

Universidad Nacional del Comahue
Facultad de Ingeniería
Departamento de Geología y Petróleo



Trabajo Final de Licenciatura

Informe geotécnico para proyecto de infraestructura urbana
de Villa El Chocón en el área entre el casco histórico y el
Barrio Llequén

Autor: Mariano Nicolás Cossio

Directora: Miriam Adriana Minutella

Codirector: Alberto Carlos Garrido

Agradecimientos

Este es un gran logro que fue posible conseguir con esfuerzo personal y el apoyo de las grandes personas que me rodean, sin los cuales no hubiese sido posible de alcanzar. Quiero agradecer a todos los que estuvieron desde el principio y a todos los que fui conociendo a lo largo de la carrera.

Quiero agradecer a mi familia, que siempre me bancó incondicionalmente.

A mis amigos, con los que compartí y alegraron todo momento de mi vida universitaria, e hicieron que esta sea mucho más fácil de transitar.

A mis directores, por su ayuda a lo largo de todo este trabajo, con sus correcciones, sugerencias y aguante durante las salidas de campo.

A la Universidad Nacional del Comahue y a los profesores de la carrera, por formarme y pasarme parte de su pasión por la geología.

A Gisela Pettinari y Cecilia Dufilho, por haberme brindado su tiempo y equipamiento para llevar a cabo este trabajo.

A CONSULVAL S.R.L. por haberme brindado de su tiempo y espacio para realizar ensayos necesarios para llevar a cabo este trabajo.

No puedo más que agradecer a todos los que pusieron su granito de arena para que haya podido llegar hasta donde estoy. De corazón, muchas gracias.

Resumen

En el presente trabajo se estudiaron las características geotécnicas del macizo rocoso, y del terreno aflorante en cercanías a la localidad de Villa El Chocón, la cual se encuentra ubicada en la orilla norte del Embalse Ezequiel Ramos Mexía. Se recopilaron datos geotécnicos de la zona a partir de muestreos y ensayos, *in situ* y en laboratorio, para poder determinar las características mecánicas del terreno. Este trabajo tiene como fin poder brindar a la Municipalidad de Villa El Chocón un estudio de información base para el proyecto de infraestructura de la ciclo vía con puentes peatonales proyectado dentro del marco del plan de ordenamiento territorial.

Se designaron seis estaciones geotécnicas a lo largo de los cañadones que cortan el macizo rocoso, donde se realizaron mediciones de características como resistencia a la compresión simple, grado de fracturamiento, composición y granulometría de la matriz rocosa, así también como las características de las discontinuidades presentes. Estos datos fueron utilizados para clasificar al macizo rocoso según las clasificaciones RMR de Bieniawski (1989) y GSI (*Geological Strength Index*) (Hoek, 1994).

A su vez, se tomaron muestras de suelos en dos puntos cercanos al Barrio Llequén y al cañadón que lo atraviesa para hacer mediciones de características como granulometría, humedad, y grado de compactación. Estos datos fueron utilizados para clasificar los suelos según las clasificaciones de Casagrande (1947) y del H. R. B. (*Highway Research Board*).

A partir del análisis de los datos obtenidos, se concluye que el macizo rocoso es apto para la construcción de las obras de infraestructura proyectadas por la Municipalidad de Villa El Chocón, teniendo en consideración el riesgo hídrico de la zona. En el caso de los estudios de suelos es necesario realizar un estudio más profundo en el área cercana al Barrio Llequén para determinar si el terreno es apto para la realización de obras de infraestructura en la zona.

Palabras clave: clasificación de macizo rocoso, clasificación de suelos, obras de infraestructura, estación geotécnica.

Abstract

In this work, the geotechnical characteristics of the rock mass and the soil were studied near the village of Villa El Chocón, located on the northern shore of the artificial lake Ezequiel Ramos Mexía. Geotechnical data was collected from sampling in the área. Through laboratory tests on these simples, the mechanical characteristics of the terrain were determined. The objective of this work is to provide the Municipality of Villa El Chocón with a baseline study for the infrastructure project of building a bikeway with pedestrian bridges, which is within the framework of the territorial arrangement plan.

Six geotechnical stations were designated along the canyons that cut through the rock mass, where several measurements were carried out such as rock strenght, degree of fracturing, composition and granulometry of the rock matrix, as well as the characteristics of the discontinuities present. This information was used to classify the rock mass according to Bieniawski (1989) and the GSI (*Geological Strenght Index*) clasiffication (Hoek, 1994).

In addition, soil simples were extracted from two locations near the Barrio Llequén and the canyon that goes through it, in order to measure granulometry, humidity and compaction degree. This data was used to classify the soil according to Casagrande (1947) and the H. R. B. (*Highway Research Board*) classifications.

Based on the analysis of the results, it can be concluded that the rock mass is suitable for carrying out infrastructure works in the area projected by the Villa El Chocón municipality, taking in consideration the water hazard risk for the area. Fort he soil studies, it can be concluded that is necessary to make further tests deeper into the ground in the area closer to the Barrio Llequén in order to determine the suitability of the terrain for the infrastrutue project.

Keywords: rock mass clasification, soil clasification, infrastructure, geotechnical station.

Índice de contenido

1.	INTRODUCCIÓN.....	9
	a. Fundamentación	9
	b. Objetivo.....	10
2.	CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	12
	a. Geología regional	12
	b. Geomorfología	16
	c. Suelos.....	18
	d. Clima	19
	e. Hidrología.....	21
	f. Vegetación	24
3.	SISMICIDAD	25
4.	GEOTECNIA	26
	a. Mecánica de rocas	26
	b. Mecánica de suelos.....	32
5.	METODOLOGÍA	37
	a. Mecánica de rocas	38
	b. Mecánica de suelos.....	40
	c. Identificación de facies	42
6.	FACIES.....	43
7.	RESULTADOS.....	49
	a. Mecánica de rocas	49
	b. Mecánica de suelos.....	63
8.	CONCLUSIONES	68
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	70

Índice de figuras

Figura 1: proyecto de ciclovía presentado por la Municipalidad de Villa El Chocón (plan de ordenamiento territorial, 2017). Los números en el esquema corresponden a los distintos tramos en los que se realizará el proyecto.	9
<i>Figura 2: ubicación geográfica del área de estudio (rojo). Imagen satelital de Google Earth Pro (4/2021).</i>	10
Figura 3: Marco geológico regional y ubicación del área de estudio (editado de Ramos et al. 2011). 12	
Figura 4: mapa geológico de la localidad de Villa El Chocón (digitalización de Hugo y Leanza, 2001). 14	
Figura 5: columna estratigráfica del Engolfamiento Neuquino (Garrido 2005).	15
<i>Figura 6: mapa geomorfológico del área municipal de Villa El Chocón (modificado de Plan de ordenamiento territorial de la Municipalidad de Villa El Chocón 2017).</i>	17
Figura 7: mapa de las regiones edáficas de la provincia de Neuquén (Pereyra, 2011).	19
<i>Figura 8: mapa de precipitaciones en la provincia de Neuquén (izquierda) y mapa de evapotranspiración corregida en la provincia de Neuquén (derecha). (Gatica, J. et al. 2021).</i>	21
.....	21
<i>Figura 9: grafico anual de exceso y déficit de agua en la localidad de Villa El Chocón (izquierda) y grafico anual del balance hídrico en la localidad de Villa El Chocón (Plan de ordenamiento territorial de la municipalidad de Villa El Chocón).</i>	21
Figura 10: delimitación de las subcuencas en el área de estudio (extraído de Acuña, 2021)	23
Figura 11: Parámetros morfométricos principales para cada subcuenca (extraído de Acuña 2021)...	23
Figura 12: Índices de Gravelius y determinación de la forma para cada subcuenca, según dicho índice (extraído de Acuña 2021).....	24
Figura 13: Valores medios de los índices de curva número para cada subcuenca de estudio, obtenidos mediante una estadística zonal por tabla. (extraído de Acuña 2021).	24
Figura 14: Mapa de zonificación sísmica (INPRES, 2012).....	25
<i>Figura 15: Perfiles de rugosidad, ISRM, 1981</i>	28
<i>Figura 16: Perfiles de coeficiente de rugosidad, ISRM, 1981</i>	29
<i>Figura 17: Clasificación RMR de Bieniaswki, 1989</i>	30
<i>Figura 18: Clasificación GSI (Marinos, P., & Hoek, E. 2000)</i>	31
<i>Figura 19: Tabla del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S).</i>	35
Figura 20: Clasificación de suelos para uso ingenieril del H.R.B.	36
Figura 21: mapa de ubicación de puntos de muestreo.	37
Figura 22: ensayo de compresión simple.....	39
Figura 23: Extracción de muestra de suelo con barreno helicoidal.....	40
Figura 24: A- cuarteador de tipo rifle marca Cosacov, B- balanza granataria marca Sartorius, C- serie de tamices utilizados en este análisis, D- lupa binocular marca Arcano.	42
Figura 25: perfil de facies correspondientes a las estaciones geotécnicas 1 a 4.....	44
Figura 26: A- Cuerpos lenticulares amalgamados correspondientes a las facies Sm1 y Sr1. B- Concreciones calcáreas contenidas en la facies Sm2. C- Facies Sw y Fm. D- Rizolitos contenidos en la facies Sm3.	45
Figura 27: perfil de facies correspondientes a las estaciones geotécnicas 5 y 6.....	46
.....	47
Figura 28: A- Arenisca correspondiente a la facies Sp. B- Arenisca masiva correspondiente a la facies Sm4. C- Arenisca con estratificación con estructuras internas obliteradas en la parte superior y estratificación ondúlítica conservada en la parte inferior, correspondientes a la facies Sr2.....	47
Figura 29: Extracción de las muestras para ensayo de compresión simple (izquierda) y muestras previas al ensayo (derecha).	49

Figura 30: ploteos de las discontinuidades presentes en el macizo rocoso en las estaciones geotécnicas. A- Estación geotécnica 1. B- Estación geotécnica 2. C- Estación geotécnica 3. D- Estación geotécnica 4. E- Estación geotécnica 5. F- Estación geotécnica 6. 50

Figura 31: Curva granulométrica acumulada: tamaño de partículas VS % acumulado para la muestra 1 63

Figura 32: Histograma de muestra total: % frecuencia relativa Vs tamaño de partículas de la muestra 1 64

Figura 33: Curva granulométrica acumulada: tamaño de partículas VS % acumulado para la muestra 2 64

Figura 34: Histograma de muestra total: % frecuencia relativa Vs tamaño de partículas de la muestra 2 65

Figura 35: A- Retenidos en tamiz IRAM N°40, B- Retenidos en tamiz IRAM N°60, C- Retenidos en tamiz IRAM N°120, D- Retenidos en tamiz IRAM N°40, E- Retenidos en tamiz IRAM N°60, y F- Retenidos en tamiz IRAM N°120. A, B y C pertenecen a la muestra 1 y D, E y F pertenecen a la muestra 2. 67

Índice de tablas

Tabla 1: coordenadas de los límites del área de estudio..... 10

Tabla 2: Clasificación propuesta por Deere y Patton (1971). Evaluación del grado de meteorización del macizo rocoso. 27

Tabla 3: Evaluación de la resistencia de la matriz rocosa (ISRM, 1978). 27

Tabla 4: Grado de fracturación de la roca. 28

Tabla 5: Descripción de la continuidad ISRM, 1981 28

Tabla 6: Clasificación granulométrica..... 32

Tabla 7: coordenadas geográficas de las estaciones geotécnicas..... 38

Tabla 8: resultados del ensayo de compresión simple. 49

Tabla 9: valores de compresión simple de la matriz rocosa de cada estación geotécnica..... 50

Tabla 10: Orientación de las discontinuidades en la estación geotécnica 1. El tipo de junta E corresponde a discontinuidades producto de estratificación mientras que el J corresponde a posibles esfuerzos tectónicos. ... 51

Tabla 11: familias de discontinuidades en la estación geotécnica 1..... 52

Tabla 12: Orientación de las discontinuidades en la estación geotécnica 2. El tipo de junta E corresponde a discontinuidades producto de estratificación mientras que el J corresponde a posibles esfuerzos tectónicos. ... 52

Tabla 13: familias de discontinuidades en la estación geotécnica 2..... 53

Tabla 14: Orientación de las discontinuidades en la estación geotécnica 3. El tipo de junta E corresponde a discontinuidades producto de estratificación mientras que el J corresponde a posibles esfuerzos tectónicos. ... 53

Tabla 15: familias de discontinuidades en la estación geotécnica 3..... 53

Tabla 16: Orientación de las discontinuidades en la estación geotécnica 4. El tipo de junta E corresponde a discontinuidades producto de estratificación mientras que el J corresponde a posibles esfuerzos tectónicos. ... 54

Tabla 17: familias de discontinuidades en la estación geotécnica 4..... 54

Tabla 18: Orientación de las discontinuidades en la estación geotécnica 5. El tipo de junta E corresponde a discontinuidades producto de estratificación mientras que el J corresponde a posibles esfuerzos tectónicos. ... 55

Tabla 19: familias de discontinuidades en la estación geotécnica 5..... 55

Tabla 20: Orientación de las discontinuidades en la estación geotécnica 6. El tipo de junta E corresponde a discontinuidades producto de estratificación mientras que el J corresponde a posibles esfuerzos tectónicos. ... 56

Tabla 21: familias de discontinuidades en la estación geotécnica 6..... 56

<i>Tabla 22: valores de la clasificación GSI para cada estación geotécnica</i>	56
<i>Tabla 23: Clasificación RMR para la estación geotécnica 1.</i>	57
<i>Tabla 24: Clasificación RMR para la estación geotécnica 2.</i>	58
<i>Tabla 25: Clasificación RMR para la estación geotécnica 3.</i>	59
<i>Tabla 26: Clasificación RMR para la estación geotécnica 4.</i>	60
<i>Tabla 27: Clasificación RMR para la estación geotécnica 5.</i>	61
<i>Tabla 28: Clasificación RMR para la estación geotécnica 6.</i>	62
<i>Tabla 29: coordenadas de puntos de muestreo de suelos.</i>	63
<i>Tabla 30: Cantidad de sedimento retenido en los distintos tamices.</i>	63
<i>Tabla 31: datos y clasificaciones de las muestras de suelo</i>	65

1. INTRODUCCIÓN

a. *Fundamentación*

La localidad de Villa El Chocón se ubica en la orilla norte del embalse Ezequiel Ramos Mexía y a 83 kilómetros al sudoeste de la ciudad de Neuquén sobre la Ruta Nacional N°237.

Debido al crecimiento urbano y turístico de la villa en las últimas décadas se pueden identificar dos centros urbanos, el Barrio Llequén fundado en 1991, el cual se ubica a la vera de la Ruta Provincial N°237, y el Casco Histórico, compuesto por los barrios I, II y III, fundado por la compañía Hidronor S.A. para los trabajadores durante la construcción de la represa.

La realización de este trabajo surge a partir de la necesidad de la Municipalidad de Villa El Chocón de realizar una ciclovía (figura 1) con dos puentes peatonales sobre los cañadones, que permita transitar de forma segura los 4 kilómetros que separan a los barrios previamente mencionados, siendo esta extensión el área de estudio.

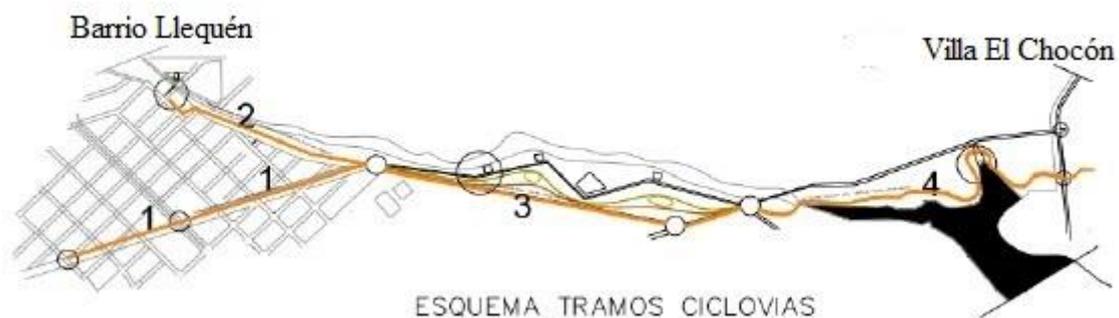


Figura 1: proyecto de ciclovía presentado por la Municipalidad de Villa El Chocón (plan de ordenamiento territorial, 2017). Los números en el esquema corresponden a los distintos tramos en los que se realizará el proyecto.

Para estos fines, la Municipalidad de Villa El Chocón contribuyó con información, mapas y datos del proyecto de infraestructura (ver anexo) y del área de estudio, los cuales se encuentran condensados en los cuatro libros del plan de ordenamiento territorial.

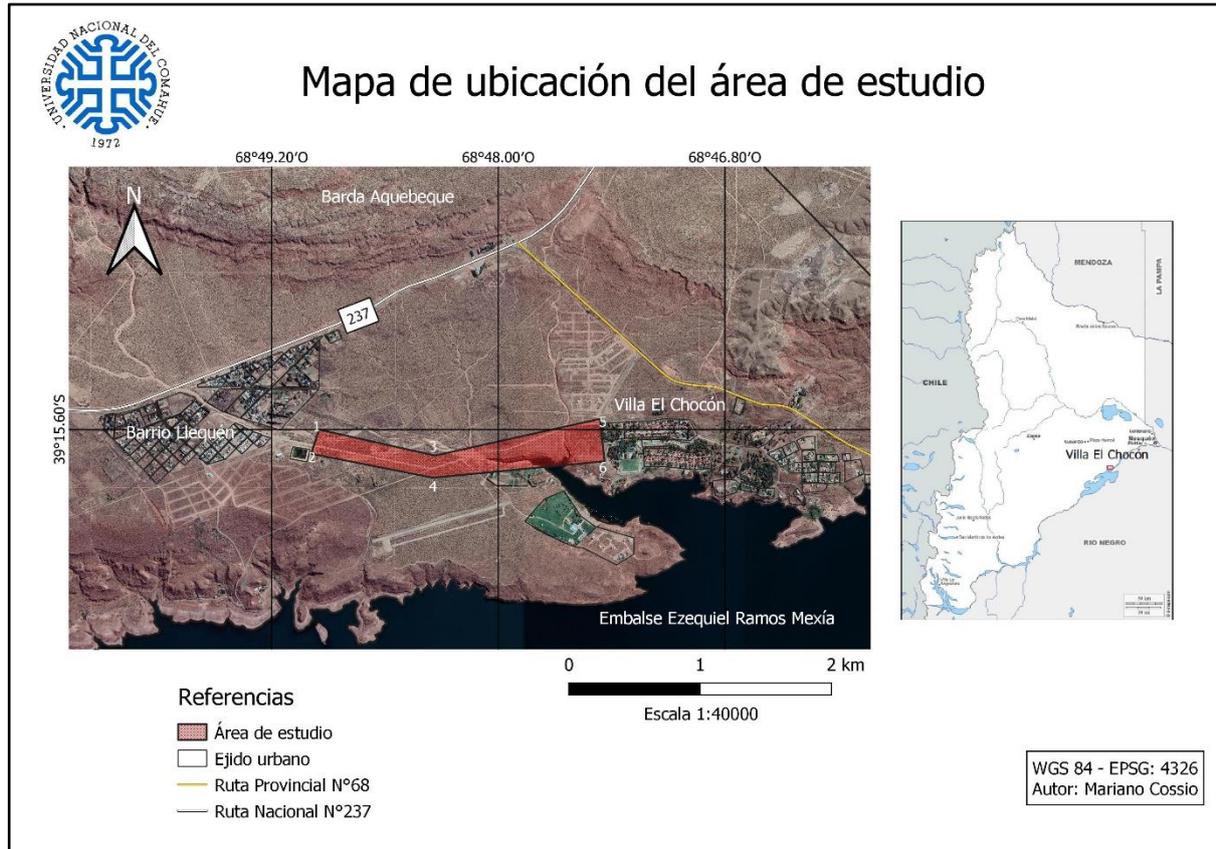


Figura 2: ubicación geográfica del área de estudio (rojo). Imagen satelital de Google Earth Pro (4/2021).

El área de estudio (figura 2) abarca una extensión de 0,48 km², y se localiza entre el casco histórico de Villa El Chocón y el Barrio Llequén. Las coordenadas de sus vértices son:

Punto	Coordenadas
1	68°48'95" O – 39°15'60" S
2	68°49'00" O – 39°15'70" S
3	68°48'35" O – 39°15'70" S
4	68°48'35" O – 39°15'80" S
5	68°47'45" O – 39°15'55" S
6	68°47'44" O – 39°15'73" S

Tabla 1: coordenadas de los límites del área de estudio

b. Objetivo

El objetivo del presente trabajo es caracterizar la geología, el medio físico y las características geotécnicas del macizo rocoso y el suelo comprendido en el área de estudio, que se ubica dentro del ejido urbano de la localidad de Villa El Chocón, con el fin de describir y analizar el tipo de terreno presente y sus propiedades geomecánicas, que servirán como base para la realización del proyecto de infraestructura urbana en el área entre el Casco Histórico y el Barrio Llequén.

- La caracterización geológica incluirá la sedimentología, la estratigrafía y la clasificación de litofacies siguiendo el criterio de Miall (2010).
- La caracterización del medio físico abarcará las condiciones climáticas, topográficas geomorfológicas, hidrológicas, edáficas y de vegetación del área de estudio.

- Por su parte la caracterización geotécnica incluye la mecánica de roca mediante la clasificación de macizos rocosos de Bieniawski (1989) y la mecánica de suelos clasificando a los mismos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Se elaborarán mapas y perfiles para sintetizar la información obtenida.

2. CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

a. Geología regional

El área de estudio se encuentra en la provincia geológica definida por Ramos *et al.*, (2011) como Engolfamiento Neuquino (Figura 3). Esta limita al noreste con el Bloque de San Rafael, al sur con el Macizo Nordpatagónico y al oeste con la Cordillera Principal. A su vez, está dividida en dos partes por la Dorsal de Huincul, con orientación E – O, la cual da origen a dos depocentros, el depocentro de Añelo y el depocentro de Picún Leufú, siendo en este último donde se ubica el área de estudio. El Engolfamiento Neuquino abarca casi en su totalidad a la Provincia del Neuquén, así como parte de las provincias de Mendoza, La Pampa y Río Negro. Es una cuenca de retroarco cuyo desarrollo se inicia en el Triásico Tardío y se extiende hasta el Cretácico Tardío.

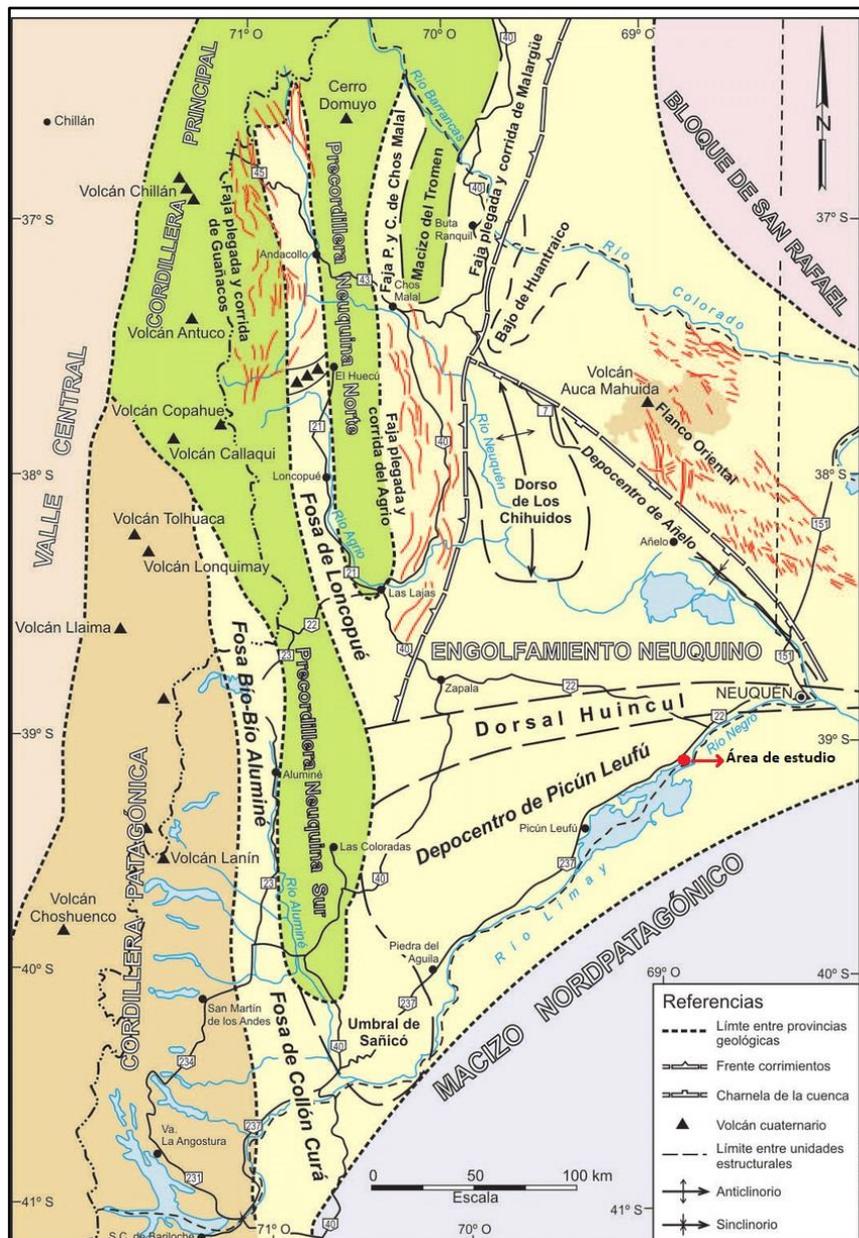


Figura 3: Marco geológico regional y ubicación del área de estudio (editado de Ramos et al. 2011).

Los depósitos sedimentarios de esta provincia geológica comprenden distintos grupos comenzando cronológicamente por el Grupo Pre-Cuyo, seguido por el Grupo Cuyo, Grupo Lotena, Grupo Mendoza, Grupo Rayoso, Grupo Neuquén y finaliza con el Grupo Malargüe (Figura 5).

La unidad litoestratigráfica de interés de este trabajo forma parte del Grupo Neuquén, es una sucesión de origen continental que se deposita durante el Cretácico Tardío (Cenomaniano temprano – Campaniano medio) y está constituido por tres subgrupos: Subgrupo Río Limay, Subgrupo Río Neuquén y Subgrupo Río Colorado.

El Subgrupo Río Limay (Cenomaniano temprano – Turoniano temprano) está compuesto únicamente por la Fm. Candeleros, que aflora dentro del área de estudio, y la Fm. Huincul (Garrido, 2010) como se ve en la Figura 4. Los depósitos de este subgrupo corresponden a sistemas fluviales entrelazados que pierden capacidad de carga hacia el interior de la cuenca (Garrido, 2005).

La Fm. Candeleros, cuya localidad tipo está definida en el Cerro Candeleros, Provincia del Neuquén (Wichmann, 1927), está mayormente compuesta por areniscas cuarzolíticas de granulometría variada, con intercalaciones fangolíticas y escasos lentes conglomerádicos. Presenta gran extensión areal con extensas superficies de bajo relieve definidas por González Díaz & Ferrer (1986) como “planicies estructurales por arrasamiento”, lo que les da una caracterización geomorfológica distintiva.

En el área de estudio, la cual se encuentra dentro del radio urbano de la localidad de Villa El Chocón, la Fm. Candeleros está compuesta por areniscas de color rojizo, de gran homogeneidad a lo largo de los afloramientos, y está atravesada por grandes cañadones producto de la erosión fluvial asociado a precipitaciones, y acantilados frente a las costas del Embalse Ramos Mexía.



Figura 4: mapa geológico de la localidad de Villa El Chocón (digitalización de Hugo y Leanza, 2001)

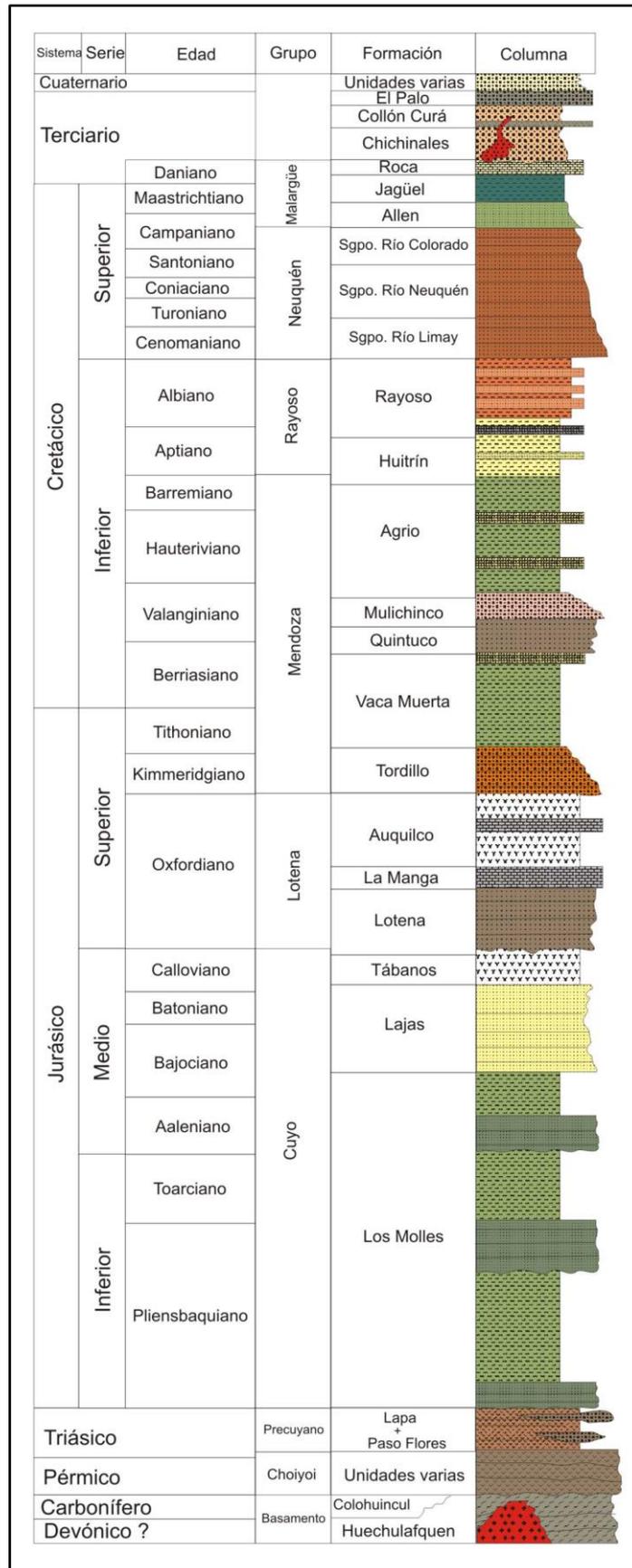


Figura 5: columna estratigráfica del Engolfamiento Neuquino (Garrido 2005).

b. Geomorfología

Los afloramientos en el área de estudio se encuentran limitados por los cambios de pendiente de los resaltos mesetiformes, que caracterizan a la región extraandina de la Cuenca Neuquina (Garrido, 2005).

Las geoformas corresponden exclusivamente a amplias planicies estructurales que deben su presencia en el relieve a un manto resistente superficial (generalmente areniscas y/o conglomerados bien diagenizados) cuya posición superior es consecuencia primaria del "arrasamiento" de las sedimentitas suprayacentes (González Díaz & Ferrer, 1986). El mejor exponente de esta morfología lo constituyen las extensas superficies de estratos subhorizontales de las Formaciones Candeleros o Huincul, que han sido erosionados a un determinado nivel.

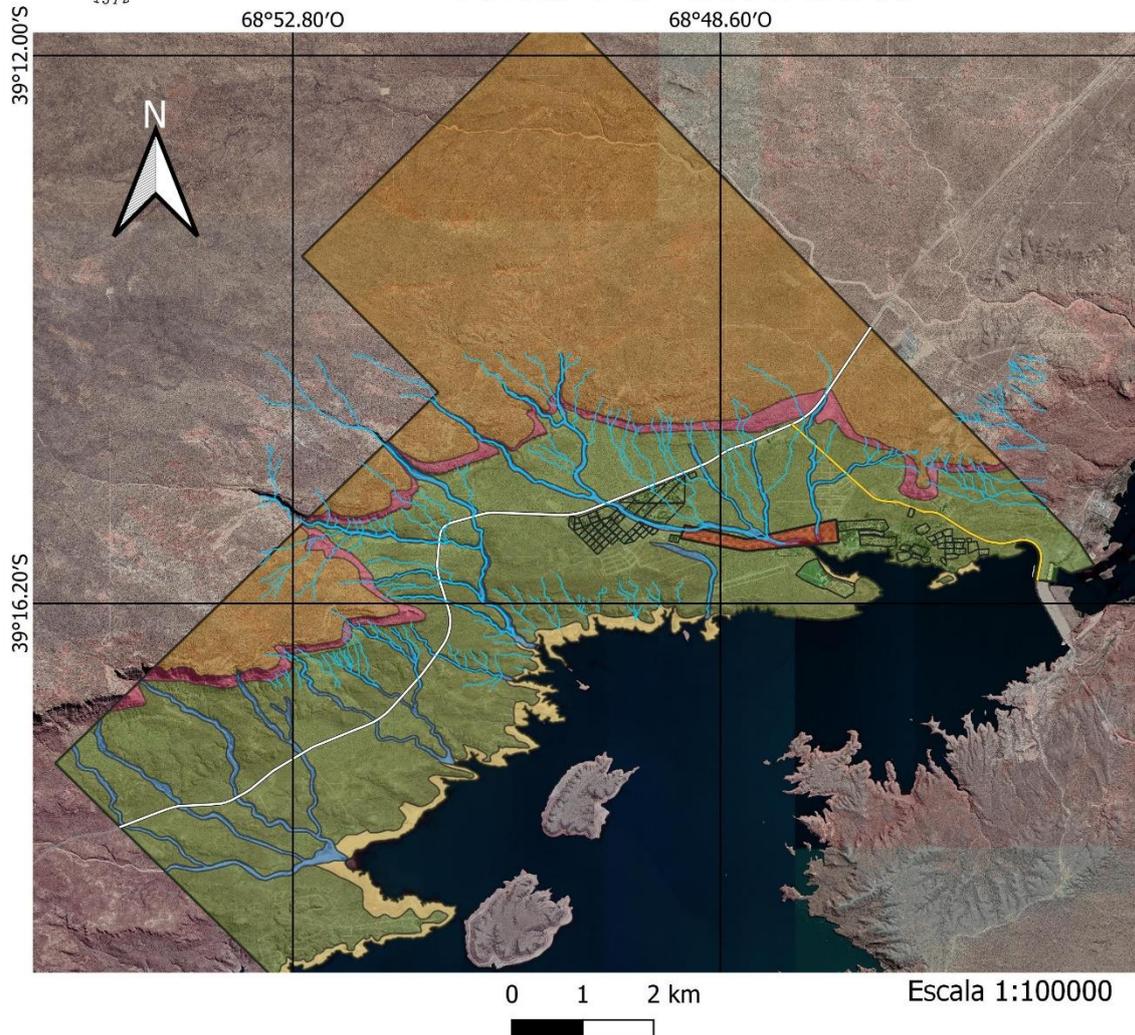
En aquellos sectores expuestos a una intensa acción erosiva por parte de los cursos fluviales, tanto permanentes como efímeros, se generan marcados resaltos topográficos atravesados por grandes cañadones de paredes verticales (Garrido 2010). Estos se caracterizan, en gran parte del área de estudio, por presentar lechos y márgenes rocosos, haciendo que su curso y morfología se vean condicionados por las características litológicas y estructurales de la roca, y muchas veces por la dinámica y procesos propios de la evolución de las barrancas o laderas adyacentes (Ramonell, 1997). Puede apreciarse a lo largo del cañadón evidencia de la abrasión del lecho rocoso debido a la gran cantidad de sedimentos arrastrados, y en ciertas áreas son comunes los "pilancones o marmitas de gigante". Estas oquedades cilíndricas son producto de la rotación de fragmentos rocosos, en una corriente rápida, que van perforando gradualmente la roca.

En el sector norte del mapa geomorfológico (figura 6) pueden observarse las planicies estructurales por arrasamiento con relieve mesetiforme característico (marrón), las cuales son limitadas por las laderas de la meseta (violeta).

El pedimento (verde) se extiende desde el pie de las laderas hasta las áreas costeras, formando una extensa cobertura. Este se produce por acción eólica mediante el proceso de deflación del material fino presente en el suelo, dejando así una capa de material rocoso en superficie.

Bordeando al Embalse Ezequiel Ramos Mexía pueden identificarse áreas costeras (amarillo), en gran parte relacionadas a las zonas de descarga de sedimentos de los cursos aluvionales y cañadones que cortan la totalidad de la geomorfología previamente descrita (azul), inclusive al área de estudio. Cabe destacar la presencia de acantilados en el área costera y cerros testigo dentro del embalse, los cuales son conocidos localmente como "Los Gigantes".

Mapa geomorfológico de Villa El Chocón



Unidades morfológicas

- Áreas costeras
- Laderas
- Planicie estructural por arrasamiento
- Cañadones y arroyos
- Pedimento
- Cauces efímeros principales
- Cauces efímeros secundarios

Referencias cartográficas

- Área de estudio
- Ejido urbano
- Ruta Provincial N°68
- Ruta Nacional N°237
- Municipio de Villa El Chocón

WGS 84 - EPSG: 4326
Autor: Mariano Cossio

Figura 6: mapa geomorfológico del área municipal de Villa El Chocón (modificado de Plan de ordenamiento territorial de la Municipalidad de Villa El Chocón 2017).

c. Suelos

El suelo de esta región se clasifica como un suelo con déficit hídrico anual (edafoclima árido) con estepa arbustiva rala, el cual cubre el 56% de la superficie de la provincia, y se subdivide en dos subregiones: árida serrana, y árida mesetiforme (figura 7).

Prevalecen suelos de escaso a nulo desarrollo genético exhibiendo una acentuada litodependencia. Así, en los ambientes aluviales el perfil de los suelos se encuentra estratificado, con discontinuidades litológicas, o bien con capas lenticulares gruesas; en otros casos la sección vertical del suelo ofrece uniformidad y un predominio de la fracción arena, situaciones asociadas a la morfogénesis eólica (Irisarri et al., 1990).

La mayoría de los suelos exhiben un manto arenoso, delgado, sobre el que yace semisepultada una cubierta no continua de gravilla fina, suelta, que de por sí no constituye una limitación. El manto arenoso se engrosa alrededor de las matas de vegetación, constituyendo sobreelevaciones de exiguo porte, conformando en estos casos “dunas enanas”.

Dentro del área de estudio se pueden identificar Entisoles y Aridisoles los cuales no desarrollan horizontes diagnósticos potentes debido a la deficiencia de agua, son de color claro y presentan escaso contenido de materia orgánica.

Este tipo de suelos, por lo general, presentan alta permeabilidad, alta capacidad de infiltración y por ende buen drenaje. Esto se puede ver en el trabajo de Acuña (2021) donde, para zonas aledañas al área de estudio, describe valores de capacidad de infiltración inicial mayores a 800 mm/h y valores para la capacidad de infiltración final mayores a 220 mm/h.

Los suelos del orden Aridisol están asociados a climas áridos y semiáridos. Presentan uno o más horizontes diagnósticos, que pueden haberse formado bajo condiciones ambientales actuales o constituyen relictos de períodos pluviales anteriores. El material originario de estos suelos son potentes mantos de gravas con matriz arenosa, sobre todo en las zonas más elevadas.

Los materiales originarios de las terrazas fluviales y la planicie de inundación actual provienen de las rocas y sedimentos surcados por los ríos que forman la cuenca. En general se aprecia un importante manto de gravas apoyados sobre la roca de base y por encima un depósito aluvial de materiales de variada granulometría.

En el mapa (figura 7) pueden distinguirse cinco regiones edáficas en la provincia de Neuquén, cada una caracterizada por distintas condiciones climáticas (temperatura y precipitaciones) y tipos de suelo. El área de estudio se encuentra en la región árida mesetiforme (rojo), la cual abarca la mayor parte del este de la provincia y se caracteriza por precipitaciones menores a los 130 mm anuales, gran amplitud térmica ($>16^{\circ}\text{C}$), un marcado déficit hídrico, suelos áridos y vegetación arbustiva de tipo xerófila.

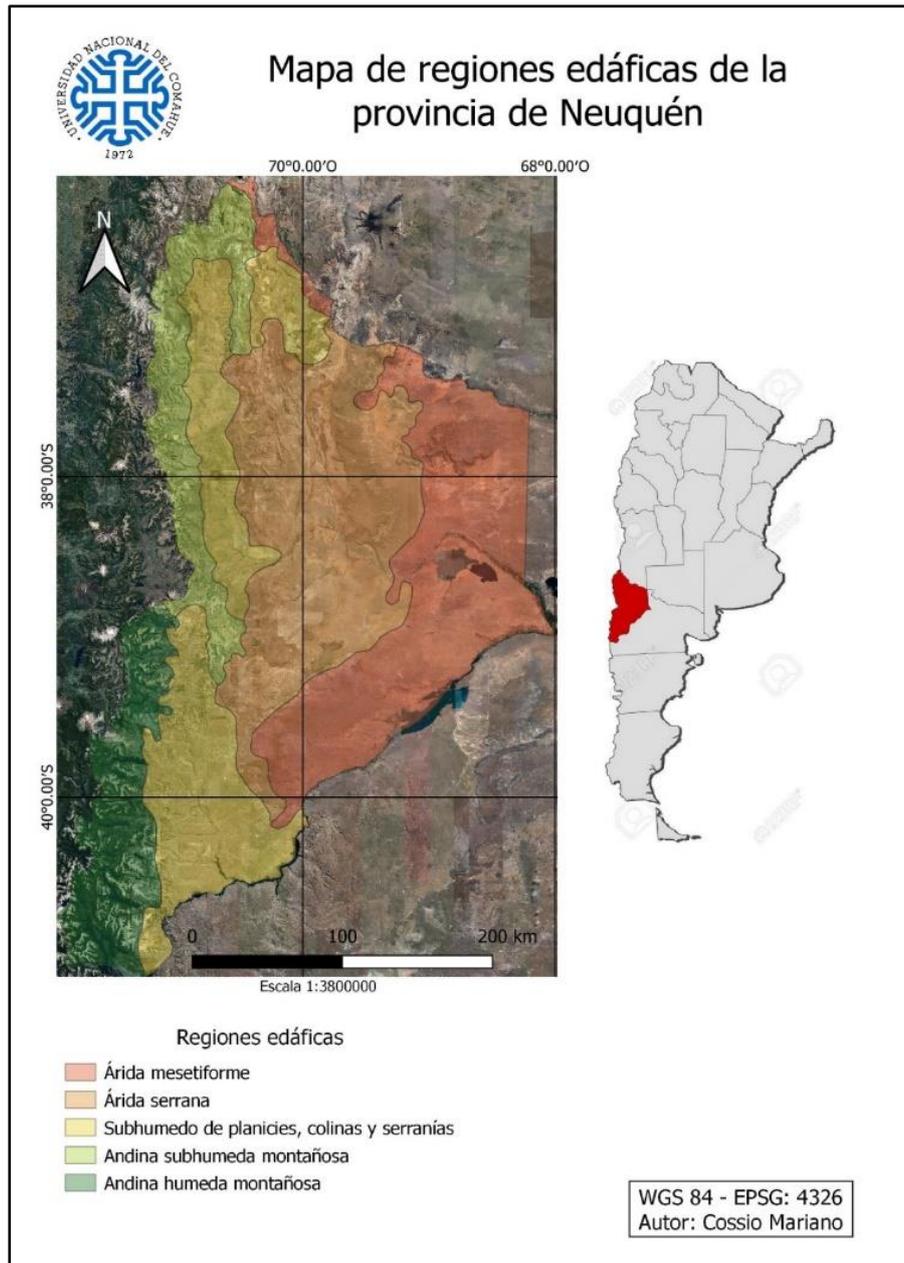


Figura 7: mapa de las regiones edáficas de la provincia de Neuquén (Pereyra, 2011).

d. Clima

La provincia del Neuquén presenta una importante heterogeneidad climática natural. Esta viene dada principalmente por los gradientes climáticos asociados a las temperaturas y a las precipitaciones. En el primer caso se relaciona con la altimetría, con menores temperaturas a medida que la altura es mayor y, en el segundo caso, a la variación en sentido oeste-este que presentan las precipitaciones, las cuales son abundantes en la zona cordillerana próxima al límite con Chile disminuyendo su intensidad abruptamente hacia el este, presentando además desigual distribución a lo largo del año. En base a esto se distinguen dos regiones:

La Región Andina: sobre el sector oeste de la provincia, cuyo clima varía de húmedo y perhúmedo a subhúmedo-húmedo, mediando entre los dos primeros, distancias de solo 20 a 30

km. Las precipitaciones se incrementan en dirección al límite internacional (Cordillera de los Andes), desde los 800 mm hasta superar los 2.500 mm anuales, con gradientes de 40 a 70 mm por kilómetro en la dirección citada.

La temperatura media anual varía entre 11°C y 8°C, y el período libre de heladas es inferior a 90 días.

La Región Extraandina: sobre el sector este de la provincia, abarcando el área de estudio, cuyo clima varía de subhúmedo seco a árido, las precipitaciones anuales varían de 300 mm a 150 mm, el período libre de heladas entre puede ir de 90 y 180 días, la temperatura media anual entre 10°C y 14°C y las máximas medias entre 16°C y 23°C. Esta amplitud anual está también acompañada de una gran amplitud diurna. Ambas son características propias de regiones continentales.

Las temperaturas extremas van de una máxima absoluta de 42,3°C en verano a una mínima de -12,8°C en invierno. A ello se suma también una importante variabilidad interdiurna, propia de las latitudes medias. En esta región los vientos son moderados a fuertes, lo que constituye un factor adicional de aridez. Son más intensos en las zonas altas y más expuestas. Las direcciones prevalecientes son del oeste y sudoeste, que en conjunto suman entre el 40 y 50% del tiempo. Los vientos medios mensuales son mayores en verano que en invierno variando de 8 km/h en julio a 16 km/h en diciembre. (FAO, 1980)

Las bajas precipitaciones, sumadas a las elevadas temperaturas en el área que producen una elevada evapotranspiración, dan como resultado un déficit hídrico el cual se acentúa durante los meses del verano. Esto puede verse representado en los mapas de la figura 8 y en los gráficos de la figura 9.

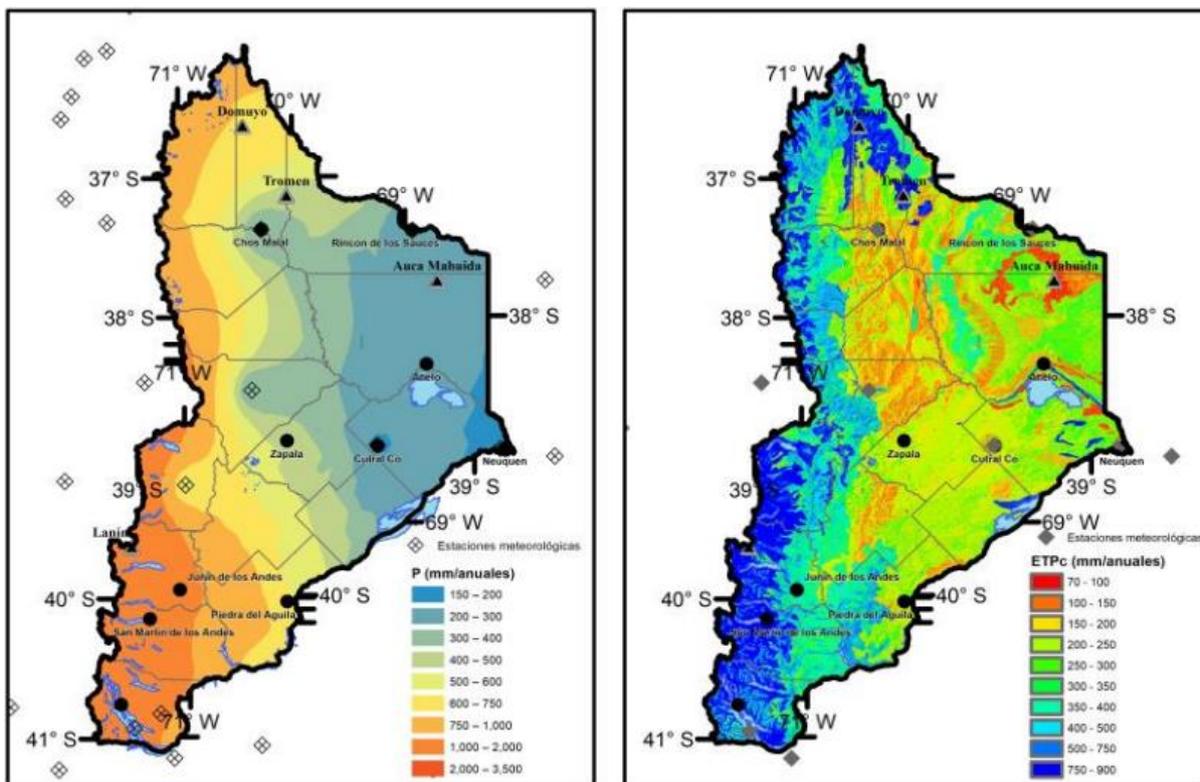


Figura 8: mapa de precipitaciones en la provincia de Neuquén (izquierda) y mapa de evapotranspiración corregida en la provincia de Neuquén (derecha). (Gatica, J. et al. 2021).

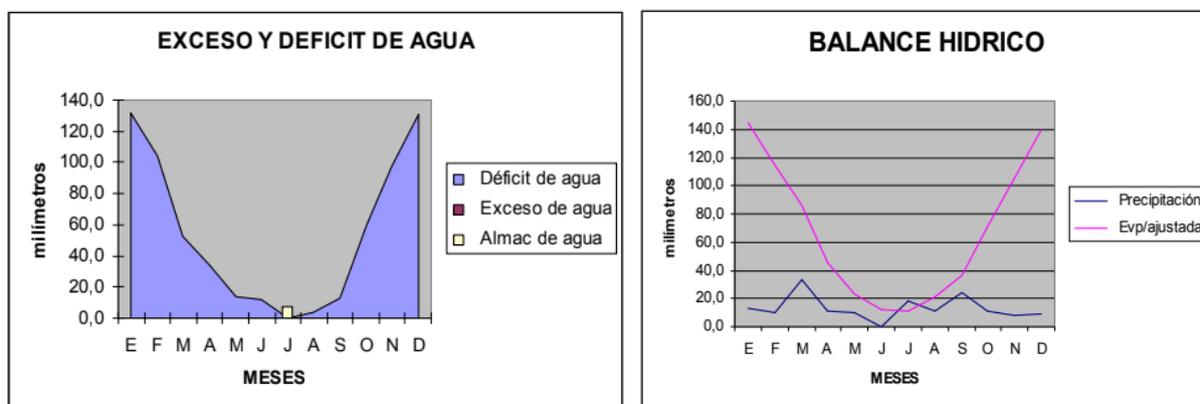


Figura 9: grafico anual de exceso y déficit de agua en la localidad de Villa El Chocón (izquierda) y grafico anual del balance hídrico en la localidad de Villa El Chocón (Plan de ordenamiento territorial de la municipalidad de Villa El Chocón).

e. Hidrología

La cuenca del río Limay comprende el sector sur de la provincia del Neuquén y el sector norte de la provincia de Río Negro. El río Limay, con 500 kilómetros de longitud, es uno de los principales afluentes del río Negro y su cuenca drena una superficie aproximada de 56.000 km². Es alimentado por 42 lagos, y presenta el régimen propio de los cursos de agua emisarios de comarcas lacustres, en las que las precipitaciones pluviales y níveas son embalsadas por esos lagos, los cuales devuelven los volúmenes de agua retenidos en forma gradual, disminuyendo así la violencia de las crecidas y aumentando el caudal de los estiajes (Martinez, 2021).

El río Limay nace a los 790 metros sobre el nivel medio del mar y tiene un desnivel aproximado de 500 metros. Es considerado un ambiente lótico ya que posee un flujo unidireccional desde relieves más altos a aquellos más bajos en términos relativos respecto del nivel del mar.

Al final de su recorrido se une al Río Neuquén para formar el Río Negro, y durante todo su trayecto es un límite natural entre estas dos provincias: del Neuquén y Río Negro.

En el curso del río Limay se construyeron una serie de represas hidroeléctricas como Alicurá, Piedra del Águila, Pichi Picún Leufú, El Chocón y Arroyito, con el fin de regular crecidas, aumentar las áreas de riego y producir energía hidroeléctrica. La represa El Chocón da origen al lago artificial Ezequiel Ramos Mexía, cuyo espejo de agua posee una superficie de 816 kilómetros cuadrados.

La cuenca del Río Limay puede ser clasificada por su tamaño como una gran cuenca, al drenar un área mayor a 80000 hectáreas, de tipo exorreica, ya que sus aguas pasan a formar el Río Negro y posteriormente desembocan al Océano Atlántico.

Las aguas del Río Limay y sus afluentes son utilizados para múltiples fines, entre los que se destacan la generación de energía hidroeléctrica, consumo poblacional, entretenimiento (actividades recreativas), y riego agrícola. En este punto cabe destacar que las represas hidroeléctricas generan el 94% de la energía de Neuquén y aportan el 25% de la producción del país. A su vez, sobre este río se ha construido la única planta de agua pesada de América del Sur.

Es una cuenca de alta montaña cuya naciente, el Lago Nahuel Huapi, recibe aportes de arroyos de cabecera cuyo origen es mayormente de deshielo, a más de 800 msnm. A medida que la pendiente y el caudal disminuye, producto de la acción de los embalses, el Río Limay se vuelve meandriforme hasta su confluencia con el Río Neuquén.

En cuanto a los ecosistemas presentes en la cuenca pueden encontrarse dos muy diferenciados: los bosques patagónicos y la estepa. Los bosques patagónicos se ubican hacia el oeste de la cuenca, donde los vientos cargados de humedad provenientes del Océano Pacífico descargan precipitaciones del orden de 3000 mm anuales, debido al efecto de la Cordillera de los Andes. La estepa se encuentra al este de la cuenca, donde el viento proveniente del oeste, descargado de toda su humedad, genera un clima árido. Las precipitaciones promedio de esta zona es de 200 mm anuales.

El área de estudio del presente trabajo se encuentra a orillas del Embalse Ezequiel Ramos Mexía, cuya formación es consecuencia de la construcción del dique El Chocón sobre el curso del Río Limay con el fin de generar energía hidroeléctrica.

El trabajo de Acuña (2021), ubicado en la misma área de estudio que este trabajo, identifica y caracteriza las subcuenas que la atraviesan (figura 10).

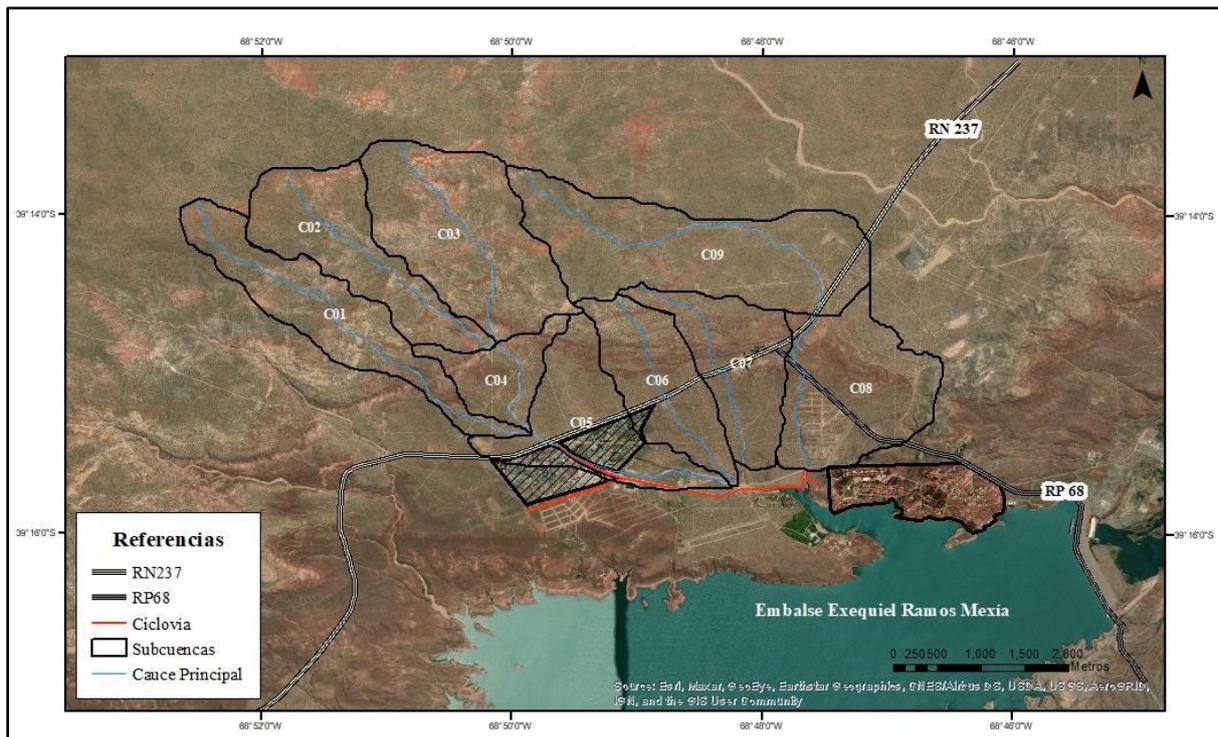


Figura 10: Delimitación de las subcuencas en el área de estudio (extraído de Acuña, 2021)

Acuña (2021) identifica cuatro cuencas las cuales fueron divididas en 9 subcuencas a partir de criterios hidrogeológicos, siendo cada una de estas caracterizada de forma particular (figuras 11 – 13). La cuenca N°1 comprende las subcuencas C01, C02, C03, C04 y C05; la N°2 comprende a la subcuenca C06; la N°3 comprende a la subcuenca C07; y por ultimo la N°4 comprende a las subcuencas C08 y C09.

Subcuenca	A (km ²)	A (ha)	P (km)	Pendiente (%)
1	2,40	240,00	11,08	5,77
2	2,38	238,80	8,70	5,25
3	3,45	345,00	8,24	6,05
4	1,00	100,00	5,65	6,57
5	2,23	222,54	8,86	4,28
6	1,87	187,38	6,75	6,44
7	1,91	191,03	7,12	5,72
8	2,71	270,84	7,48	6,66
9	4,11	411,03	10,87	3,27

Figura 11: Parámetros morfométricos principales para cada subcuenca (extraído de Acuña, 2021). Se designo con el mismo color a las subcuencas pertenecientes a la misma cuenca.

Subcuenca	Índice de Gravelius	Forma
1	2,02	Alargada
2	1,59	Ovalada
3	1,25	Ovalada
4	1,59	Alargada
5	1,67	Alargada
6	1,39	Alargada
7	1,45	Ovalada
8	1,28	Alargada
9	1,51	Ovalada

Figura 12: Índices de Gravelius y determinación de la forma para cada subcuenca, según dicho índice (extraído de Acuña, 2021).

Subcuenca	Curva Número (CN) (2)
1	83
2	83
3	83
4	83
5	83
6	82
7	83
8	83
9	84

Figura 13: Valores medios de los índices de curva número para cada subcuenca de estudio, obtenidos mediante una estadística zonal por tabla. (extraído de Acuña, 2021).

A partir de estos datos y mediante la utilización del método semi-empírico de Annandale (1995), Acuña (2021) analizó dos situaciones en las cuales las condiciones de cauce o de la roca estudiada en este trabajo, podrían verse alteradas por intervención humana. En el primero de los casos, ciertas actividades humanas podrían favorecer la disminución de sección de los cauces (estrangulamiento de cauce), lo cual incrementaría la tasa de disipación de energía del flujo posibilitando la erosión del lecho rocoso. Por otra parte, cualquier acción humana constructiva sobre el lecho rocoso podría incentivar el debilitamiento de la roca estudiada, disminuyendo su índice de erodabilidad y facilitando la existencia de procesos erosivos en el lecho rocoso.

f. Vegetación

La vegetación en cercanías de la localidad de Villa El Chocón es de tipo xerófila, adaptada a un ambiente árido con elevadas temperaturas. Consiste principalmente de especies arbustivas que pueden superar el metro de altura y, desarrollándose por debajo de estas, algunas especies herbáceas que pueden llegar a los 50 centímetros de altura. Esto da como resultado un porcentaje de cobertura vegetal muy variable en la zona. (Plan de Ordenamiento Territorial de la Municipalidad de Villa El Chocón, 2017)

Las especies arbustivas más abundantes en la zona son: jarilla (*Larrea divaricata*), alpataco (*Prosopis alpataco*), zampa (*Atriplex lampa*), neneo (*Mulinum spinosum*), molle negro (*Schinus fasciculatus*) y matasebo (*Monttea aphylla*) (Pereyra, 2003).

3. SISMICIDAD

El peligro sísmico, que es la probabilidad de que ocurra una determinada amplitud de movimiento del suelo en un intervalo de tiempo fijado, depende del nivel de sismicidad de cada zona. Los mapas de zonificación sísmica individualizan zonas con diferentes niveles de peligro sísmico. En el mapa de zonificación sísmica del reglamento INPRES-CIRSOC 103 (figura 14), se encuentran identificadas 5 zonas. El área de estudio está comprendida en la zona 1 o de reducida peligrosidad sísmica.

A partir de todos los datos analizados de las muestras tomadas por las perforaciones de la empresa del Estado Agua y Energía Eléctrica y de la empresa RODIO, se pudo categorizar con una clasificación de suelo tipo C (NEHRP, 2003) para el sitio de emplazamiento de la presa El Chocón, con una velocidad de estimada de onda de corte de 396.7 m/s.

Las rocas sobre las que se fundó el Complejo El Chocón-Cerro Colorado, caracterizan con detalle diferentes tipos de areniscas con comportamientos promedio de rígido a muy rígido.

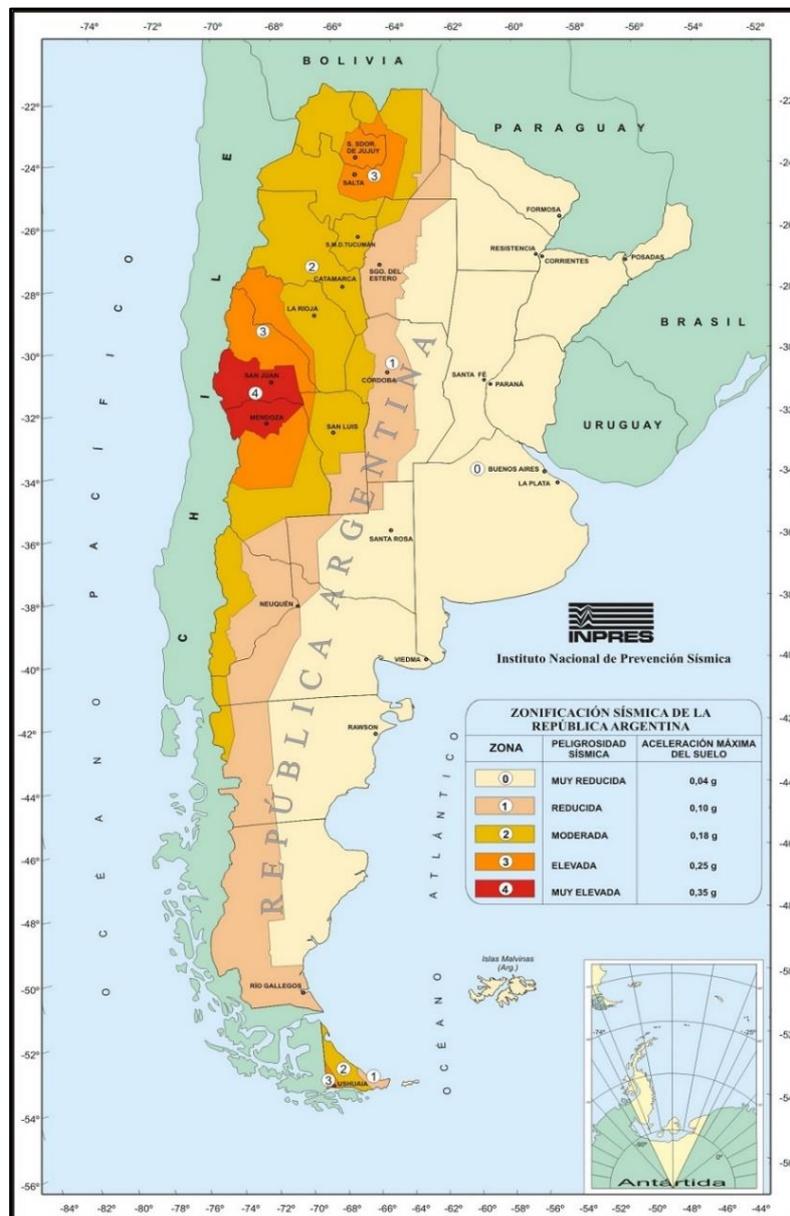


Figura 14: Mapa de zonificación sísmica (INPRES, 2012).

4. GEOTECNIA

Los suelos, según su acepción en ingeniería geológica, son agregados naturales de granos minerales unidos por fuerzas de contacto normales y tangenciales a las superficies de las partículas adyacentes, separables por medios mecánicos de poca energía o por agitación en agua (González de Vallejo *et al.*, 2002).

Las rocas por otra parte son agregados naturales duros y compactos de partículas minerales con fuertes uniones cohesivas permanentes que habitualmente se consideran un sistema continuo. La proporción de diferentes minerales, la estructura granular, la textura y el origen de la roca sirven para su clasificación geológica (González de Vallejo *et al.*, 2002).

Un criterio ampliamente extendido en ingeniería geológica para el establecimiento de los límites entre suelo y roca es el valor de la resistencia a compresión simple, o máximo esfuerzo que soporta una probeta antes de romper al ser cargada axialmente en laboratorio. En la zona de transición se encontrarían los denominados suelos duros y rocas blandas.

a. Mecánica de rocas

Para el presente estudio se ha realizado en el campo la descripción e identificación del macizo rocoso, que incluye el estudio de la matriz rocosa, de las discontinuidades y del conjunto en general para así obtener los parámetros necesarios para su caracterización.

Según González de Vallejo *et al.*, (2002), el comportamiento de un macizo rocoso depende de las características de las discontinuidades que presenta, así como la litología de la roca matriz y su historia evolutiva. Generalmente los diferentes tipos de rotura que se producen en los medios rocosos siguen superficies preexistentes, aunque cuando los macizos están fuertemente fracturados pueden desarrollarse nuevas superficies de corte como las producidas en suelos.

Una completa descripción geomecánica de un macizo rocoso pretende una estimación de sus características mecánicas mediante determinados índices de calidad.

Los sistemas de clasificación intentan obtener índices cuantitativos de la calidad de la roca establecidos en base a una serie de parámetros que tienen en cuenta la resistencia de la matriz rocosa, disposición y estado de las discontinuidades y presencia de agua.

La clasificación geomecánica de Bieniawski (1989), la más utilizada, obtiene un índice de calidad denominado Rock Mass Rating (RMR) que varía entre 0 y 100 y depende de:

- Resistencia de la matriz rocosa
- Grado de facturación del macizo rocoso en términos del RQD
- Espaciado de las discontinuidades
- Condiciones de las discontinuidades
- Condiciones hidrogeológicas

Para caracterizar la matriz rocosa se describen en el campo sus características, grado de meteorización y resistencia a la compresión simple.

La identificación de la matriz rocosa se basa en su composición mineralógica, forma y tamaño de los granos, color, transparencia y dureza.

El grado de meteorización (tabla 2) es un aspecto importante en la caracterización de la matriz rocosa, ya que en función de este se modifican sus propiedades mecánicas, al avanzar la meteorización aumentan la porosidad, permeabilidad y deformabilidad, a la vez que disminuye su resistencia.

<i>Grado de meteorización</i>	<i>Término</i>	<i>Descripción</i>
<i>I</i>	Fresco	No aparecen signos de meteorización
<i>II</i>	Ligeramente meteorizado	La decoloración indica meteorización del material rocoso y de las superficies de discontinuidad. Todo el conjunto rocoso esta decolorado por meteorización.
<i>III</i>	Moderadamente meteorizado	Menos de la mitad del macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. La roca fresca o decolorada aparece como una estructura continua o como núcleos aislados.
<i>IV</i>	Altamente meteorizado	Más de la mitad del macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. La roca fresca o decolorada aparece como una estructura continua o como núcleos aislados.
<i>V</i>	Completamente meteorizado	Todo el macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. Se conserva intacta la estructura original del macizo rocoso.
<i>VI</i>	Suelo residual	Todo el macizo rocoso se ha transformado en un suelo. Se ha destruido la estructura del macizo rocoso y a la fábrica del material.

Tabla 2: Clasificación propuesta por Deere y Patton (1971). Evaluación del grado de meteorización del macizo rocoso.

La resistencia de la matriz rocosa (tabla 3) es definida por el ISRM (1981) como el límite máximo de resistencia del macizo rocoso en el punto medido. Los rangos de valores de esta clasificación se encuentran definidos por ISRM (1978) y son los indicados en la siguiente tabla.

<i>Grado</i>	<i>Resistencia (MPa)</i>
<i>Suelo</i>	<0.25
<i>Extremadamente baja resistencia</i>	0.25 - 1
<i>Muy baja resistencia</i>	1 - 5
<i>Baja resistencia</i>	5 - 10
<i>Moderada resistencia</i>	10-50
<i>Alta resistencia</i>	50-100
<i>Muy alta resistencia</i>	100-250.
<i>Extremadamente alta resistencia</i>	>250

Tabla 3: Evaluación de la resistencia de la matriz rocosa (ISRM, 1978).

El grado de fracturación (tabla 4) está ligado al número y condiciones de las fracturas incluyendo la densidad de estas y su espaciado, el tipo, su estado y características. Este grado de fracturación está definido por el RQD, Rock Quality Designation, que puede medirse en testigos de sondeos o a través de métodos empíricos como Palmstrom (2005) o Priest yHudson (1976). El RQD se expresa en tanto por ciento y es la sumatoria de los trozos de testigo de longitud mayor a 10 cm dividido por la longitud total de la maniobra, que suele ser superior a 1,5 m.

RQD%	Calidad
<25	Muy mala
25-50	Mala
50-75	Media
75-90	Buena
90-100	Muy buena

Tabla 4: Grado de fracturación de la roca.

La continuidad de un plano de discontinuidad (tabla 5) es su longitud, define en parte si la matriz rocosa va a estar o no involucrada en los procesos de rotura del macizo rocoso, en qué grado va a implicar los parámetros resistentes del mismo.

Continuidad	Longitud
Muy baja continuidad	<1m
Baja continuidad	1-3m
Continuidad media	3-10m
Alta continuidad	10-20m
Muy alta continuidad	>20m

Tabla 5: Descripción de la continuidad ISRM, 1981

En las condiciones de las discontinuidades, **la rugosidad** de la superficie de separación es un parámetro importante ya que determina en parte la resistencia al corte de esta. A mayor rugosidad, mayor es la resistencia de los planos de discontinuidad.

El término rugosidad se emplea en sentido amplio para hacer referencia tanto a la ondulación de las superficies de discontinuidad como a las irregularidades o rugosidades a pequeña escala (figura 15).

La descripción de rugosidad requiere dos escalas de observación, decimétrica y métrica para observar la ondulación de las superficies y escala milimétrica o centimétrica para definir rugosidad o irregularidad de las superficies. Se compara visualmente la discontinuidad con perfiles estándar.

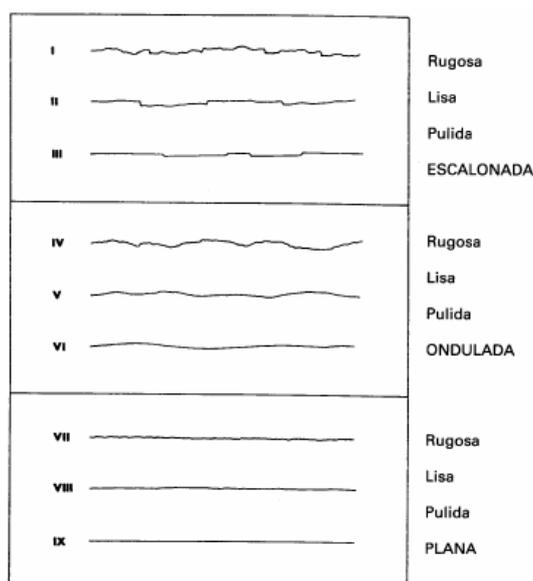


Figura 15: Perfiles de rugosidad, ISRM, 1981

Para el cálculo de la resistencia al corte a partir de datos de campo, Barton y Choubey (1977), desarrollaron un método que se apoya en la comparación visual de la rugosidad de las discontinuidades y permite introducir el coeficiente de rugosidad de las juntas JRC (figura 16).

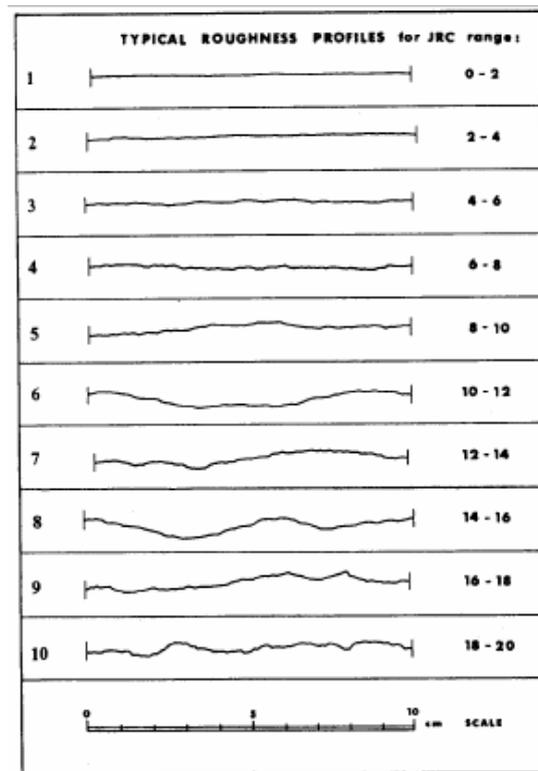


Figura 16: Perfiles de coeficiente de rugosidad, ISRM, 1981

En **las condiciones hidrogeológicas**, los parámetros para tener en cuenta son permeabilidad y presión intersticial, en el caso de matriz rocosa impermeable el agua circula a través de las discontinuidades, cosa a observar en el afloramiento.

Para obtener el índice RMR, se contempla cada uno de estos aspectos y se les asigna una puntuación, sumando los 5 valores de los 5 primeros parámetros, se obtiene el índice RMR (figura 17). Quedan así clasificados en 5 clases con un rango de propiedades geotécnicas.

Parámetros de clasificación									
1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual	> 10	10-4	4-2	2-1	Compresión simple (MPa)		
		Compresión simple	> 250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	< 1
		Puntuación	15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%		
	Puntuación		20	17	13	6	3		
3	Separación entre diaclasas		> 2 m	0.6 - 2 m	0.2 - 0.6 m	0.06 - 0.2 m	< 0.06 m		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las diaclasas		Muy rugosas Discontinuas Sin separación Borde sanos y duros	Ligeramente rugosas Abertura < 1 mm Bordes duros	Ligeramente rugosas Abertura < 1 mm Bordes blandos	Espejos de falla, o con relleno < 5 mm, o abiertas 1-5 mm Continuas	Relleno blando > 5 mm, o abertura > 5 mm Continuas		
	Puntuación		30	25	20	10	0		
5	Agua freática	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	< 10 litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	> 125 litros/min		
		Relación: Presión de agua/Tensión principal mayor	0	0.0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
		Puntuación	15	10	7	4	0		

Corrección por la orientación de las discontinuidades						
Dirección y Buzamiento		Muy favorables	Favorables	Medias	Desfavorables	Muy desfavorables
Puntuación	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

Clasificación					
Clase	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala
Puntuación	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20

Características					
Clase	I	II	III	IV	V
Tiempo de mantenimiento y longitud	10 años con 15 m de vano	6 meses con 8 m de vano	1 semana con 5 m de vano	10 horas con 2.5 m de vano	30 minutos con 1 m de vano
Cohesión	> 4 Kp/cm ²	3 - 4 Kp/cm ²	2 - 3 Kp/cm ²	1 - 2 Kp/cm ²	< 1 Kp/cm ²
Ángulo de rozamiento	> 45°	35° - 45°	25° - 35°	15° - 25°	15°

Orientación de las discontinuidades en el túnel						
Dirección perpendicular al eje del túnel				Dirección paralela al eje del túnel		Buzamiento 0°-20° Cualquier dirección
Excavación con buzamiento		Excavación contra buzamiento		Buz. 45 - 90	Buz. 20 - 45	
Buz. 45 - 90	Buz. 20 - 45	Buz. 45 - 90	Buz. 20 - 45	Buz. 45 - 90	Buz. 20 - 45	
Muy favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy desfavorable	Media	Desfavorable

Figura 17: Clasificación RMR de Bieniawski, 1989

Otro sistema de clasificación para macizos rocosos es el índice de resistencia geológica, GSI (figura 18), que fue desarrollado por Hoek (1994) para subsanar los problemas detectados con el uso del índice RMR para evaluar la resistencia de macizos rocosos según el criterio generalizado de Hoek y Brown (1997). Este índice de calidad geotécnica se determina en base a dos parámetros que definen la resistencia y la deformabilidad de los macizos rocosos:

- **RMS** es la “estructura del macizo rocoso”, definida en términos de sus estructuras y su composición, evaluando el tamaño de los bloques y grado de trabazón de los bloques entre sí (“blocosidad”).
- **JC** son las características de las discontinuidades, su relación entre sí, y el estado de las estructuras presentes en el macizo rocoso.

La evaluación del **GSI** se hace por comparación del caso que interesa con las condiciones típicas, y el mismo puede variar de 0 a 100, lo que permite definir 5 clases de macizos rocosos:

- Macizos de calidad MUY MALA (Clase V, 0 **GSI** 20).
- Macizos de calidad MALA (Clase IV, 20 <**GSI** 40).
- Macizos de calidad REGULAR (Clase III, 40 <**GSI** 60).
- Macizos de calidad BUENA (Clase II, 60 <**GSI** 80).
- Macizos de calidad MUY BUENA (Clase I, 80 <**GSI** 100)

Respecto al uso del índice GSI para caracterizar geotécnicamente el macizo rocoso, es conveniente indicar lo siguiente:

- 1.- No es aplicable en aquellos casos en que el comportamiento del macizo rocoso presenta un claro control estructural. De hecho, cuando el macizo presenta solo dos sets de estructuras el criterio de Hoek-Brown (para el cual fue desarrollado el GSI) debe aplicarse con mucho cuidado.
- 2.- No considera la resistencia en compresión uniaxial de la roca intacta, ya que al evaluar la resistencia del macizo se incluyen los parámetros que definen el criterio de Hoek-Brown (si se incluyera se “contaría dos veces”).
- 3.- No considera el espaciamiento entre estructuras, ya que éste está implícitamente incluido al evaluar la blocosidad del macizo rocoso (a mayor espaciamiento el macizo es más masivo y a menor espaciamiento es de mayor blocosidad).
- 4.- No considera la condición de aguas porque el criterio de Hoek-Brown se define en términos de esfuerzos efectivos (si se incluyera se “contaría dos veces”).

El índice GSI debe definirse en un rango y no como un valor específico. En este trabajo en particular se tomo un rango de 10 puntos por la variabilidad de las condiciones de la roca ante la presencia o ausencia de agua.

INDICE DE ESFUERZO GEOLOGICO PARA ROCAS UNIDAS (HOEK & MARINOS, 2000)		CONDICIONES DE SUPERFICIE				
Desde la litología, estructura y condiciones de superficie de las discontinuidades, se estima el valor promedio del GSI. No intentar ser muy preciso. Un rango de 33 a 37 es mas real que tomar un GSI de 35. Note que la tabla no aplica a fallas controladas estructuralmente. Donde planos estructurales debiles estan presentes en una direccion desfavorable con respecto a la excavacion, estos dominaran el comportamiento del macizo rocoso. Las zonas de falla son propensas a la alteracion como resultado de cambios de humedad que puede reducirse cuando el agua esta presente. Cuando trabajamos en roca regular o mala calidad cambian las condiciones por el cambio de humedad. La presion del agua es tratada por analisis de esfuerzos efectivos.		MUY BUENA Superficie muy rugosas, no meteorizadas, frescas	BUENA Superficies rugosas, ligeramente meteorizadas, manchadas con hierro	REGULAR Superficies lisas, moderadamente meteorizadas y alteradas	POBRE Superficie con espejos de falla, alto grado de meteorizacion y rellenos compactos.	MUY POBRE Superficie con espejos de falla, alto grado de meteorizacion y rellenos de arcillas suaves.
ESTRUCTURA		DECRECE LA CALIDAD DE LA SUPERFICIE →				
INTACTA O MASIVA Rocas intactas o masivas in-situ, rocas con discontinuidades amplias y espaciadas	90			N/A	N/A	
FRACTURADA Macizo rocos con bloques enclavados, bloques cubicos formados tres intersecciones de sistemas de discontinuidades	80	70				
MUY FRACTURADA Macizo perturbado con bloques entrabados y angulares formados por la interseccion de 4 o mas sistemas		60	50			
FRACTURADA/PERTURBADA/SORDIDA Macizo plegado formado por bloques angulares productos de la interseccion de varios sistemas de discontinuidades. Persistencia de los planos de estratificacion			40			
DISGREGADO Pobremente enclavado, macizo altamente fracturado con mezcla de fragmentos angulares y redondeados				30		
LAMINADA/FOLIADA Se carece de bloques debido al debil material en los planos de esquistocidad y cizalla					20	
					10	
		N/A	N/A			

Figura 18: Clasificación GSI (Marinos y Hoek, 2000)

b. Mecánica de suelos

Para el estudio se ha realizado en el campo la descripción e identificación de los suelos, que incluye el análisis de laboratorio de la granulometría, la textura, los límites de Atterberg, y del conjunto en general para así obtener los parámetros necesarios para su caracterización.

El comportamiento de un suelo depende del material o materiales preexistentes en la zona y del tipo de acciones a que se le someta, de la presencia de agua y de la proporción de materia orgánica presente. La respuesta del suelo, frente a la mayoría de las acciones, supone un movimiento de las partículas que lo componen, a través de deslizamientos y giros entre ellas (González de Vallejo *et al.*, 2002).

La clasificación de los suelos se basa principalmente en su granulometría, diferenciándose cuatro grandes grupos (Normas D.I.N., A.S.T.M, A.E.N.O.R, etc.): arcillas, limos, arenas, y gravas (tabla 6).

Para conocer la proporción de cada uno de estos materiales presentes en el suelo se debe tomar una muestra de este, secarla, y disgregarla en partículas para poder pasarla por una serie de tamices que retienen los granos de distintos tamaños. A partir de lo retenido en cada uno de los tamices puede graficarse una curva granulométrica, la cual facilita la clasificación del suelo.

<i>Clasificación</i>	<i>Descripción</i>
<i>Gravas</i>	Caracterizado por un tamaño de grano entre unos 8-10 cm y 2 mm con granos observables directamente. No retienen el agua, por la inactividad de su superficie y los grandes huecos existentes entre partículas.
<i>Arenas</i>	Caracterizado por un tamaño de grano entre unos 2 y 0,060 mm, todavía observables a simple vista. Cuando se mezclan con el agua no se forman agregados continuos, sino que se separan de ella con facilidad.
<i>Limos</i>	Caracterizado por un tamaño de grano entre unos 0,060 y 0,002 mm. Retienen el agua mejor que los tamaños superiores. Si se forma una pasta agua-limo y se coloca sobre la mano, al golpear con la mano se ve como el agua se exuda con facilidad.
<i>Arcillas</i>	Caracterizado por un tamaño de grano inferiores a 0,002 mm. Están formadas, principalmente, por minerales silicatados, constituidos por cadenas de elementos tetraédricos y octaédricos, unidas por enlaces covalentes débiles, pudiendo entrar las moléculas de agua entre las cadenas produciendo, a veces, aumentos de volumen. Todo ello hace que la capacidad de retención del agua sea muy grande, por lo que son generalmente los materiales más problemáticos.

Tabla 6: Clasificación granulométrica.

A partir de los tamizados realizados para la clasificación granulométrica pueden confeccionarse graficas llamadas curvas granulométricas, que muestren tamaño de partículas vs % de material acumulado en cada tamiz, lo que da una idea de la proporción de los distintos tamaños de grano presentes en la muestra. Existen curvas patrón para distintos tipos de suelos, lo cual permite una rápida forma de clasificar o aproximar una clasificación para distintas muestras de suelos. Además, con los datos obtenidos de los tamizados, pueden calcularse dos valores que ayudan a una mejor clasificación del suelo: el coeficiente de uniformidad y el coeficiente de curvatura.

El coeficiente de uniformidad, o C_u : es la relación entre el diámetro correspondiente al tamiz por el que pasa un 60% (D_{60}) del material y el diámetro correspondiente al tamiz por el que

pasa el 10% (D_{10}). Si C_u es menor de 5 el suelo tiene una granulometría uniforme; si C_u varía entre 5 y 20 es poco uniforme, y si $C_u > 20$ es un suelo bien graduado. Cuanto más uniforme es la granulometría de un suelo, más uniforme es el tamaño de los poros entre los granos, tendrá menores densidades y será erosionado más fácilmente.

El coeficiente de curvatura, o C_c : Este coeficiente refleja la curvatura de la curva granulométrica. Los suelos bien graduados tienen valores de este coeficiente comprendidos entre 1 y 3. Se calcula como la relación del cuadrado del diámetro correspondiente al tamiz por el que pasa un 30% (D_{30}) del material, sobre el producto del diámetro correspondiente al tamiz por el que pasa el 60% (D_{60}) por el diámetro correspondiente al tamiz por el que pasa el 10% (D_{10}).

El contenido de finos en una muestra refiere al porcentaje de suelo que pasa por el tamiz N° 200 de la serie A.S.T.M (0,075 mm). Este porcentaje indica la proporción de arcilla y limo que contiene el suelo, y está relacionado con la capacidad de retención de agua. Cuanto mayor sea el contenido de finos, mayor será la dificultad de expulsión de agua bajo esfuerzos.

El análisis granulométrico y los parámetros que surgen permiten clasificar los suelos en curvas que representan las relaciones porcentuales de los distintos tamaños de granos que componen una misma muestra de suelo.

Existen índices que definen la consistencia del suelo, para suelos finos, en función del contenido en agua, y se calculan a partir de la división entre el peso de la muestra húmeda, y el peso de la misma muestra seca. A partir de esto Atterberg (1911) definió tres límites:

- Límite de retracción o consistencia: separa el estado sólido y el semisólido
- Límite plástico o W_p : separa el estado semisólido del plástico
- Límite líquido o W_l : separa el estado plástico del semilíquido

Estos dos últimos se utilizan en la práctica y se determinan a partir de la fracción de suelo que pasa por el tamiz N° 40 A.S.T.M (0,1 mm).

La determinación de los límites plástico y líquido se realiza de forma empírica de la siguiente forma:

Para la determinación del límite plástico se amasa suelo seco con una pequeña cantidad de agua agregada formando elipsoides o rollos, los cuales deben llegar a un diámetro de 3 mm y una longitud de 25 –30 mm. Si al llegar a dichas medidas estos se cuarteán en fracciones de 6mm aproximadamente, su humedad es la del límite plástico. De no ser así se repite la experiencia hasta obtener las condiciones del límite plástico.

Para la determinación del límite líquido se amasa suelo seco con una abundante cantidad de agua agregada y se extiende sobre un molde denominado Cuchara de Casagrande. A la masa extendida se le abre un surco en el centro de unos 12 mm de ancho en su parte baja. El molde se coloca sobre una base y se somete a golpes repetidos y controlados. El límite líquido está dado por la humedad en la muestra si se cierra el surco tras 25 golpes.

Una vez determinados ambos límites (W_p y W_l) se puede obtener un punto representativo de la muestra en la carta de plasticidad de Casagrande que relaciona el límite líquido con el índice de plasticidad I_p ($I_p = W_l - W_p$), el cual representa el intervalo de humedades para pasar del estado semisólido al semilíquido.

Casagrande (1947) definió como suelos de alta plasticidad a los suelos con $W_i > 50$ ya que admiten una gran cantidad de agua y pueden experimentar grandes deformaciones plásticas. Por debajo de dicho valor se encuentran los suelos con baja plasticidad. También definió una línea A dentro de la carta de plasticidad, la cual es paralela a la dirección en la que se ordenan las muestras de un mismo terreno.

Utilizando los criterios de alta y baja plasticidad, en conjunto con la línea A, se definen varias zonas en las que los suelos arcillosos se ubican por encima de la línea A, mientras que los limosos y con alto contenido de materia orgánica se ubican por debajo de dicha línea.

De esta manera se definen varios tipos de suelo:

- ML: Limos Inorgánicos de baja compresibilidad.
- MH: Limos inorgánicos de alta compresibilidad.
- OH: arcillas y limos orgánicas de alta compresibilidad.
- OL: Limos y arcillas orgánicas.
- CL: Arcillas inorgánicas de baja compresibilidad.
- CH. Arcillas inorgánicas de alta compresibilidad.

A partir de la representación de los puntos correspondientes al I_p y W_1 se puede conocer el predominio de la fracción limosa o arcillosa en el suelo.

Casagrande completó este sistema de identificación con datos de granulometría y definió el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (figura 19).

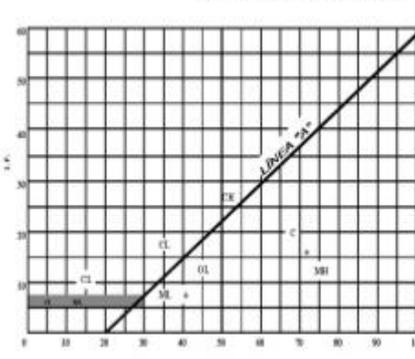
DIVISIÓN MAYOR		NOMBRES TÍPICOS		CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO	
SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200 @ Las partículas de 0.075 mm de diámetro (la malla No. 200) son, aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista.	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla No. 4 PARA CLASIFICACIÓN VISUAL PUEDE USARSE 1/2 cm. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4.	GRAVAS LIMPIAS Poco o nada de partículas finas	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de limo	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD C_u : mayor de 4. COEFICIENTE DE CURVATURA C_c : entre 1 y 3. $C_u = D_{60} / D_{10}$ $C_c = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})$ NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA G.W. LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4. LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7. $C_u = D_{60} / D_{10}$ mayor de 6 ; $C_c = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})$ entre 1 y 3. No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4. LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.
		GRAVAS CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas	* GM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo	
		GRAVA CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas	GC	Gravas arcillosas, mezclas de gravas, arena y arcilla	
		ARENAS LIMPIAS Poco o nada de partículas finas	SW	Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos	
		ARENAS CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas	* SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo	
		ARENAS CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas	SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla	
	SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS Más de la mitad del material pasa por la malla número 200 @ Las partículas de 0.075 mm de diámetro (la malla No. 200) son, aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista.	LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido menor de 50	ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arcillosos o arcillosos ligeramente plásticos.	G - Grava, S - Arena, O - Suelo Orgánico, P - Turba, M - Limo C - Arcilla, W - Bien Graduada, P - Mal Graduada, L - Baja Compresibilidad, H - Alta Compresibilidad CARTA DE PLASTICIDAD (S.U.C.S.) 
			CL	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arcillosas, arcillas limosas, arcillas pobres	
			OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.	
		LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido Mayor de 50	MH	Limos inorgánicos, limos micáceos o duntomíacos, más elásticos	
			CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas finas.	
			OH	Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.	
SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS		P	Turbas y otros suelos altamente orgánicos.		

Figura 19: Tabla del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.).

El sistema de clasificación de suelos del H.R.B (figura 20), para obras de ingeniería, está basado en el comportamiento de los suelos utilizados en obras viales. Los suelos de similares capacidades portantes y condiciones de servicio fueron agrupados en siete grupos básicos, desde el A-1 al A-7. La calidad de los suelos, para ser utilizados en subrasantes, va disminuyendo desde el A-1 al A-7, que es el más pobre.

HRB - CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS PARA SUBRASANTES (CON SUBGRUPOS)											
CLASIFICACION GENERAL	SUELOS GRANULARES Pasa tamiz IRAM 75 micrómetros (N° 200) hasta el 35 %							SUELOS ARCILLOSO - LIMOSO Pasa tamiz IRAM 75 micrómetros (N° 200) más del 35 %			
	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7
CLASIFICACION POR GRUPOS	A - 1 - a	A - 1 - b		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7				A - 7 - 5 A - 7 - 6
Ensayo de tamizado por vía húmeda, Porcentaje que pasa por:											
Tamiz IRAM de 2 mm. N° 10	Máx 50										
Tamiz IRAM de 425 micrómetros N° 40	Máx 30	Máx 50	Min 51								
Tamiz IRAM de 75 micrómetros N° 200	Máx 15	Máx 25	Máx 10	Máx 35	Máx 35	Máx 35	Máx 35	Min 35	Min 35	Min 35	Min 35
Características de la fracción que pasa por tamiz IRAM 425 micrómetros N° 40											
Límite Líquido (ω_L) (%)	-	-	-	Máx 40	Min 41	Máx 40	Min 41	Máx 40	Min 41	Máx 40	Min 41
Índice de Plasticidad I_p (%)	Máximo 6		No plástico	Máx 10	Máx 10	Min 11	Min 11	Máx 10	Máx 10	Min 11	Min 11
Índice de Grupo IG	0	0	0	0	0	Máx 4	Máx 4	Máx 8	Máx 12	Máx 16	Máx 20
CONSTITUYENTES PRINCIPALES DE TIPOS MAS COMUNES	Fragmentos de rocas, grava y arena		Arena fina	Gravas y arenas arcillosas limosas				Suelos limosas		Suelos arcillosos	
COMPORTAMIENTO GENERAL COMO SUBRASANTE	Excelente a bueno						Regular a pobre				

El índice plástico del Sub - Grupo A - 7 - 5 es igual o menor que Límite Líquido menos 30. ($I_p \leq (\omega_L - 30)$). $I_p = \omega_L - \omega_p$ ω_p = Límite Plástico

El índice plástico del Sub - Grupo A - 7 - 6 es mayor que Límite Líquido menos 30. ($I_p > (\omega_L - 30)$).

El índice de Grupo debe ser indicado entre paréntesis después del símbolo del grupo (ej.: A-2-6 (3) y debe ser un número entero, si da menor que cero el IG es igual a cero. El IG no tiene límite pero se lo suele acotar a un valor máximo de 20.

$IG = (F - 35) (0,2 + 0,005 (\omega_L - 40)) + 0,01 (F - 15) (I_p - 10)$ $F = \% \text{ que pasa el tamiz IRAM 75 micrómetros (N° 200)}$

Figura 20: Clasificación de suelos para uso ingenieril del H.R.B.

5. METODOLOGÍA

Para lograr los objetivos propuestos, se realizó una primera etapa de trabajo de gabinete donde se realizó la recopilación y evaluación de estudios previos en el área.

Posteriormente, se realizaron salidas al campo en el área de estudio donde se realizaron observaciones, se tomaron datos y muestras (figura 21 y tabla 7) de los afloramientos de la Formación Candeleros y muestras de suelos en cercanías al Barrio Llequén. Se definieron las estaciones geotécnicas a partir de cambios en la geología y en las pendientes del cañadón, siendo estos puntos de interés para este trabajo. Los puntos de muestreo de suelo se ubican en cercanías al barrio Llequén, donde la ciclovía se bifurca, siendo esta zona de la obra la mas cercana al barrio y al cañadón que lo atraviesa.

Los trabajos de laboratorio consistieron en ensayos de compresión simple realizados en CONSULVAL, y un análisis granulométrico el cual fue llevado a cabo en el laboratorio del CIMAR, Departamento de Geología y Petróleo, FAIn.

En una segunda etapa de trabajo de gabinete se utilizaron programas informáticos, como Qgis, Strater y Stereonet, para volcar toda la información obtenida.

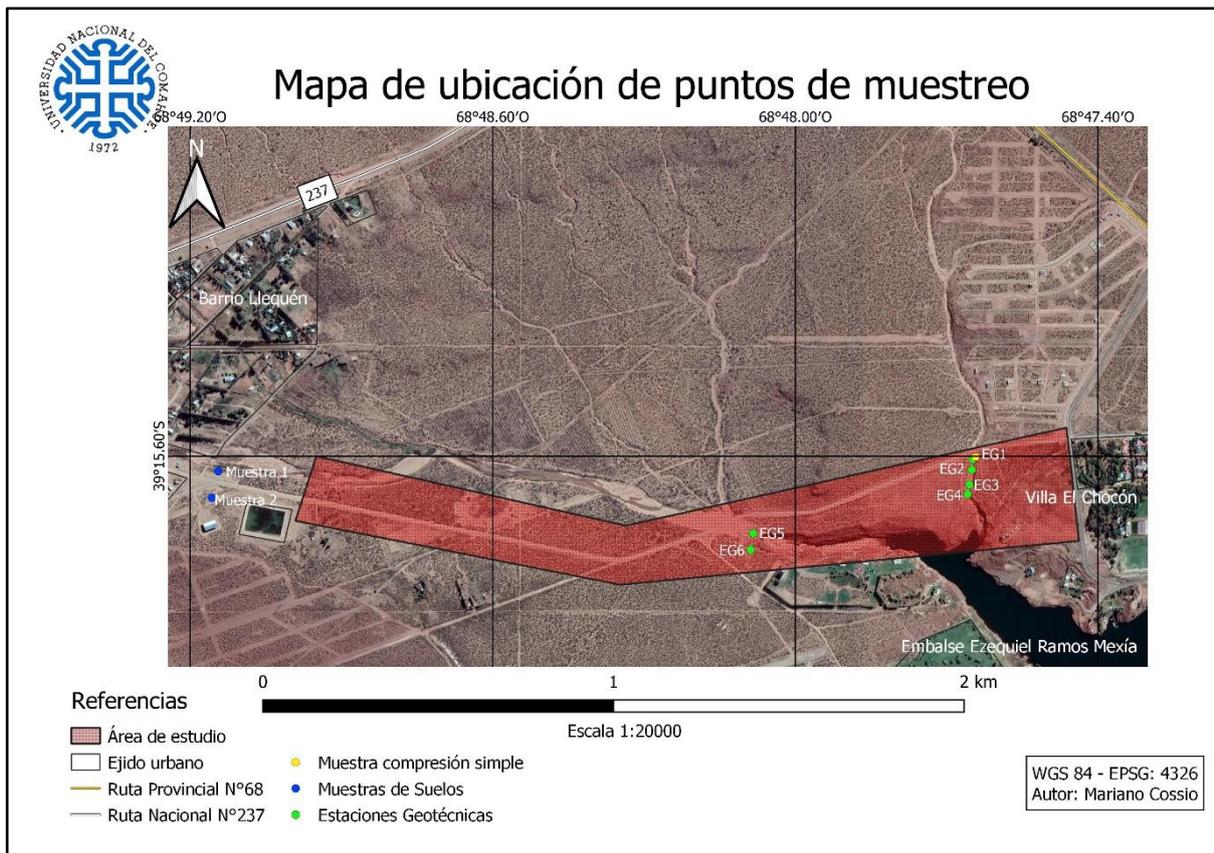


Figura 21: mapa de ubicación de puntos de muestreo.

Estaciones geotécnicas	Latitud	Longitud
Estación geotécnica 1	39°15'36.6" S	68°47'39" O
Estación geotécnica 2	39°15'37.2" S	68°47'39" O
Estación geotécnica 3	39°15'38.4" S	68°47'39" O
Estación geotécnica 4	39°15'39.6" S	68°47'39.6" O
Estación geotécnica 5	39°15'43.2" S	68°48'4.8" O
Estación geotécnica 6	39°15'44.4" S	68°48'5.4" O

Tabla 7: coordenadas geográficas de las estaciones geotécnicas.

a. Mecánica de rocas

Ensayo de compresión simple

Trabajo de campo:

La extracción de muestras se realizó en la estación geotécnica 1, (figura 21) donde se seleccionó un bloque que formaba parte del lecho del curso fluvial, el cual estaba fracturado, y cuyas dimensiones permitirían llevar a cabo la extracción de las probetas. Dicho bloque fue posteriormente transportado a las instalaciones de CONSULVAL S. R. L. donde se extrajeron y ensayaron las probetas de roca.

Además, se tomaron valores de compresión simple *in situ*, con un esclerómetro en todas las estaciones geotécnicas. Los puntos de muestreo se seleccionaron en base a los cambios en la litología presentes dentro del cañadón, realizándose diez mediciones en cada punto.

Trabajo de laboratorio:

Sobre las muestras extraídas en el campo se realizó el ensayo de compresión simple (figura 22).

Este ensayo consiste en colocar una probeta de roca cilíndrica o prismática en una prensa ordinaria y romperla a compresión, sin ningún confinamiento lateral, es decir con $\sigma_3 = 0$. El ensayo es muy rápido, y aunque la probeta este en contacto directo con el aire, por la rapidez con que se alcanza la rotura y por la impermeabilidad de las rocas ensayadas con este procedimiento, se puede suponer que no se produce disipación de las presiones intersticiales generadas en el interior de la muestra.

Trabajo de gabinete:

A partir de los datos obtenidos del ensayo se formuló la tabla 7.



Figura 22: ensayo de compresión simple.

Identificación y descripción de discontinuidades en la matriz rocosa

Trabajo de campo:

Se realizó la observación, identificación y toma de datos de las discontinuidades presentes en la matriz rocosa de cada una de las estaciones geotécnicas (figura 17).

Las características de las discontinuidades de interés para este trabajo son:

- Rumbo y buzamiento
- Continuidad
- Espaciado
- Apertura
- Relleno
- Rugosidad
- Presencia de agua

Se utilizó una brújula tipo Brunton para la toma de datos de rumbo y buzamiento, la cual fue provista por el Departamento de Geología y Petróleo, FAIN.

Se realizaron estimaciones del RQD a partir de varias mediciones directas sobre los afloramientos. Se utilizó la metodología de Palmstrom (2005) que mide la cantidad de juntas por metro lineal (J_v) y a partir de ello se estima el RQD a través de la fórmula $RQD = 115 - 3,3 J_v$

Jv. Se realizaron varias mediciones en cada estación geotécnica, y posteriormente se promediaron los valores para cada una de ellas.

Trabajo de gabinete:

A partir de los datos obtenidos se realizaron dos tareas con asistencia de programas informáticos:

- Ploteo de la orientación de las discontinuidades en Stereonet.
- Confección de una tabla con la clasificación de macizos rocosos de Bieniawski en Excel

A partir de todos estos datos obtenidos se realizó la caracterización del macizo rocoso basado en la clasificación geomecánica de Bieniawski o clasificación RMR (1989) para cada estación geotécnica.

Además, se clasificó cada una de las estaciones geotécnicas según la clasificación GSI (Índice de Resistencia Geológica).

Con el fin de caracterizar al macizo rocoso para la realización de la ciclovía y los puentes de forma segura, se utilizaron para el cálculo del RMR los valores correspondientes a las condiciones más desfavorables medidas en cada estación geotécnica.

b. Mecánica de suelos

Ensayo granulométrico

Trabajo de campo:

La toma de las muestras se realizó en dos ubicaciones en cercanías al Barrio Llequén (figura 21), donde el proyecto de infraestructura de la ciclovía presenta una bifurcación (figura 1). Se tomaron dos muestras de aproximadamente 1 kilogramo cada una con un barreno helicoidal a una profundidad de 35 a 40 cm (figura 23), debido a la resistencia del terreno. Cabe destacar que no se alcanzó la roca con este ensayo. Luego se prepararon las muestras para un posterior análisis granulométrico.



Figura 23: Extracción de muestra de suelo con barreno helicoidal.

Trabajo de laboratorio:

Sobre las muestras tomadas en el campo se realizó:

- 1) Análisis granulométrico por tamizado
- 2) Descripción en lupa binocular de los retenidos en los distintos tamices.

1) Análisis granulométrico

Este análisis permite conocer el tamaño de las distintas partículas que componen el sedimento a estudiar, permitiendo obtener información sobre su origen y sus propiedades mecánicas.

Procedimiento

Fue realizado según normas IRAM 10512.

- A) Se utilizó un cuarteador de tipo rifle (Cosacov) (Figura 24A) para cuartear las muestras hasta obtener 200 g.
- B) Tamizado en vía seca con la siguiente serie de tamices (Figura 24C):
 - Tamiz IRAM N°4 (4,75 mm)
 - Tamiz IRAM N°10 (2 mm)
 - Tamiz IRAM N°18 (1 mm)
 - Tamiz IRAM N°30 (600 μm)
 - Tamiz IRAM N°40 (475 μm)
 - Tamiz IRAM N°60 (250 μm)
 - Tamiz IRAM N°120 (125 μm)
 - Tamiz IRAM N°200 (75 μm)
- C) Se pesaron los retenidos en cada tamiz en una balanza granataria marca Sartorius (Figura 24B).
- D) Se confecciona un histograma de frecuencias y una curva acumulada con el programa Excel.
- E) Dicho material, después de ser pesado, fue almacenado por separado para un posterior análisis bajo lupa binocular.

2) Descripción en lupa binocular (Figura 24D)

Observación de los retenidos de las fracciones más representativas analizando:

- ➔ Composición mineralógica
 - Componentes
 - Mineral predominante
- ➔ Parámetros texturales
 - Redondez
 - Esfericidad

Este ensayo fue realizado en el laboratorio del CIMAR, Departamento de Geología y Petróleo, FAIN

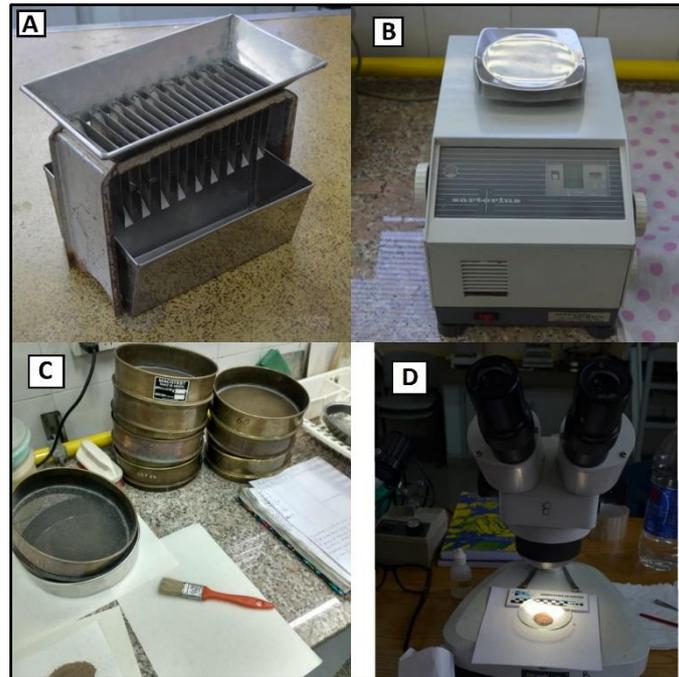


Figura 24: A- cuarteador de tipo rifle marca Cosacov, B- balanza granataria marca Sartorius, C- serie de tamices utilizados en este análisis, D- lupa binocular marca Arcano.

Trabajo de gabinete:

A partir de lo observado en las muestras se realizó su clasificación según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos y el sistema de clasificación del Highway Research Board.

c. Identificación de facies

Trabajo de campo

A partir de observaciones de litología y estructuras de los depósitos sedimentarios en el campo se procedió a definir, describir e interpretar las litofacies presentes en el área de estudio.

Trabajo de gabinete

Las facies descriptas se clasificaron según Miall (2010), con algunas modificaciones.

Se realizó un perfil utilizando el programa informático Strater, para graficar las observaciones realizadas en campo.

6. FACIES

Durante los trabajos de campo se realizó una breve descripción litofacial de los afloramientos ubicados dentro del área de estudio y próximos a los puntos de muestreo. El objetivo de estas descripciones es la de caracterizar sedimentológicamente los horizontes rocosos analizados, vinculándolas luego con las interpretaciones litofaciales y paleoambientales realizadas en trabajos previos. Esto también permite ilustrar mejor la relación facial con las características geotécnicas del macizo rocoso.

A partir de las descripciones se realizaron dos perfiles (figuras 25 y 27).

Arenisca masiva (Sm1) (figura 26 A): Arenisca lítica de grano grueso, de color pardo (10R 3/4), con granos subredondeados, bien seleccionados. Matriz fangosa, con cemento calcáreo, y sin óxidos visibles. Bien diagenizada.

Es un conjunto de cuerpos amalgamados de geometría lenticular, de estructura masiva, con continuidad lateral. No se aprecian variaciones granulométricas dentro de la estructura. Tiene espesor variable de entre 50 cm y 1,5 m.

Arenisca con estratificación ondulítica (Sr1) (figura 26 A): Arenisca de grano medio a grueso, de color pardo-rojizo (R10 4/6), con granos subangulosos a subredondeados, bien seleccionado. Matriz fangosa, sin cemento ni óxidos visibles. Friable.

Presenta laminación ondulítica difusa. Esta amalgamado con los cuerpos de la facies Sm1, y tiene continuidad lateral. No se aprecian variaciones granulométricas dentro de la estructura. Tiene espesor variable de entre 20 cm y 1 m. En algunas zonas hay relleno calcáreo entre las laminaciones.

Arenisca masiva (Sm2) (figura 26 B): arenisca de grano medio, de color rojizo (10R 6/8) con zonas más blanquecinas, con granos subangulosos a subredondeados, bien seleccionados. Cemento calcáreo, sin óxidos visibles. Bien diagenizada.

Es de estructura masiva con continuidad lateral, y puede seguirse por más de 50 m. No se aprecian variaciones granulométricas dentro de la estructura, aunque hay variaciones verticales en la cantidad de cemento. Hay presencia de niveles con concreciones calcáreas de coloración blanquecina (N8) con forma tubular o lenticular.

Arenisca lenticular (Sw) (figura 26 C): Arenisca de grano medio a fino, de color amarillento, con granos subangulosos a subredondeados, bien seleccionados. Levemente alterada, con cemento calcáreo y sin óxidos visibles. Es friable.

Compuesta por una gran cantidad de cuerpos de forma lobular o lenticular y se encuentra en partes contenida dentro de la facies Sm1. Es lateralmente continua por 40 m aproximadamente, y presenta variaciones granulométricas laterales hacia adentro del cañadón, donde aumenta el grado de alteración y la granulometría pasa a arenisca fina con presencia de finos, de color blanco (N9), muy alterada, sin cemento ni óxidos y friable.

Depósitos pelíticos masivos (Fm) (figura 26 C): sucesión de depósitos finos de color rojizo a violáceo (5R 5/4). Muy alterada. Sin cemento ni óxidos. Es friable.

Es de estructura masiva con poca continuidad lateral, y sin variaciones granulométricas laterales. Se acuña hacia la parte superior del cañadón. Tiene aproximadamente 1 m de espesor constante.

Arenisca masiva con rizolitos (Sm3) (figura 26 D): Arenisca de grano grueso de color pardo rojizo (R10 4/6), con granos subangulosos a subredondeados, bien seleccionado. Cemento calcáreo, sin óxidos visibles. Bien diagenizada.

Es de estructura masiva con continuidad lateral y vertical (7m aproximadamente), sin variaciones granulométricas laterales. Presenta niveles con concreciones calcáreas de características parecidas a las descritas en la Sm1 con un espaciamiento de entre 50 cm y 2 m. Presenta rizolitos en su parte inferior.

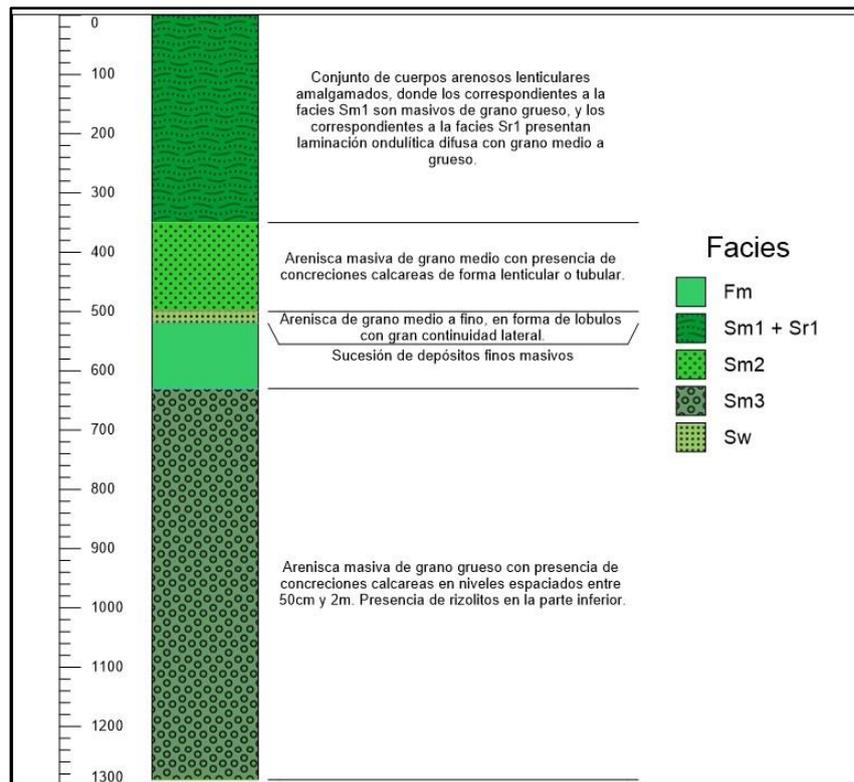


Figura 25: perfil de facies correspondientes a las estaciones geotécnicas 1 a 4

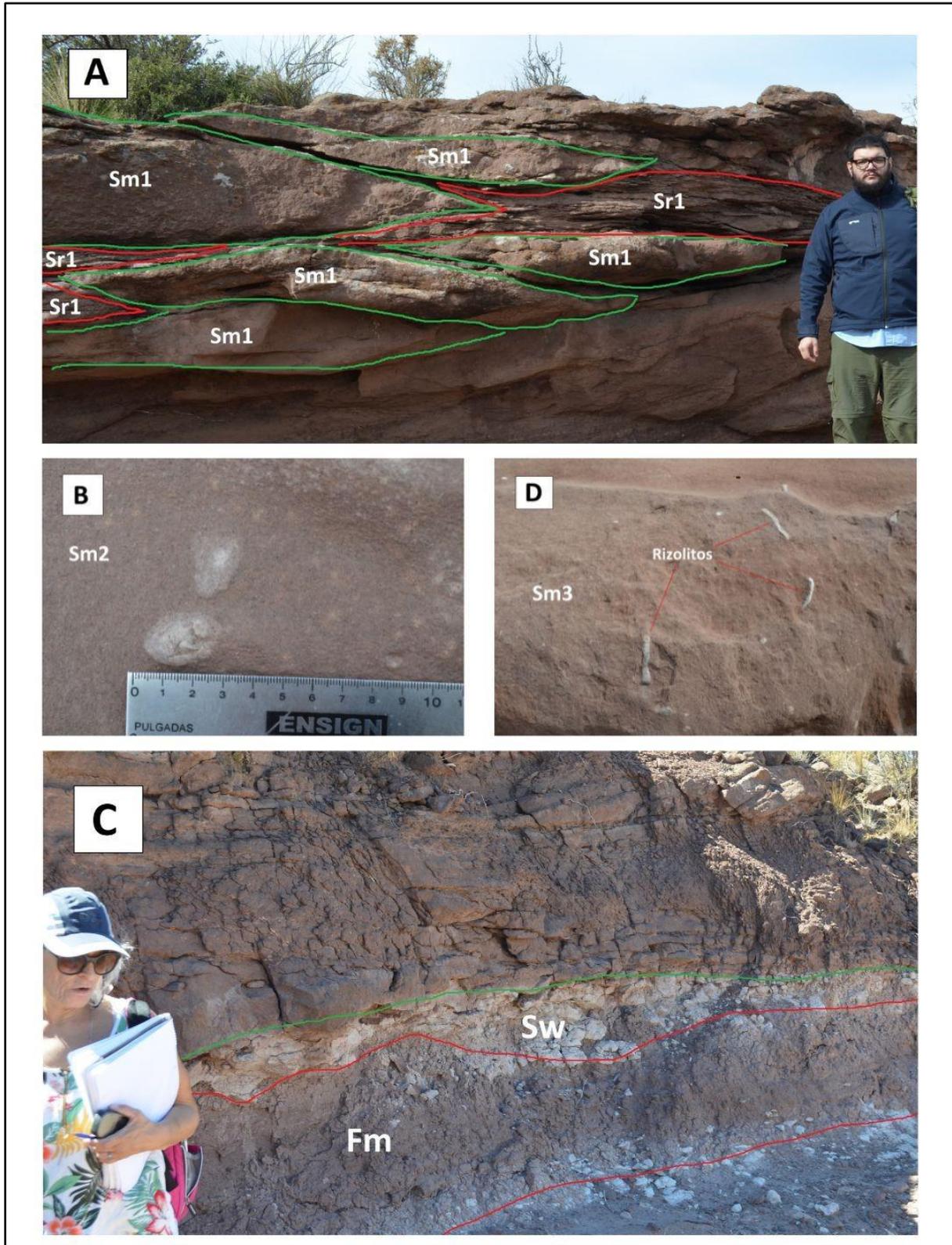


Figura 26: A- Cuerpos lenticulares amalgamados correspondientes a las facies Sm1 y Sr1. B- Concreciones calcáreas contenidas en la facies Sm2. C- Facies Sw y Fm. D- Rizolitos contenidos en la facies Sm3.

Arenisca con estratificación (Sp) (figura 28 A): Arenisca de grano grueso de color rojizo a violáceo, con granos subredondeados. Matriz fangosa, sin cemento ni óxidos. Poco friable.

Presenta laminación cruzada con gran continuidad lateral, sin variación lateral de estructura ni granulometría. Contacto superior con la facies Sm3.

Arenisca masiva (Sm4) (figura 28 B y C): Arenisca de grano grueso a medio de color rojizo (7.5R 6/8), con granos subangulosos a subredondeados, bien seleccionados. Bien diagenizada.

Es de estructura masiva con continuidad lateral, sin variaciones granulométricas. Hacia el interior del cañadón se observan franjas de distintos colores dentro de la roca, posiblemente producto de su diagénesis.

Arenisca con estratificación ondulítica (Sr2) (figura 28 C): Arenisca de grano grueso de color rojizo (10R 6/8), con granos subangulosos a subredondeados, bien seleccionados. Con cemento calcáreo y sin óxidos. Bien diagenizada.

Presenta estratificación ondulítica, donde algunos estratos son masivos y otros presentan estructuras laminares en su interior. Los estratos tienen un espesor de entre 20 y 25 cm y la laminación 1 a 2 cm de espesor por set. Presenta gran continuidad lateral, sin variación lateral de granulometría.

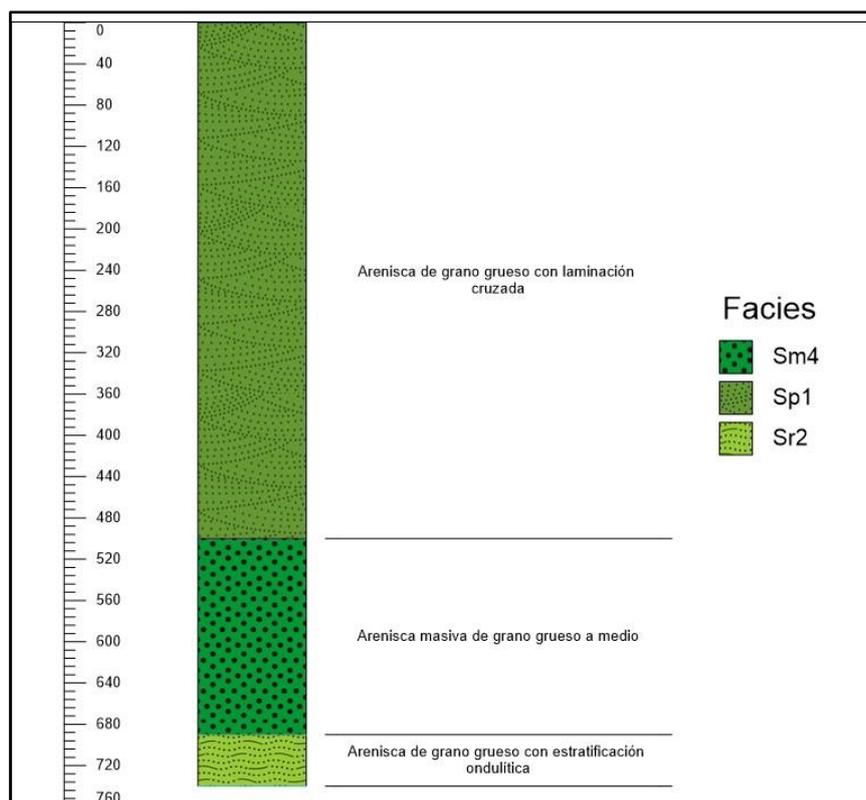


Figura 27: perfil de facies correspondientes a las estaciones geotécnicas 5 y 6

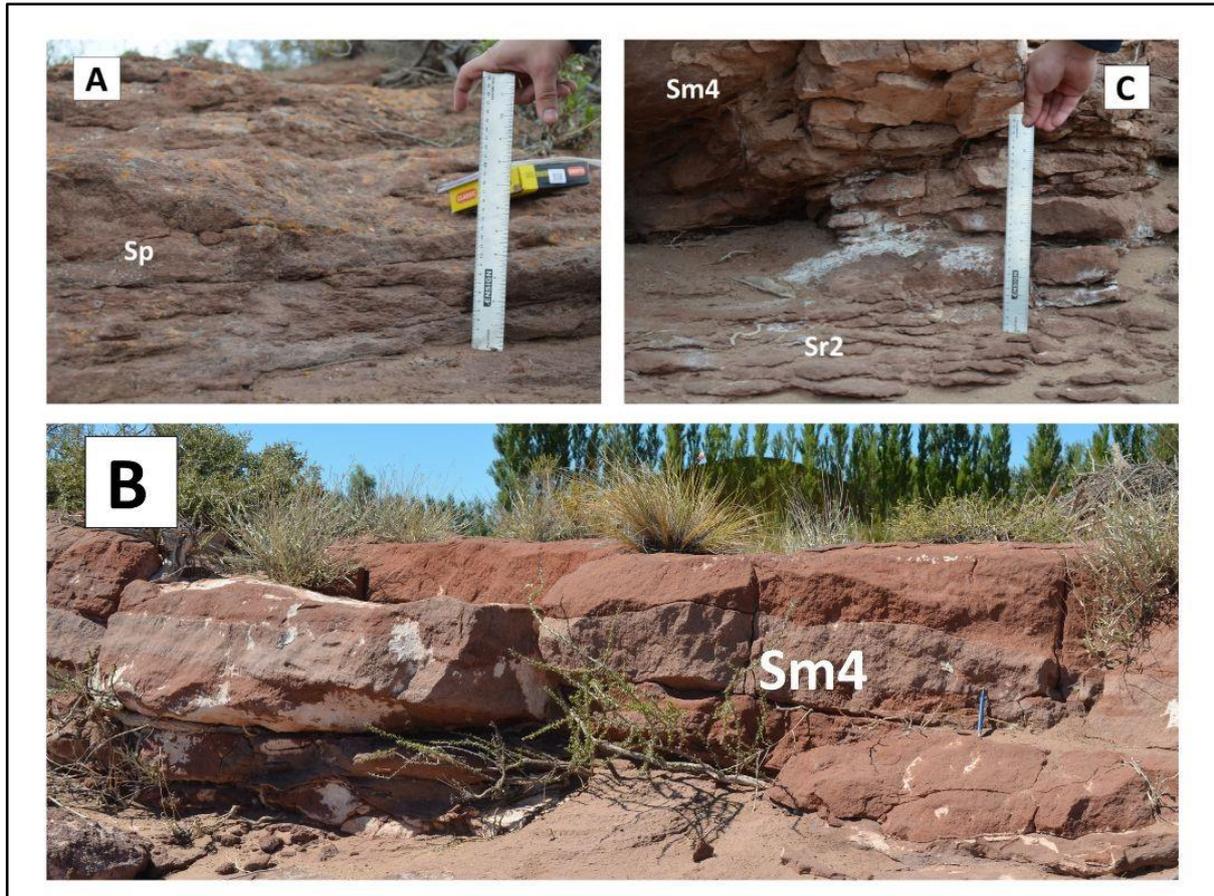


Figura 28: A- Arenisca correspondiente a la facies Sp. B- Arenisca masiva correspondiente a la facies Sm4. C- Arenisca con estratificación con estructuras internas obliteradas en la parte superior y estratificación ondulática conservada en la parte inferior, correspondientes a la facies Sr2.

Las interpretaciones realizadas sobre las facies descriptas coinciden en su mayoría con las realizadas por Spalletti y Gazzera (1989), donde, cuatro de las cinco facies que se describen en su trabajo afloran también en el área de estudio. Ellos interpretaron los cuerpos entrecruzados de areniscas como dunas transversales, los intervalos masivos de limolitas y areniscas con concreciones calcáreas como depósitos de interdunas, y los intervalos pelíticos como depósitos de decantación en playas o lagos efímeros.

Sobre las bases de la uniformidad granulométrica de los depósitos, la ausencia o bajo contenido de material matricial y la escala del desarrollo de las estructuras, la facies Sp se interpreta que corresponderían al medio de depositación eólico y se lo puede vincular a la facies denominada como Areniscas con mega estratificación cruzada, descrita por Spalletti y Gazzera (1989). En base de la uniformidad granulométrica, la presencia de un incipiente desarrollo de suelos y potencia de los estratos, las facies Sm2, Sm3 y Sm4 se vinculan a la facies descrita en el mismo trabajo denominada Limolitas y areniscas macizas, donde se las describe como depósitos de interduna o extraduna. A partir de la forma tabular de los cuerpos, del mayor contenido de matriz fangosa y su asociación a depósitos fangosos las facies Sm1, Sw, Sr1, y Sr2 pueden vincularse a la facies descrita como Areniscas y fangolitas con estratificación interna, asociados a depósitos de eventos de inundaciones en abanicos aluviales. Por último, por su granulometría, donde predomina el contenido de material fino y la ausencia de estructura interna, la facies Fm puede asociarse a la facies descrita en el trabajo previamente mencionado, como Facies

heterolítica, donde se la describe como depósitos de decantación a partir de suspensiones ácueas.

El modelo propuesto para este sector, según Sánchez *et al.*, (2015), es de un ambiente de llanura aluvial con depósitos de barreales y cauces efímeros de poco desarrollo, lo que representa un modelo sedimentario de depósitos de abanicos terminales que aportarían temporalmente una importante carga sedimentaria a un sector más deprimido.

Considerando el modelo propuesto y las interpretaciones realizadas, el área de estudio estaría localizada en la parte distal de un abanico aluvial con gran influencia eólica, con lo cual se explica la presencia de depósitos fluviales/aluviales en conjunto con eólicos.

7. RESULTADOS

Los resultados obtenidos de los distintos ensayos de laboratorio, estudios y observaciones en el campo pueden ser divididas en dos partes: mecánica de rocas y mecánica de suelos.

a. Mecánica de rocas

El ensayo de compresión simple fue realizado en rocas correspondientes al lecho del cañadón, ubicadas por encima de la Estación Geotécnica 1, pertenecientes a la facies Sm1 (figura 29), de las que se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla 8.

Muestra	Geo 1	Geo 2
Diámetro [mm]	40.5	40
Altura [mm]	80.1	83
Peso [gr]	197.9	206.1
Divisiones	79	94
Carga [kg]	1599.75	1903.5
Área [cm ²]	12.88	12.57
Resistencia [Kg/cm ²]	124.2	151.43

Tabla 8: resultados del ensayo de compresión simple.



Figura 29: Extracción de las muestras para ensayo de compresión simple (izquierda) y muestras previas al ensayo (derecha).

A partir del uso de un esclerómetro en cada una de las estaciones se pudo determinar la resistencia a la compresión simple de la matriz rocosa en cada una de estas como se muestra en la tabla 9. Para obtener estos valores se tomaron varias mediciones en cada estación, siendo utilizadas las lecturas más bajas para representar las condiciones más desfavorables del macizo.

Estaciones	Resistencia a la compresión simple (MPa)
Estación geotécnica 1	40
Estación geotécnica 2	23
Estación geotécnica 3	105
Estación geotécnica 4	47
Estación geotécnica 5	62
Estación geotécnica 6	70

Tabla 9: valores de compresión simple de la matriz rocosa de cada estación geotécnica.

Con los datos obtenidos de rumbo y buzamiento de las discontinuidades se realizaron representaciones gráficas en planta (poteos) para cada una de las estaciones geotécnicas en el software Stereonet (figura 30).

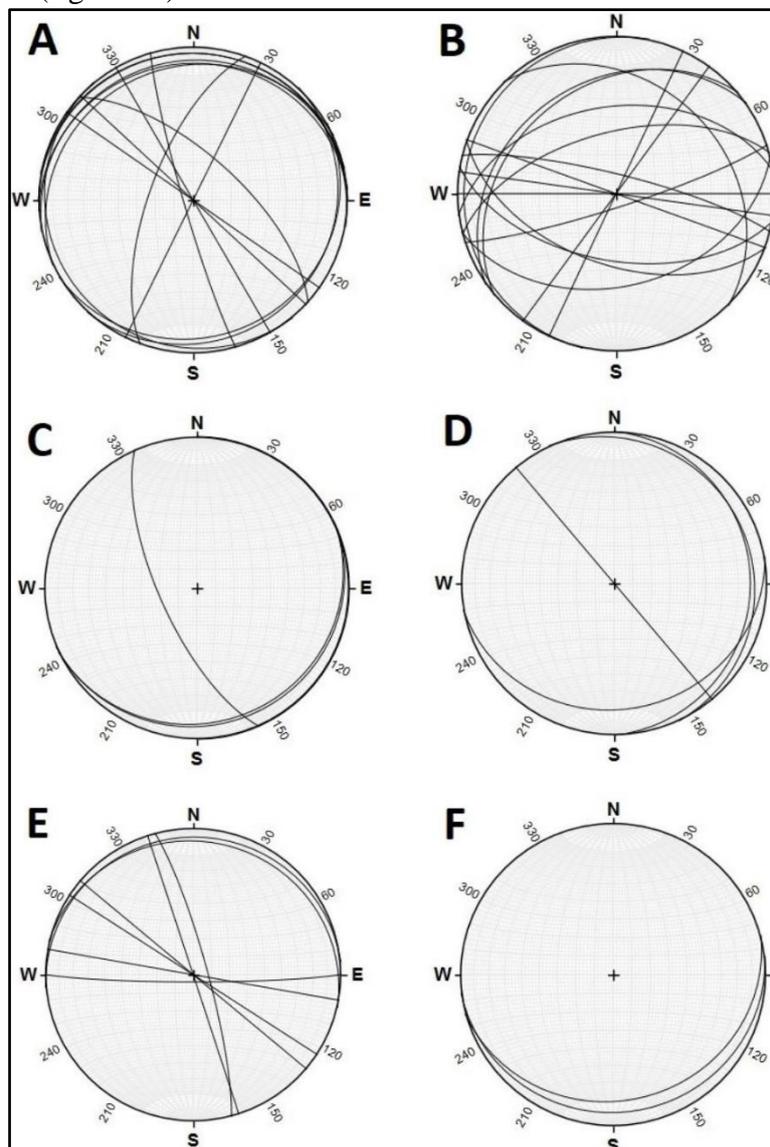


Figura 30: poteos de las discontinuidades presentes en el macizo rocoso en las estaciones geotécnicas. A- Estación geotécnica 1. B- Estación geotécnica 2. C- Estación geotécnica 3. D- Estación geotécnica 4. E- Estación geotécnica 5. F- Estación geotécnica 6.

Del análisis de las discontinuidades se pudo determinar que estas pertenecen a uno de los siguientes tipos de discontinuidades, siendo los últimos dos los más comunes en el área de estudio:

- Juntas o diaclasas
- Superficies de contactos litológicos
- Planos de estratificación
- Superficies de laminación

En los ploteos de la figura 30 pueden verse grupos de líneas paralelas a subparalelas, que representan planos de discontinuidad, con similar orientación y ángulo de buzamiento. A estos agrupamientos se los denomina familia de discontinuidades.

Las discontinuidades pertenecientes a dichas familias, en conjunto con el resto de las discontinuidades presentes en el macizo rocoso permiten tener una idea de la blocosidad del mismo, la forma aproximada de los bloques y su orientación.

Se realizó una descripción de las discontinuidades, y las familias que estas conforman, para cada una de las estaciones geotécnicas.

Estación geotécnica 1

Se estudió la matriz rocosa y las discontinuidades presentes en la estación geotécnica 1 cuyas coordenadas son 39°15'36.6" S 68°47'39" O

En este punto la matriz rocosa aflorante se corresponde con las facies de areniscas masivas (Sm1) y las areniscas con laminación ondulítica (Sr1), que fueron descritas en el capítulo 6.

El talud se encuentra con dirección E-O con una inclinación aproximada de 90°.

N°	Tipo de junta	Rumbo	Buzamiento
1	E1	N°60	12°SE
2	E2	N°78	10°NO
3	E3	N°100	5°NE
4	E4	N°65	14°NO
5	E5	N°86	12°N
6	E6	N°90	5°N
7	E7	N°140	6°SO
8	E8	N°43	10°SE
9	J1	N°312	66°NE
10	J2	N°305	90°
11	J3	N°164	85°SO
12	J4	N°150	90°
13	J5	N°133	90°
14	J6	N°26	90°
15	J7	N°20	67°O

Tabla 10: Orientación de las discontinuidades en la estación geotécnica 1. El tipo de junta E corresponde a discontinuidades producto de estratificación mientras que el J corresponde a posibles esfuerzos tectónicos.

En esta estación se tomaron 15 mediciones (figura 32-A) de las cuales 8 corresponden a discontinuidades producto de estratificación (E), mientras que las 7 mediciones restantes

pueden ser producto de esfuerzos tectónicos (J). Estas representan planos de debilidad dentro de la matriz rocosa, por donde se puede generar la ruptura del macizo.

Las discontinuidades por estratificación son en su mayoría producto de los contactos entre los distintos lóbulos amalgamados que componen la matriz rocosa de esta estación geotécnica y que pueden observarse en la imagen 22-A.

De estas mediciones podemos identificar 3 familias con las siguientes orientaciones:

	Rumbo	Buzamiento
Familia 1	N60°	12°SE
Familia 2	N78°	10°NO
Familia 3	N133°	90°

Tabla 11: familias de discontinuidades en la estación geotécnica 1

A partir de esto podemos definir que el comportamiento del macizo rocoso es de tipo anisótropo, dada la baja cantidad de familias de discontinuidades y sus orientaciones. Esto significa que el comportamiento del macizo rocoso estará controlado por dichas discontinuidades.

Estación geotécnica 2

Se estudió la matriz rocosa y las discontinuidades presentes en la estación geotécnica 2 cuyas coordenadas son 39°15'37.2" S 68°47'39" O.

En este punto la matriz rocosa aflorante se corresponde con las facies de arenisca masiva (Sm2), arenisca lenticular (Sw) y depósitos pelíticos masivos (Fm), que fueron descritas en el capítulo 6.

El talud se encuentra con dirección E-O con una inclinación aproximada de 90°.

N°	Tipo de junta	Rumbo	Buzamiento
1	J1	N76°	41°SE
2	J2	N25°	90°
3	J3	N75°	58°NO
4	E1	N12°	5°O
5	J4	N36°	90°
6	J5	N110°	53°SO
7	J6	N135°	30°NO
8	J7	N90°	90°
9	J8	N72°	83°SE
10	J9	N104°	80°NE
11	J10	N100°	55°SO
12	J11	N82°	44°NO
13	J12	N50°	32°NO
14	J13	N55°	29°NO
15	J14	N110°	90°
16	J15	N98°	90°
17	E2	-	0°

Tabla 12: Orientación de las discontinuidades en la estación geotécnica 2. El tipo de junta E corresponde a discontinuidades producto de estratificación mientras que el J corresponde a posibles esfuerzos tectónicos.

En esta estación se tomaron 17 mediciones (figura 32-B) de las cuales 2 corresponden a discontinuidades producto de estratificación (E), mientras que las 15 mediciones restantes pueden ser producto de esfuerzos tectónicos (J). Estas representan planos de debilidad dentro de la matriz rocosa, por donde se puede generar la ruptura del macizo.

De estas mediciones podemos identificar 4 familias con las siguientes orientaciones:

	Rumbo	Buzamiento
Familia 1	N25°	90°
Familia 2	N98°	90°
Familia 3	N50°	32°NO
Familia 4	N100°	55°SO

Tabla 13: familias de discontinuidades en la estación geotécnica 2

A partir de esto podemos definir que el comportamiento del macizo rocoso es de tipo anisótropo, dada la baja cantidad de familias de discontinuidades y sus orientaciones. Esto significa que el comportamiento del macizo rocoso estará controlado por dichas discontinuidades.

Cabe destacar la presencia de un nivel pelítico alterado en el sector basal de esta estación geotécnica cuyo comportamiento es de tipo isótropo.

Estación geotécnica 3

Se estudió la matriz rocosa y las discontinuidades presentes en la estación geotécnica 3 cuyas coordenadas son 39°15'38.4" S 68°47'39" O.

En este punto la matriz rocosa aflorante se corresponde con las facies de arenisca masiva (Sm3).

El talud se encuentra con dirección N-S con una inclinación aproximada de 90°.

N°	Tipo de junta	Rumbo	Buzamiento
1	E1	N65°	12°SE
2	E2	N67°	10°SE
3	J	N156°	70°SO
4	E3	-	0°
5	E4	-	0°

Tabla 14: Orientación de las discontinuidades en la estación geotécnica 3. El tipo de junta E corresponde a discontinuidades producto de estratificación mientras que el J corresponde a posibles esfuerzos tectónicos.

En esta estación se tomaron 5 mediciones (figura 32-C) de las cuales 4 corresponden a discontinuidades producto de estratificación (E), mientras que la medición restante puede ser producto de esfuerzos tectónicos (J). Estas representan planos de debilidad dentro de la matriz rocosa, por donde se puede generar la ruptura del macizo.

De estas mediciones podemos identificar 2 familias con las siguientes orientaciones:

	Rumbo	Buzamiento
Familia 1	N65°	12°SE
Familia 2	-	0°

Tabla 15: familias de discontinuidades en la estación geotécnica 3

A partir de esto podemos definir que el comportamiento del macizo rocoso es de tipo anisótropo, dada la baja cantidad de familias de discontinuidades y sus orientaciones. Esto significa que el comportamiento del macizo rocoso estará controlado por dichas discontinuidades.

Debido a la baja cantidad de discontinuidades observadas en el campo no es posible precisar con certeza el tipo de rotura que presentarían las rocas en esta estación geotécnica.

Estación geotécnica 4

Se estudió la matriz rocosa y las discontinuidades presentes en la estación geotécnica 4 cuyas coordenadas son 39°15'39.6" S 68°47'39.6" O.

En este punto la matriz rocosa aflorante se corresponde con las facies de arenisca masiva con rizolitos (Sm3).

El talud se encuentra con dirección O-E con una inclinación aproximada de 90°.

N°	Tipo de junta	Rumbo	Buzamiento
1	E	N0°	12°E
2	E	N80°	18°SE
3	J	N155°	10°NE
4	J	N140°	90°

Tabla 16: Orientación de las discontinuidades en la estación geotécnica 4. El tipo de junta E corresponde a discontinuidades producto de estratificación mientras que el J corresponde a posibles esfuerzos tectónicos.

En esta estación se tomaron 4 mediciones (figura 32-D) de las cuales 2 corresponden a discontinuidades producto de estratificación (E), mientras que las 2 mediciones restantes pueden ser producto de esfuerzos tectónicos (J). Estas representan planos de debilidad dentro de la matriz rocosa, por donde se puede generar la ruptura del macizo.

De estas mediciones podemos identificar una familia con la siguiente orientación:

	Rumbo	Buzamiento
Familia 1	N80°	18°SE

Tabla 17: familias de discontinuidades en la estación geotécnica 4

A partir de esto podemos definir que el comportamiento del macizo rocoso es de tipo anisótropo, dada la baja cantidad de familias de discontinuidades y sus orientaciones. Esto significa que el comportamiento del macizo rocoso estará controlado por dichas discontinuidades.

Debido a la baja cantidad de discontinuidades observadas en el campo no es posible precisar con certeza el tipo de rotura que presentarían las rocas en esta estación geotécnica.

Estación geotécnica 5

Se estudió la matriz rocosa y las discontinuidades presentes en la estación geotécnica 5 cuyas coordenadas son 39°15'43.2" S 68°48'4.8" O.

En este punto la matriz rocosa aflorante se corresponde con las facies de arenisca masiva (Sm4) y arenisca con estratificación ondulítica (Sr2).

El talud se encuentra con dirección S-N con una inclinación aproximada de 90°.

N°	Tipo de junta	Rumbo	Buzamiento
1	E1	N103°	10°NE
2	J1	N100°	90°
3	J2	N165°	82°NE
4	J3	N123°	90°
5	J4	N90°	86°S
6	J5	N162°	90°
7	J6	N130°	90°
8	E2	N85°	7°NO

Tabla 18: Orientación de las discontinuidades en la estación geotécnica 5. El tipo de junta E corresponde a discontinuidades producto de estratificación mientras que el J corresponde a posibles esfuerzos tectónicos.

En esta estación se tomaron 8 mediciones (figura 32-E) de las cuales 2 corresponden a discontinuidades producto de estratificación (E), mientras que las 6 mediciones restantes pueden ser producto de esfuerzos tectónicos (J). Estas representan planos de debilidad dentro de la matriz rocosa, por donde se puede generar la ruptura del macizo.

De estas mediciones podemos identificar 4 familias con las siguientes orientaciones:

	Rumbo	Buzamiento
Familia 1	N103°	10°NE
Familia 2	N85°	7°NO
Familia 3	N130°	90°
Familia 4	N165°	82°NE

Tabla 19: familias de discontinuidades en la estación geotécnica 5

A partir de esto podemos definir que el comportamiento del macizo rocoso es de tipo anisótropo, dada la baja cantidad de familias de discontinuidades y sus orientaciones. Esto significa que el comportamiento del macizo rocoso estará controlado por dichas discontinuidades.

Dadas las condiciones del macizo, su grado de fracturamiento y su comportamiento isótropo, así como la gran cantidad de orientaciones de las discontinuidades, su modelo de rotura podría ser clasificado como de rotura curva. Este modelo se da en macizos muy alterados o poco competentes; o, como en este caso, macizos muy fracturados donde el comportamiento es isótropo.

Estación geotécnica 6

Se estudió la matriz rocosa y las discontinuidades presentes en la estación geotécnica 6 cuyas coordenadas son 39°15'44.4" S 68°48'5.4" O.

En este punto la matriz rocosa aflorante se corresponde con las facies de arenisca con estratificación (Sp).

En esta estación no hay un talud presente.

N°	Tipo de junta	Rumbo	Buzamiento
1	E1	N83°	10°SE
2	E2	N75°	18°SE

Tabla 20: Orientación de las discontinuidades en la estación geotécnica 6. El tipo de junta E corresponde a discontinuidades producto de estratificación mientras que el J corresponde a posibles esfuerzos tectónicos.

En esta estación se tomaron 2 mediciones (figura 32-F) que corresponden a discontinuidades producto de estratificación (E). Estas representan planos de debilidad dentro de la matriz rocosa, por donde se puede generar la ruptura del macizo.

De estas mediciones podemos identificar una familia con la siguiente orientación:

	Rumbo	Buzamiento
Familia	N75°	18°SE

Tabla 21: familias de discontinuidades en la estación geotécnica 6

A partir de esto podemos definir que el comportamiento del macizo rocoso es de tipo anisótropo, dada la baja cantidad de familias de discontinuidades y sus orientaciones. Esto significa que el comportamiento del macizo rocoso estará controlado por dichas discontinuidades.

Teniendo en cuenta las características del macizo rocoso y las discontinuidades anteriormente explicadas, se clasificó cada una de las estaciones geotécnicas según la clasificación GSI cuyos valores se muestran en la tabla 22:

Estaciones geotécnicas	GSI	Clasificación
Estación geotécnica 1	70-60	Buena (clase II)
Estación geotécnica 2	50-40	Regular (clase III)
Estación geotécnica 3	80-70	Buena (clase II)
Estación geotécnica 4	70-60	Buena (clase II)
Estación geotécnica 5	80-70	Buena (clase II)
Estación geotécnica 6	90-80	Muy buena (clase I)

Tabla 22: valores de la clasificación GSI para cada estación geotécnica

A partir de los datos obtenidos en el laboratorio y las observaciones realizadas en el campo se realiza la clasificación de macizo rocoso de Bieniawski (RMR) para cada una de las estaciones geotécnicas (tablas 23-28).

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE BIENIAWSKI (1989)

DATOS GENERALES:

DESCRIPCIÓN: Areniscas bien consolidadas en cuerpos lenticulares bien amalgamados

UNIDAD GEOLÓGICA/GEOTÉCNICA: Fm. Candeleros – Estación geotécnica 1

SITUACIÓN: Valores correspondientes a las peores condiciones para el macizo rocoso.

PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN:

RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE (MPa):			
50-25	MPa	Puntuación:	4

RQD (Rock Quality Designation) %:			
75-50	%	Puntuación:	13

SEPARACIÓN ENTRE JUNTAS (m):			
Medianamente separadas (0,6-0,2 m)		Puntuación:	10

CONTINUIDAD (m):			
Baja (1-3 m)		Puntuación:	4

ABERTURA (mm):			
Algo abierta (0,1-1mm)		Puntuación:	3

RUGOSIDAD:			
Rugosa		Puntuación:	5

RELLENO:			
Ninguno		Puntuación:	6

ALTERACIÓN/METEORIZACIÓN:			
Algo meteorizada (II)		Puntuación:	5

AGUA FREÁTICA:			
Fluyendo		Puntuación:	0

CLASIFICACIÓN DE BIENIAWSKI SIN CORRECCIÓN		
RMRbásico	Calidad	Clase
50	Media	III

Tabla 23: Clasificación RMR para la estación geotécnica 1.

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE BIENIAWSKI (1989)

DATOS GENERALES:

DESCRIPCIÓN: Areniscas masivas muy fracturadas sobre fangolitas muy alteradas.

UNIDAD GEOLÓGICA/GEOTÉCNICA: Fm. Candeleros – Estacion geotécnica 2

SITUACIÓN: Valores correspondientes a las peores condiciones para el macizo rocoso.

PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN:

RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE (MPa):			
25-5	MPa	Puntuación:	2
RQD (Rock Quality Designation) %:			
50-25	%	Puntuación:	6
SEPARACIÓN ENTRE JUNTAS (m):			
Separadas (0,6-2 m)		Puntuación:	15
CONTINUIDAD (m):			
Muy alta (>20 m)		Puntuación:	0
ABERTURA (mm):			
Muy abierta (> 5 mm)		Puntuación:	0
RUGOSIDAD:			
Rugosa		Puntuación:	5
RELLENO:			
Relleno blando (<5 mm)		Puntuación:	2
ALTERACIÓN/METEORIZACIÓN:			
Muy meteorizada (IV)		Puntuación:	1
AGUA FREÁTICA:			
Ligeramente húmedas		Puntuación:	10

CLASIFICACIÓN DE BIENIAWSKI SIN CORRECCIÓN		
RMRbásico	Calidad	Clase
41	Media	III

Tabla 24: Clasificación RMR para la estación geotécnica 2.

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE BIENIAWSKI (1989)

DATOS GENERALES:

DESCRIPCIÓN: Areniscas masivas bien consolidadas sobre areniscas fracturadas con relleno blando

UNIDAD GEOLÓGICA/GEOTÉCNICA: Fm. Candeleros – Estación geotécnica 3

SITUACIÓN: Valores correspondientes a las peores condiciones para el macizo rocoso.

PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN:

RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE (MPa):		
250-100	MPa	Puntuación: 12
RQD (Rock Quality Designation) %:		
90-75	%	Puntuación: 17
SEPARACIÓN ENTRE JUNTAS (m):		
Muy juntas (<0,06 m)		Puntuación: 5
CONTINUIDAD (m):		
Muy alta (>20 m)		Puntuación: 0
ABERTURA (mm):		
Muy abierta (> 5 mm)		Puntuación: 0
RUGOSIDAD:		
Rugosa		Puntuación: 5
RELLENO:		
Relleno blando (<5 mm)		Puntuación: 2
ALTERACIÓN/METEORIZACIÓN:		
Algo meteorizada (II)		Puntuación: 5
AGUA FREÁTICA:		
Fluyendo		Puntuación: 0
CLASIFICACIÓN DE BIENIAWSKI SIN CORRECCIÓN		
RMRbásico	Calidad	Clase
46	Media	III

Tabla 25: Clasificación RMR para la estación geotécnica 3.

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE BIENIAWSKI (1989)

DATOS GENERALES:

DESCRIPCIÓN: Areniscas masivas fracturadas en la parte superior y areniscas ligeramente alteradas en la parte inferior

UNIDAD GEOLÓGICA/GEOTÉCNICA: Fm. Candeleros – Estación geotécnica 4

SITUACIÓN: Valores correspondientes a las peores condiciones para el macizo rocoso.

PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN:

RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE (MPa):			
50-25	MPa	Puntuación:	4
RQD (Rock Quality Designation) %:			
75-50	%	Puntuación:	13
SEPARACIÓN ENTRE JUNTAS (m):			
Juntas (0,2-0,06 m)		Puntuación:	8
CONTINUIDAD (m):			
Muy alta (>20 m)		Puntuación:	0
ABERTURA (mm):			
Abierta (1-5 mm)		Puntuación:	1
RUGOSIDAD:			
Muy rugosa		Puntuación:	6
RELLENO:			
Ninguno		Puntuación:	6
ALTERACIÓN/METEORIZACIÓN:			
Algo meteorizada (II)		Puntuación:	5
AGUA FREÁTICA:			
Fluyendo		Puntuación:	0

CLASIFICACIÓN DE BIENIAWSKI SIN CORRECCIÓN		
RMRbásico	Calidad	Clase
43	Media	III

Tabla 26: Clasificación RMR para la estación geotécnica 4.

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE BIENIAWSKI (1989)

DATOS GENERALES:

DESCRIPCIÓN: Areniscas gruesas, masivas, bien consolidadas y con gran continuidad lateral.

UNIDAD GEOLÓGICA/GEOTÉCNICA: Fm. Candeleros – Estación geotécnica 5

SITUACIÓN: Valores correspondientes a las peores condiciones para el macizo rocoso.

PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN:

RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE (MPa):			
100-50	MPa	Puntuación:	7
RQD (Rock Quality Designation) %:			
75-50	%	Puntuación:	13
SEPARACIÓN ENTRE JUNTAS (m):			
Medianamente separadas (0,6-0,2 m)		Puntuación:	10
CONTINUIDAD (m):			
Muy alta (>20 m)		Puntuación:	0
ABERTURA (mm):			
Muy abierta (> 5 mm)		Puntuación:	0
RUGOSIDAD:			
Ligeramente rugosa		Puntuación:	3
RELLENO:			
Ninguno		Puntuación:	6
ALTERACIÓN/METEORIZACIÓN:			
Algo meteorizada (II)		Puntuación:	5
AGUA FREÁTICA:			
Fluyendo		Puntuación:	0

CLASIFICACIÓN DE BIENIAWSKI SIN CORRECCIÓN		
RMRbásico	Calidad	Clase
44	Media	III

Tabla 27: Clasificación RMR para la estación geotécnica 5.

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE BIENIAWSKI (1989)

DATOS GENERALES:

DESCRIPCIÓN: Areniscas bien consolidadas con laminación paralela

UNIDAD GEOLÓGICA/GEOTÉCNICA: Fm. Candeleros – Estación geotécnica 6

SITUACIÓN: Valores correspondientes a las peores condiciones para el macizo rocoso.

PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN:

RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE (MPa):			
100-50	MPa	Puntuación:	7
RQD (Rock Quality Designation) %:			
90-75	%	Puntuación:	17
SEPARACIÓN ENTRE JUNTAS (m):			
Juntas (0,2-0,06 m)		Puntuación:	8
CONTINUIDAD (m):			
Muy alta (>20 m)		Puntuación:	0
ABERTURA (mm):			
Cerrada (<0,1 mm)		Puntuación:	5
RUGOSIDAD:			
Suave		Puntuación:	0
RELLENO:			
Ninguno		Puntuación:	6
ALTERACIÓN/METEORIZACIÓN:			
Algo meteorizada (II)		Puntuación:	5
AGUA FREÁTICA:			
Fluyendo		Puntuación:	0

CLASIFICACIÓN DE BIENIAWSKI SIN CORRECCIÓN		
RMRbásico	Calidad	Clase
48	Media	III

Tabla 28: Clasificación RMR para la estación geotécnica 6.

b. Mecánica de suelos

A partir del análisis granulométrico realizado sobre las dos muestras de suelo extraídas en cercanías al Barrio Llequén (figura 21 y tabla 29) se obtuvieron los datos mostrados en la tabla 30. Con dichos datos se confeccionaron, para cada muestra, una curva granulométrica (tamaño de partículas vs % acumulado) y un histograma de frecuencia (% frecuencia relativa vs tamaño de partículas de la muestra) (figuras 31-34).

Puntos de muestro	Latitud	Longitud
Muestra 1	39°15'37.2" S	68°49'9" O
Muestra 2	39°15'40.2" S	68°49'9,6" O

Tabla 29: coordenadas de puntos de muestreo de suelos.

Retenido en tamiz	Muestra 1 (gr)	Muestra 2 (gr)
Tamiz IRAM N°4	0,92	6,55
Tamiz IRAM N°10	3,36	13,33
Tamiz IRAM N°18	12,81	23,83
Tamiz IRAM N°30	22,26	27,55
Tamiz IRAM N°40	30,10	33,22
Tamiz IRAM N°60	45,28	36,7
Tamiz IRAM N°120	51,58	32,68
Tamiz IRAM N°200	26,1	20,06
Pasa Tamiz IRAM N°200	7,39	5,76

Tabla 30: Cantidad de sedimento retenido en los distintos tamices.

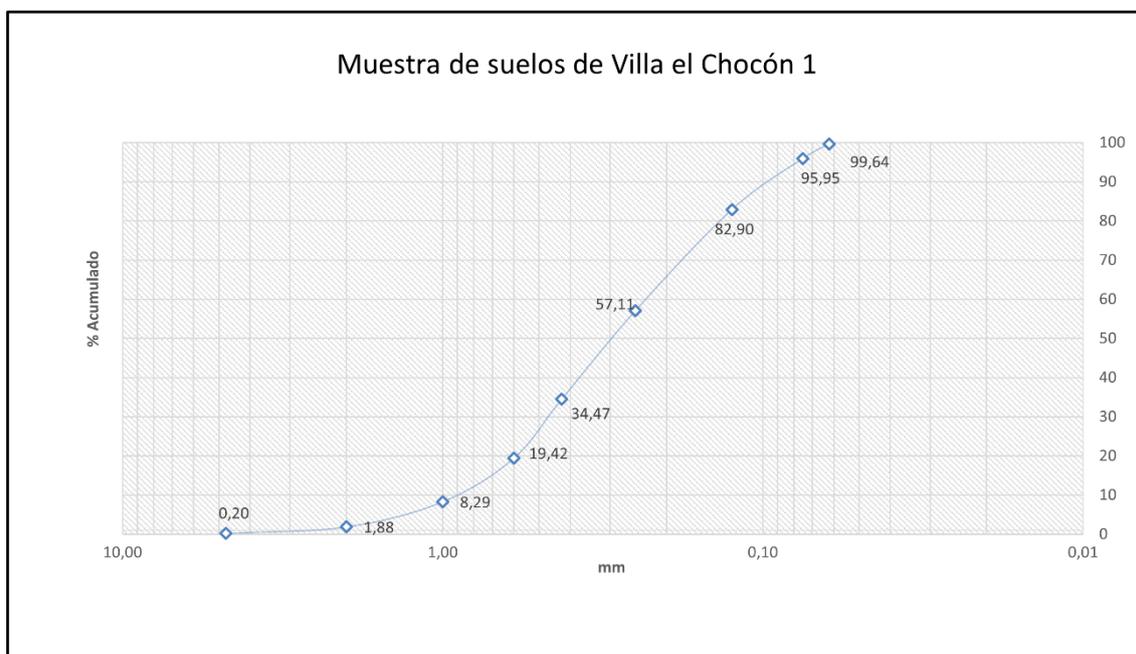


Figura 31: Curva granulométrica acumulada: tamaño de partículas VS % acumulado para la muestra 1

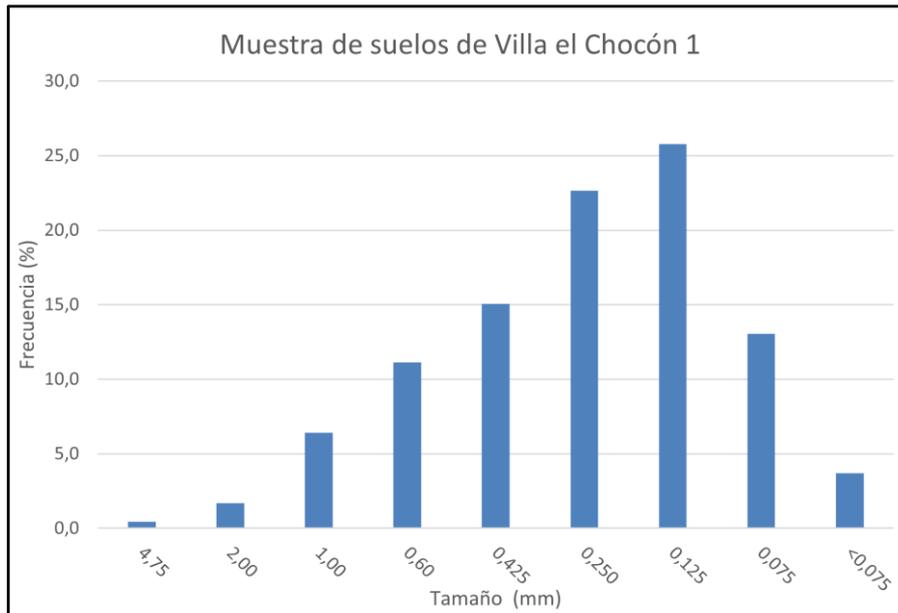


Figura 32: Histograma de muestra total: % frecuencia relativa Vs tamaño de partículas de la muestra 1

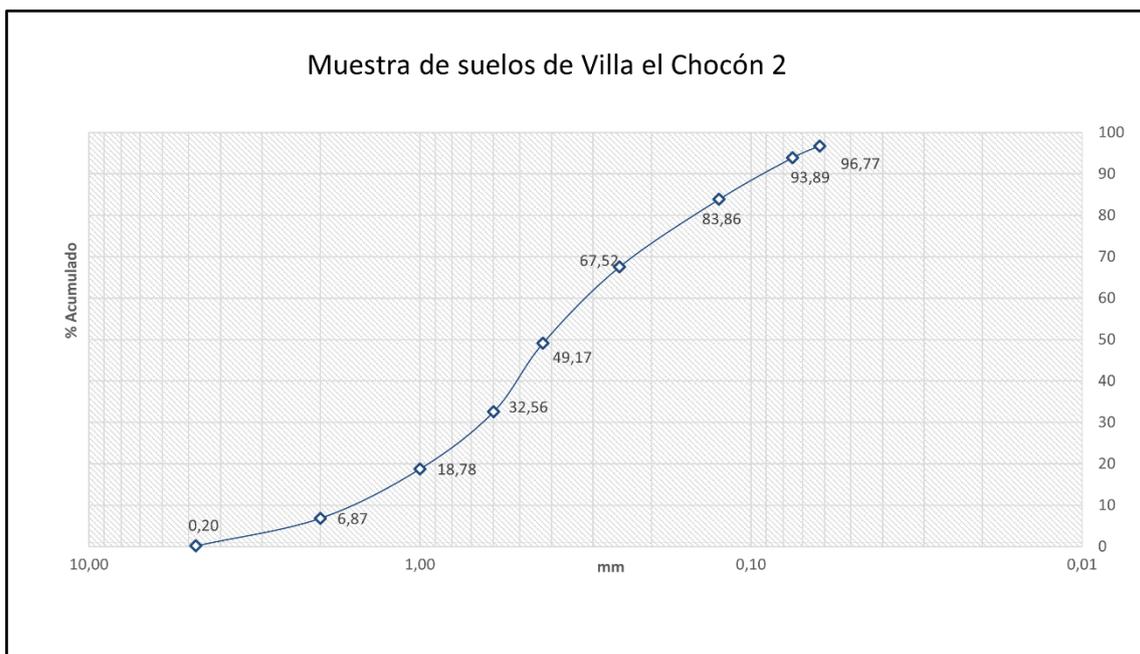


Figura 33: Curva granulométrica acumulada: tamaño de partículas VS % acumulado para la muestra 2

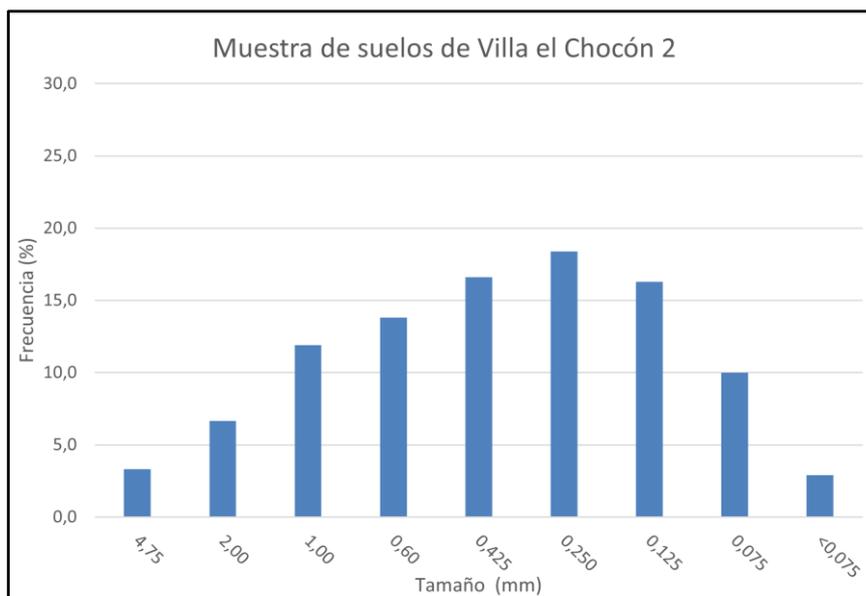


Figura 34: Histograma de muestra total: %frecuencia relativa Vs tamaño de partículas de la muestra 2

A partir de las curvas granulométricas y los histogramas de frecuencias elaborados para cada una de las muestras (figuras 31 - 34) se obtuvieron los valores D10, D30 y D60, para calcular el coeficiente de uniformidad (CU) y el coeficiente de curvatura (CC), lo que permitió clasificarlas con la tabla unificada de clasificación de suelos (SUCS).

La muestra 1 presenta un $CU=4$, lo cual indica un suelo con una buena uniformidad en su tamaño de granos, y un $CC=0.89$, lo que representa una relación dispar en la frecuencia relativa de cada tamaño de grano, o una mala graduación. El contenido de finos de esta muestra es un 3,7% (pasa por el tamiz IRAM N°200 (75 μm))

A partir de esto puede definirse la muestra 1 como una arena mal graduada, con pocos finos o sin ellos o SP según la clasificación de Casagrande.

La muestra 2 presenta un $CU=5.65$, lo cual indica un suelo con poca uniformidad en su tamaño de granos y un $CC=1.2$, lo que representa una buena relación en la frecuencia relativa de cada tamaño de grano, o una buena graduación. El contenido de finos de esta muestra es un 2,9% (pasa por el tamiz IRAM N°200 (75 μm))

A partir de esto puede definirse la muestra 2 como una arena mal graduada, con pocos finos o sin ellos o SP según la clasificación de Casagrande.

Según la clasificación del H.R.B. ambas muestras corresponden al grupo A-3 (0) (arenas finas), ya que presentan pasantes por el tamiz IRAM N°40 mayores al 51% y pasantes por el tamiz IRAM N°200 menores que el 10%. Este grupo se ubica dentro de la clasificación “Excelente a bueno” como se muestra en la figura 20.

	Profundidad	Humedad	Compactación	Clasificación Casagrande	Clasificación H.R.B
Muestra 1	35 cm	Seco	Muy baja - suelo suelto	SP	A-3 (0)
Muestra 2	40 cm	Seco	Muy baja - suelo suelto	SP	A-3 (0)

Tabla 31: datos y clasificaciones de las muestras de suelo

La descripción en lupa binocular se realizó sobre las fracciones más representativas, siendo estas las retenidas en los tamices IRAM N°40, IRAM N°60 e IRAM N°120, en ambas muestras.

Muestra 1

Retenidos en tamiz IRAM N°40 (Figura 35 A)

Color: 5YR 6/4 Light Brown

Composición: cuarzo, feldespato y líticos

Mineral predominante: cuarzo

Líticos: máficos con magnetismo

Redondez: subangulosos a subredondeados

Esfericidad: alargados a equidimensional alargado

Presenta cobertura de cemento carbonático (reacciona con HCl al 10%)

Retenidos en tamiz IRAM N°60 (Figura 35 B)

Color: 5YR 5/2 Pale Brown

Composición: cuarzo, feldespato y líticos

Mineral predominante: cuarzo

Líticos: máficos con magnetismo

Redondez: subangulosos a subredondeados

Esfericidad: equidimensional alargado

Presenta cobertura de cemento carbonático (reacciona con HCl al 10%)

Retenidos en tamiz IRAM N°120 (Figura 35 C)

Color: 5YR 5/2 Pale Brown

Composición: cuarzo, feldespato y líticos

Mineral predominante: cuarzo

Líticos: máficos redondeados con magnetismo

Redondez: subangulosos a subredondeados

Esfericidad: equidimensional alargado

Presenta cobertura de cemento carbonático (reacciona con HCl al 10%)

Muestra 2

Retenidos en tamiz IRAM N°40 (Figura 37D)

Color: 5YR 6/4 Light Brown

Composición: cuarzo, feldespato y líticos

Mineral predominante: cuarzo

Líticos: máficos con magnetismo

Redondez: subangulosos a subredondeados

Esfericidad: alargado a equidimensional alargado

Presenta cobertura de cemento carbonático (reacciona con HCl al 10%)

Retenidos en tamiz IRAM N°60 (Figura 35 E)

Color: 5YR 5/2 Pale Brown

Composición: cuarzo, feldespato y líticos

Mineral predominante: cuarzo

Líticos: máficos con magnetismo

Redondez: subangulosos a subredondeados

Esfericidad: alargado a equidimensional alargado

Presenta cobertura de cemento carbonático (reacciona con HCl al 10%)

Retenidos en tamiz IRAM N°120 (Figura 35 F)

Color: 5YR 5/2 Pale Brown

Composición: cuarzo, feldespato y líticos

Mineral predominante: cuarzo

Líticos: máficos con magnetismo

Redondez: subangulosos a subredondeados

Esfericidad: equidimensional alargado

Presenta cobertura de cemento carbonático (reacciona con HCl al 10%)

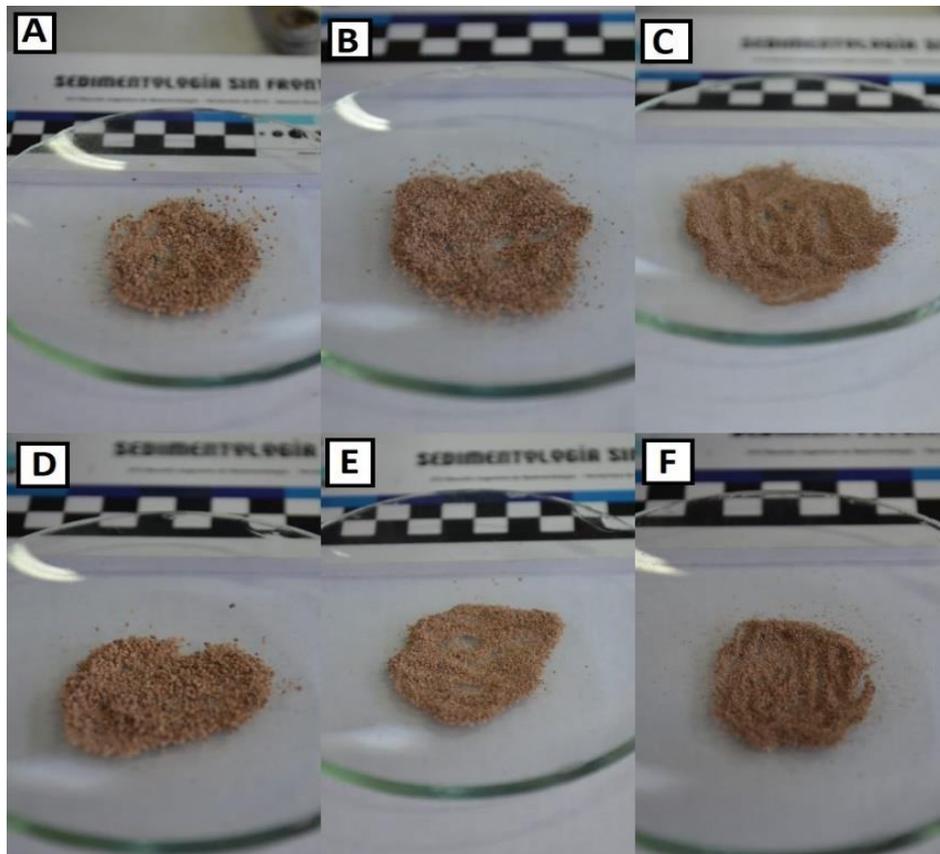


Figura 35: A- Retenidos en tamiz IRAM N°40, B- Retenidos en tamiz IRAM N°60, C- Retenidos en tamiz IRAM N°120, D- Retenidos en tamiz IRAM N°40, E- Retenidos en tamiz IRAM N°60, y F- Retenidos en tamiz IRAM N°120. A, B y C pertenecen a la muestra 1 y D, E y F pertenecen a la muestra 2.

8. CONCLUSIONES

En base al análisis geológico y geotécnico llevado a cabo en el macizo rocoso de la Formación Candeleros, que aflora dentro del ejido urbano de la localidad de Villa El Chocón, a partir de observaciones y mediciones directas en el campo además de ensayos de laboratorio, se puede concluir que:

La litología de los afloramientos analizados esta mayormente conformada por areniscas medias a gruesas, con menor participación de niveles pelíticos. Gran parte de los afloramientos presenta cemento carbonático con escasa o nula matriz fangosa.

El macizo rocoso presenta en su mayoría una resistencia a la compresión simple, de clasificación buena a muy buena con valores promedio entre 50 y 100 MPa, a excepción del nivel pelítico de la estación geotécnica 2, cuyo valor de resistencia es de 23 MPa. Esto permite ver una relación directa entre las facies descritas en el capítulo 6 y el comportamiento geotécnico de las mismas, donde la matriz rocosa está, en su mayoría, compuesta por areniscas medias a gruesas con cemento carbonático, escasa matriz fangosa y baja alteración, lo que le confiere una resistencia mayor que al nivel pelítico, el que, además, se encuentra alterado.

El grado de fracturación de la matriz rocosa es variable en cada estación geotécnica, con valores que varían entre el RQD=90% a 75% descriptos en la estación 3 y 6, y mínimos como el RQD=50% a 25% encontrado en la estación 2. Cabe destacar la presencia del nivel pelítico en la parte basal de la estación geotécnica 2, la cual refleja de forma negativa en el RQD de dicha estación.

A partir de las observaciones realizadas sobre las discontinuidades se puede ver que el macizo rocoso presenta, en cinco de las seis estaciones geotécnicas, un comportamiento puramente anisótropo, el cual está controlado por las propiedades de las discontinuidades que presenta. Solo en la sección basal de la estación geotécnica 2 el comportamiento del macizo es de tipo isótropo, dado por la presencia del nivel de pelitas alterado, cuyo comportamiento asemeja al de un suelo.

Aplicando la clasificación geomecánica RMR puede caracterizarse al macizo rocoso a partir del promedio de los valores hallados para cada estación. De esta forma se obtuvo un valor de 45 (media, clase III) para el macizo rocoso en condiciones desfavorables: con agua corriendo entre sus discontinuidades y con los menores valores de resistencia a la compresión simple medidos.

Por su parte, el índice GSI para macizos rocosos clasificados como fracturados y muy fracturados, arroja valores promedio entre 70 y 60 (buena, clase II).

Dados los valores obtenidos en ambos sistemas de clasificación, se recomienda que la ciclovía y los puentes peatonales descriptos en el Plan de Ordenamiento Territorial de la Municipalidad de Villa El Chocón se realicen sobre el macizo rocoso, teniendo en consideración el riesgo hídrico del sector, que se encuentra explicado en el trabajo de Acuña (2021).

En base al análisis geológico y geotécnico llevado a cabo sobre el suelo cercano al Barrio Llequén, a partir de observaciones y mediciones directas en el campo además de ensayos de laboratorio y observaciones bajo lupa binocular, se puede concluir que:

Al momento de ser extraídas las muestras de suelo se observó que estas carecían de estructura, estaban totalmente secas y se disgregaban con mucha facilidad.

Comparando el análisis granulométrico, con la tabla del sistema unificado de clasificación de suelos, se clasifica el suelo como arenas mal graduadas con poco contenido de finos (>4% del total de la muestra).

Según la clasificación del sistema del H.R.B. (*Highway Research Board*), las muestras corresponden al grupo de “arenas finas” A-3 (0), que son clasificadas como “excelentes a buenas”.

Bajo lupa binocular se identificó la composición mineralógica de la muestra como cuarzo, feldespatos y líticos, donde los líticos son máficos con magnetismo. También se pudo apreciar una pátina de cemento carbonático sobre una gran cantidad de los granos observados.

A partir de lo analizado, se recomienda la realización de estudios de suelo más profundos, pudiendo llegar a la roca o a suelo compacto, los cuales no pudieron ser llevados a cabo en este trabajo debido a no contar con la maquinaria necesaria. Además, recomiendo la realización de un estudio de penetración dinámico con registro continuo para determinar de forma precisa y detallada la resistencia a la penetración y el grado de compactación de las distintas capas de suelo, lo que permitiría una correlación con otros parámetros geotécnicos como la carga admisible por el terreno, su densidad relativa y los posibles asentamientos al tratarse de un suelo granular.

Con los resultados obtenidos de las observaciones en campo, los ensayos de laboratorio y el trabajo de gabinete, puede concluirse que las propiedades geotécnicas del terreno en el área de estudio son adecuadas para llevar a cabo una obra de infraestructura como la que se plantea en el Plan de Ordenamiento Territorial de la Municipalidad de Villa El Chocón.

9. BIBLIOGRAFÍA

Acuña, E. R., 2021. Evaluación de riesgo aluvional sobre la obra de Ciclovía entre el Casco Histórico y el Barrio Llequén - Localidad de Villa El Chocón, Provincia de Neuquén. Trabajo final de Licenciatura. Universidad Nacional del Comahue.

Annandale, G. 1995. Erodibility. *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 33, No. 4, pp. 471-494.

Atterberg, A. (1911). Die plastizität der Tone. *Intern mitt. boden.*, 4-37.

Barton, N., & Choubey, V. (1977). The shear strength of rock joints in theory and practice. *Rock mechanics*, 10(1), 1-54.

Bieniawski, Z.T. 1989. *Engineering Rock Mass Classifications: a Complete Manual*. John Wiley and Sons, New York.

Casagrande, A. (1947). *Classification and identification of soils*. New York. Graduate School of Engineering.

Council, B. S. S. (2003). NEHRP recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures. Rep. No. FEMA, 450.

Di Paola, E.C. 1973. Caracterización litoestratigráfica de la Formación Neuquén. V° Congreso Geológico Argentino. Actas 3: 197-206

Deere, D. U., Patton, F. D., 1971. Slope Stability in Residual Soils. Proc. 4th Panamerican Conf., Soil Mech., Puerto Rico, 1: 87-170

Ferrer, J.A.; Irisarri, J.A. y Mendía, J.M. 1990. Estudio Regional de Suelos de la Provincia del Neuquén. Consejo Federal de Inversiones (CFI) – Consejo de Planificación y Acción para el Desarrollo (COPADEV). Volumen I. Tomo III

Garrido, A. C. (2005). Importancia científica y turística de los recursos paleontológicos y geológicos del Neuquén. Identificación y relevamiento de los recursos geológicos. Informe Final. Consejo Federal de Inversiones. Subsecretaría de Coordinación. Ministerio de Jefatura de Gabinete. Provincia del Neuquén.

Garrido, A.C. 2010. Estratigrafía del Grupo Neuquén, Cretácico Superior de la Cuenca Neuquina (República Argentina): Nueva propuesta de ordenamiento litoestratigráfico. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales, Nueva Serie*, 12 (2).

Gatica, J., Dufilho, A. C., & Irisarri, J. (2021). Estimación de la recarga potencial anual de acuíferos en la provincia de neuquén.

González de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería geológica*. Pearson Educación.

González Díaz & Ferrer, (1986). Los Mapas Geomorfológicos: su importancia. Presentación del Mapa Geomorfológico de la Provincia del Neuquén. *Anales Academia Nacional de Ciencias Exactas Físicas y Naturales* 38: 235-250. Buenos Aires.

Hoek E. 1994. Strength of rock and rock masses. *ISRM News Journal*, 2(2).

Hoek, E. and Brown, E.T. 1997. Practical estimates of rock mass strength. *Intl. J. Rock Mech. & Mining Sci. & Geomechanics Abstracts*. 34 (8), 1165-1186.

Hugo, C.A. y Leanza, H.A. 2001. Hoja Geológica 3969-IV, General Roca. Provincias de río Negro y Neuquén. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. *Boletín* 308, 65 p. Buenos Aires.

ISRM (1981): Rock characterisation testing and monitoring. In: Brown, E. T. (ed.) Pergamon Press, Oxford

Marinos, P., & Hoek, E. (2000, November). GSI: a geologically friendly tool for rock mass strength estimation. In ISRM international symposium. OnePetro.

Martinez, S., 2021. Cuenca del Río Limay. argentina.gob.ar

Miall, A. D. 2010. Alluvial deposits. En James, N. P. y Dalrymple, R. W. (Ed). Facies Models 4. Geological Association of Canada, St. John's, Newfoundland. 4th edition. GEOText 6. Pp 105-137.

Patton, F. D., & Deere, D. U. (1971). Geologic factors controlling slope stability in open pit mines. Proceedings of the Society of Mining Engineers of AIME—stability in open pit mining, 1, 23-47.

Pereyra, F. X., 2003. Ecoregiones de la Argentina. Anales 37. 208 p. y 1 mapa. Buenos Aires, Servicio Geológico Minero Argentino. URI: <http://repositorio.segemar.gov.ar/308849217/2953> Paginas 94-96

Pereyra, F. X., Irisarri, J. A., & Ferrer, J. A. (2011). Suelos: Factores de formación, procesos pedogenéticos y distribución. In *Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino* (pp. 871-880).

Priest, S. D., & Hudson, J. A. (1976, May). Discontinuity spacings in rock. In *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts* (Vol. 13, No. 5, pp. 135-148). Pergamon.

Ramos V., Folguera A. y García Morabito E. (2011). Las Provincias Geológicas del Neuquén. *Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino*. Relatorio: Pág. 317- 326. ISBN978-987-22403-3-2

Ramonell, C. G., (1997). Geomorfología de cauces aluviales. Cátedra de Geología y Geomorfología, Universidad Nacional del Litoral, Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas.

Reglamento INPRES-C1RSOC103. Departamento de Ediciones del INTI, Buenos Aires. Edición agosto 1991. Impresión abril 1996

Sánchez, S. E., Encabo, M. E., & Mastrocola, Y. (2015). Recreación responsable en naturaleza en el Cañadón Escondido-El Chocón-Neuquén-Argentina.

Spalletti, L., & Gazzera, C. E. (1989). Eventos eólicos en capas rojas Cretácicas (Formación Rio Limay, Grupo Neuquén), sector sudeste de la Cuenca Neuquina, Argentina. *Contribuciones de los simposios sobre el Cretácico de América Latina*, Buenos Aires, Argentina, Parte A, 89-100.

Wichmann, R., 1927. Los Estratos con Dinosaurios y su Techo en el Este del Territorio del Neuquén. Publicación 32, 28 p. Buenos Aires, Ministerio de Agricultura. Dirección General de Minas, Geología e Hidrología.

10. Anexo

Calzada ciclovia

Contrapisos sobre terreno natural

Todos los contrapisos a ejecutar sobre terreno natural serán ejecutados sobre un relleno con calcáreo seleccionado, aportando y distribuyendo una capa de 25-30 cm. “suelta” la cual será humedecida y homogeneizada, hasta lograr $\pm 2\%$ la Humedad Óptima del Aasho T99. Luego deberá compactarse manualmente o con rodillo liso vibrante de por lo menos 5Tn. hasta obtener una densidad no inferior al 95 % del Aasho T99. Se nivelará perfectamente respetando las cotas de proyecto.

El contrapiso será de 15 cm. de espesor, se realizará de Hormigón H 17 con malla de acero electrosoldada de 4,2 mm. A criterio de la Dirección de Obra se podrá solicitar en algún caso puntual el refuerzo de esta con una malla de acero de 8 mm electrosoldada. En la construcción de las losas de cruce por los badenes, las mismas se construirán de acuerdo con los planos tipo incluidos en el presente pliego.

Carpetas de cemento alisado peinado

Las carpetas se ejecutarán sobre contrapiso con un espesor mínimo de 4/5 cm, con una proporción de 1:1,5:2,5 (cemento, arena y granza)

La terminación de la ciclovia donde indiquen los planos será de Cemento con endurecedor no metálico color natural (proporción 50% - 50%), con un espesor de carpeta con granza no inferior a los 4 cm, previo a colar la carpeta sobre el contrapiso de hormigón se aplicará un puente de Adherencia tipo SIKALATEX.

Las carpetas se harán de acuerdo con lo que determine la Inspección, quién aprobará niveles y pendientes.

Los bordes y cantos serán alisados en los perímetros del solado y en el centro ira peinado antideslizante, llevara juntas de dilatación cada 1,5 ms. como máximo, las cuales se sellarán con materiales de 1º calidad, marca SIKA.

Puentes Peatonales

Se trata del anteproyecto de dos puentes peatonales, en la localidad de Villa El Chocón, destinado a salvar una luz de aproximadamente 48 metros (en el caso de máxima) con un ancho de calzada de 2 metros.

En épocas de lluvias o crecidas, el cañadón principal que atraviesa la localidad transporta importantes caudales por lo que se hace necesaria la construcción de alguna vía transitable que permita salvar ese cauce sin peligro para los habitantes del lugar.



La premisa básica utilizada para el prediseño de la estructura es trabajar con elementos transparentes que no generen obstáculos visuales que interfieran con la visual paisajística.

En principio, se ha pensado en una estructura caracterizada como, Puente en arco con Tablero Superior. Los elementos estructurales elegidos para esta estructura lo constituyen tubos circulares, línea pesada, con diámetros que varían entre 3 pulgadas y 6 pulgadas, según sea la solicitud de cada elemento. Sobre el tablero superior, se dispondrá una base de metal desplegado, línea pesada, sobre el que se dará la circulación peatonal. El arco principal, tiene una luz de 40 metros y una flecha máxima de 2 m

Se prevén fundaciones constituidas por bases de hormigón armado sobre suelo rocoso. Para aquellos casos que no se cuente con un estrato firme a menores profundidades, podrá optarse por alguna variante de fundación profunda mediante pilotaje.