# INFORME GEOTÉCNICO



Estudio geotécnico para pavimentación de vía urbana.

Barrio Milenio, Manzanares, Caldas

Manzanares, Caldas
Abril 2024

ZENIT
Ingeniería y Consultoría

MSc. SANTIAGO CANO BEDOYA
Ingeniero Civil MP 17202-430783 CLD
Geólogo MP 4816
Especialista en Geotecnia

ZENIT
Ingeniería y Consultoría

## Contenido


**1. Introducción ..... 3**

**2. Localización ..... 4**

**3. Marco geológico ..... 6**

3.1. Geología estructural ..... 14

**4. Marco geomorfológico ..... 15**

4.1 Geomorfoestructura ..... 16

4.2 Provincia Geomorfológica ..... 16

4.3 Región Geomorfológica ..... 16

4.4 Unidad Geomorfológica ..... 17

4.5 Subunidad geomorfológica ..... 18

**5. Prospección geotécnica ..... 19**

5.1 Descripción de los CBR ..... 19

**6. Análisis de la capacidad de carga de las subrasantes para tramos vías urbanas ..... 22**

6.1. Módulo de resiliencia ..... 23

**7. Comentarios finales y recomendaciones ..... 24**

# 1. Introducción

Los estudios geotécnicos se convierten en el instrumento básico antes de iniciar cualquier tipo de intervención en materia de infraestructura pues el suelo se convierte en el material que deberá soportar los esfuerzos transmitidos por las obras para lo cual deberá comportarse de forma tal que se garantice el equilibrio suelo – estructura, suelo – vía, suelo – acueducto, etc. Cualquier edificación u obra que requiera ser construida, remodelada o modificada en alguno de sus componentes debe tener una serie de estudios y diseños que respalden la viabilidad técnica de las intervenciones que se pretenden realizar. En Colombia existe el Código de Construcción Sismorresistente del año 2010 (NSR-10) emitido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, el cual dicta las disposiciones que se deben tomar en cuenta para los estudios geotécnicos, sin embargo, también existen reglamentos emitidos por la RAS y el INVIAS, entre otros.

En desarrollo del estudio, se realizó la definición del proyecto haciendo una breve descripción del tipo de estructura que se pretende construir en el sitio, una ligera caracterización física y geográfica del lugar en general, la evaluación y descripción de los materiales encontrados en la exploración del terreno y los resultados de laboratorio para con estas herramientas ofrecer un diseño de obra de contención y la caracterización del material con fines de pavimentación de vías para así emitir las recomendaciones locales y generales de manejo de los suelos y construcción del sistema.

En el municipio de Manzanares Caldas, específicamente en el barrio Milenio, se pretende mejorar un tramo de la vía urbana, por lo tanto, se hace necesario la realización de un estudio de suelos que permita conocer las características físicas y mecánicas del terreno y la subrasante, lo anterior porque los suelos están en permanente cambio debido a la acción de los múltiples agentes exógenos (en especial el clima) que meteorizan los materiales preexistentes y tienden a ocasionar erosión. Se busca entonces determinar la composición y las propiedades físicas de los materiales que conforman los estratos para determinar su competencia, estabilidad, empujes, entre otros aspectos importantes para la implantación de las obras.

El estudio se realizó en la zona indicada por el interesado en el área donde se va construir. Cabe anotar que el presente documento es y hace parte integral de las memorias de cálculo estructurales de las obras a construir

## 2. Localización

El Municipio de Manzanares, denominado “Corazón del Oriente” o “Ciudad Cordial”, se encuentra ubicado al oriente del departamento de Caldas, emplazado en la ladera oriental de la Cordillera Central a 117 Km de la Capital del Departamento, Manizales. Su ubicación geográfica es 5° 15’ latitud norte, 4° 20’ latitud occidental a 1.871 metros de altura promedio sobre el nivel del mar.

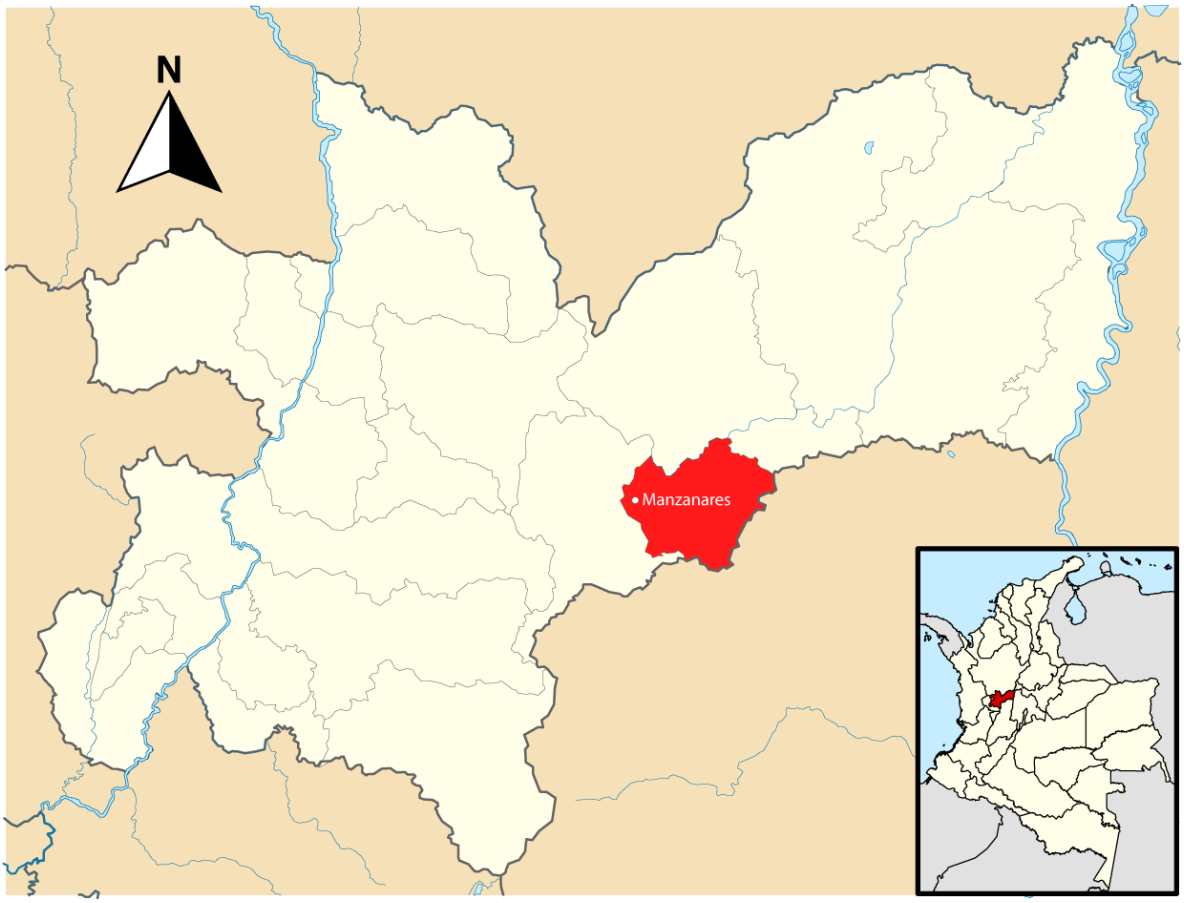



Figura 1. Mapa de localización del municipio de Manzanares, Caldas

El municipio de Manzanares se encuentra en la subregión Alto Oriente de Caldas, una de las seis subregiones que conforman el departamento y agrupa los 27 Municipios del mismo. En esta subregión se encuentran los municipios de Marquetalia, Marulanda, Pensilvania y Manzanares, el cual por su privilegiada ubicación geográfica es la puerta de entrada y comunicación de los demás municipios con el resto del país.

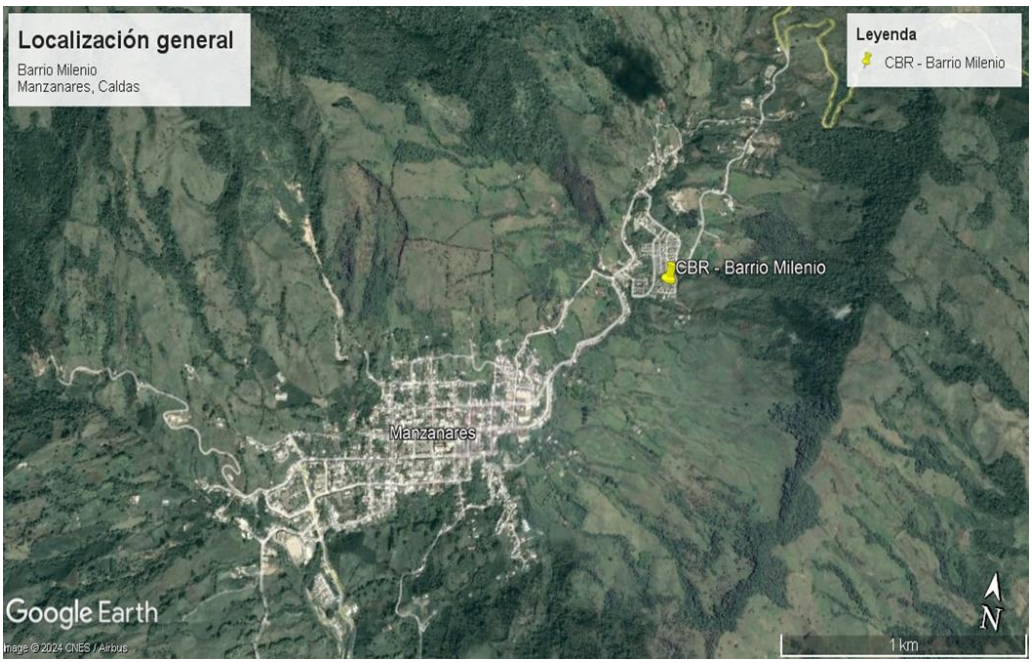



Figura 2. Localización general del sitio de interés. Municipio de Manzanares, Caldas. Tomado de Google earth (2024).




Figura 3. Localización especifica del sitio de interés. Fuente: Tomado de Google earth (2024).

# 3. Marco geológico

La información de la geología regional se obtuvo en base a la cartografía realizada por Ingeominas, en los informes y Planchas correspondientes a la cuenca del río Guarinó, como son:

- Geología de la Plancha 206-Manizales.

- Geología de la Plancha 207-Honda.

A continuación, se definen las unidades correspondientes teniendo en cuenta su edad, de la más antigua a la más reciente:

**Unidades del Paleozoico**

**Complejo Cajamarca.**

Complejo Cajamarca es el nombre utilizado por González (1989) para el conjunto de rocas metamórficas que constituyen el núcleo de la Cordillera Central. Las características mineralógicas y facilidad de identificación permitieron separar, tres grupos composicionales: Las paragénesis metamórficas indican un bajo grado de metamorfismo predominante en facies esquisto verde, aunque localmente se encuentran en rocas facies anfibolita. Los esquistos verdes son menos abundantes y se encuentran intercalados con los esquistos sericíticos. Las secuencias metasedimentaria de Marulanda muestra un menor grado de metamorfismo que las otras unidades metamórficas y aparentemente corresponde a la parte superior de la secuencia metamórfica, donde el cambio en la intensidad del metamorfismo es debido a la posición estructural más alta dentro de la pila sedimentaria original durante el metamorfismo, (González, 2001).

En Núñez A., 2001, el complejo está conformado por una gran variedad de rocas, producto de metamorfismo regional de medio a bajo grado, facies esquisto verde hasta anfibolita. La litología más frecuente es de esquistos de clorita-albita-epidota, clorita-albita-actinolita, cuarzo-sericita-grafito, cuarcitas y cuarcitas biotíticas. Los colores dominantes son verdes y grises a negros. Subordinadamente se encuentran mármoles, esquistos micáceos, esquistos anfibólicos y ocasionalmente anfibolitas. Las relaciones estratigráficas, entre las diferentes litologías, son complejas Camacho, J., et al., (2004).

El Complejo está compuesto por varias unidades, con características mineralógicas y texturales, que las permiten separar y se describen a continuación:

- **Grupo Pelítico:** Constituido por filitas, esquistos sericíticos y micáceos (Pes) y metasedimentitas (Pmm).
- **Grupo Cuarzoso:** Cuarcitas (Pq).
- **Grupo Básico:** Esquistos verdes y anfibolitas (Pev).

**Esquistos Cuarzo - Sericíticos (Pes).**

Esta unidad corresponde a esquistos Cuarzo-Sericíticos, constituyen uno de los tipos litológicos más abundantes y característicos del complejo Cajamarca; presencia de grafito en cantidades variables le imparten un color gris a negro característico, por lo cual se denominan en el campo, esquistos negros. Esta unidad incluye no solo los esquistos sericíticos predominantes, sino que por gradación mineralógica pasan a cuarcitas o esquistos grafíticos y por variación textural, a filitas. Las rocas predominantes están compuestas por cuarzo, sericita, grafito, clorita y, como accesorios, micas, apatito, turmalina y opacos metálicos. Son rocas paleozoicas del carbonífero superior.

**Cuarcitas (Pq).**

Según González (2001), está unidad de rocas paleozoicas del carbonífero superior está compuesta por cuarcitas, que aparecen intercaladas e interdigitadas con los esquistos cuarzo sericíticos; existe una transición al disminuir el contenido de cuarzo y aumentar el de la mica blanca; la estructura varía desde maciza granoblástica de grano fino hasta esquistosa heteroblástica. Lo anterior significa variación tanto en la composición del protolito sedimentario como en las condiciones de sedimentación. La roca predominante está compuesta por cuarzo sacaroidal en mosaicos, de textura granoblástica poligonal, localmente con biotita y feldespato. A medida que aumenta el contenido de biotita la estructura se vuelve bandeada con capas delgadas de este mineral que separan mosaicos granoblásticos de cuarzo.

**Esquistos Actinolíticos - Cloríticos (Pev).**

Los esquistos actinolíticos – cloríticos, corresponden a rocas paleozoicas del carbonífero superior, son conocidos en el campo como esquistos verdes por su color característico en tonos claros y oscuros; son rocas macizas a esquistosas con foliación definida por la orientación paralela a subparalela de anfíbol fibroso y clorita. La proporción relativa de las fases predominantes es variable, pero en términos generales, los minerales verdes que caracterizan la unidad: epidota, clorita, anfíbol, están en proporción similar. Su composición y alternancia con esquistos cuarzo-sericíticos de protolito sedimentario, hace pensar que los esquistos verdes se originaron en eventos volcánicos que alternaron con la depositación de sedimentos en una fosa.

**Metasedimentitas de Marulanda (Pmm).**

Las metasedimentitas de Marulanda corresponden a la prolongación hacia el sur de la unidad denominada por González (1980), rocas metamórficas de bajo grado sin diferenciar (Pbsd), constituida por rocas de muy bajo a bajo grado de metamorfismo que conservan, en parte, la textura clástica del sedimento original.

El cuerpo principal de esta unidad se encuentra en los alrededores de Marulanda, de donde recibe el nombre (González y Ruiz, 1993), con excelentes afloramientos en la carretera hacia Pensilvania y a lo largo del rio Hondo; está constituido por una alternancia de metalimolitas, metareniscas, pizarras, filitas y cuarcitas, donde la presencia de mica blanca, clorita y ocasionalmente biotita y la texturas de las rocas indican que los sedimentos fueron afectados por un evento metamórfico dinamotérmico regional.

Las metalimolitas y metareniscas se presentan intercaladas con las demás metamorfitas y solo se diferencian microscópicamente por el tamaño del grano. En muestra de mano presentan coloración gris pardo y gris oscuro, con pequeñas venas de cuarzo, ocasionalmente. La matriz, conformada por cuarzo finogranular y pequeños cristales de mica blanca, se encuentra recubierta por material arcilloso posiblemente producto de alteración de feldespatos y carbonoso en algunas muestras. Las pizarras y filitas se presentan finamente laminadas, de colores verdes, gris plomo y gris verdoso.

La presencia de algunos fragmentos líticos de rocas metamórficas (cuarcitas), sugiere que la secuencia sedimentaria original se produjo a partir del levantamiento y posterior erosión de las

rocas metamórficas preexistentes. Esta secuencia estuvo luego sometida a eventos de metamorfismo regional de grado bajo y térmico de grado medio.

**Intrusivos Néisicos.**

Rocas granitoides de estructura neísica, denominadas (neises intrusivos) por Feininger et al, 1972 y González 1980, afloran sobre ambos flancos de la Cordillera Central al norte de Manizales y constituyen cuerpos regionalmente concordantes, limitados en gran parte por fallas. Aunque la textura original ha sido modificada, en la mayoría de los casos son notorias las evidencias de un origen ígneo: son claramente intrusivos en las metamorfitas encajantes produciendo paragénesis metamórficas en desequilibrio térmico con las de metamorfismo regional y, además, alcanza a modificar la estructura produciendo cornubianitas; son numerosas las inclusiones de esquistos en las zonas de borde transformadas en cornubianitas biotíticas (González, 2001).

**Intrusivo Néisico de Padua (Pinp).**

El intrusivo néisico de Padua recibe el nombre de la población de Padua en el Tolima (Barrero y Vesga, 1976). Hacia el este se encuentra en contacto con la anfibolita de Padua; presenta localmente zonas de migmatización (Barrero y Vesga, 1976) y hacia el occidente aparece en contacto, localmente fallado, con cuarcitas del Complejo Cajamarca. La constitución litológica de estas rocas paleozoicas y mesozoicas, pérmicas y triásicas, corresponde a una composición predominante de tonalítica a granodiorítica, con estructura neísica definida por la orientación subparalela de láminas de biotita y moscovita y textura hipidioblástica inequigranular de grano medio a grueso; localmente presenta textura granoblástica desarrollada por efectos dinámicos indicados por la extinción ondulatoria del cuarzo, fracturamiento de feldespatos y flexionamiento de las láminas de mica (González, 2001).

**Anfibolita de Padua (Pap).**

La Anfibolita de Padua es el nombre asignado por (Barrero y Vesga, 1976) a un cuerpo elongado de 17 Km de largo por 1.5 Km de ancho, en contacto fallado al sureste con metamorfitas del Complejo Cajamarca y al noreste con el intrusivo de Néisico de Padua, con el cual forma zonas de migmatitas. Al este el contacto es fallado y está marcado por la Falla Palestina. Macroscópicamente, las rocas predominantes en esta unidad son granoblásticas de grano medio a fino, equigranulares, color moteado y foliación definida por la disposición paralela a subparalela

de cristales tabulares de hornblenda. La asociación íntima con el intrusivo Néisico de Padua y sus características texturales, permiten considerar a estas rocas como metaígneas, sometidas a condiciones de metamorfismo de las facies anfibolita, metamorfismo de grado medio (González, 2001).

**Unidades del Mesozoico**

**Batolito de Sonsón (Jcds).**

El Batolito de Sonsón recibe su nombre de la población de Sonsón, al norte del área cartografiada (González, 1980), y tiene una extensión de 950 Km², de los cuales 60 Km² de su extremo sur afloran en la Plancha 206. Gran parte de los contactos y su posible extensión al sur, se encuentran cubiertos por depósitos piroclásticos recientes, lo cual impide determinar relaciones o tipo de contacto con otras unidades, pero aparentemente es intrusivo del Complejo Cajamarca, formando en la mayoría de los casos, una aureola de contacto bien definida, excepto en su extremo sureste donde el contacto está controlado por la Falla Samaná Sur. El contacto con la Formación Valle Alto es fallado o discordante (González, 1980).

El Batolito es un cuerpo de composición homogénea, predominantemente tonalítica con rocas más básicas, dioritas y gabros, hacia el borde occidental; la estructura es masiva fanerítica equigranular de grano medio y localmente hacia los bordes presenta una estructura masiva fanerítica equigranular de grano medio y solo localmente hacia los bordes presenta una estructura protoclástica definida por la alineación de cristales laminares de mica o prismáticos de hornblenda con una inclinación suave hacia el este (González, 2001).

La roca predominante es una tonalita maciza de color moteado sal y pimienta, y estructura ligeramente néisica hacia los bordes. La textura es hipidiomórfica equigranular de grano medio con evidencias de deformación a lo largo de las Fallas de rio Dulce y Samaná Sur.

**Stock de Mariquita (Kgdm).**

Es el nombre dado por Barrero y Vesga (1976), a un cuerpo intrusivo que aflora en el flanco oriental de la Cordillera Central de Colombia, al noroccidente del Municipio de San Sebastián de Mariquita, en el norte del Departamento del Tolima. Aflora por la carretera que de Mariquita lleva al sitio conocido como Cataratas de Medina y Victoria; en el puente del río Guarinó existen afloramientos

del intrusivo. Intruye rocas metamórficas del Complejo Cajamarca y sobre él reposan sedimentitas del Grupo Honda.

Está compuesto por granodiorita biotítica, leucocrática, con facies locales de diorita hornbléndica y cuarzodiorita. Los minerales constituyentes son cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa; los máficos son biotita y muy subordinadamente hornblenda (en Núñez, A., 2001).

Según González (1993), se encuentra constituido por rocas macizas de aspecto moteado, de color gris a verde claro, hipidiomórfica, inequigranular, con textura fanerítica fina a media, que ocasionalmente es de grano grueso; presenta color de alteración rosado, meteorización esferoidal y fuerte diaclasamiento por sectores.

**Formación Abejorral (Kia).**

La Formación Abejorral fue definida en los alrededores de Abejorral (Antioquia) por Burgl y Radelli (1962) y, posteriormente, estudiada en detalle en su prolongación hacia el sur hasta el departamento de Caldas en la región de San Félix y Valle Alto, por González (1980, 1993), Rodríguez y Rojas (1985) y (Etayo, 1985). En la Plancha 206, aparece el extremo sur de esta unidad, en gran parte cubierta por depósitos piroclásticos recientes que, además, enmascaran los contactos con las unidades adyacentes; el contacto con la Formación Valle Alto es tectónico y está enmarcado por la Falla Samaná Sur mientras que el contacto con el Batolito de Sonsón, al norte del área considerada, es en parte tectónico y en parte discordante (González, 1980; Rodríguez y Rojas, 1985).

El nivel basal expuesto está conformado por capas de conglomerado con soporte arenoso y, ocasionalmente, grano-soportados, con gravas tamaño guijo y guijarro, redondeadas a subredondeadas de cuarcitas y cuarzo lechoso, con matriz de grano fino a grueso de formas redondeadas. Ocasionalmente, se observa gradación de guijo hasta gránulo. Hacia arriba de los niveles conglomeráticos aparecen facies de arenitas con estructuras, composición y contenido faunístico variable.

**Unidades del Cenozoico**

**Pórfidos Andesíticos (Ngad).**

Está unidad está descrita en las memorias de la Plancha 206 de Ingeominas como Pórfidos de Neira, y corresponden a cuerpos de rocas porfiriticas hipoabisales de afloran con una extensión de 18 Km² al noreste y sureste de la población de Neira, de donde recibe su nombre (Mosquera, 1978); se encuentran parcialmente cubiertos por flujos piroclásticos de Neira y por depósitos de ceniza volcánicas recientes. Son intrusivos en esquistos del Complejo Cajamarca al este.

El cuerpo principal está constituido por rocas masivas porfídicas de tono grisáceo con fenocristales de plagioclasa hasta de 0,5 cm y más finos de biotita y hornblenda en una matriz microcristalina. La roca predominante corresponde a feno – andesita porfídica y a pórfidos andesíticos, con poca variación mineralógica y química de uno a otro tipo de roca y solo hay cambios texturales y en la relación fenocristales – matriz. Debido a que no se tiene la certeza de que corresponda al mismo cuerpo ígneo, se determinó llamar a esta unidad Pórfido Andesítico (Ngad).

**Depósitos Piroclásticos (Qto)**

Esta unidad corresponde a depósitos piroclásticos de caída, producto de la actividad cuaternaria de los volcanes del Complejo Ruiz – Tolima, cubren gran parte de la región central de las planchas, aledaña al eje central de la Cordillera Central, oscureciendo las relaciones entre unidades litológicas más antiguas y suavizando la morfología del terreno.

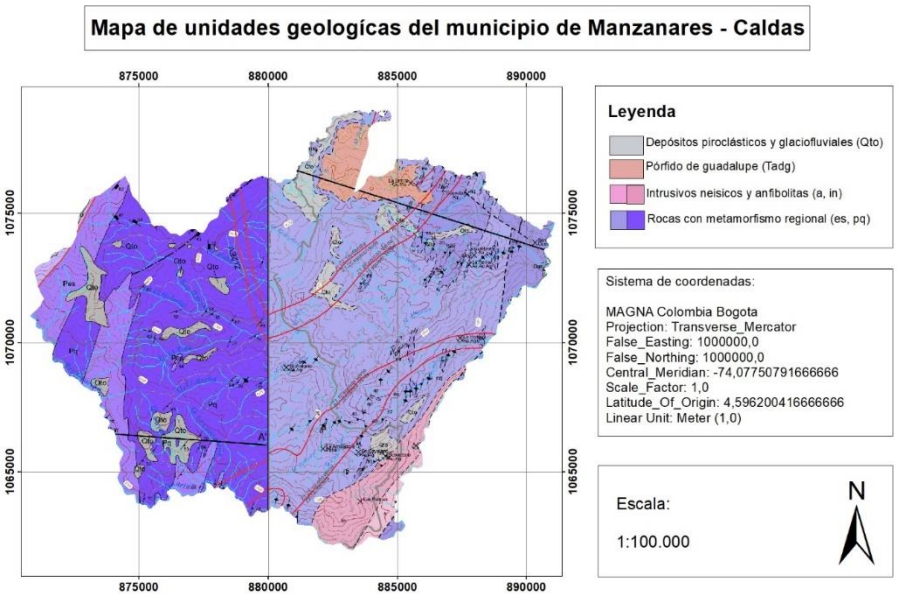
Las capas piroclásticas están compuestas por cenizas, lapilli pumítico y, ocasionalmente, bombas volcánicas. En los cortes de las carreteras a Letras, Herveo y Murillo se observan espesores de más de 30 m de cenizas y lapilli pumítico con varios niveles de suelos fósiles intercalados, que se acomodan a la topografía preexistente. Localmente, aparecen algunos niveles arcillosos intercalados en la secuencia de ceniza – lapilli que indican una depositación en un medio acuoso. El grado de litificación, por lo general, es bajo.

Cerca al Cerro Bravo, sector El Doce, se encuentra, como material suelto, bombas corteza de pan, con diámetro promedio de 10 cm, que indica explosiones recientes en el complejo de domos. Bombas de este tipo que se encuentran a mayor distancia, hacen parte de los fragmentos juveniles de flujos de ceniza y pómez que fueron arrojados como proyectiles balísticos y luego incorporados en el flujo. Los depósitos de ceniza encontrados en el área han tenido como fuente los volcanes

Ruiz y Tolima, ya que los directamente asociados con el Volcán Cerro Bravo son, generalmente, productos que acompañan otros materiales piroclásticos emitidos en las erupciones (González, 2001).

Los depósitos o capas de pómez o lapilli pumíticos corresponden a depósitos plinianos de caída; tienen una distribución muy amplia alrededor del Volcán Cerro Bravo y están intercalados con los demás productos del mismo. Herd (1974) identificó en el área 17 niveles plinianos asociados a la actividad del Cerro Bravo en los últimos 14000 años, mientras que Lescinky (1990), los dividió en 9 niveles. Los fragmentos juveniles son de pómez de tonalidades variadas en superficie y blancos en el interior, fibroso, con fenocristales de plagioclasa y máficos. La composición global es andesítica. Las tefras aparecen estratificadas en zonas relativamente planas, mientras que al aumentar la pendiente se pierde la disposición en capas y aparece una masa arenosa deleznable, cruzada por las numerosas fracturas que localmente le dan una estructura columnar. El límite entre capas está marcado por una delgada e irregular capa de limolita color pardo oscuro (González, 2001).

Figura 4. Mapa de unidades geológicas del municipio de Manzanares, tomado y modificado de la plancha 206 y 207 del servicio geológico colombiano a escala 1:100.000.




Fuente: Servicio Geológico Colombiano, 2015.

## 3.1. Geología estructural

De acuerdo a la cartografía geológica proporcionada por el Servicio Geológico Colombiano, en el municipio de Manzanares pasan una serie de fallas que en su mayoría son inferidas y no cuentan con un nombre. En la región Sureste de este municipio pasa el trazo de la Falla Palestina la cual se encuentra asociada al Sistema de Fallas Palestina.

**Falla Palestina**

Localizada en el sector sur de la Cuenca, y coloca en contacto rocas de las unidades Anfibolitas de Padua (Pap) y los esquistos cuarzo-sericíticos (Pes) del Complejo de Cajamarca. En la cuenca presenta una orientación con rumbo N30°E y es considerada como una falla de rumbo dextrolateral que atraviesa la Cordillera Central sobre 350 km de longitud. La falla Palestina tiene una expresión morfológica caracterizada por una depresión lineal notable con valles alargados y alineados, y boquerones profundos en las crestas de los cerros; según Page (1986), depósitos volcánicos están posiblemente desplazados por la falla y estima que el grado de actividad es bajo (en González, 2001).

Cortés (1990; en Cruz & Jiménez, 2003) establece su disposición espacial como N15°E/85°W, con falles menores o satélites que conforman una estructura en forma de espina de pescado, generando fracturación, deformación y fallamiento regional; fue afectada por dos sistemas de fallas transversales que la desplazan formando un ángulo de 59° y 77° (en Acosta, 2007).

Collins et al., (1981), reporta evidencias congruentes de actividad cuaternaria y estima una falla de desplazamiento vertical entre 0,06 y 0,4 mm/año, con desplazamientos de buzamiento al W y probable componente sinestral (en Acosta, 2007).

## 4. Marco geomorfológico

La geomorfología involucra y relaciona al paisaje con los procesos que le dieron origen y sus condiciones ambientales. Según esto, la interpretación de la geomorfología tiene por finalidad la descripción de las formas del terreno, y la explicación de su génesis (origen), evolución a través del tiempo geológico, la definición de la naturaleza de los materiales, la clasificación de los paisajes según el proceso o agente natural dominante, composición, edad, y la explicación de la magnitud de los agentes y procesos geomorfológicos modeladores (SGC, 2012).

Debido a que la escala de trabajo empleada en este estudio es detallada, se requiere hacer la jerarquización geomorfológica con la finalidad de homogenizar las unidades encontradas, en la cual el máximo nivel de detalle es el elemento geomorfológico concepto definido por los rasgos del relieve, la morfometría detallada del terreno y los microrrelieves asociados con unas características litológicas del estudio, permitiendo el análisis de la evolución geomorfológica y geológica de la misma (Carvajal, 2011).

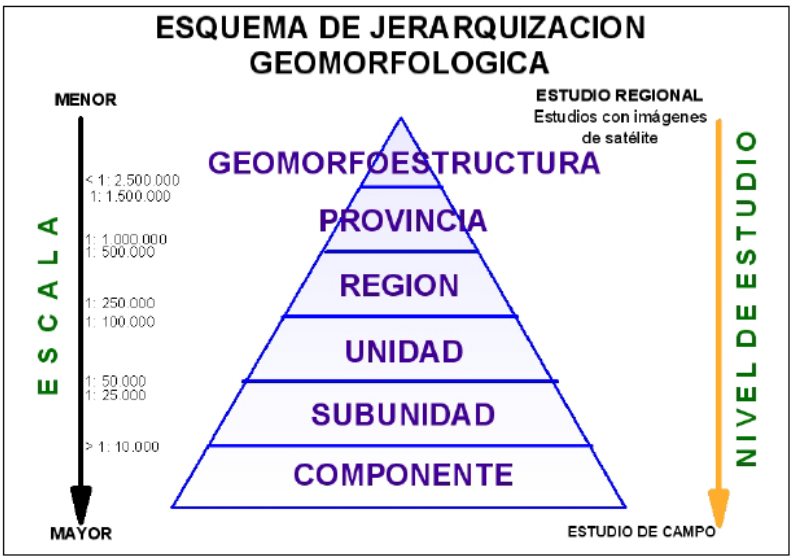



Figura 5. Jerarquización geomorfológica. Carvajal (2008).

A continuación, se describe el proceso de jerarquización geomorfológica empleado, sus descripciones y los resultados obtenidos en cada uno de ellos:

## 4.1 Geomorfoestructura

Se refiere a grandes áreas geográficas o amplios espacios continentales o intracontinentales caracterizados y definidos por estructuras geológicas y topográficas regionales que han tenido deformación o basculamiento y posiblemente metamorfismo o intrusión ígnea. El nombre propuesto para las Geomorfoestructuras es compuesto y consiste del término Sistema asociado a un término Morfológico de macrorrelieve combinado con un nombre geográfico regional reconocido (Carvajal, 2008).

Por tal razón, el municipio de Manzanares se encuentra en la geomorfoestructura denominada **Sistema Orogénico Andino**, teniendo en cuenta la manera como debe clasificarse y la ubicación geográfica del lugar.

## 4.2 Provincia Geomorfológica

Se diferencian y delimitan las formas del relieve tomando como base sus características geológicas, morfológicas y geográficas. Se definen en términos tales como; Cinturones Montañosos, Llanuras, Peneplanicies, Cordilleras, Serranías y están establecidas para escalas entre 1:1.000.000 – 1.500.000. El nombre propuesto para la Provincia Geomorfológica es compuesto y consiste de un término morfológico de macro relieve, combinado con un nombre geográfico definido por el nombre del terreno geológico o región natural respectiva (Carvajal, 2008).

El área de estudio se encuentra en la Provincia Geomorfológica de la cadena montañosa de los Andes, específicamente en la **Cordillera Central.**

## 4.3 Región Geomorfológica

El nombre propuesto para las regiones geomorfológicas está definido por un término morfológico de meso relieve, asociado con el nombre del ambiente morfogenético correspondiente.

Teniendo en cuenta que la provincia geomorfológica del área de estudio es la Cordillera Central, se toma el nombre morfológico de **Sierra**, ya que es la subdivisión correspondiente a Cordillera.

Ya que el ambiente morfogenético hace alusión a las condiciones físicas, químicas, bióticas y climáticas bajo las cuales se generaron las geoformas. Se determina con base en la interpretación de los procesos geomorfológicos registrados (origen tanto endógeno como exógeno), que dieron lugar a la formación, evolución y modificación de las mismas.

Los ambientes morfogenéticos se agrupan de manera general en: ambiente morfoestructural (S), ambiente volcánico (V), ambiente denudacional (D), ambiente fluvial y lagunar (F), ambiente marino y costero (M), ambiente glacial y periglaciar (G), ambiente eólico (E), ambiente kárstico (K), ambiente antropogénico (A) (Carvajal, 2008).

Con las observaciones hechas en la fase de campo, las fotografías tomadas, las características topográficas encontradas en la información bibliográfica y el uso de la plataforma Google Earth, es posible interpretar el ambiente correspondiente para el área de trabajo. Endógenamente, el municipio y la región en general están asentadas en geoformas producto de la subducción de una placa oceánica (Nazca) por debajo de una placa continental (Suramericana) que originan cadenas orogénicas representadas por las cordilleras. Debido al intenso tectonismo de la zona se han generado estructuras como fallas y plegamientos que controlan la morfología de la región,

En ese orden de ideas el ambiente geomorfológico principal es el correspondiente a morfoestructural (S), el cual es definido por el Servicio Geológico Colombiano (SGC) (2008) como “geoformas generadas por la dinámica interna de la Tierra, especialmente asociadas a fallamientos y plegamientos”.

Dado que la morfología de mesorrelieve correspondiente es la de sierra y el ambiente geomorfológico principal es el morfoestructural, se considera que la región geomorfológica es **Sierra Estructural.**

## 4.4 Unidad Geomorfológica

Es la unidad básica de la cartografía geomorfológica. El término unidad geomorfológica se define como una geoforma individual genéticamente homogénea, generada por un proceso geomórfico de acumulación o erosión, típico de un ambiente morfogenético dado. Está determinada con criterios genéticos, morfológicos y geométricos en función de la escala de trabajo propuesta de 1: 50.000 a 1:100.000 (Carvajal, 2008).

A partir de la fotointerpretación se observó la asimetría de las geoformas, por lo que se considera la morfología de cuesta la cual es definida como “sierra asimétrica elongada y amplia de morfología colinada o alomada” (SGC, 2012). De esta manera la unidad geomorfológica estructural es la **Cuesta Estructural.**

## 4.5 Subunidad geomorfológica

Es una subdivisión de las unidades geomorfológicas; está determinada fundamentalmente por los contrastes morfológicos y morfométricos, que relacionan el tipo de material o la disposición estructural de los mismos, con la correspondiente topografía del terreno. Igualmente está definida por el contraste dado por las formaciones superficiales asociadas a procesos morfodinámicos actuales de meteorización, erosión, transporte y acumulación bien definidos o determinados (Carvajal, 2008).

Las cuestas se componen de laderas, por lo tanto, se considera como subunidades geomorfológicas estructurales a las laderas que por pertenecer a un ambiente estructural reciben el nombre de **ladera estructural.**

Estas laderas son de baja pendiente por lo que se consideran planas a suavemente inclinadas: menores a 5 grados de inclinación.

# 5. Prospección geotécnica

El método utilizado para la extracción de muestras se basó en la toma de California Bearing Ratio (CBR), el cual permite conocer la calidad del terreno para subrasante, sub base y base de pavimentos, se toman las muestras en los puntos exactos o en puntos que permitieran una correlación entre ellos. De cada una de los puntos se extrajeron muestras con los moldes estipulados por la norma. Se rige por la norma ASTM 1883, por la norma UNE 103502 y por la norma INV-E 147.

La función del método CBR es de evaluar la capacidad portante de terrenos compactados como terraplenes, capas de firme, explanadas, así como en la clasificación de terrenos. Consiste en compactar un terreno en unos moldes normalizados, sumergirlos en agua y aplicar un punzonamiento sobre la superficie del terreno mediante un pistón normalizado.

Cabe recalcar que el CBR no es una propiedad intrínseca del suelo, si no que depende de las condiciones de humedad y densidad del suelo, por esto el método debe ser efectuado bajo condiciones controladas de las propiedades mencionadas.

Una de sus principales aplicaciones es a partir de la relación con el módulo de resiliencia, este módulo describe de manera más clara el comportamiento del suelo bajo cargas dinámicas de ruedas, que al moverse imparten un pulso dinámico a todas las capas del pavimento y a la subrasante.

## 5.1 Descripción de los CBR

La muestra fue extraída en las coordenadas 5°15'36.36"N, 75° 8'46.53"W. Se localiza en litología de la formación: ROCAS CON METAMORFISMO REGIONAL POSTERIORMENTE AFECTADAS POR METAMORFISMO DINÁMICO Y METAMORFISMO TÉRMICO, específicamente sobre el miembro: Cuarcita y cuarcita biotítica - feldespática, con transiciones locales a esquisto neis cuazo -feldespático. En el barrio Milenio. Sus propiedades índices reflejan que se trata de un suelo SC (arena arcillosa) y según AASHTO se clasifica como A-2-7, con límite líquido 65%, límite plástico 43%, índice plasticidad 22%. Los resultados del ensayo se presentan a continuación:

Tabla 1. Resumen de los resultados del ensayo CBR para el tramo en el barrio Milenio

| CBR ANTES DE INMERSIÓN | |
|---|---|
| Humedad Natural (%) | 61,4 |
| C.B.R. a 0.1" | 3,1 |
| C.B.R. a 0.2" | 2,9 |
| **CBR DESPUÉS DE INMERSIÓN** | |
| Hum. Penetración (%) | 79,9 |
| C.B.R. a 0.1" | 2,5 |
| C.B.R. a 0.2" | 2,5 |
| Densidad Muestra Húmeda ($g/cm^3$) | 1,433 |
| Densidad Muestra Seca ($g/cm^3$) | 0,888 |
| Expansión total (%) | 0,00% |

Fuente: Estudios de laboratorio.

Fotografías de la toma de la muestra CBR, barrio Milenio.



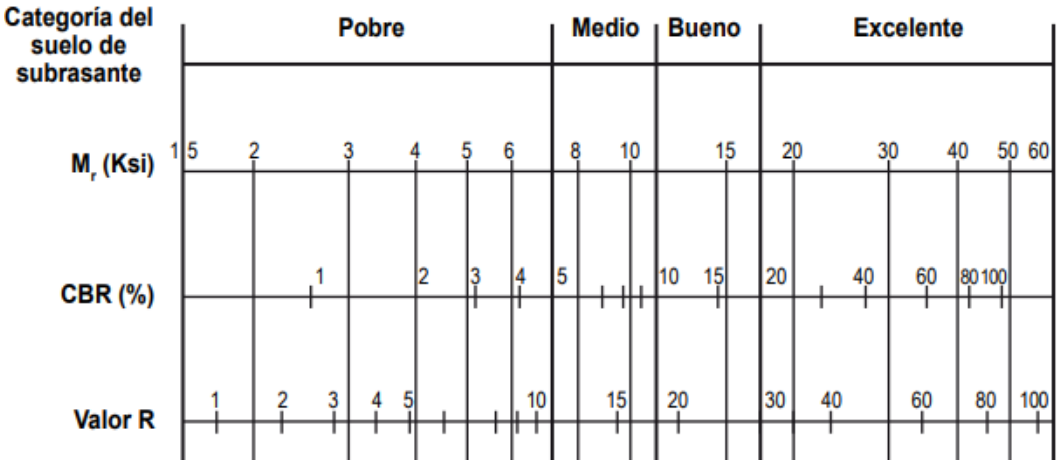


## 6. Análisis de la capacidad de carga de las subrasantes para tramos vías urbanas

Con base en los resultados de los ensayos de CBR y de clasificación del suelo, se puede determinar sí un suelo es lo suficientemente competente para soportar la estructura de pavimento. Para la determinación de los espesores que componen la vía primero se debe verificar que la subrasante cumpla con condiciones mínimas de calidad, aclarando que desde la evaluación de la subrasante se puede estimar si hay unidades homogéneas de diseño con índice CBR representativo igual o superior a tres por ciento (3%) y que no haya presencia de suelos expansivos, en cuyo caso significa que los criterios de la guía de diseño de pavimentos con vías urbanas (INVÍAS, 2015) son aplicables sin ningún inconveniente.

Se considera que los suelos con CBR menor a 3% no son aprovechables, y su calidad varía según la siguiente gráfica:

Figura 6. Competencia de la subrasante según CBR (INVIAS, 2015)




Ahora bien, se considera suelo expansivo sí:

Tabla 2. Correlación límites de consistencia vs potencial de expansión

| LL (%) | IP (%) | Clasificación del hinchamiento potencial |
|---|---|---|
| > 60 | > 35 | Alto |
| 50 - 60 | 25 - 35 | Marginal |
| 50 < | < 25 | Bajo |

Con base en lo anterior se presenta la siguiente tabla que recoge los resultados de los ensayos de interés:

Tabla 3. Potencial de expansión y aptitud de los suelos de subrasante para los diferentes tramos de vía.

| Tramo | LL (%) | IP (%) | Potencial de expansión | Índice CBR | Aptitud según CBR |
|---|---|---|---|---|---|
| Milenio (1) | 65 | 22 | Alto | 2,5 | Pobre |

Con base en lo anterior se observa que:

• Se tiene potencial de expansión alto.

• La subrasante no es apta para el mejoramiento del tramo de vía urbana.

## 6.1. Módulo de resiliencia

El módulo de resiliencia puede ser aproximado de los valores de los ensayos CBR según la relación:

MR (MPa) = 10.3 CBR o

MR (psi) = 1500 CBR.

También se puede usar la ecuación propuesta por AASHTO (2002)

$MR\ (psi) = 2555\ CBR^{0,64}$

Tabla 4. Módulo de resiliencia de la subrasante para los diferentes tramos de vía urbana

| Tramo | MR método 1 (psi) | MR método 1 (MPa) | MR método 2 (psi) | MR promedio (psi) |
|---|---|---|---|---|
| Milenio (1) | 3750 | 25,75 | 4592,75 | 4171,38 |

# 7. Comentarios finales y recomendaciones

Se realizaron una serie de análisis geotécnicos para establecer la competencia de suelos que servirán de subrasante en un tramo de vía que se mejorará, este está localizado en el barrio Milenio del municipio de Manzanares, Caldas.

Con base en los resultados de los ensayos de CBR y de clasificación del suelo, se puede determinar sí un suelo es lo suficientemente competente para soportar la estructura de pavimento. Para la determinación de los espesores que componen el tramo de vía urbana primero se debe verificar que la subrasante cumpla con condiciones mínimas de calidad, aclarando que desde la evaluación de la subrasante se puede estimar si hay unidades homogéneas de diseño con índice CBR representativo igual o superior a tres por ciento (3%) y si no hay presencia de suelos expansivos, en cuyo caso significa que los criterios de la guía de diseño de pavimentos con vías (INVÍAS, 2015) son aplicables sin ningún inconveniente.

Se considera que los suelos con CBR menor a 3% no son aprovechables del mismo modo que los suelos expansivos tampoco deben aprovecharse.
Con base en lo anterior, se hicieron las pruebas correspondientes y se observa que:

- Se tiene potencial de expansión alto.
- La subrasante no es apta para el mejoramiento del tramo de vía urbana.

Suelos con valores de CBR menores a 3% son suelos de comportamiento complejo que no deben aprovecharse por sus dificultades geomecánicas, lo mismo aplica sí el suelo tiene problemas de expansión.

Para el tramo del barrio Milenio se deberá excavar, retirando el armado existente, al menos 0,3 m y reemplazar este espesor con un material seleccionado que cumpla las exigencias establecidas en el Artículo “Terraplenes” de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras vigentes en el Instituto Nacional de Vías. Adicionalmente se recomienda que la vía cuente con un sistema de drenaje adecuado, que incluya filtros para evitar saturación de agua que pueda conllevar a expansión.

Para la construcción se debe verificar que los planos estén firmados por el equipo diseñador, además de las aprobaciones de interventoría y la entidad contratante. Para la ejecución de las obras se recomienda tener supervisión técnica continúa cumpliendo los requisitos de calidad y experiencia exigidos por el NSR-10, e igualmente se deben tener en cuenta estrictamente los siguientes capítulos del NSR-10: C.3-materiales, C.4-requisitos de durabilidad, C.5-calidad del concreto, mezclado y colocación, C.6-cimbras y encofrados

embebidos y juntas de construcción, C.7-detalles delg refuerzo, C.23-tanques y estructuras de ingeniería ambiental de concreto.

Se deberán cumplir con todos los requisitos referenciados en el presente documento. Si existen controversias se deberá dar aviso a esta consultoría para dar las aclaraciones necesarias, las cuales deberán quedar plasmadas y firmadas en el libro de obra o mediante memorandos técnicos.

Se recomienda que una vez se inicien los trabajos de construcción de las obras propuestas, un ingeniero civil especializado revise y verifique que las hipótesis que permitieron realizar este estudio se mantienen o sí, por el contrario, es necesario hacer alguna recomendación adicional.

Todas las obras deberán contemplar todos los requisitos de seguridad y salud en el trabajo, además de cumplir a cabalidad la normativa ambiental.

Las investigaciones y conclusiones consignadas en este informe se ciñen estrictamente a las características morfológicas del sitio en el momento del estudio, cualquier variación de las mismas o procesos denudativos nuevos o reactivados se deberán informar, para así poder dar las recomendaciones necesarias.

Los consultores, conforme a lo establecido por la Ley 400 de 1997, (Título III, Capítulo I, Artículo 5: Responsabilidad de los Diseños; y Título IV - Capítulo II: Profesionales Diseñadores), asumen la responsabilidad del presente estudio, conforme a lo establecido por la NSR – 10. El grupo consultor no se hace responsable por cualquier tipo de daño y/o sanción derivados de modificaciones efectuadas al proyecto sin la respectiva consulta, o bien por no tener en cuenta las recomendaciones hechas en la presente consultoría.

**MSc. |SANTIAGO CANO BEDOYA**
Ingeniero Civil MP 17202-430783 CLD
Geólogo MP 4816
Especialista en Geotecnia

# ANEXO. RESULTADOS DE LABORATORIO

*TRADING LAB S.A.S.*

*Laboratorio de Ingeniería Civil*

*Suelos, Pavimentos, Materiales*

Inf. # 140

# CLASIFICACION DE SUELOS

NORMA. A.S.T.M. D 4318  INV-E 125 Y 126

Fecha del ensayo: 15 de abril de 2024

Interesado: Zenit Ingeniería y Consultoría SAS

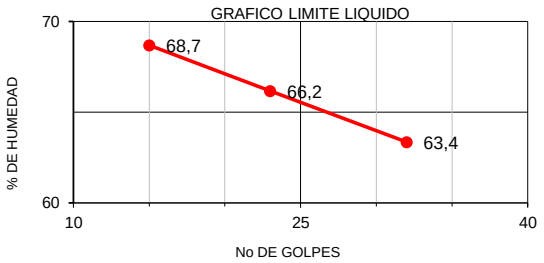
Proyecto/Obra Vía

Localización: Manzanares - Milenio

Color(es) de la muestra: Café

CBR #: 1

| Peso suelo seco (g) | | | | 87,58 | |
|---|---|---|---|---|---|
| TAMIZ | | PESO RETENIDO | % RETENIDO | % RETENIDO ACUM. | % QUE PASA |
| Pulg | mm | | | | |
| 3" | 76,20 | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 100,0 |
| 2-1/2" | 63,50 | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 100,0 |
| 2" | 50,80 | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 100,0 |
| 1-1/2" | 38,10 | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 100,0 |
| 1 | 25,40 | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 100,0 |
| 3/4" | 19,05 | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 100,0 |
| 1/2" | 12,70 | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 100,0 |
| 3/8" | 9,52 | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 100,0 |
| N°4 | 4,76 | 0,50 | 0,6 | 0,6 | 99,4 |
| N°10 | 2,00 | 2,10 | 2,4 | 3,0 | 97,0 |
| N°20 | 0,850 | 0,00 | 0,0 | 3,0 | 97,0 |
| N°40 | 0,425 | 21,46 | 24,5 | 27,5 | 72,5 |
| N°80 | 0,180 | 0,00 | 0,0 | 27,5 | 72,5 |
| N°200 | 0,075 | 39,45 | 45,0 | 72,5 | **27,5** |
| FONDO | | 24,07 | 27,5 | 100,0 | 0,0 |




LIMITE LIQUIDO

| ENSAYO N° | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| Recipiente N° | 6 | 7 | 8 |
| N° de golpes | 15 | 23 | 32 |
| Peso tara + suelo húm. | 19,32 | 20,19 | 18,36 |
| Peso tara + suelo seco | 13,33 | 13,97 | 13,00 |
| Tara cecipiente | 4,61 | 4,57 | 4,54 |
| % de humedad | 68,69 | 66,17 | 63,36 |

LIMITE PLASTICO

| ENSAYO N° | 1 | 2 |
|---|---|---|
| Recipiente N° | 9 | 10 |
| Peso tara + suelo húm. | 16,64 | 16,48 |
| Peso tara + suelo seco | 13,00 | 12,87 |
| Tara cecipiente | 4,41 | 4,42 |
| % de humedad | 42,37 | 42,72 |

| RESUMEN ENSAYOS | |
|---|---|
| **LIMITE LIQUIDO** | **65** |
| **LIMITE PLASTICO** | **43** |
| **INDICE DE PLASTICIDAD** | **22** |
| **LAVADO SOBRE T-200 (%)** | **28** |
| **CLASIFICACIÓN S.U.C.S.** | **SC** |
| **HUMEDAD NATURAL (%)** | **61** |
| **AASHTO** | **A-2-7** |
| **INDICE DE GRUPO** | **2** |

| LAVADO SOBRE EL T-200 | |
|---|---|
| Peso seco inicial (g) | 87,58 |
| peso seco final (g) | 63,51 |
| Pasante T-200 (%) | 27,50 |
| HUMEDAD NATURAL | |
| Peso húmedo (g) | 141,36 |
| Peso seco (g) | 87,58 |
| % de humedad | 61,4 |

Calculó: Ing. Héctor Javier Villegas Llano

Ensayó: José David Chipatecua

NOTAS: Los resultados que se reportan en este informe quedan a criterio e interpretación de un profesional idóneo en el área correspondiente.
La toma de la muestra y la custodia de ella hasta el ingreso al laboratorio es responsabilidad del interesado, el ensayo se realizó con los equipos adecuados

Calle 43 # 24 -21 Cristo Rey - Manizales, Caldas
Tel: 3128666728
email: trading.sas@hotmail.com

*TRADING LAB S.A.S.*
*Laboratorio de Ingeniería Civil*
*Suelos, Pavimentos, Materiales*

Inf. # 140

# RELACIÓN DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO (CBR INALTERADO)

Fecha del ensayo: 15 de abril de 2024
Interesado: Zenit Ingeniería y Consultoría SAS
Proyecto/Obra Vía
Localización: Manzanares - Milenio
Color(es) de la muestra: Café
CBR # : 1

| DATOS DEL MOLDE | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Molde No. = | 33 | Peso Molde+Base (g) = | 6.375 | Area Molde ($cm^2$) = | 193,59 |
| ϕ Molde (cm) = | 15,7 | h Molde (cm) = | 15,1 | Vol. Molde ($cm^3$) = | 2.923 |

| DATOS DE LA PENETRACIÓN ANTES DE LA INMERSIÓN | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Peso Molde+Base+Muestra(g) = | 10.565 | Peso Mtra. Húm (g) = | 141,36 | Hum Nat (%) |
| h Muestra (cm) = | 15,1 | Peso Mtra. Seca (g) = | 87,58 | 61,4 |

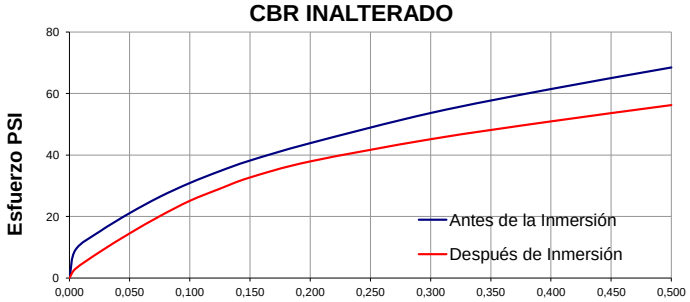
| DATOS DE LA PENETRACIÓN DESPUÉS DE LA INMERSIÓN | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Peso Molde+Base+Muestra(g) = | | | | Peso Mtra. Húm (g) = | 158,94 | Hum. Penetrac. (%) | |
| h Muestra (cm) = | 15,1 | | | Peso Mtra. Seca (g) = | 88,35 | | |
| **Lectura Expansión en 0,001"** | Dia 1 | Dia 2 | Dia 3 | Dia 4 | **Expansión Total (%)** 0,00% | 79,9 | |

| **Penetración** | **ANTES DE INMERSIÓN** | | **DESPUES DE INMERSIÓN** | |
|---|---|---|---|---|
| | Carga | Esfuerzo | Carga | Esfuerzo |
| Pulg | kN | PSI | kN | PSI |
| 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 0,005 | 0,128 | 9,16 | 0,042 | 3,01 |
| 0,025 | 0,211 | 15,10 | 0,118 | 8,44 |
| 0,050 | 0,295 | 21,11 | 0,203 | 14,53 |
| 0,075 | 0,369 | 26,40 | 0,281 | 20,11 |
| **0,100** | **0,432** | **30,91** | 0,351 | **25,12** |
| 0,125 | 0,486 | 34,78 | 0,406 | 29,05 |
| 0,150 | 0,534 | 38,21 | 0,457 | 32,70 |
| **0,200** | **0,613** | **43,86** | 0,530 | **37,92** |
| 0,300 | 0,750 | 53,67 | 0,631 | 45,15 |
| 0,400 | 0,859 | 61,47 | 0,712 | 50,95 |
| 0,500 | 0,957 | 68,48 | 0,786 | 56,24 |

## RESUMEN DEL ENSAYO

| **CBR ANTES DE INMERSIÓN** | |
|---|---|
| **Humedad Natural (%)** | **61,4** |
| **C.B.R. a 0.1"** | **3,1** |
| **C.B.R. a 0.2"** | **2,9** |
| **CBR DESPUÉS DE INMERSIÓN** | |
| **Hum. Penetración (%)** | **79,9** |
| **C.B.R. a 0.1"** | **2,5** |
| **C.B.R. a 0.2"** | **2,5** |
| **Densidad Muestra Húmeda ($g/cm^3$)** | **1,433** |
| **Densidad Muestra Seca ($g/cm^3$)** | **0,888** |
| Expansión total (%) | 0,00% |

**CBR INALTERADO**




**Penetración pulg.**

Calculó: Ing. Héctor Javier Villegas Ll.

José David Chipatecua
Ensayó: José David Chipatecua

NOTAS: Los resultados que se reportan en este informe quedan a criterio e interpretación de un profesional idóneo en el área correspondiente
La toma de la muestra y la custodia de ella hasta el ingreso al laboratorio es responsabilidad del interesado
La penetración de la muestra se realizó con el equipo adecuado y cuentan con certificado de calibración vigente.

Santiago Cano B
MSc. SANTIAGO CANO BEDOYA
Ingeniero Civil MP 17202-430783 CLD
Geólogo MP 4816
Especialista en Geotecnia

Calle 43 # 24 -21 Sector Cristo Rey
Manizales, Caldas
Cel: 312 8666728 Correo: trading.sas@hotmail.com