CONSULTORÍA PARA LA ELABORACIÓN DEL ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL PUENTE HAMACA QUE COMUNIQUE EL CORREGIMIENTO DE SAN PEDRO Y EL MUNICIPIO DE LOS PATIOS, DE ACUERDO CON LA SENTENCIA PROFERIDA EL 23 DE MAYO DE 2013 CON RADICADO N° 54-001-33-33-004-2010-00034-00

VOLUMEN II. ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA

PRESENTADO POR:

TORRES INGENIERIA

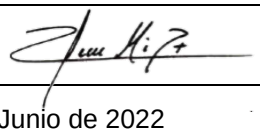
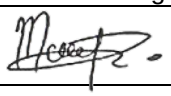
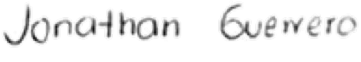
SOLICITADO POR:

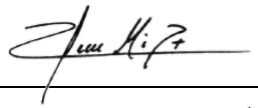
ALCALDÍA DE SAN JOSÉ DE CÚCUTA

JUNIO DE 2022

CONTROL DE ELABORACIÓN, REVISIÓN

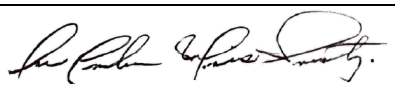
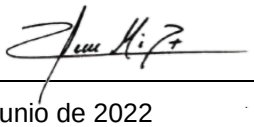
Y APROBACIÓN DE DOCUMENTOS EXTERNOS TEMA TÉCNICO

VERSIÓN No : 1		
Responsable por elaboración	Nombre	**Ing. Julio Cesar Torres Camargo** Especialista en geotecnia M.P. No. 68202-154199 STD
	Firma	
	Fecha	Junio de 2022
	Nombre	**Ing. Robinson Mantilla García** M.P. No. 68202-096289 STD Especialista en estructuras
	Firma	
	Fecha	Junio de 2022
	Nombre	**Ing. José Rubén Torres Camargo** M.P. No. 68202-104152 STD MSc con énfasis en recursos hídricos y suelo
	Firma	
	Fecha	Junio de 2022
	Nombre	**Ing. María Paula Aparicio Garzón** M.P. No. 68202-289525 STD Auxiliar de ingeniería
	Firma	
	Fecha	Junio de 2022
	Nombre	**Ing. Jhonathan Steve Guerrero Ferreira** M.P. No. 68202-386772 STD Apoyo
	Firma	
	Fecha	Junio de 2022

Responsable por la revisión	Nombre	**Ing. Robinson Mantilla García** M.P. No. 68202-096289 STD Director de la Consultoría
	Firma	
	Fecha	Junio de 2022
Responsable por aprobación	Nombre	**Ing. Guzmán Eduardo Pérez Gómez** Supervisor Subsecretario de Infraestructura
	Firma	
	Fecha	Octubre de 2022
	Nombre	**Arq. Adriana Morantes** Apoyo de la supervisión
	Firma	
	Fecha	Octubre de 2022

CONTROL DE ELABORACIÓN, REVISIÓN

Y APROBACIÓN DE DOCUMENTOS EXTERNOS TEMA PREDIAL

VERSIÓN No : 1		
Responsable por elaboración	Nombre	**Geógrafa Ana Carolina Mesias Sarasty** T.P. No 1180
	Firma	
	Fecha	Junio de 2022
Responsable por la revisión	Nombre	**Ing. Robinson Mantilla García** M.P. No. 68202-096289 STD Director de la Consultoría
	Firma	
	Fecha	Junio de 2022
Responsable por aprobación	Nombre	**Ing. Guzmán Eduardo Pérez Gómez** Supervisor Subsecretario de Infraestructura
	Firma	
	Fecha	Octubre de 2022
	Nombre	**Arq. Adriana Morantes** Apoyo de la supervisión
	Firma	
	Fecha	Octubre de 2022

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 10

2. OBJETIVOS 11

2.1 OBJETIVO GENERAL 11

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 11

3. GENERALIDADES 12

3.1 LOCALIZACIÓN 12

3.2 ALCANCES 15

3.3 METODOLOGÍA 16

3.3.1 Recopilación de la información existente y revisión bibliográfica 16

3.3.2 Sectorización geológica y evaluación de riesgos naturales 16

3.3.3 Caracterización hidrográfica, hidrológica y sísmica 17

3.3.4 Diagnóstico geotécnico y recomendaciones de diseño 17

3.4 NORMATIVIDAD 17

4. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA 18

5. SECTORIZACIÓN GEOLÓGICA 23

5.1 GEOLOGÍA REGIONAL 23

5.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL 25

5.3 GEOLOGÍA LOCAL 26

6. GEOMORFOLOGÍA 31

7. HIDROGRAFÍA 35

7.1 HIDROLOGÍA 41

7.2 HIDROGEOLOGÍA 43

8. EVALUACIÓN DE RIESGOS NATURALES 47

9. ANÁLISIS SÍSMICO 54

10. ANÁLISIS PREDIAL 59

11. EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS DE UBICACIÓN 62

11.1 CONDICIONAMIENTO TÉCNICO 62

11.2 CONDICIONAMIENTO PREDIAL 62

11.3 CONDICIONAMIENTO SOCIAL 63

11.4 CONDICIONAMIENTO PRESUPUESTAL 63

11.5 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA 65

12. ANÁLISIS GEOTÉCNICO 66

12.1 PLANTEAMIENTO PRELIMINAR DE ALTERNATIVAS DE CIMENTACIÓN 72

13. ESTIMACIÓN DE LAS CANTIDADES DE OBRA 77

14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 80

15. BIBLIOGRAFÍA 83

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización del Área Metropolitana de Cúcuta. 12
Figura 2. Ubicación del sector..... 13
Figura 3. Metodología de trabajo 16
Figura 4. Análisis multitemporal año 2010 al 2016. 19
Figura 5. Análisis multitemporal año 2017 al 2021. 20
Figura 6. Panorámica actual del área de estudio, hacia el corregimiento San Pedro (Margen izquierdo aguas abajo)..... 21
Figura 7. Proyección de las alternativas en el área de estudio..... 22
Figura 8. Geología regional del área de estudio..... 24
Figura 9. Mapa geológico generalizado del Departamento de Norte de Santander..... 26
Figura 10. Mapa de unidades geológicas superficiales para Ingeniería escala 1:25.000 27
Figura 11. Suelos transportados de cauce activo (Stca) y de planicie de inundación (Stpi). 28
Figura 12. Columna estratigráfica – Suelos transportados de depósitos de terraza, margen izquierdo del cauce del río Pamplonita. 29
Figura 13. Suelos transportados de planicie de inundación (Stpi) y de terraza aluvial (Stta). 29
Figura 14. Subdivisión zona hidrográfica Caribe. 35
Figura 15. Cuencas hidrográficas de Norte de Santander..... 36
Figura 16. Caracterización de la cuenca del río Pamplonita..... 37
Figura 17. Identificación y localización de sistemas de producción predominantes. Cuenca del río Pamplonita..... 38
Figura 18. Subcuencas de la SZH del río Pamplonita 39
Figura 19. Microcuenca del corregimiento San Pedro, Cúcuta..... 40
Figura 20. Localización estaciones hidrológicas y puntos de monitoreo..... 41
Figura 21. Distribución de precipitaciones mensuales Estación La Don Juana. 42
Figura 22. Distribución de provincias hidrogeológicas por área hidrográfica – Provincia Hidrogeológica Catatumbo (PM6) 44
Figura 23. Distribución de sistemas acuíferos por áreas hidrográficas, provincias hidrogeológicas y sistemas acuíferos. 44

Figura 24. Mapa de unidades hidrogeológicas definidas para la zona de la cuenca del río Pamplonita..... 46
Figura 25. Mapa de susceptibilidad por remoción en masa a escala :100.000..... 47
Figura 26. Mapa de amenaza relativa por movimientos en masa a escala 1:100.000..... 48
Figura 27. Reporte de movimientos en masa en el área de estudio..... 49
Figura 28. Mapa de amenaza por movimientos en masa a escala 1:25.000 50
Figura 29. Mapa de condición de riesgo por movimientos en masa a escala 1:25.000 51
Figura 30. Mapa de amenaza por inundación a escala 1:25.000 52
Figura 31. Aceleración Pico Horizontal del terreno PGA. 54
Figura 32. Coeficiente de aceleración espectral horizontal t=0.2 (Ss). 55
Figura 33. Coeficiente de aceleración espectral horizontal t=1.0 (S1). 56
Figura 34. *Regiones de amenaza sísmica.* 57
Figura 35. Identificación de predios para cada alternativa. 59
Figura 36. Identificación de predios para accesos Alternativa 2. 61
Figura 37. Esquema de la propuesta exploración geotécnica a ejecutar en la fase de estudios y diseños definitivos. 70
Figura 38. Fotografía de Puente hamaca Tipo 71
Figura 39. Sección transversal de Puente Hamaca Tipo. 72
Figura 40. Esquema de cimentación propuesta Alternativa Nº1 74
Figura 41. Esquema de cimentación propuesta Alternativa Nº2 75

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Localización de las alternativas planteadas..... 15
Tabla 2. Municipios que conforman la cuenca del río Pamplonita. 36
Tabla 3. Quebradas que componen la subcuenca 6- JUANA PAULA 5160106 de la cuenca del río Pamplonita..... 39
Tabla 4. Parámetros morfométricos subcuenca 6- JUANA PAULA 5160106 40
Tabla 5. Matriz de riesgos naturales 53
Tabla 6. Magnitudes Amenaza sísmica para el Corregimiento San Pedro, Departamento de Norte de Santander. 58
Tabla 7. Afectación predial con respecto a cada alternativa..... 60
Tabla 8. Área de afectación predial con respecto a cada alternativa..... 60
Tabla 9. Afectación predial con respecto los accesos Alternativa 2. 61
Tabla 10. Análisis de costos por ml para la construcción de puente hamaca. 63
Tabla 11. Costos de Construcción de las alternativas planteadas..... 64
Tabla 12. Análisis multicriterio para la definición de la alternativa. 65
Tabla 13. Coordenadas de la exploración geotécnica propuesta. 69
Tabla 14. Cantidades de Obra para la alternativa de cimentación 1 Incluye obras para la socavación..... 77
Tabla 15. Cantidades de Obra para la alternativa de cimentación 2 Incluye obras para la socavación..... 78

1. INTRODUCCIÓN

El Corregimiento de San Pedro se encuentra ubicado en el Sector Sur del municipio de San José de Cúcuta, en el departamento de Norte de Santander, no cuenta con transporte público ni conexión directa con el municipio más próximo, Los Patios, teniendo en cuenta que por su cercanía permite a la población de este sector acceder a servicios educativos, laborales, de transporte, comerciales, bancarios, y recreativos.

Con la necesidad de evaluar la factibilidad desde el punto de vista técnico, social, ambiental, jurídico y económico para la construcción de una infraestructura que comunique a los habitantes del Corregimiento San Pedro con el Municipio de Los Patios, y considerando como principal fuente de financiación los recursos del municipio de San José de Cúcuta, se adelanta la CONSULTORÍA PARA LA ELABORACIÓN DEL ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL PUENTE HAMACA QUE COMUNIQUE EL CORREGIMIENTO DE SAN PEDRO Y EL MUNICIPIO DE LOS PATIOS, DE ACUERDO CON LA SENTENCIA PROFERIDA EL 23 DE MAYO DE 2013 CON RADICADO N° 54-001-33-33-004-2010-00034-00

Entre los estudios de factibilidad ejecutados por la empresa TORRES ING S.A.S, se contempla el estudio de factibilidad técnica, con el cual se pretende justificar la viabilidad y calidad de la alternativa seleccionada, de acuerdo con la sensibilidad de ésta a las condiciones geológicas, geomorfológicas, geotécnicas, hidrológicas e hidráulicas, que permitan brindar una infraestructura acorde a lo establecido en los requerimientos técnicos del CCP-14 del INVIAS, así mismo, se incluye lo correspondiente al análisis predial.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar el estudio de factibilidad técnica del puente hamaca que comunique el Corregimiento de San Pedro con el municipio de Los Patios, teniendo como fuente de financiación el municipio de San José de Cúcuta.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

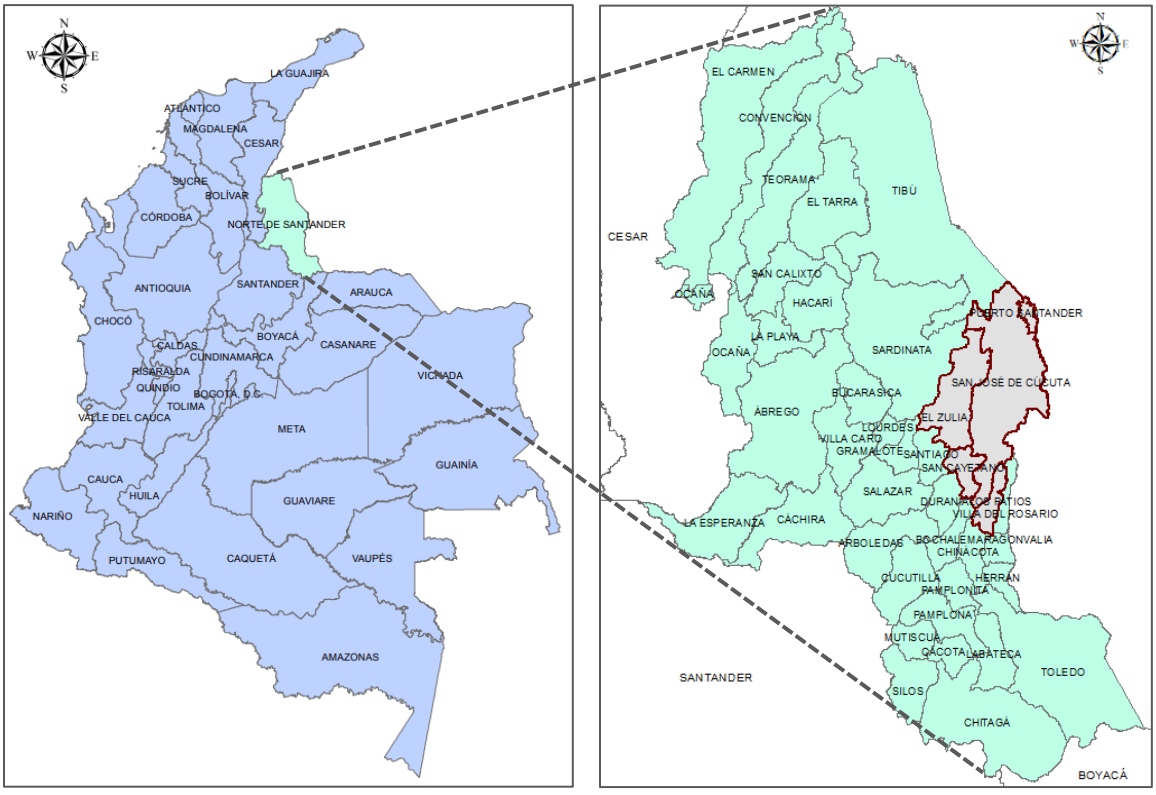
- Referenciar cartográficamente el área en estudio y las alternativas planteadas.
- Evaluar las condiciones geológicas, hidrológicas e hidrogeológicas del área donde se encuentran proyectadas las alternativas de construcción del puente hamaca.
- Realizar una evaluación de riesgos naturales en el área de influencia del proyecto de acuerdo a información preexistente.
- Establecer la caracterización sísmica del área de estudio según la CCP-14.
- Efectuar un análisis geotécnico del área de estudio y un planteamiento esquemático de alternativas de cimentación y pre-diseño de la estructura.
- Emitir recomendaciones referentes a los aspectos relevantes a tener en cuenta en los estudios y diseños de detalle.

3. GENERALIDADES

3.1 LOCALIZACIÓN

El Área Metropolitana de Cúcuta se ubica en la región oriental del departamento de Norte de Santander, y corresponde a la entidad administrativa conformada por los municipios de San José de Cúcuta, Villa del Rosario, Los Patios, El Zulia, San Cayetano y Puerto Santander (Figura 1).

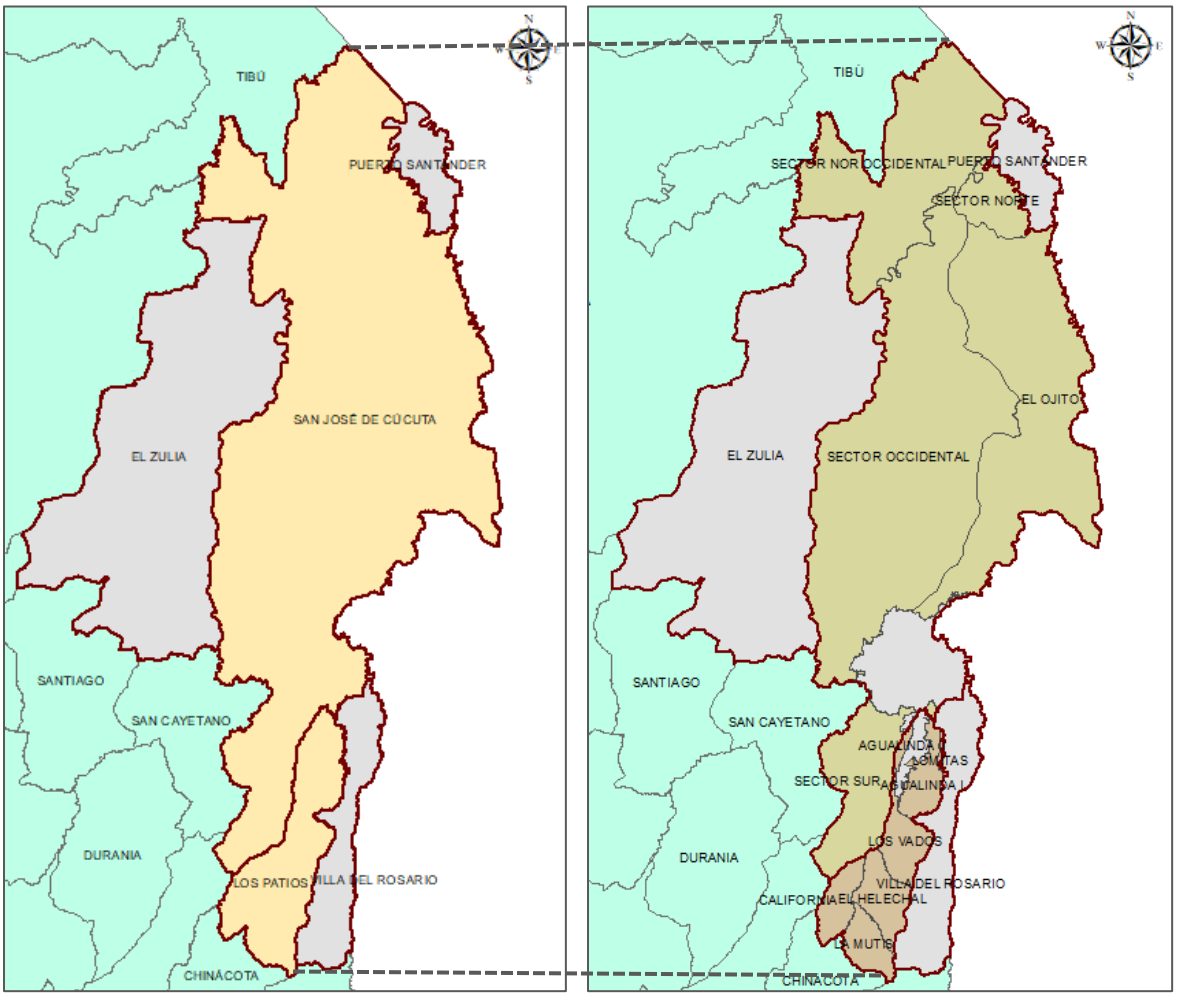
Figura 1. Localización del Área Metropolitana de Cúcuta.



Fuente: Modificado del Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

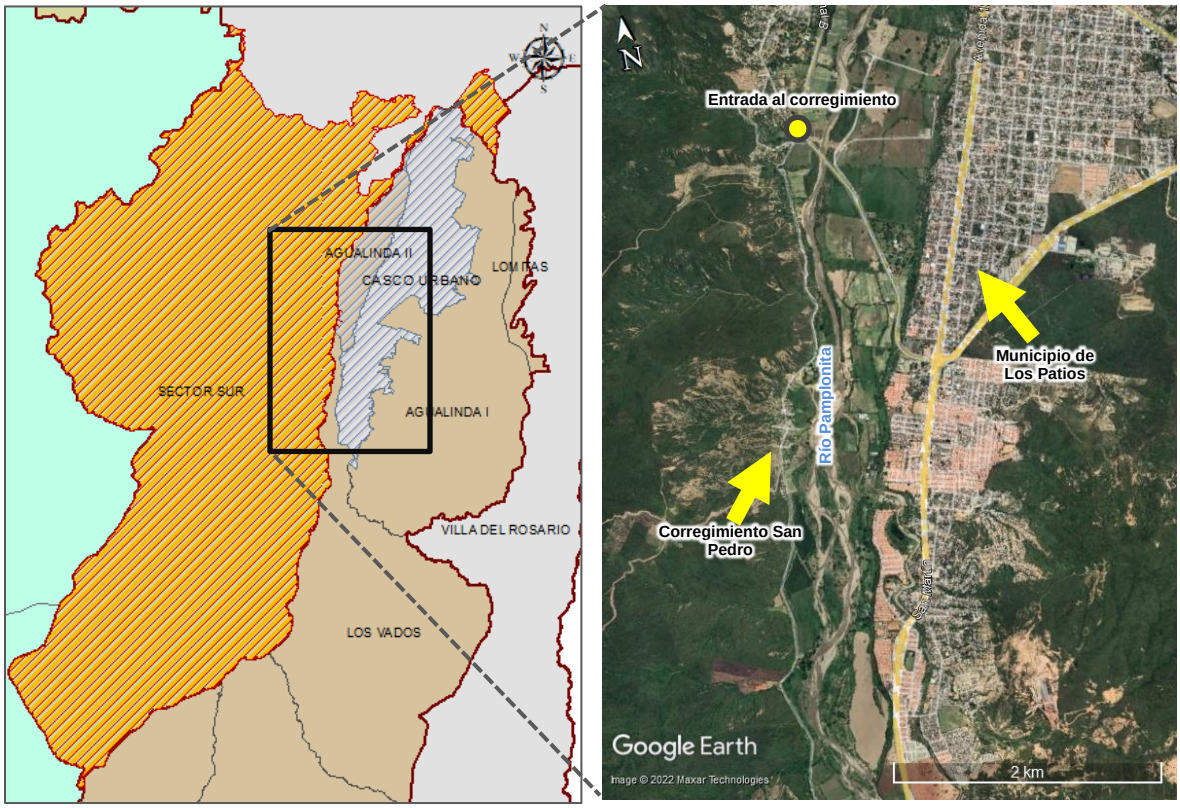
La factibilidad comprende la construcción de puente hamaca localizado en el límite de los municipios de Cúcuta y Los Patios, sobre el río Pamplonita, funcionando como conexión entre el Corregimiento de San Pedro (Sector Sur del municipio de San José de Cúcuta), y la cabecera municipal de Los Patios, atravesando la vereda Agualinda II (Figura 2).

Figura 2. Ubicación del sector.



Fuente: Modificado del Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Figura 2. Ubicación del sector.



Fuente: Modificado del Instituto Geográfico Agustín Codazzi y Google Earth.

Con el fin de desarrollar el estudio de factibilidad técnica del puente hamaca en el corregimiento San Pedro del Municipio de Cúcuta, se tiene en cuenta la alternativa propuesta en el anexo técnico de la Secretaría de Infraestructura Municipal de San José de Cúcuta (Alternativa N°1). Así mismo, la presente consultoría propone la ubicación de dos alternativas adicionales (N°2 y N°3) con el fin de evaluar cuál de estas proyecciones presenta mayor viabilidad en términos ambientales, sociales y económicos. A continuación, se presenta las coordenadas de ubicación de las alternativas, siendo el punto de inicio el margen izquierdo aguas abajo donde se localiza el corregimiento San Pedro, y el punto final el margen derecho del río Pamplonita, donde se ubica el municipio de Los Patios (Tabla 1).

- La alternativa N°1 se encuentra localizada en las coordenadas geográficas Inicio: 7°49'16.1"N - 72°31'17.4"O y Fin: 7°49'15.8" N - 72°31'15.3" O. Presenta una longitud aproximada de 66 metros.
- La alternativa N°2 se encuentra localizada en las coordenadas geográficas Inicio: 7°49'20.50"N - 72°31'17.00"O y Fin: 7°49'19.61"N - 72°31'13.22"O. Presenta una longitud aproximada de 120 metros.
- La alternativa N°3 se encuentra localizada en las coordenadas geográficas Inicio: 7°49'27.50"N - 72°31'16.12"O y Fin: 7°49'26.97"N - 72°31'12.99"O. Presenta una longitud aproximada de 98 metros.

Tabla 1. Localización de las alternativas planteadas.

TRAMO	COORDENADA INICIO MAGNA SIRGAS ESTE		COORDENADA FIN MAGNA SIRGAS ESTE		LONGITUD (m)
	ESTE	NORTE	ESTE	NORTE	
Alternativa 1	840.723	1.356.910	840.789	1.356.901	66
Alternativa 2	840.736	1.357.048	840.853	1.357.019	120
Alternativa 3	840.764	1.357.262	840.861	1.357.245	98

Fuente: Consultor.

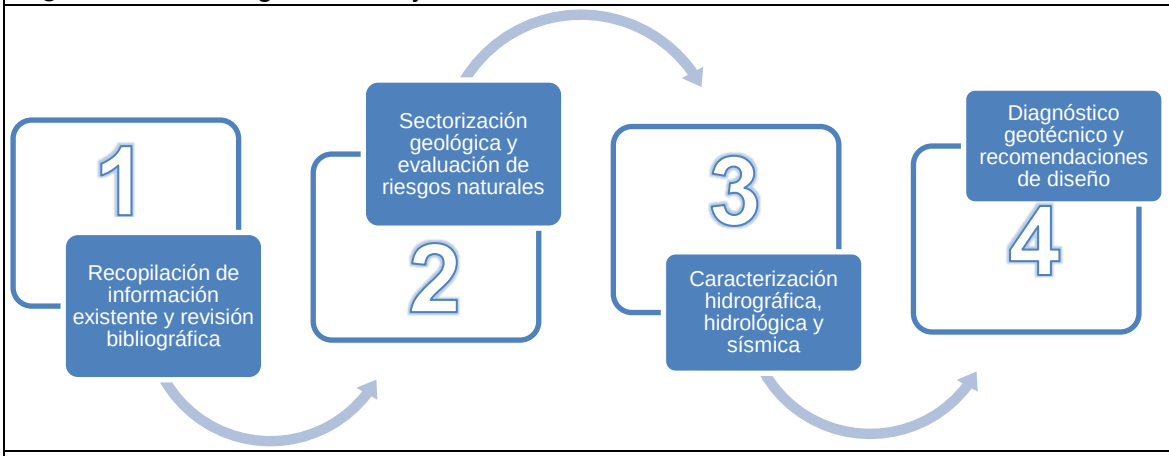
3.2 ALCANCES

El presente estudio tiene como alcance el análisis de la factibilidad técnica de las alternativas de construcción de un puente tipo hamaca que comunique el corregimiento de San Pedro y el municipio de Los Patios, ubicados en el departamento de Norte de Santander. Este análisis contempla una revisión y recopilación de información secundaria acerca del contexto geológico, geomorfológico e hidrológico del área, evaluación de riesgos naturales y caracterización sísmica. Así mismo, contempla un análisis predial y geotécnico preliminar con el planteamiento esquemático de las alternativas de cimentación y diseño de la estructura de acuerdo a los lineamientos establecidos en la Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP-14.

3.3 METODOLOGÍA

La metodología del desarrollo del estudio de factibilidad técnica del puente hamaca se presenta a continuación.

Figura 3. Metodología de trabajo



Fuente: Consultor.

A continuación, se describen las actividades desarrolladas para la ejecución del presente estudio:

3.3.1 Recopilación de la información existente y revisión bibliográfica

Se realiza revisión de información secundaria de diversas fuentes como el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del municipio de San José de Cúcuta y el Plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Pamplonita (POMCA), información cartográfica del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, planchas geológicas regionales del Servicio Geológico Colombiano, Planes de desarrollo del Municipio de Los Patios, entre otras fuentes.

3.3.2 Sectorización geológica y evaluación de riesgos naturales

Con la información secundaria recopilada, y el apoyo de modelos digitales del terreno y registro fotográfico del área se describen cada una de las unidades litológicas aflorantes a

escala local, así como las geoformas presentes y los procesos morfodinámicos activos y/o latentes que en ellas intervienen, junto con la evaluación de la morfometría del terreno.

3.3.3 Caracterización hidrográfica, hidrológica y sísmica

Se realiza la sectorización hidrográfica, con la definición de zona hidrográfica, subzona hidrográfica y área hidrográfica, y se genera una delimitación del área de drenaje de la cuenca en estudio. En términos de hidrogeología se determina la provincia hidrogeológica y el sistema acuífero existente en el área. Finalmente, se realiza la caracterización sísmica según la CCP-14.

3.3.4 Diagnóstico geotécnico y recomendaciones de diseño

Mediante el análisis de las condiciones topográficas, geológicas e hidrológicas del área, se genera un diagnóstico geotécnico evaluando cuál de estas alternativas presenta mayor viabilidad técnica para la construcción del puente hamaca, emitiendo así mismo recomendaciones preliminares sobre alternativas de cimentación requeridas y la proyección esquemática de la estructura.

3.4 NORMATIVIDAD

- Norma colombiana de diseño de puentes – LRFD – CCP14.
- Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

4. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA

A continuación, se genera un análisis multitemporal por medio de fotografías históricas obtenidas por la herramienta Google Earth en las que se identifica cambios en la morfometría del río Pamplonita con una dinámica de sedimentación y socavación variable con respecto a la localización del área proyectada para la construcción del puente hamaca (Figura 4 y Figura 5).

El registro fotográfico comienza en el año 2010, donde en este periodo el drenaje presenta una sinuosidad poco pronunciada, con la formación de barras longitudinales y pequeñas barras laterales dispuestas principalmente hacia el margen derecho aguas abajo, en el sector de Los Patios, donde el drenaje empieza a invadir la zona de inundación y a formar delgados canales divididos del cauce principal.

Entre el año 2014 y 2015 se acentúa la acumulación de sedimentos; sobre las barras longitudinales y laterales formadas a lo largo del drenaje se observa crecimiento de vegetación. En el año 2015 se aprecia una disminución en el nivel del caudal con respecto al año anterior. Así mismo, se contrasta la dirección del drenaje el cual socava el margen izquierdo aguas abajo (San Pedro) más de 30 metros desde el registro del año 2010, generando pequeñas terrazas de acumulación en la zona proyectada con la Alt N°1.

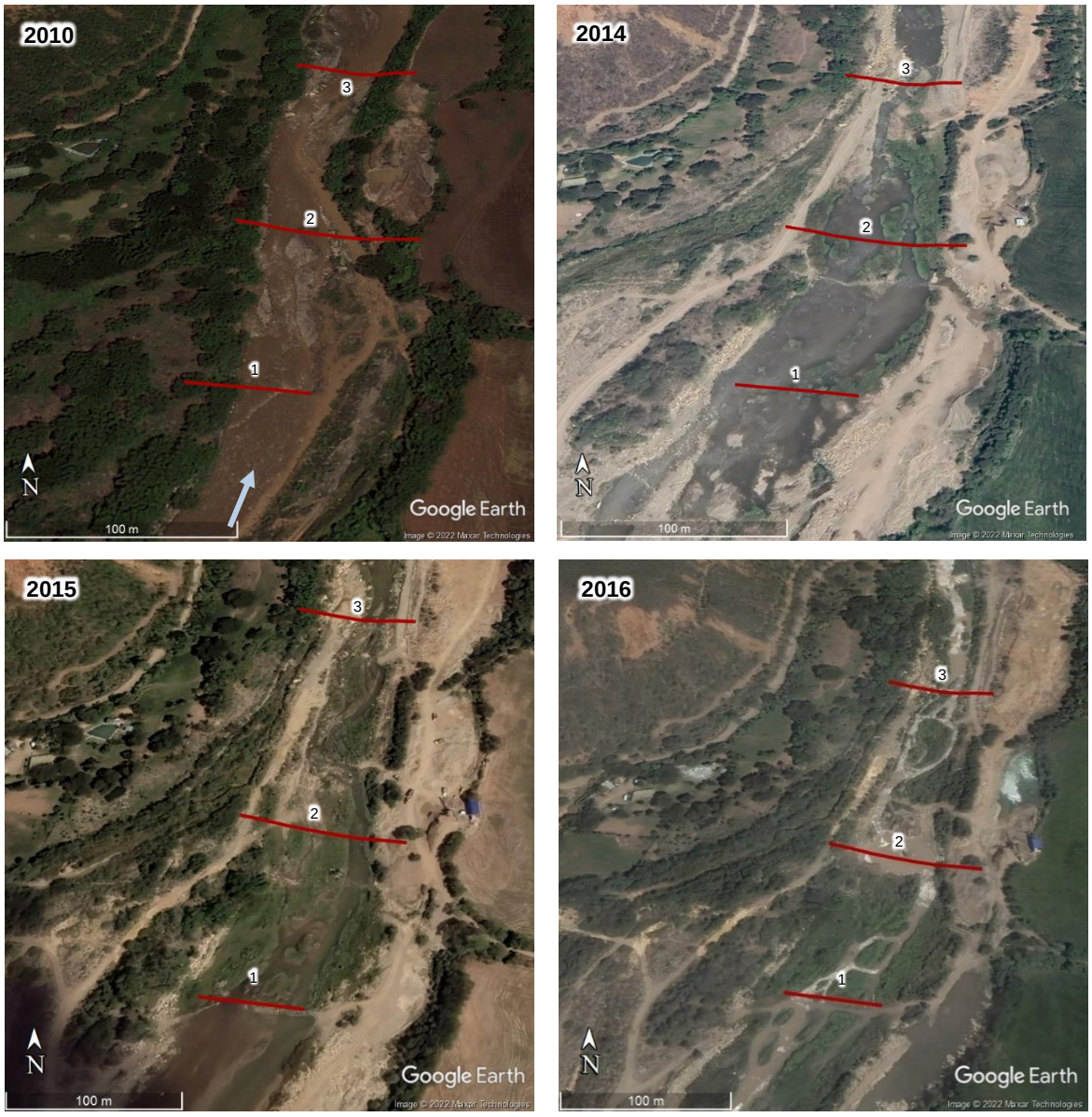
En el año 2016, se observa la formación de una corriente trenzada, con canales múltiples divididos dentro del cauce principales dejando al descubierto nuevas zonas de acumulación y sedimentación de material (barras longitudinales recientes) y zonas de inundación amplias.

En el año 2017, un aumento del caudal permite invadir las zonas de inundación y desaparecen las corrientes trenzadas para formarse un único canal continuo. Aún se conservan algunas barras longitudinales subrecientes. En contraste, el registro del año 2020 expone nuevamente la formación de corrientes trenzadas, con vastas zonas de acumulación de sedimentos.

Desde el año 2021, con las evidencias tomadas en la visita de inspección en el área (Figura 6) la formación de espesas zonas de acumulación de sedimentos, principalmente arenas y

gravas ha despertado el interés de empresas extractoras que actualmente laboran en el sector obteniendo materiales para construcción.

Figura 4. Análisis multitemporal año 2010 al 2016.



Fuente: Consultor, modificado de Google Earth.

Figura 5. Análisis multitemporal año 2017 al 2021.



Fuente: Consultor, modificado de Google Earth.

Figura 6. Panorámica actual del área de estudio, hacia el corregimiento San Pedro (Margen izquierdo aguas abajo).



Fuente: Consultor.

De acuerdo a la selección alternativas de construcción del puente, se logró definir que la zona donde se proyecta la alternativa N°1 propuesta en el anexo técnico, ha sufrido de cambios

notables a lo largo de los años por la dinámica del cauce, proyectándose la cimentación de la estructura sobre zonas de inundación recientes que, en periodos futuros de fuertes precipitaciones y aumento de la lámina de agua pueden contribuir a la afectación de los estribos por socavación cuando el cauce invada nuevamente estas llanuras.

Las alternativas N°2 y N°3 presentan condiciones más estables de acuerdo al comportamiento del drenaje en dichas áreas; la estructura se proyecta, para ambos casos, sobre depósitos de terrazas de acumulación antiguos, consolidados y topográficamente en cotas mayores que el nivel base del cauce activo y de las zonas de inundación, llanuras que, en estos sectores, son menos extensas que las formadas sobre la Alternativa N°1 (Figura 7).

Figura 7. Proyección de las alternativas en el área de estudio.



Fuente: Consultor.

5. SECTORIZACIÓN GEOLÓGICA

5.1 GEOLOGÍA REGIONAL

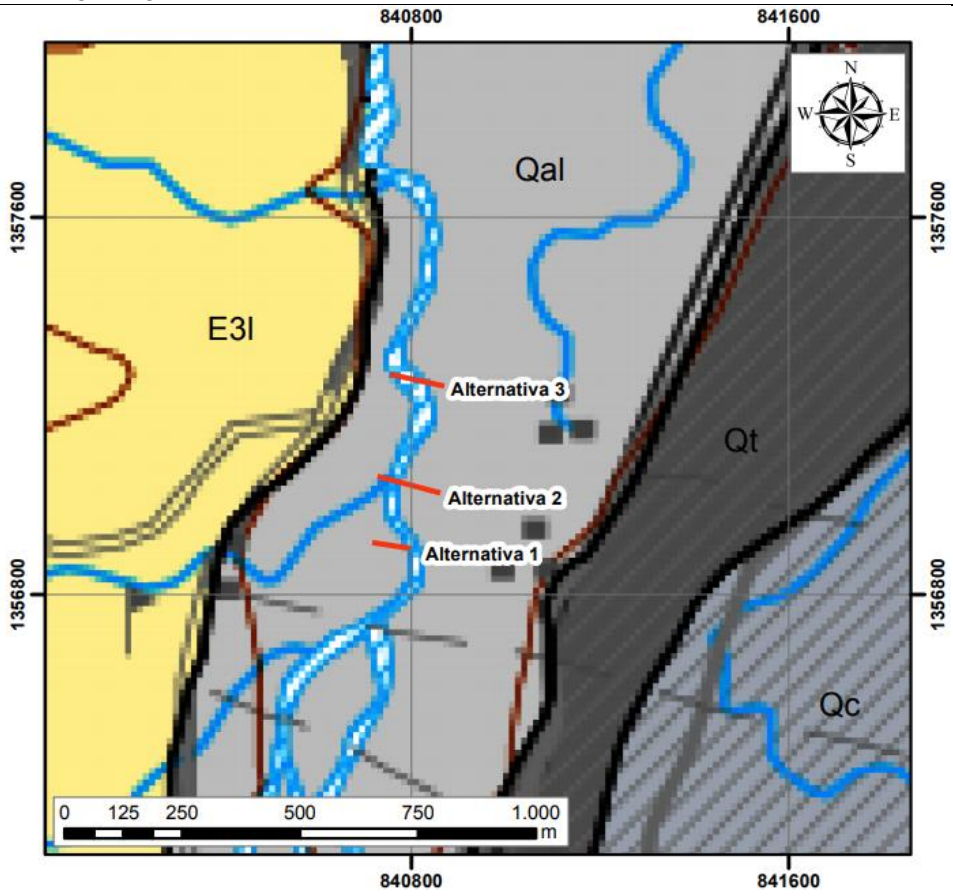
El municipio de Cúcuta se ubica sobre la vertiente oriental de la Cordillera Oriental y en la esquina sureste donde se bifurca la Cordillera Oriental Andina. Afloran rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias con edades que varían desde el Precámbrico hasta depósitos cuaternarios. Regionalmente, el área de estudio se caracteriza por una tectónica muy compleja caracterizada por un estilo estructural de fallamiento inverso con múltiples plegamientos. El cabalgamiento se caracteriza por ser en bloques y pliegues en dirección NNE-SSW (Fúquen et. al, 2011).

De acuerdo a la geología de la plancha 99 Villa del Rosario a escala 1:100.000 propuesta por Fúquen et. al, (2010) y expuesta en la Figura 8, el área de estudio se compone de unidades cuaternarias asociadas a la dinámica propia del río Pamplonita tales como depósitos aluviales (Qal), depósitos de Pendiente (Qc) y depósitos de terraza (Qt); estos depósitos aluviales constituyen geoformas de origen fluvial como llanuras de inundación y terrazas de acumulación, con morfologías planas a suavemente inclinadas. Hacia el margen derecho del área de estudio, sobre el corregimiento San Pedro, aguas abajo del río Pamplonita, afloran rocas sedimentarias paleógenas de la Formación León (E3l), constituidas por lodolitas grisáceas, y ocasionalmente intercalaciones de areniscas cuarzosas (Fúquen et. al, 2011).

A continuación, se presenta una descripción detallada de las litologías existentes;

Formación León (E3l): Compuesta predominantemente por lodolitas grises y gris verdosas, con escasas intercalaciones de areniscas de cuarzo, grises, de grano fino a medio. Su origen se asocia a un ambiente de depositación transicional deltaico (Royero, 2001 en Fúquen et al., 2011). La evolución geológica de la subcuenca del río Pamplonita y el río Zulia contribuyó a la formación de unidades sedimentarias litológicamente diversas desde el Oligoceno hasta el Plioceno, con la generación de materiales arcillosos, lutitas, lodolitas, areniscas incluidas dentro de la Formación León (INGEOMINAS, 1998 en Flórez et al., 2018).

Figura 8. Geología regional del área de estudio.



Cuaternario	**Qal:** Depósitos aluviales
	Qc: Depósitos de pendiente
	Qt: Depósitos de terraza
Paleógeno	**E3l:** Formación León

Fuente: Modificado de Fúquen et al., 2010

Depósitos cuaternarios (Qal, Qc, Qt): Sobre el área de estudio afloran depósitos recientes, los cuales cubren discordantemente rocas cretácicas y paleógenas (Fúquen et. al, 2011). Las unidades geológicas identificadas se clasifican, así:

Depósitos de pendiente (Qc), con morfología ondulada, asociados a coluviales y derrubios producto de fenómenos de erosión intensos y actividad tectónica que contribuye a la acumulación de fragmentos de roca de tamaños y composiciones variables inmersos en

matrices limosas y arenosas, los cuales son transportados por gravedad y depositados en zonas de pendiente baja.

Depósitos aluviales (Qal), los cuáles se extienden a lo largo de los valles de ríos y quebradas, constituidos por arenas y gravas de tamaños hasta bloques.

Depósitos de terraza (Qt), afloran en grandes extensiones, y corresponde a sedimentos de composiciones y tamaños variables, consolidados, conformados con el tiempo por la dinámica de acumulación de los cauces hacia los márgenes del mismo.

5.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

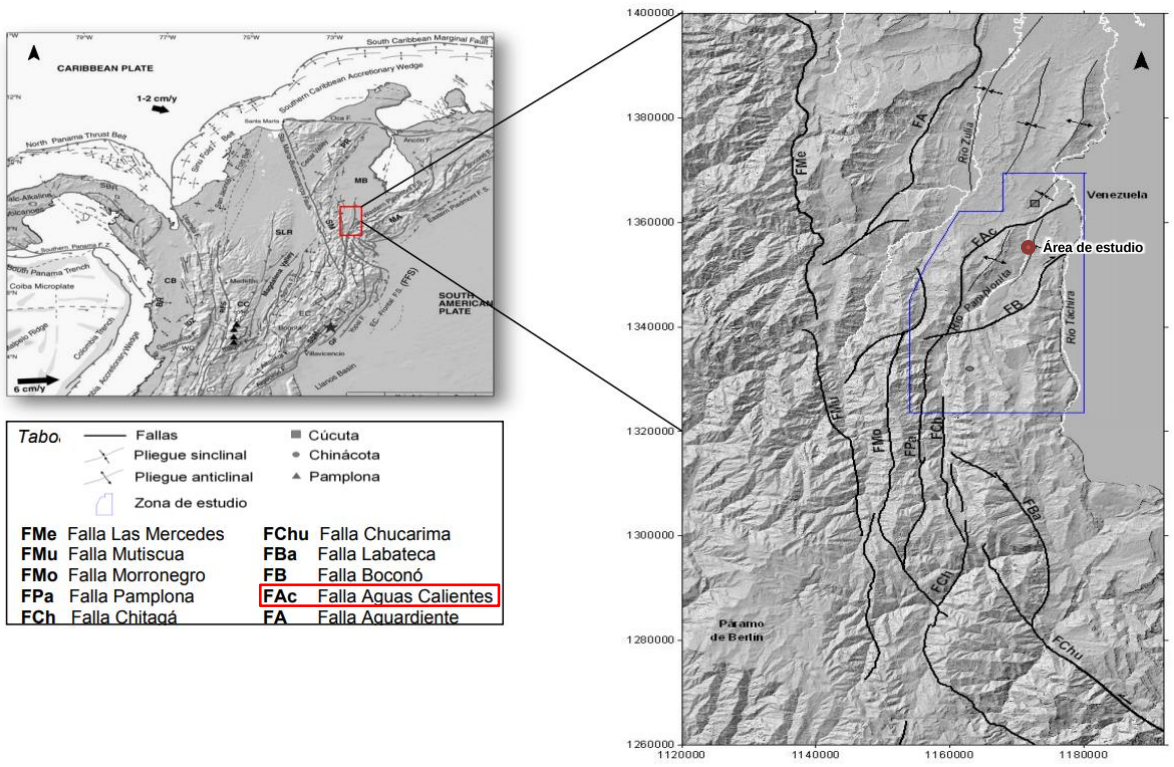
El complejo control estructural del municipio de San José de Cúcuta responde a la evolución tectónica de los Andes del Norte Colombiano y los Andes de Mérida en Venezuela. Los sistemas de fallas más representativos presentan dirección NE-SW y N-S, y se definen fallas secundarias en dirección transversal a los sistemas principales (Uunión temporal-planeando Cúcuta, 2017).

De acuerdo al mapa geológico generalizado del Departamento de Santander expuesto en la Figura 9, el sector sur del municipio de Cúcuta se encuentra influenciado directamente por el Sistema de fallas de Aguas Calientes, el cuál es la prolongación del sistema que es conocido con este nombre en Venezuela (Diederix et. al., 2009). Por otra parte, Singer y Beltrán (1996) en Diederix et. al., (2009), consideran este sistema y el sistema Palo Colorado – Boconó, como los responsables de los principales sismos ocurridos en el área de Cúcuta, como el evento ocurrido en 1875.

La Falla de Aguascalientes se define como un ramal sur del Sistema del mismo nombre; su trazo cruza por el sur del municipio de Ureña en Venezuela y continúa en Colombia por el Río Táchira. Se caracteriza topográficamente por generar un amplio lomo de presión (Pressure Ridge); entre las evidencias de deformación neotéctónica identificadas hacia el sur de Cúcuta y asociadas a esta estructura se encuentra la deformación de depósitos cuaternarios, la

presencia de aguas termales, los cambios de buzamiento en los estratos que componen unidades geológicas terciarias y paleosismitas (Diederix et. al., 2009).

Figura 9. Mapa geológico generalizado del Departamento de Norte de Santander.



Fuente: INGEOMINAS, 1997 en Diederix et. al., 2009.

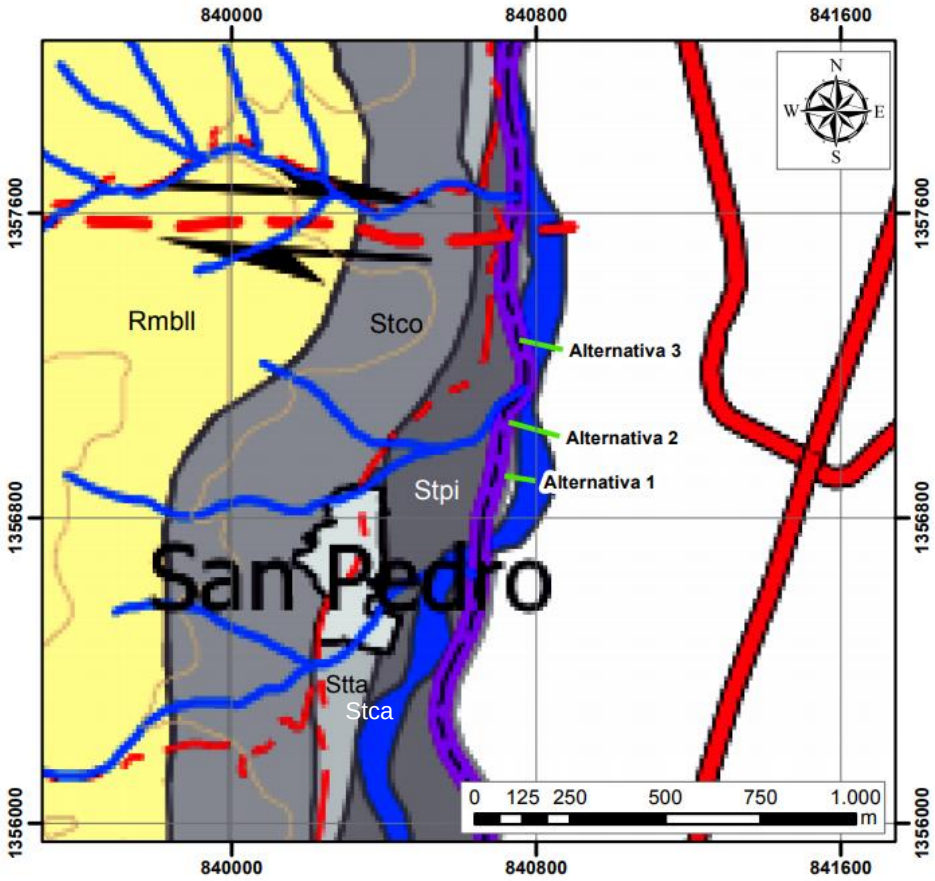
5.3 GEOLOGÍA LOCAL

Dentro de los estudios técnicos y productos previstos en el marco jurídico vigente dentro del proceso de estudio para la revisión ordinaria del Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de San José de Cúcuta realizados por Unión Temporal-planeando Cúcuta (2017), se encuentra la etapa DIAGNÓSITCO I-A- Estructura biofísica-Gestión del riesgo rural, donde se genera un marco geológico-geotécnico a escala local (1:25.000) por medio de la definición de unidades geológicas superficiales para Ingeniería, partiendo de la identificación de

unidades litoestratigráficas, y posteriormente analizando el comportamiento de estos materiales al desarrollar unidades de roca, suelos residuales, transportados y antrópicos.

Los aspectos más relevantes para el conocimiento geológico local del área de se exponen a continuación.

Figura 10. Mapa de unidades geológicas superficiales para Ingeniería escala 1:25.000

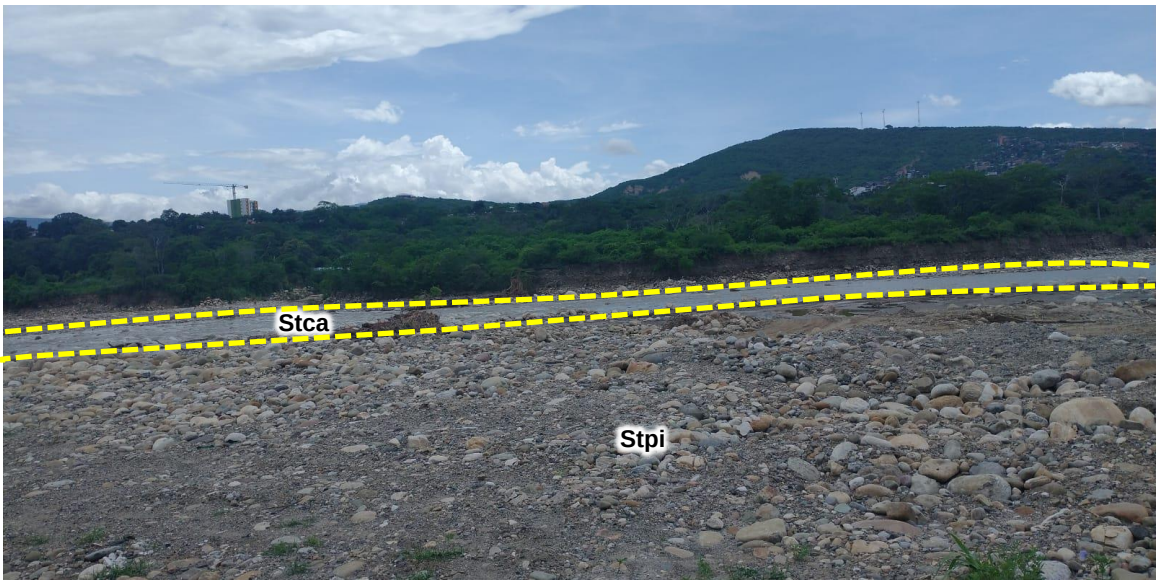


Suelos	**Transportados**	**Stca:** Suelo transportado de cauce aluvial
		Stpi: Suelo transportado de planicie de inundación
		Stta: Suelo transportado de terraza aluvial
		Stco: Suelo transportado de depósito coluvial
Rocas		**Rmbll:** Roca muy blanda de lodolitas de la Formación León.

Fuente: Modificado de Unión temporal-planeando Cúcuta., 2017.

El puente proyectado se ubica sobre un suelo transportado (Stca) asociado al cauce aluvial activo del río Pamplonita, el cuál presenta fenómenos de suspensión, saltación y arrastre del material que erosiona a través de su cauce, formando depósitos de espesores variables enriquecidos de arenas y gravas, tal como se expone en la Figura 11 y la geología regional descrita por Fúquen et al., 2010.

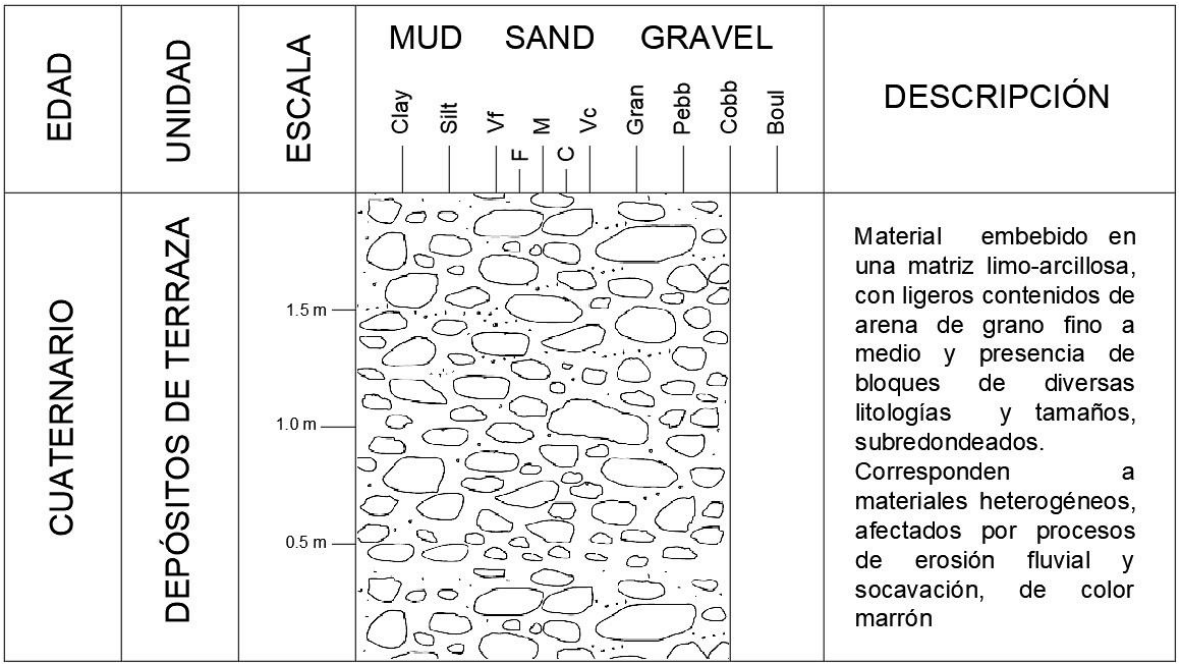
Figura 11. Suelos transportados de cauce activo (Stca) y de planicie de inundación (Stpi).



Fuente: Consultor.

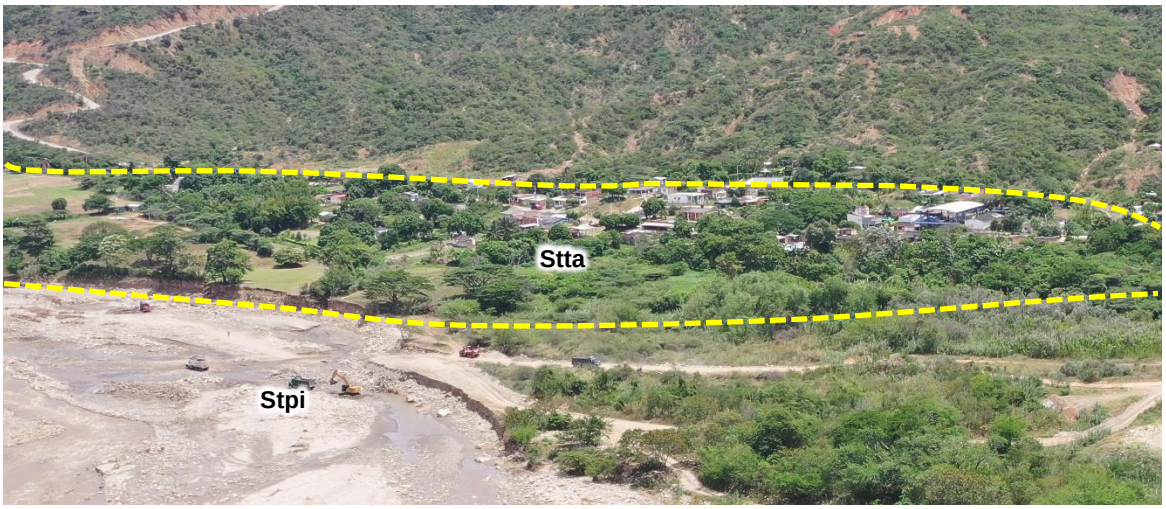
Hacia las márgenes del drenaje se deposita un suelo transportado de planicie de inundación (Stpi) (Figura 11 y Figura 13), el cual se desarrolla en periodos de inundación por eventos pluviales intensos y contiene sedimentos heterogéneos entre arenas, limos y gravas de tamaños y composiciones variables (Figura 12). Por su parte, el casco urbano de San Pedro reposa sobre un suelo transportado de terraza aluvial (Stta), el cual se constituye por medio del transporte, depositación y consolidación de materiales heterogéneos por la acción del cauce aluvial en distintos periodos (Figura 13) (Unión temporal-planeando Cúcuta, 2017).

Figura 12. Columna estratigráfica – Suelos transportados de depósitos de terraza, margen izquierdo del cauce del río Pamplonita.



Fuente: Consultor.

Figura 13. Suelos transportados de planicie de inundación (Stpi) y de terraza aluvial (Stta).



Fuente: Consultor.

El diagnóstico de la geología local del área a escala 1:25.000 identifica una nueva unidad, la cual no es definida en la sectorización geológica regional, ésta corresponde a un suelo transportado coluvial (Stco) el cuál se extiende sobre la base de las laderas adyacentes al casco Urbano del corregimiento y es producto de movimientos en masa antiguos que han depositado bloques, cantos y quijarros embebidos en matrices limosas. Finalmente, los taludes afectados por dichos procesos morfodinámicos y de erosión están compuestos de rocas muy blandas de tipo lodolitas de la Formación León (Rmbll), fisiles, de tonalidades marrones y gris verdosas principalmente, muy meteorizadas, que generan surcos y cárcavas (Unión temporal-planeando Cúcuta, 2017).

El estilo estructural identificado hacia la zona sur del municipio de San José de Cúcuta se define por la presencia de sistemas de fallas en dirección NE-SW, con una cinemática inversa y de rumbo dextral (Figura 10), las cuáles se encuentran desplazadas por sistemas transversales en dirección WNW-ESE (Unión temporal-planeando Cúcuta, 2017).

6. GEOMORFOLOGÍA

Sobre el área metropolitana de Cúcuta es notable la presencia de depósitos Cuaternarios que exhiben diferentes grados de erosión y están ubicados a diferentes cotas topográficas, con geoformas de origen fluvial tales como llanuras de inundación y acumulaciones de gravas que forman terrazas en los valles de los ríos principales (Diederix et. al. 2009).

El área rural del Municipio de Cúcuta se caracteriza por presentar problemas de erosión e inestabilidad en laderas generando movimientos en masa en varios sectores.

Según el mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa - Plancha 099 Villa del Rosario, del Servicio Geológico Colombiano (2015), el área de estudio se encuentra dominada por un ambiente fluvial y estructural (Figura 11).

A continuación, se resume los principales aportes de SGC (2015) en la clasificación y descripción de las unidades geomorfológicas que componen el área.

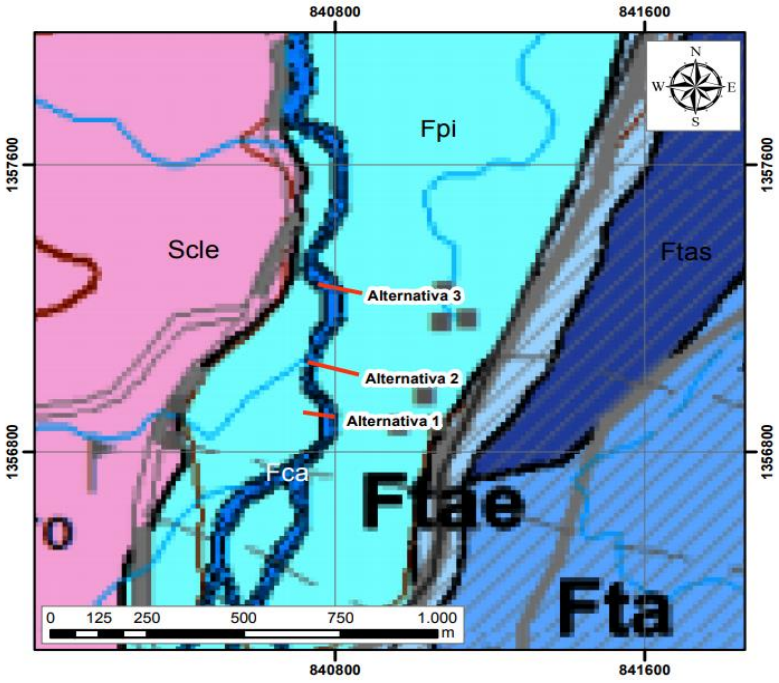
Ambiente fluvial

- **Fca Cauce aluvial:** Geoforma de geometría irregular, meandriforme, excavada por la erosión de la corriente del río Pamplonita sobre sedimentos aluviales, y la cual fluye en zonas semiplanas a planas.
- **Fpi Plano o llanura de inundación**: Superficie formada sobre depósitos aluviales del río Pamplonita, generalmente sedimentos finos originados durante eventos de inundación fluvial. Presenta una morfología plana a ondulada, eventualmente inundable.
- **Fta Terraza de acumulación:** Superficie formada por procesos de acumulación de sedimentos aluviales (gravas, limos y arcillas) dentro de antiguas llanuras de inundación, de morfología elongada, plana a suavemente ondulada.
- **Ftas Terraza de acumulación subreciente:** Superficies originadas en los procesos de ampliación del valle de un río, al ganar importancia la erosión en sus márgenes; con geometría plana a suavemente inclinada, remanente de terrazas subrecientes disectadas y basculadas.

Ambiente estructural

- **Scle Ladera estructural de cuesta:** Superficie con estratos dispuestos a favor de la pendiente, geometría recta a irregular, pendientes inclinadas a muy inclinadas y longitud larga a extremadamente larga; sobre esta geoforma se presentan deslizamientos traslacionales superficiales de suelos residuales y, ocasionalmente, caída de rocas.

Figura 11. Mapa de geomorfología regional.



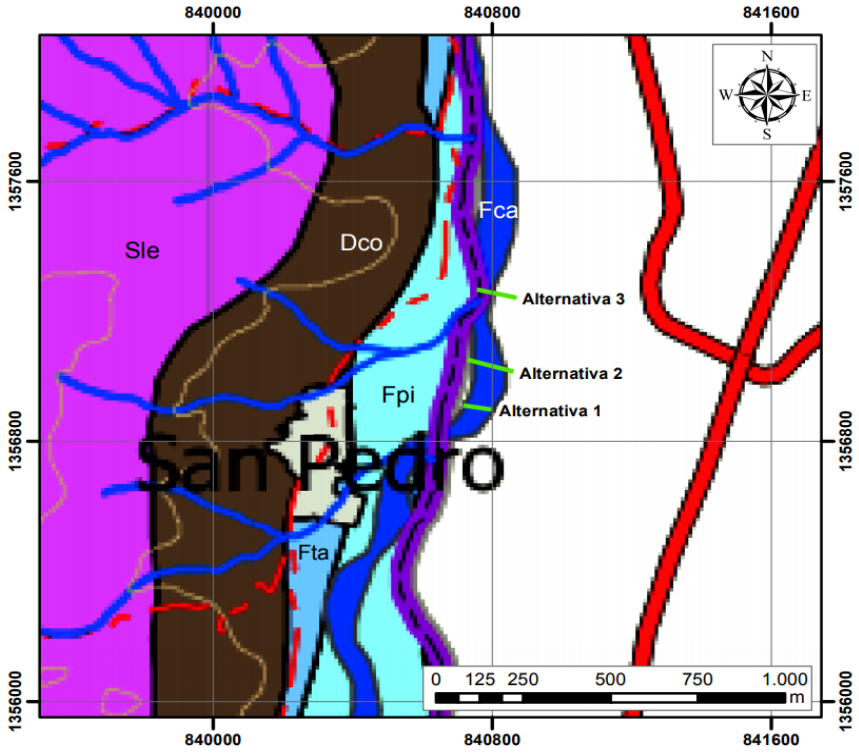
Ambiente fluvial	**Fca:** Cauce aluvial
	Fpi: Plano o llanura de inundación
	Fta: Terraza de acumulación
	Ftas: Terraza de acumulación subreciente
Ambiente estructural	**Scle**: Ladera estructural de cuesta

Fuente: Modificado de SGC., 2015

Dentro de los estudios técnicos y productos previstos en el marco jurídico vigente dentro del proceso de estudio para la revisión ordinaria del Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de San José de Cúcuta realizados por Unión temporal-planeando Cúcuta (2017),

se encuentra la etapa DIAGNÓSITCO I-A- Estructura biofísica-Gestión del riesgo rural, donde se genera un marco geomorfológico a escala local (1:25.000) por medio de la definición de subunidades morfogenéticas, siendo ésa una subdivisión de las unidades geomorfológicas determinada por los contrastes morfológicos y morfométrico, los cuáles relacionan la topografía del terreno con el tipo de materiales y la disposición de los mismos (Carvajal, 2011 en Unión temporal-planeando Cúcuta, 2017). La zona sur del municipio de Cúcuta, donde se encuentra el área de estudio, se caracteriza por presentar subunidades de origen estructural, denudacional, y fluvial en menor proporción.

Figura 12. Mapa de geomorfología rural a escala 1:25.000



Ambiente fluvial	**Fca:** Cauce aluvial
	Fpi: Planicie de inundación
	Fta: Terraza de acumulación
Ambiente estructural	**Sle**: Ladera estructural
Ambiente denudacional	**Dco**: Depósito coluvial

Fuente: Modificado de Unión temporal-planeando Cúcuta., 2017.

Los resultados a escala local de las subunidades geomorfológicas se relacionan con el producto cartográfico regional propuesto por SGC (2015), en donde se presentan geoformas de origen fluvial asociadas a la dinámica del río Pamplonita, tales como Cauce aluvial (Fca), Planicie de inundación (Fpi) y Terrazas de acumulación (Fta), y de origen estructural, con laderas estructurales (Sle). En contraste, y como se definió en el mapa geológico a escala 1:25.000 propuesto en el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio, se cartografían geoformas de origen denudacional, asociadas a extensos depósitos coluviales (Dco), ubicados hacia el sector del Pórtico-San Pedro donde hay evidencias de antiguos movimientos en masa. Esta información es ampliada en el apartado de *Evaluación de riesgos naturales.*

7. HIDROGRAFÍA

Una zona hidrográfica se define como un territorio en el cuál las aguas convergen hacia los puntos más bajos de la superficie del mismo, y pasan a unirse en una corriente resultante o río principal, el cuál, finalmente, drena en un lago, mar u océano (Alzate-Velásquez, 2010). El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, define cinco zonas hidrográficas para el país, éstas son:

1. Zona Hidrográfica del Caribe y áreas Insulares.

2. Zona Hidrográfica el Magdalena- Cauca.

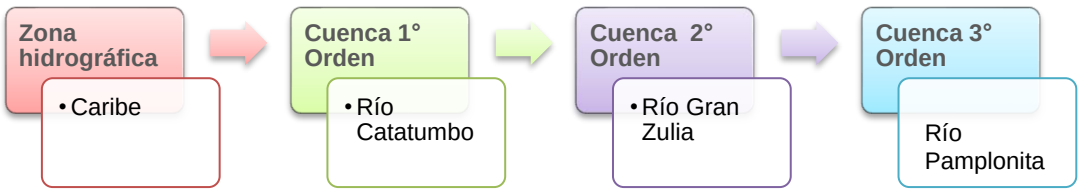
3. Zona Hidrográfica Orinoco.

4. Zona Hidrográfica Amazonía.

5. Zona hidrográfica Pacífico y áreas insulares.

El área de estudio se ubica sobre la zona hidrográfica del Caribe, en la cuenca del río Pamplonita, catalogada como de 3° orden. Esta zona presenta divisiones de acuerdo al orden de las cuencas que las componen; así:

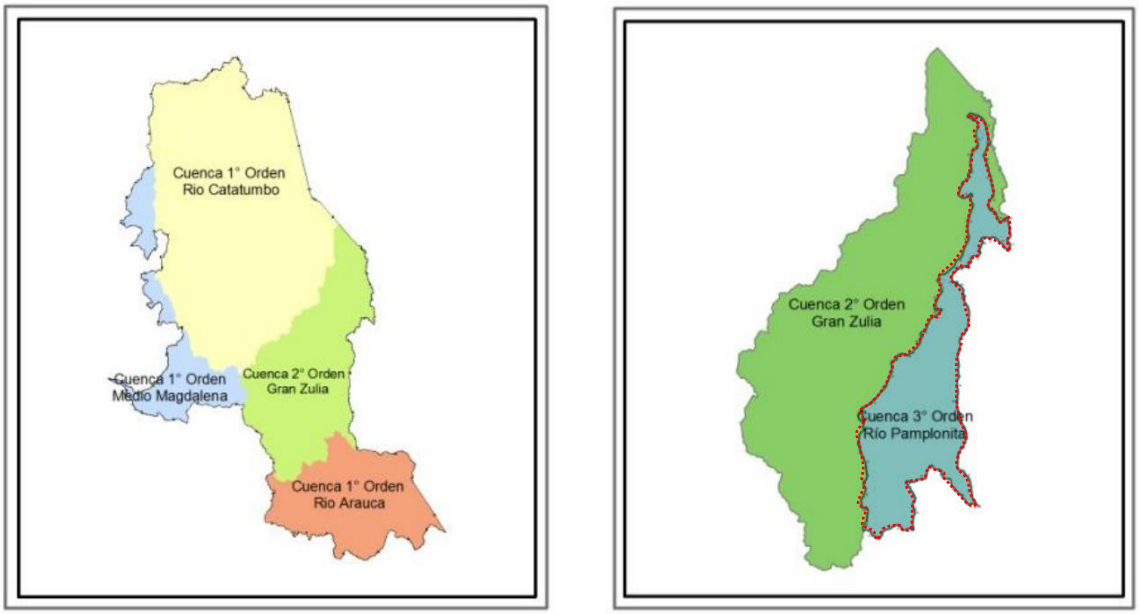
Figura 14. Subdivisión zona hidrográfica Caribe.



Fuente: Alzate-Velásquez, 2010.

La Figura 15 expone la jerarquización de la zonificación hidrográfica para la cuenca del rio Pamplonita.

Figura 15. Cuencas hidrográficas de Norte de Santander.



Fuente: Modificado de Alzate-Velásquez., 2010.

La cuenca del río Pamplonita está conformada por 10 municipios y 142 veredas, algunas de las cuáles están en la totalidad dentro de la cuenca y otras comparten su territorio con las cuencas de los ríos Zulia o Chitagá (Alzate-Velásquez, 2010). El área ocupada de cada uno de los municipios que componen la cuenca es mostrada en la Tabla 2.

Tabla 2. Municipios que conforman la cuenca del río Pamplonita.

MUNICIPIOS INCLUIDOS EN SU TOTALIDAD DENTRO DE LA CUENCA DEL RÍO PAMPLONITA		*MUNICIPIOS INCLUIDOS PARCIALMENTE DENTRO DE LA CUENCA DEL RÍO PAMPLONITA*	
	Área ocupada (ha)		***Área ocupada (ha)***
Villa del Rosario	9.249,71	Puerto Santander	599,17
Los Patios	12.714,46	Cúcuta	31.909,64
Chinácota	16.108,94	Bochalema	14.560,75
Ragonvalia	10.003,40	Pamplonita	16.628,63
Herrán	10.410	Pamplona	12.350,27

Fuente: Modificado de Alzate-Velásquez, 2010.

El cauce principal cuenta con una longitud de 300,64 Km y se forma en el municipio de Pamplona en la confluencia de las quebradas El Rosal y Navarro y finaliza cerca del centro poblado de Puerto Villamizar en el Municipio de Cúcuta al confluir en el Río Zulia (Caicedo et al, 2007 en Alzate-Velásquez, 2010). La zona de estudio, entre el corregimiento San Pedro y el municipio de Los Patios, se encuentra en la parte media de la cuenca, y de acuerdo a los volúmenes entregados por la distancia recorrida y las corrientes de agua que recibe, presentan caudales considerables los cuáles surten el acueducto municipal del área metropolitana de Cúcuta. Ente otros parámetros morfométricos definidos para la cuenca del río Pamplonita, se indica que cuenta con una elevación máxima de 3.648 metros y una elevación mínima de 42 metros (UFPS e IDEAB, 2014).

Figura 16. Caracterización de la cuenca del río Pamplonita



Fuente: CORPONOR (s.f)

Sistemas de producción en la cuenca del río Pamplonita

Los sistemas de producción de la cuenca del Río Pamplonita presentan interrelación entre la producción pecuaria, minera y los diversos recursos naturales y ambientales, así como implicaciones importantes para la conversación y protección de la biodiversidad (Alzate-Velásquez, 2010).

El área de estudio se encuentra dentro del sistema de producción SP4, de acuerdo a la identificación por veredas o corregimientos pertenecientes a la cuenca del río Pamplonita (Figura 17) propuesta en Alzate-Velásquez (2010). De acuerdo a esta clasificación, la zona se relaciona a sistemas de explotación minera de arcilla, carbón mineral, caliza, mármol y material de arrastre en suelos planos, ondulados y de ladera, con la existencia de una economía rural y medianos y grandes productores.

Figura 17. Identificación y localización de sistemas de producción predominantes. Cuenca del río Pamplonita

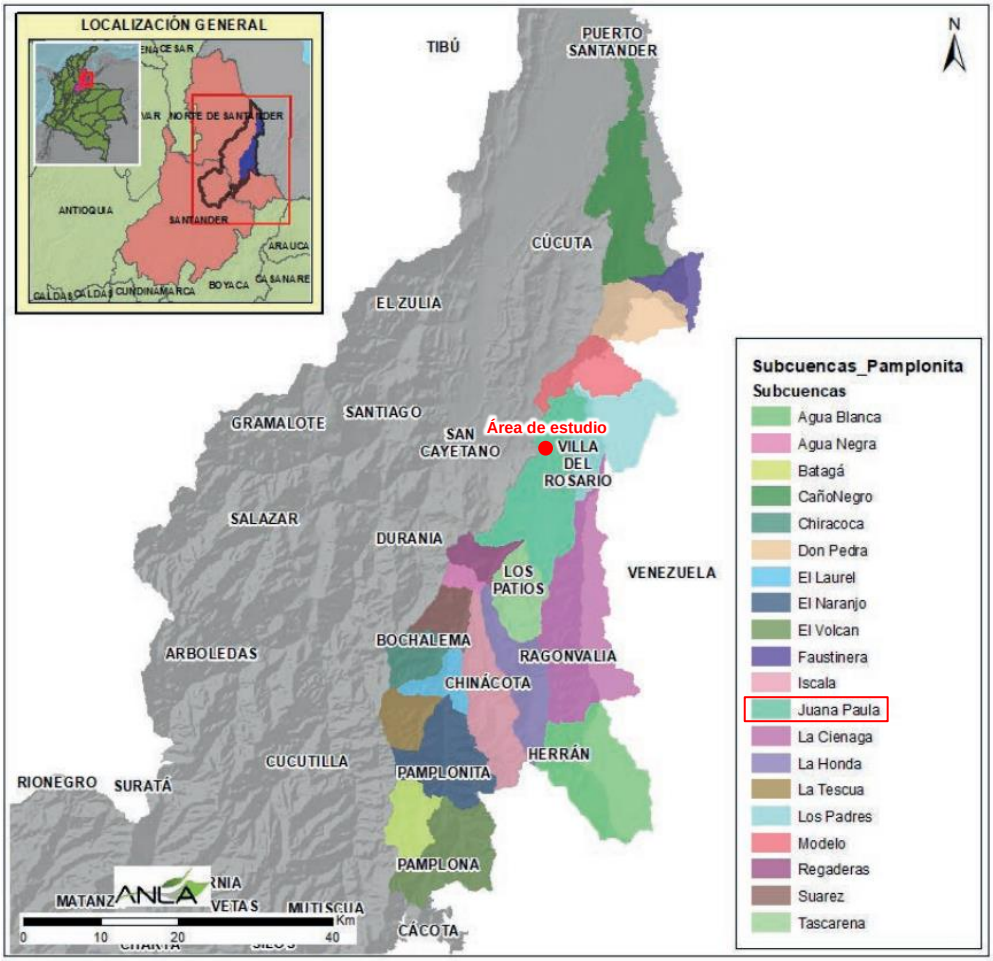
SIGLA	PARTE DE LA CUENCA	MUNICIPIO	VEREDA O CORREGIMIENTO
Sp1	BAJA	CUCUTA	C. Agua Clara, C. Guaramito, C.El Pórtico
		VILLA ROSARIO	V. Uchema, V. Palo Gordo.
		PUERTO SANTANDER	V. Dave
		LOS PATIOS	V. Veinte de Julio, C. La Garita
		BOCHALEMA	V. Batatas
Sp2	BAJA	CUCUTA	C. Puerto Villamizar
		VILLA ROSARIO	V. El Palmar, V. Lomitas
		PUERTO SANTANDER	V. Vegas del Pamplonita
		PATIOS	V. California, V. La Mutis
Sp3	BAJA	CUCUTA	C. Ricaurte
		VILLA ROSARIO	V. Juan Frío, Zona Urbana
		PATIOS	V. Los Vados, V. Villas de Corozal.
Sp4	MEDIA	CUCUTA	V. San Pedro, Casco Urbano, C. Carmen de Tonchala, C. Buena Esperanza, C. San Faustino
		LOS PATIOS	V. Agua Linda, V. Helechal, V. Trapiche, V. San Pedro, V. San Faustino
		BOCHALEMA	V. La Selva, V. La Don Juana, V. Zarcuta, V. Orope
		CHINACOTA	V. Nueva Don Juana,
		RAGONVALIA	V. Caliche, V. Alhambra.

Fuente: Modificado de Alzate-Velásquez, 2010.

Subcuencas del río Pamplonita

A su vez, la cuenca del río Pamplonita se subdivide en 25 subcuencas, de las cuales 20 se encuentran en el territorio colombiano. El mapa de división de subcuencas es expuesto en la Figura 18 por ANLA (2020), donde se localiza el área de estudio sobre la subcuenca hidrográfica Juana Paula. Las quebradas que la componen son nombradas en la Tabla 3.

Figura 18. Subcuencas de la SZH del río Pamplonita



Fuente: ANLA, 2020 adaptado de CORPONOR, 2014

Tabla 3. Quebradas que componen la subcuenca 6- JUANA PAULA 5160106 de la cuenca del río Pamplonita

Q. Torteros	Río Pamplonita	Q. tenis	Caño el Molino
Q. Madro o Potreritos	Q. Los vados	Q. Santo Ángel	Caño colorado
Q. Seca o El Lobo	Q. Sola	Q. Juana Paula	Q. Garita
Q. El Nogal	Q. Zorzana	Q. La linda	Q. Villa Feliza
Q. Plana	Q. San Luis	Q. Toma de agua	Canal Bogotá
Q. La Luz	Q. Bolivar	Q. La ciénaga	Q. Cuberos
Q. La botella	Caño Fistolo	Q. Cañaverales	Q. San Pedro
			Q. Gavilán

Fuente: Modificado de UFPS e IDEAB, 2014

Morfometría de la subcuenca Juana Paula

Los parámetros morfométricos permiten evaluar las condiciones topográficas de la cuenca con el fin de analizar su comportamiento hidrológico y estimar aproximaciones iniciales de parámetros hidrológicos característicos como tiempos de concentración, caudales de avenidas, etc (UFPS e IDEAB, 2014). Los principales parámetros morfométricos de la subcuenca Juana Paula, son expuestos en la Tabla 4.

Tabla 4. Parámetros morfométricos subcuenca 6- JUANA PAULA 5160106

Área	157.7 km2	***Factor de Forma***	0.35
Perímetro	79.3 km	***Índice de Alargamiento***	2.2
Longitud	21.3 km	***Elevación mínima***	268 m
Pendiente prom	11.3 °	***Elevación máxima***	1.636 m
Ancho	7.4 km	***Elevación promedio***	586 m
Ancho máximo	9.9 km	***Elevación mediana***	525 m
Coef. de compasidad	1.8	***Densidad de drenaje***	2.69 km/km2

Fuente: Modificado de UFPS e IDEAB, 2014

A nivel local, el corregimiento San Pedro se localiza en la parte baja de una microcuenca tal como se observa en la Figura 19.

Figura 19. Microcuenca del corregimiento San Pedro, Cúcuta.

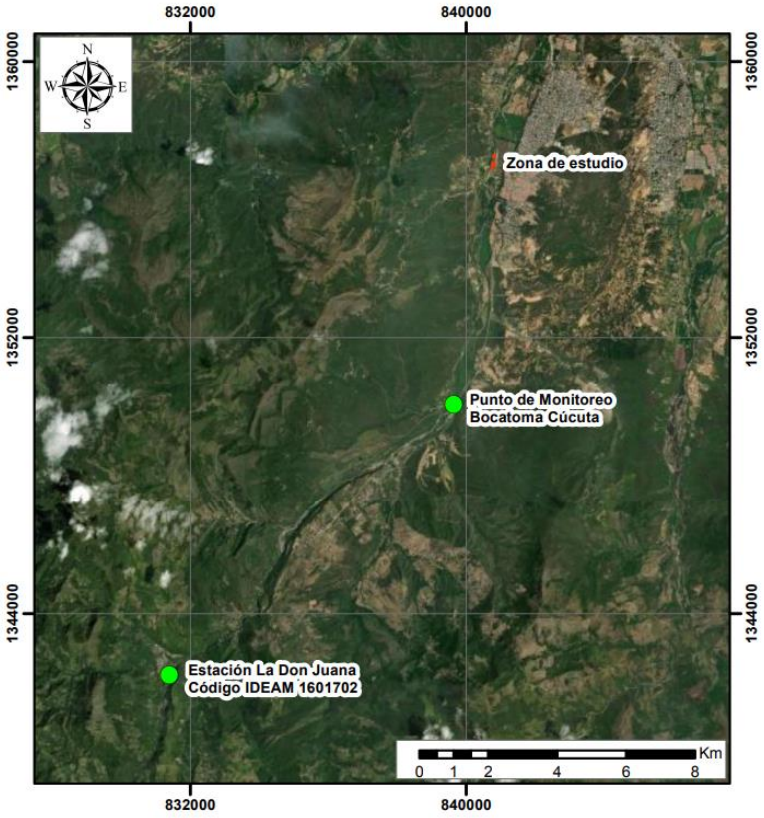


Fuente: Consultor, modificado de Google Earth.

7.1 HIDROLOGÍA

En la cuenca del Río Pamplonita se encuentran dos estaciones limnimétricas: La Donjuana - Código IDEAM 1601702, que cuenta con registros limnimétricos del comportamiento de la corriente principal en la parte alta de la cuenca desde 1970 y se encuentra actualmente activa; y la estación Aguas Claras –Código IDEAM 1601701, quién evaluó el comportamiento hidrológico de la corriente principal en la parte baja de la cuenca, unos kilómetros antes de la entrega de sus aguas al Río Zulia, desde el año 1966 hasta 1999 (Alzate-Velásquez, 2010). Para el análisis hidrológico del área de estudio se cuenta con el Punto de Monitoreo Bocatoma Cúcuta, y de los datos suministrados por la Estación IDEAM La Don Juana (Figura 20).

Figura 20. Localización estaciones hidrológicas y puntos de monitoreo.



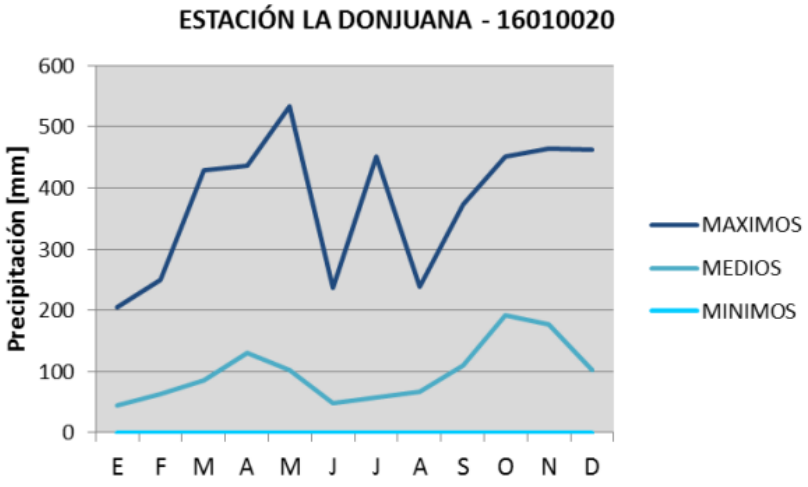
Fuente: Consultor.

Estación La Don Juana: Se encuentra ubicado en la jurisdicción del municipio de Bochalema, sobre la vía Cúcuta-Pamplona-Durania, en las coordenadas Magna Sirgas con Origen Este 831.357 m E, 1.342.172 m N. En esta estación de control se determinan las condiciones del Río Pamplonita antes de la confluencia con la quebrada Iscalá. El caudal promedio asignado en esta estación es de 5.74 m^3/seg (UFPS e IDEAB, 2014). Los valores mínimos de los caudales medios mensuales interanuales presentan poca variabilidad a lo largo del año y se presentan en un rango que puede ir desde 1,3 m^3/s hasta los 3 m^3/s, una amplitud que es relativamente baja en comparación con la que presentan los valores medios del caudal medio mensual interanual de 4,4 m^3 /s a 9,8 m^3 /s, y la de los valores máximos de los caudales máximos que van desde 10,1 m^3 /s hasta 28,5 m^3 /s (Alzate-Velásquez, 2010). Las precipitaciones mensuales medidas en la Estación La Don Juana se exponen en la Figura 21.

Bocatoma Cúcuta:

Se encuentra ubicado en la jurisdicción del municipio de Cúcuta, en el corregimiento de San Pedro, en las coordenadas Magna Sirgas con Origen Este 839.657m E, 1.350.095 m N. En este punto se encuentra la Bocatoma del Acueducto de la ciudad de Cúcuta. El caudal promedio estimado en este punto de monitoreo es de 10.29 m^3/seg (UFPS e IDEAB, 2014).

Figura 21. Distribución de precipitaciones mensuales Estación La Don Juana.



Fuente: UFPS e IDEAB., 2014.

Por su parte, en el Informe de la ronda Hídrica del río Pamplonita en la ciudad de Cúcuta realizado por UFPS e IDEAB (2014a), se implementa un modelo hidrológico a escala diaria HyMod, por medio de la calibración con series de caudales observados en la estación La Don Juana, generando una respectiva serie de caudales diarios simulados para la cuenca del río Pamplonita hasta el sector Parque del Agua en San Rafael, casco urbano de San José de Cúcuta para caudales con periodo de retorno de 2.33 años para la definición del cauce principal y de 100 años para la cota de inundación. De acuerdo a este análisis, los caudales característicos que se recomiendan para la determinación del cauce principal (Q 2.33) y la mancha de inundación para un periodo de retorno de 100 años (Q 100), son:

$$Q\ 2.33 = 156 \frac{m3}{s}$$

$$Q\ 100 = 400 \frac{m3}{s}$$

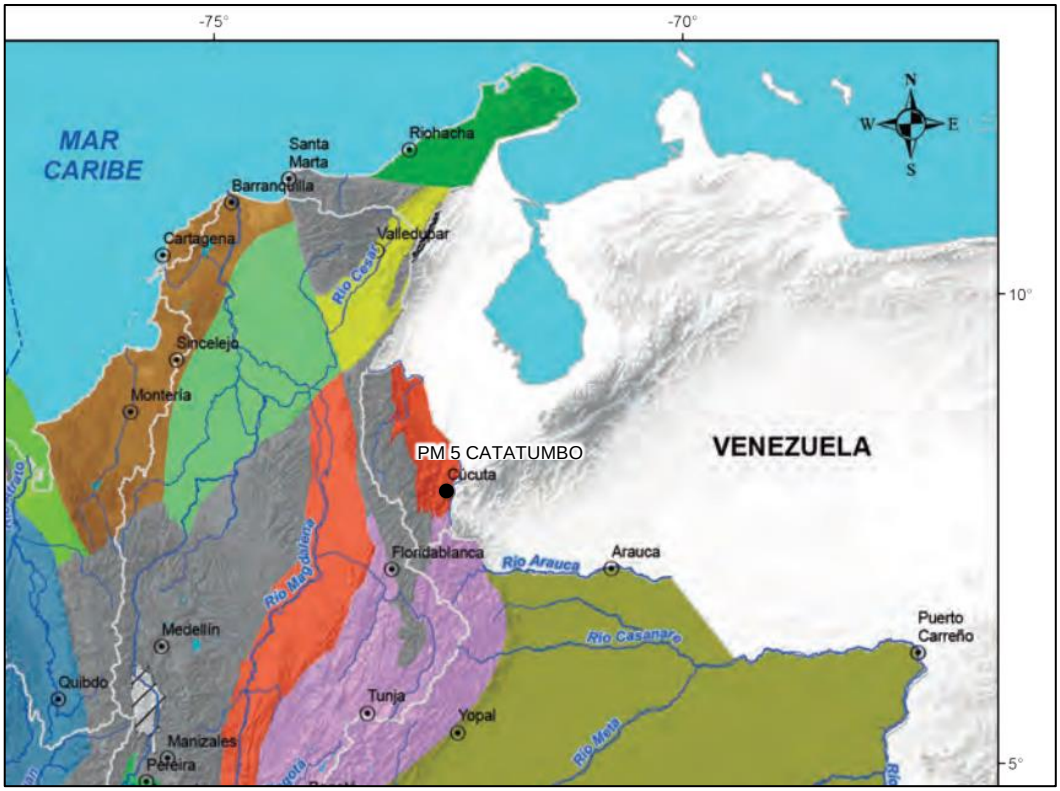
7.2 HIDROGEOLOGÍA

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM (2015) identifica 16 provincias hidrogeológicas en el país, las cuáles se agrupan en tres tipos:

- Provincias hidrogeológicas Montanas e Intramontanas (PM)
- Provincias hidrogeológicas Costeras e Insulares (PC
- Provincias hidrogeológicas Pericratónicas (PP)

El área de estudio se localiza en la provincia hidrogeológica PM- 5 Catatumbo, incluida dentro del área hidrográfica del Caribe (Figura 22). Esta provincia se subclasifica en sistemas acuíferos, siendo el sistema Cúcuta- Villa del Rosario- Táchira el que se evalúa en el área de estudio (Figura 23).

Figura 22. Distribución de provincias hidrogeológicas por área hidrográfica – Provincia Hidrogeológica Catatumbo (PM6)



Fuente: IDEAM., 2015.

Figura 23. Distribución de sistemas acuíferos por áreas hidrográficas, provincias hidrogeológicas y sistemas acuíferos.

Provincia hidrogeológica	Código	Sistema acuífero	Unidades hidrogeológicas	Tipo de acuíferos	Parámetros hidráulicos		Área superficial (Km²)
Área hidrográfica del Caribe							
PM5 Catatumbo	SAM5.1 (2S)	Cúcuta - Villa del Rosario - Táchira	Acuífero Cuaternario, Acuífero Río Táchira y Acuífero Terciario	Libres, semiconfinados a confinados	B= 463 a 1132 m K= 2 a 13m/d	T= 25 a 350 m²/d S= 5.0 x 10-4 a 1.8 x 10-3	223
	SAM5.2	Tibú	Acuífero Necesidad, Acuífero Guayabo	Libres a con-finados	B= 600 m	Ss= 2 a 5 l/s/m	544

Fuente: IDEAM., 2015.

De acuerdo con la caracterización geológica del área de estudio, las unidades aflorantes se encuentran representadas por depósitos cuaternarios de origen aluvial y coluvial, y La Formación León, como unidad sedimentaria paleógena. En este orden, IDEAM (2015a) define que, el sistema acuífero Villa del Rosario está constituido por los siguientes acuíferos de interés para la zona de proyección del puente hamaca:

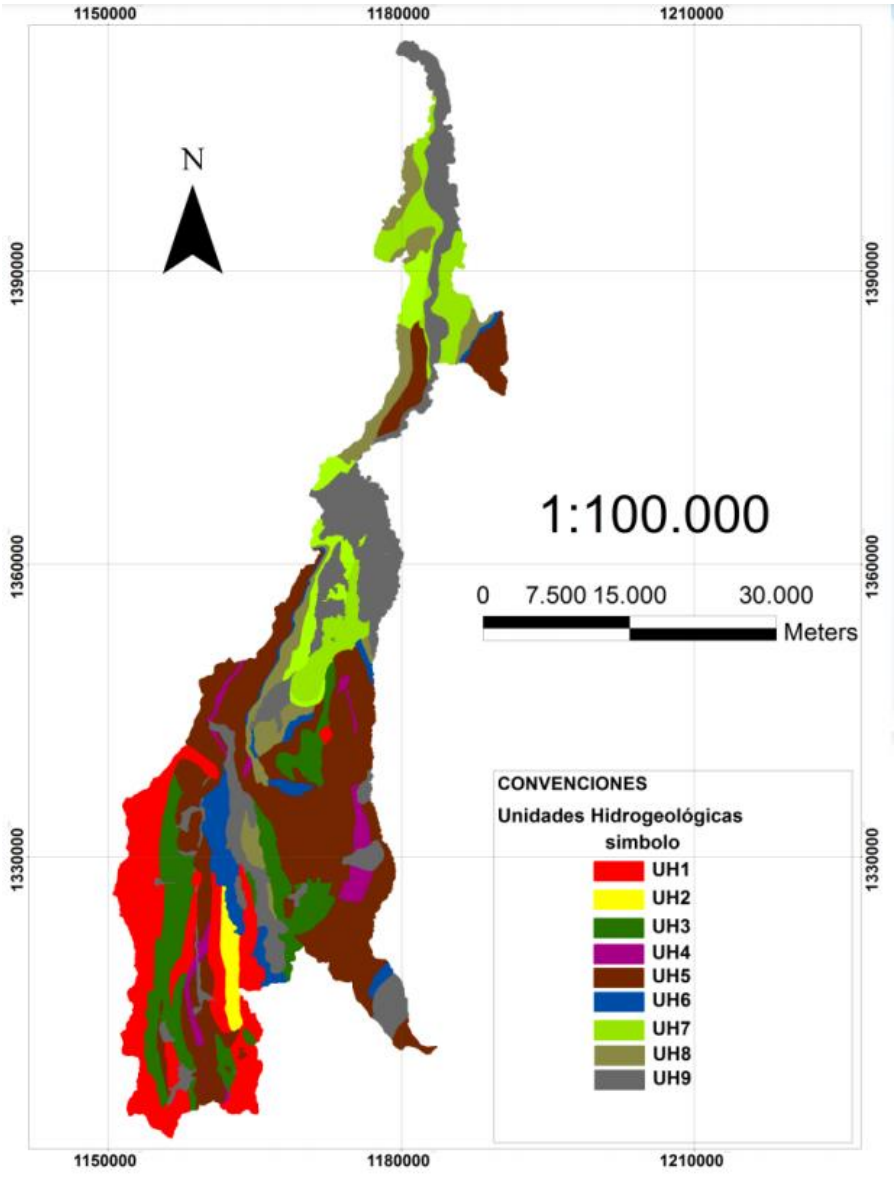
Formación León: Dadas sus características litológicas, se le considera un acuícludo, es decir, una formación que contiene agua, pero que no la trasmite, debido a su naturaleza impermeable, impidiendo por lo tanto su explotación.

Depósito aluvial reciente: Se encuentra conformando el cauce actual de los ríos Táchira y Pamplonita, y el talud reciente del mismo.

Por su parte, UFPS e IDEAB (2014) genera un mapa de unidades hidrogeológicas definidas para la zona de la cuenca del río Pamplonita (Figura 24); el área de estudio se encuentra sobre la unidad hidrogeológica 7 (UH7) y la unidad hidrogeológica 9 (UH9). La UH7 se define como una unidad de baja permeabilidad conformada por arcillolitas grises a gris verdosas, con algunas capas de carbón, con varios niveles de areniscas y algunos lechos de carbón, asociado a las Formaciones Carbonera y León. Esta unidad se considera una barrera impermeable para el posible acuífero presente en la unidad hidrogeológica 6 (UH6) constituida por las rocas de la Formación Mirador. Ocupa aproximadamente un área de 9,87% respecto al total de la cuenca del río Pamplonita.

Por otro lado, la UH9 incluye niveles de terrazas y depósitos aluviales recientes que se encuentran en el cauce de inundación del río Pamplonita. Litológicamente se compone de arenas conglomeráticas, y arenas limosas, con espesores variables entre 6 y 20 metros (Ponce, 1958 en UFPS e IDEAB, 2014).

Figura 24. Mapa de unidades hidrogeológicas definidas para la zona de la cuenca del río Pamplonita.



Fuente: UFPS e IDEAB., 2014.

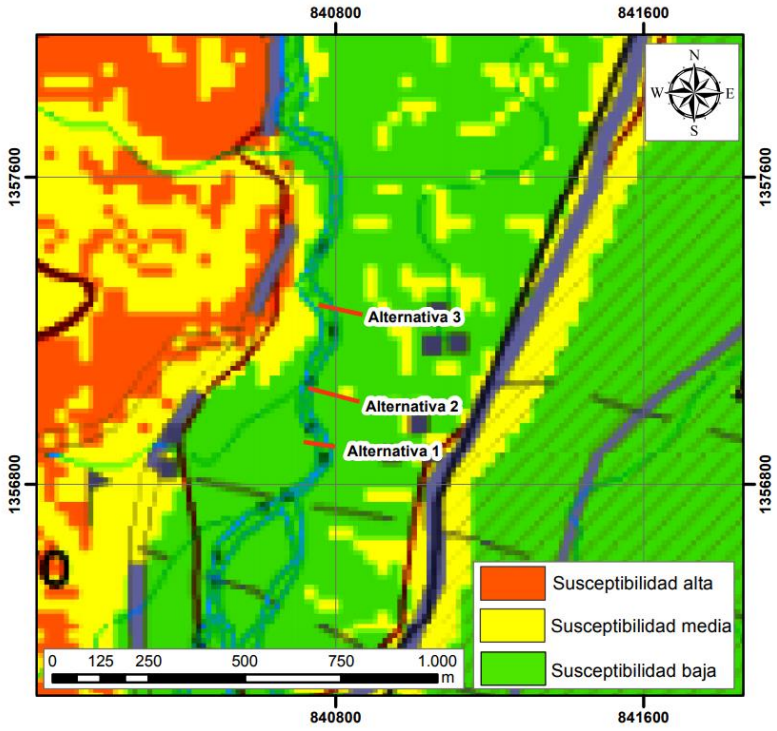
8. EVALUACIÓN DE RIESGOS NATURALES

A continuación, se presenta un resumen del diagnóstico realizado para los riesgos naturales latentes en el área de influencia del proyecto (Corregimiento San Pedro-Municipio de Los Patios, sobre el río Pamplonita), de acuerdo a la recopilación de diversas fuentes de información tales como: Servicio Geológico Colombiano y Plan de Ordenamiento Territorial municipio de Cúcuta.

Susceptibilidad por movimientos en masa

De acuerdo al mapa de susceptibilidad por remoción en masa a escala 1:100.000 propuesto por el SGC (2015a), el área de estudio se caracteriza por presentar una susceptibilidad baja (Figura 25).

Figura 25. Mapa de susceptibilidad por remoción en masa a escala :100.000



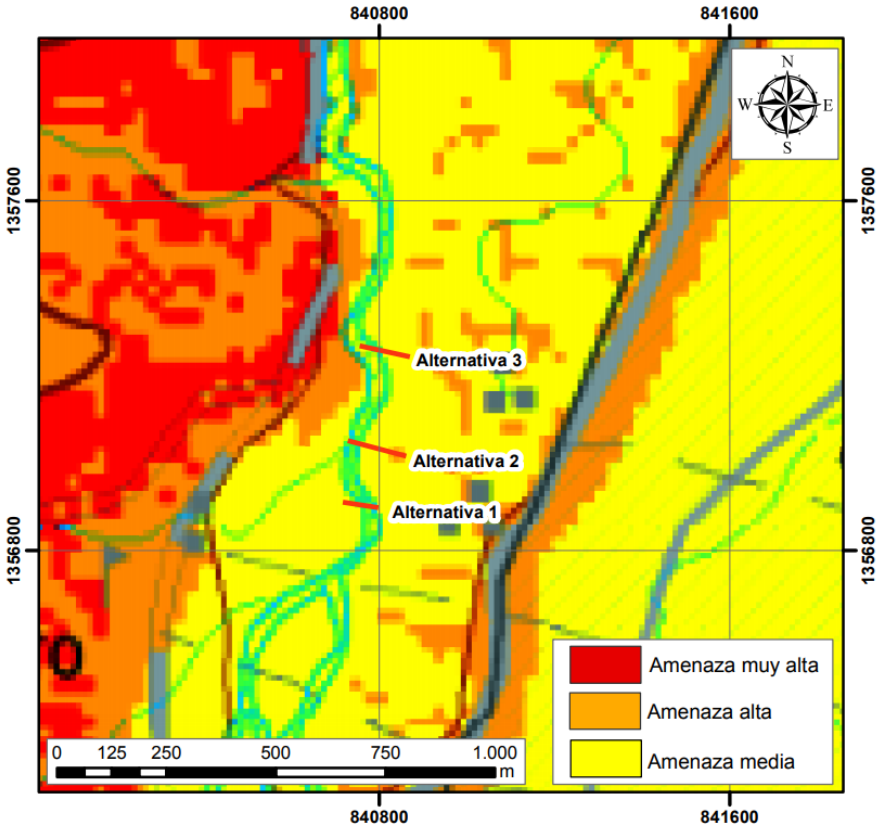
Fuente: Modificado de SGC., 2015a

Esta condición se asocia a zonas de pendientes muy bajas en depósitos aluviales recientes y terrazas, sobre unidades geomorfológicas de origen aluvial como barras, llanuras de inundación terrazas y cauces aluviales. Para el caso de la categoría de susceptibilidad media a alta, su distribución está asociada a unidades geomorfológicas estructurales (SGC, 2015a).

Amenaza relativa por movimientos en masa

De acuerdo al mapa de amenaza relativa por movimientos en masa a escala 1:100.000 propuesto por el SGC (2015b), el área de estudio se caracteriza por presentar un grado de amenaza media.

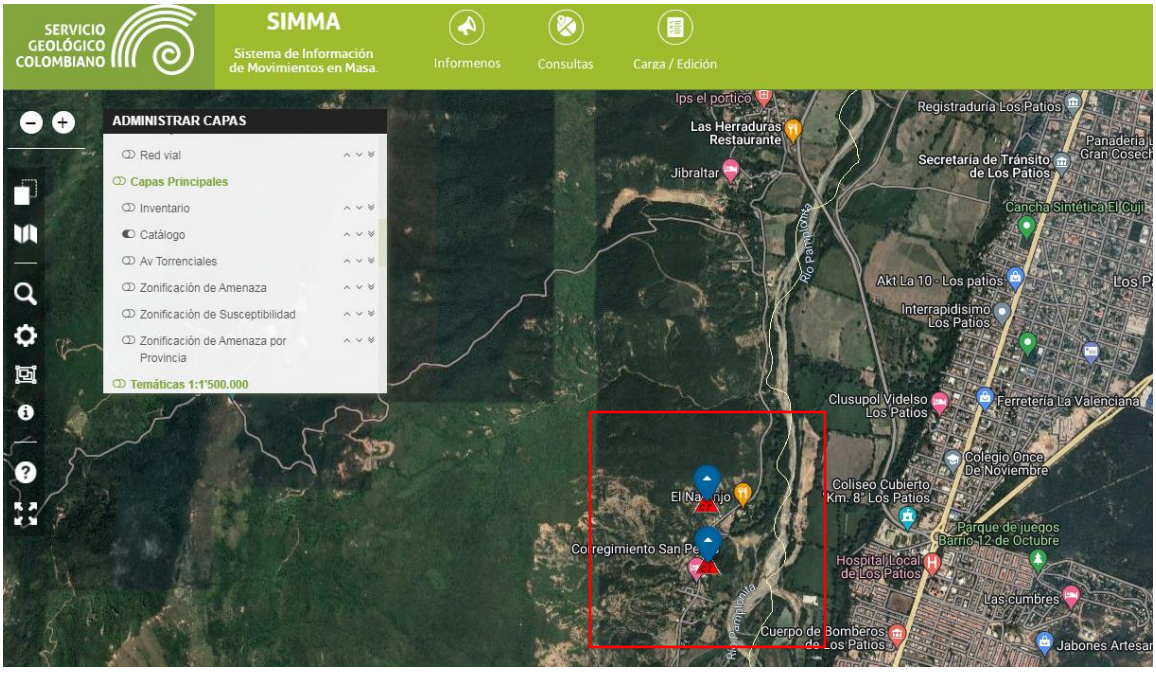
Figura 26. Mapa de amenaza relativa por movimientos en masa a escala 1:100.000



Fuente: Modificado de SGC., 2015b

Dicha categoría se encuentra relacionada al cauce del río Pamplonita. Sobre los sectores que presentan amenaza alta a muy alta por movimientos en masa en cercanías al área de estudio, fueron identificados movimientos en masa de tipo deslizamiento y caída, relacionados a las pendientes y a los valores del detonante sísmico (SGC, 2015b). En apoyo a lo anterior, se realiza una búsqueda en el sistema de información de movimientos en masa SIMMA, del Servicio Geológico Colombiano, con el fin de identificar antiguos reportes de movimientos en masa cartografiados en el área (Figura 27).

Figura 27. Reporte de movimientos en masa en el área de estudio.

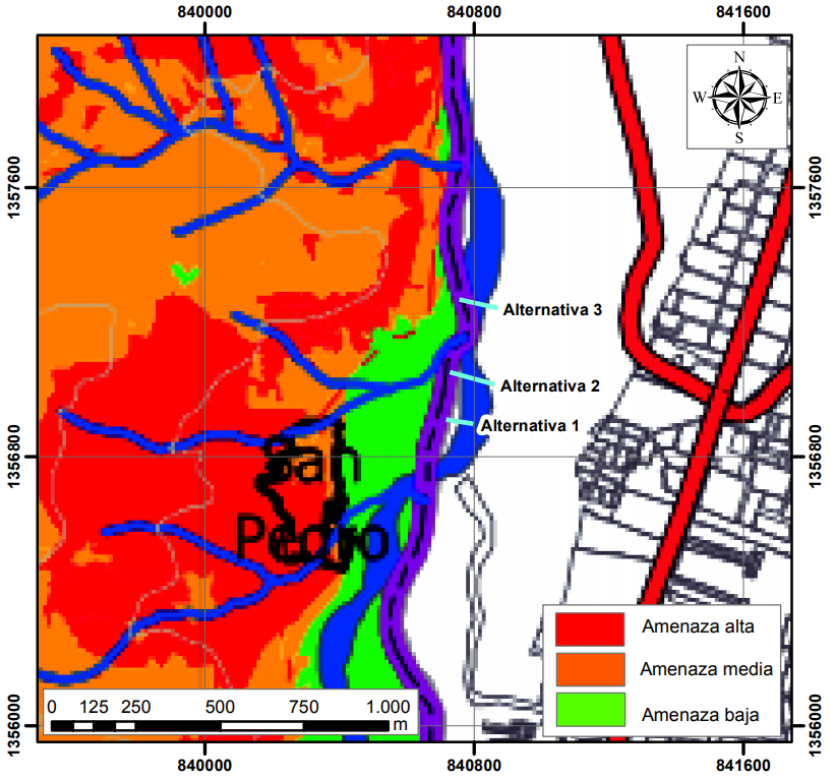


Fuente: Portal SIMMA.

De acuerdo a la búsqueda, existen dos reportes que datan la fecha del 28 de noviembre de 2011 en cercanías al casco urbano del municipio, los cuáles identifican movimientos en masa de tipo caída de roca ocasionados en época de lluvias en el sector. Por otra parte, en el Proceso de revisión ordinaria del plan de ordenamiento territorial de Cúcuta realizado por Unión temporal-planeando Cúcuta (2017), define que, hacia el sector del Pórtico-San Pedro se presentan depósitos coluviales de gran extensión asociados a antiguos movimientos en

masa considerados como históricos en el municipio de Cúcuta, desencadenados principalmente por acción de la gravedad y que se pueden ver acentuados en épocas de fuertes lluvias. Así mismo, se reporta un deslizamiento de grandes dimensiones registrado en la vía El Pórtico- San Pedro, con una extensión de aproximadamente 1 Km. De acuerdo al mapa de amenazas por movimientos en masa generado a escala 1:25.000 en el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Cúcuta (Figura 28), el área directa de proyección del puente hamaca se encuentra sobre una categoría de amenaza baja, como se consideró anteriormente en el contexto regional. La amenaza alta por remoción en masa se acentúa en la vía que conduce hacia el corregimiento San Pedro, y sobre el casco urbano del mismo, concordante con los antecedentes por movimientos en masa recopilados en esta zona.

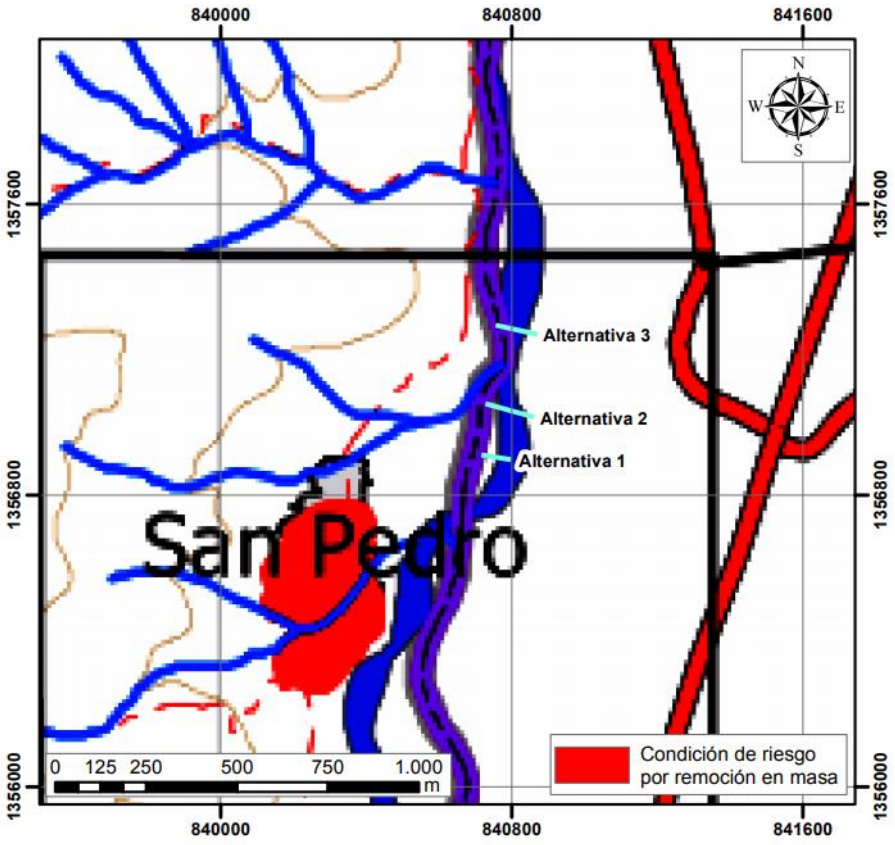
Figura 28. Mapa de amenaza por movimientos en masa a escala 1:25.000



Fuente: POT municipio de Cúcuta, 2019.

En escenarios futuros, el POT del municipio plantea un mapa de condición de riesgo por movimientos en masa, expuesto en la Figura 29. En este sentido, la totalidad del casco urbano del municipio de San Pedro presenta dicha condición de riego, mientras que la zona directa de las alternativas no evidencia esta categoría.

Figura 29. Mapa de condición de riesgo por movimientos en masa a escala 1:25.000



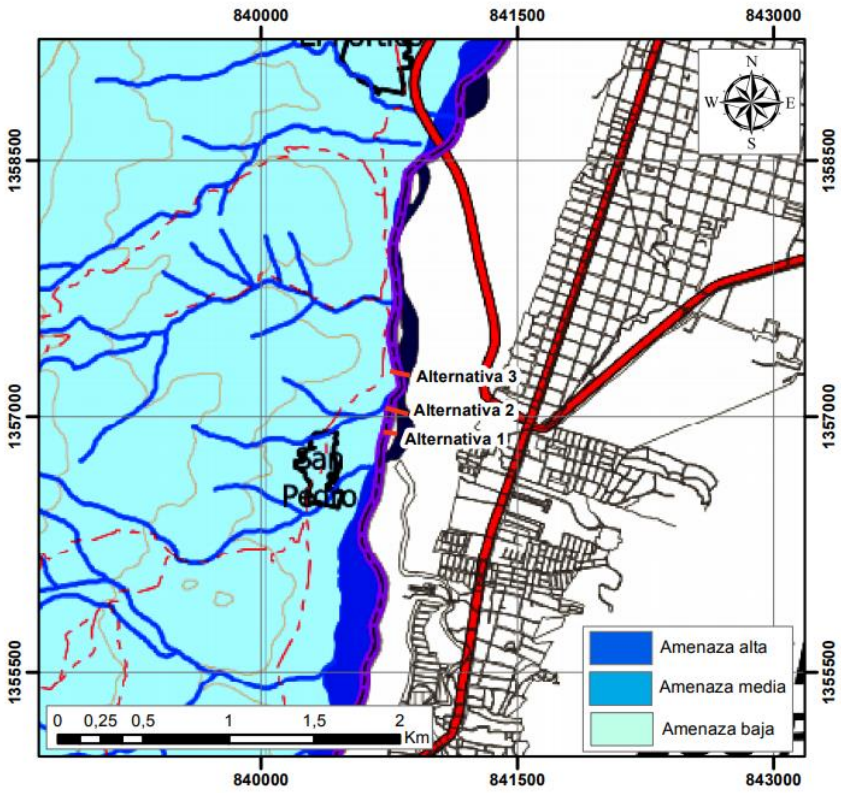
Fuente: POT municipio de Cúcuta, 2019.

Amenaza por inundación

Teniendo en cuenta el análisis de los eventos históricos ocurridos en el área rural del Municipio de Cúcuta, las inundaciones se dan principalmente por las altas precipitaciones, que a su vez aumentan la escorrentía de aguas lluvias, por lo que se generan desbordamientos en los márgenes de los drenajes. En este sentido, se plantea el mapa de amenaza por inundación a

escala 1:25.000 (Figura 30), en el cuál la zona directa del proyecto de construcción del puente, se incluye sobre una zona de amenaza baja por inundación.

Figura 30. Mapa de amenaza por inundación a escala 1:25.000



Fuente: POT municipio de Cúcuta, 2019.

Según el POT del municipio de Cúcuta, solo una las microcuencas al sur del centro poblado de San Pedro (Sur San Pedro 2), en la primera relación de índice de Melton con longitud del cauce, aparece como potencialmente susceptible de un evento de avenida torrencial, mientras que en la segunda condición, donde se relaciona el índice de Melton y la proporción de relieve, no se cumple el índice para clasificarla como una microcuenca potencial a producir avenidas torrenciales; el índice de compacidad tampoco lo sugiere, además de alguna evidencia de registros históricos de depósitos de avenidas torrenciales para esta cuenca luego de los recorridos de campo efectuados por el equipo de trabajo de dicho proyecto.

Riesgo por socavación

Tener en cuenta que por la dinámica del río Pamplonita se presenta riesgo por socavación y erosión en las bases de taludes, esto considerando que por las características geológicas y geotécnicas de los materiales que la constituyen la convierten en un riesgo previsible.

Matriz de riesgo

A continuación, se presenta la matriz de riesgo con respecto a los diferentes fenómenos naturales que se presentan en el sector de estudio en condiciones actuales, aplica para las tres alternativas analizadas.

Tabla 5. Matriz de riesgos naturales

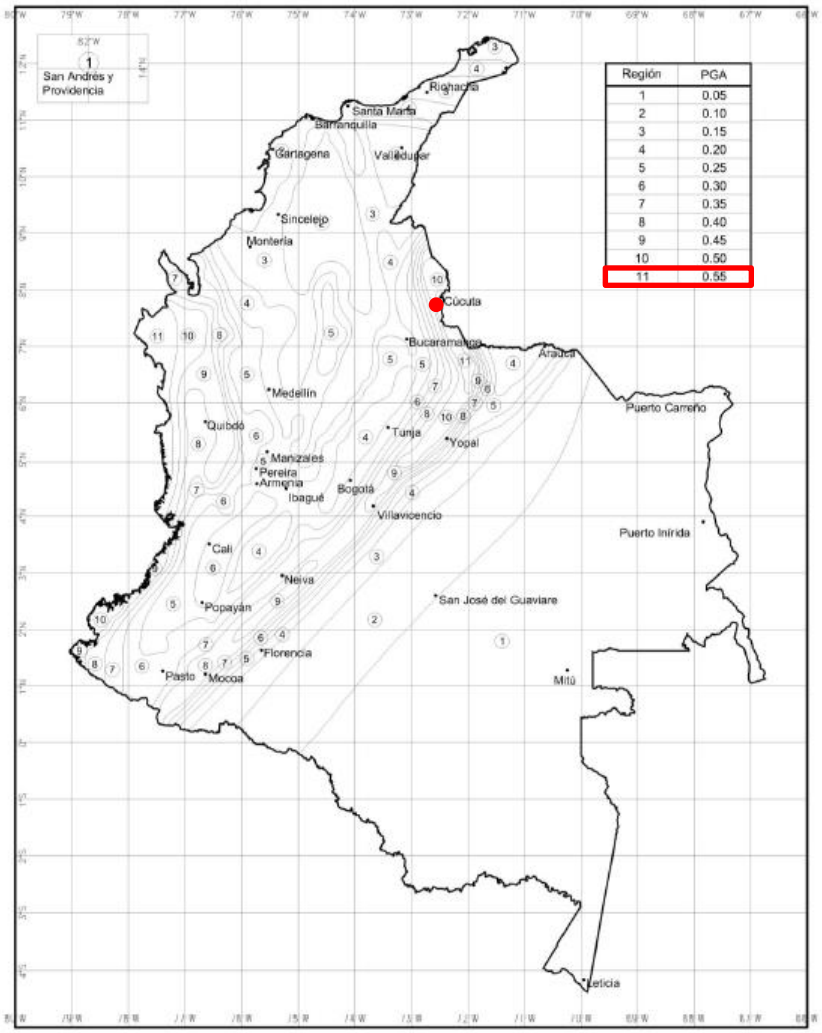
TIPO	PROBABILIDAD	IMPACTO	EFECTO	MEDIDA DE MITIGACIÓN
Susceptibilidad por movimientos en masa	Raro	Catastrófico	Afectación de taludes adyacentes a la estructura de soporte del puente hamaca	Realizar las respectivas recomendaciones a nivel geotécnico para cimentación de la estructura
Amenaza por movimientos en masa				
Amenaza por inundación	Raro	Catastrófico	Se generen daños en la estructura del puente producto de la dinámica del cauce	En los estudios y diseños del puente hamaca se deberán llevar a cabo los respectivos modelos hidráulicos que permitan determinar la máxima inundación de acuerdo al período de diseño, y que permitan establecer la cota diseño del puente teniendo en cuenta que deberá cumplir los requerimientos de la Norma CCP-14 Se deberá contemplar que por el tipo de cuenca se tiene tendencia de torrencialidad
Riesgo por socavación	Casi seguro	Catastrófico	Afectación en los estribos de la estructura	Diseño y construcción de obras de control y socavación

Fuente: Consultor.

9. ANÁLISIS SÍSMICO

A partir de la Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP-14 Sección 3, Numeral 3.10 se realiza la evaluación de la sismicidad. A continuación, se presentan los mapas empleados por el CCP-14 para la evaluación de los coeficientes de aceleración.

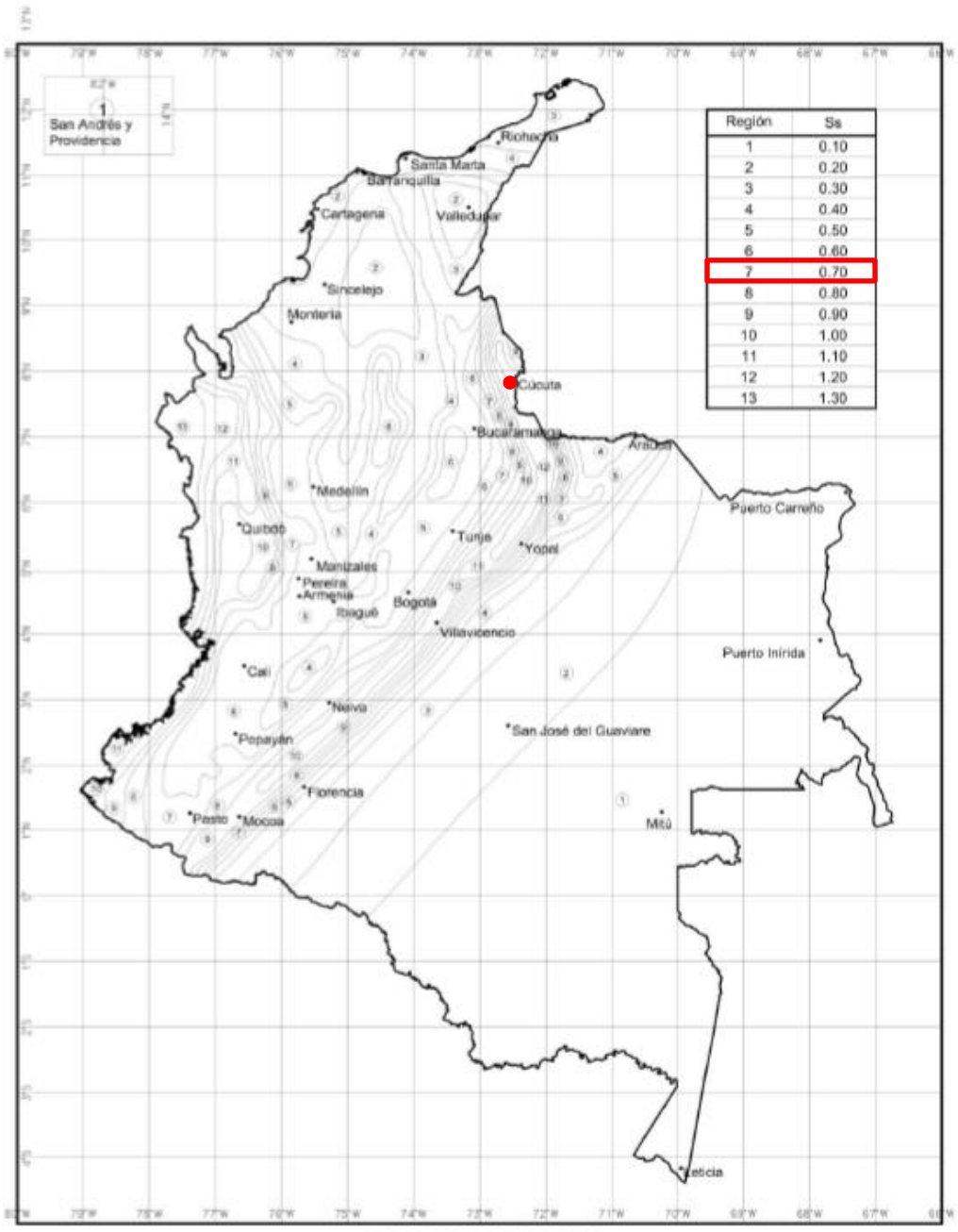
Figura 31. Aceleración Pico Horizontal del terreno PGA.



MAPA DE VALORES PGA

Fuente: CCP-14.

Figura 32. Coeficiente de aceleración espectral horizontal t=0.2 **(**Ss).

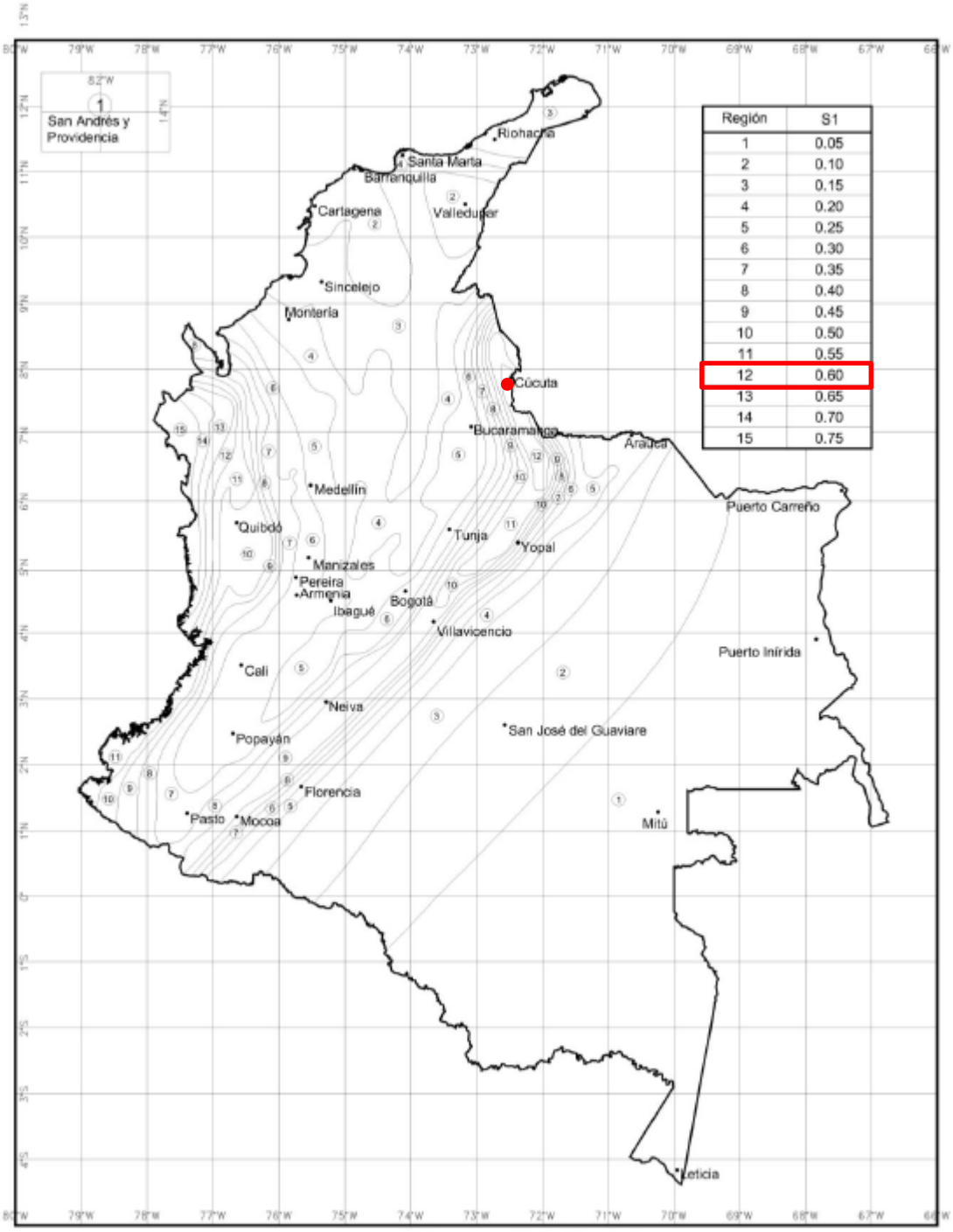


Región	Ss
1	0.10
2	0.20
3	0.30
4	0.40
5	0.50
6	0.60
7	0.70
8	0.80
9	0.90
10	1.00
11	1.10
12	1.20
13	1.30

MAPA DE VALORES Ss

Fuente: CCP-14.

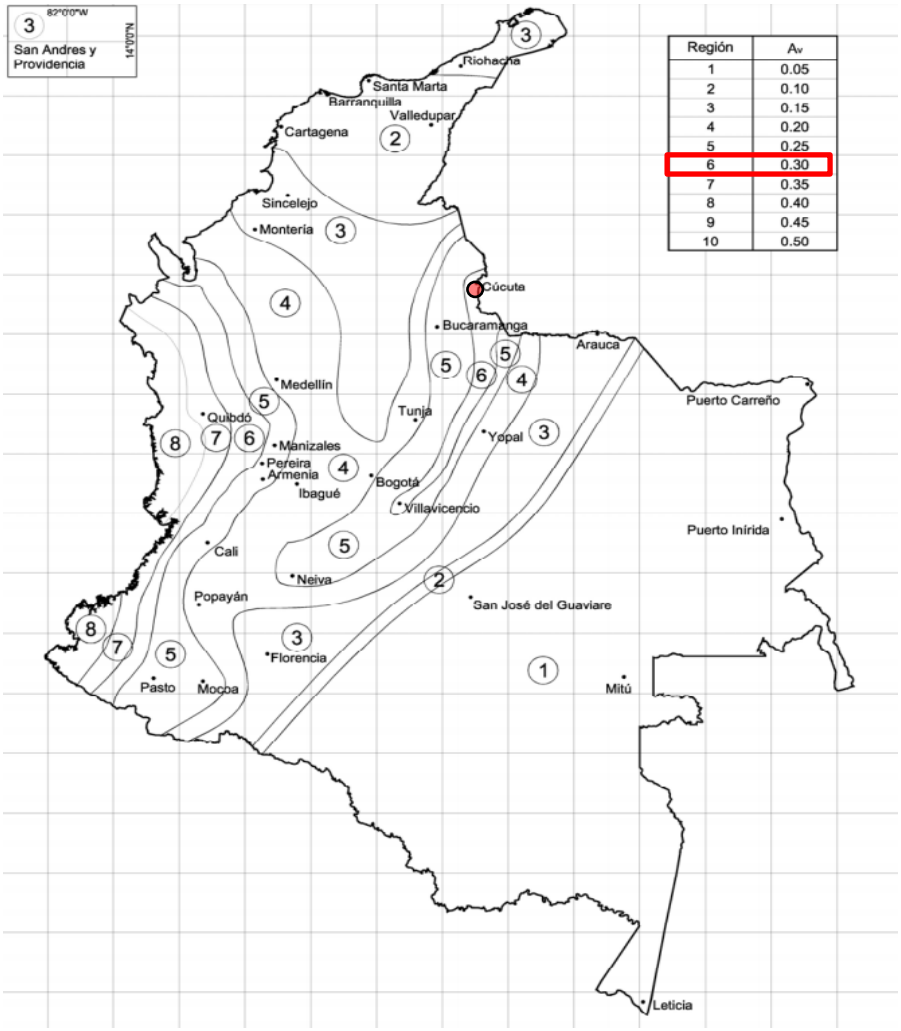
Figura 33. Coeficiente de aceleración espectral horizontal t=1.0 (S1).



Región	S1
1	0.05
2	0.10
3	0.15
4	0.20
5	0.25
6	0.30
7	0.35
8	0.40
9	0.45
10	0.50
11	0.55
12	0.60
13	0.65
14	0.70
15	0.75

Fuente: CCP-14.

Figura 34. *Regiones de amenaza sísmica.*



Fuente: CCP-14.

En la Tabla 6 se relaciona el nivel de amenaza sísmica y de Av, así como valores específicos para el sector de estudio.

Tabla 6. Magnitudes Amenaza sísmica para el Corregimiento San Pedro, Departamento de Norte de Santander.	
PGA	0.55
Ss	0.70
S1	0.60
Av	0.30
Fuente: Consultor.	

Teniendo en cuenta los parámetros establecidos por el CCP-14 para el sector en estudio comprendido entre en corregimiento de San Pedro y el municipio de los Patios, se considera que la amenaza sísmica en este sector es media –alta, en la tabla anterior se presentan los parámetros de aceleración para el sitio del puente, para determinar los parámetros locales para la proyección del espectro de diseño, se requiere conocer el perfil del suelo mediante ensayos de exploración geotécnica directa (Sondeos) y ensayos de exploración geofísica (Ensayos MASW o ensayos DOWNHOLE), preliminarmente y basados en estudios previos del sector[1] se estima que el Perfil del suelo corresponde a un Perfil tipo D correspondiente a Perfiles de suelos rígidos con velocidad medida de onda de cortante vs en el intervalo de 360 m/s y 180 m/s o perfiles que cumplan con cualquiera de los dos criterios siguientes N en el intervalo 50 golpes/pie y 15 golpes pie.

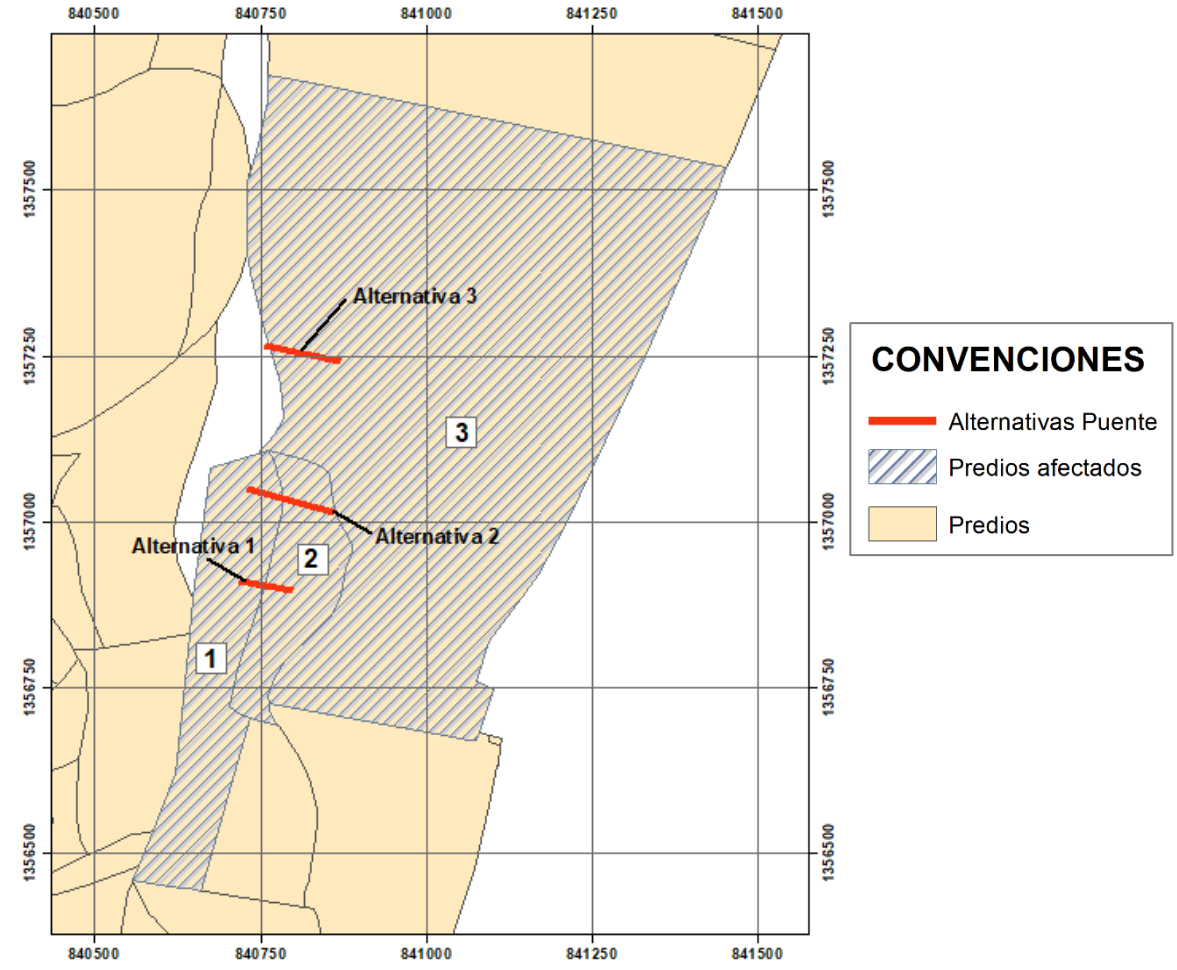
Al definir el tipo de perfil de suelo basado en los ensayos que se realizarán en la fase de ingeniería de detalle posterior al presente estudio, se requerirá definir el espectro de diseño el cual dará las pautas para la evaluación estructural del puente a proyectar.

1 https://www.ani.gov.co/sites/default/files/hiring/23589/396//documentos_puente_once_de_noviembre_m1.pdf

10. ANÁLISIS PREDIAL

Teniendo en cuenta la localización de las alternativas para el puente hamaca se realiza la respectiva revisión predial, identificándose la afectación de tres predios los cuales se encuentran relacionados en la Figura 35.

Figura 35. Identificación de predios para cada alternativa.



Fuente: Base de datos IGAC.

A continuación, se presenta a detalle la información de cada predio afectado.

Tabla 7. Afectación predial con respecto a cada alternativa.

ALTERNATIVA	FID	CODIGO CATASTRO	VEREDA_COD	CODIGO PREDIAL
1	1	54405000000000010085000000000	54405000000000010	54405000000100850000
	2	54405000000000010081800000000	54405000000000010	54405000000100818000
2	1	54405000000000010085000000000	54405000000000010	54405000000100850000
	2	54405000000000010081800000000	54405000000000010	54405000000100818000
3	3	54405000000000011001800000000	54405000000000000	54405000000110018000

Fuente: Consultor, a partir de información del IGAC.

Considerando lo anterior se estiman las afectaciones prediales con respecto a cada alternativa presentada en la Tabla 8.

Tabla 8. Área de afectación predial con respecto a cada alternativa.

ALTERNATIVA	FID	CODIGO CATASTRO	ÁREA AFECTADA (m^2)
1	1	54405000000000010085000000000	99,21
	2	54405000000000010081800000000	107,42
2	1	54405000000000010085000000000	138,25
	2	54405000000000010081800000000	208,58
3	3	54405000000000011001800000000	276,08

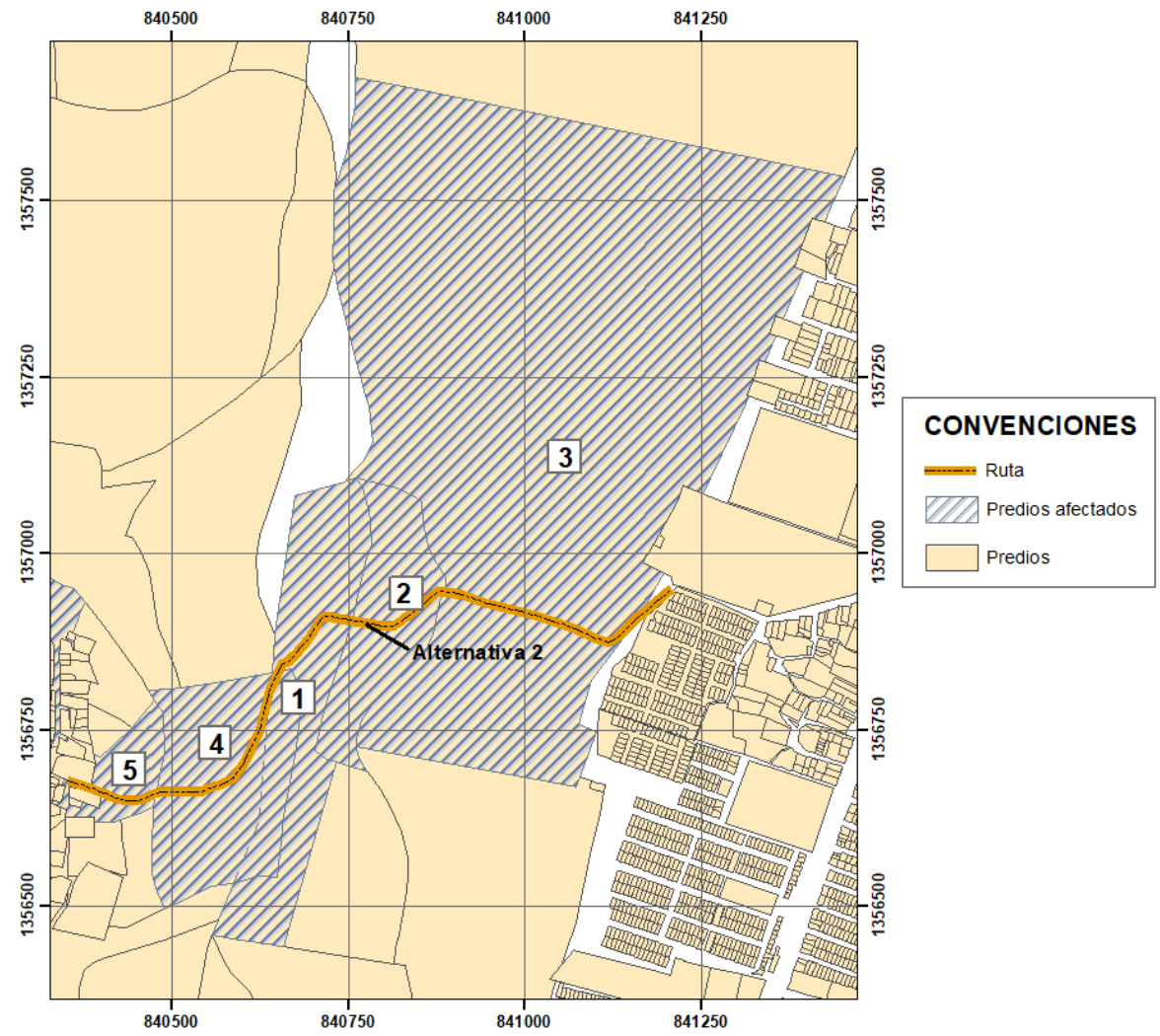
Fuente: Consultor.

Es importante llevar a cabo en los estudios y diseños a detalle un análisis predial de mayor complejidad a partir de un levantamiento predial previo detallado y actualizado para mitigar la afectación social inminente.

Se deberá incluir en los estudios a detalle la verificación predial para los accesos al puente, en el caso de la Alternativa 2 se realiza la respectiva revisión, identificándose un total de cinco predios afectados, tal como se puede observar en la Figura 36 y en la Tabla 9. Si bien, se cuenta en la actualidad con un paso para servidumbre, es necesario considerar las afectaciones por accesos.

Así mismo, es posible definir que parte de la estructura (tablero y estribo) ubicada al costado derecho del puente se localiza en la vereda Agualinda II del municipio de Los Patios.

Figura 36. Identificación de predios para accesos Alternativa 2.



Fuente: Base de datos IGAC.

Tabla 9. Afectación predial con respecto los accesos Alternativa 2.

FID	CODIGO CATASTRO	VEREDA_COD	CODIGO PREDIAL
1	54405000000000100850000000000	54405000000000010	54405000000100850000
2	54405000000000100818000000000	54405000000000010	54405000000100818000
3	54405000000000110018000000000	54405000000000000	54405000000110018000
4	54001000400000000100800000000000	54001000400000001	54001000400010080000
5	54001000400000000100410000000000	54001000400000001	54001000400010041000

Fuente: Consultor, a partir de información del IGAC.

11. EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS DE UBICACIÓN

Al verificar las posibles alternativas a nivel de localización del puente hamaca, se analizan los criterios a nivel técnico, predial, social, presupuestales que se pueden generar con cada una de las alternativas analizadas descritas en la Figura 7, los condicionantes técnicos de las tres alternativas se describen de forma detallada en los capítulos DESCRIPCIÓN DE LA ZONA, SECTORIZACIÓN GEOLÓGICA, e HIDROGRAFÍA, a continuación se plantean las condiciones prediales, sociales y presupuestales que condicionan la elección de la alternativa con mayor favorabilidad a nivel de ubicación.

11.1 CONDICIONAMIENTO TÉCNICO

A partir de la revisión geológica, análisis de la dinámica fluvial así como la evaluación geológica y geomorfológica, se identifica que el sector donde se ubica la alternativa 1, su cauce ha sufrido cambios notables y los posibles estribos se encontrarían sobre zonas de inundación recientes, condición poco recomendable para la ubicación de un puente, en cuanto a la Alternativa No 2 y No 3 presentan condiciones más estables de acuerdo al comportamiento del drenaje en dichas áreas, sin embargo la estructura en la ubicación No. 2 presenta mayor cercanía a los accesos existente tanto del borde del corregimiento de San Pedro como del borde del municipio de Los Patios, siendo recomendable a nivel técnico la ubicación proyectada en la Alternativa No. 2.

11.2 CONDICIONAMIENTO PREDIAL

Desde el punto de vista predial para las tres alternativas analizadas, parte de la estructura del puente hamaca ubicada hacia el costado derecho, incluyendo tablero y estribo, se ubican en la vereda Agualinda II del municipio de Los Patios. Así mismo, en la Tabla 8 se detallan los predios y área de afectación, se define que para la Alternativa No 1 y Alternativa No 2, los predios son los que actualmente se han utilizado con permiso de servidumbre y en donde se

tiene parte de una estructura abandonada, mientras que la Alternativa 3 genera una mayor afectación predial en zonas adicionales al uso actual.

11.3 CONDICIONAMIENTO SOCIAL

A nivel social la alternativa de construcción de acceso directo entre el corregimiento de San Pedro y el municipio de los Patios genera una solución a la necesidad de movilización de peatones, teniendo en cuenta las condiciones de accesibilidad precarias desde la vereda el Pórtico hasta la cabecera del corregimiento de San Pedro situación descrita de forma detallada en la factibilidad de mercado en el capítulo 4. Diagnóstico situación actual, teniendo en cuenta la cercanía de las proyecciones peatonales, la ponderación social para las tres alternativas de análisis será la misma.

11.4 CONDICIONAMIENTO PRESUPUESTAL

Para definir los posibles costos asociados a cada una de las alternativas de ubicación, se realiza la estimación basados en el precio por metro lineal (m) de diferentes proyectos de puente hamaca a nivel territorial y nacional, proyectando su valor en salarios mínimos al 2022 (Tabla 10).

Tabla 10. Análisis de costos por ml para la construcción de puente hamaca.

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	PRECIO	LON (m)	AÑO	PRECIO POR ML	SMMLV	PRECIO POR ML PROYECTADO
MT-SP-LIC-08-2014	CONSTRUCCIÓN DEL PUENTE HAMACA PEATONAL SOBRE EL RIO TIBU EN LA VEREDA BERTRANIA DEL MUNICIPIO DE TIBU, DEPARTAMENTO NORTE DE SANTANDER.	$ 465.799.044,00	60	2014	$7.763.317,40	12,60	$ 12.602.787,99

Tabla 10. Análisis de costos por ml para la construcción de puente hamaca.

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	PRECIO	LON (m)	AÑO	PRECIO POR ML	SMMLV	PRECIO POR ML PROYECTADO
008-BAS30-BIJOS-2014	CONSTRUCCIÓN DE UN PUENTE PEATONAL TIPO HAMACA SOBRE EL RIO SARDINATA, CORREGIMIENTO DE SAN MARTÍN DE LOBA, MUNICIPIO DE SARDINATA.	$ 790.134.968,00	130	2015	$ 6.077.961,29	9,43	$ 9.432.701,63
MV¿LP-004-2013	CONSTRUCCIÓN PUENTE HAMACA PEATONAL VEREDA PORVENIR MUNICIPIO DE VISTA HERMOSA, META	$ 202.544.221,00	30	2013	$6.751.474,03	11,45	$ 11.452.882,16
VALOR PROMEDIO POR ML							$ 11.162.790,59

Fuente: Secop I.

Teniendo en cuenta el análisis de costos a partir de la evaluación de precios de construcción de los estudios previos en la región y el país, se establece que el precio por ml de construcción de Puente Hamaca, para el año 2022, se encuentra en $11.162.791 pesos aproximadamente, siendo este el valor de referencia a tomar para la generación de la evaluación de las alternativas, las cuales difieren entre sí por su ubicación y longitud, en la siguiente tabla se presenta la estimación de costos para cada una de las posibles alternativas de ubicación.

Tabla 11. Costos de Construcción de las alternativas planteadas.

ALTERNATIVA	LONG (m)	PRECIO ($)
Alternativa 1	66	$ 736.744.178,99
Alternativa 2	120	$ 1.339.534.870,90
Alternativa 3	98	$ 1.093.953.477,90

Fuente: Secop I.

Los costos analizados para la construcción del puente Hamaca presentan una variación entre $736.745.000 (aproximadamente) para la alternativa 1 a $1.339.535.000 (aproximadamente) para la alternativa 2, siendo a nivel presupuestal más favorable el precio definido por la alternativa 1.

11.5 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA

Para establecer la alternativa de ubicación, se realiza una matriz multicriterio basada en los componentes mencionados previamente, en donde a cada uno de los criterios se les asigna una ponderación variable entre 0 y 5, siendo 0 menos favorable y 5 la alternativa más favorable, a continuación, se presenta el resultado para las alternativas proyectadas.

Tabla 12. Análisis multicriterio para la definición de la alternativa.

ALTERNATIVA	TÉCNICO	PREDIAL	SOCIAL	PRESUPUESTAL	TOTAL
Alternativa 1	1	3	3	4	11
Alternativa 2	4	3	3	2	12
Alternativa 3	2	1	3	3	10

Fuente: Consultor

De acuerdo al análisis multicriterio desarrollado para la elección de la ubicación del puente, se identifica que la ubicación recomendada para la posible construcción del puente hamaca corresponde a la alternativa No.2 con una longitud de 120.0 m.

12. ANÁLISIS GEOTÉCNICO

Con la necesidad de garantizar la seguridad y bienestar de los habitantes del corregimiento San Pedro, en el municipio de Cúcuta y comunicar a éste directamente con el municipio de Los Patios, se generó un estudio de factibilidad para llevar a cabo la construcción de un puente tipo hamaca que atraviese el río Pamplonita; esto con el objetivo de aumentar el progreso de la región y mejorar la conectividad de los habitantes que diariamente deben recorrer grandes distancias o que optan por atravesar el drenaje para acceder al casco urbano de Los Patios.

Geológicamente, el área de estudio se encuentra sobre depósitos aluviales recientes, formados por la dinámica del río Pamplonita; entre éstos se incluyen depósitos de terraza aluvial y suelos transportados de planicie de inundación, formados por arenas y gravas de tamaños variables. Hacia las zonas más distales, sobre el casco urbano del corregimiento, las laderas se constituyen de rocas lodolíticas de la Formación León, las cuáles sufren procesos de remoción en masa formando depósitos coluviales en la base. Con base en la geomorfología del área de estudio, ésta se encuentra influenciada, principalmente, por un ambiente fluvial que genera una morfología plana a suavemente ondulada, con grandes llanuras de inundación.

Regionalmente, el sitio de estudio se encuentra enmarcado en una zona tectónicamente compleja y dinámica, en cercanías al Sistema de fallas de Aguas Calientes. Localmente se reconocen fallas de rumbo con cinemática dextral.

A partir de la NSR – 10 se indica que el municipio de Cúcuta se encuentra en una zona de amenaza sísmica alta, con valores de Av de 0,30. Con la clasificación establecida en la CPP-14 se identifica una aceleración pico horizontal del terreno equivalente a 0,55 g.

De acuerdo a los antecedentes de fenómenos naturales en el área, no se identifican amenazas por movimientos en masa o inundación en el área directa del proyecto. Hacia el margen izquierdo aguas abajo, las laderas sobre las que se posa el corregimiento San Pedro y su vía de acceso, se catalogan con amenaza alta a sufrir proceso de remoción en masa, pues la dinámica estructural, fuertes precipitaciones, y la meteorización de las rocas, generan

escenarios favorables para movimientos en masa tales como deslizamientos y caídas de rocas.

A través del análisis multitemporal de fotografías satelitales desde el año 2010 hasta la actualidad, se define que el río pamplonita, sobre el área de estudio, presenta una dinámica variable de depositación y erosión en sus márgenes. Así pues, la alternativa Nº 1 presenta condiciones desfavorables pues se ubica sobre una extensa zona de inundación, constituida por suelos inconsolidados de espesores variables. Por su parte, la cimentación de la alternativa Nº 2 y Nº 3 se ubica sobre depósitos de terraza aluvial; materiales con mayor grado de consolidación, ubicados hacia zonas distales del cauce activo en antiguos procesos de depositación.

Bajo estas premisas, el estudio define que la alternativa Nº 2 presenta condiciones geológicas y topográficas favorables para el desarrollo de la estructura. Así mismo, se cuentan con rutas de acceso para trasladarse hacia el puente hamaca proyectado en dicha alternativa desde el casco urbano del corregimiento, facilitando la comunicación y acortando distancias.

Teniendo en cuenta la escala del estudio correspondiente al análisis de factibilidad y que este dentro de su alcance no cuenta con evaluación geotécnica detallada, se realiza una revisión de los estudios previos realizados en el municipio de Los Patios, Municipio de Cúcuta y vereda el Pórtico (a 2.5 km del corregimiento San Pedro), de esta forma extrapolar la información y contar con un insumo preliminar que permita definir alternativas básicas de cimentación para la posible construcción del puente hamaca, teniendo claro que para la construcción se requerirá de la elaboración de estudios y diseños en fase III los cuales requerirán de la exploración geotécnica directa necesaria para establecer las condiciones geotécnicas de forma detallada en la proyección de las estructuras del puente.

Como insumos se toman las siguientes fuentes:

- **Concesión Área metropolitana de Cúcuta y Norte de Santander y alcance progresivo para la construcción de la segunda calzada de la vía Cúcuta – Pamplona y la construcción de la variante Pamplona en doble Calzada -Informe Estudio geotécnico**

acciones populares rampas peatonales Puente que cruza la carrera 10 municipio de Los Patios (Concesionaria San Simón S.A – 2015)

Del estudio mencionado se extrae a nivel geotécnico que: "Desde *el punto de vista geológico, el área en estudio se sitúa sobre depósitos cuaternarios de tipo aluvial reciente (Qal), constituidos esencialmente por gravas y cantos poligénicos con matriz limo arenosa, asociados a la llanura de inundación del rio pamplonita. Superficialmente se ha detectado en algunos sondeos un nivel de limo arenoso o arcilla arenosa d espesor entre 1.0m y 1.5 m, por debajo se localiza el substrato terciario, constituido en esta zona por depósitos correspondientes a la Formación Guayabo (Tmg), concretamente arcillolitas de color marrón claro. En la zona estudiada el depósito aluvial presenta espesores superiores a 10 m estimándose que el material terciario aparece a partir de 14.0m a 16.0m de profundidad*[2]" En el estudio previamente mencionado se evalúan las propiedades geotécnicas de diseño para la unidad litoestratigráfica definida para los depósitos aluviales como Densidad: 1,9 T/m^3, Cohesión: de 0,0 T/m^2 a 0,25T/m^2, ángulo de fricción (ϕ): 35º. En el estudio mencionado se evalúa y analiza como solución de cimentación la utilización de zapatas superficiales con nivel de desplante mínimo de 1,5m (Cimentación para rampas de acceso).

- **Mapa de caracterización mecánica de las unidades litológicas de San José De Cúcuta (2010)- Yulieth Paola Bueno Agudelo-UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER – Biblioteca Eduardo Cote Lamus**

Del estudio previamente mencionado, se identifica que en el municipio de Cúcuta, bajo los niveles aluviales se encuentran rocas lodolitas de la Formación León las cuales se encuentran a profundidades aproximadas de 10.0m, el saprolito de las rocas lodolitas de la Formación León se encuentran a partir de 6.0m.

2 https://www.ani.gov.co/sites/default/files/hiring/23589/396//documentos_puente_once_de_noviembre_m1.pdf

- **Estudios y diseños del puente localizado en el km 8 El Pórtico Anillo Vial Occidental del área metropolitana de Cúcuta[3]**

De la información disponible y extraída del área en estudio localizada a 2,5 km del corregimiento de San Pedro se identifica que la cimentación del puente existente corresponde a "*Pilotes de 1.5 metros de diámetro, a una profundidad de 28 metros, construidos en concretos de 21Mpa*" los mismos se encuentran cimentados en las lodolitas de la Formación León.

De acuerdo al análisis de la información secundaria y teniendo en cuenta que a partir del análisis técnico extraído del presente informe se recomienda implantar el puente sobre la localización denominada como alternativa 2 (120 m), a nivel geotécnico se estima que el puente contará con un estribo en el corregimiento de San Pedro y el segundo estribo en el municipio de loa Patios, a nivel geotécnico se identifica que para los dos estribos a nivel superficial de espera encontrar depósitos aluviales recientes del rio Pamplonita, en el costado del corregimiento de San Pedro se espera encontrar lodolitas de la Formación León a una profundidad aproximada de 18.0m a 20.m, mientras que en el costado del municipio de los patios se espera encontrar rocas de la Formación Guayabo a profundidades variables entre 10.0m y 14.0m, si bien en el presente estudio se presentan profundidades aproximadas, basadas en estudios previos estas deben ser corroborados mediante estudios a nivel fase tres con la ejecución del plan de exploración geotécnica requerida, para lo cual se recomienda implementar el siguiente plan de exploración basado en el CCP-14.

Tabla 13. Coordenadas de la exploración geotécnica propuesta.

NOMENCLATURA	PROFUNDIDAD (m)	LATITUD		LONGITUD	
S1	20	7°49'21.39"N		72°31'16.38"O	
S2	20	7°49'21.04"N		72°31'13.48"O	
LR1	115	7°49'24.65"N	7°49'18.24"N	72°31'15.70"O	72°31'16.72"O
LR2	115	7°49'24.29"N	7°49'17.91"N	72°31'13.42"O	72°31'13.54"O

Fuente: Consultor.

[3] https://www.ani.gov.co/se-ultiman-detalles-en-construccion-sobre-puente-en-el-rio-pamplonita-en-el-anillo-vial-occidental

Figura 37. Esquema de la propuesta exploración geotécnica a ejecutar en la fase de estudios y diseños definitivos.



Fuente: Consultor.

Para generar la evaluación de posibles alternativas de solución a nivel de la cimentación del puente en análisis, se evalúan las condiciones y diseños típicos de puentes tipo hamaca con condiciones similares a las analizas al posible puente sobre el rio Pamplonita, suministradas a partir de fuentes oficiales de estudios previos investigados en el Secop I y secop II, para el caso de puentes tipo Hamaca convencionales, se establece como parámetros básicos y tipología de diseño la siguiente descripción:

- Columnas en concreto reforzado en forma de H a una altura de 12,0 m con su respectiva cimentación.

- Ancho del tablero del puente de 2,00 m.

- Presenta en cada lado cables de suspensión de un diámetro determinado de la planilla de varillas de suspensión.

- El Tablero en madera antideslizante.

- La lámina es apoyada en tubo metálico cuadrado, los cuales están fijados a cuatro cables inferiores y esta a su vez va fijada con tornillos tipo candado.

- Para protección peatonal a ambos lados se coloca malla con abertura de 2 pulgadas a todo el largo del puente, a una altura uniforme de 115 cms.

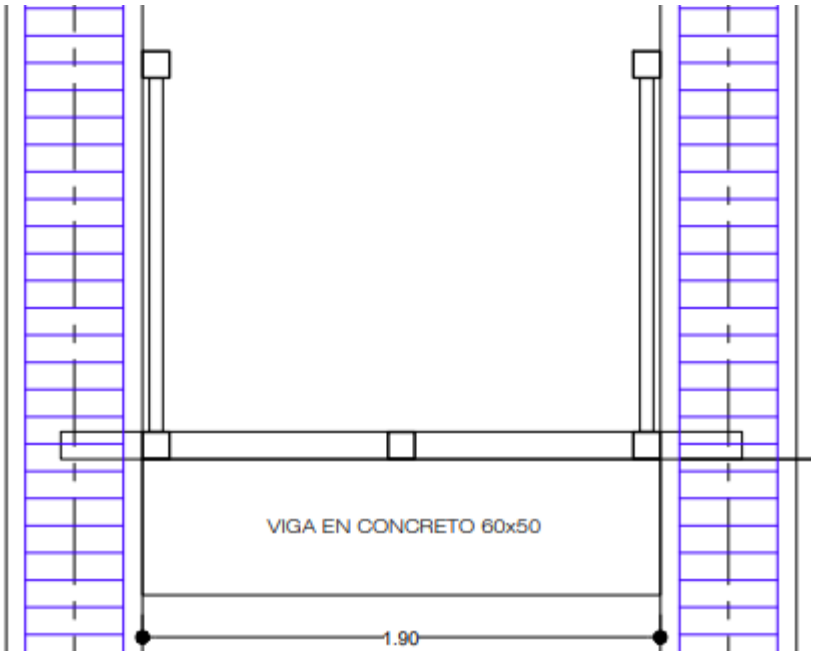
En la Figura 38, se presenta la fotografía del tipo de puente analizado en su sección típica empleada en los diferentes proyectos en Colombia.

Figura 38. Fotografía de Puente hamaca Tipo



Fuente: http://www.bucarasica-nortedesantander.gov.co/proyectos-en-ejecucion/construccion-puente-hamaca

Figura 39. Sección transversal de Puente Hamaca Tipo.



Fuente: http://www.bucarasica-nortedesantander.gov.co/proyectos-en-ejecucion/construccion-puente-hamaca

12.1 PLANTEAMIENTO PRELIMINAR DE ALTERNATIVAS DE CIMENTACIÓN

Teniendo en cuenta las hipótesis geotécnicas mencionadas en el análisis bajo la evaluación de información secundaria y estudios previos en donde se identifica que para el costado del corregimiento de San Pablo, se podría estimar que las lodolitas de la Formación León se encuentran a una profundidad aproximada entre 18 y 20 m y en el costado del municipio de los Patios se encontrarían las rocas de la Formación Guayabo a una profundidad mínima de 10,0 m y sobre estas se identifican los depósitos de terrazas del rio Pamplonita, teniendo en cuenta lo anterior y debido a las cargas de diseño que pueden llegar a tener los puentes peatonales tipo hamaca, se considera que los mismos pueden estar cimentados en el estrato aluvial, siendo esta una característica geotécnica a considerar en los dos costados del puente siendo esta la misma capa a nivel superficial en los dos estribos, teniendo en cuenta esto y dada la necesidad de contar con resistencia por fricción como aporte a la capacidad de soporte

de las torres requeridas para la construcción de puentes hamaca, se recomienda analizar alternativas de cimentación mediante cimentación profunda (tipo caissons) y variar las alternativas de cimentación de los anclajes (cables de acero).

ALTERNATIVA N°1

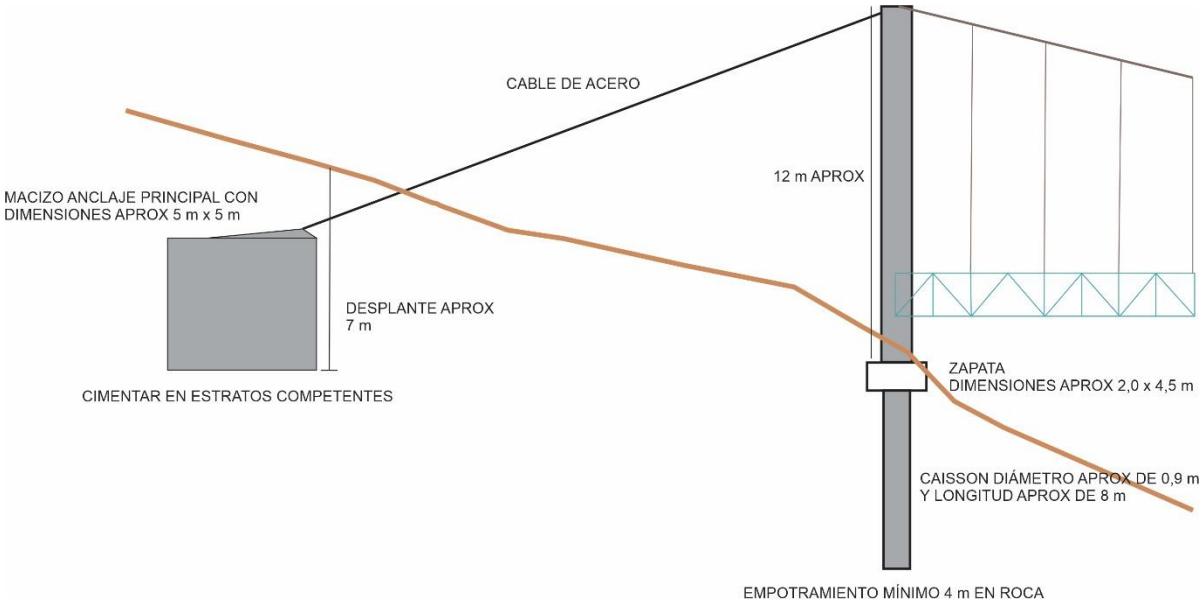
El puente peatonal proyectado tendrá un ancho de dos metros y una luz de 120 metros aproximadamente, tendrá dos cables principales de los cuales saldrá pendolones cada 2,5 metros y una cercha lateral de 1,50 metros de altura soportando el tablero de madera y a su vez funcionando como baranda. A cada extremo habrá una torre de concreto reforzado de 12 metros de altura, cimentadas mediante zapatas apoyadas en caissons, las guayas de apoyo se encuentran cimentados en macizo anclaje.

Se hace necesario garantizar que la implantación de la cimentación tanto de la torre del puente como de los contrafuertes requeridos para el soporte de la estructura atirantada se encuentren en material competente, por lo que se propone la construcción de macizos anclajes y caissons hasta la profundidad de empotramiento requerida.

Teniendo en cuenta la topografía de la zona y la distribución de flujo, se recomienda construir filtros perimetrales a los apoyos, así como un sistema de canales flexibles para garantizar el buen funcionamiento y durabilidad de la cimentación proyectada, evitando surcos o cárcavas en superficie que puedan generar afectaciones en las estructuras de soporte.

Considerando el tipo de estructura a proyectar, se recomienda para las torres cimentación mediante zapata de dimensiones aproximadas de 2,0 m x 4,5 m, apoyadas en dos caissons de diámetro aproximado de 0,9 m y de longitud aproximada de 8 metros, teniendo en cuenta que deben estar empotrados mínimo 4,0 metros en material competente. En cuanto a los tirantes, se proyecta cimentación superficial mediante macizos anclajes de dimensiones aproximadas 5,0 m x 5,0 m con desplante de 7,0 metros aproximadamente. Se debe garantizar la cimentación en estratos competentes por lo que si las condiciones así lo determinan debe realizarse un mejoramiento en concreto ciclópeo sobre un geotextil de separación NT 2000.

Figura 40. Esquema de cimentación propuesta Alternativa Nº1



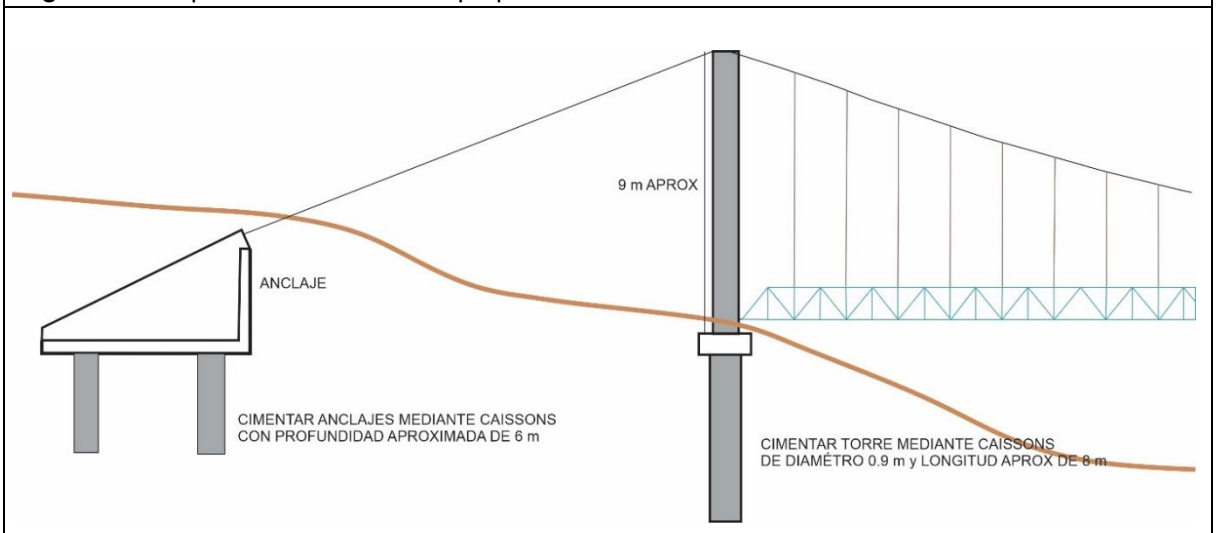
Fuente: Consultor.

ALTERNATIVA N°2

El puente peatonal proyectado demanda la cimentación de los estribos del mismo y de la cimentación de la estructura atirantada. Teniendo en cuenta el tipo de estructura a proyectar y las características de resistencia del suelo de fundación, para esta alternativa es necesario plantear estribos con cimentación profunda, por esto se proponen caisson de aproximadamente 8 m de longitud con un diámetro de 0,9 m, los cuáles deben empotrarse mínimo 4,0 metros en rocas competentes. Teniendo en cuenta la topografía de la zona y la distribución de flujo, se recomienda construir filtros perimetrales a los apoyos, así como un sistema de canales flexibles para garantizar el buen funcionamiento y durabilidad de la cimentación proyectada, evitando surcos o cárcavas en superficie que puedan generar nuevos procesos de remoción en masa. Para los muertos de los tirantes se propone la construcción de caissons con profundidad aproximada de 6.0 m para la cimentación de los anclajes.

Antes de iniciar la construcción de las obras se debe realizar una inspección detallada de las condiciones del terreno, verificando que las condiciones de construcción sean las mismas a las condiciones en la cuales se realizaron las investigaciones de campo y ensayos geotécnicos, y que los procesos morfodinámicos no hayan modificado la dinámica del cauce. Verificadas las condiciones el constructor revisará detalladamente los informes y planos entendiendo los alcances y limitaciones del análisis, contando con los profesionales adecuados para plantear los ajustes a los diseños en la fase de pre-construcción. Se recomienda realizar ensayos de exploración geotécnica adicionales a los realizados en la etapa de diseño.

Figura 41. Esquema de cimentación propuesta Alternativa Nº2



Fuente: Consultor.

En términos generales, se recomienda adelantar los estudios pertinentes de topografía y geotecnia con el fin de conocer las condiciones actuales del terreno y definir las propiedades geotécnicas de los suelos y rocas. Se deberán efectuar trabajos de exploración directa o indirecta para encontrar las profundidades de cimentación adecuadas sobre suelo competente y llevar a cabo los diseños correspondientes de la estructura proyectada con todas las especificaciones técnicas y económicas correspondientes que demanda un estudio a Fase 3.

Al desarrollar la etapa de estudios y diseños a nivel de ingeniería de detalle –FASE 3 (pre-construcción), en la etapa de construcción se debe tener en cuenta:

Las excavaciones para zapatas, vigas de amarre entre otras, deben estar expuestas a la intemperie el menor tiempo posible, protegiéndolas en todo momento de la lluvia o de alguna fuente de agua que pueda saturar el material y causar algún derrumbe menor.

Es necesario entibar las excavaciones ya que son mayores a 1,0 m de profundidad, evitando de esta forma derrabes menores dentro de la excavación.

El nivel de desplante durante las excavaciones debe ser revisado por el ingeniero geotecnista o un especialista. Si durante las excavaciones en el terreno aparece alguna diferencia en cuanto a las condiciones del suelo especificadas en este informe se debe consultar con el ingeniero geotecnista.

13. ESTIMACIÓN DE LAS CANTIDADES DE OBRA

Para la evaluación de las cantidades de obra del proyecto y teniendo en cuenta que el presente estudio no contempla Ingeniería de detalles, se emplean las condiciones de proyectos de Puentes Hamaca Tipo para la longitud de análisis, los cuales se encuentran anexos al presente documento, es importante tener en cuenta que las cantidades analizadas deben ser ajustadas y verificadas en el momento de realizar los estudios y diseños a Fase 3, a continuación se resumen las cantidades de obra para las actividades proyectadas para la construcción del puente

Tabla 14. Cantidades de Obra para la alternativa de cimentación 1 Incluye obras para la socavación.

ÍTEM DE PAGO	ESPECIFI. GENERAL	DESCRIPCIÓN	UND.	CANT	APROX AL ENTERO
1	**PRELIMINARES**				
1.1		Localización y replanteo de precisión para el proyecto	m2	312.00	312.00
1.2	200	Desmonte y limpieza en zonas no boscosas (incluye retiro)	m2	312.00	312.00
2	**MOVIMIENTOS DE TIERRA**				
2.1	600	Excavaciones varias en material común en seco (incluye retiro)	m3	212.67	213.00
2.2	600	Excavaciones varias en roca en seco (incluye retiro)	m3	91.15	91.00
2.3	610	Rellenos para estructuras	m3	22.68	23.00
3	**ESTRUCTURAS EN CONCRETO REFORZADO**				
3.1	621	Pilotes preexcavados concreto resistencia 28mpa clase c d = 0.90m (incluye perforación y acero)	ml	30.00	30.00
3.2	630	Concreto resistencia 14mpa clase f (limpieza)	m3	0.76	1.00
3.3	630	Concreto resistencia 28mpa clase c (alturas hasta 1.5 mts)	m3	246.06	246.00
3.4	630	Concreto resistencia 28mpa clase c (alturas mayores de 1.5 mts hasta 12 mts)	m3	27.48	27.00
3.5	640	Acero de refuerzo (incluye acero en alturas)	kg	9628.90	9629.00
4	**VARIOS**				
4.1		Cables de acero ips galvanizado aa 6x19	kg	13639.82	13640.00
4.2	650	Acero estructural cerchas, pernos, platinas y anclajes.	kg	7216.16	7216.00

Tabla 14. Cantidades de Obra para la alternativa de cimentación 1 Incluye obras para la socavación.

ÍTEM DE PAGO	ESPECIFI. GENERAL	DESCRIPCIÓN	UND.	CANT	APROX AL ENTERO
4.3		Tablero paso peatonal en madera según diseños (incluye elementos de fijación)	ml	120.00	120.00
5	**CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE CONTROL DE SOCAVACIÓN**				
5.10		Excavación varias para la construcción de obras de contención	m3	741.83	742.00
5.20		Excavaciones varias en material común bajo agua para conformación del cauce	M3	763.53	764.00
5.30		Suministro e instalación de muro en gaviones de alambre de acero entrelazado clase 1 (galvanizado)	m3	867.49	867.00
5.40		Suministro e instalación de concreto (clase D) f'c= 21 Mpa para recubrimiento de gaviones proyectados e=0,1 m	m2	545.49	545.00
5.50		Suministro e instalación de geotextil NT 2500	m2	1,135.06	1135.00
5.60		Suministro e instalación de Tubería perforada PVC, ASTM D 1785, de Diámetro 100 mm (4")	m	335.56	336.00

Fuente: Gobernación del Guaviare. (2016) Plan de Desarrollo Departamental "Guaviare Paz y Desarrollo Social". www.guaviare.gov.co – Adaptado por el consultor.

Tabla 15. Cantidades de Obra para la alternativa de cimentación 2 Incluye obras para la socavación.

ÍTEM DE PAGO	ESPECIFI. GENERAL	DESCRIPCIÓN	UND.	CANT	APROX AL ENTERO
1	**PRELIMINARES**				
1.1		Localización y replanteo de precisión para el proyecto	m2	312.00	312.00
1.2	200	Desmonte y limpieza en zonas no boscosas (incluye retiro)	m2	312.00	312.00
2	**MOVIMIENTOS DE TIERRA**				
2.1	600	Excavaciones varias en material común en seco (incluye retiro)	m3	70.27	70.00
2.2	600	Excavaciones varias en roca en seco (incluye retiro)	m3	30.12	30.00
2.3	610	Rellenos para estructuras	m3	22.68	23.00

Tabla 15. Cantidades de Obra para la alternativa de cimentación 2 Incluye obras para la socavación.

ÍTEM DE PAGO	ESPECIFI. GENERAL	DESCRIPCIÓN	UND.	CANT	APROX AL ENTERO
3	**ESTRUCTURAS EN CONCRETO REFORZADO**				
3.1	621	Pilotes preexcavados concreto resistencia 28mpa clase c d = 0.90m (incluye perforación y acero)	ml	48.00	48.00
3.2	630	Concreto resistencia 14mpa clase f (limpieza)	m3	67.56	68.00
3.3	630	Concreto resistencia 28mpa clase c (alturas hasta 1.5 mts)	m3	89.86	90.00
3.4	630	Concreto resistencia 28mpa clase c (alturas mayores de 1.5 mts hasta 12 mts)	m3	27.48	27.00
3.5	640	Acero de refuerzo (incluye acero en alturas)	kg	10244.59	10245.00
4	**VARIOS**				
4.1		Cables de acero ips galvanizado aa 6x19	kg	13639.82	13640.00
4.2	650	Acero estructural cerchas, pernos, platinas y anclajes.	kg	7216.16	7216.00
4.3		Tablero paso peatonal en madera según diseños (incluye elementos de fijación)	ml	120.00	120.00
5	**CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE CONTROL DE SOCAVACIÓN**				
5.10		Excavación varias para la construcción de obras de contención	m3	741.83	742.00
5.20		Excavaciones varias en material común bajo agua para conformación del cauce	M3	763.53	764.00
5.30		Suministro e instalación de muro en gaviones de alambre de acero entrelazado clase 1 (galvanizado)	m3	867.49	867.00
5.40		Suministro e instalación de concreto (clase D) f'c= 21 Mpa para recubrimiento de gaviones proyectados e=0,1 m	m2	545.49	545.00
5.50		Suministro e instalación de geotextil NT 2500	m2	1,135.06	1135.00
5.60		Suministro e instalación de Tubería perforada PVC, ASTM D 1785, de Diámetro 100 mm (4")	m	335.56	336.00

Fuente: Gobernación del Guaviare. (2016) Plan de Desarrollo Departamental "Guaviare Paz y Desarrollo Social". www.guaviare.gov.co – Adaptado por el consultor.

14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con la caracterización geológica del área de estudio, las unidades aflorantes se encuentran representadas por depósitos cuaternarios de origen aluvial y coluvial, y la Formación León en el margen del corregimiento de San Pedro, así como la Formación Guayabo en el margen del municipio de Los Patios, como unidad sedimentaria Paleógena.

El área de estudio se ubica sobre la zona hidrográfica del Caribe, en la cuenca del río Pamplonita, catalogada como de 3° orden. La zona de estudio, entre el corregimiento San Pedro y el municipio de Los Patios, se encuentra en la parte media de la cuenca, y de acuerdo a los volúmenes entregados por la distancia recorrida y las corrientes de agua que recibe, presentan caudales considerables los cuáles surten el acueducto municipal del área metropolitana de Cúcuta.

La zona se localiza en la provincia hidrogeológica PM- 5 Catatumbo, incluida dentro del área hidrográfica del Caribe. Los sistemas acuíferos aquí presentes se definen como niveles de terrazas y depósitos aluviales recientes que se encuentran en el cauce de inundación del río Pamplonita, y, por otro lado, la Formación León que se comporta como un acuicludo actuando como una barrera impermeable debido a su carácter litológico.

Con referencia a la evaluación de riesgos naturales, el área de influencia directa del proyecto presenta amenaza baja por inundación y por fenómenos de remoción en masa. Se recomienda adelantar estudios detallados de mitigación de amenaza por movimientos en masa en los taludes adyacentes a la proyección del puente que puedan llegar a afectar la estructura por deslizamientos y/o caídas de rocas.

A partir del análisis de las tres alternativas de ubicación del puente hamaca, se define que la Alternativa 1 y Alternativa 3, presentan una mayor complejidad técnica, mayores costos y ubicación no ideal para el puente hamaca, definiéndose técnicamente como la Alternativa No 2 es la que presenta las condiciones favorables para su construcción.

Teniendo en cuenta los parámetros establecidos por el CCP-14 para el sector en estudio comprendido entre en corregimiento de San Pedro y el municipio de los Patios, se considera

que la amenaza sísmica en este sector es media –alta, para determinar los parámetros locales para la proyección del espectro de diseño, se requiere conocer el perfil del suelo mediante ensayos de exploración geotécnica directa (Sondeos) y ensayos de exploración geofísica (Ensayos MASW o ensayos DOWNHOLE), preliminarmente y basados en estudios previos del sector se estima que el Perfil del suelo corresponde a un Perfil tipo D correspondiente a Perfiles de suelos rígidos con velocidad medida de onda de cortante vs en el intervalo de 360 m/s y 180 m/s o perfiles que cumplan con cualquiera de los dos criterios siguientes N en el intervalo 50 golpes/pie y 15 golpes pie.

Al definir el tipo de perfil de suelo basado en los ensayos que se realizarán en la fase de ingeniería de detalle posterior al presente estudio, se requerirá definir el espectro de diseño el cual dará las pautas para la evaluación estructural del puente a proyectar.

Teniendo en cuenta las hipótesis geotécnicas mencionadas en el análisis bajo la evaluación de información secundaria y estudios previos en donde se identifica que para el costado del corregimiento de San Pablo, se podría estimar preliminarmente que las lodolitas de la Formación León se encuentran a una profundidad aproximada entre 18 y 20 m y en el costado del municipio de los Patios se encontrarían las rocas de la Formación Guayabo a una profundidad mínima de 10,0 m (preliminarmente) y sobre estas se identifican los depósitos de terrazas del rio Pamplonita, teniendo en cuenta lo anterior y debido a las cargas de diseño que pueden llegar a tener los puentes peatonales tipo hamaca, se considera que los mismos pueden estar cimentados en el estrato aluvial, siendo esta una característica geotécnica a considerar en los dos costados del puente siendo esta la misma capa a nivel superficial en los dos estribos, teniendo en cuenta esto y dada la necesidad de contar con resistencia por fricción como aporte a la capacidad de soporte de las torres requeridas para la construcción de puentes hamaca, se recomienda analizar alternativas de cimentación mediante cimentación profunda (tipo Caissons) y variar las alternativas de cimentación de los anclajes (Cables de acero), siendo la alternativa 1 el empleo de dados macizos en concreto y la alternativa 2 la construcción de zapatas apoyadas con caissons.

De acuerdo con el análisis predial, se define que parte de la estructura (tablero y estribo) ubicada al costado derecho del puente se localiza en la vereda Agualinda II del municipio de

Los Patios, por tanto, técnicamente no es viable la construcción del puente hamaca con recursos del municipio de San José de Cúcuta, al considerar que esta zona hace parte de una jurisdicción diferente.

15. BIBLIOGRAFÍA

Alcaldía de Cúcuta (2019) Plan de Ordenamiento Territorial Municipio de San José de Cúcuta, Norte de Santander, Colombia.

Alzate-Velásquez (2010). Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Pamplonita. Resumen ejecutivo.

Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA (2020). Reporte de alertas de análisis regional cuenca alta del Río Lebrija, Río Zulia y Río Pamplonita. (CH-ALZP).

Diederix et al., (2009). Evolución tectónica y morfodinámica durante el cuaternario en la zona de Cúcuta y alrededores, Norte de Santander.

Florez Vargas, A. O., Sánchez Molina, J., & Blanco Meneses, D. S. (2018). Las arcillas de las formaciones geológicas de un área metropolitana, su uso en la industria cerámica e impacto en la economía regional. Revista EIA, 15(30), 133–150.

Fúquen et al., (2010). Geología de la plancha 99 Villa del Rosario Escala 1:100.000. INGEOMINAS

Fúquen et al., (2011). Geología de las planchas 98- Durania y 99- Villa del Rosario, Norte de Santander, Colombia a escala 1:100.000. Memoria explicativa. INGEOMINAS

IDEAM (2015). Estudio Nacional del Agua año 2014, Bogotá, D.C. 496 páginas.

IDEAM (2015a). Estudio Nacional del Agua año 2014- Anexo 4: Fichas síntesis de sistemas acuíferos y aguas subterráneas frente a indicadores. Bogotá, D.C.

Instituto Nacional de Vías – INVIAS. Norma Colombiana de Diseño de Puentes CPP14.

SGC (2015). Mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa plancha 099 Villa del Rosario. Convenio 021 de 2013.

SGC (2015a). Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa plancha 099 Villa del Rosario. Convenio 021 de 2013.

SGC (2015b). Mapa de amenaza relativa por movimientos en masa plancha 099 Villa del Rosario. Convenio 021 de 2013.

Unión temporal planeando Cúcuta (2018). Elaboración de los estudios técnicos y productos previstos en el marco jurídico vigente dentro del proceso de estudio para la revisión ordinaria del Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio San José de Cúcuta. Etapa Diagnóstico.

Universidad Francisco de Paula Santander UFPS e Instituto de estudios ambientales IDEAB (2014). Ajuste al plan de ordenamiento y manejo de la cuenca del río Pamplonita en el Departamento de Norte de Santander, en el área de jurisdicción de la Corporación autónoma regional de la Frontera Nororiental- CORPONOR. Convenio 00036 de 2011. Tomo III.

Universidad Francisco de Paula Santander UFPS e Instituto de estudios ambientales IDEAB (2014a). Informe de ronda del río Pamplonita-Cúcuta. Tomo VIII. Convenio 000036 de 2011.