

Zonificación Geotécnica Preliminar con base en la correlación de los resultados de ensayos CBR,
del área Urbana del Municipio de San José de Cúcuta, Norte de Santander.



SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA



Autor

Camilo Andrés Rincón Sánchez

Programa de Geología

Facultad de Ciencias Básicas, Universidad de Pamplona

Director Académico

Ilich Sebastián Villamizar Solano

Director Empresarial

José Edgar Caicedo Fonseca

San José de Cúcuta, 2022

Zonificación Geotécnica Preliminar con base en la correlación de los resultados de ensayos CBR,
del área Urbana del Municipio de San José de Cúcuta, Norte de Santander.

Trabajo de grado, modalidad Práctica Empresarial
presentado como requisito para optar al título de
Geólogo

Programa de Geología
Facultad de Ciencias Básicas, Universidad de Pamplona

Director Académico
Ilich Sebastián Villamizar Solano
Geólogo
Director Empresarial
José Edgar Caicedo Fonseca

San José de Cúcuta, 2022

Contenido

	pág.
1. Resumen	8
2. Introducción	9
3. Objetivos	10
3.1 Objetivo General	10
3.2 Objetivos Específicos	10
4. Marco de Referencia	11
4.1 Localización del área de estudio	11
5. Marco Geológico	12
5.1 Geología Regional	12
5.1.1 Unidades del Paleógeno	12
5.1.1.1 Formación Carbonera (E2N3c)	12
5.1.1.2 Formación León (E1N1l)	13
5.1.2 Unidades del Neógeno	13
5.1.2.1 Grupo Guayabo (N1N2g)	13
5.1.3 Depósitos cuaternarios	13
5.1.3.1 Deposito Aluvial (Q2al)	13
5.1.3.2 Depósitos de Terrazas (Q2t)	14
5.1.3.3 Depósitos de Terrazas Fluviales Locales (Q2tl)	14
5.1.3.4 Depósitos de Llanura Aluvial Antigua (Q1ala)	14
5.2 Geología Estructural Local	14
5.2.1 Falla de Tasajero	14
5.2.2 Anticlinal Tasajero	15
5.2.3 Sinclinal de San José de Cúcuta	15
5.3 Geomorfología Urbana de San José de Cúcuta	15
5.3.1 Unidades de origen estructural	15
5.3.2 Unidades de origen estructural – denudacional	16
5.3.3 Unidades de origen fluvial-coluvial	16
6. Marco Teórico	17
6.1 Sistemas de Clasificación de Suelos	17
6.1.1 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)	17
6.2 California Bearing Ratio – CBR	17
6.3 Tipos de Ensayo CBR	17
6.3.1 CBR In Situ	18
6.3.2 CBR de laboratorio	18
6.3.3 CBR a Partir de Correlaciones de Propiedades de los Suelos	18
6.4 Límites de Atterberg	19
7. Metodología	20
7.1 Etapa 1: Recopilación de Información	21

Zonificación Geotécnica Preliminar con base en la correlación de los resultados de ensayos CBR, del área Urbana del Municipio de San José de Cúcuta, Norte de Santander.

7.2 Etapa 2: Recopilación de Datos	21
7.3 Etapa 3: Interpretación de Información	21
7.3.1 Interpretación de la información en campo	23
7.4 Etapa 4: Elaboración del Mapa de Zonificación Geotécnica Preliminar	24
7.4.1 Obtención de atributos cuantitativos	24
7.5 Etapa 5: Elaboración del Informe Final	24
8. Análisis y Resultados	25
8.1 Análisis de Datos de los Ensayos Geotécnicos	25
8.2 Análisis del Índice de Plasticidad	25
8.3 Análisis Ensayo CBR	25
8.3.1 Comuna 1	29
8.3.2 Comuna 2	30
8.3.3 Comuna 3	32
8.3.4 Comuna 4	34
8.3.5 Comuna 5	35
8.3.6 Comuna 6	37
8.3.7 Comuna 7	38
8.3.8 Comuna 8	40
8.3.9 Comuna 9	41
8.3.10 Comuna 10	43
9. Conclusiones	45
10. Recomendaciones	47
11. Referencias Bibliográficas	48

Lista de Figuras

	pág.
Figura 1. Localización del área de estudio	11
Figura 2. Variación del volumen respecto al contenido de humedad	19
Figura 3. Diagrama de la metodología aplicada	20
Figura 4. Fotografía de material litológico presente en la autopista internacional que comunica San José la del Rosario a 800 m del Peaje La Parada, comuna 3	23
Figura 5. Fotografía de la composición litológica presente en la Vía que comunica San José de Cúcuta- Zulia, comuna 7	23
Figura 6. Mapa zonificación geotécnica del área urbana del municipio de San José de Cúcuta a partir de valores de CBR	27
Figura 7. Mapa zonificación geotécnica del área urbana del municipio de San José de Cúcuta a partir de valores de índice de plasticidad	28
Figura 8. Arcillas de consistencia firme, humedad media, plasticidad media	29
Figura 9. Mapa Zonificación Geotécnica Preliminar con base en resultados de CBR de la comuna 1 de San José de Cúcuta	30
Figura 10. Arcillas algo arenosas de plasticidad media a alta consistencia media a firme y humedad baja	31
Figura 11. Mapa Zonificación Geotécnica Preliminar con base en resultados de CBR de la comuna 2 de San José de Cúcuta	32
Figura 12. Arena arcillosa, humedad baja-media, consistencia media- firme	33
Figura 13. Mapa Zonificación Geotécnica Preliminar con base en resultados de CBR de la comuna 3 de San José de Cúcuta	33
Figura 14. Guijarros y cantos rodados embebidos en una matriz de arcillas arenosas, plasticidad media	34
Figura 15. Mapa Zonificación Geotécnica Preliminar con base en resultados de CBR de la comuna 4 de San José de Cúcuta	35
Figura 16. Arcilla arenosa, humedad baja, consistencia – firme	36
Figura 17. Mapa Zonificación Geotécnica Preliminar con base en resultados de CBR de la comuna 5 de San José de Cúcuta	36
Figura 18. Arcilla con trazas de arenas, plasticidad media	37

Zonificación Geotécnica Preliminar con base en la correlación de los resultados de ensayos CBR, del área Urbana del Municipio de San José de Cúcuta, Norte de Santander.

Figura 19. Mapa Zonificación Geotécnica Preliminar con base en resultados de CBR de la comuna 6 de San José de Cúcuta	38
Figura 20. Arcilla con trazas de arena. Plasticidad alta. Consistencia semisólida. Densidad suelta	39
Figura 21. Mapa Zonificación Geotécnica Preliminar con base en resultados de CBR de la comuna 7 de San José de Cúcuta	39
Figura 22. Arcillolita consistencia muy firme, humedad baja	40
Figura 23. Mapa Zonificación Geotécnica Preliminar con base en resultados de CBR de la comuna 8 de San José de Cúcuta	41
Figura 24. Arcilla con trazas de arena. Humedad baja. Plasticidad media	42
Figura 25. Mapa Zonificación Geotécnica Preliminar con base en resultados de CBR de la comuna 9 de San José de Cúcuta	42
Figura 26. Arcilla con contenido arenoso. Consistencia media a firme	43
Figura 27. Mapa Zonificación Geotécnica Preliminar con base en resultados de CBR de la comuna 10 de san José de Cúcuta	44

Zonificación Geotécnica Preliminar con base en la correlación de los resultados de ensayos CBR, del área Urbana del Municipio de San José de Cúcuta, Norte de Santander.

Lista de Tablas

	pág.
Tabla 1. Clasificación y uso de suelos según valor de CBR	18
Tabla 2. Correlación entre el potencial expansivo del suelo y alguno de sus características	22
Tabla 3. Ejemplar del formato para la recopilación y correlación de datos	26

1. Resumen

El presente proyecto de práctica empresarial ha sido elaborado con información proporcionada por la Secretaría de Infraestructura de la alcaldía municipal de San José de Cúcuta, las Curadurías Urbana N.º 1 y N.º 2, como también archivo municipal y firmas consultoras privadas, en lo concerniente a los estudios de suelos.

En la actualidad la alcaldía de San José de Cúcuta no cuenta con una zonificación geotécnica preliminar con base en resultados de CBR, lo cual afecta la asignación de presupuestos reales para la construcción de la malla vial.

El objetivo principal es la creación de un mapa de zonificación geotécnica preliminar con base en resultados de CBR, límites de consistencia, índice de plasticidad y granulometría de las 10 comunas que corresponden al área urbana del municipio de San José de Cúcuta; tomados de la información de las entidades públicas y privadas participantes; esto permitirá a la alcaldía de San José de Cúcuta, fijar parámetros de diseños para asignar presupuestos certeros en la elaboración de los proyectos de infraestructura vial, con el fin de optimizar los recursos económicos, garantizando una óptima planeación en la construcción, mantenimiento y rehabilitación de las vías.

Por ello, se llevó a cabo la consulta de los estudios de suelos y se recopiló información de interés, la cual se analizó mediante el uso del modelo digital de elevación (DEM) e imágenes satelitales y la evaluación de la calidad del suelo con base en su resistencia; además de esto, mediante el análisis entre las propiedades de los suelos: granulometría y límites de consistencia, se realizó la correlación de datos que posteriormente fueron delimitados.

Con base en lo anterior se realizó el mapa de zonificación geotécnica preliminar a escala 1:5000 del área urbana de San José de Cúcuta, obteniendo como resultado tres clasificaciones de CBR, dando a conocer que el 91,40% de los suelos son de tipo regular, el 4,20% tipo pobre regular y el 4,40% tipo suelos buenos; se logró concluir que la mayor parte de las zonas del área urbana de San José de Cúcuta son de tipo regular.

Palabras clave: CBR (California Bearing Ratio), ensayos, índice de plasticidad, límite de Atterberg.

2. Introducción

El presente estudio elabora un mapa de zonificación geotécnica preliminar con base en la correlación de los resultados de ensayos CBR del área urbana del municipio de San José de Cúcuta; estos resultados de los ensayos CBR deben ser alimentados con futuras informaciones de estudios de suelos que se realicen en la ciudad de San José de Cúcuta, con el fin de establecer valores muchos más aproximados de los CBR. Adicionalmente se llevaron a cabo actividades durante el desarrollo del proyecto, para proporcionar material de estudio al municipio de San José de Cúcuta, con el fin que la entidad correspondiente desarrolle parámetros de diseños para la asignación de presupuestos certeros para los proyectos de infraestructura vial, y de esta manera optimizar los recursos públicos para garantizar un buen desarrollo de las vías.

Tradicionalmente la Secretaria de Infraestructura del municipio de San José de Cúcuta, desarrolla los planes de inversión de recursos, en el mejoramiento, construcción y rehabilitación de las vías en cada una de las comunas del área urbana; esto constituye uno de los rubros de mayor importancia. La falta de una zonificación geotécnica preliminar con base en resultados de CBR conlleva a que la asignación de los presupuestos en las diferentes comunas a intervenir sean bajos, esa falta de información provoca que las inversiones que se están realizando no son las adecuadas, generando detrimento de los recursos públicos.

Este trabajo muestra la información obtenida en las etapas de recopilación de datos para la caracterización de las variables del suelo, reflejado en el producto que corresponde al mapa de zonificación geotécnico preliminar, con estos indicadores la alcaldía de San José de Cúcuta contará con parámetros de información que le permitan desarrollar el diseño de estructura de pavimento, y de esta manera fijar presupuestos reales para la inversión de la intervención vial.

La importancia de este estudio radica en la necesidad inmediata de elaborar estudios técnicos que deriven en la obtención de información para que la Secretaria de Infraestructura pueda conocer de manera cualitativa y cuantitativa el estado actual del suelo en la malla vial, con el fin de realizar una correcta planeación y ejecución de obras que den solución a la problemática de los proyectos de infraestructura vial.

Zonificación Geotécnica Preliminar con base en la correlación de los resultados de ensayos CBR, del área Urbana del Municipio de San José de Cúcuta, Norte de Santander.

3. Objetivos

3.1 Objetivo General

Realizar la zonificación geotécnica preliminar con base en la correlación de los resultados de ensayos CBR, del área urbana del municipio de San José de Cúcuta.

3.2 Objetivos Específicos

- Recopilar y analizar información de los parámetros geotécnicos con relación a los estudios de suelos existentes en la Secretaria de Infraestructura y demás entidades públicas y privadas, en el municipio de San José de Cúcuta.
- Identificar las principales características geotécnicas del suelo (profundidad, tipo de suelo, tipo de ensayo y porcentaje de plasticidad) partiendo de la información secundaria para el análisis del CBR, que conforman el área urbana del municipio de San José de Cúcuta.
- Comparar datos obtenidos de los estudios de suelos (parámetros de límites de Atterberg y granulometría), para la determinación de los valores de CBR del área urbana del municipio de San José de Cúcuta.
- Elaborar el mapa de zonificación geotécnica preliminar a escala 1:5000 del área urbana del municipio de San José de Cúcuta, a partir de los valores obtenidos del CBR.

Zonificación Geotécnica Preliminar con base en la correlación de los resultados de ensayos CBR, del área Urbana del Municipio de San José de Cúcuta, Norte de Santander.

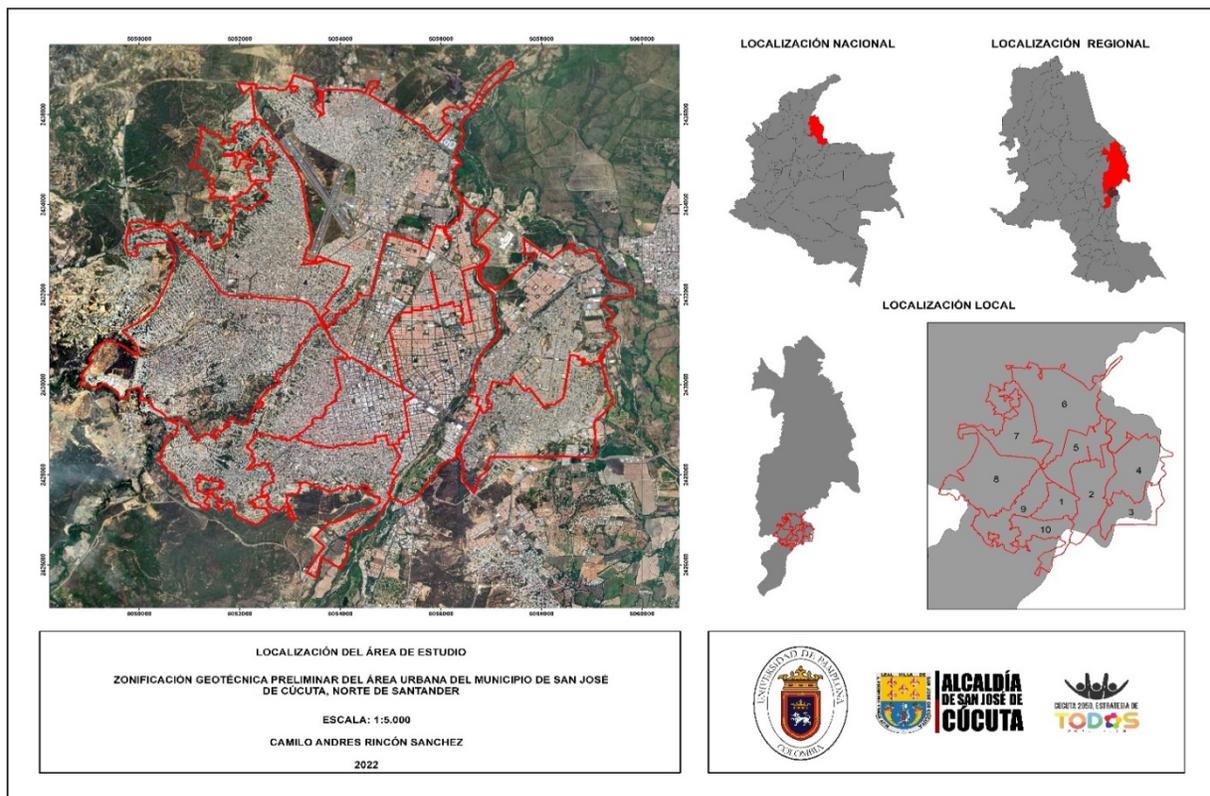
4. Marco de Referencia

4.1 Localización del área de estudio

San José de Cúcuta es un municipio ubicado en la subregión oriental del departamento Norte de Santander y región Andina del territorio colombiano. Limita al norte con el municipio de Tibú, al oriente con la República de Venezuela, al sur con los municipios de Villa del Rosario, Los Patios y Bochalema, y al occidente con Sardinata, El Zulia y San Cayetano. Cuenta con una extensión de 1.119 km² de los cuales 64 km² es urbano (dividida en 10 comunas) y 1055 km² es rural (dividida en 10 corregimientos). El municipio se caracteriza por presentar un relieve muy variado, comprendiendo alturas que varían desde los 290 msnm hasta los 1687 msnm, y su temperatura habitualmente varía de 17 °C a 38 °C. (Torres, 2009).

Figura 1

Localización del área de estudio



Fuente: Tomado y modificado de Google Earth a través del componente ArcMap del software ArcGIS.

Zonificación Geotécnica Preliminar con base en la correlación de los resultados de ensayos CBR, del área Urbana del Municipio de San José de Cúcuta, Norte de Santander.

La zona de estudio es en el área urbana del municipio de San José de Cúcuta (*Figura 1*), situado en la plancha geológica 88 de San José de Cúcuta del Servicio Geológico Colombiano a escala 1:100.000, en el que afloran, según la plancha, unidades de rocas sedimentarias con edades que van desde el cretácico hasta el Cuaternario, este último comprende de depósitos cuaternarios de tipo aluvial y de terraza.

5. Marco Geológico

A continuación, se describirá la geología presente en el área urbana del municipio de San José de Cúcuta, Norte de Santander.

5.1 Geología Regional

Geológicamente el departamento Norte de Santander se encuentra sobre el margen Este de la Cordillera Oriental de Colombia, correspondiendo al Macizo de Santander y la cuenca del Catatumbo, con formaciones de edades desde el Precámbrico hasta el Cuaternario.

El municipio de San José de Cúcuta se encuentra geológicamente sobre depósitos cuaternarios y unidades litoestratigráficas de edad terciaria, originadas en un complejo deltaico. Se trata de las formaciones, Carbonera, León y el grupo Guayabo, este último se divide en dos conjuntos litológicos: uno arcilloso y otro arenoso. El grupo Guayabo, de edad Mioceno Medio - Plioceno, se depositó contemporáneamente con el emplazamiento del Macizo Santander, posterior a este, la región fue sometida a esfuerzos que producen plegamientos y fallamientos orientándose principalmente en dirección Norte - Noreste (Torres, 2009).

5.2 Geología Local

La geología que predomina en la zona de estudio corresponde a unidades sedimentarias estratificadas y no estratificadas del Terciario al Cuaternario. Por lo cual, se describen las predominantes en la zona de interés, mencionando desde la más antigua hasta la más reciente.

5.1.1 Unidades del Paleógeno

Las unidades del paleógeno en el área urbana de San José de Cúcuta corresponden a la formación Carbonera y León.

5.1.1.1 Formación Carbonera (E2N3c)

Consta de una serie de arcillolitas intercaladas con areniscas y algunos mantos de carbón en la parte Inferior y en el tope de la formación (carbón fijo de 30.2 a 46.6% con un promedio de 39.7%). Las arcillas son de color gris, comúnmente abigarradas y cineríticas; en la parte inferior y

Zonificación Geotécnica Preliminar con base en la correlación de los resultados de ensayos CBR, del área Urbana del Municipio de San José de Cúcuta, Norte de Santander.

superior de la formación hay algunas arcillas Pizarrosas de color gris oscuro. Las areniscas son de color gris verdoso, de grano fino a grueso y algo arcillosas; en las partes inferior y superior estas areniscas son localmente glauconitas. (Notestein et al., 1944).

5.1.1.2 Formación León (E1N11)

Compuesta casi en su totalidad de arcillas pizarrosas de color gris a gris verdoso que presentan horizontes limolíticos hacia la parte baja y alta de la misma. El contacto inferior de la formación es normal y se marca donde ocurre el cambio de las arcillas pizarrosas de esta formación a los sedimentos más arenosos de la Formación Carbonera. (Hedberg, 1931).

5.1.2 Unidades del Neógeno

Las unidades del Neógeno en el área urbana de San José de Cúcuta corresponden al grupo Guayabo.

5.1.2.1 Grupo Guayabo (N1N2g)

Este consiste, en general en arenas friables de color Pardo a gris claro, limolitas arcillolitas, y arcillas arenosas grises con algunos horizontes de arcillas verdes y abigarradas. El grupo Guayabo reposa concordantemente sobre la Formación León y el límite entre ambas se coloca donde subyacen las arcillas pizarrosas de la formación León. (Van der Hammen, 1958).

5.1.3 Depósitos cuaternarios

Los Depósitos cuaternarios en el área urbana de San José de Cúcuta corresponden a depósito aluvial, depósito de terrazas, depósito de terrazas fluviales locales y depósito llanura aluvial antiguo.

5.1.3.1 Deposito Aluvial (Q2al)

Está conformada por depósitos de intercalaciones de niveles finos de areniscas lodosas y lodolitas arenosas de color marrón claro y gris, intercalada con depósitos de gravas, matriz soportadas, subredondeadas, esféricas, tamaños predominantemente de guijarros y en menor proporción guijos, con orientación anisotrópica y un grado de meteorización bajo. Esta corresponde a un suelo transportado heterométrico, compuesto de guijarros, guijos, cantos y esporádicamente bloques; puntualmente gravosoportado con matriz areno lodosa. También comprende de depósitos inconsolidados y está constituido superficialmente por materiales arcillosos y limo-arenosos de color pardo (Oviedo, Ríos & García, 2016a).

5.1.3.2 Depósitos de Terrazas (Q2t)

En sectores asociados al cauce del río Zulia las terrazas basculadas (Qtr1), texturalmente se conforman de gravas de guijarros finos a gruesos, con cantos subredondeados a redondeados, clasto soportado con matriz pobremente calibrada y polimodal. Composicionalmente conformada por rocas metamórficas (47 %), rocas ígneas (21 %) y rocas sedimentarias (32 %) (Oviedo et al., 2016a).

5.1.3.3 Depósitos de Terrazas Fluviales Locales (Q2tl)

Estas terrazas presentan diferente composición en el armazón del depósito a las terrazas regionales debido a que afecta el área fuente, principalmente por su área de captación en el caso de las terrazas locales; el área fuente de sedimento es restringido, como por ejemplo la quebrada Tonchalá concentra clastos sedimentarios de rocas del Paleógeno – Neógeno, que principalmente provienen de rocas aflorantes cercanas (Oviedo et al., 2016a).

5.1.3.4 Depósitos de Llanura Aluvial Antigua (Q1ala)

Diederix et al., (2009) señala que las formaciones terciarias plegadas durante el Plioceno fueron erodadas por la acción erosiva de los ríos Pamplonita, Zulia y Táchira; lo que resulto en la biselación de las estructuras resultantes de la deformación. Texturalmente los depósitos de llanura aluvial antigua se conforman de gravas de guijarros medios a gruesos con cantos subredondeados a redondeados; composicionalmente se caracterizan gabros, ortogneis, esquistos, cuarzo arenitas y arenas líticas, la fábrica del sedimento es clastosoportada bimodal de matriz bien calibrada (Oviedo et al., 2016a).

5.2 Geología Estructural Local

El municipio de San José de Cúcuta, por su localización sobre el margen Este de la Cordillera Oriental, donde se observan estructuras de plegamiento como lo son el Anticlinal de Tasajero y el Sinclinal de San José de Cúcuta, y fallamiento dentro de las que resaltan las fallas Tasajero, presentándose un estilo de deformación bajo un régimen tectónico transpresivo. (Oviedo et al., 2016a).

5.2.1 Falla de Tasajero

La Falla Tasajero es una falla de cabalgamiento con una extensión de 37.5 km con una dirección de buzamiento de 295° y un desplazamiento calculado de 2 km aproximadamente. Hacia superficie los ángulos de buzamiento se encuentran en un rango de 30° a 58 °, siendo estos últimos más verticales (Oviedo et al., 2016a).

5.2.2 Anticlinal Tasajero

El anticlinal de Tasajero se caracteriza por presentar 12 km (longitud del eje) aproximadamente limitada al SE por la falla Tasajero, se extiende hasta conformar la estructura anticlinal invertida del cerro Tasajero; sin embargo, la geometría de esta estructura, es compleja por el número de fallas que se evidencian. Se define como un pliegue cilíndrico, cerrado con una ligera vergencia hacia el Este (Oviedo et al., 2016a).

5.2.3 Sinclinal de San José de Cúcuta

Es un pliegue cilíndrico con un azimut de cabeceo de 53° al NE y un ángulo de inmersión de 27° aproximadamente, su plano axial se encuentra buzando hacia el SE (139° , Dip direction) con ángulo de buzamiento de 85° aproximadamente, y sugiere una vergencia según el análisis realizado por proyección estereográfica hacia el NW, aunque por el alto grado de buzamiento se puede indicar que se trata de un pliegue vertical con cabeceo (Oviedo et al., 2016a).

5.3 Geomorfología Urbana de San José de Cúcuta

La geomorfología es la ciencia de la tierra que estudia la relación entre las formas de la superficie terrestre, los materiales naturales, su disposición estructural y los procesos que las originaron (Carvajal 2004). A continuación, se evidenciará las unidades geomorfológicas más relevantes del municipio de San José de Cúcuta.

5.3.1 Unidades de origen estructural

Están desarrolladas sobre áreas de rocas sedimentarias más resistentes y competentes, como son las arenitas y las calizas, las cuales usualmente forman, escarpes de diferentes alturas y longitudes; generalmente se desarrollan extensos planos estructurales.

Hacia el norte de San José de Cúcuta se presenta la más destacada geoforma de origen estructural, asociada al anticlinal de Tasajero, cuyo flanco este fallado e invertido, pero se puede apreciar que esta geoforma controla el relieve de este sector y presenta un contrapendiente estructural al Este en el mismo lecho del río Pamplonita. La pendiente estructural desarrollada sobre el flanco occidental es muy extensa y prolongada, con un ángulo promedio de 30° . Sobre estas superficies se observan numerosos fenómenos de erosión y algunos movimientos en masa, sobre todo existen niveles arcillosos intercalados con arenitas, favoreciendo la existencia de dichos fenómenos (Moyano, 2017).

Zonificación Geotécnica Preliminar con base en la correlación de los resultados de ensayos CBR, del área Urbana del Municipio de San José de Cúcuta, Norte de Santander.

5.3.2 Unidades de origen estructural – denudacional

Esta unidad se desarrolla principalmente sobre el conjunto lutítico y arcillolítico conformado por secuencias de rocas blandas poco competentes, de diferentes edades, desde triásico hasta el terciario superior. Presentan algunas intercalaciones arenosas y calcáreas.

Los procesos de meteorización, erosión y acumulación de materiales se presentan desde el Corregimiento de El Pórtico al Sur, hasta las estribaciones al Norte del Cerro Tasajero y desde el municipio de El Zulia al Oeste, hasta los municipios de los Patios y Villa del Rosario al Este. (Moyano, 2017).

5.3.3 Unidades de origen fluvial-coluvial

Esta unidad cubre gran parte de la superficie del municipio de San José de Cúcuta; se presenta en el área urbana como geoformas aterrazadas La Libertad y Doña Nidia, levantadas por movimientos tectónicos y el valle sobre el cual está construida la mayor parte de la ciudad hasta la confluencia de los ríos Pamplonita y Táchira al Norte de ésta.

La cuenca del río Zulia y las subcuencas de los ríos Pamplonita y Táchira, presentan un desarrollo geomorfológico muy complejo, ligado a las etapas evolutivas de la Cordillera Oriental, sobre la cual se presenta una variedad de litologías y estructuras importantes, sobre las cuales han actuado diversos fenómenos tanto endógenos como exógenos (Moyano, 2017).

6. Marco Teórico

Un suelo es un conjunto de partículas de diferentes tamaños, forma y composición, formados mediante meteorización de la roca basal de la corteza terrestre. Las propiedades que caracterizan los suelos nos permiten determinar sus diferencias, identificar su estado y apariencia física, a su vez nos permiten evaluar su comportamiento, como la estabilidad, fricción interna, compactación y resistencia (Araya, 2020).

6.1 Sistemas de Clasificación de Suelos

Los sistemas de clasificación de suelos proporcionan un lenguaje común para expresar, en forma concisa, las características generales de los suelos, existiendo un método para la clasificación y esta se basa en la granulometría y plasticidad de los suelos:

6.1.1 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Fue desarrollado por Casagrande (1942), con el objeto de utilizarlo en la construcción de aeropuertos, y es el método estándar para la clasificación de suelos en la construcción.

Este sistema clasifica a los suelos en dos amplias categorías. De acuerdo con la distribución granulométrica, el suelo es granular si más del 50% es retenido por el tamiz N.º 200, o bien es fino, si el 50% o más del material, pasa por dicho tamiz (Araya, 2020). Este sistema de clasificación se basa en los siguientes criterios:

- a) Porcentaje (%) de grava y Porcentaje (%) de arena
- b) Porcentaje (%) de finos
- c) Límite Líquido (LL) e Índice de Plasticidad (IP)
- d) Coeficiente de curvatura (Cc) y Coeficiente de uniformidad (Cu).

6.2 California Bearing Ratio – CBR

El ensayo de relación de soporte California (CBR, por sus siglas en inglés: California Bearing Ratio), es establecido como uno de los parámetros de mayor valor en el diseño de pavimentos y se realiza para medir la capacidad portante de una masa de suelo o terrenos compactados; así mismo, permite evaluar la calidad relativa de las subrasantes del suelo y los materiales de la capa base; dado que el comportamiento de los suelos varía de acuerdo a su granulometría y sus características físicas.

6.3 Tipos de Ensayo CBR

Con base a la variedad de los suelos (grava, arenas, arcillas), las condiciones climáticas y las diferentes metodologías de construcción que pueden experimentar los mismos, según Dowson

Zonificación Geotécnica Preliminar con base en la correlación de los resultados de ensayos CBR, del área Urbana del Municipio de San José de Cúcuta, Norte de Santander.

(1998) el ensayo de CBR puede ser desarrollado de diversas formas, las cuales se mencionan a continuación:

6.3.1 CBR In Situ

Llevado a cabo en el lugar de la obra y aplicado en suelos finos que no se planean alterar durante la construcción, se realiza usando el procedimiento descrito en la Norma INV-E169-13 (INVIAS, 2012a).

6.3.2 CBR de laboratorio

Se lleva a cabo para suelos granulares y/o cohesivos compactados en laboratorio y sobre muestras inalteradas, estas muestras al momento de llevar a cabo el ensayo en laboratorio, dichas muestras sufrirán alteraciones significativas tras en el transcurso del mismo. Los CBR de laboratorio se realiza a partir de la utilización de la Norma de Ensayo INV-E-148-13 (INVIAS, 2012b).

6.3.3 CBR a Partir de Correlaciones de Propiedades de los Suelos

El desarrollo de correlaciones para la determinación del CBR utilizando los índices de plasticidad y granulometría del suelo es un tema presente en el Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos para Vías con Bajos Volúmenes de Tránsito (Alvarez, Londoño & Betancur, 2015), recomiendan utilizar la información de dichas exploraciones que se realizan en la zona de estudio a partir de sondeos y Apiques para realizar ensayos de índice de plasticidad y de granulometría generando una estimación del valor del CBR por medio de correlaciones.

Tabla 1

Clasificación y uso de suelos según valor de CBR

CBR	Clasificación General	Usos	Sistema de Clasificación	
			SUCS	AASHTO
0-3	Muy pobre	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A5, A6, A7
3-7	Pobre a regular	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A4, A5, A6, A7
7-20	Regular	Sub-base	OL, CL, ML, SC, SM, SP.	A2, A4, A6, A7
20-50	Bueno	Base, sub-base	GM, GC, W, SM, SP, GP	A1b, A2-5, A3, A2-6.
>50	Excelente	Base	GW, GM	A1-a, A2-4, A3

Fuente: Bowles, J. (1981).

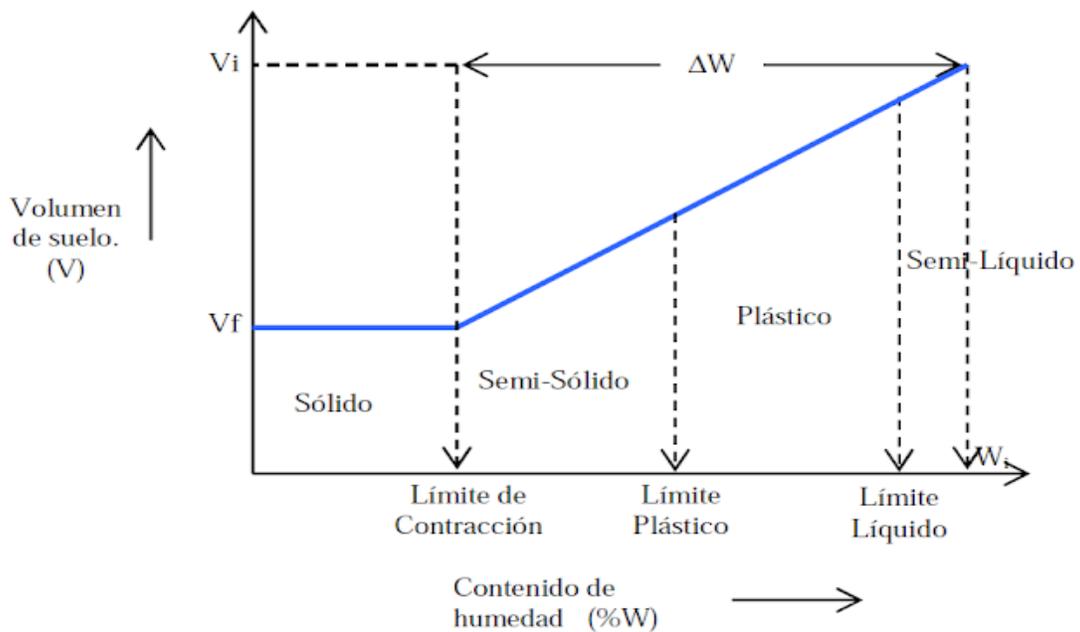
Por lo anterior, para desarrollar el proceso de clasificación de suelos necesitamos conocer los límites de Atterberg.

6.4 Límites de Atterberg

Para conocer el comportamiento de los finos de un suelo, se utilizan índices que definen la consistencia del suelo en función de su humedad. La magnitud de la plasticidad que presenta una arcilla en estado natural, depende de su composición mineralógica y de su contenido de humedad. Así, la consistencia varía desde un estado sólido (seco), pasando por un estado semisólido (de baja humedad) en donde el suelo se desmorona y no hay plasticidad, siguiendo por el estado plástico para contenidos altos de humedad y llegando a un estado líquido para contenidos de humedad muy altos.

Figura 2

Variación del volumen respecto al contenido de humedad



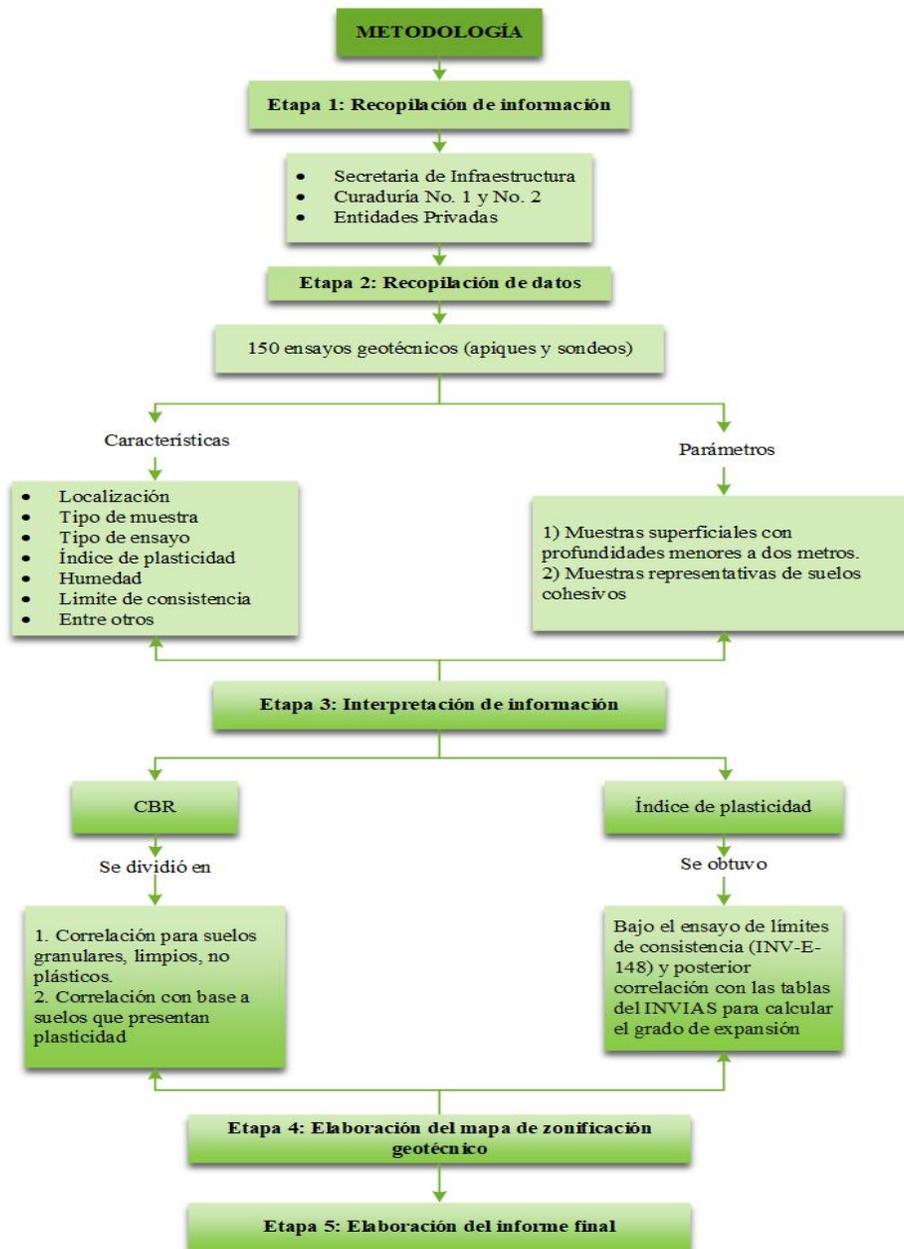
Fuente: La Librería del Ingeniero. (2022).

7. Metodología

La metodología que se implementó para la ejecución del presente proyecto consto de 5 etapas (Figura 3), de tal forma que se buscó hacer de una manera secuencial, con el fin de cumplir con cada uno de los objetivos propuestos, culminando con éxito este proyecto. De esta manera, la realización de la zonificación geotécnica preliminar con base en resultados de CBR consistió en:

Figura 3

Diagrama de la metodología aplicada



Fuente: Autor del proyecto.

7.1 Etapa 1: Recopilación de Información

Para analizar los datos de sondeos y apiques que se han efectuado en el área de estudio, se realizó una recopilación y revisión de fuentes de información disponibles para esta área, por tal motivo, se tomó la cartografía base del plan de ordenamiento territorial del municipio de San José de Cúcuta (Departamento Administrativo Área de Planeación, 2017), además para complementar el contexto geológico y geotécnico, se tomó como referencia los documentos oficiales del Servicio Geológico Colombiano de la plancha 88 – Cúcuta a escala 1:100.000 (Oviedo et al., 2016a), los estudios de suelos (ensayos, sondeos y apiques) fueron aportados por la Secretaria de Infraestructura y la Curaduría uno (01) y dos (02), el Departamento de Infraestructura y entidades privadas enfocadas a elaboración de análisis geotécnicos, los cuales la información corresponde al análisis del suelo como el tipo, profundidad al que se tomó la muestra, límite de Atterberg, granulometría, entre otros.

7.2 Etapa 2: Recopilación de Datos

En esta etapa se recolectó información referente a los parámetros de clasificación de suelos y ensayos CBR. Para lo cual, se realizó una recopilación de datos referentes a las propiedades del suelo y localización del mismo, para ello, se realizó un formato estableciendo características, como localización, tipo de toma de muestra, tipo de ensayo, índice de plasticidad, humedad, límites de consistencia, entre otros parámetros.

El análisis de los 150 ensayos suministrados por entidades públicas y privadas, estos están distribuidos por las diez comunas que comprende el área urbana de San José de Cúcuta, a cada ensayo se tuvieron en cuenta ciertos parámetros a la hora de elección los cuales son:

1. Muestras superficiales con profundidades menores a dos (02) metros.
2. Muestras representativas de suelos cohesivos.

7.3 Etapa 3: Interpretación de Información

En esta etapa se llevó a cabo el análisis de información y de los datos recopilados de los 150 ensayos (sondeos y apiques) del área de estudio por medio de la interpretación de la descripción de suelos, aplicando el método de correlación de CBR, expuesto en el manual de diseño de pavimentos asfálticos a vías con bajos volúmenes de tránsito (Alvarez et al., 2015). A partir de las ecuaciones de correlación de los límites de Atterberg y granulometría propuestas por la guía del índice del suelo para el diseño mecánico y empírico de estructuras de pavimento nuevas

Zonificación Geotécnica Preliminar con base en la correlación de los resultados de ensayos CBR, del área Urbana del Municipio de San José de Cúcuta, Norte de Santander.

y rehabilitadas (NCHRP, 2001), propiedades cuantitativas que se relacionaron por comunas y con ello se obtuvo los valores de CBR,

Los materiales se dividieron en dos grupos:

1. Correlación para suelos granulares, limpios, no plásticos, en los que el parámetro (w x IP) es cero (Alvarez et al., 2015):

$$CBR = 28.09 \times (D60) \times 0.358 \quad (1)$$

Donde:

Wpi: índice de plasticidad ponderado

CBR: en porcentaje

D60: Abertura del tamiz que deja pasar el sesenta por ciento (60%) del suelo, en peso.

2. Correlación con base a suelos que presentan plasticidad, es decir que el parámetro (w x IP) es mayor que cero, y la fracción que pasa el tamiz de 0.074 mm (No.200) es mayor del once por ciento (11%) (Alvarez et al., 2015)

$$CBR = \frac{75}{1 + 0.728(W \times IP)} \quad (2)$$

Donde:

W x IP: Índice de Plasticidad ponderado = Fracción que pasa el tamiz de 0.074 mm (No.200) x Índice de Plasticidad

w: Fracción que pasa el tamiz (No. 200) dividida en 100

IP: Índice de Plasticidad, en porcentaje

CBR: en porcentaje

Para el cálculo del Índice de Plasticidad se aplicó por medio del potencial expansivo (Tabla 2), como lo señala el manual de diseño de pavimentos asfálticos a vías con bajos volúmenes de tránsito (Alvarez et al., 2015), debido a que es correlacionable con el ensayo CBR (INVIAS, 2012b).

Tabla 2

Correlación entre el potencial expansivo del suelo y alguno de sus características

Grado de expansión	Hinchamiento	Índice de plasticidad	Expansión Libre
No expansivo	< 2	< 10	< 50
Moderada	2 – 4	10 – 20	50 - 100
Altamente Expansivo	>4	> 20	> 100

Fuente: Álvarez, J., Londoño, C. & Betancur, G. (2015).

Zonificación Geotécnica Preliminar con base en la correlación de los resultados de ensayos CBR, del área Urbana del Municipio de San José de Cúcuta, Norte de Santander.

7.3.1 Interpretación de la información en campo

Esta etapa se hizo con el fin de obtener y validar la información obtenida de las entidades públicas y privadas, seleccionando zonas estratégicas con el fin de generar la base de datos para el manejo de la información recolectada en la etapa anterior.

Figura 4

Fotografía de material litológico presente en la autopista internacional que comunica San José de Cúcuta – Villa del Rosario a 800 m del Peaje La Parada, comuna 3



Fuente: Autor del proyecto.

Figura 5

Fotografía de la composición litológica presente en la Vía que comunica San José de Cúcuta-Zulia, comuna 7



Fuente: Autor del proyecto.

7.4 Etapa 4: Elaboración del Mapa de Zonificación Geotécnica Preliminar

En esta actividad se plasmó toda la información obtenida en la recopilación de datos de las etapas anteriores, para la elaboración del mapa de zonificación geotécnica preliminar con base en la correlación de los resultados de ensayo CBR del área de estudio a escala 1:5.000, el cual siguió la siguiente metodología: Se llevó a cabo el cálculo del CBR con base al método por correlación expuesto en el manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con bajos volúmenes de tránsito (Murgueitio, Solano, Ruiz, Botina, Paz, Arboleda & Rivas, 2007) y para la clasificación del suelo según SUCS de acuerdo a los datos recolectados de los estudios de los diferentes ensayos de granulometría y límites de Atterberg, dicho mapa está estructurado por todas las características descritas y finalmente el trazo de la clasificación de la calidad del suelo.

7.4.1 Obtención de atributos cuantitativos

Para la obtención de los atributos cuantitativos se llevó a cabo mediante, modelos digitales de elevación (DEM) a una resolución de 3 metros, adquirido por medio de procesamiento de imágenes satelitales de ASF Data Serch y Google Earth, en el área urbana de San José de Cúcuta se obtuvieron los datos de las bandas de Sentinel-2 en los canales rojo, verde y azul (RGB), con una resolución espacial de 3m/píxel y resolución temporal cada 5 días.

A partir del componente ArcGIS, se aplicó el método Geoestadística y Kriging con la finalidad de poder efectuar la exploración de los datos a partir de los diferentes métodos estadísticos disponibles los cuales son, histograma, normal QQPlot, y Trend Analysis, estos geoprocесamientos se llevaron a cabo para identificar las tendencias y las desviaciones estándares, con la finalidad de efectuar el método de interpolación y reclasificación de la información para poder hallar los diferentes CBR que conforman el área urbana de San José de Cúcuta.

7.5 Etapa 5: Elaboración del Informe Final

En esta última fase se procedió a redactar el informe donde se muestra la descripción e interpretación de la zonificación geotécnica preliminar con sus respectivos resultados y análisis de los mismos durante la ejecución del proyecto, obteniéndose como resultado el presente informe final.

8. Análisis y Resultados

La zonificación geotécnica preliminar con base en la correlación de los resultados de CBR realizada se clasifica en la dimensión del conocimiento de riesgo de los suelos del área urbana de Cúcuta; la disponibilidad de información en esta rama de la geología proporciona a la alcaldía de San José de Cúcuta parámetros para los diseños de estructuras de pavimento, con el fin de contar con la correcta planeación de los recursos públicos para los proyectos viales del área urbana de la ciudad.

8.1 Análisis de Datos de los Ensayos Geotécnicos

El análisis de ensayos geotécnicos se basó en el cálculo de CBR estos a partir de 150 ensayos los cuales corresponden a 103 apiques y 47 sondeos, contando con profundidades de 0 a 3 m aproximadamente y 0 a 5 m respectivamente.

La información obtenida de los estudios de suelos proporcionada por las entidades públicas y privadas fueron efectuadas con base a los ensayos in situ de elaboración de apiques y sondeos, de acuerdo a las normas INVE-105-13 y INVE-111-13 y los ensayos de laboratorio como el análisis granulométrico conforme a la norma INVE-E-123, la determinación del límite de consistencia e índices de plasticidad la realizaron conforme a la norma INV-E-148 y la clasificación de los suelos bajo la norma ASTM D 2487 (Departamento Administrativo Área de Planeación, 2017).

8.2 Análisis del Índice de Plasticidad

Los datos de Índice de plasticidad para la zona de estudio, recolectados de las diferentes entidades públicas y privadas como se mencionó anteriormente, se pueden distinguir 3 grados de expansión, los cuales están asociados a no expansivos, estos corresponden a aquellos con intervalos <10 , abarcando las Comunas 2 y 4, seguido del grado moderado, este predomina en mayor porcentaje en el área de estudio, con intervalos de índice de plasticidad del 10 – 20 y por último, el grado altamente expansivo influye en la comuna 7 colindando con la comuna 6, estas zonas presentan índices de plasticidad >20 (Figura 7).

8.3 Análisis Ensayo CBR

Los datos de CBR para la zona de estudio, se pueden distinguir 3 clasificaciones, los cuales corresponden a: tipo pobre – regular, este tipo de CBR ocupan el 4,20% del área urbana de San José de Cúcuta con intervalos que van del 3-7%, seguido los CBR de tipo regular ocupan el 91,40% del área urbana, siendo el tipo de CBR que predomina con intervalos que van del 7-20% y

Zonificación Geotécnica Preliminar con base en la correlación de los resultados de ensayos CBR, del área Urbana del Municipio de San José de Cúcuta, Norte de Santander.

finalmente se encuentran los CBR tipo bueno con un porcentaje del área urbana equivalente al 4,40% con intervalos que van del 20 -50%, la distribución de CBR se puede observar en la (Figura 6). Donde se definieron y clasificaron para cada una de las comunas (Tabla 3), descritas a continuación.

Tabla 3

Ejemplar del formato para la recopilación y correlación de datos

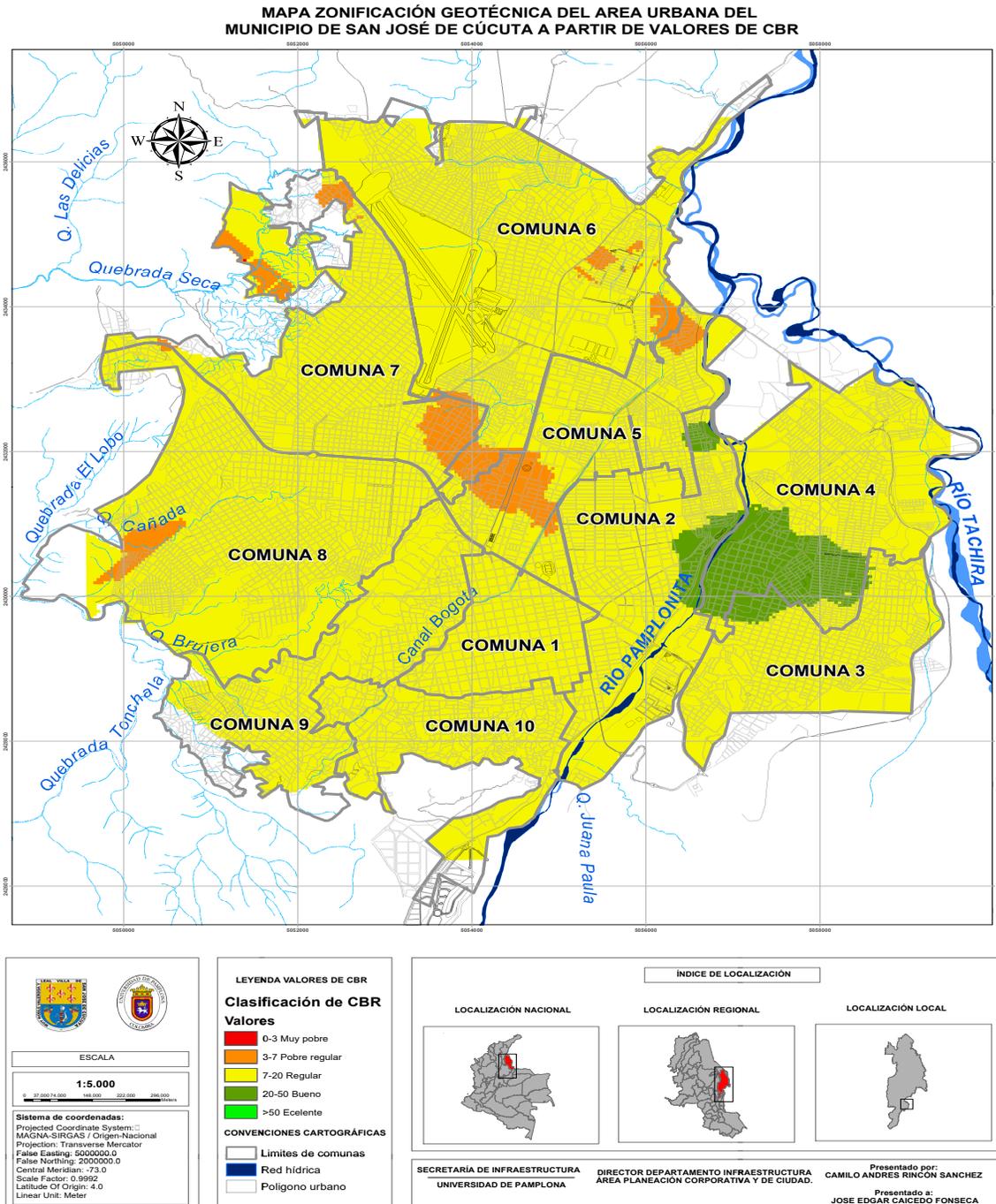
ID	X	Y	Comuna	Tipo de ensayo:	IP%	Finos	Profundidad (m)	SUCS	CBR%
1	5054564.082	2429527.228	1	Sondeo	13.48	67.82	0.50 a 2.50	CL	9.8
2	5053789.202	2428901.623	1	Apique	9.96	81.75	0.6	CL-ML	10.83
3	5054121.207	2429245.210	1	Apique	14.8	84.7	0 a 1.50	CL	7.41
14	5055914.645	2430175.647	2	Apique	10	87.9	1.5	CL	10.14
24	5056249.449	2428459.756	2	Apique	9.3	60.6	1.2	CL	14.7
27	5056696.947	2432185.454	2	Sondeo	8.58	38.1	0 a 1	SM	22.19
34	5057448.654	2429239.113	3	Apique	11.08	59.69	0.08 a 1.10	CL	12.9
35	5059475.122	2430043.510	3	Apique	8	85	0 a 1.60	CL	12.6
42	5058680.775	2428898.082	3	Sondeo	14.3	17.2	0 a 1	GC	26.8
47	5058068.528	2432587.774	4	Apique	14.1	94.6	0 a 1	CL	7
50	5056770.588	2429806.790	4	Apique	9.15	49.4	0.13 a 1	SC	17.48
56	5058293.719	2430232.630	4	Apique	15.6	22.2	0 a 1	GC	21.3
68	5053919.945	2431473.608	5	Apique	28.82	98.86	0.09 a 1	CH	3.45
70	5055368.983	2432903.996	5	Apique	12.1	89	0.79	CL	8.48
76	5055327.785	2432550.925	5	Sondeo	16.2	51.8	0 a 1	CL	10.55
82	5056126.461	2436162.239	6	Sondeo	9.49	65.84	0 a 3	CL	13.52
90	5054329.042	2432605.600	6	Sondeo	17.3	51.8	0 a 1	CL	9.97
92	5054976.566	2433965.044	6	Apique	14.79	93.66	1.5	CL	6.76
96	5054048.912	2432158.190	7	Sondeo	12.48	90.3	0 a 3	CL	8.15
105	5052641.238	2432766.940	7	Sondeo	43.9	56.9	0.4	CH	3.91
107	5053964.801	2432630.034	7	Apique	35.1	88	0 a 1	CH	3.19
116	5053519.349	2431433.232	8	Apique	13	77	1.00 a 1.80	ML	9.05
126	5051200.883	2432529.554	8	Apique	11.13	69.41	1	CL	11.32
131	5051412.152	2430813.193	8	Apique	14.98	99.57	0 a 0.45	CL	6.32
135	5051322.710	2428406.116	9	Apique	6	85	0.5 a 2	CL	15.91
137	5051557.978	2428234.474	9	Apique	22.8	54.53	0.2 a 1.20	CL	7.46
138	5051465.622	2428159.468	9	Apique	9.96	81.53	0.2 a 0.8	CL-ML	10.85
142	5053756.801	2428340.130	10	Sondeo	15.4	66.1	1.35 a 2.25	CL	8.92
144	5054846.026	2427433.997	10	Apique	17.2	81.4	0.8 a 1.40	CL	6.7
145	5052929.106	2427566.518	10	Apique	12.7	78.02	0.1 a 1.00	CL	9.13

Fuente: Autor del proyecto.

Zonificación Geotécnica Preliminar con base en la correlación de los resultados de ensayos CBR, del área Urbana del Municipio de San José de Cúcuta, Norte de Santander.

Figura 6

Mapa zonificación geotécnica del área urbana del municipio de San José de Cúcuta a partir de valores de CBR

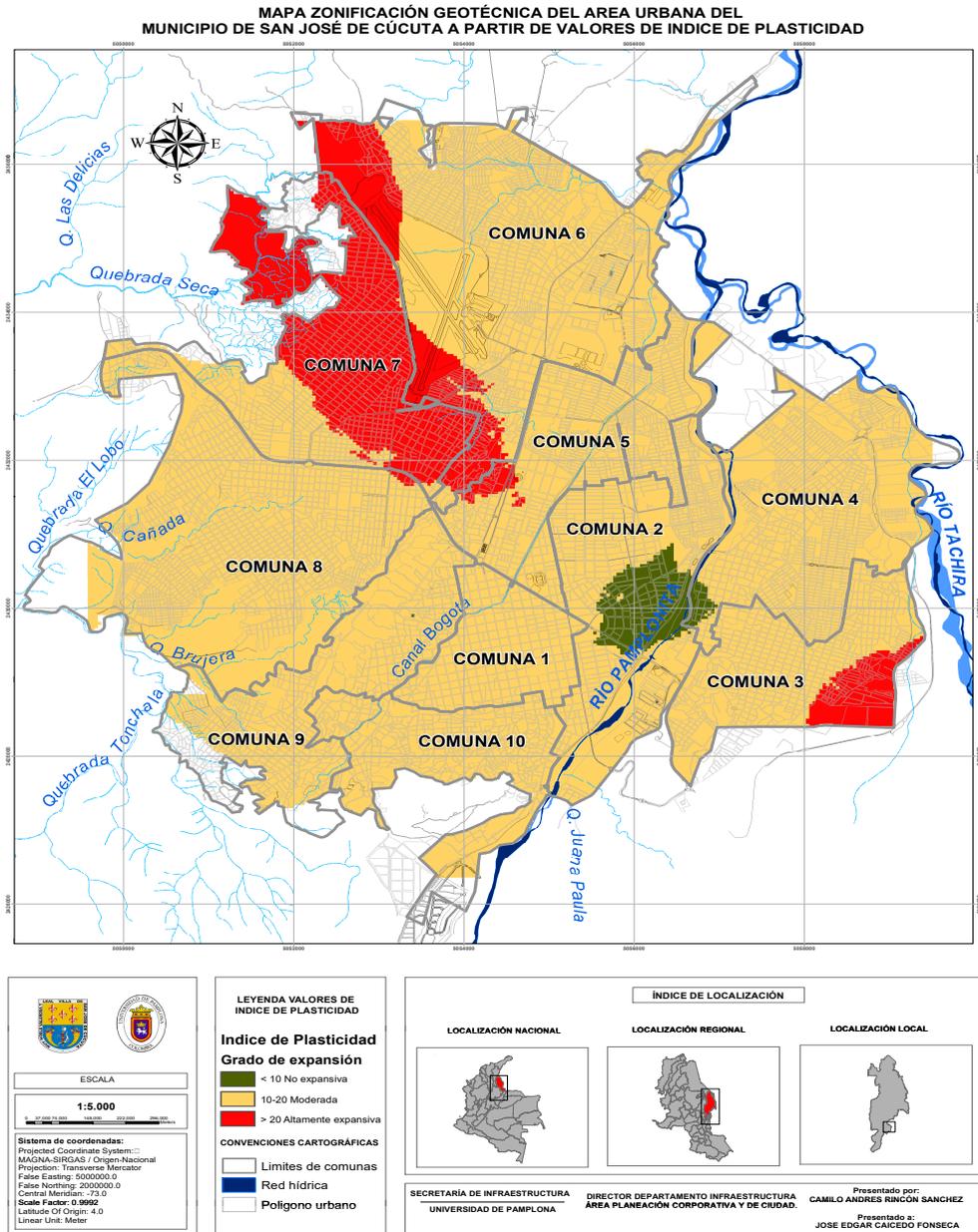


Fuente: Autor del proyecto.

Zonificación Geotécnica Preliminar con base en la correlación de los resultados de ensayos CBR, del área Urbana del Municipio de San José de Cúcuta, Norte de Santander.

Figura 7

Mapa zonificación geotécnica del área urbana del municipio de San José de Cúcuta a partir de valores de índice de plasticidad



Fuente: Autor del proyecto.

8.3.1 Comuna 1

La comuna uno, se encuentra ubicada hacia el costado Occidental del centro de la ciudad. Según la composición granulométrica y los límites de Atterberg, cuenta con una capa superficial que se identifica de acuerdo a la clasificación unificada de suelos (SUCS) suelos de tipo CL, ML; clasificándose suelos de tipo limo y arcilla de mediana plasticidad (*Figura 8*). En el barrio El Páramo se encuentra arcilla de alta plasticidad (CH) donde su límite líquido supera el 50%, en esta zona es necesario una estabilización del suelo.

Según la correlación de los datos de CBR a partir de la ecuación propuesta por NCHRP (2001) y la clasificación del Manual de Laboratorio de Suelos (Bowles, 1980) tiene un CBR promedio de 11% está dentro de los rangos de la clasificación entre 7 – 20 % dando CBR regular (*Figura 9*).

Figura 8

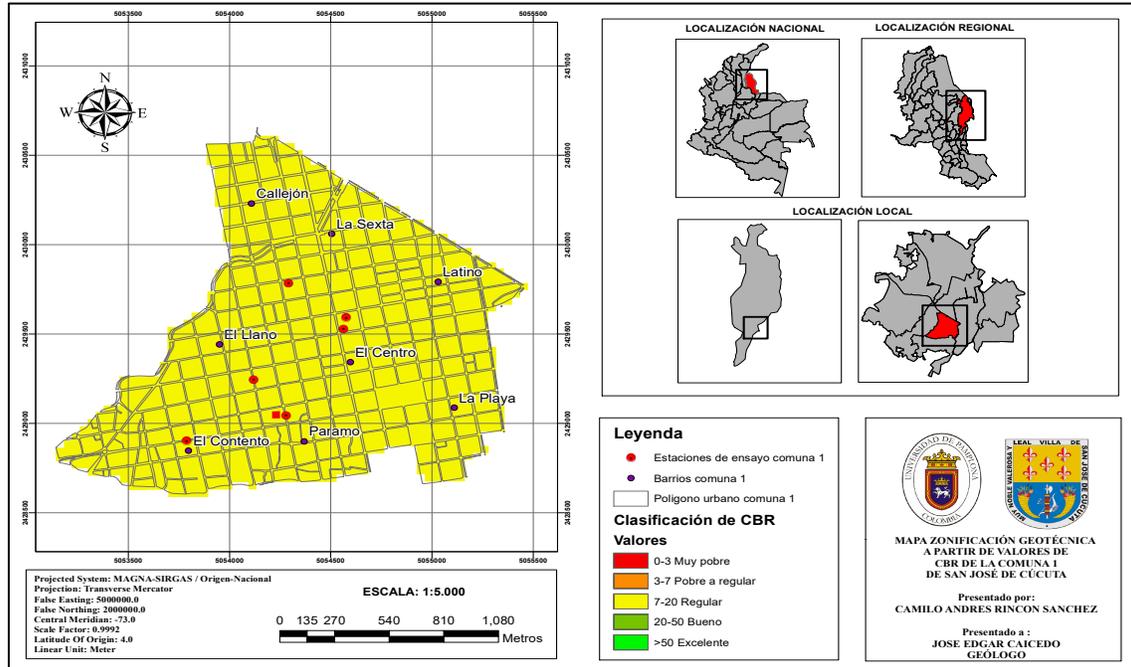
Arcillas de consistencia firme, humedad media, plasticidad media Coordenadas X:5054564 Y:2429527. Ubicación: Avenida 6 entre calle 7 -10 Centro. Profundidad:0.50 a 2 M.



Fuente: Fontalvo, M. (2020).

Figura 9

Mapa Zonificación Geotécnica Preliminar con base en resultados de CBR de la comuna 1 de San José de Cúcuta



Fuente: Autor del proyecto.

8.3.2 Comuna 2

La comuna dos, se encuentra ubicada hacia la zona Centro Oriental de la ciudad. A partir de la composición granulométrica y los límites de Atterberg, esta comuna se encuentra superficialmente con predominio de suelos de origen residual, los cuales están conformados por arcillas arenosas y limo de baja plasticidad, por tanto, se identifica de acuerdo a la clasificación unificada de suelos (SUCS) suelos de tipo CL (*Figura 10*) ML, con presencia moderada de suelos tipo SC catalogándose como arena arcillosa; este tipo de suelo se encuentra localizado en la avenida del Rio cercanías a la urbanización la Gazapa y en cercanías al barrio Colsag, Prados I y Prados II.

Mediante, la correlación de los datos de CBR a partir de la ecuación propuesta por NCHRP (2001) y la clasificación del Manual de Laboratorio de Suelos de Bowles (1980), se puede determinar que en las zonas de esta comuna mencionadas con anterioridad, presenta estudios de CBR en promedio del 26% clasificándose de tipo bueno, por ello se considera que está dentro de los rangos de la clasificación entre 20 a 50 %, en el resto del área de la comuna presenta un CBR

Zonificación Geotécnica Preliminar con base en la correlación de los resultados de ensayos CBR, del área Urbana del Municipio de San José de Cúcuta, Norte de Santander.

en promedio del 13% este valor de CBR es de tipo regular con unos parámetros de 7 a 20 % (Figura 11).

Figura 10

*Arcillas algo arenosas de plasticidad media a alta consistencia media a firme y humedad baja
Coordenadas X: 5055891 Y: 2431003. Ubicación: Cercanía al barrio Govica. Profundidad: 0 a 1 M.*

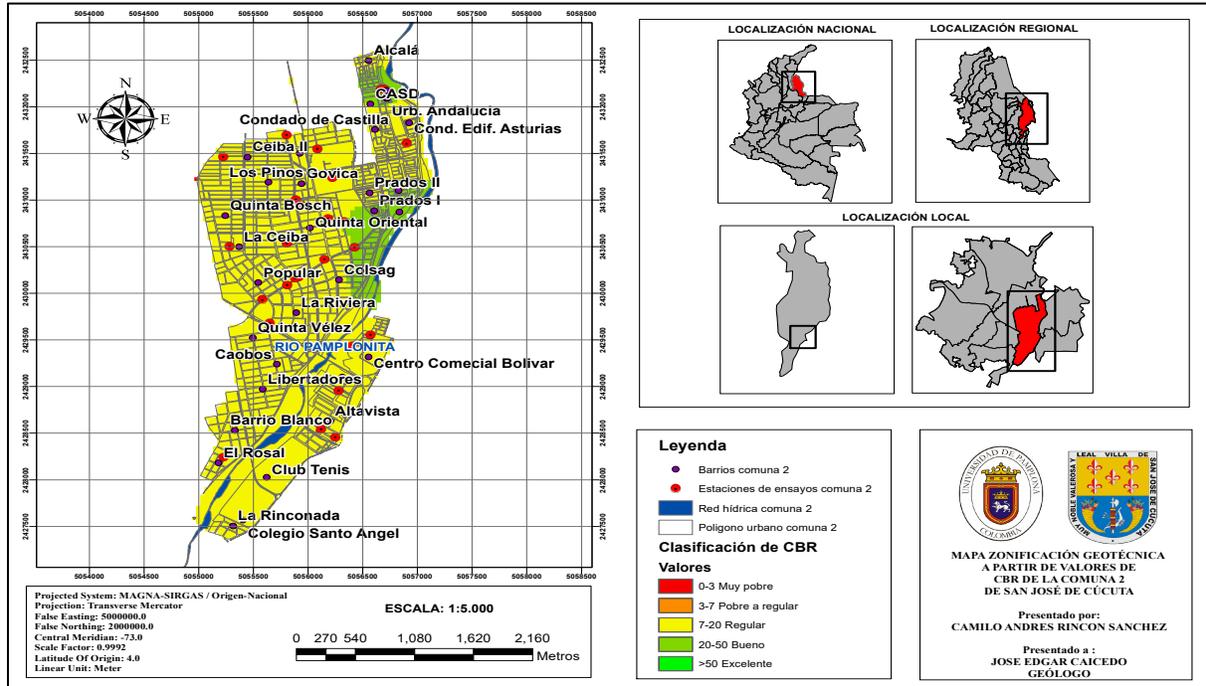


Fuente: Gelves, B. (2014).

Zonificación Geotécnica Preliminar con base en la correlación de los resultados de ensayos CBR, del área Urbana del Municipio de San José de Cúcuta, Norte de Santander.

Figura 11

Mapa Zonificación Geotécnica Preliminar con base en resultados de CBR de la comuna 2 de San José de Cúcuta



Fuente: Autor del proyecto.

8.3.3 Comuna 3

La comuna tres, se encuentra ubicada en el sector Sur Oriental del área urbana de San José de Cúcuta; esta comuna presenta una variedad de suelos; puesto que, las capas de suelos finos del perfil superficial se clasifican de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) como arcillas inorgánicas de mediana a alta plasticidad de tipo CL y CH, hacia la localidad de San Fernando y la Unión se dan mayores evidencias de suelos tipo GC y SC, los cuales se clasifican de tipo grava arcillosa y arenas arcillosas (Figura 12).

La correlación de los datos de CBR a partir de la ecuación propuesta por NCHRP (2001) y la clasificación del Manual de Laboratorio de Suelos de Bowles (1980) se puede decir que, en esta comuna en la parte del límite entre la comuna cuatro, correspondiente a los barrios Santa Teresita y San Fernando, presenta CBR en promedio del 25%; clasificándose de tipo bueno variando en intervalos de 20 a 50 %. En tanto, en el resto del área de la comuna se presenta un CBR promedio del 10% clasificándose de tipo regular con unos parámetros de 7 a 20% (Figura 13).

Zonificación Geotécnica Preliminar con base en la correlación de los resultados de ensayos CBR, del área Urbana del Municipio de San José de Cúcuta, Norte de Santander.

Figura 12

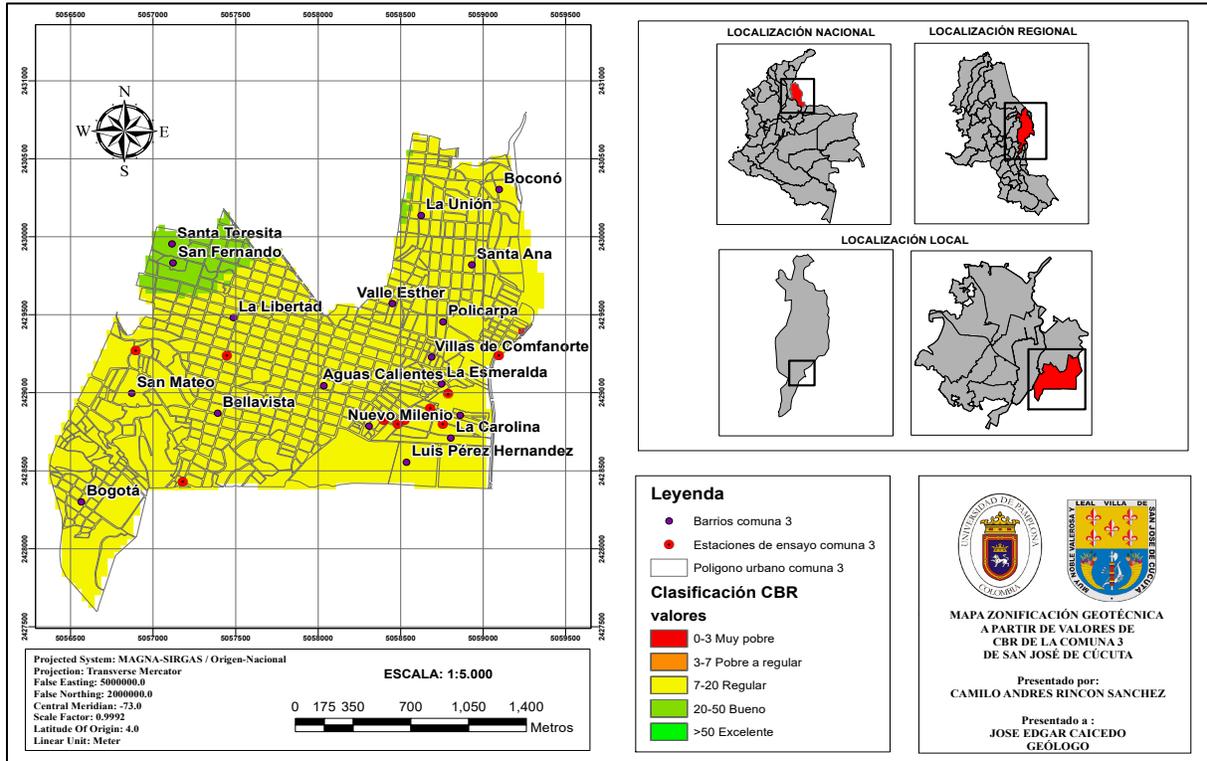
Arena arcillosa, humedad baja-media, consistencia media- firme Coordenadas X: 5058484 Y: 2430151. Ubicación: Barrio la Unión. Profundidad: 0 a 3 M.



Fuente: Corporación Concejo Municipal San José de Cúcuta. (2019).

Figura 13

Mapa Zonificación Geotécnica Preliminar con base en resultados de CBR de la comuna 3 de San José de Cúcuta



Fuente: Autor del proyecto.

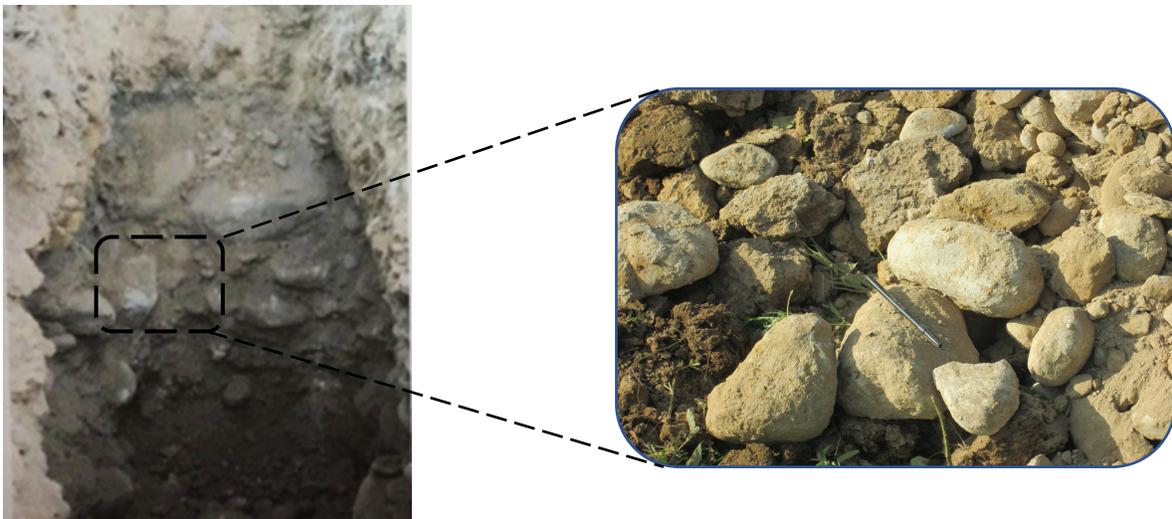
8.3.4 Comuna 4

La comuna cuatro, está ubicada en el sector Oriental; a partir de la clasificación SUCS se puede identificar que en la presente comuna hay gran variedad de suelos pasando por suelos finos como serían los tipos CL, ML; de tipo arcillas arenosas y limo arenoso, hasta suelos más granulares de tipo GC (Figura 14), SM, SC; clasificándose como grava arcillosa y arena arcillosa, estos tipos de suelo se localiza en los barrios San Luis, Torcoroma, Siglo XXI y Aniversario II.

Partiendo de la correlación de los datos de CBR y teniendo en cuenta la ecuación propuesta por NCHRP (2001) y la clasificación de Bowles (1980) se puede determinar que en esta comuna, se encuentra CBR en promedio del 33% clasificándose de tipo bueno, está dentro de los rangos de la clasificación entre 20 a 50 %, estos tipos de CBR están ubicados en los barrios más al sur, los cuales, limitan con la comuna tres, los barrios que están asociados a San Luis, Santa Teresita, Torcoroma y Siglo XXI; en la parte Norte de la comuna los CBR son de tipo regular, con un promedio de CBR del 11%, clasificándose entre los intervalos 7 -20% (Figura 15).

Figura 14

Guijarros y cantos rodados embebidos en una matriz de arcillas arenosas, plasticidad media
Coordenadas X: 5058293 Y: 2430232. Ubicación: Barrio Torcoroma. Profundidad: 0 a 3 M.

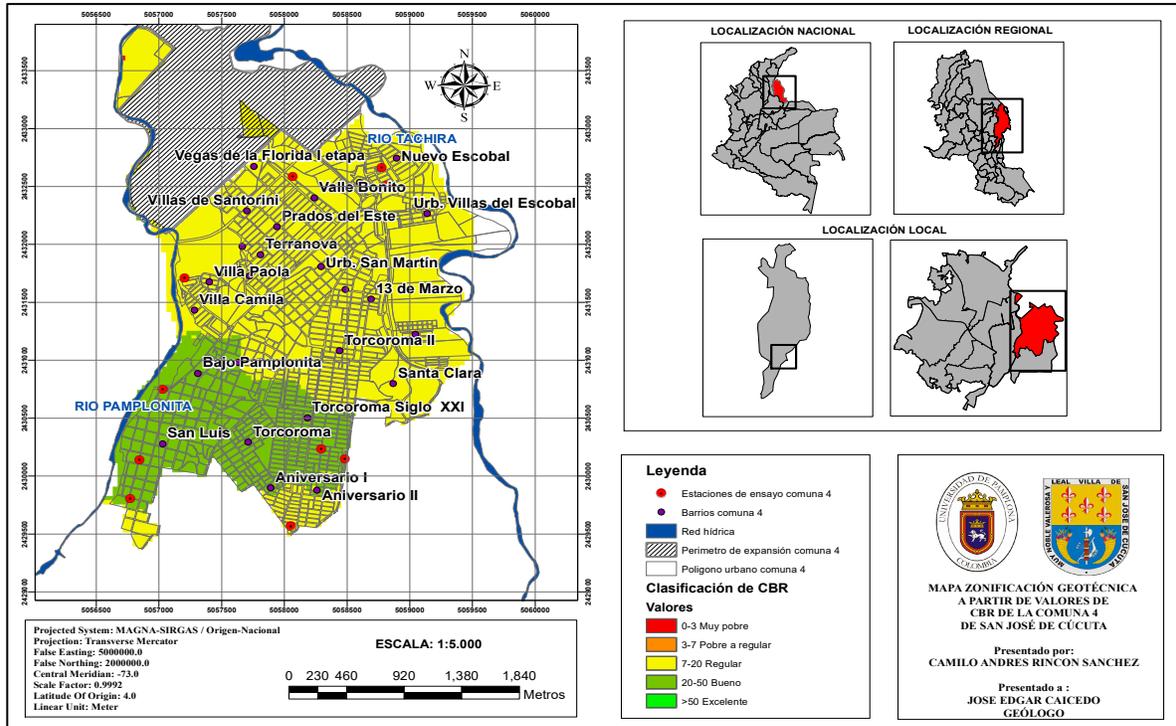


Fuente: Tecnosuelos. (2017).

Zonificación Geotécnica Preliminar con base en la correlación de los resultados de ensayos CBR, del área Urbana del Municipio de San José de Cúcuta, Norte de Santander.

Figura 15

Mapa Zonificación Geotécnica Preliminar con base en resultados de CBR de la comuna 4 de San José de Cúcuta



Fuente: Autor del proyecto.

8.3.5 Comuna 5

La comuna cinco, está ubicada en el sector Nororiente de la ciudad; partiendo de la clasificación SUCS se evidencia que está constituida principalmente por CL, estos suelos se caracterizan por presentar arcillas arenosas y arcillo limosas (*Figura 16*) con un límite líquido menor al cincuenta por ciento; así mismo, se observa que los datos en menor cantidad son suelos de tipo CH, siendo estos tipos de suelos los que están ubicados en la Avenida hacia el Aeropuerto entre los barrios Sevilla y la Zona Industrial.

Según la correlación de los datos de CBR y a partir de la ecuación propuesta por NCHRP (2001) y la clasificación del Manual de Laboratorio de Suelos de Bowles (1980) se puede establecer que, en esta comuna, está constituida en promedio por CBR del 10% clasificándose de tipo regular este valor está dentro de los rangos de la clasificación entre 7- 20%. En excepción en la Avenida hacia el Aeropuerto, entre los barrios Sevilla y la Zona Industrial, en los cuales, se

Zonificación Geotécnica Preliminar con base en la correlación de los resultados de ensayos CBR, del área Urbana del Municipio de San José de Cúcuta, Norte de Santander.

presenta promedios de CBR del 4% clasificándose de tipo pobre-regular este valor está dentro de los rangos de la clasificación entre 3 – 7% (Figura 17).

Figura 16

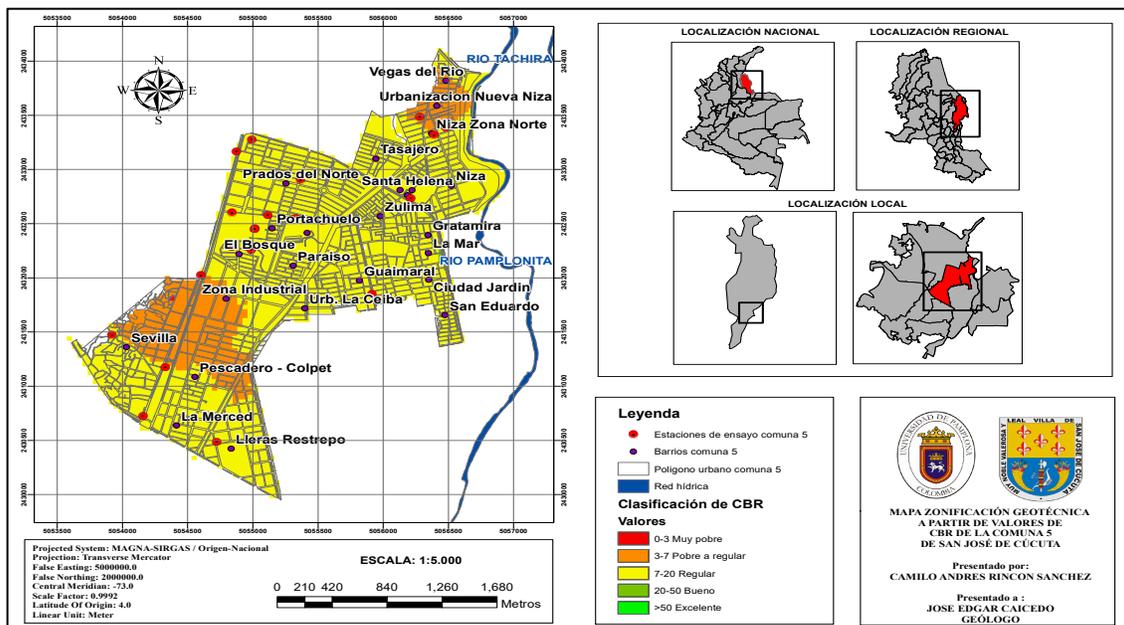
Arcilla arenosa, humedad baja, consistencia – firme Coordenadas X: 5054161 Y: 2430723.
Ubicación: Barrio Sevilla. Profundidad: 0.60 a 2 M.



Fuente: Torres, J. (2013).

Figura 17

Mapa Zonificación Geotécnica Preliminar con base en resultados de CBR de la comuna 5 de San José de Cúcuta



Fuente: Autor del proyecto.

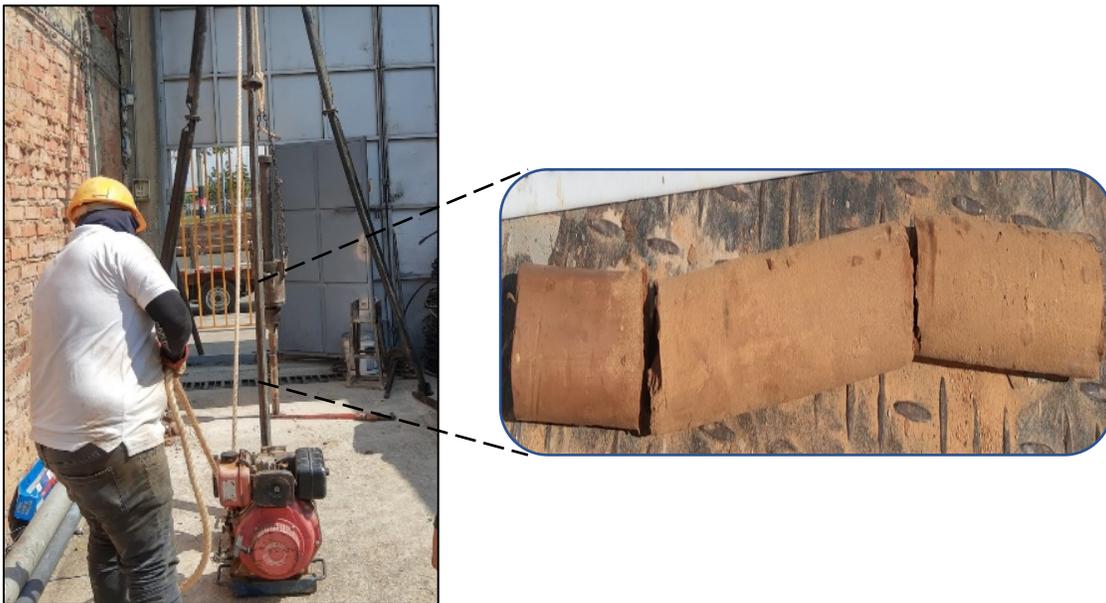
8.3.6 Comuna 6

La ubicación de la comuna seis, se encuentra en el sector Norte de la ciudad. Por tanto, al obtener la clasificación SUCS se puede detallar que los suelos en esta comuna, pasan en su mayoría son suelos finos tal como CL asociados a arcillas con trazas de arenas y arcillas arenosas (*Figura 18*) siendo estos tipos de suelos aquellos que presentan un límite de Atterberg menor al 50%.

Según la correlación de los datos de CBR basado en la ecuación propuesta por NCHRP (2001) y la clasificación del Manual de Laboratorio de Suelos de Bowles (1980) se pudo determinar que en mayor parte de la comuna se encuentra constituida en promedio CBR del 10% clasificándose de tipo regular con unos intervalos que van del 7 – 20% en la parte Sur Oeste de la comuna comprendida en los barrios Cerro Norte, Las Américas y Cerro La Cruz, en donde se presentan en promedio CBR del 5%, clasificándose pobre – regular con unos intervalos que van desde 3 – 7 %. (*Figura 19*).

Figura 18

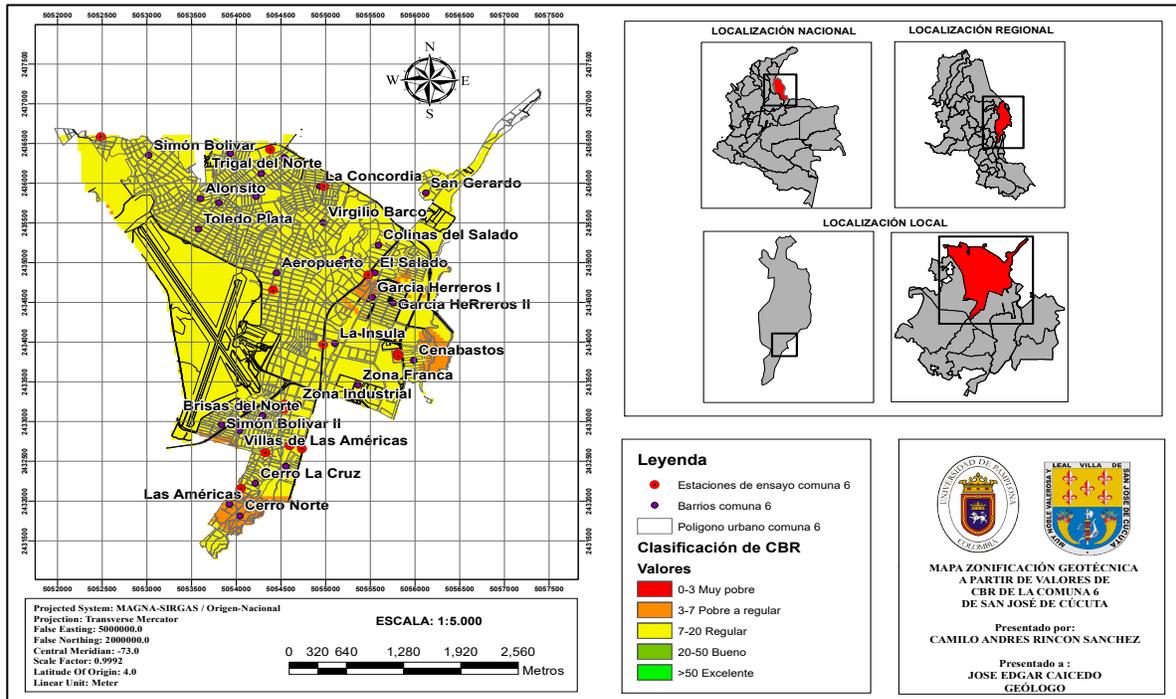
Arcilla con trazas de arenas, plasticidad media Coordinadas X: 5055809 Y: 2433850. Ubicación: Pabellón 8 Cenabastos. Profundidad: 1.30 a 2.30 M.



Fuente: Rodríguez, J. (2016).

Figura 19

Mapa Zonificación Geotécnica Preliminar con base en resultados de CBR de la comuna 6 de San José de Cúcuta



Fuente: Autor del proyecto.

8.3.7 Comuna 7

La ubicación de la comuna siete, está comprendida en el sector Noroccidental de la ciudad. Según la composición granulométrica y los límites de Atterberg, las capas de suelos finos del perfil superficial investigado se clasifican de acuerdo a la SUCS como arcillas inorgánicas de alta plasticidad del tipo CH y arcillas limosas de baja plasticidad del tipo CL (*Figura 20*).

Según la correlación de los datos de CBR y partiendo de la ecuación propuesta por NCHRP (2001) y la clasificación del Manual de Laboratorio de Suelos de Bowles (1980) se consiguió establecer que en mayor parte de la comuna se encuentra en promedio valores de CBR del 10% clasificándose de tipo regular con unos intervalos que van del 7 – 20%, en excepciones en zonas como Crispín Duran y Rosal del Norte, las cuales, presentan CBR en promedio del 3% clasificándose de tipo pobre - regular con unos intervalos que van del 3 – 7% (*Figura 21*). Esta comuna presenta suelos altamente expansivos donde su rango es superior a 20, lo que hace que dichos suelos sean inestables, los cuales al momento de diseñar estructuras viales se debe tener

Zonificación Geotécnica Preliminar con base en la correlación de los resultados de ensayos CBR, del área Urbana del Municipio de San José de Cúcuta, Norte de Santander.

mayor énfasis a los sistemas de drenajes para la mitigación y control del comportamiento de estas arcillas.

Figura 20

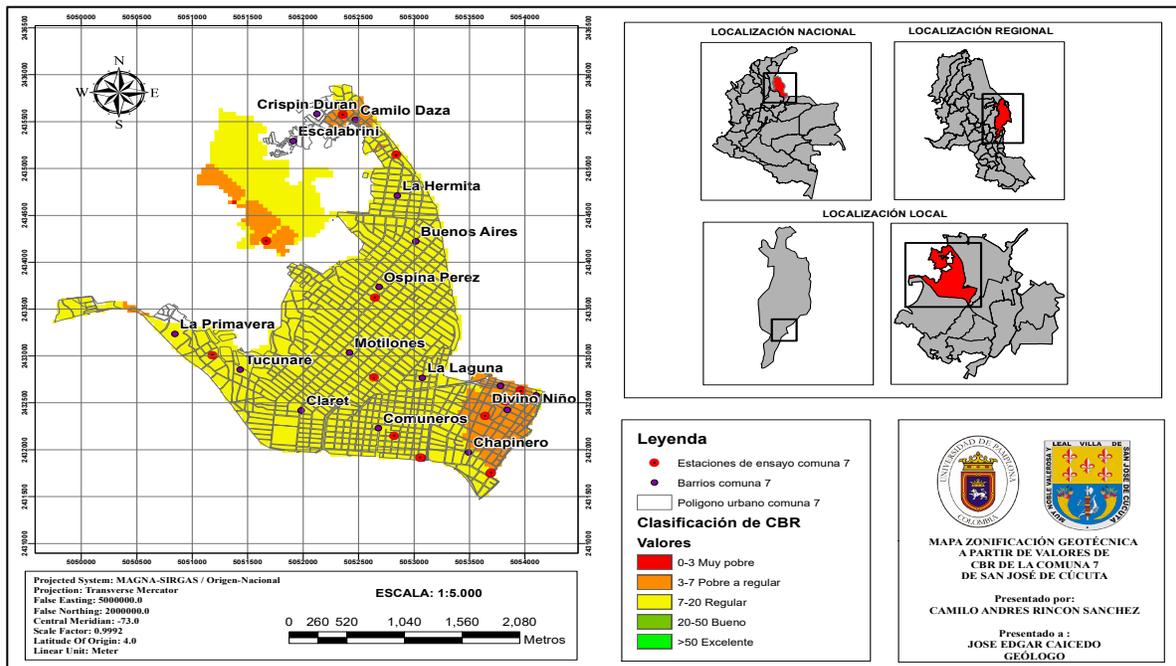
Arcilla con trazas de arena. Plasticidad alta. Consistencia semisólida. Densidad suelta
 Coordenadas X: 5054048 Y: 2432158. Ubicación: Rosal del Norte. Profundidad: 0 a 2 M.



Fuente: Corporación Concejo Municipal San José de Cúcuta. (2019).

Figura 21

Mapa Zonificación Geotécnica Preliminar con base en resultados de CBR de la comuna 7 de San José de Cúcuta



Fuente: Autor del proyecto.

Zonificación Geotécnica Preliminar con base en la correlación de los resultados de ensayos CBR, del área Urbana del Municipio de San José de Cúcuta, Norte de Santander.

8.3.8 Comuna 8

La comuna ocho, se encuentra ubicada hacia el sector Occidental. Con base a la clasificación de la SUCS, la presente comuna se encuentra conformada en su mayoría con suelos de tipo CL (*Figura 22*), ML asociados a suelos finos de tipo arcilla arenosa y limo arenoso con un índice de plasticidad inferior al cincuenta por ciento.

Con base a la ecuación propuesta por NCHRP (2001) y la clasificación de tipos de CBR por Manual de Laboratorio de Suelos de Bowles (1980) se logró correlacionar el CBR que, en esta comuna, el suelo es de tipo regular con un promedio del 11% con unos intervalos que van del 7 – 20%, hacia el costado Sur Oeste en cercanía al barrio San Fernando del Rodeo, los CBR en promedio son del 4% clasificándose de tipo pobre – regular dan intervalos de valores entre 3 – 7 % (*Figura 23*).

Figura 22

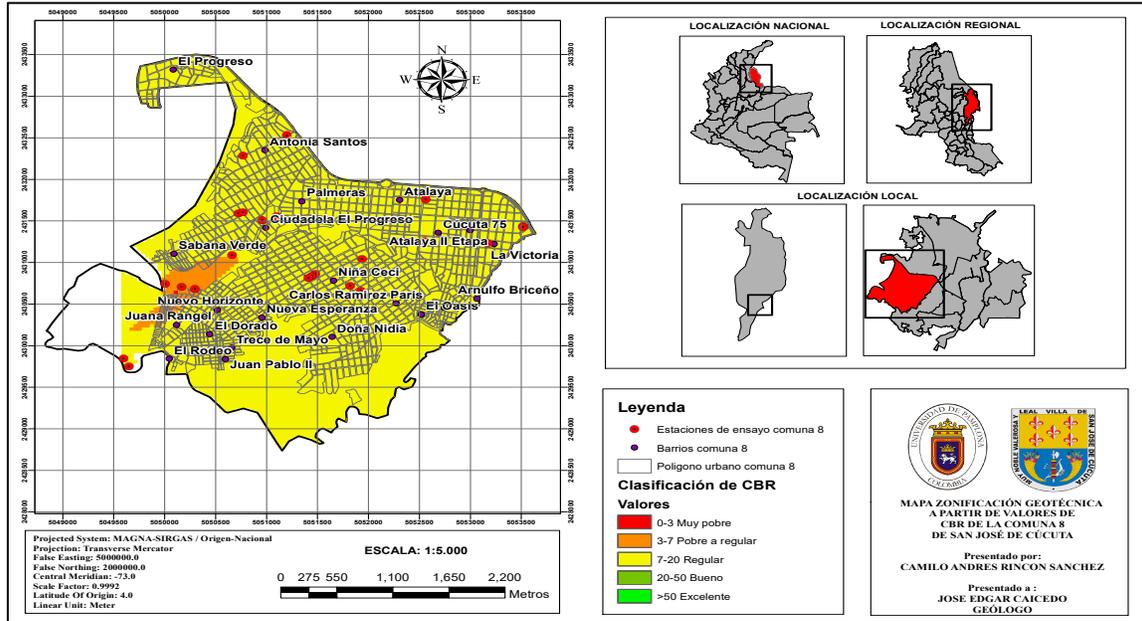
Arcillolita consistencia muy firme, humedad baja Coordenadas X: 5049648 Y: 2429754.
Ubicación: Urbanización ciudad Rodeo. Profundidad: 0 a 1.25 M.



Fuente: Corporación Concejo Municipal San José de Cúcuta. (2019).

Figura 23

Mapa Zonificación Geotécnica Preliminar con base en resultados de CBR de la comuna 8 de San José de Cúcuta



Fuente: Autor del proyecto.

8.3.9 Comuna 9

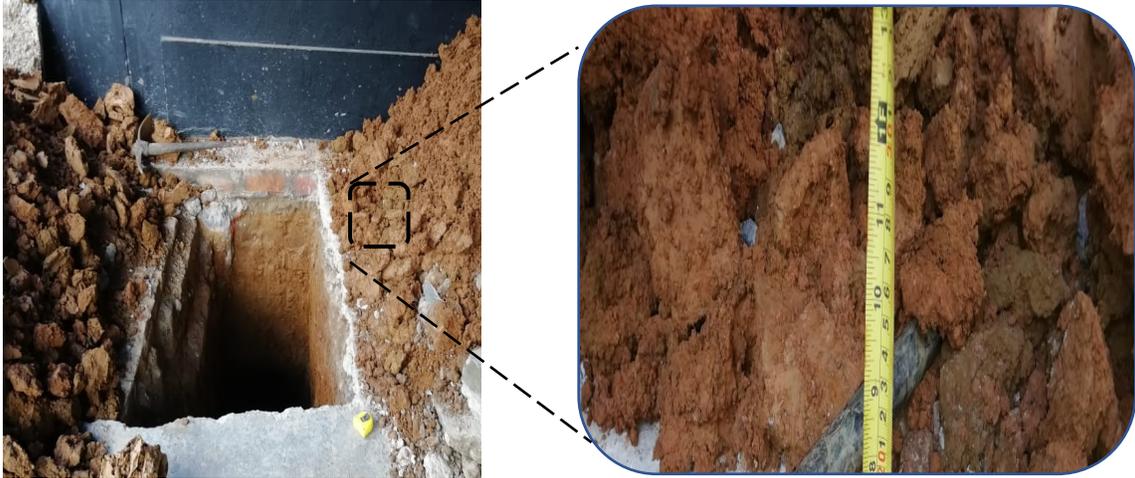
La comuna nueve, se encuentra ubicada en el sector Sur Occidental de la ciudad de San José de Cúcuta. De acuerdo a la clasificación de los suelos según la SUCS, en esta comuna se presentan ocasionalmente suelos de tipo GC, gravas arcillo-arenosa hacia la zona Sur Oeste, en las otras localidades que sería al Norte y Sur Este, se presenta suelos de tipo CL (Figura 24) y ML caracterizando por presentar límite líquido menor al cincuenta por ciento y clasificándose de tipo limo y arcilla.

Partiendo de la correlación de CBR por la ecuación expuesta por NCHRP (2001) y la clasificación de CBR de Manual de Laboratorio de Suelos de Bowles (1980) se consiguió establecer que, en la zona de estudio los intervalos de CBR están en promedio un 13% clasificándose de tipo regular con intervalos que van del 7 – 20%. (Figura 25).

Zonificación Geotécnica Preliminar con base en la correlación de los resultados de ensayos CBR, del área Urbana del Municipio de San José de Cúcuta, Norte de Santander.

Figura 24

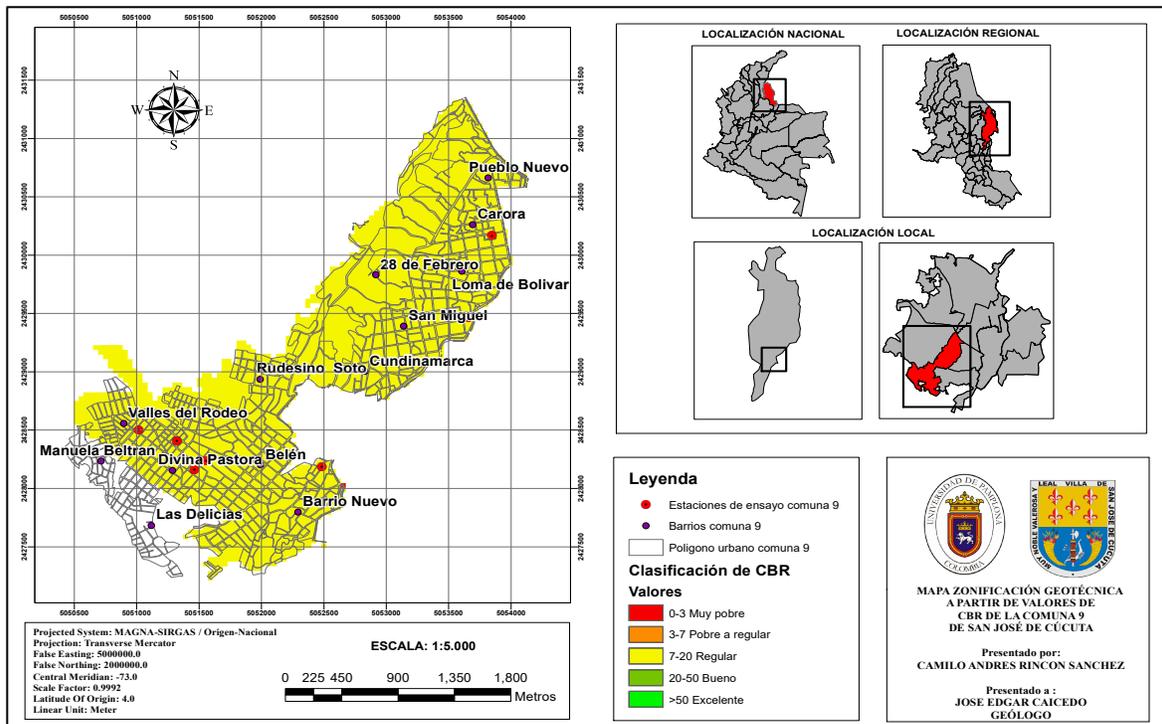
Arcilla con trazas de arena. Humedad baja. Plasticidad media Coordenadas X: 5053846 Y: 2430168.. Ubicación: Barrio Carora. Profundidad: 0 a 1 M.



Fuente: Páez, E. (2016).

Figura 25

Mapa Zonificación Geotécnica Preliminar con base en resultados de CBR de la comuna 9 de San José de Cúcuta



Fuente: Autor del proyecto.

8.3.10 Comuna 10

La comuna diez, se encuentra ubicada hacia el costado Sur Occidente de la ciudad de San José de Cúcuta. Con base en los ensayos recolectados en la presente comuna se pudo establecer que en toda la comuna presenta suelos de tipo CL, este tipo de suelo presenta límite líquido menor a los cincuenta porcientos y se clasifica como arcilla limosa y arcilla arenosa (Figura 26).

De acuerdo a la correlación de CBR por la ecuación expuesta por NCHRP (2001) y la clasificación de CBR de Manual de Laboratorio de Suelos de Bowles (1980) se puede determinar que en la zona de estudio un promedio de CBR del 9% clasificando de tipo regular con intervalos que van entre 7 – 20 %. (Figura 27).

Figura 26

Arcilla con contenido arenoso. Consistencia media a firme Plasticidad media. Coordenadas X: 5052483 Y: 2428183. Ubicación: Barrio Gaitán. Profundidad: 0 a 2 M.

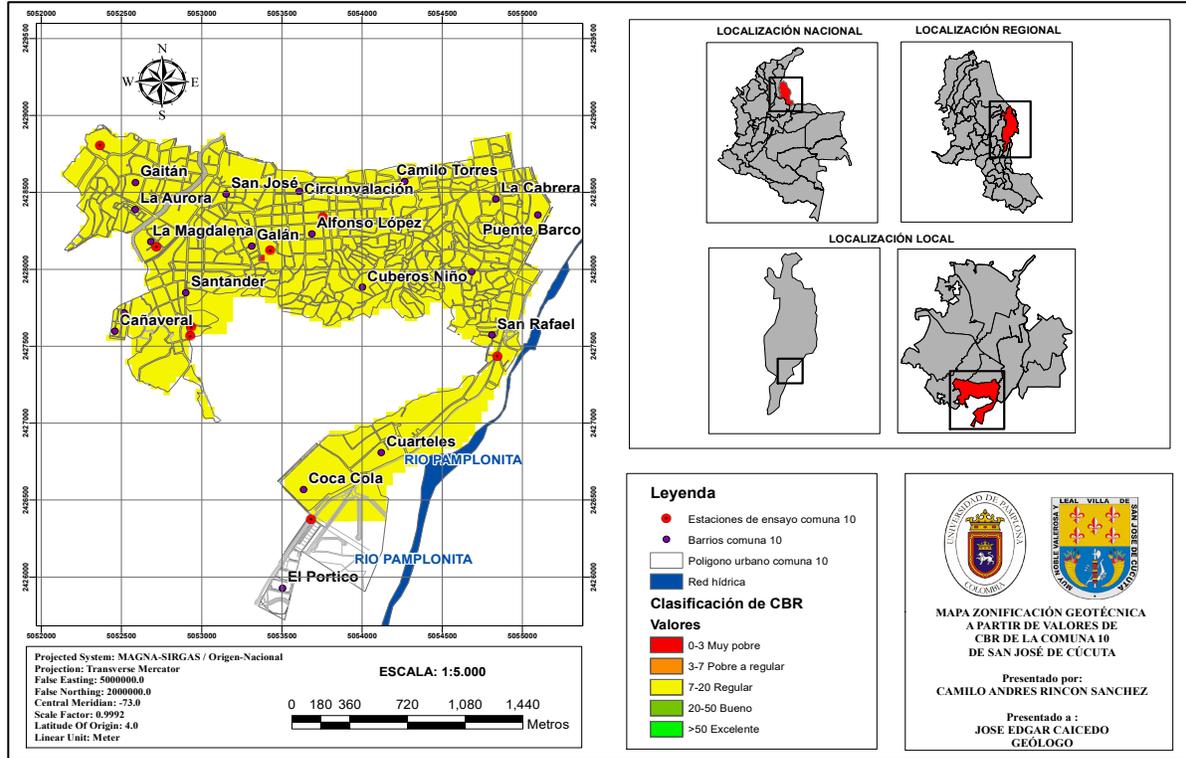


Fuente: Corporación Concejo Municipal San José de Cúcuta. (2019).

Zonificación Geotécnica Preliminar con base en la correlación de los resultados de ensayos CBR, del área Urbana del Municipio de San José de Cúcuta, Norte de Santander.

Figura 27

Mapa Zonificación Geotécnica Preliminar con base en resultados de CBR de la comuna 10 de San José de Cúcuta



Fuente: Autor del proyecto.

9. Conclusiones

Durante la etapa de recopilación de información del área de estudio en el municipio de San José de Cúcuta, se analizó información de 150 ensayos de laboratorios de sondeos y apiques existente de las entidades como la Secretaria de Infraestructura, Curadurías Urbanas No. 1, No. 2 y entidades privadas encargadas de realizar estudios de suelo, donde se obtuvo datos de las propiedades físicas del suelo como la humedad, granulometría y los límites de consistencia.

Se determinaron las características del suelo por medio de los datos obtenidos mediante la recopilación de información aportada por entidades públicas y privadas, determinándose la resistencia de los suelos de las diez (10) comunas que conforman el área urbana de San José de Cúcuta; de tal manera que toda la información obtenida se correlacionó con los valores de CBR y plasticidad; como resultado se elaboró el Mapa de Zonificación Geotécnica Preliminar de las diez (10) comunas.

Con los resultados de los CBR se obtuvo tres clasificaciones del área urbana de San José de Cúcuta que son: pobre a regular, regular y bueno; los intervalos de CBR pobre a regular están comprendidos en los rangos que van del 3-7%, los intervalos de CBR de tipo regular y tipo bueno obtiene rangos en promedio de la recolección de datos del 7-20% y 20-50%, de esta manera a partir del geoprocesamiento de los datos en ArcGis se logra interpretar que los CBR de tipo pobre a regular corresponden el área urbana del 4,20%, los CBR tipo regular ocupan el mayor porcentaje del área urbana de San José de Cúcuta con valor del 91,20%, por último los CBR tipo bueno ocupan el 4,40% del área urbana de la ciudad.

Mediante los resultados de los índices de plasticidad se pudieron clasificar en tres (3) tipos: los no expansivos, los cuales corresponden aquellos con intervalos <10 , abarcando las Comunas 2 y 4; los de grado moderado, comprende en mayor porcentaje del área urbana, con intervalos de índice de plasticidad del 10 – 20 y por último el grado altamente expansivo, estos suelos de índices de plasticidad >20 se presentan en la comuna 7 colindando con la comuna 6, se debe prestar la mayor importancia en el control y mitigación de los suelos altamente plástico al momento de diseñar estructuras viales; para dichas mitigaciones es importante tener en cuenta los tipos de sistemas de drenajes y estabilización de suelos, con el fin de mejorar la resistencia, los excesivos cambios volumétricos y la alta deformabilidad.

Con la clasificación de CBR y la plasticidad de los suelos de cada una de las comunas del área urbana de la ciudad de San José de Cúcuta se realizó una evaluación y posteriormente se

Zonificación Geotécnica Preliminar con base en la correlación de los resultados de ensayos CBR, del área Urbana del Municipio de San José de Cúcuta, Norte de Santander.

elaboró mapa de zonificación geotécnica preliminar a escala 1:5000, lo que le permitirá a la alcaldía de San José de Cúcuta contar con valores reales de la capacidad de resistencia del suelo como también valores de plasticidad, para el diseños de pavimentos y de esta manera establecer presupuesto ajustado a las necesidades requeridas para la construcción, mejoramiento y mantenimiento de obras de infraestructura vial que se desarrollara en cada una de las comunas.

El presente estudio constituye la elaboración mapa de zonificación geotécnica preliminar con base en la correlación de los resultados de ensayos CBR, del casco urbano del Municipio de San José de Cúcuta; se debe continuar alimentando con futuras informaciones de estudios de suelos que se realicen en la ciudad de San José de Cúcuta con el fin de obtener valores de CBR de mayor aproximación. Mediante el trabajo investigativo en la elaboración de mapa de zonificación geotécnica preliminar con base en la correlación de los resultados de ensayos CBR, del área urbana del municipio de San José de Cúcuta, le permitirá a la entidad desarrollar diseños preliminares para una óptima planeación en la proyección de sus recursos, dichos proyectos viales una vez fijado sus recursos se debe realizar ajustes a los diseños finales teniendo en cuenta parámetros propios de diseño vial en las zonas a intervenir.

Zonificación Geotécnica Preliminar con base en la correlación de los resultados de ensayos CBR, del área Urbana del Municipio de San José de Cúcuta, Norte de Santander.

10. Recomendaciones

Es importante que la Alcaldía San José de Cúcuta tenga en cuenta al momento de asignar recursos para la construcción, mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura vial, los resultados que ha arrojado la Zonificación Geotécnica Preliminar con base en la correlación de los resultados de ensayos CBR, de la ciudad de San José de Cúcuta.

En las zonas con suelos altamente plásticos para su mitigación y control es importante tener en cuenta los sistemas de drenajes superficiales existentes en la ciudad, la estabilización de suelos mediante la sustitución con material pétreo y gravas, mezcla con cal, mezcla con cemento portland.

Se recomienda que la alcaldía de San José de Cúcuta actualice y alimente permanentemente la información correspondiente a los ensayos de límites de Atemberg y granulometría para obtener con mayor exactitud los CBR.

Es importante la realización de estudio geotécnico definitivo al momento de ejecutar los proyectos de construcción, mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura vial con los ejecutores de dichas obras, ya que la Alcaldía de San José de Cúcuta establecerá diseños y presupuestos preliminares a los proyectos de infraestructura vial.

11. Referencias Bibliográficas

- Álvarez, J., Londoño, C. & Betancur, G. (2015). *Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito*. Medellín: Instituto Nacional de Vías (INVIAS) - Ministerio de Transporte.
- Araya, C. (2020). *Clasificación de los suelos CBR Proctor*.
<https://www.studocu.com/co/document/universidad-bolivariana/construccion/clasificacion-de-los-suelos-cbr-proctor/21699908?origin=home-recent-1>
- Bowles, J. (1981). *Manual de laboratorios de suelos en ingeniería civil*. México: Mc Graw Hill Book Co., U.S.A.
- Centro Especializado de Ingeniería y Tecnología S.A.C. (2022). *Centro especializado de ingeniería y tecnología*. <https://www.cingenieria.pe/articulos/el-estudio-del-suelo-para-pavimentos-de-carreteras/>
- Corporación Concejo Municipal San José de Cúcuta. (2019). *Plan de ordenamiento territorial*. San José de Cúcuta: Concejo Cúcuta.
- Departamento Administrativo Área de Planeación. (2017). *Proceso de revisión ordinaria del Plan de Ordenamiento Territorial - POT - etapa diagnóstico*. San José de Cúcuta: DAP.
- Flórez, C., Medrano, C., Sarmiento, M. & Flozano, L. (2005). Análisis y recopilación de información secundaria para la elaboración de la microzonificación sísmica preliminar de San José de Cúcuta, Colombia. *Revista Respuestas - Universidad Francisco de Paula Santander*, 10(2), 30-40.
- Fontalvo, M. (2020). *Estudio de suelos renovación urbana*. San José de Cúcuta.
- Gelves, B. (2014). *Estudio de suelos alcantarillado de aguas lluvias*. San José de Cúcuta.
- González, L. (2004). *Ingeniería geológica*. Madrid: Pearson Educación, S.A.
- Guacaneme, J. (2006). Zonificación de suelos en superficie de la ciudad de Tunja, Colombia. *Revista Épsilon*, (6), 29-44.
- Hedberg, H. D. (1931). Cretaceous limestone as Petroleum Source Rocks in Northwestern Venezuela. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 15(3), 239-244.
- Instituto Nacional de Vías. (2012a). *Sección 100 - Suelos - INVE – 169 – 13. En relación de soporte del suelo en el terreno (CBR IN-SITU)* (págs. 733 - 741). Bogotá: INVIAS.

Zonificación Geotécnica Preliminar con base en la correlación de los resultados de ensayos CBR, del área Urbana del Municipio de San José de Cúcuta, Norte de Santander.

Instituto Nacional de Vías. (2012b). *Sección 100 - Suelos - INV E – 148 – 13. En CBR de suelos compactados en el laboratorio y sobre muestra inalterada* (págs. 403 - 421). Bogotá: INVIAS.

Instituto Nacional de Vías. (2012c). *Sección 100 - Suelos - INV E – 105 – 13. En obtención de muestras de suelo mediante tubos de pared delgada* (págs. 79 - 87). Bogotá: INVIAS.

Instituto Nacional de Vías. (2012d). *Sección 100 - Suelos - INV E – 111 – 13. En ensayo normal de penetración (spt) y muestreo de suelos con tubo partido* (págs. 121 - 133). Bogotá: INVIAS.

Instituto Nacional de Vías. (2012e). *Sección 200 – agregados pétreos - INV E – 213 – 13. En análisis granulométrico de los agregados grueso y fino* (págs. 33 - 44). Bogotá: INVIAS.

La Librería del Ingeniero. (2022). *La librería del ingeniero*.

<https://www.libreriaingeniero.com/2017/09/limites-de-consistencia.html>

Moreno, N. (2013). *Zonificación y caracterización geotécnica de los suelos de barranquilla*.

Fase I. Barranquilla: Vicerrectoría de Investigaciones - Proyecto INV 1101- 01 - 001 - 2.

Moyano, G. (2017). *Estudio de suelos para la adecuación, mantenimiento e integración urbana del municipio de San José de Cúcuta*. San José de Cúcuta: Gobernación de Norte de Santander.

Murgueitio, A., Solano, E., Ruiz, J., Botina, L., Paz, C., Arboleda, C. & Rivas, N. (2007).

Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito.

Bogotá: Ministerio de Transporte, Instituto Nacional de Vías, Subdirección de Apoyo Técnico.

National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, & National

Research Council. (2001). *Appendix CC-1: Correlation of CBR values with soil index*

properties. Illinois: ARA, Inc., Eres Division.

Notestein, F., Hubman, C. & Bowler, J. (1944). Geology of the Barco Concession Colombia.

Geological Society of America Bulletin, 55, 1165-1216.

Oviedo, J., Ríos, P. & García, G. (2016a). *Geología de la plancha 88 - Cúcuta a escala*

1:100.000 departamento de Norte de Santander - Colombia. Bogotá: Servicios Geológico

Colombiano - Geociencias Básicas.

Oviedo, J., Ríos, P. & García, G. (2016b). *Anexo B mapa geológico de la plancha 88 Cúcuta*.

Cúcuta: Servicio Geológico Colombiano (SGC).

Zonificación Geotécnica Preliminar con base en la correlación de los resultados de ensayos CBR, del área Urbana del Municipio de San José de Cúcuta, Norte de Santander.

Páez, E. (2016). *Estudio de suelos*. San José de Cúcuta.

Rodríguez, J. (2016). *Estudio de suelo*. San José de Cúcuta.

Tecnosuelos. (2017). *Estudio de suelo y cimentación*. San José de Cúcuta: Tecnosuelos.

Torres, J. (2009). *Estudio de suelo y cimentación conjunto cerrado Portobello*. San José de Cúcuta.

Torres, J. (2013). *Estudio de suelos y cimentaciones*. San José de Cúcuta.

Van der Hammen, T. (1958). Estratigrafía del terciario y maestrichtiano continental y tectogénesis de los andes colombianos. *Boletín Geológico*, 6(1-3), 67-128.