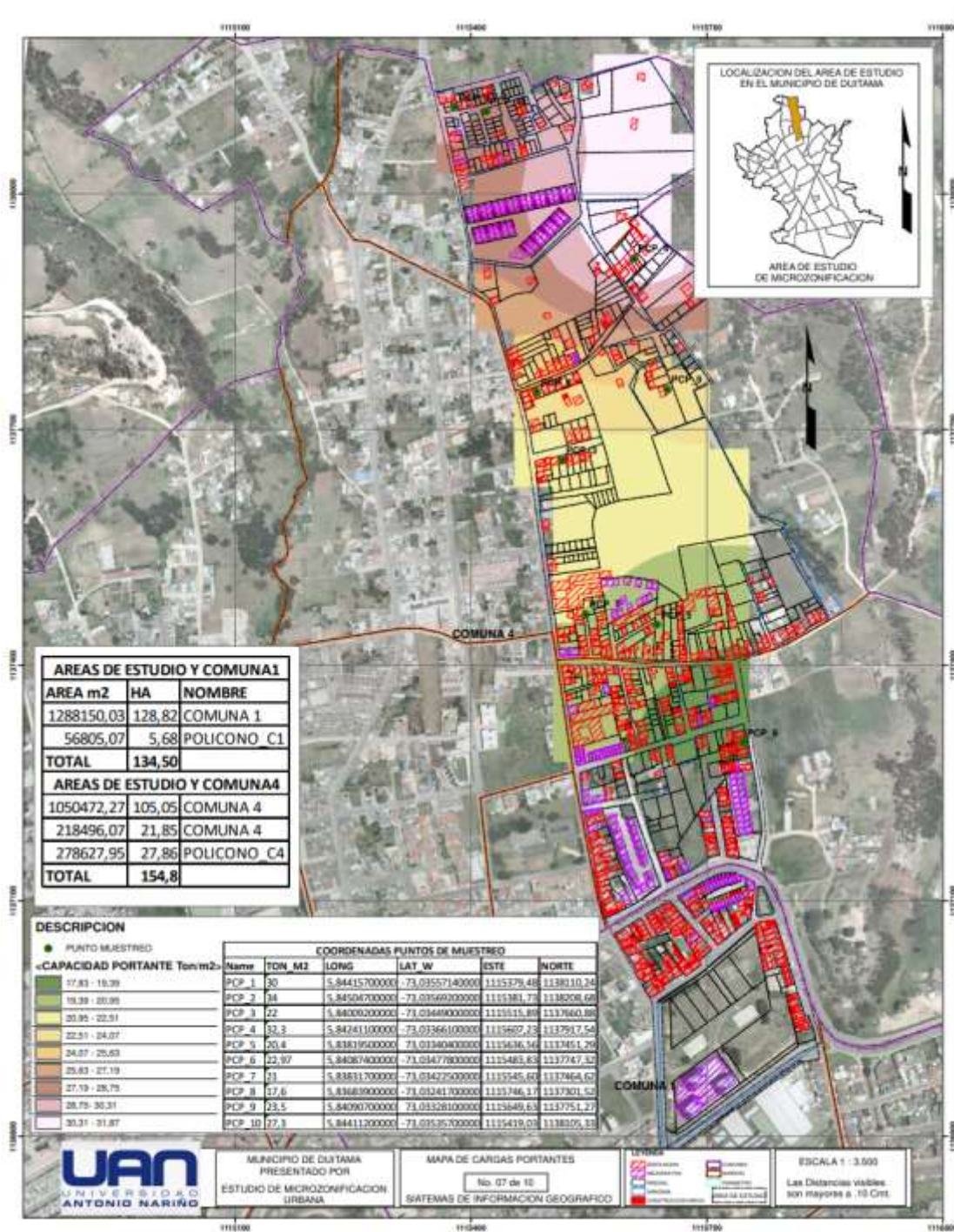
Figura 16. Planta de cortes y perfiles. (Anexo No. 4)



Nota: La figura muestra el mapa base junto con los cortes y perfiles transversales. Fuente: Creación propia por medio del software ArcGis.

Se procede a realizar el proceso de zonificación junto con sus respectivos datos analizados.

Figura 17. Avance de zonificación



Nota: La figura muestra el primer avance de la zonificación. Fuente: Creación propia por medio del software ArcGis.

Por último, se terminan de agregar y pulir datos, para la determinación final del mapa de zonificación.

El resultado final de la zonificación es extremadamente preciso, conteniendo la localización general del área, la delimitación de las comunas, barrios, manzanas, vías secundarias y principales, el perímetro, los puntos de capacidad portante junto con sus coordenadas y respectivas especificaciones, además de contener uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta en los estudios de suelos, las curvas de nivel y, por último, pero no menos importante, las cargas portantes. Todo lo anterior tenido en cuenta, siendo referenciado en la escala 1:1125.

Figura 19. Especificaciones del avance final zonificación. (Anexo No. 5)



Nota: La figura muestra las especificaciones del avance final de la zonificación urbana en la zona oriental de la comuna cuatro, ciudad de Duitama. Fuente: Creación propia por medio del software ArcGis.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

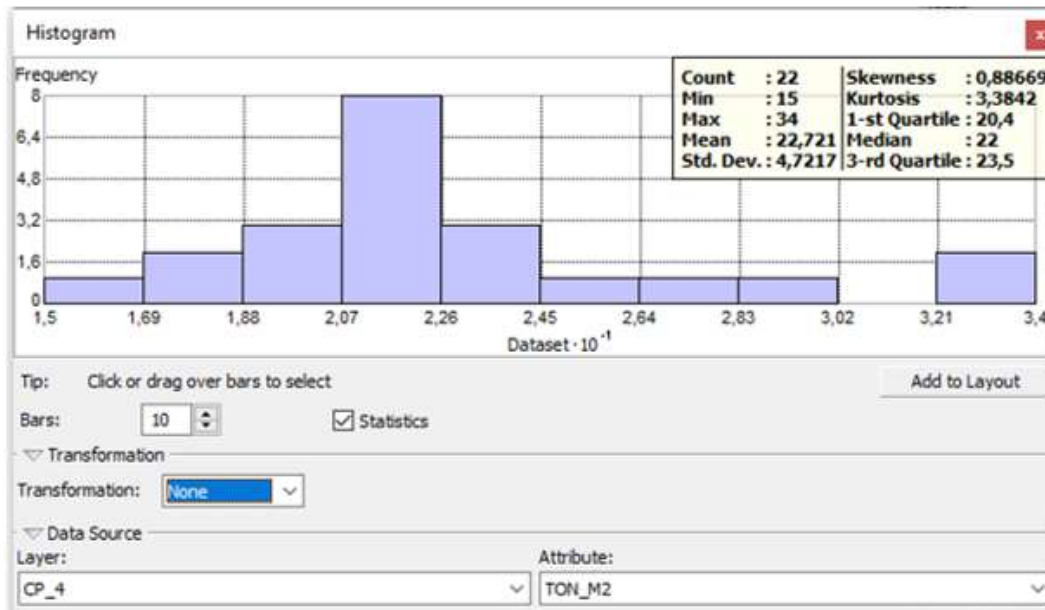
En el desarrollo del presente proyecto se tomaron los datos registrados en estudios realizados por diferentes empresas para edificaciones de entre uno y tres pisos, de donde se tomaron los estudios de capacidad portante, nivel de cimentación, tipo de suelo y perfil estratigráfico, para poder iniciar la modelación de la zonificación, aplicando los conocimientos y pasos de las metodologías planteadas con los datos de la parte oriental de la comuna 4 en la ciudad de Duitama.

Con lo anterior mencionado, se establecieron los adecuados procedimientos que, con el uso de software, hardware y un análisis, será lo suficientemente potente, innovador y muy intuitivo como para poder establecer parámetros fiables y de gran precisión, identificando si es viable o no la construcción de edificaciones de hasta 3 pisos, dado que los análisis a través de este software de código abierto genera con gran precisión el estado de los suelos en áreas con características taxonómicas similares, la principal característica a definir es la obtención de análisis de datos hasta nivel micro, es decir, poder determinar las características milimétricas por decímetro cuadrado aplicable en áreas y/o hasta donde se pretenda hacer uso para la adecuación de viviendas hasta de 3 pisos.

Por otro lado, es de anotar que este estudio por sus características puede determinar otros parámetros para el uso de la zona hasta el 15% más de su área analizada o polígono de estudio, dicho en otras palabras, en un corredor de influencia perimetral hasta de 15 metros, si no está delimitado por alguna fuente de agua corriente o estancada.

Una vez que se hayan relacionado y esclarecido los diferentes parámetros necesarios en el procesamiento de los resultados, se evidencia, por medio de figuras, el proceso que se llevó a cabo para la realización de la zonificación.

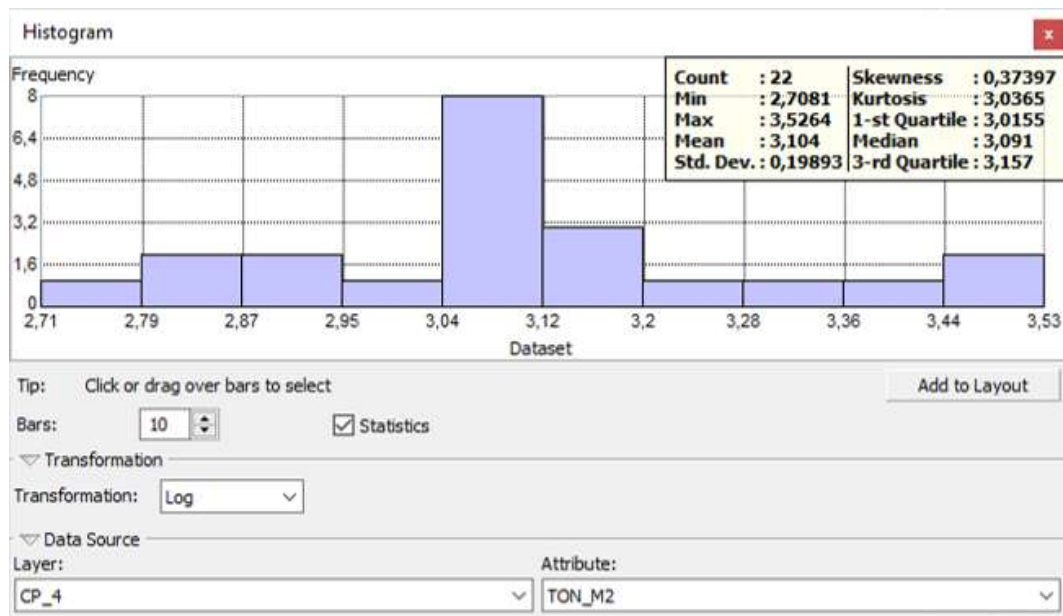
Figura 20. Histograma



Nota: La figura muestra la interpolación del histograma sin transformación (diferencia entre la mediana y la media de 0,721 unidades). Fuente: Toma de datos de ArcGis.

Luego de realizar el histograma, se realiza la transformación logarítmica correspondiente para identificar las diferencias.

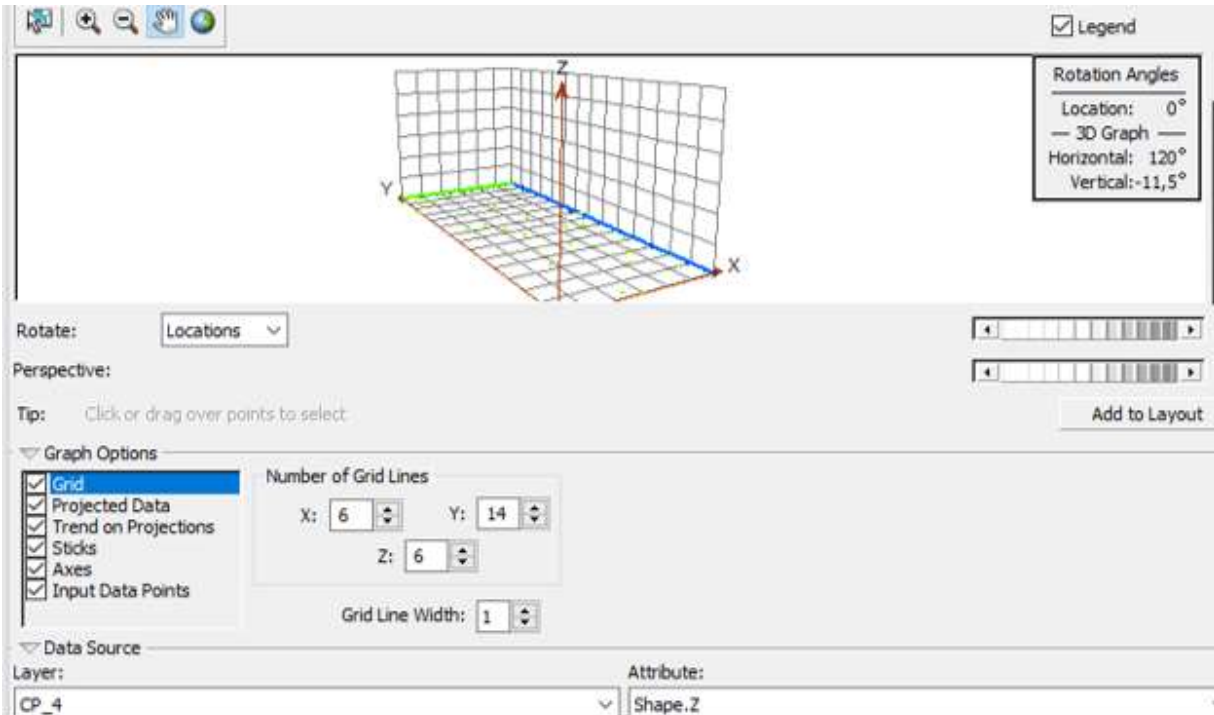
Figura 21. Transformación logarítmica



Nota: La figura muestra la transformación logarítmica del histograma (diferencia entre la mediana y la media de 0,091 unidades). Fuente: Toma de datos de ArcGis

Al realizar el histograma se evidencia que la diferencia entre la mediana y la media aumenta cuando se realiza con la transformación logarítmica, procediendo a realizar un análisis de tendencia.

Figura 22. Análisis de tendencia

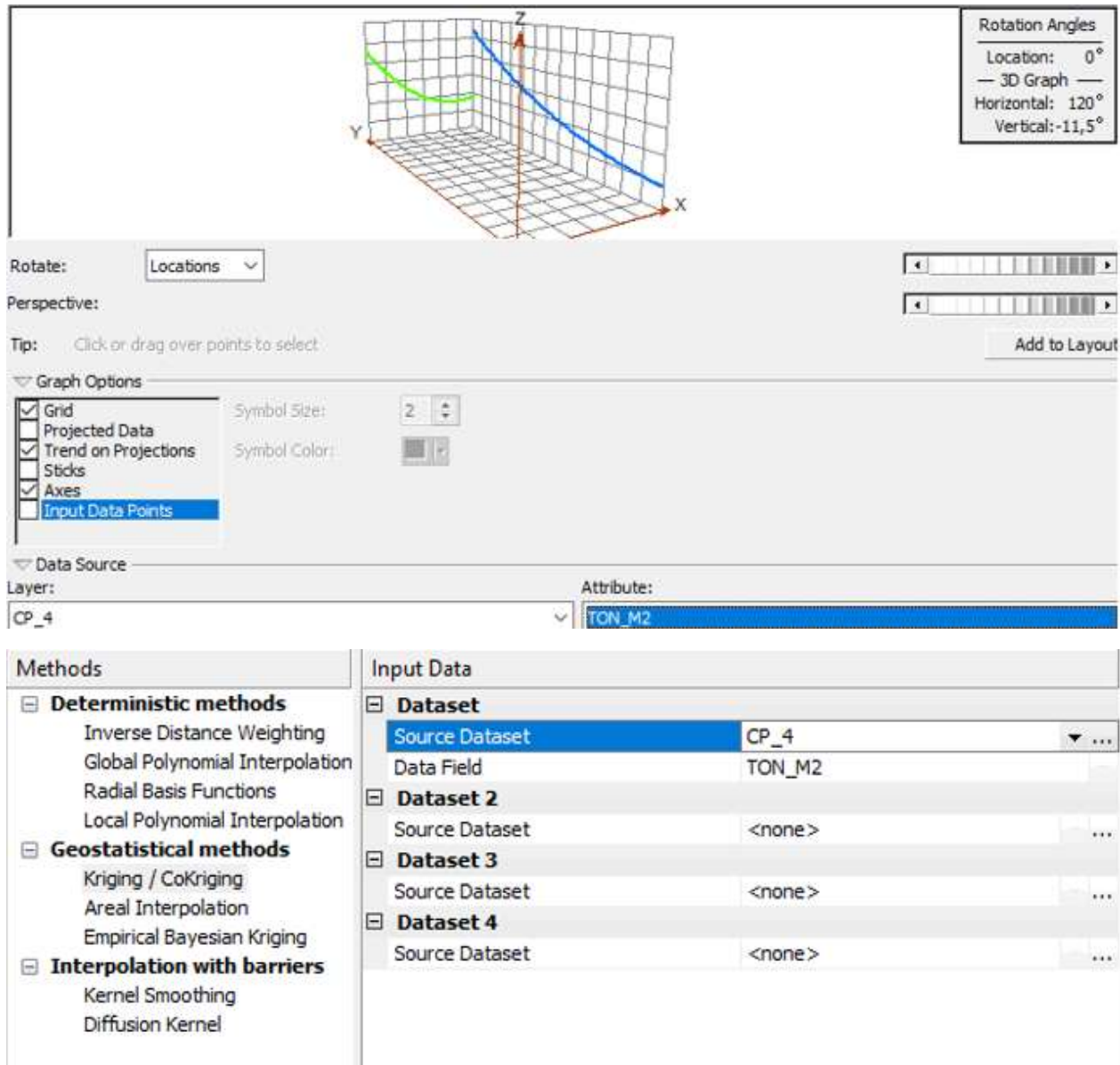


Nota: La figura muestra el diagrama de análisis de tendencia. Fuente: Toma de datos de ArcGis.

El análisis de tendencia es muy importante en el presente estudio ya que es un método para analizar los datos estadísticos y el comportamiento de un registro durante un período de tiempo definido y generar información valiosa, teniendo en cuenta las diferentes variables que ofrece este método.

Cabe recalcar que para el análisis de tendencia también se debe tener en cuenta la capacidad portante que, en este caso, es de tipo exponencial de segundo orden.

Figura 23. Capacidad portante de tipo exponencial de segundo orden

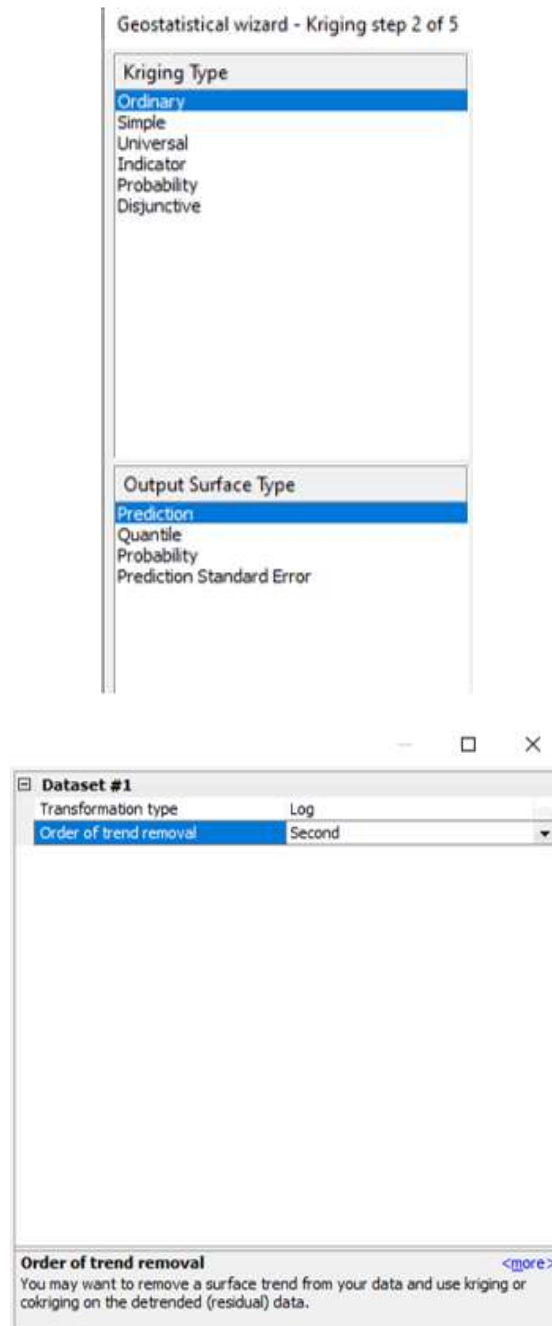


Nota: La figura muestra la capacidad de tipo exponencial de segundo orden y abajo el método usado.

Fuente: Toma de datos de ArcGis.

Para poder llevar a cabo todos los procesos que conllevan la zonificación, se tuvo en cuenta el método de kriging ordinario, el cual es indispensable para llevar a cabo la interpolación necesaria, la cual se va a ver reflejada a continuación.

Figura 24. Método de Kriging ordinario



Nota: La figura muestra el método de Kriging ordinario (predicción y transformación logarítmica de segundo orden) Fuente: Creación propia por medio del software ArcGis.

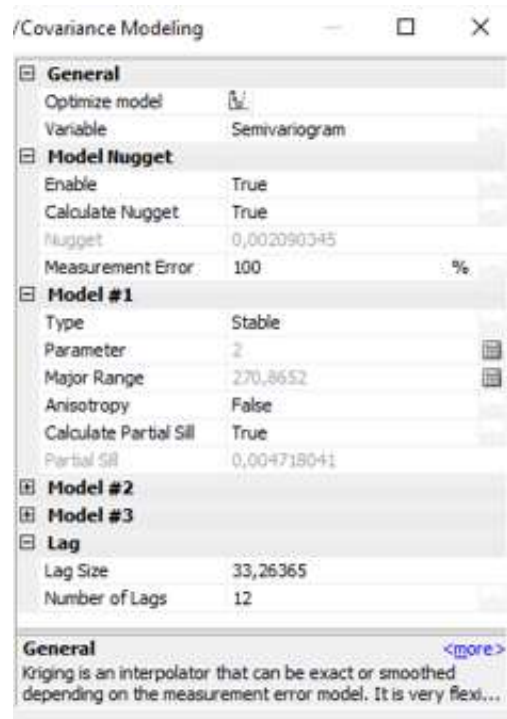
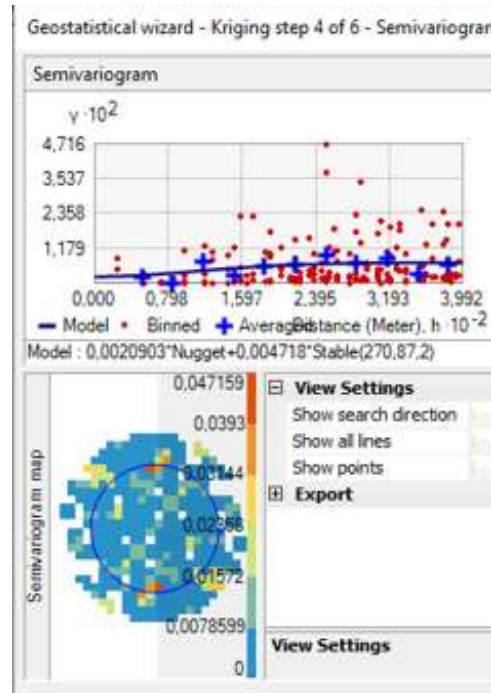
Figura 25. Transformación por el método de kriging.



Nota: La figura muestra la transformación por el método de kriging de segundo orden en un gráfico elipsoidal. Fuente: Toma de datos de ArcGis.

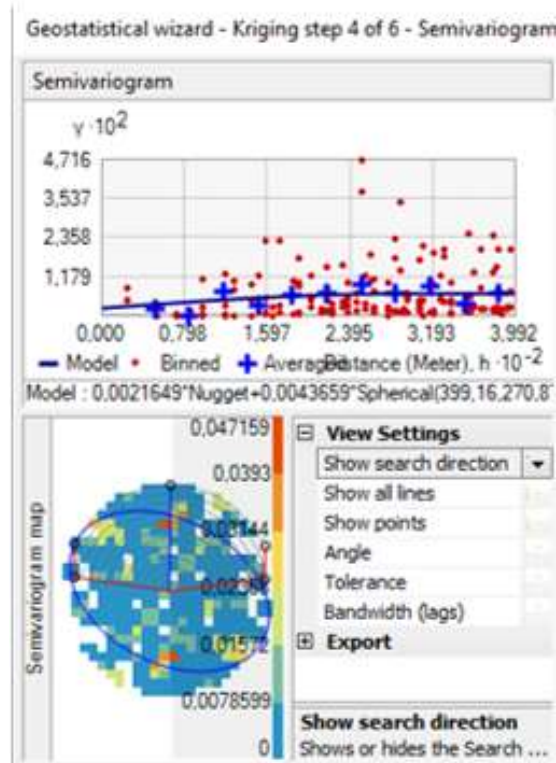
Una vez identificado el tipo de método que se va a usar, se procede a realizar los procesos que conlleva, comenzando con el semivariograma, teniendo en cuenta la anisotropía falsa para poder generarlo en concreto.

Figura 26. Semivariograma con anisotropía falsa.



Nota: Se muestra el semivariograma con anisotropía falsa. Fuente: Datos tomado de ArcGIS.

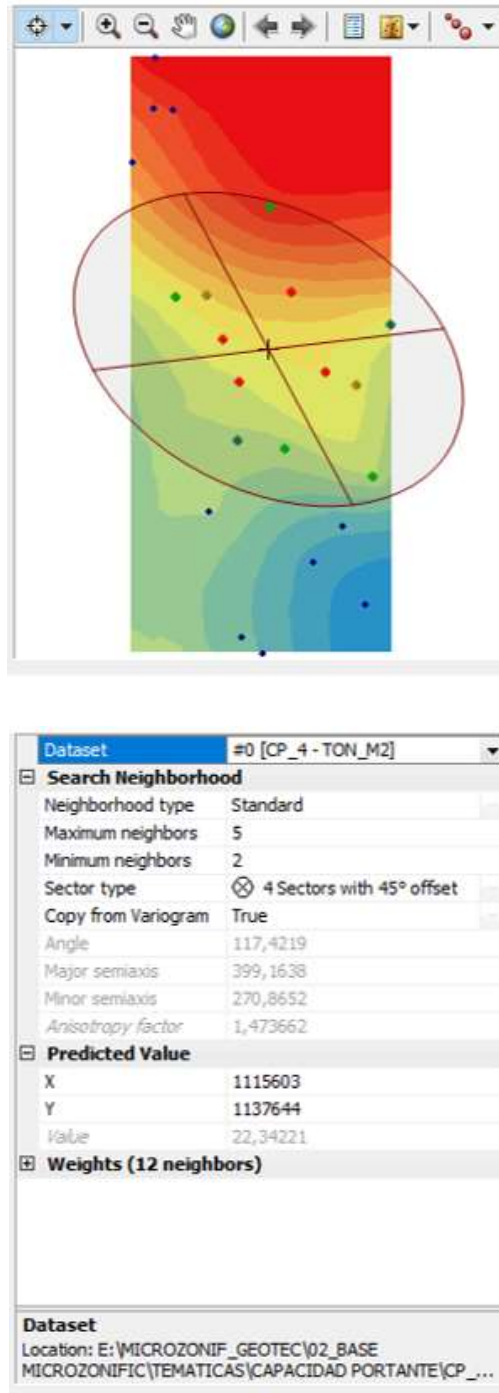
Figura 27. Semivariograma



Nota: La figura muestra el semivariograma, la línea azul es el modelo, los puntos rojos son la interpolación de la variabilidad, los puntos azules son los datos tomados en campo, siendo el análisis de la capacidad portante del suelo. Fuente: Creación propia por medio del software ArcGis.

Teniendo el semivariograma ya generado, se realiza una división del mismo en cuatro partes o secciones para una objetividad mayor y poder evidenciar la variabilidad de probabilidad.

Figura 28. División del semivariograma

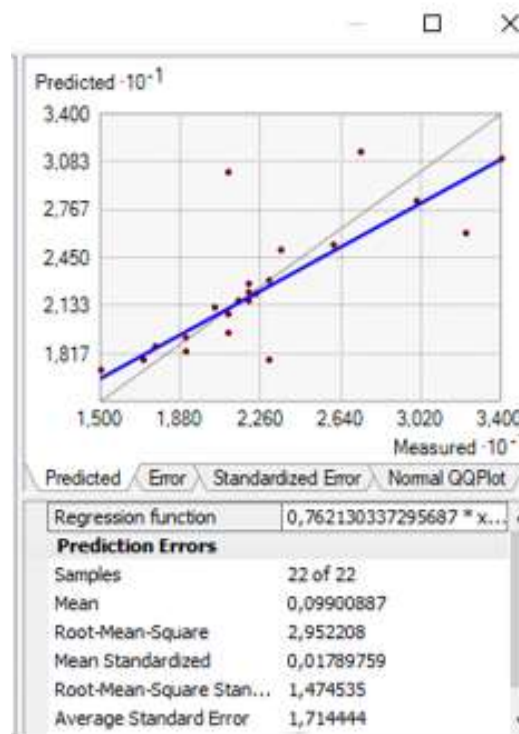


Nota: La figura muestra la división del semivariograma en cuatro secciones. Fuente: Toma de datos de ArcGis.

Figura 29. Variabilidad de probabilidad

Geostatistical wizard - Kriging step 6 of 6 - Cross Validation

| Source ID | Included | Measured | Predicted | Error | Standard Error | Standardized Error | Normal Value |
|-----------|----------|----------|-----------|--------------|----------------|--------------------|----------------------|
| 0 | Yes | 30 | 28.25... | -1.746389... | 1.83969627... | -0.9492812504... | -0.9982011572739196 |
| 1 | Yes | 34 | 31.10... | -2.895671... | 2.48036600... | -1.1674372022... | -1.2074140417363728 |
| 2 | Yes | 22 | 22.22... | 0.2258579... | 1.50146974... | 0.15042457611... | 0.05699966391351774 |
| 3 | Yes | 32.3 | 26.20... | -6.092871... | 2.20592273... | -2.7620512361... | -1.4894700487001695 |
| 4 | Yes | 20.4 | 21.29... | 0.8945005... | 1.48352927... | 0.60295441726... | 0.5375191164918458 |
| 5 | Yes | 22.97 | 23.00... | 0.0312842... | 1.54275269... | 0.02027819508... | -0.05699966391351774 |
| 6 | Yes | 21 | 20.84... | -0.150113... | 1.48978617... | -0.1007617184... | -0.17174708057485466 |
| 7 | Yes | 17.6 | 18.70... | 1.1078650... | 1.35634832... | 0.81679977725... | 0.8254944797083428 |
| 8 | Yes | 23.5 | 25.05... | 1.5599963... | 1.89405110... | 0.82362947995... | 0.9982011572739196 |
| 9 | Yes | 27.3 | 31.57... | 4.2743334... | 2.07575560... | 2.05916990444... | 1.4894700487001689 |
| 10 | Yes | 26 | 25.39... | -0.602800... | 2.06687917... | -0.2916478709... | -0.5375191164918456 |
| 11 | Yes | 22 | 22.80... | 0.8069916... | 1.59824625... | 0.50492323890... | 0.40998333707353285 |
| 12 | Yes | 21 | 30.18... | 9.1809712... | 2.50321898... | 3.66766603059... | 2.0004235824961203 |
| 13 | Yes | 21 | 19.54... | -1.459017... | 1.61624667... | -0.9027196146... | -0.8254944797083428 |
| 14 | Yes | 23 | 17.77... | -5.227739... | 1.38448017... | -3.7759584870... | -2.0004235824961203 |
| 15 | Yes | 19 | 19.20... | 0.2072267... | 1.35568663... | 0.15285742733... | 0.17174708057485466 |
| 16 | Yes | 15 | 17.08... | 2.0856434... | 1.35813294... | 1.53566955688... | 1.2074140417363728 |
| 17 | Yes | 17 | 17.80... | 0.8076221... | 1.28162097... | 0.63015679869... | 0.6744897493823807 |
| 18 | Yes | 22 | 21.75... | -0.245928... | 1.51008748... | -0.1628569405... | -0.40998333707353285 |
| 19 | Yes | 19 | 18.34... | -0.653405... | 1.30146328... | -0.5020548110... | -0.6744897493823807 |
| 20 | Yes | 21.5 | 21.73... | 0.2356031... | 1.52153677... | 0.15484552892... | 0.2888093626207564 |
| 21 | Yes | 22.3 | 22.13... | -0.165762... | 1.49526059... | -0.1108588468... | -0.2888093626207564 |



Nota: Se muestra la gráfica de tendencia que determina la variabilidad de probabilidad, visualizando que es normal porque tiene la tendencia a sobreponerse (línea negra sobre la azul), indicando la viabilidad para construcciones de hasta 3 pisos sin salirse del rango de la toma de datos (hasta 30 metros), los puntos rojos indican la probabilidad de variabilidad. Fuente: Toma de datos de ArcGis.

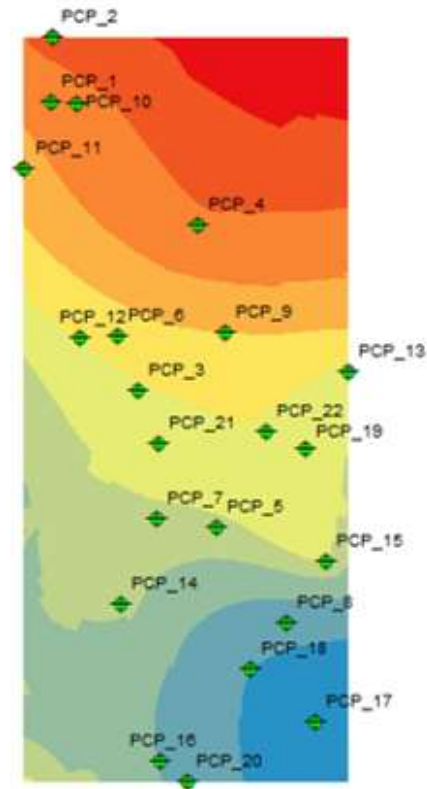
Los datos anteriormente generados se resumen en la generación del reporte que puede brindar el programa, para luego realizar un mapa de predicción de la capacidad portante, usando la interpolación, y plasmar los puntos directamente (zonificar).

Figura 30. Generación del reporte

| | |
|--|--|
| Input datasets | |
| <input type="checkbox"/> Dataset | E:\MICROZONIF_GEOTEC\02_BASE MICROZONIFIC\TEMÁTICAS\CAPACIDAD PORTANTE\CP_MgSg_1\COORDt_Features |
| Type | Feature Class |
| Data field 1 | TON_M2 |
| Records | 18 |
| | |
| <input type="checkbox"/> Method | Kriging |
| Type | Ordinary |
| Output type | Prediction |
| <input type="checkbox"/> Dataset # | 1 |
| Trend type | Second |
| <input type="checkbox"/> Transformation | Log |
| <input type="checkbox"/> Trend removal | Local Polynomial Interpolation |
| Power | 2 |
| Output type | Prediction |
| Exploratory trend surface analysis | 0 |
| <input type="checkbox"/> Searching neighborhood | Standard |
| Neighbors to include | 5 |
| Include at least | 2 |
| Sector type | Four and 45 degree |
| Major semiaxis | 489.454336989001 |

Nota: La figura la generación del reporte evidenciando los parámetros. Fuente: Toma de datos de ArcGis.

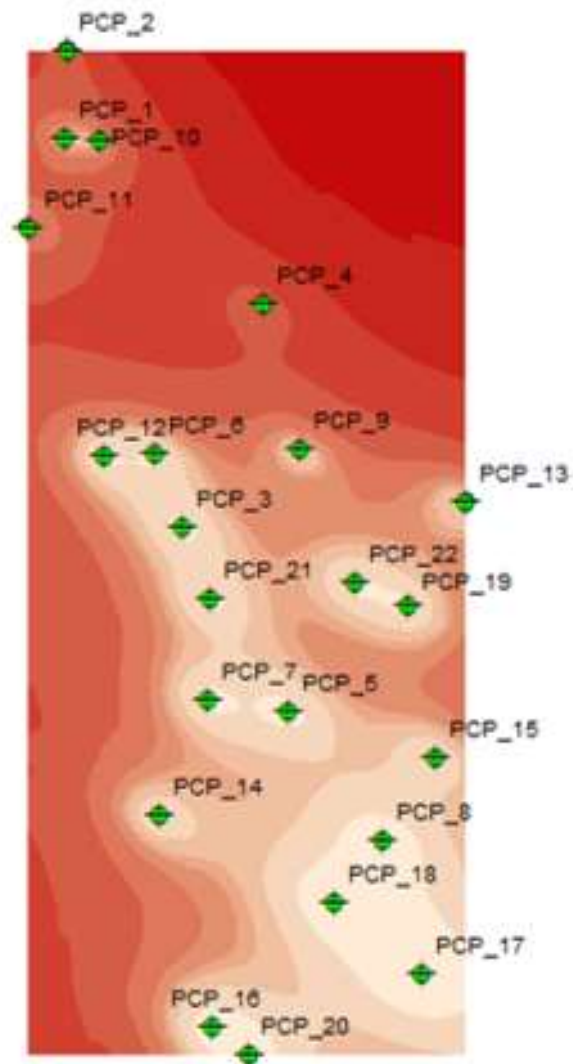
Figura 31. Mapa de predicción de interpolación de la capacidad portante.



Nota: La figura muestra el mapa de predicción de interpolación de la capacidad portante de la comuna 4. Fuente: Creación propia por medio del software ArcGis.

Luego de tener todos los datos correspondientes del programa, se debe realizar una minimización del error de la capacidad portante, para aumentar la precisión del estudio de la zonificación que se va a llevar a cabo.

Figura 32. Minimización de error de la capacidad portante.



Nota: La figura muestra la minimización de error de la capacidad portante. Fuente: Creación propia por medio del software ArcGis.

Por último, se toman los puntos de comprobación, lo que hace más viable de comprobar el presente proyecto, haciendo que sea más objetivo y más fácil de referenciar en posteriores estudios que necesiten la zonificación del municipio de Duitama.

La ya mencionada toma de puntos de comprobación se realizó junto con un ingeniero, y su respectiva clase, de la Universidad Antonio Nariño, teniendo muy en cuenta procesos profesionales tanto de toma de muestras de suelos como de la seguridad de los estudiantes, maestro y personal de laboratorio, para promover la buena realización y enseñanza dentro de la universidad, a continuación, se muestran evidencias.

Figura 33. Toma de puntos de comprobación











Nota: Las figuras muestran el procedimiento realizado para la toma de puntos de comprobación, realizados junto a estudiantes de la facultad de ingeniería civil y su asesor. Fuente: Toma propia.

CONCLUSIONES

Con el desarrollo del proyecto, se evidenció que la zona de estudio escogida tiene un buen suelo, ya que su capacidad portante está entre 17 y 30 Tn/m², lo cual hace que sus edificaciones optimicen costos en su cimentación, en esas mismas especificaciones se observa que la parte norte de la comuna, en perforaciones de 1 a 6 metros, no se encuentra nivel freático, lo cual general que su capacidad portante sea mayor, mientras que, en la parte sur, hay presencia de nivel freático sobre los 4 metros, dando una capacidad portante menor.

De acuerdo con la información analizada, en la elaboración del mapa de zonificación, se tuvieron en cuenta, principalmente, la geología, geomorfología, base catastral y plano de comunas de la ciudad de Duitama; con lo anterior relacionado, se enfatiza en la correcta recopilación y análisis de información para llevar a cabo la base de datos que permitió identificar posibles puntos de muestreo necesarios para complementar la información a partir de estudios de suelos; adicionalmente, se establecieron los parámetros de caracterización geotécnica requeridos para cimentaciones superficiales, específicamente para viviendas de 1 a 3 pisos con el fin de determinar los lineamientos requeridos para el desarrollo y elaboración de la zonificación, teniendo muy en cuenta la normativa vigente y demostrando la viabilidad del proyecto, dando a entender que se puede realizar este tipo de estudio a un nivel macro, comparando los diferentes métodos de interpolación y mapas de calor (Densidad de Kernel), con el fin de obtener una mayor precisión.

Para poder realizar correctamente los estudios, se tomaron datos de suelos en la zona de influencia y se llevaron a cabo estudios complementarios, hechos en los laboratorios de la universidad con su respectiva asesoría, como el estudio de capacidad portante y características del suelo, donde se evidencia que los datos iniciales tenían semejanza a los propuestos en el mapa.

Las conclusiones no son un resumen plano del trabajo, son afirmaciones cortas y concisas de la inferencia que el trabajo ha hecho en la comunidad social y científica; se acostumbra a organizar mediante el uso de párrafos cortos, ordenados desde el más hasta el menos importante. Es importante que todas las conclusiones están relacionadas con los objetivos planteados para resolver el problema.

CONTRIBUCIONES Y RECOMENDACIONES

- Este documento sirve como referencia para que los entes territoriales puedan tener un punto de comparación en la realización de proyectos.
- Este estudio es un punto de partida para que más estudiantes de la facultad de ingeniería civil lo sigan complementando.
- El proyecto pudo ser complementado gracias a las contribuciones que ofrece la Universidad Antonio Nariño, como los conocimientos y procesos inculcados por sus profesionales, al igual que por sus laboratorios.

REFERENCIAS

1. Abouthaus, (noviembre del 2016), “¿Qué es cómo se hace y para qué sirve un estudio de suelo”, recuperado de: ¿Qué es, ¿cómo se hace y para qué sirve un Estudio de Suelo? - AboutHaus (about-haus.com)
2. Acuerdo 039 del 2009, [Plan de Ordenamiento Territorial - Duitama], “Por medio del cual se modifica la estructura del articulado del acuerdo 010 de 2002 y se incluye otras disposiciones legales aplicables al ordenamiento territorial”, 14 de septiembre del 2009.
3. Amanti. M, Muraro. C, Roma. M, Chiessi. V, Puzzilli. L, Catalano. S, Romagnoli. G, Tortorici. G, Cavuoto. G, Albarello. D, Fantozzi. P, Paolucci. E, Pieruccini. P, Caprari. P, Mirabella. F, Della. M, Esposito. C, Curzio. D, Francescone. M, Pizzi. A, Macerola. L, Nocentini. M & Tallini. M, (18 de abril del 2020), “geological and geotechnical models definition for 3rd level seismic microzonation studies in central Italy”, recuperado de: Geological and geotechnical models definition for 3rd level seismic microzonation studies in Central Italy | SpringerLink
4. Alarcón. C, Albarracín. O, Gómez. D y Sandoval. F, (2015), “Zonificación geotécnica de la zona centro del municipio de Sogamoso por medio de un SIG” [Proyecto de investigación, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia], recuperado de: Zonificación geotécnica de la zona centro del Municipio de Sogamoso por medio de un SIG (monografias.com)
5. Barbosa. N y Torres. J, (04 de junio del 2020), “Importancia de la tomografía de resistividad eléctrica en la ingeniería civil”, [Proyecto de investigación, Universidad Antonio Nariño], recuperado de: Importancia de la tomografía de resistividad eléctrica en la ingeniería civil (uan.edu.co)
6. Benavides. S, (2019), “Zonificación geotécnica del subsuelo para el casco urbano del municipio de Rionegro Santander”, [Proyecto de investigación, Universidad Pontificia Bolivariana], recuperado de: 1554_e_4 (1).pdf (upb.edu.co)
7. Beltrán. A y Oyola. I, (11 de junio del 2020), “Guía de apoyo técnico en la evaluación de coberturas de la tierra con el uso de imágenes satelitales landsat y sentinel con estudio de caso en el corregimiento de palamarito municipio de Cúcuta, departamento de norte de Santander”, [Proyecto de investigación, Universidad Antonio Nariño], recuperado: repositorio.uan.edu.co/bitstream/123456789/2142/5/2020AndrésBeltránMontiel.pdf
8. Bernal. S, (28 de noviembre del 2021), “Evaluación del estado del pavimento en la malla vial urbana de la ciudad de Duitama Boyacá por medio del método de inspección visual”, [Proyecto de investigación, Universidad Antonio Nariño], recuperado de:

<http://repositorio.uan.edu.co/bitstream/123456789/5834/3/2021Sonia%20Julieth%20Bernal%20Paez.pdf>

9. Bozzoni. F, (12 de septiembre del 2020), “technical guidelines for the assessment of earthquake induced liquefaction hazard at urban scale”, recuperado de: Technical guidelines for the assessment of earthquake induced liquefaction hazard at urban scale | SpringerLink
10. Britannica, (12 de febrero del 2023), “Cartography”, recuperado de: Cartography | geography | Britannica
11. Cadena. G, Ortega. E, Palacio. O y Vanegas. A, (03 de mayo del 2021), “Zonificación geotécnica de los suelos de la ciudad de Valledupar mediante utilización de un SIG”, “Revista politécnica”, 17(33), p.p 109-119.
12. Carvalho. J, Torres. L, Castro. R, Días. R & M. Víctor, (abril del 2017), “seismic velocities and geotechnical data applied to the soil microzoning of western Algarve”, recuperado de: (PDF) Seismic Velocities and Geotechnical Data Applied to the Soil Microzoning of Western Algarve (researchgate.net)
13. CEMEX, (05 de abril del 2019), ¿“Por qué se determina la resistencia a la compresión del concreto?”, recuperado de: <https://www.cemex.com.pe/-/por-que-se-determina-la-resistencia-a-la-compresion-en-el-concreto->
14. ChemSafetyPRO, (13 de enero del 2016), “Granulometry”, recuperado de: Granulometry (chemsafetypro.com)
15. Columbia, (2020), “Kriging interpolation”, recuperado de: <https://www.publichealth.columbia.edu/research/population-health-methods/kriging-interpolation#:~:text=Kriging%20can%20be%20understood%20as,blocks%20across%20the%20spatial%20field.>
16. Decreto 926 del 2010 (NSR 10): Título H. “Estudios geotécnicos”, 15 de julio del 2010
17. Díaz. E, (05 de junio del 2023), “Uso de geomallas multiaxiales como refuerzo en vías sin pavimentar con suelos blandos o subrasantes débiles”, [Proyecto de investigación, Universidad Antonio Nariño], recuperado de: repositorio.uan.edu.co/bitstream/123456789/2130/1/2020EduardoAndresDiazCepeda.pdf
18. FAO, (2023), “Laboratory techniques”, recuperado de: Sampling and laboratory techniques | FAO SOILS PORTAL | Food and Agriculture Organization of the United Nations

19. F. Castelli, A. Cavallaro, S. Grasso & V. Lentini, (septiembre del 2017), “Seismic microzoning from synthetic ground motion earthquake scenarios parameters: the case study of the city of Catania”, “soil dynamics and earthquake engineering”, 88(1), p.p 307-327.
20. F. Pergalani, A. Pagliaroli, C. Bourdeau, M. Compagnoni, L. Lenti, M. Lualdi, C. Madaia, S. Martino, R. Razzano, C. Varone & V. Verrubi, (14 de mayo del 2019), “seismic microzoning map: approaches, results and applications after the 2016-2017 central Italy seismic sequence”, recuperado de: Seismic microzoning map: approaches, results and applications after the 2016-2017 Central Italy seismic sequence | SpringerLink
21. Gaona. J y Torres. P, (02 de junio del 2020), “Caracterización y análisis comparativo de los métodos geo-eléctrico (Dipolo-Dipolo en tomografía) y geo-mecánico (Penetración mecánica del subsuelo “Penetrologger”) y su incidencia para el estudio en la aplicación de búsqueda de fosas comunes en Colombia”, [Proyecto de investigación, Universidad Antonio Nariño], recuperado de: Caracterización y análisis comparativo de los Métodos Geo-eléctrico (Dipolo-Dipolo en Tomografía) y Geo-mecánico (Penetración Mecánica del Subsuelo “Penetrologger”) y su incidencia para el estudio en la aplicación de búsqueda de fosas comunes en Colombia (uan.edu.co)
22. Geo Engineer, (12 de abril del 2023), ¿“What is Geotechnical Engineering?””, recuperado de: What is Geotechnical Engineering? | Geengineer.org
23. Guanumen. D, (05 de julio del 2020), “Caracterización de parámetros y análisis de la infiltración del suelo en la Universidad Antonio Nariño sede Usme”, [Proyecto de investigación, Universidad Antonio Nariño], recuperado de: repositorio.uan.edu.co/bitstream/123456789/2120/1/2020DuvanArleyGuanumenCastillo.pdf
24. Idegeo, (12 de octubre del 2017), “zonificación geotécnica, ATLAS - CDMX 2004”, recuperado de: Zonificación Geotécnica, Atlas-CDMX, 2004 – <http://idegeo.centrogeo.org.mx/>
25. IDIGER, (16 de noviembre del 2022), “Zonificación geotécnica Bogotá D.C”, recuperado de: Zonificación Geotécnica. Bogotá D.C. Año 2017 (bogota.gov.co)
26. IGAC, (2023), “Formatos y escalas de mapas”, recuperado de: Formatos y Escalas de Mapas | Instituto Geográfico Agustín Codazzi (igac.gov.co)
27. Ley 1523 del 2012, “Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el sistema nacional de gestión del riesgo de desastres y se dictan otras disposiciones”, 24 de abril del 2012.

28. Lozano. S, (30 de noviembre del 2022), “Estudio de geosintéticos usados para la rehabilitación de las patologías en el pavimento, relacionadas a las cámaras de inspección del tramo de la carrera 19c y calle 48c sur, barrio Tunal localidad de Tunjuelito, Bogotá”, [Proyecto de investigación, Universidad Antonio Nariño], recuperado de: [2023_SegioAndresLozanoFlorez.pdf \(uan.edu.co\)](#)
29. Garzón Gil, C. y Salazar Granja, J, (2015), “Técnicas para determinar la viabilidad técnica de un proyecto en la etapa de formulación”, [Tesis de grado, Universidad de San Buenaventura Cali], recuperado de: <https://bibliotecadigital.usb.edu.co/server/api/core/bitstreams/02c4dd15-dfcd-4b1b-b054-58bc54a5d40a/content>
30. Maraboto. L, (septiembre del 2018), “Peligro, vulnerabilidad y riesgo sísmico”, “Ciencia”, 69(3), p.p 31-35.
31. Martínez. D, (02 de junio del 2022), “Caracterización del subsuelo con tomografía eléctrica en una zona de la sede usme de la Universidad Antonio Nariño”, [Proyecto de investigación, Universidad Antonio Nariño], recuperado de: http://repositorio.uan.edu.co/bitstream/123456789/6717/3/2022_DavidFelipeMart%c3%adnezColmenares.pdf
32. MerriamWebster, (Abril del 2023), “Zoning”, recuperado de: [Zoning Definition & Meaning - Merriam-Webster](#)
33. Morales. M y Muñoz. A, (31 de mayo del 2022), “Alternativas para la mitigación de asentamientos diferenciales en el edificio Av.100 de la ciudad de Bogotá causados por la construcción de edificaciones vecinas”, [Proyecto de investigación, Universidad Antonio Nariño], recuperado de: <http://repositorio.uan.edu.co/bitstream/123456789/7117/3/2022.T.G%20Michael%20y%20Anderzon.pdf>
34. MTL Geotecnia, (octubre del 2022), “Estudio de suelos”, recuperado de: <https://mtlgeotecniasac.com/blog/estudio-de-suelos/>
35. Muchik Corp, (09 de abril del 2019), “¿qué es la geotecnia?”, recuperado de: <http://muchik.com/que-es-la-geotecnia/#::-:text=Es%20la%20rama%20de%20la,y%20operaci%C3%B3n%20de%20proyectos%20de>
36. Navarro. J, Jover. R, Cano. M y Riquelme A, (2017), “Manual de ensayos de laboratorio de mecánica del suelo y mecánica de rocas”, Editorial Club Universitario, Alicante- España, p.p (26-28).
37. NTC 1522, “Suelos. Ensayo para determinar la granulometría por tamizado”, 28 de noviembre de 1979.

38. NTC 1527, “Suelos. Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión inconfiada de suelos cohesivos”, 15 de marzo del 2000.
39. NTC 1495, “Suelos. Ensayo para determinar el contenido de humedad”, 17 de abril del 2013.
40. NTC 1917, “Suelos. Método de ensayo para determinar el corte directo de suelos bajo condiciones consolidadas y drenadas”, 15 de marzo del 2000.
41. NTC 1967, “Suelos. Método de ensayo para determinar las propiedades de consolidación unidimensional de los suelos”, 15 de marzo del 2000.
42. NTC 2041, “Suelos. Determinación de la resistencia a la compresión triaxial no consolidada no drenada en suelos cohesivos”, 24 de septiembre del 2003.
43. NTC 4630, “Método de ensayo para la determinación del límite líquido, del límite plásticos y del índice de plasticidad de los suelos cohesivos”, 28 de julio de 1999.
44. Oliveira. L, Teves. P, Pinto. C, Gómes. R, Almeida. I, Ferreira. C, Pereira. T, Mayor. M, (26 de noviembre del 2019), “seismic microzonation based on large geotechnical database: Application to Lisbon”, “Engineering Geology”, 265(1), artículo 105417.
45. Perico. R, (2018), “Mapa geotécnico para la ciudad de Duitama utilizando el software ARC-GIS” , [Proyecto de investigación, Universidad Nacional], recuperado de: Tesis Mapa Geotecnico de Duitama | PDF | Sistema de información geográfica | Software (scribd.com)
46. POT Duitama, (11 de septiembre del 2009), acuerdo No. 039, “mapa cu-23 ZONIFICACIÓN URBANA”, Duitama - Colombia.
47. PyH construyendo soluciones, (22 de noviembre del 2021), “¿què es un estudio de suelos y por qué realizarlo?”, recuperado de: <https://pyhca.com/que-es-un-estudio-de-suelos-y-por-que-realizarlo/>
48. Rafferty. P, (16 de noviembre del 2021), “soil liquefaction”, recuperado de: Soil liquefaction | Definition, Examples, & Facts | Britannica
49. Rehman. A, Song. J, Haq. F, Ahamad. M, Sajid. M & Zahid. Z, (24 de Agosto del 2021), “Geo - physical hazards microzonation and suitable site selection through multicriteria analysis using geographical information system”, recuperado de: Geo-physical hazards microzonation and suitable site selection through multicriteria analysis using geographical information system - ScienceDirect
50. Sensagent, (2023), “Riesgos sísmico”, recuperado de: Riesgo sísmico: definición de Riesgo sísmico y sinónimos de Riesgo sísmico (español) (sensagent.com)

51. Structuralia, (29 de mayo del 2020), “Tipos de estudio de mecánica de suelos a contemplar en obras civiles”, recuperado de: Tipos de estudio de mecánica de suelos a contemplar en obras civiles (structuralia.com)
52. Tecnológico de Costa Rica, (04 de Octubre del 2021), “Estudio de suelo garantiza una construcción segura”, recuperado de: <https://www.tec.ac.cr/noticias/estudio-suelo-garantiza-construccion-segura#:~:text=Con%20el%20estudio%20se%20pueden,resistir%20eventos%20como%20los%20sismos>
53. Thefreedictionary (2022), “Ranking”, recuperado de: <https://es.thefreedictionary.com/ranking>
54. Tibaduiza.O, (27 de mayo del 2022), “Estudio de alternativas para el diseño de un sistema de drenaje de la vía ubicada en la carrera 11B entre las calles 7 y 8 Barrio Cundinamarca de Duitama Boyacá”, [Proyecto de investigación, Universidad Antonio Nariño], recuperado de:
55. Uearth, (2022), “Modern Cartography, History, Tools & Applications”, recuperado de: Modern Cartography - History, Tools & Applications (uearthlabs.com)
56. Vallejo. L, (2002), “Ingeniería geológica”, recuperado de: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5540850/mod_resource/content/1/Livro%202.pdf
57. UNAL, (2018), “Consolidación de suelos”, recuperado de: Capítulo9 Consolidacion.doc (unal.edu.co)
58. UNITEC, (2020), “Mecánica de suelos 1”, recuperado de: <https://mecanicadesuelos1unitec.wordpress.com/ensayo-de-corte-directo/>
59. Universidad Politécnica de Cartagena, (2023), “granulometría”, recuperado de: <https://www.upct.es/sait/es/reologia-y-granulometria/granulometria/#:~:text=La%20granulometr%C3%ADa%20es%20la%20medici%C3%B3n,como%20de%20sus%20propiedades%20mec%C3%A1nicas>
60. USC Dornsife, (15 de junio del 2021), “The fundamentals of cartography”, recuperado de: The Fundamentals of Cartography - USC GIS Online
61. WordSense, (Abril del 2023), “Microzoning”, recuperado de: microzoning: meaning, definition - WordSense
62. Y. Yang, X. Zhang, Z. Zhou, X. Wang & Z. Li, (09 de marzo del 2023), “seismic analysis of a half - space containing a water - filled valley under 2D oblique incident waves by finite - infinite element method”, “soil dynamics and earthquake engineering”, 169(1), artículo 107872.

63. Y. Wang, S. Dashti, J. Tiznado, (14 de marzo del 2023), “seismic performance of mat - founded building clusters on liquefiable soils treated with ground densification”, “soil dynamics and earthquake engineering”, 169(1), artículo 107861.