

**Barrotto, María**

---

**Vulnerabilidad en zona de  
montaña: entorno del Cerro El  
Cuadrado de la Sierra Chica de  
Córdoba, Argentina**

**Tesis para la obtención del título de grado  
de Ingeniera Civil**

Director: Quintana Crespo, Enrique

Documento disponible para su consulta y descarga en Biblioteca Digital - Producción Académica, repositorio institucional de la Universidad Católica de Córdoba, gestionado por el Sistema de Bibliotecas de la UCC.



[Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-No Comercial-Sin  
Obra Derivada 4.0 Internacional.](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

FACULTAD de INGENIERÍA  
CARRERA de INGENIERÍA CIVIL



UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE CÓRDOBA  

---

*Universidad Jesuita*

*TRABAJO FINAL*

## **TÍTULO: VULNERABILIDAD EN ZONA DE MONTAÑA**

**Entorno del cerro El Cuadrado de la Sierra Chica de Córdoba,  
Argentina**

**Autor: BARROTTO, MARÍA**

**Tutor: DR. ING. ENRIQUE QUINTANA CRESPO**

**Docentes: ING. GANANCIAS, FACUNDO - ING. FONTANA, MARCOS**

2023



## NOTA DE ACEPTACIÓN

**Universidad Católica de Córdoba**

**Facultad de Ingeniería**

**Carrera de Ingeniería Civil**

**Título:** Vulnerabilidad en zona de montaña. Entorno del cerro El Cuadrado de la Sierra Chica de Córdoba, Argentina

**Autor:** Barrotto, María

**Calificación:**.....

.....  
Firma y Aclaración de Presidente de Mesa Examinadora

.....  
Firma y Aclaración de Vocal de Mesa Examinadora

.....  
Firma y Aclaración de Vocal de Mesa Examinadora

Córdoba, 23 de marzo de 2023

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 2 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



## AGRADECIMIENTOS

*A mis padres, Verónica y José, por apoyarme en mis decisiones, alentarme cuando el camino es cuesta arriba y acompañarme durante todo este trayecto. Este logro es de ustedes también.*

*A mis hermanos mayores, Gonzalo y Agustín, por ser los compañeros más incondicionales con los que cuento a mi lado todos los días.*

*A toda mi familia, amigas y amigos que forman parte de mi vida por estar presentes en cada logro y festejarlos conmigo. A Florencia, Nadia y Agustina por convertirse en compañeras y rápidamente en amigas desde el primer día.*

*Especialmente, a mis abuelas, mis mayores ejemplos.*

*A la Universidad Católica de Córdoba, por la oportunidad de formarme en la carrera que elegí. En esta institución tuve el privilegio de aprender de excelentes docentes a quienes les extiendo este agradecimiento.*

*Al tutor de este trabajo, Ing. Enrique Quintana, por brindarme su conocimiento, su tiempo y su acompañamiento. A los profesores de la cátedra de Trabajo Final Ing. Marcos Fontana e Ing. Facundo Ganancias. A la directora de la carrera, Ing. Constance Pirard por brindarme su contención y aliento al transitar por el ciclo de especialización.*

MARÍA BARROTTO

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021	
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023	
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01	<b>Página 3 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>		



## Índice

Resumen.....	7
Abstract.....	8
1. Introducción.....	9
2. Definición del problema.....	10
3. Objetivos .....	12
Objetivos Generales .....	12
Objetivos Particulares.....	12
4. Metodología .....	13
4.1. La naturaleza de la investigación .....	13
4.2. Metodologías aplicadas.....	20
4.2.1. Metodología de Calidad para la Conservación.....	20
4.2.2. Metodología de Vulnerabilidad de Acuíferos.....	22
4.2.3. Metodología de Macrozonificación de la Amenaza de la Inestabilidad de Laderas .....	24
4.2.4. Metodología de Determinación de Unidades de Mapeo Geotécnico.....	27
4.2.5. Metodología de Hoek y Brown.....	27
4.2.6. Metodología de Estabilidad Global de Taludes .....	32
5. Antecedentes .....	38
5.1. Investigaciones en la zona .....	38
5.1.1. Ruta N° 38 tramo variante Costa Azul-La Cumbre.....	38
5.1.2. Definición de modelos geológico-geotécnicos en estudios de estabilidad de taludes aplicados a proyectos viales en zonas geológicas complejas .....	40
5.2. Antecedentes de la metodología Calidad para la Conservación .....	41
5.2.1. Mapa Geocientífico de la Provincia de Valencia .....	41

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 4 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



5.2.2.	Aplicación de una Metodología de Calidad para la Conservación a la Selección de Sitios para Enterramiento Sanitario en la Provincia de Córdoba.....	41
5.2.3.	Determinación de la calidad para la conservación de áreas impactadas por la minería en la zona de San Agustín, provincia de Córdoba, Argentina .....	43
5.3.	Antecedentes de zonificación y cálculo de estabilidad de taludes .....	44
5.3.1.	“Zonificación Geotécnica Aplicada a Taludes Rocosos en el Cordón de Sierra Chica, Provincia de Córdoba, Argentina” .....	44
5.4.	Antecedentes que aplican la metodología de Mora-Vahrson.....	45
5.4.1.	Estudio de susceptibilidad por fenómenos de geodinámica externa en el sector de San Jorge Alto perteneciente al Cantón de Esmeraldas .....	45
5.4.2.	Evaluación de amenazas por deslizamientos asociados a factores hidroclimáticos en sectores de Loja y Manabí, Ecuador. ....	48
5.4.3.	Aplicación del método Mora-Vahrson para evaluar la susceptibilidad a deslizamiento en el municipio de Manaure, Cesar, Colombia.....	50
6.	Aplicación de las metodologías .....	52
6.1.	Metodología de Calidad para la Conservación .....	52
6.1.1.	Determinación de las unidades geomorfológicas.....	52
6.1.2.	Geología.....	64
6.1.3.	Suelos y vegetación.....	71
6.1.4.	Aguas superficiales y subterráneas .....	81
6.1.5.	Paisaje .....	85
6.1.6.	Valores de Calidad para la Conservación .....	94
6.2.	Metodología de Macrozonificación de la Amenaza de la Inestabilidad de Laderas.....	99
6.2.1.	Factor de influencia de las pendientes (Sp) y de relieve relativo (Sr).....	99
6.2.2.	Factor litológico (Sl).....	101
6.2.3.	Factor de susceptibilidad derivado de la humedad prevalente (Sh) .....	126
6.2.4.	Factor de disparo sísmico (Ds) .....	129

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021	
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023	
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01	<b>Página 5 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>		



6.2.5.	Factor de disparo derivado de la intensidad de las lluvias (Dp) .....	132
6.2.6.	Mapa de amenaza a la inestabilidad de laderas .....	134
6.3.	Metodología de Estabilidad Global de Taludes.....	135
6.3.1.	Verificación de las condiciones de estabilidad global.....	135
6.3.2.	Análisis probabilístico .....	148
6.3.3.	Análisis de sensibilidad.....	151
7.	Caso de estudio: RP E-98 – Camino del Cuadrado.....	153
7.1.	Fallas geotécnicas y estructurales.....	153
7.1.1.	Falla en taludes, terraplenes y muro en la progresiva 4800 .....	154
7.1.2.	Falla en la ladera de la progresiva 3250 .....	162
7.2.	Problemáticas hídricas .....	165
7.2.1.	Análisis hidrológico .....	168
	Conclusiones.....	177
	Recomendaciones.....	179
	Bibliografía .....	180
	Anexos .....	183
	Anexo N°1 .....	183
	Anexo N°2 .....	237
	Referencias .....	240
	Figuras .....	240
	Tablas.....	243
	Ecuaciones.....	246
	Anexo .....	247

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 6 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



## Resumen

La presente investigación implementa una serie de metodologías para determinar la vulnerabilidad en zona de montaña mediante la combinación de procedimientos y la interpretación de los resultados de manera analítica y gráfica con tablas y mapas específicos.

Las metodologías aplicadas fueron:

- Calidad para la Conservación: permite determinar una expresión sintética del valor del territorio para distintas unidades geomorfológicas a partir de la ponderación de los parámetros geología, suelos, aguas subterráneas, vegetación y paisaje.
- Vulnerabilidad de Acuíferos: según Foster e Hirata, permite evaluar la incidencia de las aguas subterráneas.
- Macrozonificación de la Amenaza de la Inestabilidad de Laderas: propuesta por Mora y Vahrson, calcula la amenaza en función de los parámetros de susceptibilidad litológica, pendientes y humedad a los que se suman los eventos disparadores, sismicidad y lluvias.
- Determinación de Unidades de Mapeo Geotécnico: de acuerdo a lo propuesto por International Association for Engineering Geology (IAEG), es empleada como guía para mapear unidades homogéneas según propiedades geológicas y geotécnicas.
- Calificación de Macizos Rocosos: de Hoek & Brown y el índice Rock Mass Rating (RMR) se aplicaron para obtener el factor de susceptibilidad litológica.
- Estabilidad Global de Taludes: mediante la utilización del software Slide que permite la modelación estadística de taludes y devuelve resultados presentados en gráficos y tablas.

Toda la información se volcó a un sistema de información geográfica (SIG) mediante el uso del software libre Quantum Gis (QGis) cuyo resultado fue una serie de cartografías que ubican, organizan e ilustran las características del área de estudio.

El análisis de vulnerabilidad fue aplicado a un caso concreto de construcción de un camino de montaña en la Sierra Chica de la provincia de Córdoba, Argentina.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 7 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	





## Abstract

This research provides a series of methodologies which were conducted in order to determine vulnerabilities in mountain area through the combination of processes and the interpretation of the findings in an analytic and graphic manner; with charts and specific maps.

The applied methodologies were:

- Quality for Conservation: it allows to determine a synthetic expression of the territory's value for different geomorphological units through the weighting of the following parameters: geology, soil, groundwater, vegetation and landscape.
- Aquifer Vulnerability: according to Foster and Hirata, it allows to evaluate the incidence of groundwater.
- Threat of Instability of Slopes: proposed by Mora and Vahrson, and based on the susceptibility parameters lithology, slopes and humidity, coupled with the triggering events, seismicity and rainfall.
- Determination of Geotechnical Mapping Units: according to the International Association for Engineering Geology (IAEG) it serves as a guide to mapping homogeneous units as per geological and geotechnical properties.
- Rock Mass Classification: Hoek and Brown's, and the Rock Mass Rating system (RMR) were implemented to obtain the lithological susceptibility factor.
- Taludes' Global Stability: through the use of Slide software which allows taludes' statistic modelling and returns results presented in graphics and tables.

All of the information was turned over a geographical information system (SIG) utilizing the Quantum Gis (QGis) free software, which resulted in a series of mappings that place, organize and illustrate the characteristics of the area of study.

The vulnerability analysis as implemented in a specific case for the construction of a mountain road at Sierra Chica in the province of Córdoba, Argentina.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021	
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023	
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01	<b>Página 8 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>		



## 1. Introducción

Las sierras de Córdoba, al igual que otros ecosistemas de montaña, se encuentran cada vez más intervenidos por la acción antrópica relacionada con la presión demográfica y las vías de comunicación; a lo que se suma la actividad minera y el cambio climático. Estas intervenciones provocan modificaciones de distinta envergadura; algunas con consecuencias desestimables, pero otras pueden devenir en tragedias si no son previstas adecuadamente.

Frente a esta situación el presente trabajo propone el análisis del medio físico en torno al área central del cordón de Sierra Chica. La superficie de estudio comprende aproximadamente 500 km<sup>2</sup> (ver Figura 1) en la cual existen antecedentes de una elevada vulnerabilidad geotécnica, manifestada en deslizamientos naturales en las laderas y en los terraplenes y taludes generados para las obras viales de montaña.

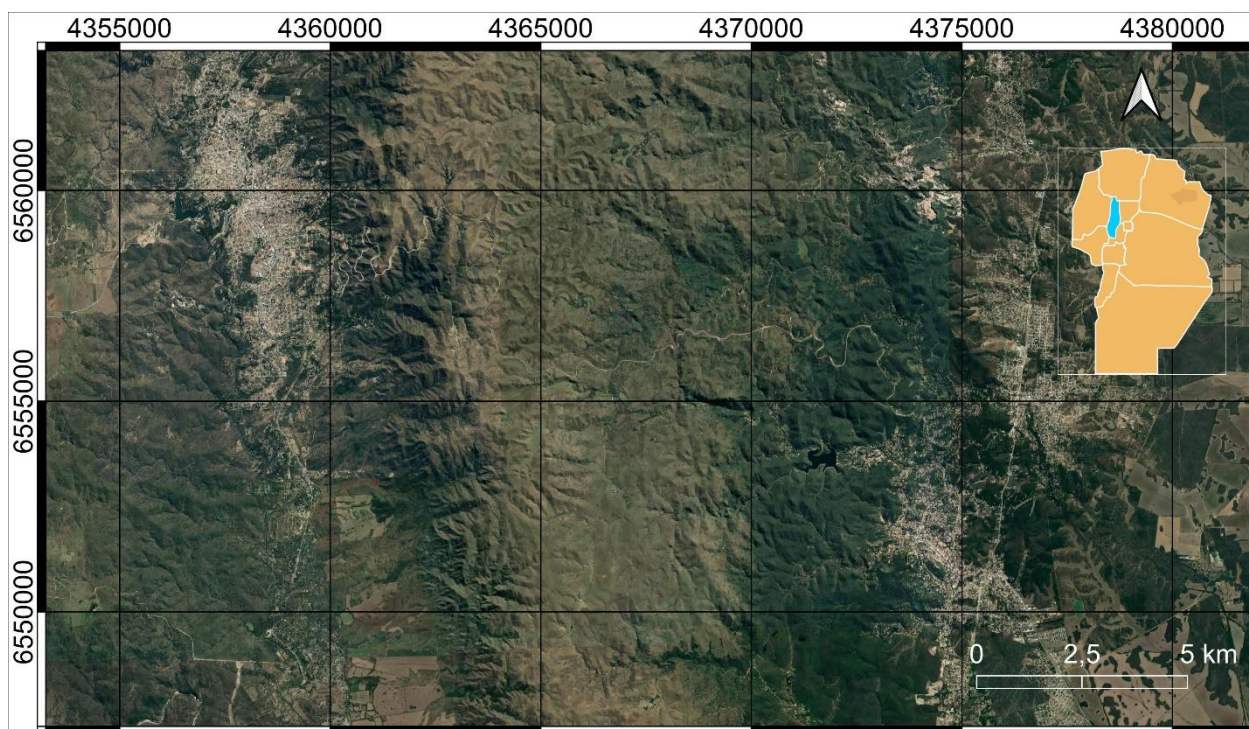


Figura 1. Área de estudio.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 9 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



## 2. Definición del problema

La zona serrana de la provincia de Córdoba es una región susceptible de inestabilidad debido a sus componentes geotécnicos a lo que se agrega la acción antrópica relacionada con la presión demográfica, la construcción de vías de comunicación y la minería, además de la incidencia de los cambios climáticos.

Con relación a los componentes geotécnicos, la Sierra Chica “está conformada por un bloque de basamento ígneo-metamórfico de sección asimétrica, con pendiente pronunciada al oeste y suave al este, alargado en dirección norte-sur. Dicho bloque está limitado al oeste por la falla de la Sierra Chica, que lo levanta por encima de los valles de Punilla y Calamuchita, que contienen rellenos sedimentarios del Terciario (Eoceno-Mioceno) y Cuaternario (Pastore 1932, Lencinas y Timonieri 1968, Gordillo y Lencinas 1979). Hacia el este, se adosan al flanco tendido del bloque, sedimentitas continentales cretácicas y pliocenas, las que se hundén suavemente bajo los sedimentos del Holoceno pertenecientes a la llanura Chaco-Pampeana. Este flanco tendido se ve interrumpido por un pequeño cordón denominado Elevación Pampeana (Bodenbender 1929)” (Carignano. 2012: 210). La región más comprometida es la occidental al pie de la cual se ubica la zona de falla de Sierra Chica donde se identifican rocas cataclásticas con un ancho afectado de hasta centenares de metros, aparición de harina de falla y rocas de aspecto filonítico, intensamente cloritizadas y muscovitizadas.

Una de las causas que incrementan la vulnerabilidad es la relacionada con el aumento poblacional en los principales conglomerados urbanos de la Provincia de Córdoba, como así también en el Gran Córdoba, además del surgimiento de nuevos “estilos de vida” que provocan la migración hacia la periferia, en particular hacia la zona serrana. Esta tendencia implica la ocupación de valiosos ambientes serranos y la transformación de pequeñas poblaciones históricamente más armónicas con la naturaleza.

El asentamiento humano en una región con estas características intrínsecas, potencia la vulnerabilidad por la instalación de construcciones urbanas, el trazado de las imprescindibles vías de comunicación y el desvío o la obstrucción de corrientes de agua modifican profundamente la ecología. El crecimiento de las poblaciones en los cordones montañosos, implica la edificación en el piedemonte, laderas y cumbres serranas, así como cambios en el uso de los suelos, provocando graves problemas de erosión, pérdida de bosque nativo y cobertura vegetal. En muchas localidades serranas se crearon normas y ordenanzas adecuadas a cada lugar, entre

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021	
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023	
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01	<b>Página 10 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>		



ellas, las que limitan la altura de la edificación, pero todavía hace falta generar una normativa referida al ordenamiento integral a fin de prevenir diversas situaciones no deseadas.

Por otro lado, la configuración natural de las planicies aluviales de los ríos es alterada por la infraestructura urbana: calles, caminos, viviendas, redes de servicios, etc. Dichos procesos impactan sobre la naturaleza acentuando el efecto de fenómenos como inundaciones e incendios.

Otra consecuencia directa del crecimiento demográfico y el consiguiente desarrollo urbano de la capital provincial y localidades satélite, es el aumento de la actividad minera, de fuerte incidencia en el problema del que se ocupa esta investigación. La extracción de rocas y minerales para su uso en distintas industrias: gneis, mármol, mica, vermiculita, etc. provoca la apertura de frentes de cantera, actividades de voladura, explotación a cielo abierto, alteración de la topografía y del paisaje.

En lo que compete a este trabajo, interesa estudiar cómo las circunstancias señaladas afectan la inestabilidad de las laderas de la región en estudio. Las lluvias, la humedad, la acción del viento, etc. conforman los agentes exógenos que contribuyen a comprometer el equilibrio de las mismas.

A partir de esa realidad, este trabajo propone identificar los factores que modifican el medio físico, entre ellos, los que se pueden controlar y los que no dependen directamente de la acción humana. Para eso se relevan aspectos geotécnicos del terreno y se estudian los agentes de la geodinámica externa que desencadenan procesos de inestabilidad.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 11 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



### 3. Objetivos

A partir de lo expuesto, esta investigación propone alcanzar los siguientes objetivos:

#### Objetivos Generales

- Analizar las características del ambiente serrano de la Sierra Chica.
- Identificar los factores que directa o indirectamente inciden en el ecosistema.
- Identificar los procesos geodinámicos externos que ocurren en el área de investigación.

#### Objetivos Particulares

- Delimitar las unidades geomorfológicas con características similares pertinentes para esta investigación.
- Asignar valores cuantificables de calidad para la conservación, en base a las condiciones geológicas, los suelos, la vegetación, los acuíferos y el paisaje a las distintas unidades geomorfológicas que conforman el área de estudio.
- Confeccionar una cartografía con los valores de calidad para la conservación diferenciando las distintas unidades geomorfológicas.
- Identificar las unidades geomorfológicas con mayor interés para la conservación del ecosistema serrano.
- Caracterizar la litología presente en el sector.
- Describir la relación entre la litología y los fenómenos de geodinámica externa.
- Confeccionar cartografía que permita visualizar la distribución espacial de la amenaza de la inestabilidad de laderas.
- Analizar cómo caso de estudio algunas problemáticas de inestabilidad de laderas, taludes y terraplenes generados para la construcción de la obra RP E-98.
- Definir la influencia de la litología en la estabilidad de laderas, taludes y terraplenes.
- Evaluar la susceptibilidad a la erosión hídrica de las cuencas hidrográficas.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021	
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023	
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01	<b>Página 12 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>		



## 4. Metodología

### 4.1. La naturaleza de la investigación

En función de los objetivos propuestos, la metodología que se desarrolla es exploratoria, analítica y descriptiva con la que se combinan datos cualitativos y cuantitativos obtenidos con instrumentos estructurados y ya aplicados por diversas instituciones públicas y privadas, además de los datos obtenidos directamente en la zona de estudio. La finalidad que se persigue es determinar categorías -estandarizadas- y variables vinculadas con el problema que se investiga. Los datos relevados permiten nombrar, clasificar y describir las características de la región en cuestión. Los mismos se obtienen mediante fotografías, ensayos de esclerometría y mapas de instituciones oficiales nacionales y provinciales.

Esta investigación toma como conceptos fundamentales los que se detallan a continuación; de ellos, el más importante es “unidad geomorfológica” debido a que es donde se focaliza el análisis a partir de sus componentes y su incidencia en la vulnerabilidad ambiental de la región objeto de este trabajo.

- Unidad geomorfológica es una región que puede delimitarse en función de la geofoma que la caracteriza, es decir, el relieve y la topografía determinada por los procesos geológicos que le dieron origen, de la evolución y de la edad de los elementos geomorfológicos. Vallejos. (2002:382) Este concepto está estrechamente relacionado con el interés para la conservación y con la vulnerabilidad ambiental.

Los materiales rocosos a lo largo del tiempo pueden sufrir modificaciones debido a la evolución de las capas tectónicas, a procesos de meteorización o también otro tipo de alteraciones relacionadas con los flujos de agua y las temperaturas. Esos procesos configuran un perfil en el cual se identifican distintos sustratos a medida que se avanza en profundidad. A los suelos se los distingue en función de su origen según sean transportados por las fuerzas gravitatorias, fluviales o eólicas. En ambos casos, la formación resultante presenta determinadas características de resistencia, estado de esfuerzos y deformaciones.

- Vulnerabilidad ambiental: es la predisposición intrínseca a la degradación, daños o pérdidas potenciales de un elemento o conjunto de elementos del medio físico como consecuencia de la ocurrencia de un fenómeno de cierta intensidad. Depende de las

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021	
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023	
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01	<b>Página 13 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>		



características del elemento considerado y de la intensidad del fenómeno Vallejos. (2002:611)

- Interés para la conservación: unidades de máximo interés para la conservación, en las cuales debe evitarse todo tipo de uso Cendrero. (1986:71)
- Valor de Calidad para la Conservación que está determinado por dos factores: el número de elementos presentes en una porción del territorio que presentan características sobresalientes de calidad, fragilidad o singularidad y el nivel o grado en el que contienen dichas cualidades Cendrero. (1986:39)
- Relieve: consiste en la modelación de la geofoma. El proceso de modelación se explica por la coexistencia de litologías con distintas resistencias a la erosión o rotura, es decir, de formaciones más duras y otras más maleables por agentes externos como el viento o el agua. Desde el punto de vista de la estabilidad de laderas, las formaciones rocosas sanas son más resistentes al deslizamiento alcanzando pendientes estables mayores, mientras que laderas conformadas por suelos poco cohesivos tienden a desarrollar pendientes más tendidas. Para analizar el relieve estudiamos la geometría de las laderas dada por la pendiente y el relieve relativo entre dos puntos para contar con una idea más clara; por ejemplo, desnivel por unidad de área.
- Litología: hace referencia a la conformación natural de origen del terreno, es decir, indica qué materiales lo componen mayoritariamente. Es un factor que define en gran medida el comportamiento de una estructura. Los materiales rocosos, por ejemplo, constituyen las unidades con menor vulnerabilidad a la erosión. La vulnerabilidad aumenta cuanto más alterada se encuentra la roca, materializada por la existencia de discontinuidades o consecuencias de la meteorización. Por su parte, la litología de los suelos, son más susceptibles a este tipo de procesos.
- Ladera: término que hace referencia a las pendientes naturales del terreno, es decir, donde no hubo acciones antrópicas. Las pendientes generadas por la remoción de suelo, excavación o voladura son denominadas “cortes” o “taludes”.
- Geometría de la ladera: tiene que ver con la forma de su superficie, caracterizada principalmente por sus pendientes.
- Zonificación: definición de unidades de mapeo de menor a mayor detalle integrando los siguientes conceptos:
  - SL: grupo de CL de condiciones paleogeográficas y geotectónicas similares.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 14 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



- CL: un número de TL relacionados genéticamente.
  - TL: un número de TG de composición homogénea, textura y estructura.
  - TG: presenta uniformidad en su litología y en sus características geotécnicas.
- Meteorización: es el proceso de descomposición de la estructura original de una masa de roca, mediante procesos naturales de origen físico o químico, sin desplazamiento de su ubicación original. Entre los agentes de estos procesos se destacan el viento, la lluvia, la radiación solar, cambios bruscos de temperatura, ácidos orgánicos, sumados a las acciones humanas. Mora. (2022:17). El perfil meteorizado resultante varía en el espacio debido a que la composición de los macizos rocosos es distinta, tanto localmente cuanto en mayores escalas; las condiciones climáticas y las velocidades de los agentes externos también son variables. Debido al carácter variable es que, a la hora de adoptar soluciones del tipo cimentaciones o refuerzos por inestabilidad, se requiere realizar estudios de campos que arrojen mayor precisión de las condiciones.
- Erosión: proceso de desprendimiento y transporte de partículas que conforman la masa del terreno como consecuencia de procesos eólicos, pluviales, hidráulicos, mecánicos, químicos y/o antropogénicos; ya sea a nivel superficial como subterráneo. A su vez, el efecto varía dependiendo principalmente de la susceptibilidad a la erosión propia de la composición litológica; relacionada con su resistencia al corte, su conformación mineralógica, granulometría y porosidad, entre otras propiedades. Además, el resultado está condicionado por la existencia de otros factores como la actividad animal, la exposición a temperaturas extremas, la cobertura vegetal, etc..

En cada sitio de estudio prevalece uno u otro tipo de erosión o la combinación de tales procesos. Por ejemplo, la erosión eólica es de importancia media en ambientes tropicales húmedos, con suelos cohesivos cubiertos de vegetación abundante; mientras que, en climas semiáridos a áridos, el viento puede ser agresivo y provocar no solo el desprendimiento de partículas y posterior arrastre, sino también el desgaste de la superficie debido al choque de las partículas que transporta.

- Inestabilidad: estado en que el terreno se reajusta para conseguir el equilibrio ante un cambio natural o inducido de sus condiciones. La geoforma se encuentra sometida a cambios acumulativos que, con el tiempo, otorgan nuevas configuraciones a las rocas o suelos originales. El estado de equilibrio de una formación depende de la disposición tridimensional de la estructura de la masa, de su estado de fragmentación, existencia de

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021	
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023	
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01	<b>Página 15 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>		





discontinuidades, porosidad, condición de humedad, estado interno de tensiones y deformaciones, entre otros aspectos; como así también del tipo y magnitud de las acciones externas que lo afectan. Es decir, dada la vulnerabilidad intrínseca de la masa en combinación con su historial de deformaciones y, frente a la acción de agentes externos naturales o antropogénicos, puede entrar en un estado de desequilibrio.

- Procesos geodinámicos: afectan la superficie terrestre generando movimientos del terreno de diferente magnitud y características, que pueden constituir riesgos geológicos. Se los clasifica como externos a la erosión, el hundimiento o subsidencia, expansividad o colapsabilidad de suelos y deslizamiento; son internos: los sismos, terremotos, vulcanismo y diapirismo.
- Movimientos en masa: es un desplazamiento progresivo o en algunos casos de modo repentino, con caída o rodadura de un volumen de material que alcanza la resistencia al corte en una superficie y se traslada en relación a una masa que continúa fija.

Mora clasifica los posibles movimientos de masas en las siguientes nueve dinámicas:

- Caída libre, rebotes, fragmentación y propagación de bloques rocosos, hielo y suelos.
- Inclinación-basculación-vuelco, caída, rebotes, fragmentación y propagación de bloques de rocas, hielo y suelos
- Deslizamiento y desplazamiento, por traslación y/o rotación, sobre superficies planas, o curvas cóncavas hacia arriba de masas de rocas y suelos
- Separación, extensión y desplazamiento lateral de bloques de roca y suelos
- Flujos y aludes de materiales sueltos, en conjunto y mezclados con agua; avalanchas cuando predominan el hielo y la nieve
- Complejos, compuestos, cuando se combinan dos o más procesos, incluidos los mega deslizamientos y colapsos verticales del techo de cavidades subterráneas
- Represamiento de cauces fluviales y sus efectos conexos
- Inestabilidad y desprendimientos en cortes, taludes, apilamientos, rellenos y depósitos construidos o influenciados por la actividad antrópica
- Deposición gravitatoria y/o torrencial de los materiales desprendidos por los procesos de la inestabilidad de laderas y su transporte subsecuente.

Mora. (2022:65)

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 16 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



Hay más posibilidades que las presentadas, pero son menos frecuentes y de escasa incidencia para este trabajo.

- Riesgo geológico: potenciales daños económicos y sociales que afectan a las actividades y construcciones humanas. Vallejos. (2002:622)
- Vegetación: conjunto de los vegetales propios de un lugar o región, o existentes en un terreno determinado.
- Suelo: tienen su origen en los macizos rocosos preexistentes que constituyen la roca madre, sometida a la acción ambiental disgregadora de la erosión, lo cual da lugar a la transformación de la roca y a la creación del perfil de meteorización, en el que la roca madre ocupa la parte más baja y el suelo es la más alta. Vallejos. (2002:18)
- Vulnerabilidad de aguas subterráneas: posibilidad de contaminación de los acuíferos subterráneos que depende esencialmente de la permeabilidad de las formaciones geológicas y de la existencia de acuíferos importantes situados bajo formaciones permeables. (Cendrero. 1986: 58).
- Paisaje: es un “geosistema, el cual se define como el espacio terrestre, de todas las dimensiones, donde los componentes naturales se encuentran en una relación sistémica unos con los otros, y como una integridad definida, interactuando con la esfera cósmica y con la sociedad humana.”. Rodríguez. (2008:7)
- Humedad: está dada por la existencia de agua en la masa del terreno. Constituye otro factor de suma importancia, tanto en procesos de erosión como de estabilidad y principalmente en formaciones de suelo. La condición de humedad del suelo afecta en particular dos propiedades intrínsecas del terreno: la cohesión y la resistencia al corte.
- Actividad antrópica: se trata de un conjunto de acciones que el hombre realiza en un espacio determinado de la biosfera. Las principales tareas de interés para esta investigación son aquellas que potencian los procesos de inestabilidad y erosión como son los movimientos de suelos, el transporte de cargas pesadas, la circulación de máquinas pesadas, las vibraciones ocasionadas por el tránsito, la generación de cortes, la deforestación, las tareas de excavación y voladuras que el hombre lleva a cabo para habitar los espacios naturales.
- Actividad sísmica: es generada por la liberación repentina de la energía contenida en la Tierra. Para su análisis se debe considerar tanto las características propias de la onda sísmica como su intensidad, aceleración, frecuencia y amplificación; como así también la

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 17 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



respuesta dinámica del suelo teniendo en cuenta sus características como el periodo de oscilación y sus coincidencias con la perturbación.

- **Precipitación:** es una fase del ciclo hidrológico que consiste en la caída de agua desde la atmósfera hacia la superficie terrestre. A los fines de esta investigación, además de los efectos que la escorrentía produce sobre la superficie, interesa la ocurrencia de eventos extremos de lluvia, porque pueden ser determinantes de las condiciones de inestabilidad. Las consecuencias derivadas en el subsuelo son que potencian los movimientos de masa disminuyendo la resistencia al corte, provocan presión intersticial en poros y fisuras, entre otros fenómenos.

Este factor, combinado con la acción del viento, la acción antrópica o los eventuales movimientos sísmicos, modifica temporalmente la condición interna de esfuerzos y deformaciones, además de producir la alteración del equilibrio que sostiene la masa unida y estable. Es posible que se desarrollen también otros procesos extremos como deslizamiento, socavación, erosión externa o interna, entre otros.

Para que no ocurran grandes fenómenos de erosión o se desencadenen condiciones de inestabilidad, debe existir un balance entre el agua de escorrentía y el agua que infiltra; por otra parte, debe ser admisible la velocidad con la que escurre. Para que exista dicho equilibrio hídrico intervienen la cobertura vegetal, la capacidad de infiltración y la pendiente. Por su parte, la capacidad de infiltración del terreno depende del tipo de material del que está compuesto. Ya se trate de laderas de suelo o de roca, en su composición interesan la porosidad del material, la disposición de las discontinuidades y la existencia de fisuras, entre otros aspectos.

En términos generales, la incidencia de la precipitación está dada por la suma del escurrimiento superficial, la infiltración en el terreno y la evapotranspiración; por ende el agua de infiltración puede estimarse como el agua de precipitación menos la escorrentía y la evapotranspiración. Para estudiar su ocurrencia se analizan las características de duración, intensidad, frecuencia, volumen y tiempo de recurrencia.

- **Fotointerpretación:** técnica para reconocimientos geológico-geotécnicos utilizada en cartografía geológica, reconocimientos litológicos y en estudios geomorfológicos, entre otras aplicaciones.
- **Sistema de Información Geográfica (SIG):** es un sistema de información compuesto por hardware, software y procedimientos para capturar, manejar, manipular, analizar,

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021	
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023	
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01	<b>Página 18 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>		



modelizar y representar datos georreferenciados, con el objetivo de resolver problemas de gestión y planificación.

Con el fin de integrar los conceptos y las variables definidas se aplica una metodología apropiada, que, para el presente trabajo, consiste en la identificación, el diagnóstico, la zonificación, la interpretación de los resultados y la comunicación de los mismos mediante tablas y mapas. En este caso, la metodología aplicada se desarrolla a partir de la determinación de unidades de diferentes niveles de calidad para la conservación, comenzando con el análisis geomorfológico de zonas con características similares y la distribución espacial de la amenaza de la inestabilidad del terreno.

Previo al análisis adelantado, se consultan fuentes secundarias tales como artículos científicos y/o antecedentes relacionados con el problema planteado, publicados por instituciones gubernamentales, de las que se puede descargar información geográfica, mapas temáticos, etc..

Las fuentes secundarias que se usan son páginas web de los siguientes organismos oficiales:

- Instituto Geográfico Nacional (IGN) de donde se descargan Modelos Digitales de Elevación (MDE), con 30 metros y 5 m de resolución.
- <https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/Geodesia/ModeloDigitalElevaciones/Mapa>
- Mapas Córdoba (Geoportal IDE de la Provincia de Córdoba) <https://www.mapascordoba.gob.ar/#/mapas>
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) <http://visor.geointa.inta.gob.ar/>
- Servicio Geológico Minero Argentino <https://sigam.segemar.gov.ar/visor/>
- Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES) <https://www.inpres.gob.ar/desktop/>

Sobre esas bases y usando fuentes primarias generadas por el autor de esta exposición, se obtienen una mayor cantidad y calidad de datos mediante un relevamiento del estado actual del área de estudio a través de registros fotográficos y ensayos con Martillo Schmidt (esclerómetro) para determinar la resistencia de los macizos rocosos.

Toda la información obtenida, se sistematiza a través de un Sistema de Información Geográfica (SIG), en base al software de uso libre Quantum Gis (QGis) que simplifica y facilita la incorporación de datos así como la lectura e interpretación de los resultados.

El SIG presenta la información en coordenadas geográficas (grados, minutos y segundos) para todas aquellas capas de información donde no se requieran cálculos de áreas, pendientes, etc. Las capas se proyectan sobre el Sistema de Referencia de Coordenadas (SRC): Posgar 98

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 19 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



– Argentina 4 que es el utilizado por el Geoportal Infraestructura de Datos Especiales (IDE) de la Provincia de Córdoba.

El proceso se completa con la confrontación entre las variables para describir las interacciones actuales, inferir las causas de problemas ocurridos y prever posibles situaciones futuras. En este sentido, la construcción de la ruta provincial RP E-98, conocida como Camino del Cuadrado puso en evidencia la vulnerabilidad de la zona en estudio. La situación se evalúa a través de Slide, un programa de Rocscience de tipo determinístico. El mismo permite modelar una amplia variedad de geometría de laderas de roca o suelo y analizar, al mismo tiempo, su estabilidad global e identificar las superficies críticas de rotura.

## 4.2. Metodologías aplicadas

Según la metodología empleada es la información y el correspondiente mapa que se obtiene; pueden ser mapas de inventario a través de los cuales se localizan y distribuyen espacialmente los procesos que afectaron las distintas zonas del territorio e indicar la magnitud de los mismos. Otros son mapas de peligrosidad, con los que se identifican zonas de diferentes grados de peligrosidad en base a estudios de predicción y ocurrencia. Hay mapas que evalúan e identifican zonas con distintos grados de vulnerabilidad en virtud de ciertos condicionantes; además existen mapas de riesgo basados en la evaluación de pérdidas debidas a un proceso determinado. Por otra parte, se pueden hacer mapas de susceptibilidad, como el realizado en la presente investigación, con el fin de evaluar la susceptibilidad al deslizamiento del terreno como consecuencia de un proceso donde confluyen factores desencadenantes.

Para este trabajo, se combinan siete metodologías.

### 4.2.1. Metodología de Calidad para la Conservación

A fin de cuantificar la influencia de todas las variables involucradas en la definición de la vulnerabilidad, se utiliza la Metodología de Calidad para la Conservación de Centeno et al. (1994). Esta metodología, orientada a la planificación territorial y a los usos del suelo, se basa en la determinación de unidades de diferentes niveles de calidad para la conservación, tomando como punto de partida el análisis geomorfológico con el objeto de delimitar dichas unidades.

Estos tipos de metodologías son generalmente aplicadas para la determinación de la vulnerabilidad del entorno natural potencialmente urbanizables y con objetivos diversos como por ejemplo definir los usos del suelo, la fragmentación del territorio y las áreas de preservación.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021	
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023	
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01	<b>Página 20 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>		



La delimitación se realiza definiendo unidades geomorfológicas con rasgos generales similares a partir del análisis regional enfocado en la delimitación de “geoformas” caracterizadas por sus pendientes, generadas por procesos geológicos, que a su vez da origen a los materiales del subsuelo. La relación entre geoforma y procesos geológicos originales constituyen la clave para la definición de las unidades de mapeo.

Finalmente esta evaluación permite llevar a cabo un diagnóstico, zonificación e interpretación del territorio y los elementos del medio físico: macizos rocosos, suelos, vegetación, agua superficial y subterránea; considerando su incidencia en la calidad para la conservación. Toda la información se analizó mediante el entorno SIG, utilizando el software libre Quantum Gis (QGis). Con el mismo se realiza la cartografía que ubica, relaciona e ilustra las características de las zonas estudiadas organizando las condiciones que importan para este informe.

La calidad para la conservación relaciona los aspectos del medio físico con características relevantes de vulnerabilidad o singularidad específica; además de la valoración y ponderación de dichas cualidades.

La metodología permite transformar las variables heterogéneas del medio natural en expresiones homogéneas de medición. Las variables definidas son: geología, suelos, aguas subterráneas, vegetación y paisajes. Se evalúa la incidencia de cada variable de modo independiente y luego, se combinan todas las variables para calcular el nivel de calidad para la conservación de cada unidad geomorfológica; ya que, en palabras de Rodríguez, M. (2008) es una realidad cuyos elementos están dispuestos de manera tal que subsisten desde el todo y el todo subsiste desde los elementos, no como objetos caóticamente mezclados sino como conexiones armónicas de estructura y función. Para ello, se le otorga a cada variable involucrada un peso que representa su importancia dentro de la unidad:

- Geología: 1
- Suelos: 1
- Vegetación: 1
- Vulnerabilidad de acuíferos: 2
- Paisaje: 3

La aplicación de esta metodología da como resultado el índice de calidad para la conservación, para cada unidad, dado por:

$$V_{ctot} = \sum(pi * vi) + n \quad (1)$$

V<sub>ctot</sub>: valor total para la calidad de la conservación.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 21 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



pi: peso del elemento considerado.

vi: valor del elemento en la unidad.

n: puntos singulares.

#### 4.2.2. Metodología de Vulnerabilidad de Acuíferos

La vulnerabilidad de las aguas subterráneas se evalúa empleando la metodología de Foster & Hirata (1988). Esta metodología consiste en definir ciertas variables de interés características del elemento en análisis y ponderar las mismas para, finalmente, combinarlas en un índice cualitativo que otorga un valor determinado a la vulnerabilidad.

Las variables son:

- La variable denotada como G debido a su significado en inglés: ground water occurrence cuyo significado es “presencia de aguas subterráneas”. Esta primera variable de análisis tiene en cuenta la relación entre la condición de confinamiento del acuífero y la presión atmosférica para la capa freática, o la presión hidráulica para acuíferos surgentes o semisurgentes.
- La variable O cuyo significado en inglés es overall acuífer class. Variable que consiste en definir cuáles son las condiciones del material rocoso que se ubica por encima del acuífero, en términos de condición de consolidación y fisuración.
- La variable D de dept que significa profundidad. Esta tercera variable es la relación entre la potencial contaminación del acuífero y la profundidad del mismo.

Luego, el índice de vulnerabilidad final se calcula como el producto de las tres variables mencionadas según la siguiente fórmula:

$$IV = G * O * D \quad (2)$$

Foster & Hirata (1991) en su publicación establecen los siguientes rangos de referencia para determinar el grado de vulnerabilidad de un área estudiada:

Tabla 1. Rangos GOD.

Valor GOD	Vulnerabilidad
< 0,10	Muy baja a nula (vi=1)
0,10-0,30	Baja (vi=2)
0,30-0,50	Moderada (vi=3)
0,50-0,70	Alta (vi=4)
> 0,70	Muy alta a extrema (vi=5)

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 22 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

Para la primera variable -G- se definen las siguientes categorías en función de los valores de referencia:

Tabla 2. Valores parámetro G.

Acuífero	Valor	Descripción
Libre	1,00	Muy vulnerable
Semiconfinado	0,40	Vulnerable
Confinado	0,20	Poco vulnerable
Surgente	0,00	Vulnerabilidad despreciable

Para la segunda variable -O- de análisis se define, en función del origen litológico del estrato superior y su condición de consolidación, los siguientes valores indicativos del grado de vulnerabilidad:

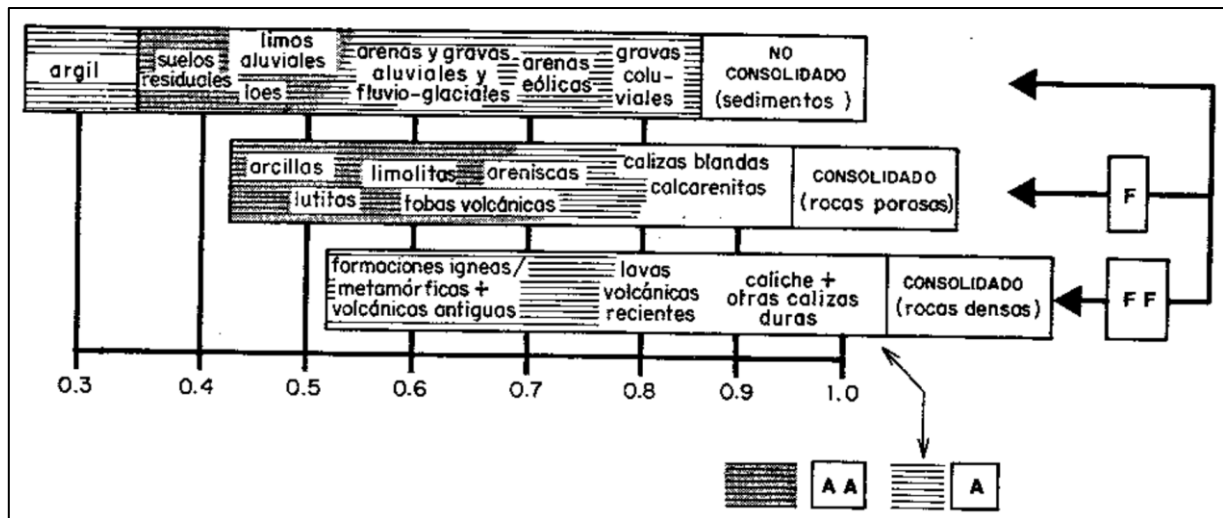


Figura 2. Esquema de valoración según Foster & Hirata: valores parámetro O . (1991)

Para la tercera variable -D- se definen las siguientes categorías:

Tabla 3. Valores parámetro D.

Profundidad del NF o techo del acuífero (caso confinado)	Valor	Descripción
Hasta 5 (m)	0,90	Muy vulnerable
Más de 5 (m) hasta 20 (m)	0,70	Vulnerable
Más de 20 (m) hasta 100 (m)	0,50	Poco vulnerable
Más de 100 (m)	0,30	Vulnerabilidad despreciable





Adaptando los rangos presentados al área de estudio se obtiene la siguiente clasificación:

Tabla 4. Rangos GOD adaptados al área de estudio.

Tipo	G	Profundidad	D	Sustrato	O	Descripción
NO CONSOLIDADO (SEDIMENTOS)						
Libre	1,0	Hasta 80-100 (m)	0,5	Arenosos y areno- gravosos	0,7	Llanura
Confinado	0,2					
Libre	1,0	Entre 1-40 (m)	0,7	Fluvio-eólicos	0,6	Piedemonte
Confinado	0,2					
Semi- confinado	0,4	50 (m)	0,5	Arenosos muy finos limosos	0,5	Pampa de altura
Confinado	0,2	Hasta 100 (m)	0,5	Psefitas, psamitas- pelitas (conglomerados y brechas)	0,4	Valles entre serranías
Semi- confinado	0,4					
CONSOLIDADO						
Libre	1,0	50 (m)	0,5	Basamento (roca ígneas, metamórfica)	0,6	Serranías

#### 4.2.3. Metodología de Macrozonificación de la Amenaza de la Inestabilidad de Laderas

La metodología del punto 4.2.1 se complementa, para esta investigación, con la metodología de Mora Vahrson (1994, 1999) que permite evaluar el estado actual de las laderas naturales de la zona de estudio. en cuanto a la susceptibilidad al deslizamiento de las laderas. Se trata de una metodología que permite confeccionar cartografía que identifica las áreas del terreno que son más vulnerables a la amenaza de la inestabilidad de laderas debido a sus condiciones. Constituye un recurso de diagnóstico que permite identificar zonas bajo amenaza con buena precisión; pero, por la escala a la que se aplica y para un análisis más exhaustivo, requiere la realización de estudios geotécnicos que brinden mayor detalle.

Las laderas están conformadas por rocas y por suelos depositados, por lo tanto, conocidas sus propiedades en cuanto a resistencia al corte de las masas y de las discontinuidades, características hidrogeológicas, estado tensional y de deformaciones y analizada la acción natural del movimiento sísmico y climático incluyendo la acción humana se puede estimar la condición de estabilidad de la ladera. Se destaca que, cuando se pierde la estabilidad natural de las laderas por acción antrópica, no necesariamente se conduce a una situación irreversible. Existen

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 24 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



soluciones para mitigar la pérdida de estabilidad y restablecer el equilibrio. e incluso pueden ser sostenidas con obras como muros de contención, anclajes, redes, etc..

Al comienzo de este apartado se mencionó una serie de factores que influyen en la condición de estabilidad de las laderas: la litología, las pendientes y la humedad que constituyen los “parámetros de susceptibilidad” para esta metodología; por otro lado, la sismicidad y los eventos de lluvias intensas constituyen los “parámetros detonadores o disparadores”. Los primeros son propiedades intrínsecas de los materiales e interesa estudiar sus cambios, de los segundos se analizan sus características de recurrencia.

La metodología propone que “La combinación de los factores se realiza bajo la premisa de que la inestabilidad se materializa cuando una determinada área, compuesta por una litología específica, con un cierto grado de humedad y con su pendiente específica, adquiere un determinado grado de susceptibilidad. Bajo estas condiciones, los factores externos y dinámicos, como por ejemplo la sismicidad y las lluvias intensas, actúan como elementos de disparo, generadores de un desequilibrio dinámico. Se considera entonces, que el grado de intensidad de la amenaza es el producto de la combinación de los factores ponderados de susceptibilidad y de la acción de los procesos de disparo.” Mora. (2022:58)

La Figura 3 muestra un esquema que resume el proceso propuesto para estimar el modelo de amenaza de inestabilidad de laderas.



Figura 3. Proceso para obtener el modelo. Fuente: autor.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 25 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

La amenaza de la inestabilidad de laderas puede determinarse mediante la superposición de los valores paramétricos de susceptibilidad litológica (Sl), de influencia de la pendiente (Sp) o del relieve relativo (Sr), de la humedad prevalente (Sh), además de los factores de la influencia del disparo provocado por la intensidad del sismo (Ds) y de la intensidad de las lluvias (Dp).

El esquema que se presenta a continuación explica el procedimiento de aplicación de la fórmula propuesta por la metodología.

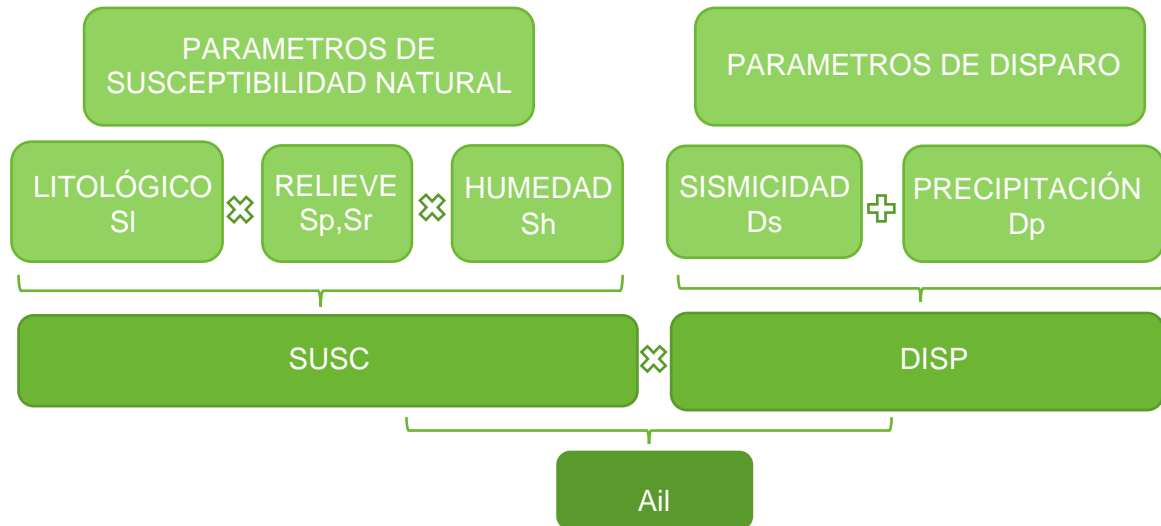


Figura 4. Esquema de obtención de la Ail. Fuente: autor.

La metodología relaciona factores que involucran la litología, la geometría de la ladera, la humedad intrínseca, la intensidad sísmica y la recurrencia de eventos de lluvia. Los factores se combinan en función de los pesos relativos de cada parámetro a través de la siguiente ecuación:

$$Ail = Susc * Disp \quad (3)$$

Ail: amenaza de la inestabilidad de laderas.

Susc: parámetro de susceptibilidad.

Disp: parámetro de disparo.

Estos parámetros se obtienen por la combinación de factores de acuerdo con las fórmulas siguientes:

$$Susc = Sp, Sr * Sl * Sh \quad (4)$$

$$Disp = Ds + Dp \quad (5)$$

Combinando ambas fórmulas resulta:

$$Ail = Susc * Disp = (Sp, Sr * Sl * Sh) * (Ds + Dp) \quad (6)$$

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 26 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



En función de las variables involucradas, se deduce que la amenaza de inestabilidad puede ser causada por lluvias extremas o por eventos sísmicos. La amenaza asociada a eventos de lluvias intensas está dada por:

$$A_p = (S_p * S_h * S_l) * D_p \quad (7)$$

Mientras que la amenaza de inestabilidad causada por sismo, en un escenario en que no existe lluvia intensa simultánea ni reciente, está dada por:

$$A_s = (S_p * S_h * S_l) * D_s \quad (8)$$

La combinación de ambas amenazas describe la amenaza “total” de inestabilidad de laderas, la cual representa casos eventuales en los que durante un evento de precipitación intensa se produce simultánea o posteriormente un sismo.

#### 4.2.4. Metodología de Determinación de Unidades de Mapeo Geotécnico

Se trata de una metodología para generar cartografía geotécnica presentada por la International Association for Engineering Geology and the Environment (IAEG) en 1976. “La IAEG define que una carta o mapa geotécnico es un tipo de mapa geológico que clasifica y representa los componentes del ambiente físico de importancia en las actividades de ingeniería, planificación, construcción, operación y conservación del medio ambiente. Además, se refiere a la inclusión de las clasificaciones de los suelos y de sus propiedades ingenieriles”. Pereira et al. (19:2016)

La guía de la IAEG propone generar mapas en los que las unidades este definidas según propiedades geotécnicas. Para mapear los límites de las unidades propone esta clasificación:

- Serie litológica: surge de la interpretación de mapas geológicos existentes, cartografía de reconocimiento, fotointerpretación.
- Complejo litológico: es el mapeo de áreas agrupando tipos litológicos relacionados genéticamente.
- Tipo litológico: es cartografía detallada del área e investigación petrográfica.
- Tipo geológico: investigación detallada del estado físico de la masa de roca o suelo dentro de un tipo litológico mapeado.

#### 4.2.5. Metodología de Hoek y Brown

El método considera un criterio no lineal de rotura válido para macizos rocosos isótropos. En primera instancia, los autores propusieron un criterio aplicable a macizos rocosos fracturados sin alterar con matriz rocosa resistente; posteriormente, desarrollaron una nueva expresión aplicable

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 27 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



también a macizos rocosos fracturados de mala calidad. Esta última expresión se adopta como el “criterio generalizado Hoek-Brown”, relaciona las tensiones efectivas principales y es función de las propiedades de la roca intacta.

$$\sigma'_{1} = \sigma'_{3} + \sigma'_{ci} \left( m_b \frac{\sigma'_{3}}{\sigma'_{ci}} + s \right)^a \quad (9)$$

- $\sigma'_{1}$  y  $\sigma'_{3}$  son las tensiones efectivas máxima y mínima del macizo.
- $\sigma'_{ci}$  es la resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta.
- $m_b$  es la constante de Hoek-Brown para el macizo.
- $s$  y  $a$  son constantes que dependen de características del macizo. Son función del Índice Geológico de Resistencia (GSI) y de  $D$  que considera las perturbaciones del macizo. La fórmula es:

$$s = \exp \left[ \frac{GSI-100}{9-3D} \right] \quad (10)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left( e^{-\frac{GSI}{15}} - e^{-\frac{20}{3}} \right) \quad (11)$$

Para el estudio de taludes, la metodología calcula el valor de  $\sigma'_{3máx}$ , que corresponde al mayor esfuerzo de confinamiento sobre el cual la relación entre el criterio de Hoek-Brown y el de Mohr-Coulomb es aplicable. Este valor es empleado en las ecuaciones para el cálculo de la cohesión y del ángulo de fricción interna. Para su determinación la metodología propone la siguiente ecuación basada en estudios sobre diversas geometrías y propiedades de macizos.

$$\frac{\sigma'_{3máx}}{\sigma'_{cm}} = 0.72 \left( \frac{\sigma'_{cm}}{\gamma H} \right) - 0.91 \quad (12)$$

- $\sigma'_{cm}$  : resistencia del macizo rocoso
- $\gamma$ : peso unitario de la masa rocosa
- $H$ : altura del talud.

Los valores de cohesión y ángulo de fricción interna, están dados por las ecuaciones:

$$\varphi' = \left[ \frac{6am_b(s+m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a)+6am_b(s+m_b\sigma'_{3n})^{a-1}} \right] \quad (13)$$






$$c' = \frac{\sigma'_{ci}[(1+2a)s+(1-a)m_b\sigma'_{3n}](s+m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a)\sqrt{1+(6am_b(s+m_b\sigma'_{3n})^{a-1}/(1+a)(2+a))}} \quad (14)$$

Donde  $\sigma'_{3n} = \frac{\sigma'_{3máx}}{\sigma'_{ci}}$

Los autores tabularon los valores de los parámetros  $D$  y  $m_i$ , y confeccionaron un gráfico para determinar el factor GSI.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 28 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

Tabla 5. Guía para estimar el factor de perturbación  $D$ . Fuente: Hoek y Brown (2002).

Appearance of rock mass	Description of rock mass	Suggested value of $D$
	Excellent quality controlled blasting or excavation by Tunnel Boring Machine results in minimal disturbance to the confined rock mass surrounding a tunnel.	$D = 0$
	Mechanical or hand excavation in poor quality rock masses (no blasting) results in minimal disturbance to the surrounding rock mass.  Where squeezing problems result in significant floor heave, disturbance can be severe unless a temporary invert, as shown in the photograph, is placed.	$D = 0$  $D = 0.5$ No invert
	Very poor quality blasting in a hard rock tunnel results in severe local damage, extending 2 or 3 m, in the surrounding rock mass.	$D = 0.8$
	Small scale blasting in civil engineering slopes results in modest rock mass damage, particularly if controlled blasting is used as shown on the left hand side of the photograph. However, stress relief results in some disturbance.	$D = 0.7$ Good blasting  $D = 1.0$ Poor blasting
	Very large open pit mine slopes suffer significant disturbance due to heavy production blasting and also due to stress relief from overburden removal.  In some softer rocks excavation can be carried out by ripping and dozing and the degree of damage to the slopes is less.	$D = 1.0$ Production blasting  $D = 0.7$ Mechanical excavation

Elaboró: Barotto, María	Código: TF-B-2021
Revisó: Dr. Ing. Quintana	Emisión: 23 de marzo de 2023
Autorizó: Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión: 01   Página 29 de 247
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

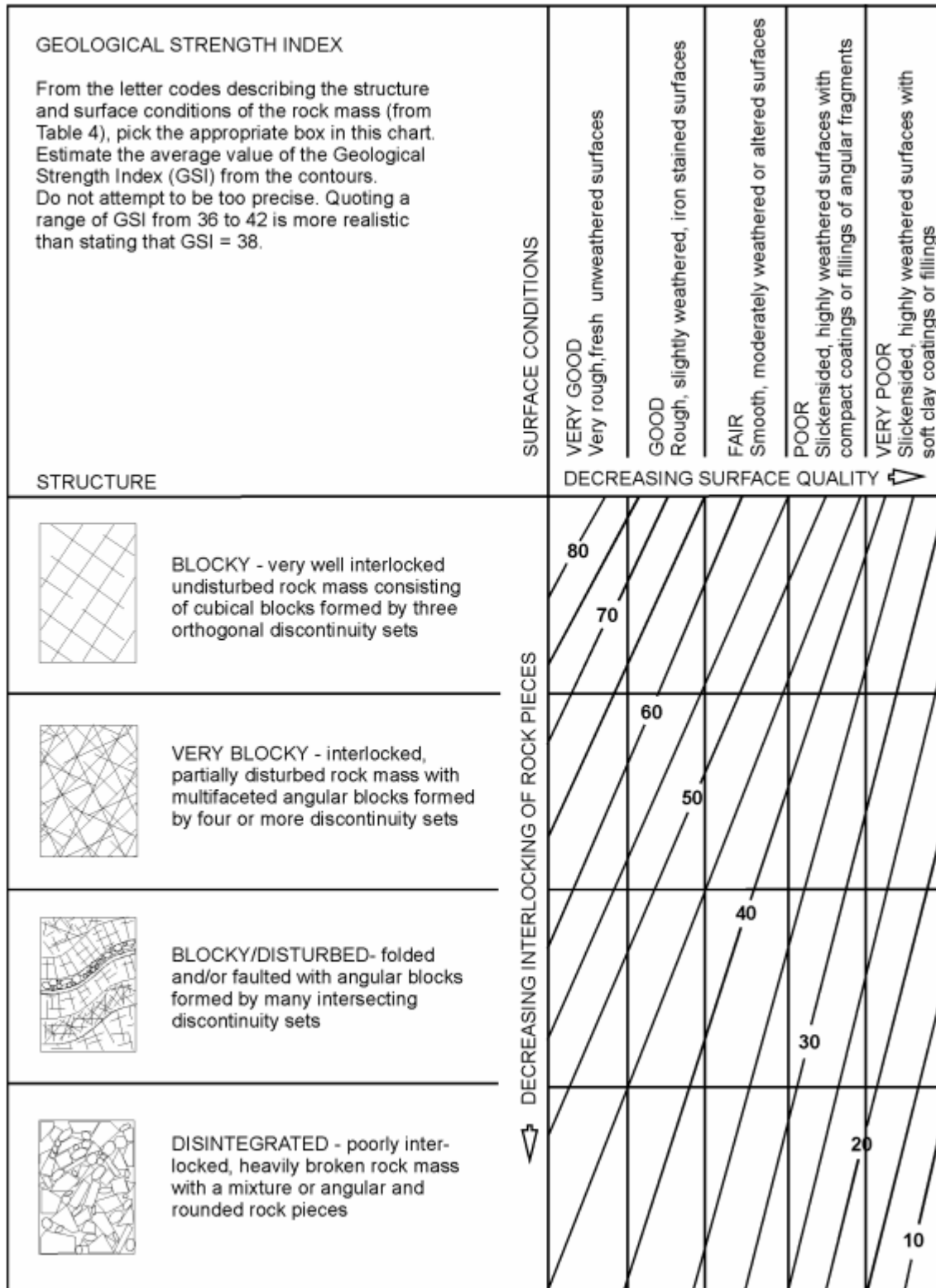


Figura 5. Estimación de GCI según descripción geológica.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 30 de 247</b>
<p><b>DOCUMENTO CONTROLADO</b>  <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b>  <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b></p>	



Tabla 6. Valores de  $m_i$  para la roca intacta, por grupos de roca. Fuente: Vallejo (2002).

Valores de la constante $m_i$ para la matriz rocosa				
Tipo de roca y valor de la constante $m_i$				
Sedimentarias clásticas	Conglomerado	(22)	Lutita	4
	Arenisca	19	Grauvaca	(18)
	Limolita	9		
Sedimentarias no clásticas	Caliza margosa	7	Caliza micrítica	8
	Brecha caliza	(20)	Yeso	16
	Caliza esparítica	(10)	Anhidrita	13
Metamórficas	Mármol	9	Gneiss (*)	33
	Cuarcita	24	Esquisto (*)	4-8
	Migmatita	(30)	Filita (*)	(10)
	Anfibolita	25-31	Pizarra (*)	9
	Milonita	(6)		
Ígneas	Granito	33	Diorita	(28)
	Riolita	(16)	Andesita	19
	Granodiorita	(30)	Gabro	27
	Dacita	(17)	Basalto	(17)
Ígneas extrusivas piroclásticas	Aglomerado	(20)	Toba	(15)
	Brecha	(18)		

Hock y Brown, 1997. Los valores entre paréntesis son estimados.  
(\*) Valores obtenidos de ensayos en matriz rocosa con dirección de aplicación de la carga normal a los planos de foliación. El valor de  $m_i$  será significativamente diferente si la rotura ocurre a favor de los planos de debilidad.

El sistema RMR de Bieniawsky (1989) constituye un método de clasificación de macizos rocosos. Emplea seis parámetros que se puntúan en base a relevamiento de campo y como resultado se obtiene un valor que corresponde al índice de calidad RMR que varía de 0 a 100.

Los parámetros son:

- Resistencia a compresión uniaxial del material.
- Índice "Rock quality designation".
- Espaciamiento de las discontinuidades.
- Condición de las discontinuidades: rugosidad, persistencia, apertura, meteorización, rellenos.
- Condición de flujo de agua a través de las discontinuidades.
- Orientación de las discontinuidades.

Definidos los puntajes correspondientes de cada parámetro, se realiza una corrección por orientación de las discontinuidades, obteniéndose el índice final. La clasificación de los macizos rocosos propuesta por el autor consiste en cinco clases: calidad "muy buena", "buena", "media", "mala" y "muy mala". La clase I, por ejemplo, corresponde a un macizo rocoso "muy bueno" que

Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01
		Página 31 de 247	
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>			





se caracteriza principalmente por su condición resistente, poco fracturado y meteorizado, por ende con baja infiltración y estable.

La Tabla 7 correlaciona el índice RMR con los valores de cohesión y fricción interna.

Tabla 7. Relación cohesión, fricción interna y RMR. Fuente: Vallejo (2002).

Calidad de macizos rocosos en relación al índice RMR				
Clase	Calidad	Valoración RMR	Cohesión	Ángulo de rozamiento
I	Muy Buena	100-81	> 4 kg/cm <sup>2</sup>	> 45°
II	Buena	80-61	3-4 kg/cm <sup>2</sup>	35°-45°
III	Media	60-41	2-3 kg/cm <sup>2</sup>	25°-35°
IV	Mala	40-21	1-2 kg/cm <sup>2</sup>	15°-25°
V	Muy mala	< 20	< 1 kg/cm <sup>2</sup>	< 15°

#### 4.2.6. Metodología de Estabilidad Global de Taludes

##### *Verificación de las condiciones de estabilidad global*

La verificación se realiza considerando distintos escenarios que contemplan diversas situaciones tales como la existencia de nivel freático y de acción sísmica. Esta última se la considera en función de los coeficientes de carga sísmica horizontal y vertical, definidos en función de lo establecido en la parte I, “Construcciones en General”, del Reglamento Argentino para Construcciones Sismorresistentes INPRES-CIRSOC 103 , teniendo en cuenta la ubicación del sitio estudiado y según lo expuesto en el Estudio Geológico Geotécnico Preliminar - Proyecto Alternativa R38 (s.f.: 26) donde se aplican efectos de cargas sísmicas con una pseudo-aceleración de 0,12 g. Para el coeficiente vertical se aplica un porcentaje del valor anterior, definido en 0,05.

En base a estos, el software calcula la fuerza sísmica en función del peso de la porción deslizada y los coeficientes respectivos.

Se plantean seis escenarios considerando la configuración estratigráfica de los taludes, el nivel freático, la ocurrencia de un evento de lluvia intensa y la fuerza sísmica:

- 1) Se consideran únicamente los distintos estratos presentes.
- 2) Se considera la diversidad de los estratos y la existencia de nivel freático. Según se describe en el apunte de la Universidad Nacional de Córdoba titulado “Recurso hídrico

Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01
		Página 32 de 247	
<p><b>DOCUMENTO CONTROLADO</b>  <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b>  <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b></p>			



subterráneo”, las condiciones hidrogeológicas de las cuencas que se encuentran entre los distintos cordones de las sierras, tales como el Valle de Punilla, la cuenca de los Molinos, del río Tercero, la Pampa de Pocho y otras menores son semejantes, conformados principalmente por sedimentos modernos asentados sobre el basamento cristalino. En general, los espesores no son muy grandes y se encuentra una sola capa de agua en el contacto basamento-cubierta moderna, a una profundidad relativamente escasa. Cuando el basamento cristalino está muy alterado, la capa freática continúa en este, circulando por grietas y fisuras. Hacia el este de la zona de estudio, el basamento que conforma las sierras se hunde hacia el este y, según la misma investigación, en la mayor parte de la zona la profundidad del nivel de agua es de aproximadamente 10 (m).

- 3) Corresponde a un talud saturado; situación similar a la ocurrida en febrero de 2015 cuando, según explica el “Informe de inundaciones. Provincia de Córdoba y Santa Fe” (2015), desde enero a los primeros días de marzo se registraron lluvias superiores a los promedios de las series históricas de lluvia para el período enero-marzo 2015 para la región.
- 4) Se considera el escenario 1 más la acción sísmica, normal de la zona.
- 5) Se considera la ocurrencia simultánea de los escenarios 1, 2 y 4; que combinan la existencia de nivel freático y actividad sísmica.
- 6) Se considera la ocurrencia simultánea de los escenarios 1, 3 y 4; que combinan la saturación del subsuelo y actividad sísmica.

El análisis se realiza empleando el software Slide, a partir de los parámetros geotécnicos y la geometría del terreno. El programa procesa los datos mediante diferentes métodos de análisis de equilibrio límite, como por ejemplo el método de Bishop y el de Janbu simplificados como serán empleados en este caso. Como resultado se muestra la superficie de falla con el factor de seguridad más bajo, esto muestra que es la superficie más crítica donde la ladera o talud puede sufrir falla por deslizamiento.

El método de Bishop analiza la estabilidad de un talud con superficie de falla del tipo circular y se trata de un Método de Dovelas para el que la masa de suelo deslizante se divide en fajas verticales. Del estudio de las fuerzas y momentos involucrados en cada una de las fajas (v. Figura 6) se determina el FS asociado, según las siguientes ecuaciones:

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021	
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023	
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01	<b>Página 33 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>		



$$T_r = N_r * \tan(\emptyset) + c * \Delta l = N_r * \left[ \frac{\tan(\emptyset)}{FS} \right] + \frac{c * \Delta l}{FS} \quad (15)$$

$$N_r = \frac{W_r + \Delta T - \left[ \frac{c * \Delta l}{FS} \right] * \sin(\alpha_n)}{\cos(\alpha_n) + \frac{\tan(\emptyset) * \sin(\alpha_n)}{FS}} \quad (16)$$

Según el diagrama de cuerpo libre de cada una de las dovelas, se obtienen las ecuaciones de equilibrio de fuerzas y de momentos:

$$\sum_{n=1}^{n=p} W_n * r * \sin(\alpha_n) = \sum_{n=1}^{n=p} T_r * r \quad (17)$$

Donde,

$$T_r = \frac{1}{FS} * [c + \sigma' * \tan(\emptyset)] * \Delta l = \left[ \frac{1}{FS} \right] * [c * \Delta l + N_r * \tan(\emptyset)] \quad (18)$$

Al analizar el equilibrio de fuerzas verticales de cada dovela, es posible obtener el valor de las fuerzas N, para así reemplazarlas. La expresión que permite determinar el FS queda expresada:

$$FS = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} W_n * r * \sin(\alpha_n) = \sum_{n=1}^{n=p} T_r * r}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n * \sin(\alpha_n)} \quad (19)$$

Donde,

$$m_{\alpha(n)} = \cos(\alpha_n) + \left[ \frac{\tan(\emptyset) * \sin(\alpha_n)}{FS} \right] \quad (20)$$

Una de las hipótesis fundamentales del método es que se considera las fuerzas de contacto entre dos dovelas pero no resultan influyentes, dado que se encuentran equilibradas. Estas fuerzas pueden considerarse igual a cero, lo que simplifica la ecuación de FS anterior.

$$FS = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} [c * b + W_n * \tan(\emptyset)] * \left[ \frac{1}{m_{\alpha(n)}} \right]}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n * \sin(\alpha_n)} \quad (21)$$

El valor del FS se presenta a ambos lados de la ecuación, por lo que se debe realizar un proceso iterativo para poder despejarlo.

<b>Elaboró:</b> Barotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01 <b>Página 34 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

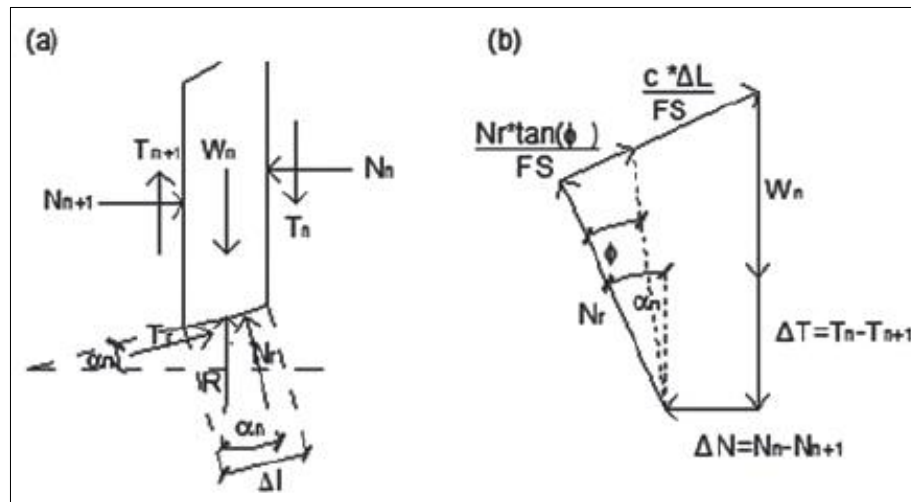


Figura 6. Diagrama de cuerpo libre.

El método de Janbu está diseñado para cualquier superficie de falla. Se basa en la suposición de que la interacción entre rebanadas es nula, pero a diferencia de Bishop, el método busca el equilibrio de fuerzas y no de momentos.

La principal hipótesis es que las fuerzas entre dovelas son solo horizontales, no considera las fuerzas cortantes. En cuanto a la superficie de falla, se aplica un factor de corrección  $f_0$  función del nivel de curvatura de la superficie de rotura. Planteando el equilibrio de esfuerzos se obtiene FS según:

$$FS = \frac{f_0 * \sum [c * b + W * \tan(\phi)] * \left[ \frac{1}{\cos(\alpha) * m + a} \right]}{\sum W * \tan(\alpha)} \quad (22)$$

### Análisis probabilístico

Este análisis se lleva a cabo empleando las bases del análisis probabilístico en el software Slide, que parten de los siguientes supuestos para la modelación:

- Talud homogéneo y seco
- Superficie de deslizamiento circular
- Variables aleatorias: cohesión, fricción y peso unitario.
- Tipo de análisis probabilístico: Mínimo Global (significa que el análisis probabilístico se lleva a cabo sobre la superficie de deslizamiento Mínimo Global ubicada mediante el análisis determinístico de estabilidad).
- Método de muestreo: Monte Carlo.
- Número de muestras (N): 1000.

Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01
		Página 35 de 247	
<p><b>DOCUMENTO CONTROLADO</b>  <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b>  <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b></p>			



El factor de seguridad se calcula N veces para la superficie de deslizamiento Mínima Global, para diferentes conjuntos de variables de entrada generadas aleatoriamente para cada análisis.

Para la definición de las variables aleatorias se define una distribución estadística del tipo normal. Además, para terminar de definir la distribución, se selecciona la desviación estándar (DE) y los valores mínimos y máximos; teniendo en cuenta que para una distribución normal, el 99.7% de todas las muestras deben caer dentro de 3 veces la DE del valor medio. Por lo tanto se recomienda que los mínimos y máximos sean iguales a 3 veces la DE, para asegurar una distribución Normal no truncada. La Tabla 8 muestra un ejemplo de los datos de entrada mencionados.

Tabla 8. Tabla de definición de las variables aleatorias.

#	Material Name $\Delta$	Property	Distribution	Mean	Std. Dev.	Rel. Min	Rel. Max
1	Material 1	Cohesion	Normal	4	1	3	3
2	Material 1	Phi	Normal	35	3	9	9
3	Material 1	Unit Weight	Normal	20	0.5	1.5	1.5

El programa ejecuta primero el análisis determinista donde se define el factor de seguridad determinístico (FS determinístico) que es el factor de seguridad calculado para la superficie de deslizamiento mínimo global a partir del análisis no probabilístico (cuando todos los parámetros son iguales a su valor medio); luego, automáticamente ejecuta el análisis probabilístico.

Los resultados del análisis probabilístico se mostrarán junto a la superficie de falla mínima global por el método determinístico. Estos incluyen:

- El factor de seguridad medio (FS medio): el factor de seguridad promedio obtenido del análisis probabilístico.
- La probabilidad de falla (PF): se calcula en función del número de análisis con factor de seguridad menor a la unidad, dividido por el número total de muestras N.
- El Índice de Confiabilidad (RI) por sus siglas en inglés "Reliability Index": indica el número de desviaciones estándar que separan el FS medio del factor de seguridad crítico igual a 1. Las recomendaciones del software establecen que un índice de confiabilidad RI=3 indica un valor mínimo de seguridad en el diseño de un talud "seguro".

La información que resulta se representa mediante:

- Histogramas: muestran la distribución de muestras generadas para las variables aleatorias y la distribución de los factores de seguridad calculados por el análisis probabilístico.

Elaboró: Barotto, María	Código: TF-B-2021
Revisó: Dr. Ing. Quintana	Emisión: 23 de marzo de 2023
Autorizó: Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión: 01   Página 36 de 247
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



- Diagramas de dispersión: permiten graficar dos variables aleatorias entre sí y analizar la relación entre las mismas.
- Gráficos de convergencia: para obtener una respuesta final estable mediante el análisis probabilístico (probabilidad de falla, factor de seguridad medio, etc.).

### *Análisis de Sensibilidad*

El análisis de sensibilidad permite conocer qué parámetro aleatorio puede ser crítico para la evaluación de la estabilidad de taludes. Para realizar este análisis, se cumplen los siguientes pasos:

- 1°. Para uno o más parámetros de ingreso seleccionados, se especifica un valor mínimo y otro máximo.
- 2°. Cada parámetro es variado en incrementos uniformes, entre los valores mínimos y máximos. El factor de seguridad de la superficie de deslizamiento “Mínimo Global” es calculado para cada valor, manteniendo constantes los valores medios de los restantes parámetros.
- 3°. Como resultado se obtiene un gráfico que relaciona los factores de seguridad y el parámetro de entrada, gráfico que permite determinar la sensibilidad del FS a los cambios en tales parámetros.

Una curva con cambios abruptos en el gráfico de sensibilidad indica que el FS es sensible a ese parámetro; una línea plana implica baja sensibilidad. Además, el análisis de sensibilidad permite determinar el valor del parámetro para el cual el FS = 1.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021	
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023	
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01	<b>Página 37 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>		

## 5. Antecedentes

### 5.1. Investigaciones en la zona

#### 5.1.1. Ruta N° 38 tramo variante Costa Azul-La Cumbre

Es un análisis del impacto ambiental que forma parte del proyecto de una carretera de 45 kilómetros de longitud que se desarrolla en el departamento Punilla de Córdoba y forma parte de un corredor vial con eje en la Ruta Nacional N°38. Su objetivo es otorgar más capacidad al corredor y permitir discretizar y agilizar el tránsito. El camino de categoría I, con perfil transversal de dos calzadas y dos carriles cada una, de pavimento flexible, con mediana tipo New Jersey; incluye puentes, viaductos, intersecciones a distinto nivel y las obras hidráulicas.

Las alternativas consideradas fueron las siguientes:

Alternativa	Descripción
0	Mejoramiento de la ruta actual RP E55 en San Roque y RN 38 de Bialet Massé a Cosquín
1	Se la llama "Pedemontana". Nueva traza al este de la RP E55 y de RN 38 hasta Cosquín
2	Ampliación de RP E55 en San Roque y nueva traza al este de RN 38 hasta Cosquín
3	Ampliación de RP E55 en San Roque y RN 38 en Bialet Masse y nueva traza al oeste de RN 38 hasta Cosquín
4	Ídem alternativa 3 hasta Bialet Massé y traza diferente al oeste de RN38 hasta Cosquín

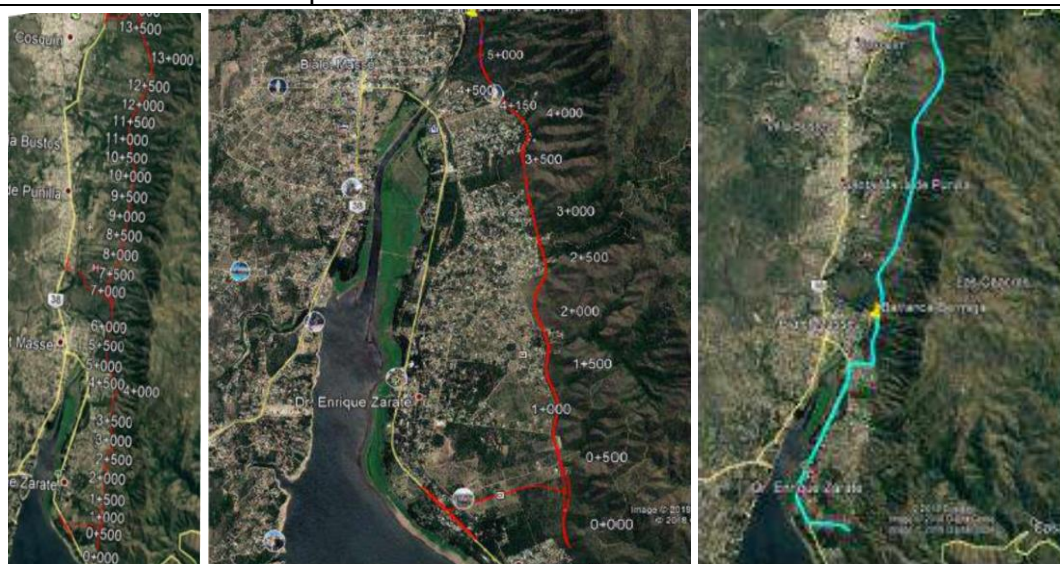


Figura 7. Alternativa 1 y detalle (rojo) y alternativa 2 (cian). Fuente: EIA RN N°38 tramo variante Costa Azul-La Cumbre.

Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01
		Página 38 de 247	
<p><b>DOCUMENTO CONTROLADO</b>  <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b>  <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b></p>			

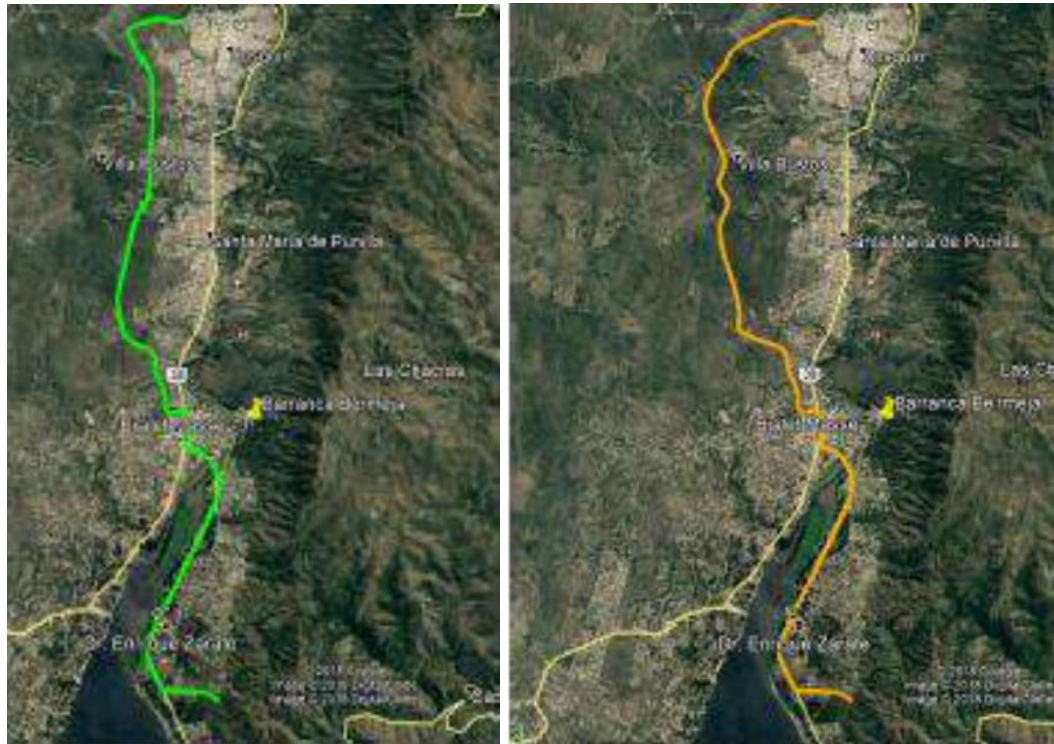


Figura 8. Alternativas 3 (verde) y alternativa 4 (naranja). Fuente: EIA RN N°38 tramo variante Costa Azul-La Cumbre.

Las limitaciones que se presentaron para el diseño de la traza definitiva rondan alrededor de dos aspectos principales: por un lado, las fricciones generadas por la construcción de accesos; por el otro, los condicionantes naturales que hacen al ecosistema de montaña como son el paisaje, el bosque serrano, las reservas naturales, entre otros.

Para el EIA se empleó la metodología desarrollada en el MEGA II- Manual de Gestión Ambiental de Obras Viales, que está basada en la Metodología de Conesa Fernandez-Vittoria, 1997.

Los resultados demostraron que: “la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), realizada para el proyecto permite concluir que los riesgos ambientales más relevantes están dados por:

- La presencia de bosque nativo categorizado como zona roja en el 17% de la traza, con una estructura del bosque donde la mayor proporción pertenece al estrato bajo, dado que la altura promedio es inferior a los 2 metros de altura.
- El valor arqueológico y paleontológico de la región.
- El requerimiento de liberación de la traza en zona urbana y rural, con afectaciones de viviendas.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 39 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	





- El paso por la Reserva Hídrica Los Gigantes y cruce del Río Yuspe.
- El cruce del Río Cosquín en la embocadura del Lago San Roque 6. La sensibilidad social existente en la zona de influencia indirecta, generada en torno a los proyectos viales.”.

Caminos de las Sierras S.A. (2021:299)

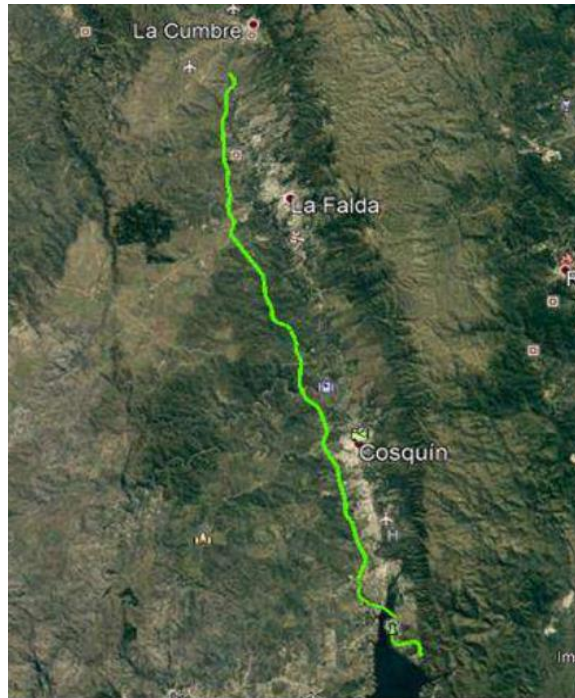


Figura 9. Alternativa seleccionada. Fuente EIA RN N°38 tramo variante Costa Azul-La Cumbre.

### 5.1.2. Definición de modelos geológico-geotécnicos en estudios de estabilidad de taludes aplicados a proyectos viales en zonas geológicas complejas

Balbis et, al. (2019) nen este trabajo analiza tres sectores en la vertiente occidental de la Sierra Chica para evaluar los aspectos geológicos que son relevantes en proyectos viales de montaña, como parte de investigaciones aplicadas al estudio de la estabilidad de taludes.

Las evaluaciones geotécnicas realizadas demostraron que la baja la calidad geomecánica de los macizos rocosos está muy influenciada por la falla de la Sierra Chica.

Entre las conclusiones más relevantes, los resultados de las clasificaciones geomecánicas RMR y GSI de los macizos rocosos del área de estudio presentan rangos generales desfavorables. Valores RMR entre las categorías IV (roca pobre) y V (roca muy pobre); y GSI entre 15 y 30 puntos.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 40 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



## 5.2. Antecedentes de la metodología Calidad para la Conservación

### 5.2.1. Mapa Geocientífico de la Provincia de Valencia

El Mapa Geocientífico de la Provincia de Valencia, de Cendrero, et al. (1986) consiste en la confección de cartografía que configura una herramienta que “facilite la toma de decisiones y la planificación territorial en materias que afecten al uso del medio natural.” (Cendrero, 1986: 15) Presenta mapas en los que se diferencian las diferentes unidades que componen el medio natural de la provincia de Valencia, tomando como base los aspectos geológicos, geomorfológicos, edafológicos, climáticos y botánicos. Además, muestra mapas que “reflejan las cualidades o variables significativas del medio natural y que sean relevantes como condicionantes del uso del mismo por parte del hombre, que permitan evaluar el potencial y las limitaciones del territorio para distintas actividades humanas, así como la calidad para la conservación de las diferentes áreas.” Cendrero, (1986:15)

Lo anterior fue empleado para confeccionar un mapa orientativo que define los usos aconsejables del suelo y las restricciones de cada zona del territorio en función de las características que el mismo presenta. En tal sentido se realizó un mapeo de unidades geoambientales, de riesgos geológicos, de erosión actual, de erosionabilidad potencial, de interés para la conservación y un mapa de orientaciones y limitaciones de uso. Para el presente trabajo se consideraron los procesos llevados a cabo para la confección del mapa de Calidad para la Conservación, empleando los rangos propuestos como guía, adaptándolos al caso de este estudio.

### 5.2.2. Aplicación de una Metodología de Calidad para la Conservación a la Selección de Sitios para Enterramiento Sanitario en la Provincia de Córdoba

Este antecedente, realizado por Quintana Crespo y Navarro en 2016, tuvo por objetivo definir unidades geomorfológicas de características similares, analizar y ponderar los elementos de geología, suelos, acuíferos, vegetación y paisaje; para finalmente en base a los resultados alcanzados categorizar cada unidad en base a sus valores de Calidad para la Conservación. La categorización fue empleada como guía para definir el traslado y posterior enterramiento de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) en zonas de cantera, evitando las unidades geomorfológicas de mayor valor para la conservación.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 41 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

Entre las conclusiones, se agrega el hecho de que en la zona existen explotaciones de roca calcárea que impactan paisajísticamente en su entorno. En función de los factores antes mencionados, las propuestas persiguen principalmente dar soporte físico a las geformas afectadas, considerando la existencia previa de las canteras a lo que se sumarían los RSU. Para lograr tales medidas, los autores propusieron disponer los RSU de modo de integrarlos a los materiales empleados para contribuir con la remediación geomorfológica de las excavaciones.

La Figura 10 muestra las unidades geomorfológicas con mayor interés para la conservación: SUG 4-2 correspondiente a la Serranía Norcentral y SUG 4-3, Montañas Occidentales, en las que se debe evitar el enterramiento de los RSU.

Los números romanos diferencian las zonas de acuerdo con los valores de calidad para la conservación según el siguiente detalle:

- I. Calidad muy baja.
- II. Calidad baja.
- III. Calidad moderada.
- IV. Calidad alta.
- V. Calidad muy alta.

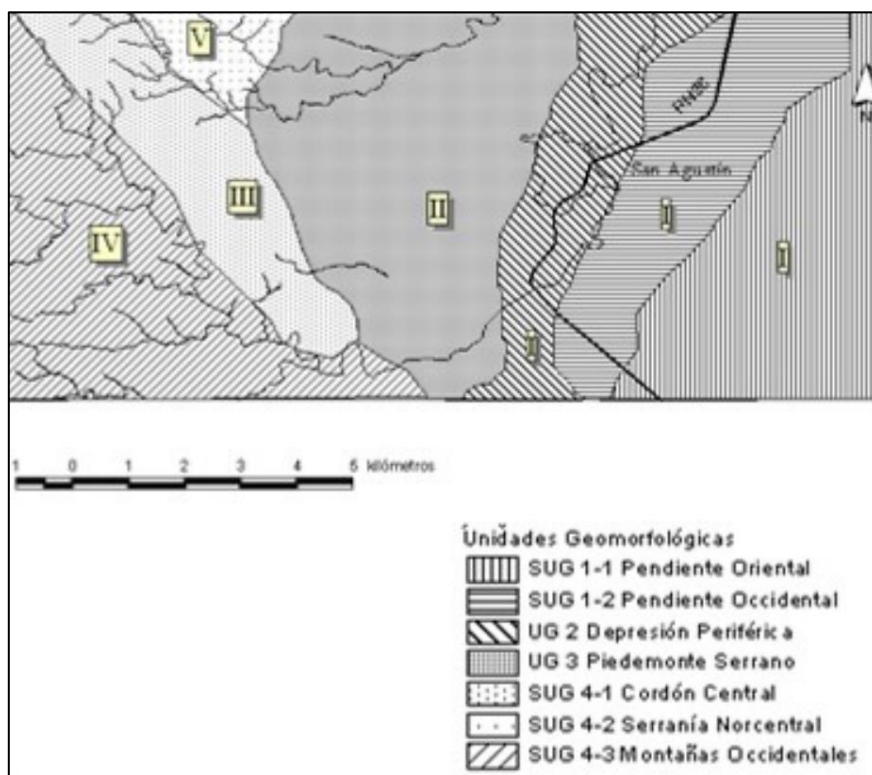


Figura 10. Mapa final de Calidad para la Conservación.

Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01
		Página 42 de 247	
<p><b>DOCUMENTO CONTROLADO</b>  <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b>  <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b></p>			

### 5.2.3. Determinación de la calidad para la conservación de áreas impactadas por la minería en la zona de San Agustín, provincia de Córdoba, Argentina

Este antecedente, elaborado por Quintana Crespo y Navarro en 2015, consiste en la determinación de la calidad para la conservación y la definición de los usos más adecuados del suelo en la misma zona de estudio del antecedente del punto 1.2.2, tal como se advierte en el , que muestra el mismo mapa que el punto citado. Se diferencia del anterior, porque se enfoca en las consecuencias de la actividad minera.

Aplicando la metodología se delimitaron distintas unidades geomorfológicas, para cada una de las cuales se analizaron y ponderaron las condiciones geológicas del agua superficial y subterránea, las características de los suelos, la vegetación y del paisaje ubicándolas dentro de un rango de Calidad para la Conservación. A partir del análisis de las variables identificadas, se determinó el impacto ambiental causado por una de las canteras de la zona.

Se concluyó que, el mayor impacto es sobre el paisaje y se propusieron medidas de remediación para los frentes de canteras que afectan las zonas de mayor interés para la conservación.

En la Figura 11 de Calidad para la Conservación se diferencian las distintas unidades de acuerdo con el interés para su conservación.

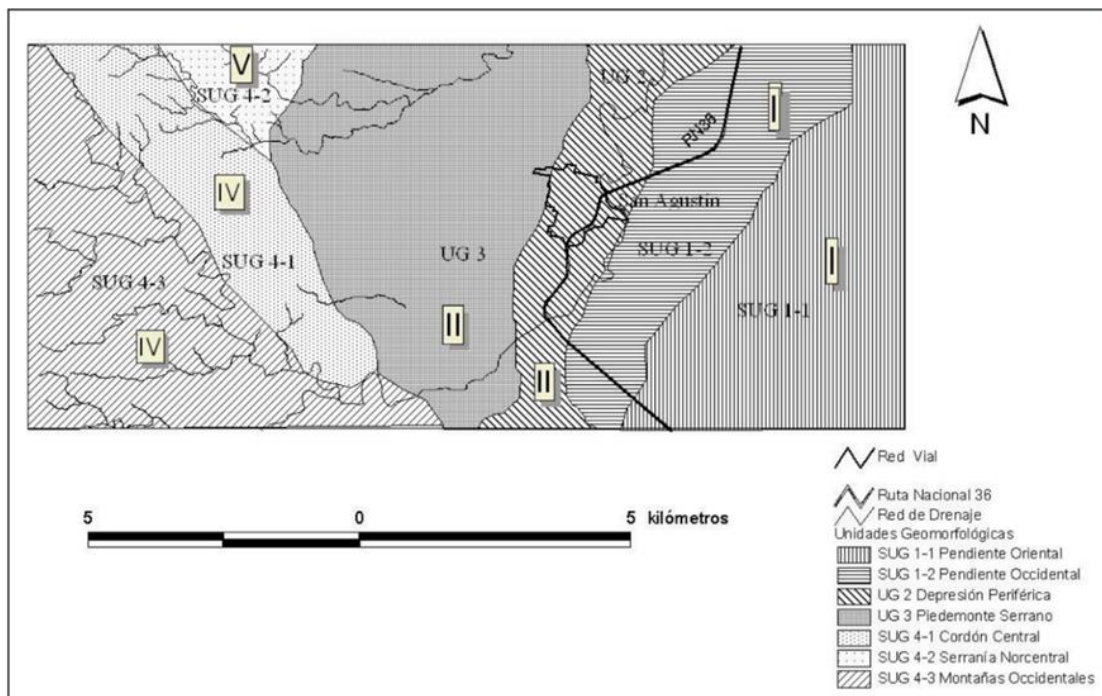


Figura 11. Mapa final de Calidad para la Conservación.

Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01
		Página 43 de 247	
<p>DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</p>			

### 5.3. Antecedentes de zonificación y cálculo de estabilidad de taludes

#### 5.3.1. “Zonificación Geotécnica Aplicada a Taludes Rocosos en el Cordón de Sierra Chica, Provincia de Córdoba, Argentina”

Para la confección de la zonificación de la zona de estudio se consulta el trabajo realizado por los autores Quintana Crespo y Franco Primo Soffietti en el año 2020. El objetivo de dicho trabajo fue realizar la zonificación geotécnica que permita identificar y caracterizar las unidades cartográficas determinadas en la zona de estudio, en escala regional y de detalle: series litológicas, complejos y tipos litológicos (v. Figura 12). Además, dentro de la última unidad se definieron los denominados tipos geotécnicos, los cuales presentan homogeneidad en las propiedades físico-mecánicas. Esas características fueron utilizadas para determinar la estabilidad de los cortes generados por la obra vial. El análisis arrojó la existencia de 5.655 m<sup>2</sup> de superficies de taludes en condición de inestabilidad, con coeficientes de seguridad menores a 1,20); 25.700 m<sup>2</sup> de superficies estables y 65.500 m<sup>2</sup> igualmente estables, pero con un coeficiente de seguridad mucho más elevado que lo requerido por las especificaciones técnicas de la obra.

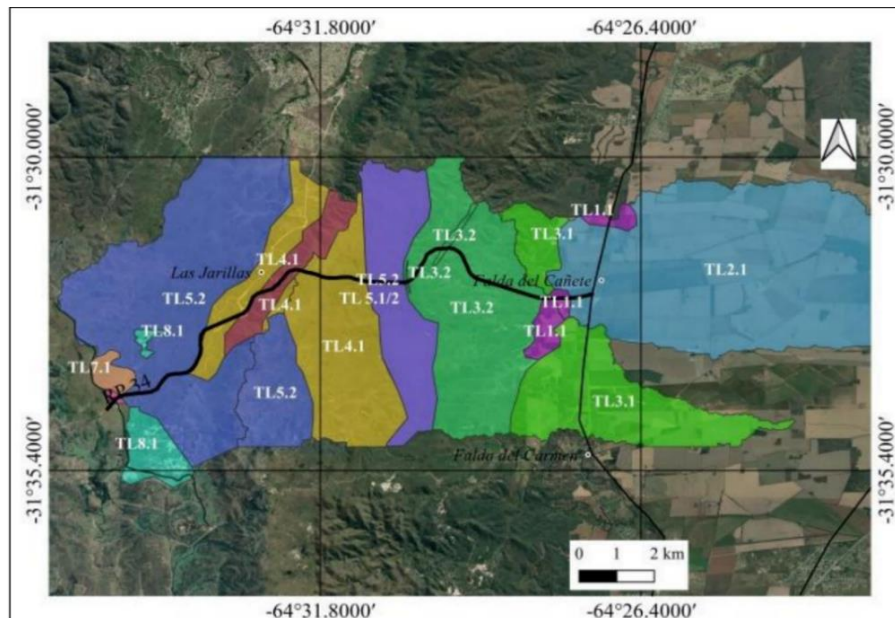


Figura 12. Resultado de la zonificación de la zona de estudio<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Las especificaciones referentes a los tipos litológicos (TL) corresponden al siguiente detalle: TL1.1 Limos y arenas fluviales. TL2.1 Sedimentos eólicos. TL3.1 Material regolítico. TL3.2 Gneises. TL4.1 Metatexitas masivas. TL4.2 Faja de deformación cataclástica. TL5.1 Material regolítico con matriz de roca fina y fragmentos rocosos gnéisicos. TL5.2 Gneises. TL7.1 Material de piedemonte. TL8.1 Mármoles calcíticos, dolomíticos.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 44 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



## 5.4. Antecedentes que aplican la metodología de Mora-Vahrson

Según Mora (2022), “la metodología para el análisis de la amenaza de la inestabilidad de laderas propuesta por Mora y Vahrson (1994, 1999) ha sido empleada en diversos países de América Latina, el Caribe Mora et al. 2012; Saborio, et al (2015) y otras regiones del mundo”. (p.58)

### 5.4.1. Estudio de susceptibilidad por fenómenos de geodinámica externa en el sector de San Jorge Alto perteneciente al Cantón de Esmeraldas

Se trata de un trabajo de Grado presentado para optar por el Título de Ingeniera en Geología en la Universidad Central del Ecuador en 2015. El objetivo del mismo es determinar la susceptibilidad a los fenómenos de la geodinámica externa en el sector de “San Jorge Alto”. La metodología aplicada consistió en la recopilación geológica de la zona, determinación de las características geotécnicas, aplicación del método de Mora-Vahrson para sistematizar los datos y obtener la información pertinente; la investigación se completa con la aplicación del método de Bradd para movimientos en masa.

Con la aplicación de los dos métodos, se llegaron a los siguientes resultados:

El método de Mora-Vahrson (MV) arrojó que del área total de estudio, el 35.09% presenta una amenaza de clase media, el 23.86% alta y el 19.13% moderada; de esos porcentajes, el área deslizada en la clase moderada es de un 38,96%, en la clase media alcanza un 32,94% y en la alta es de un 9.93%. Los resultados para toda el área de estudio se resumen en la Tabla 9 que se ilustra con el mapa de susceptibilidad (Figura 13) elaborado según el mismo método.

Por otra parte, el método de Brabb arroja que la superficie de estudio está mayoritariamente cubierta por dos categorías de susceptibilidad: un 36.57% del área de estudio tiene susceptibilidad media y un 16.06 % susceptibilidad alta. A su vez, presenta un 58.55% de área deslizada y un 24.70% respectivamente. Los resultados para toda el área de estudio se resumen en la Tabla 10 y la Figura 14.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 45 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

Tabla 9. Resultados de aplicar la metodología de MV.

CLASE	ÁREA	ÁREA	ÁREA	ÁREA
	km <sup>2</sup>	(%)	DESGLIZADA (km <sup>2</sup> )	DESGLIZADA (%)
Bajo	4,25	15,14	0,9	8,03
Moderado	5,37	19,13	4,36	38,96
Medio	9,85	35,09	3,69	32,94
Alto	6,7	23,86	1,11	9,93
Muy alto	1,9	6,78	1,13	10,14

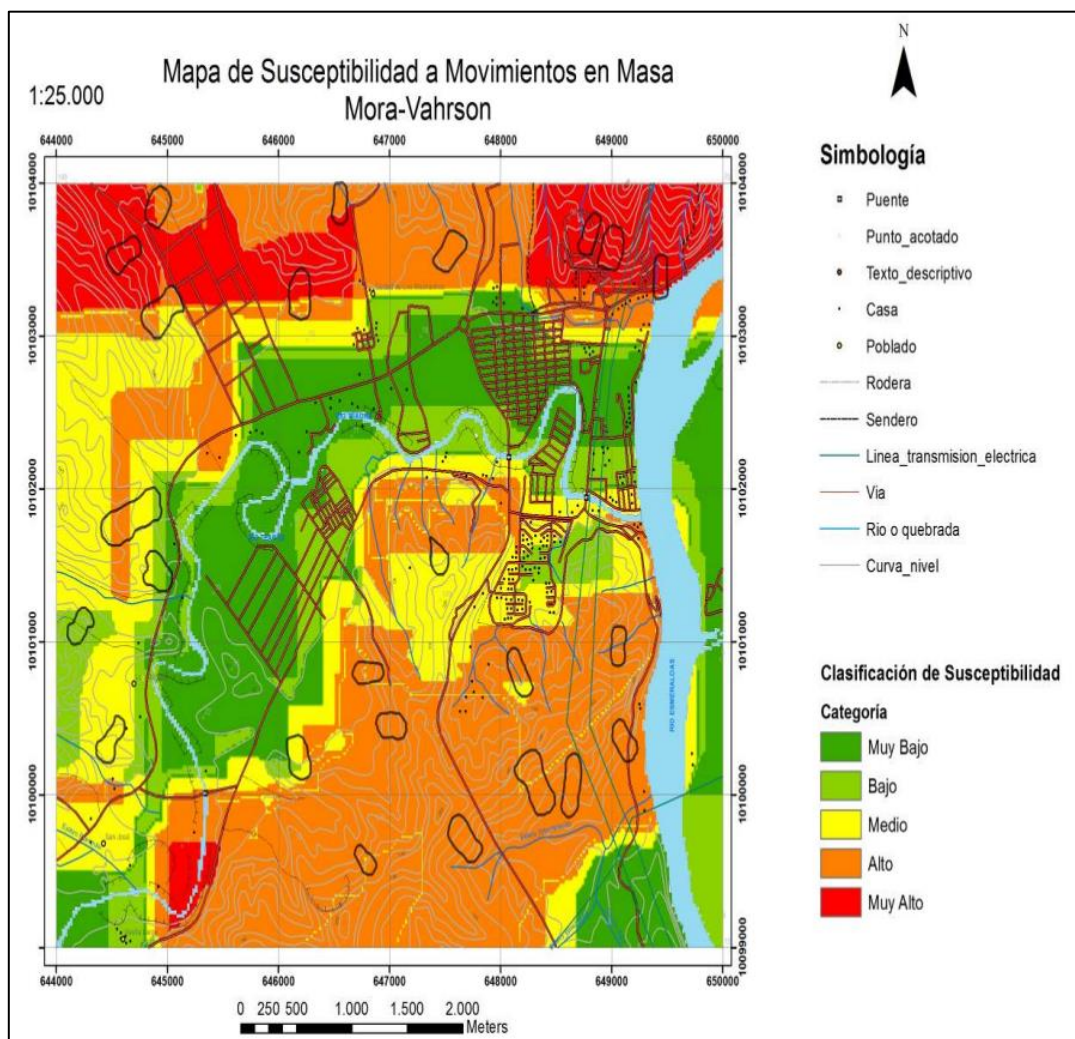


Figura 13. Resultado del mapa de susceptibilidad MV.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 46 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

Tabla 10. Resultados de aplicar la metodología de Brabb.

GRADO	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	ÁREA (%)	AREA	AREA
			DESGLIZADA (Km <sup>2</sup> )	DESGLIZADA (%)
Muy baja	9,02	32,35	0,288	2,58
Baja	3,92	14,07	1,344	12,05
Media	10,20	36,57	6,532	58,55
Alta	4,48	16,06	2,756	24,70
Muy Alta	0,27	0,95	0,236	2,12

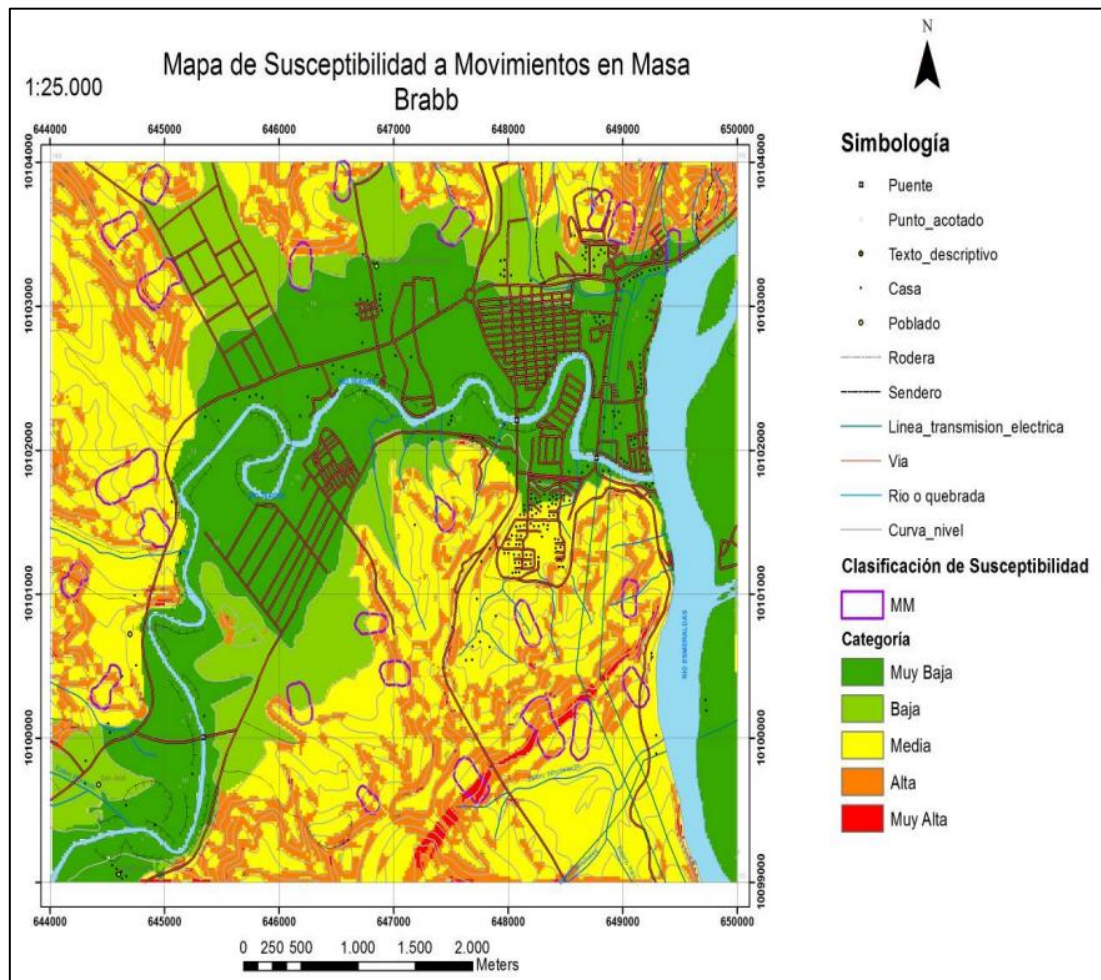


Figura 14. Mapa de Susceptibilidad (Método de Brabb).

Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01
		Página 47 de 247	
<p>DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</p>			





#### 5.4.2. Evaluación de amenazas por deslizamientos asociados a factores hidroclimáticos en sectores de Loja y Manabí, Ecuador.

En este trabajo el objetivo general es identificar las zonas más propensas al deslizamiento en dos zonas de Ecuador: la primera es el cantón Flavio Alfaro, al norte de la provincia de Manabí y la segunda es el cantón Loja, ubicado en la provincia de Loja. Como objetivos específicos, se especifica: “1. Seleccionar la o las metodologías de zonificación de susceptibilidad a deslizamientos acorde a las condiciones de cada zona de estudio para la obtención de resultados más ajustados a la realidad. 2. Elaborar mapas de amenaza de deslizamiento de las zonas de estudio para el año 2020, para el análisis de los escenarios actuales. 3. Elaborar mapas de amenaza de deslizamiento de las zonas de estudio para el año 2040 considerando efectos debido al cambio climático, para el análisis de los escenarios futuros”. Clavijo Rivera y Malavé Hernandez. (2020:4)

Al aplicar la metodología MV al estudio del caso Flavio Alfaro, el mapa resultante evidencia que la amenaza actual de deslizamiento se distribuye principalmente entre los niveles “moderado” y “alto”. Apenas un 3% del área corresponde a las categorías muy baja y baja; como se observa en la tabla resumen de resultados para todo el área de estudio y el mapa de amenaza elaborado de acuerdo con los lineamientos del mismo método.

Para la misma región, la amenaza prevista para el año 2040 se obtuvo proyectando los datos de precipitación y aplicando nuevamente la misma metodología de recopilación y sistematización de la información. El mapa resultante muestra que la categoría “alta” pasará a cubrir una superficie mayor que en el año 2020; es decir, que de cubrir 153 km<sup>2</sup> mayoritariamente en el noroeste en 2020 podrá cubrir 251 km<sup>2</sup>, marcadamente en el oeste, de la superficie total para el 2040. Simultáneamente, las zonas de categoría moderada pasarán de cubrir mayor superficie en 2020 (86.3% del terreno) a cubrir un 79.6% en 2040; según se ilustra con las Tabla 11 y 12, y los mapas de amenaza correspondientes (Figura 15 y 16).

Tabla 11. Resultados año 2020.

Nivel de amenaza	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Muy baja	21.18	1.6
Baja	10.83	0.8
Moderada	1161.52	86.3
Alta	153.02	11.4

Tabla 12. Resultados año 2040.

Nivel de amenaza	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Muy baja	21.1	1.6
Baja	2.63	0.2
Moderada	1071.67	79.6
Alta	251.15	18.7

Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01
		Página 48 de 247	
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>			

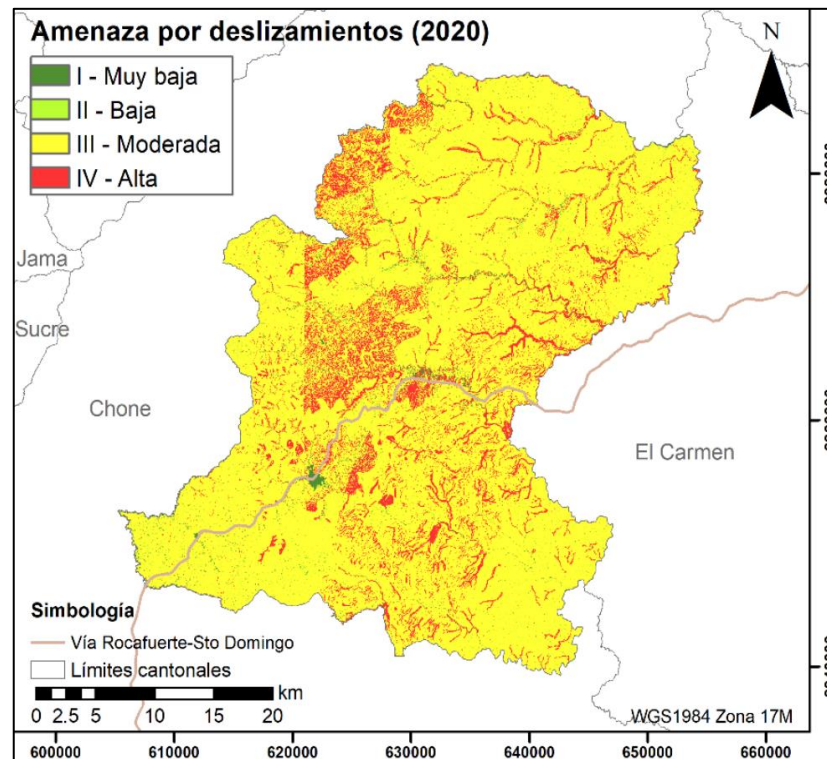


Figura 15. Mapa de amenaza de deslizamientos año 2020. Fuente: Clavijo Rivera y Malavé Hernández. (2020).

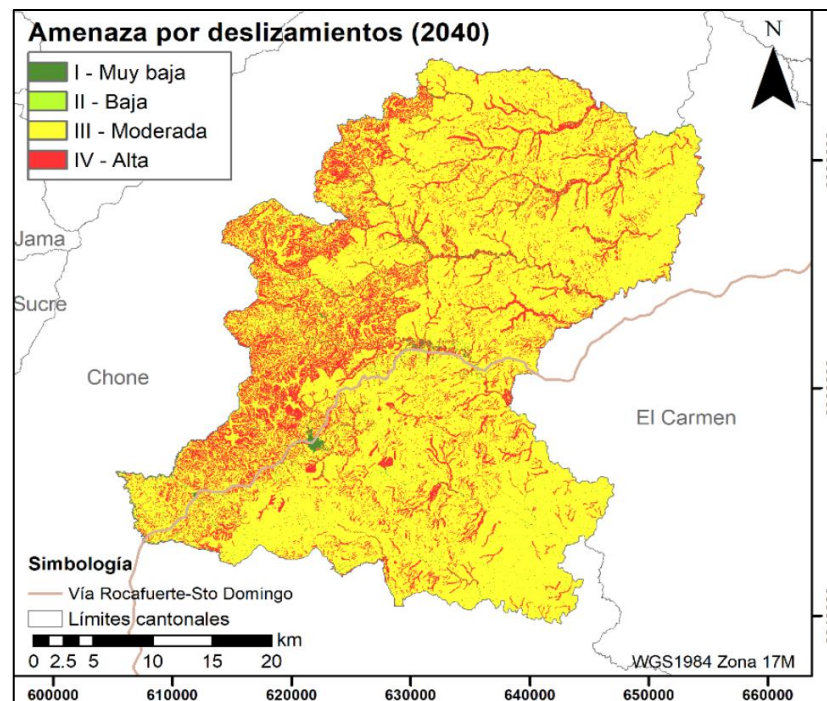


Figura 16. Mapa de amenaza para el año 2040. Fuente: Clavijo Rivera y Malavé Hernández. (2020).

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 49 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



Los mapas de amenaza presente y futura tanto de Flavio Alfaro como de Loja son un primer acercamiento a estudios de deslizamiento considerando registros históricos y proyecciones a futuro de las precipitaciones en estos cantones. En ambos casos se estimó que para el año 2040, dentro de la proyección menos optimista de cambio climático, el peligro de deslizamientos aumentará y se espera un resultado similar en la mayoría del territorio ecuatoriano si se realiza el mismo análisis y se mantienen sin demasiados cambios las variables que inciden.

El uso de sistemas de información geográfica es más eficaz frente al análisis geomecánico, para investigaciones relacionadas con la estabilidad del terreno, ya que facilita el análisis de grandes superficies, además de relacionar las características observadas con variables climáticas proyectadas que, generalmente, y en muchos casos, son de resolución kilométrica. Un análisis geomecánico “in situ” de tal proporción no podría competir en tiempo de ejecución y costos con la implementación de sistemas de información geográfica.

#### 5.4.3. Aplicación del método Mora-Vahrson para evaluar la susceptibilidad a deslizamiento en el municipio de Manaure, Cesar, Colombia

Este trabajo realizado por López, Zuluaga, Gómez y Tapia en 2020, evalúa la susceptibilidad de las unidades geológicas que conforman el municipio de Manaure, mediante la metodología MV y se realizó en base a dos escenarios asociados con riesgos geológicos. Por un lado, un escenario en el que la falla Manaure se encuentra activa y se denominó situación actual; por otro, el escenario potencial donde se da la reactivación de la misma.

Los resultados mostraron que en la primera situación, más del 70% de la zona presenta un grado de susceptibilidad medio, mientras que la zona de montaña, hacia el oeste, presenta grados altos de susceptibilidad en ciertas partes. En el segundo escenario, los índices aumentan exponencialmente, con grados de alta susceptibilidad de hasta un 90% del área, mientras que en el 10% restante presenta un grado medio. El primer resultado se fundamenta en que, a pesar de tener una geomorfología de pendientes pronunciadas, los factores desencadenantes y los tipos litológicos del área no generan situaciones relevantes. Mientras que, el segundo escenario sí presenta zonas con susceptibilidad alta en mayor superficie. Además, otro de los resultados indica que la susceptibilidad en la zona de estudio tiende a ser producto de las precipitaciones más que de la sismicidad.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 50 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

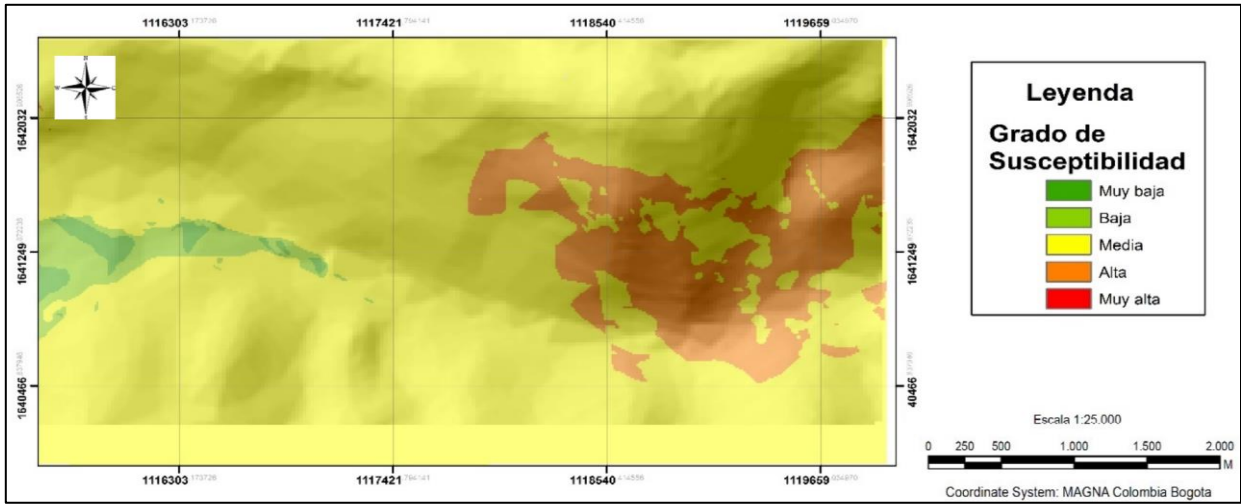


Figura 17. Mapa de susceptibilidad de la zona de estudio. Fuente: trabajo citado, 2020.

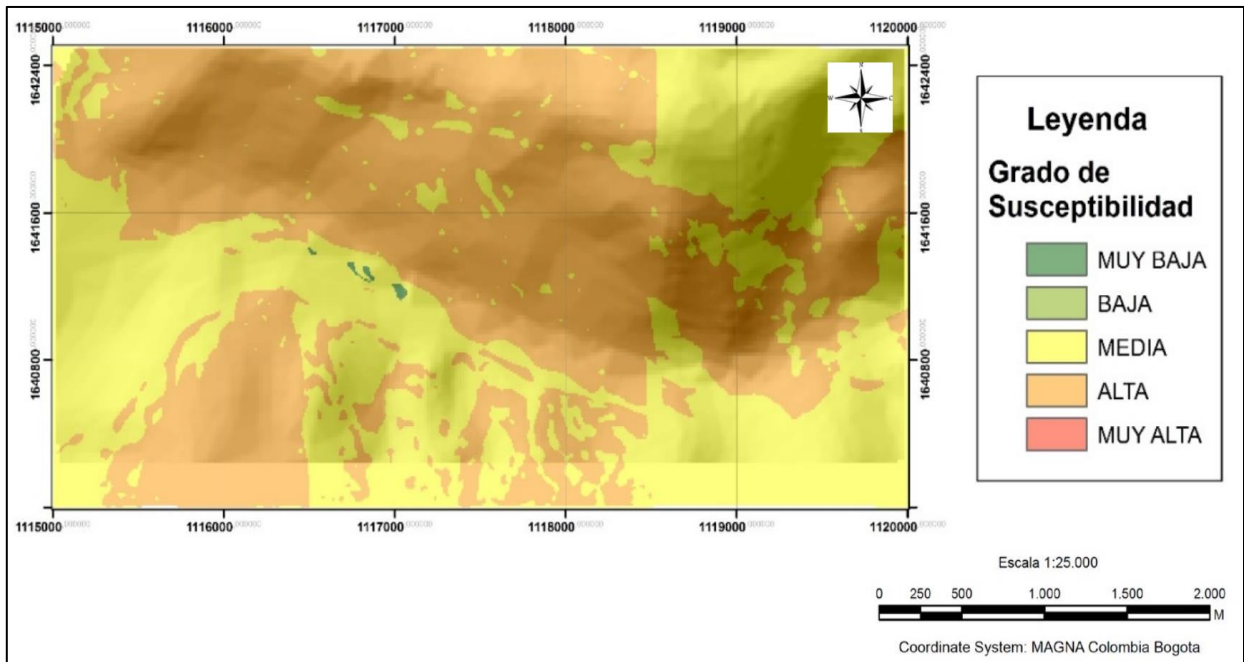


Figura 18. Mapa de susceptibilidad (activación de la falla) Fuente: trabajo citado, 2020.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página</b> 51 de 247
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



## 6. Aplicación de las metodologías

### 6.1. Metodología de Calidad para la Conservación

La metodología se basa en la definición de unidades geomorfológicas o “geoformas” que constituyen unidades del terreno con un cierto grado de homogeneidad, debido a que han sido generadas por un determinado proceso geológico, al cual responde sus formas superficiales y los materiales del subsuelo.

#### 6.1.1. Determinación de las unidades geomorfológicas

Para la determinación de las unidades geomorfológicas se toma como punto de partida los estudios regionales existentes, tales como el Mapa Geomorfológico de Carignano et al. (2012:209), a partir del cual se delimitan las principales unidades geomorfológicas (UG) para su estudio (Figura 19).

A fin de definir las unidades en forma regional se toma como referencia el mapa “Regiones Naturales” recuperado de <https://mapascordoba.gob.ar/viewer/#/mapa/320>, donde se diferencian cuatro áreas principales dentro del área de estudio: sierras del sur, valles intermontanos y pampa loésica alta; para este trabajo las llamaremos Sierras Grandes y Sierra Chica, Valle de Punilla y Piedemonte oriental respectivamente.

La primera unidad geomorfológica seleccionada, “Sierras Grandes”, es una zona de montaña correspondiente al cordón de Sierras Grandes de las Sierras Pampeanas. Esta unidad limita con el “Valle de Punilla”, que constituye una unidad de transición conformada por la pendiente oriental de Sierras Grandes y la pendiente occidental de Sierra Chica. Una tercera unidad es la denominada “Sierra Chica” que forma parte de las Sierras Pampeanas y posee relieve heterogéneo; motivo por el cual se la analiza subdividiendo el sector en tres unidades: UG “Vertiente Occidental”, UG “Sector Central” y UG “Vertiente Oriental”. Por último, la unidad “Piedemonte” caracterizada por su superficie ondulada con pendiente hacia el Este.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 52 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

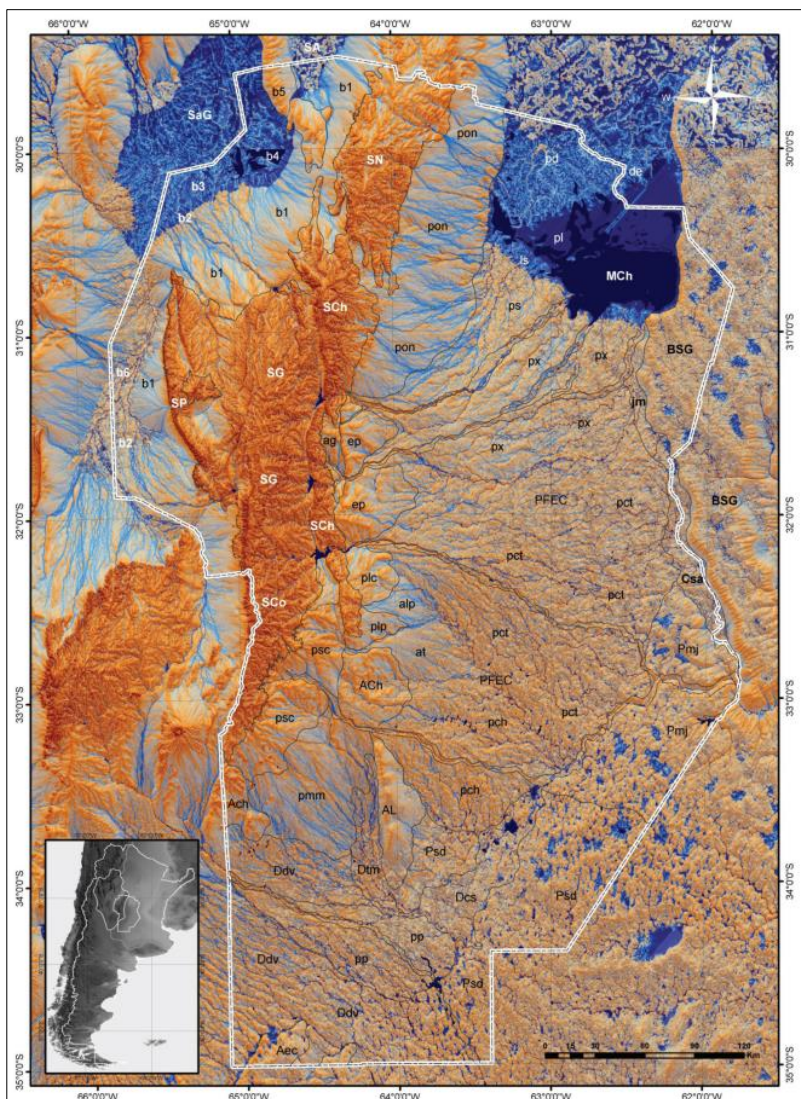


Figura 19. Modelo digital del terreno de la Provincia de Córdoba. Carignano, et.,al. (2014). Referencias: zonas deprimidas y concentración de drenajes (azul y celeste), sectores elevados (marrón y naranja), límites entre unidades (líneas grises). SN= Sierra Norte-Ambargasta. SG= Sierras Grandes. SCo= Comechingones. SCh= Sierras Chicas. SP= Sierras de Pocho-Guasapampa. SaG= Salinas Grandes. SA= Ambargasta. b1= Abanicos aluviales del piedemonte. b2= Campos de dunas y zonas con mantos de arenas o médanos aislados. b3= Barreales y playas salinas. b4= Lagunas salinas. b5= Elevaciones estructurales. b6= Depresión estructural con drenaje deficiente. MCh= laguna Mar Chiquita. pl= Planicie lacustre. ls= Campos de dunas Las Saladas-Campo Mare. de= Planicie aluvial distal y delta del río Dulce. pd= Paleodelta del río Dulce. jm= Depresión de Jeanmaire. PFEC= Planicie fluvioeólica central. ps= Paleoabanico aluvial del río Suquía. px= Paleoabanico aluvial del río Xanaes. pct= Paleoabanico aluvial del río Ctalamochita. pch= Paleoabanico aluvial del río Chocanchavara. pp= Paleoabanico aluvial del río Popopis. BSG= Bloque elevado de San Guillermo.

pon= Piedemonte oriental norte. ep= Elevación Pampeana. ag= Valle Estructural Alta Gracia-San Agustín. plc= Bajada Los Cóndores. plp= Bajada Las Peñas. alp= Abanico aluvial del arroyo Las Peñas. at= Abanico aluvial del Arroyo Tegua. Ach- Alto estructural de Chaján. psc- Piedemonte oriental de la Sierra de Comechingones. AL= Alto estructural de Levalle. pmj= Planicie loésica de Marcos Juárez-Corral de Bustos. Csa= Depresión tectónica de la Cañada San Antonio. Dcs= Depresión Curapaligue-Saladillo. Psd= Planicie sudoriental con campos de dunas. ppm= Planicie arenosa de Moldes y Malena. Dtm= Depresión del Tigre Muerto. Ddv= Campo de dunas de Villa Valeria-Laguna Oscura. Aec= Alto El Cuero.

Se confecciona el Figura 20 en base a los DEM de 30 (m) 3166-24 y 3163-19, recuperados de <https://www.ign.gov.ar/NuestrasActividades/Geodesia/ModeloDigitalElevaciones/Mapa>, que discretiza las pendientes del terreno divididas en 5 rangos que ayudan a caracterizar cada unidad. Según el mismo, la unidad asociada a las Sierras Grandes presenta mayormente pendientes entre 0% y 25% que ocupan 58 km<sup>2</sup> de la totalidad de esta unidad, y en segundo lugar predominan pendientes de entre 25% y 50%. El Valle de Punilla presenta casi la totalidad del terreno, un 96%,

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 53 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



con pendientes entre 0% y 25%. La Vertiente Occidental de Sierra Chica presenta casi la mitad del terreno con pendientes entre 25% y 50%, en segundo y tercer lugar pendiente entre 0%-25% y 50%-75% respectivamente; además, un 3% de quebradas que alcanzan pendientes entre 75% y 100%. El Sector Central de Sierra Chica presenta 39 km<sup>2</sup> pendientes bajas (0%-25%) y 14 km<sup>2</sup> entre 25% y 50%; no hay superficies de pendientes pronunciadas relevantes. La Vertiente Oriental presenta gran superficie cubierta por pendientes entre 0% y 50%; esta además presenta 9 km<sup>2</sup> de quebradas de pendientes entre 50% y 125%. En la unidad de Piedemonte el terreno se configura en un 98% con pendientes entre 0 y 25%.

Tabla 13. Distribución del terreno según rangos de pendiente.

UG	Área Total (km <sup>2</sup> )	Pendiente				
		0% - 25%	25% - 50%	50% - 75%	75% - 120%	100% - 125%
1	65,379	57,747	7,353	0,274	0,005	0,000
2	67,782	65,392	2,347	0,043	0,000	0,000
3	46,927	13,960	21,237	10,710	0,998	0,022
4	54,157	39,171	13,984	0,954	0,048	0,000
5	228,903	162,054	57,957	8,126	0,692	0,074
6	69,933	68,804	1,103	0,026	0,000	0,000

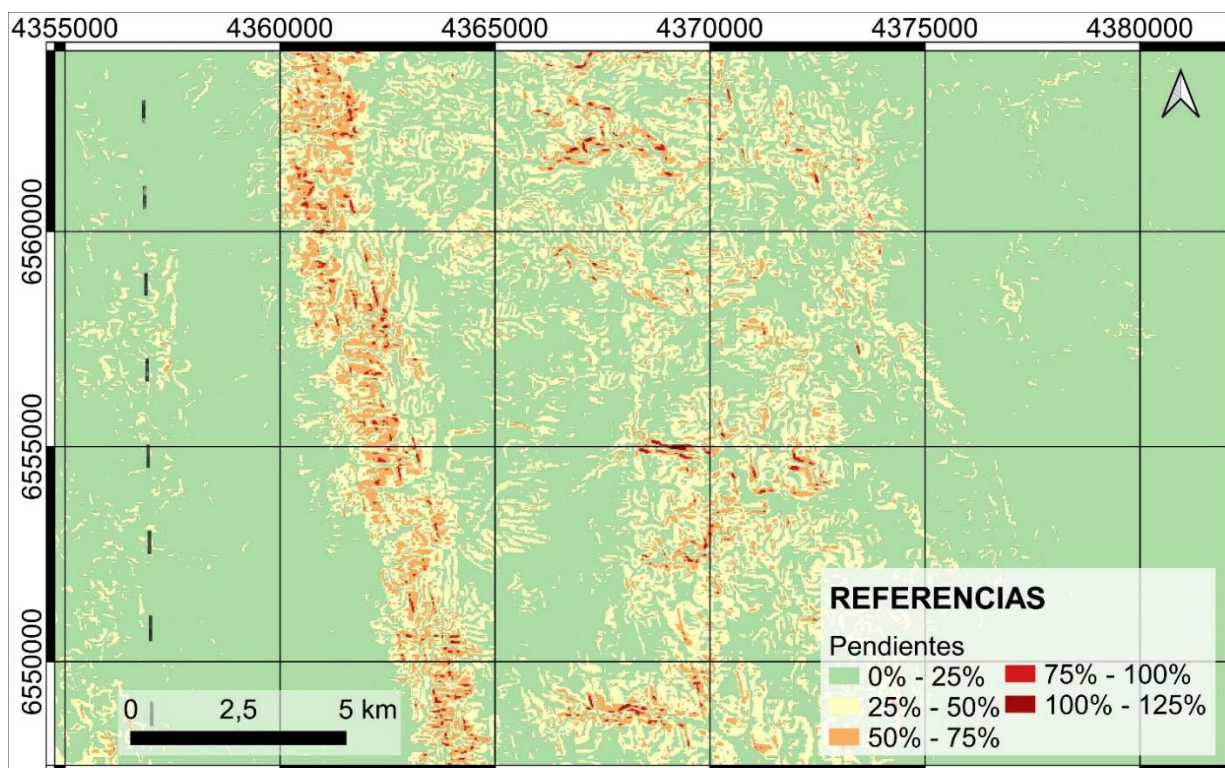


Figura 20. Distribución del terreno según rangos de pendiente.

Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01
		Página 54 de 247	
<p><b>DOCUMENTO CONTROLADO</b>  <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b>  <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b></p>			

➤ UG Sierras Grandes

Unidad que se caracteriza por un relieve de laderas escarpadas. Dentro del área de estudio de esta investigación presenta pendiente general hacia el este con un valor medio de 15.6%, con pendiente máxima del 81,4%. Se desarrolla dentro de un rango altitudinal comprendido entre 720 y 980 m s.n.m.

La Figura 21 muestra la configuración de la topografía de la unidad según las pendientes, discretizadas en 8 rangos. Los siguientes valores corresponden a los porcentajes de la superficie ocupados por cada rango de pendiente.

Tabla 14. Pendientes UG 1.

Rango	Área (km <sup>2</sup> )	(%)
0-5	5,50	8,2
5-10	12,10	18,1
10-15	16,68	24,9
15-20	15,77	23,6
20-25	8,94	13,4
25-30	4,18	6,3
30-35	1,93	2,9
Más de 35	1,83	2,7

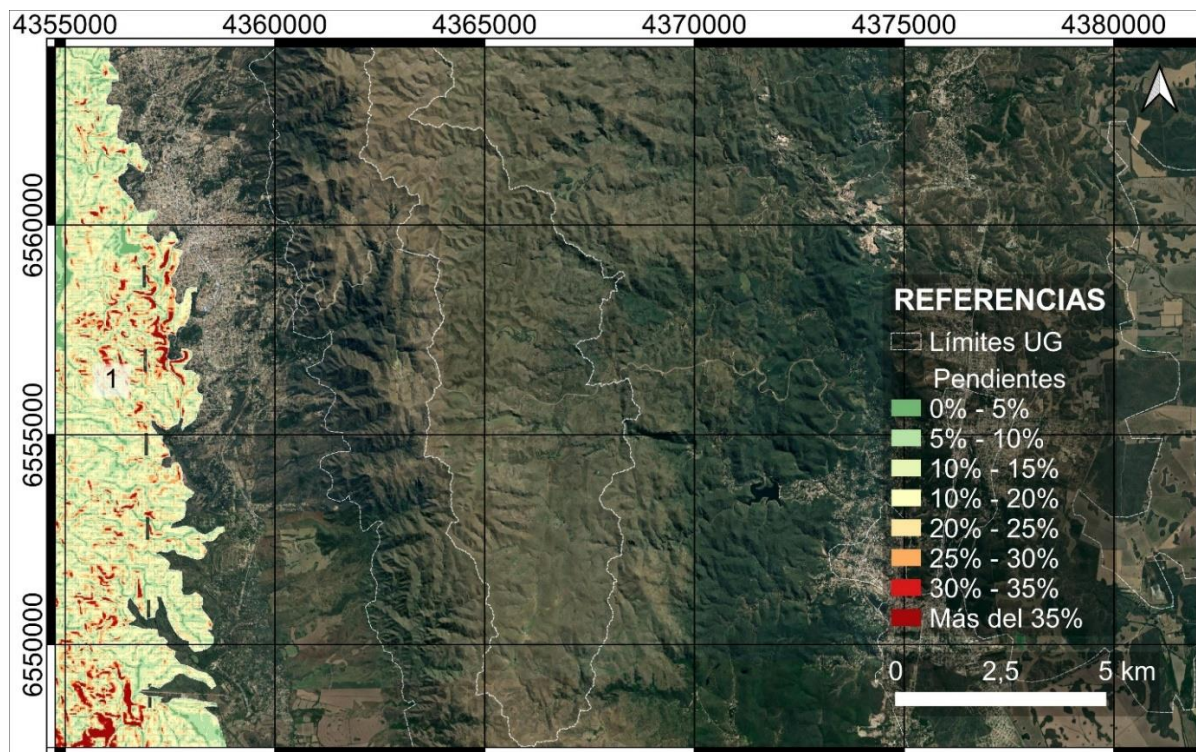


Figura 21. Pendientes UG 1 Fuente: autor.

Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01
		Página 55 de 247	
<p><b>DOCUMENTO CONTROLADO</b>  <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b>  <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b></p>			



➤ UG Valle de Punilla

Es una zona de principalmente de lomas onduladas, valles y terrazas. Con una pendiente media del 9,3% y máxima del 66,0%. Se caracteriza por altitudes que van desde los 720 a los 1140 m s.n.m.

En la Figura 22 se observa la distribución espacial de las pendientes agrupadas en 5 rangos. Los valores de la siguiente tabla son los porcentajes de la superficie ocupados por cada grupo pendientes.

Tabla 15. Pendientes UG 2.

Rango	Área (km <sup>2</sup> )	(%)
0-5	19,07	27,8
5 10	25,95	37,8
10 15	12,87	18,7
15-20	5,71	8,3
Más de 20	5,06	7,4

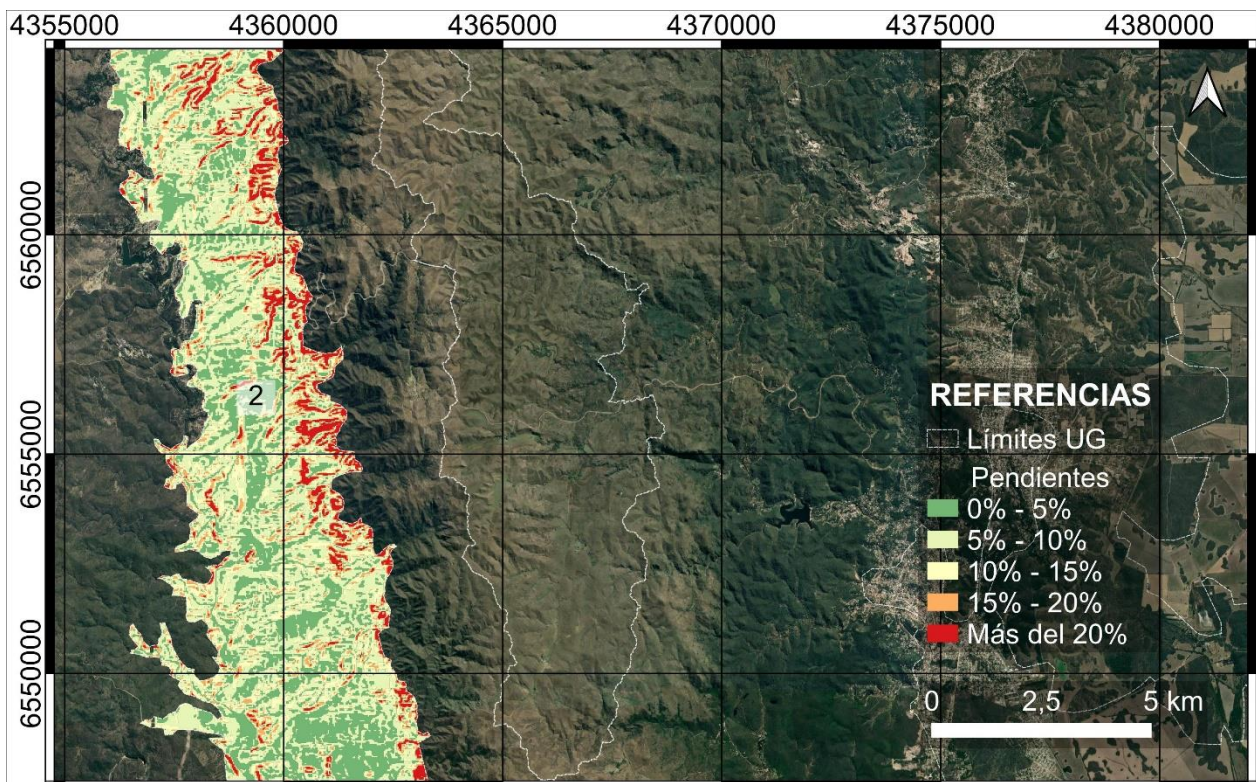


Figura 22. Pendientes UG 2. Fuente: autor.

Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01
		Página 56 de 247	
<p><b>DOCUMENTO CONTROLADO</b>  <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b>  <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b></p>			

➤ UG Vertiente Occidental de Sierra Chica

Se caracteriza por un relieve de laderas muy escarpadas con pendientes pronunciadas de orientación general hacia el oeste, de valor medio 36,9% y valor máximo de pendiente igual a 111,8%. Se desarrolla dentro de un rango altitudinal comprendido entre 853 y 1645 m s.n.m.

La Figura 23 muestra la configuración de la topografía de la unidad según las pendientes, discretizadas en 6 rangos. Los siguientes valores corresponden a los porcentajes de la superficie ocupados por cada rango de pendiente.

Tabla 16. Pendientes UG 3.

Rango	Área (km2)	(%)
0-10	2,21	4,7
10-20	7,39	15,6
20-30	9,18	19,4
30-40	8,87	18,8
40-50	7,87	16,6
Más de 50	11,78	24,9

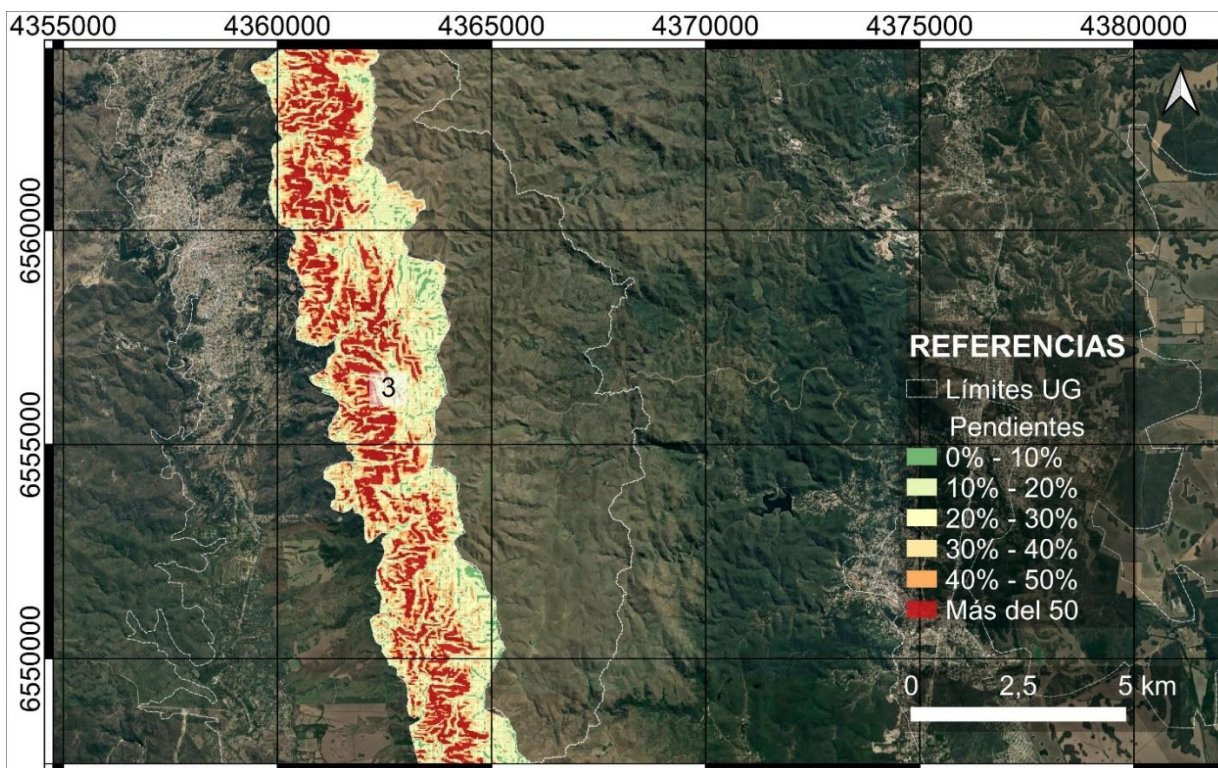


Figura 23. Pendientes UG 3. Fuente: autor.

Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01
		Página:	57 de 247
<p><b>DOCUMENTO CONTROLADO</b>  <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b>  <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b></p>			

➤ UG Sector Central de Sierra Chica

Es una zona de pendientes fuertes y algunos vallecitos de altura de pendientes moderadas. Presenta una pendiente con orientación general hacia el este, con un valor medio del 19,8% y máximo del 101,0%. Con altitudes características que rondan entre 985 y 1637 m s.n.m.

En la Figura 24 se observa la distribución espacial de las pendientes agrupadas en 6 rangos. Los valores de la siguiente tabla son los porcentajes de la superficie ocupados por cada grupo pendientes.

Tabla 17. Pendientes UG 4.

Rango	Área (km <sup>2</sup> )	(%)
0-5	2,60	4,8
5 10	7,99	14,7
10 15	10,52	19,4
15-20	10,06	18,6
20-25	8,03	14,8
Más de 25	14,99	27,7

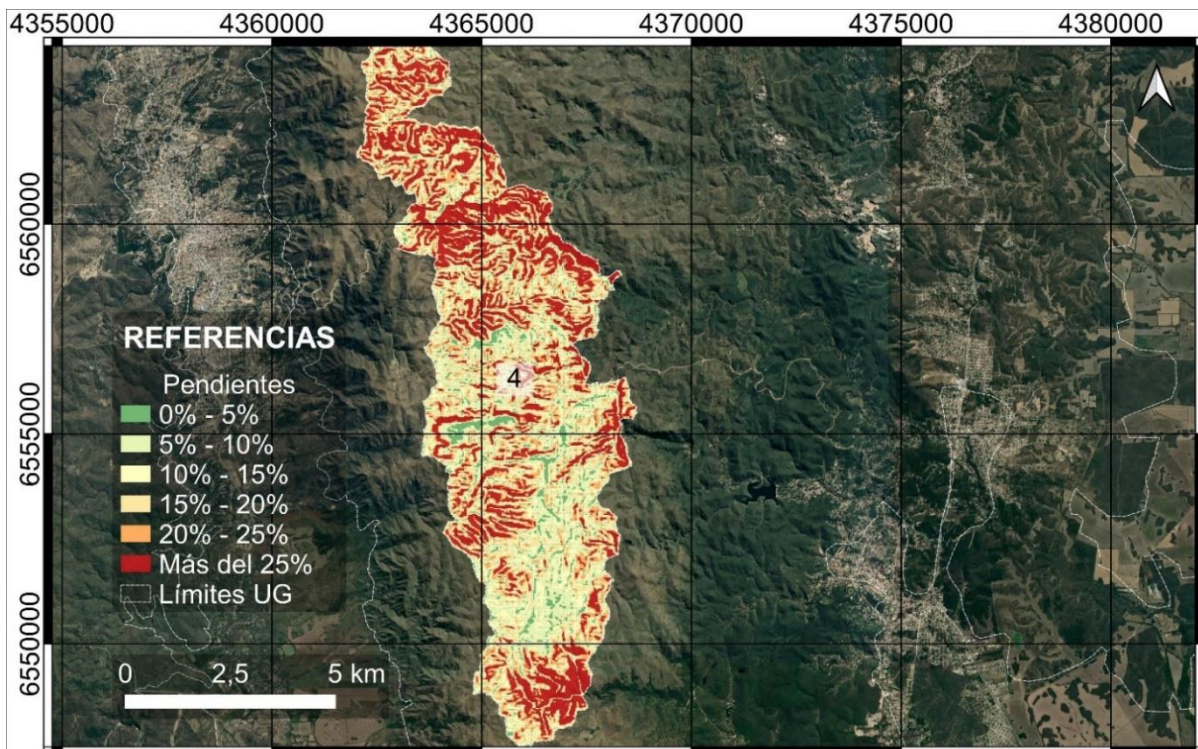


Figura 24. Pendientes UG 4. Fuente: autor.

Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01
		Página 58 de 247	
<p><b>DOCUMENTO CONTROLADO</b>  <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b>  <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b></p>			

➤ UG Vertiente Oriental de Sierra Chica

Es un relieve de pendientes fuertes y algunos valles, con pendiente gradual hacia el este de valor medio igual a 19,6% y máximo igual a 136,5%. Se desarrolla dentro de un rango altitudinal comprendido entre 578 y 1541 m s.n.m.

La Figura 25 muestra la distribución espacial de las pendientes agrupadas en 7 rangos. Los valores de la siguiente tabla son los porcentajes que cubren cada rango.

Tabla 18. Pendientes UG 5.

Rango	Área (km <sup>2</sup> )	(%)
0-5	24,55	10,7
5 10	43,52	18,9
10 15	38,97	17,0
15-20	31,01	13,5
20-25	24,45	10,6
25-30	19,51	8,5
Más de 30	47,75	20,8

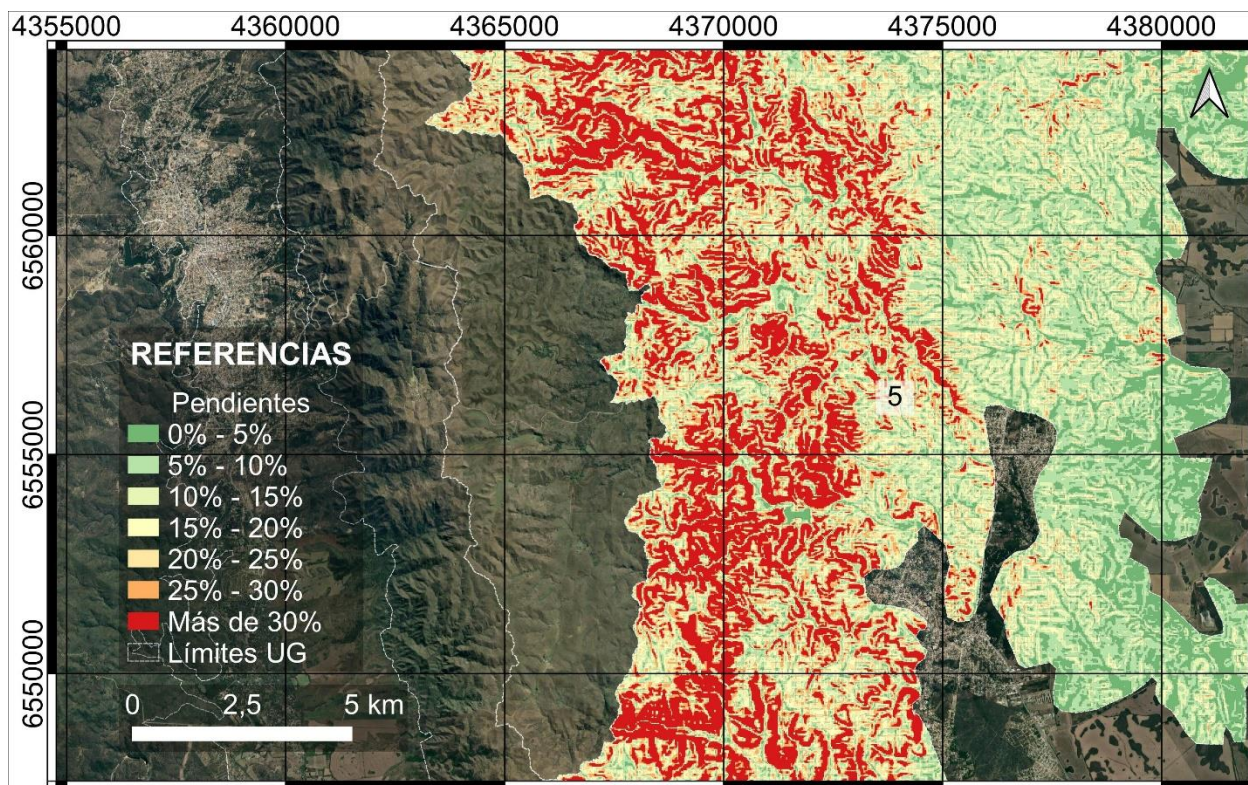


Figura 25. Pendientes UG 5. Fuente: autor

Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01
		Página 59 de 247	
<p>DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</p>			

➤ UG Piedemonte oriental

Presenta un relieve suavemente ondulado con pendiente general hacia el oeste y con rangos altitudinales que oscilan entre los 570 y 970 m s.n.m. Se caracteriza por una pendiente media del 5,9% y máxima del 74,2%, con una distribución de las pendientes como la que se muestra en la Figura 26 y dada por los siguientes valores.

Tabla 19. Pendientes UG 6.

Rango	Área (km <sup>2</sup> )	(%)
0-5	42,73	60,2
5 10	17,07	24,1
10 15	5,99	8,4
Más de 15	5,15	7,3

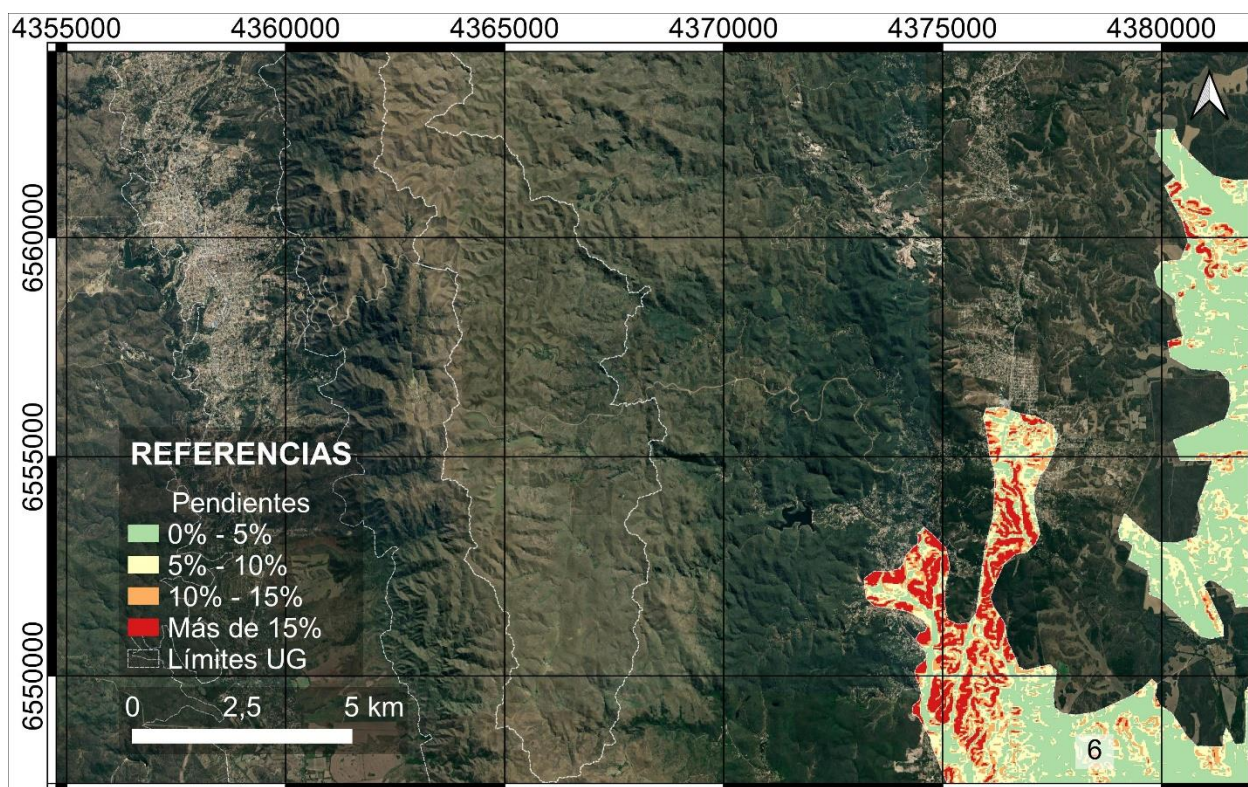


Figura 26. Pendientes UG 6. Fuente: autor.

Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01
		Página 60 de 247	
<p><b>DOCUMENTO CONTROLADO</b>  <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b>  <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b></p>			



Para la subdivisión de Sierra Chica se realiza un análisis en base a la dirección de las pendientes del terreno, al estudio de cortes transversales del mismo y a las cuencas. Se considera que las divisorias de aguas de las cuencas coinciden con cambios relevantes del terreno. Se procede de la siguiente manera: se estudia el perfil topográfico realizando cortes transversales a lo largo y ancho del área de estudio, de los cuales se identifican variaciones de pendientes relevantes que indiquen un cambio significativo de la configuración del terreno. Se realizan 16 cortes en total que e indican en líneas negras discontinuas en la Figura 27 y también se analiza el perfil topográfico coincidente con la traza del camino.

El principal aspecto que caracteriza a cada uno de los tres sectores es la orientación de las pendientes; la Vertiente Occidental (VOcc) se caracteriza porque las pendientes del terreno disminuyen hacia el oeste, mientras que las de la Vertiente Oriental (VOr) disminuyen de manera marcada hacia el este y la zona central, y de las mayores altitudes, también presenta pendientes hacia el este pero menos abruptas que las de la VOr.

En cuanto al sector de Sierra Chica, los perfiles transversales con orientación E-O permiten limitar el Sector Central de la Vertiente Oriental al observar que el primero presenta desniveles más graduales. Esto indica que, si bien ambos sectores presentan pendientes que disminuyen hacia el oeste, en el primer sector existen desniveles de aproximadamente 150 (m) en una longitud de 500 (m), mientras que en el segundo la variación es más abrupta con algunos desniveles de 175 (m) en 400 (m) de longitud. Por ejemplo, se observa que, entre el punto 1 y 2 indicados en la Figura 27, el terreno presenta pendiente hacia el oeste y la diferencia entre un punto de mayor altitud y otro de menor, no supera los 100 (m), mientras que hacia los extremos este y oeste de los puntos 1 y 2 respectivamente, los valores de desnivel aumentan indicando que comienzan las vertientes occidental y oriental.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 61 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

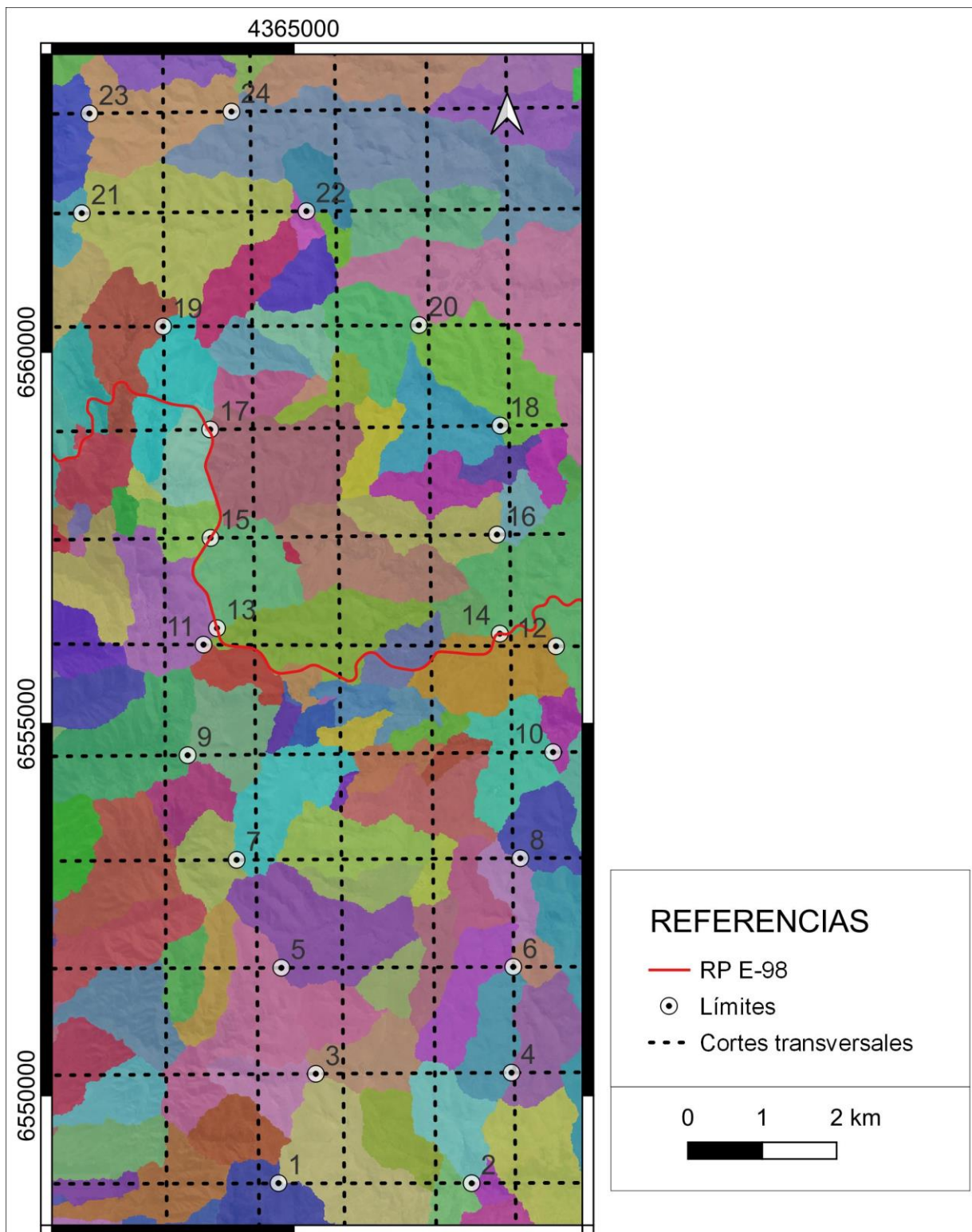


Figura 27. Análisis geomorfológico. Cortes transversales. Fuente: autor.

Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021	
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023	
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01	Página 62 de 247
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>				

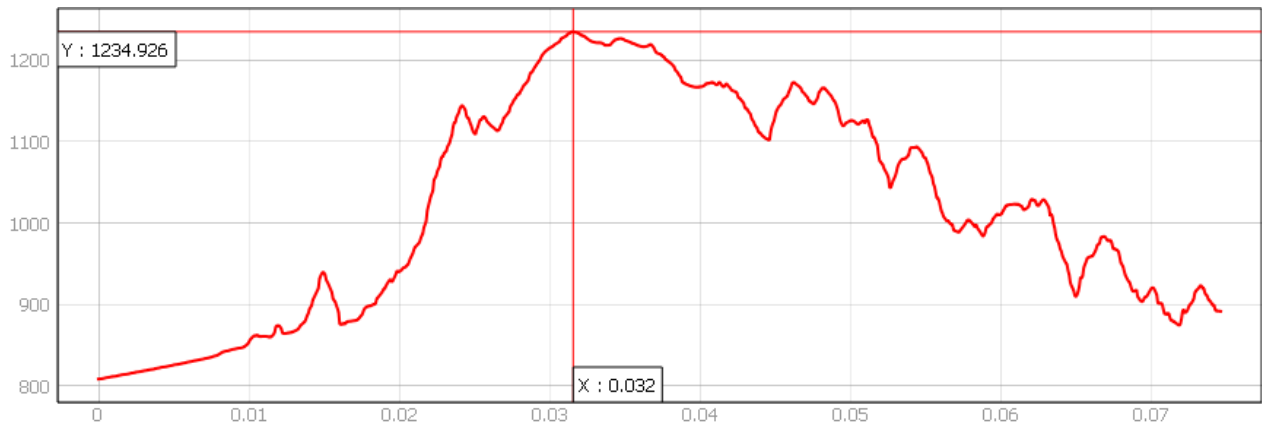


Figura 28. Perfil transversal tipo orientación E-O, coincidente con el punto 1 del mapa anterior.

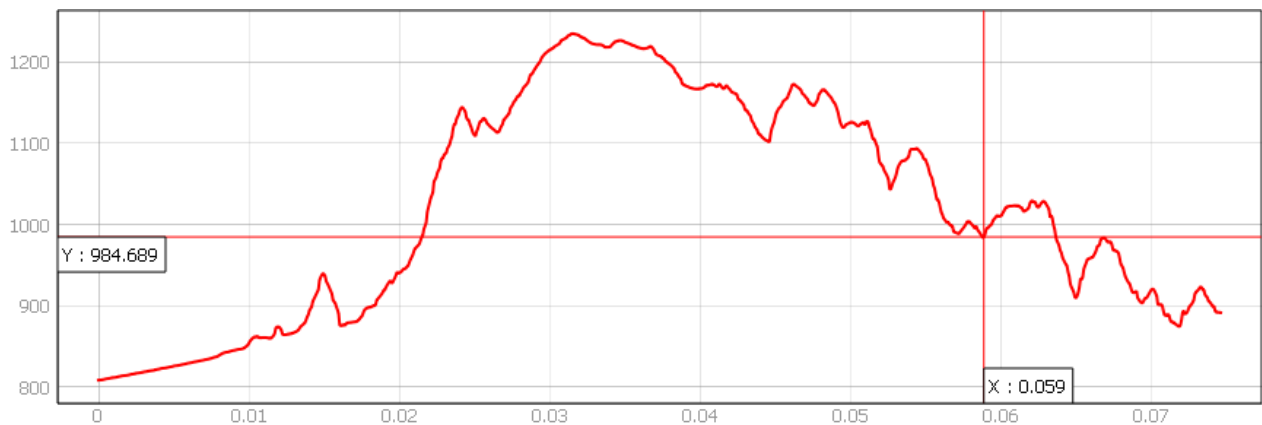


Figura 29. Perfil transversal tipo orientación E-O, coincidente con el punto 2 del mapa anterior.

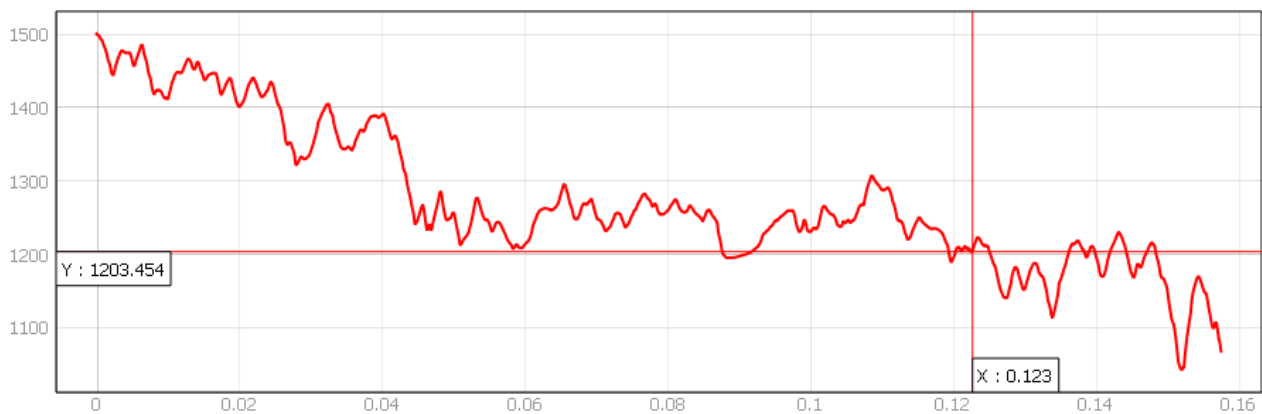


Figura 30. Perfil transversal tipo orientación N-S, coincidente con el punto 5 del mapa anterior.

Del análisis anterior se obtiene finalmente el mapa de la Figura 31, correspondiente a las unidades geomorfológicas que conforman el área de estudio que son seis en total y serán la base para el análisis de la Calidad para la Conservación.

Elaboró: Barrotto, María	Código: TF-B-2021	
Revisó: Dr. Ing. Quintana	Emisión: 23 de marzo de 2023	
Autorizó: Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión: 01	Página 63 de 247
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>		



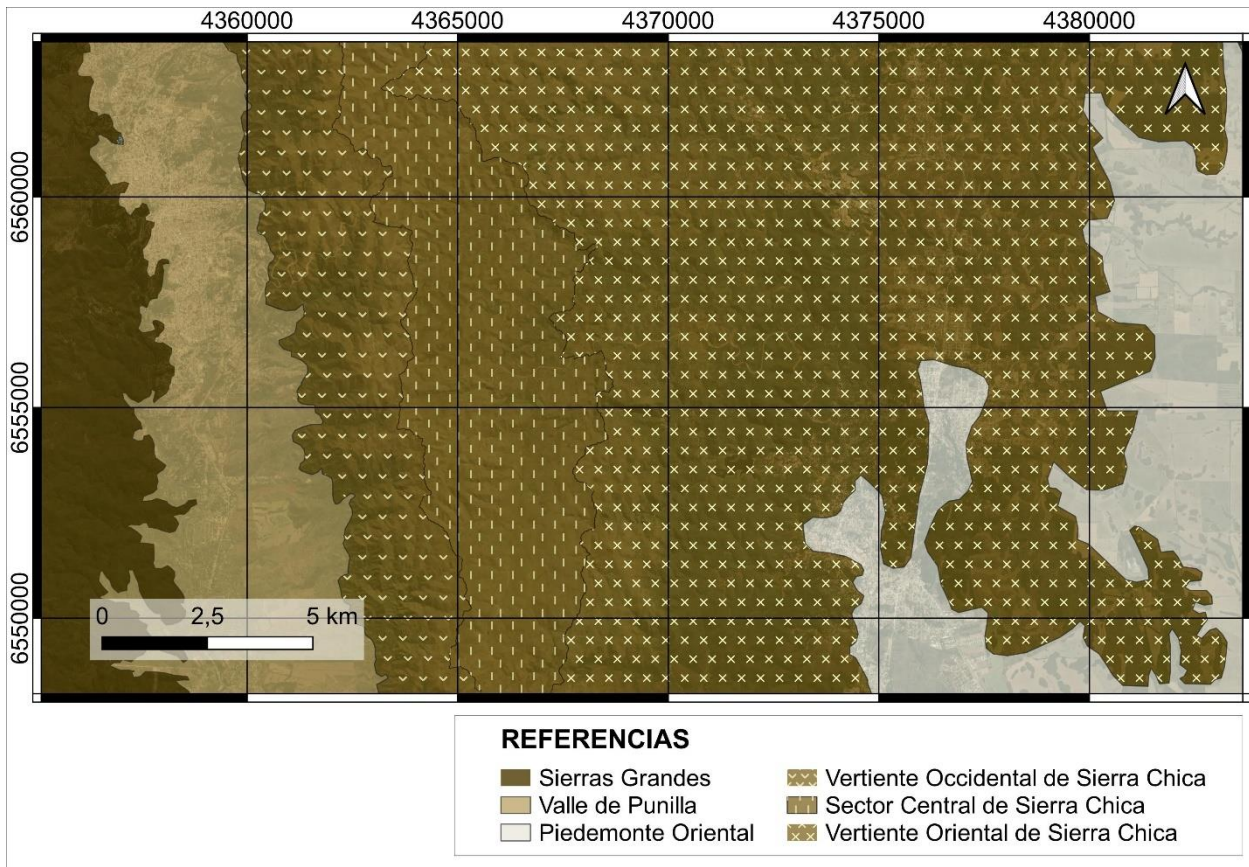


Figura 31. Unidades geomorfológicas presentes en el área de estudio. Fuente: autor

### 6.1.2. Geología

Las litologías que conforman las unidades “pueden ser ordenadas en una columna estratigráfica representada por:

- Metamorfitas del Proterozoico tardío-Paleozoico temprano (migmatitas y gneises con venas de cuarzo, aplíticas y pegmatíticas ácidas, intercalaciones de mármoles y anfibolitas, ortogneises de distintos tipos y granitoides epidóticos foliados).
- Granitoides del Paleozoico temprano.
- Un complejo sedimentario-volcánico del Cretácico.
- Sedimentitas de piedemonte y relleno de valles del Terciario, y sedimentos limo-arcillosos y loésicos del Cuaternario.” Carignano. (2012:210)

Los mapas geológicos que se presentan a continuación muestran la distribución litológica de las Sierras de Córdoba.

Elaboró: Barrotto, María	Código: TF-B-2021
Revisó: Dr. Ing. Quintana	Emisión: 23 de marzo de 2023
Autorizó: Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión: 01   Página 64 de 247
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

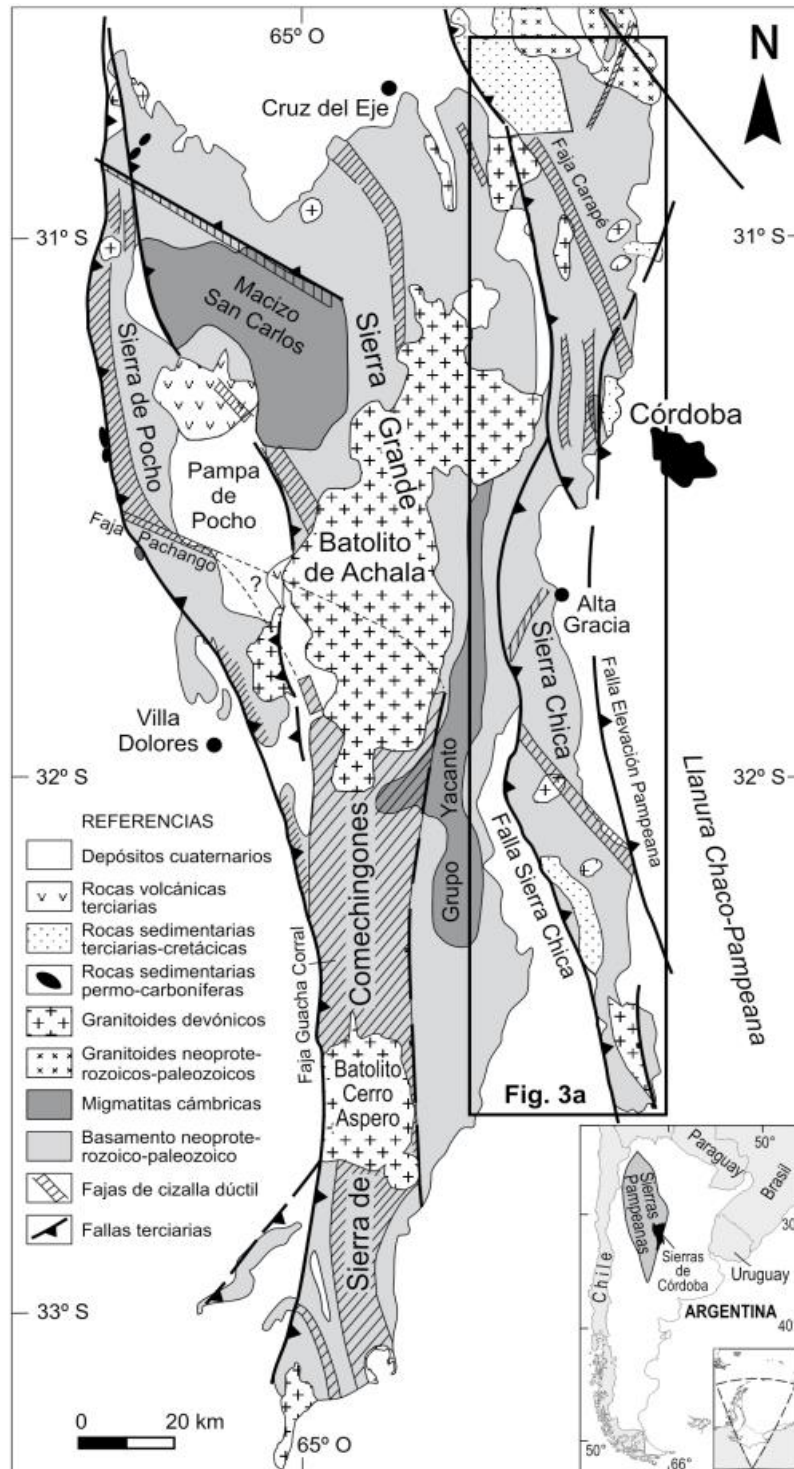


Figura 32. Mapa geológico de las sierras de Córdoba. Carignano et al. (2012)

Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01
		Página 65 de 247	
<p>DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</p>			

El siguiente mapa complementa y amplía la información del mapa anterior y constituye un antecedente para esta investigación.

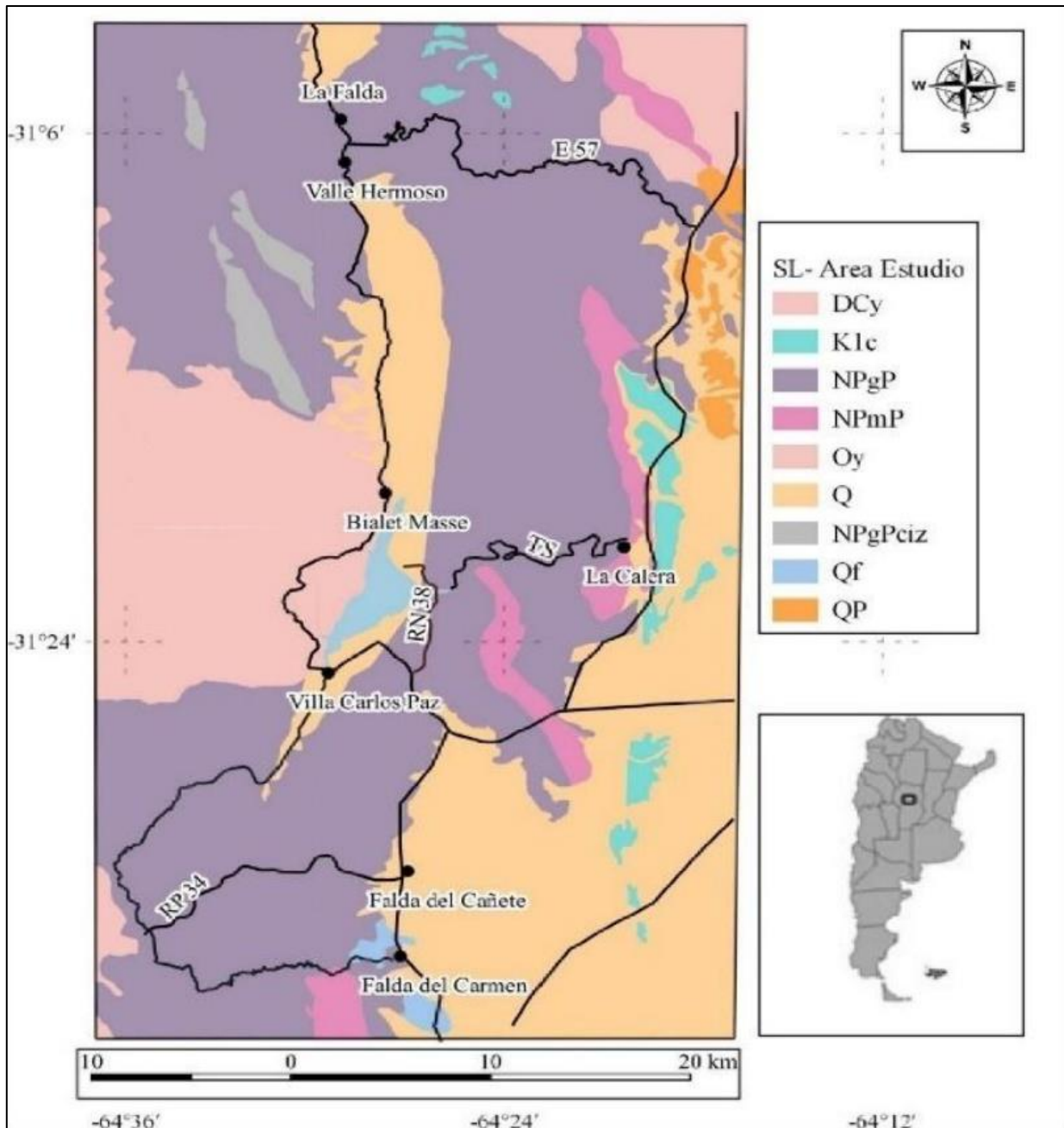


Figura 33. Área de estudio y Series Litológicas. Quintana, Soffiatti. (2020:28)<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Referencias: DCy Granitoides Achalianos, K1c Sedimentitas continentales, NPgP Complejo metamórfico La Falda, NPmP Formaciones El Manzano y Mármoles, Oy Granitoides Famatinianos, Q sedimentos cuaternarios; NpgPciz: Metamorfitas zona cizalla; Qf: Cuaternario fluvial; QP: Piedemonte.

Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01
		Página	66 de 247
<p>DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</p>			



En base a la información anterior, en conjunto con la utilización de la Carta Geológica Córdoba 3163-III, el reconocimiento de campo y el estudio de las pendientes para la zona de estudio se definieron las siguientes litologías.

En la metodología de Calidad para la Conservación, el factor de ponderación “ $p_i$ ” para geología es la constante “1”. Los factores “ $v_i$ ” están dados según la ponderación que se le asigna a cada material y los porcentajes de terreno que cubren cada litología dentro de la respectiva unidad geomorfológica. La ponderación de la geología se define en base a cinco criterios:

- El relieve: topografías significativas aumentan el interés para la conservación.
- Accesibilidad para su observación y recorrido: aumentan el valor.
- La resistencia de los materiales: cuanto menor sean sus características resistentes, mayor el interés.
- La existencia de afloramientos de singularidad geológica: constituyen un aspecto positivo, porque son sitios provinciales de valor para la investigación y que deben preservarse de la explotación por la industria de la minería.
- La comparación cuantitativa de las extensiones en área de las diversas litologías dentro del área estudiada.

La valoración, del 1 al 5, se corresponde con la siguiente clasificación.

- Piedemonte, loess y paleosuelos: se valora con 1 porque es una litología frecuente en la provincia; ocupa el 22% del área de estudio, un porcentaje importante de la superficie. Se caracteriza por un relieve ondulado a plano, rasgos poco sobresalientes, no presenta dificultades para el acceso a su observación y es de muy bajo interés para el estudio geológico. Además, se encuentra invadido por cultivos agrícolas extensivos y urbanizaciones, lo que disminuye su interés para la conservación.
- Sedimentos fluvio-loésicos y roca sedimentaria: los primeros no ocupan gran extensión, 8% del área de estudio, lo cual aumenta su interés geológico respecto del anterior. Además, por sus características presenta rocas foliadas y niveles freáticos someros lo que disminuye su resistencia media. Sin embargo, se caracteriza por un relieve ondulado, de buena accesibilidad para su recorrido y principalmente de características poco singulares por lo que se asigna un valor de calidad poco relevante. La roca sedimentaria ocupa el 4% y se caracteriza por su resistencia baja dada por una configuración de matriz con bloques de minerales de pequeñas dimensiones inmersos en la misma. Presenta

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 67 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



relieve ondulado, buena accesibilidad y características de bajo interés geológico. Se asigna un valor de calidad igual a 2 a ambas litologías.

- Paragneis feldespático cuarzo biotítico muscovítico bandeado, esquistos micáceos con roca ígnea intrusiva, gneis esquistoso y masivo con filones de roca ígnea y basamento cristalino intercalado con roca ígnea: constituye un relieve de montaña característico de las sierras cordobesas, de interés medio, de moderada dificultad para su acceso, que ocupa el 51% del área de estudio. Sin embargo, su interés aumenta debido a la presencia de afloramientos de minerales como: vermiculita, talco, mica, entre otros y a la baja resistencia que presentan los esquistos. Existen yacimientos de vermiculita, talco y mica que se localizan en las proximidades del cerro Sapo con acceso mediante el camino a El Cuadrado. Debido a su resistencia a altas temperaturas, estos materiales son comercializados para su uso como aislantes térmicos, para la industria cosmética y en menor proporción para uso artesanal. Las explotaciones se realizan a cielo abierto, es decir que, los frentes se inician con voladura y alcanzan los 40 m de altura. El gneis se explota para su utilización como triturado pétreo en obras civiles. En la zona se halla el yacimiento Molienda El Rincón S.R.L. que se ubica en la localidad de Río Ceballos. La explotación es a cielo abierto y se realiza por medio de escarificación de la roca con pala mecánica. Se valora con 3.
- Leucotonalita biotítica muscovítica, tonalita, granito, mármol: constituyen formaciones de interés elevado, afloramientos de buena calidad, singularidad geológica, de difícil acceso y escasos en la superficie provincial. En la zona existen yacimientos de mármol que presentan clara localización geográfica de rumbo general NNO. Se caracterizan por contener una gama de minerales accesorios como: diópsido, forsterita, serpentina, tremolita, hornblenda, cuarzo, titanita, actinolita, etc.; que configuran los diseños y colores de las variedades con valor comercial. Esta última característica sumada a su explotación para la fabricación de cal, aumentan el valor para la conservación. Existe un conjunto de canteras que conforman el grupo El Sauce–Candongá al que se accede desde la ciudad de Córdoba por la RP N° E53. Estas canteras han sido intensamente explotadas para la industria de la cal. Otro grupo es el de Valle Hermoso-San Antonio donde se extrae material carbonático para el uso en las industrias de la pintura, papel, vidrio, química y cerámica. Se valora con 4.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 68 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

- Material de falla de la Sierra Chica: de interés muy elevado debido a sus características de resistencia e inaccesibilidad. Su singularidad se debe a que es producto de una falla geológica y su resistencia prácticamente nula. Existen escasos afloramientos en la provincia de Córdoba que han sido detectados mediante perforaciones realizadas en el año 1971 por Lencinas en su investigación “Geología del Valle de Punilla entre Bialet Massé y La Cumbre, Provincia de Córdoba” y recientemente mediante los taludes generados para la construcción de la RP E-98. Por estas razones se valora con 5.

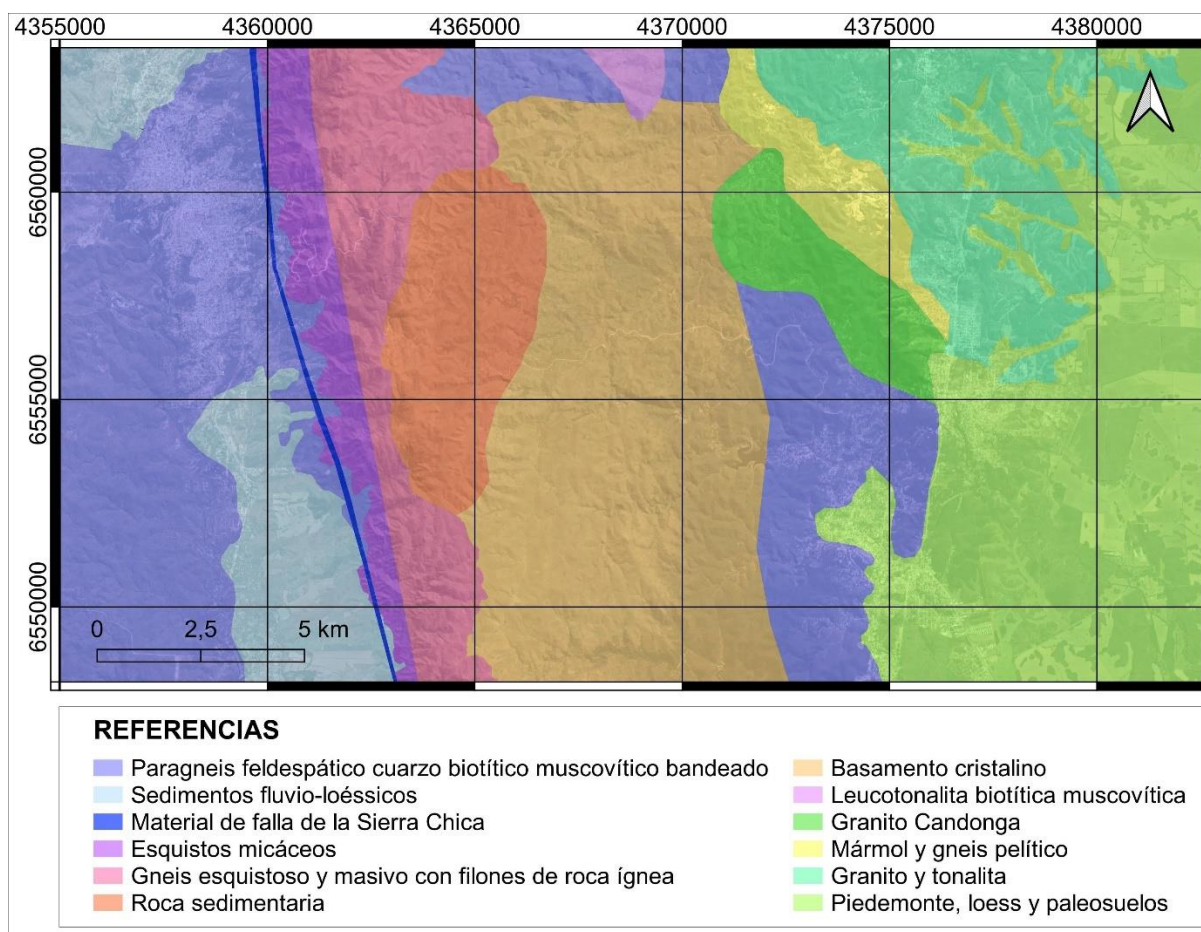


Figura 34. Mapa de geología de la zona de estudio. Fuente: autor.

Cada una de las unidades geomorfológicas descritas no son puras y presentan combinaciones de materiales en su conformación geológica, cuyos porcentajes se resumen en la siguiente tabla, donde también se observa la determinación del Valor de la Calidad para la Conservación final del elemento geología (VCg).

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 69 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



Tabla 20. Valor de Calidad para la conservación de la geología.

UG	Área (km <sup>2</sup> )	(%)	Descripción	p <sub>i</sub>	v <sub>i</sub>	VC <sub>g</sub>
Sierras Grandes	9,0	13,4	Sedimento fluvio loésico	1	2	0,3
	58,0	86,6	Paragneis feldespático cuarzo biotítico muscovítico bandeado	1	3	2,6
	<b>67,0</b>	<b>100,0</b>				<b>2,9</b>
Valle de Punilla	33,0	47,8	Sedimento fluvio loésico	1	2	1,0
	32,0	46,4	Paragneis feldespático cuarzo biotítico muscovítico bandeado	1	3	1,4
	2,0	2,9	Esquistos micáceos con rocas ígneas	1	3	0,1
	2,0	2,9	Material de falla	1	5	0,1
	<b>69,0</b>	<b>100,0</b>				<b>2,6</b>
Vertiente Occidental SC	0,4	0,9	Material de falla	1	5	0,0
	16,1	34,1	Esquistos micáceos con rocas ígneas	1	3	1,0
	25,3	53,6	Genis con filones de roca ígnea	1	3	1,6
	5,4	11,4	Roca sedimentaria	1	2	0,2
	<b>47,2</b>	<b>100,0</b>				<b>2,9</b>
Sector Central SC	9,2	17,0	Genis con filones de roca ígnea	1	3	0,5
	17,6	32,5	Roca sedimentaria	1	2	0,7
	27,3	50,5	Basamento cristalino, roca ígnea, roca metamórfica	1	3	1,5
	<b>54,1</b>	<b>100,0</b>				<b>2,7</b>
Vertiente Oriental SC	64,0	27,7	Basamento cristalino, roca ígnea, roca metamórfica	1	3	0,8
	41,0	17,7	Paragneis feldespático cuarzo biotítico muscovítico bandeado	1	3	0,5
	5,0	2,2	Leucotonalita biotítica muscovítica	1	4	0,1
	11,0	4,8	Mármol	1	4	0,2
	13,0	5,6	Granito Candonga	1	4	0,2
	51,0	22,1	Granito biotítico, tonalita, granodiorita biotítica	1	4	0,9
	46,0	19,9	Piedemonte, loess, paleosuelos	1	1	0,2
<b>231,0</b>	<b>100,0</b>				<b>2,9</b>	
Piedemonte	<b>71,0</b>	<b>100,0</b>	Pedemonte, loess, paleosuelos	1	1	<b>1,0</b>

Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01
		Página 70 de 247	
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>			

La siguiente grafica ilustra los porcentajes que ocupan cada litología en el área de estudio. Más del 50% de la superficie está cubierta por paragneis feldespático cuarzo biotítico muscovítico bandeado, esquistos micáceos con roca ígnea intrusiva, gneis esquistoso y masivo con filones de roca ígnea y basamento cristalino intercalado con roca ígnea.

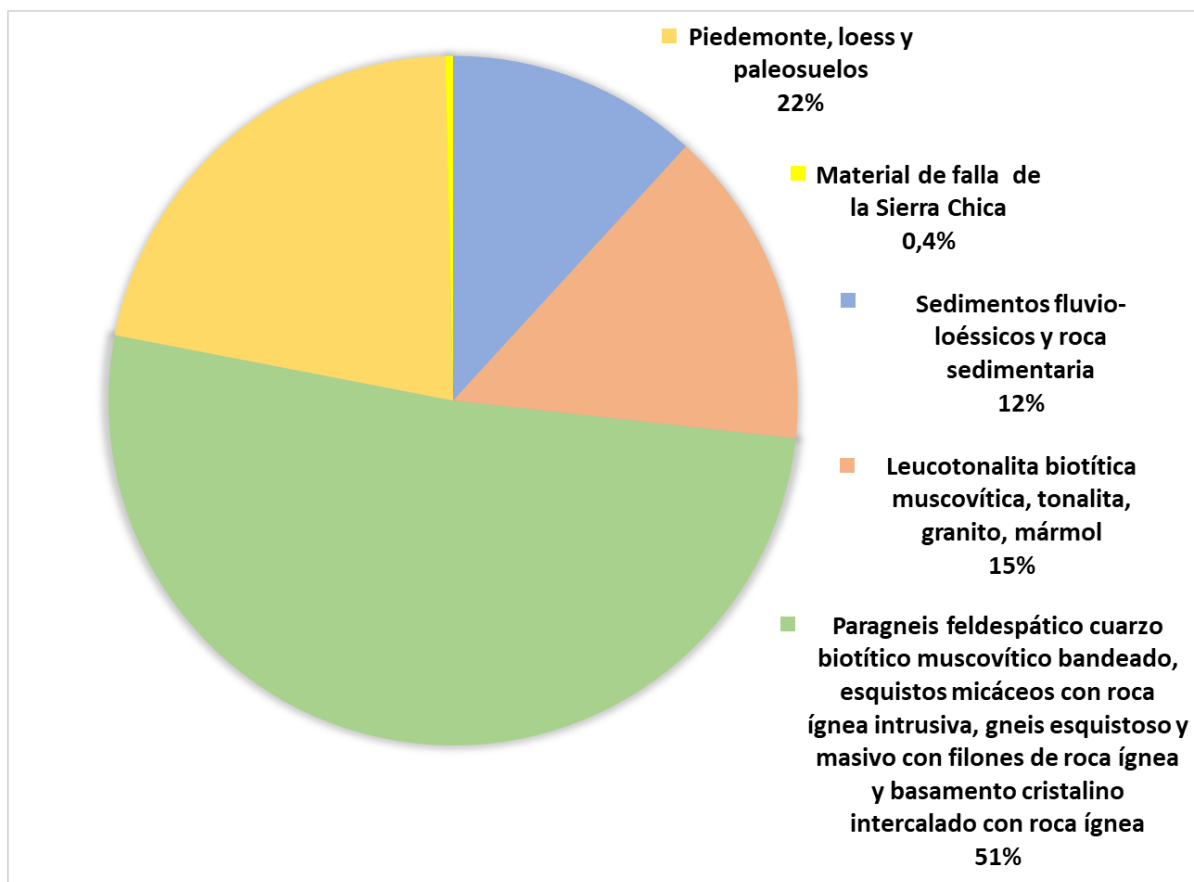


Figura 35. Superficie que ocupan dentro del área de estudio.

### 6.1.3. Suelos y vegetación

La vegetación es un elemento que influye en la conformación geomorfológica de montaña, protege las formaciones de ser erosionadas por el agua de escorrentía, regula el ciclo hidrológico, la distribución y velocidad del agua superficial, entre otras funciones. La pérdida de cobertura vegetal, principalmente de la vegetación autóctona, y los cambios en los usos del suelo se traducen en problemáticas ambientales como pérdida de biodiversidad, degradación del suelo y desequilibrio hidrológico, que redundan en pérdidas económicas. Los procesos de degradación del suelo impactan de manera directa en la explotación de los recursos hídricos reduciendo la

Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01
		Página 71 de 247	
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>			





productividad de la actividad agropecuaria, entre otros perjuicios. Para suelos y vegetación la metodología define un valor de ponderación “ $p_i$ ” igual a 1.

A continuación se calcula el valor de Calidad para la Conservación para cada elemento por separado; por un lado para suelos y por el otro para la vegetación.

- *Suelos*

Para obtener el factor Valor de Calidad para la Conservación del elemento suelo (VCs), el procedimiento consiste en correlacionar los valores de Índice de Productividad (IP) de cada unidad con un valor de calidad entre 1 y 5; se estiman las áreas que cada tipo de suelo ocupa dentro de cada unidad geomorfológica y se calcula el producto “ $v_i * p_i$ ”.

La correlación que se establece es la siguiente:

Tabla 21. Relación IP y VCs.

IP	$v_i$
0-20	1
20-40	2
40-60	3
60-80	4
80-100	5

Según un mapa de suelos de la Provincia de Córdoba<sup>3</sup>, la zona serrana se encuentra con unidades delimitadas en 1:500.000, presentando en casi toda el área de estudio suelos denominados EPLI-7, 9 y 17 con índices de productividad generalizados iguales a 4, 1 y 5 respectivamente. El sector de piedemonte oriental presenta suelos MNtc-29 con IP = 43; la unidad del Valle de Punilla se caracteriza por suelos MNen-67 con IP = 30 y la vertiente oriental de las Sierras Grandes EPLi-10 de IP = 3.

El informe que acompaña el mapa de suelos de Córdoba, brinda información más detallada en cuanto a las características de los suelos serranos, información que se describe a continuación y se aplica para realizar el mapa de suelos para la valoración del factor VCs.

La UG N°1, Sierras Grandes, se compone por suelos heterogéneos que se clasifican según:

<sup>3</sup> Mapas Córdoba. <https://www.mapascordoba.gob.ar/#/mapas>

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 72 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



- Suelos “de laderas escarpadas de pendientes fuertes” (>10%): ocupan un 50% con muy baja capacidad de retención de humedad, de espesor entre 70 y 50 cm, areno francos en superficie y subsuelo, moderadamente pobres en materia orgánica, muy pedregosos y de alta susceptibilidad a la erosión hídrica.
- Suelos “de laderas muy escarpadas”: ocupan un 20% también de pendientes mayores al 10% y con baja capacidad de retención; son de poco espesor con menos de 25 cm, areno francos en superficie y subsuelo, moderadamente pobres en materia orgánica, muy rocosos y de alta susceptibilidad a la erosión. Estas dos composiciones tienen un índice de productividad de 1.
- Suelos “de pequeñas pampas loésicas”: ocupan un 10% con muy baja capacidad de retención, suelo franco en superficie y subsuelo, con mediano espesor de entre 75 y 100 cm, pendiente suave -entre 1.1 y 3.5%-, moderada susceptibilidad a la erosión hídrica con un índice de productividad de 25.
- El 20% restante de la composición es roca.

Para la zona de estudio, en la unidad geomorfológica Sierras Grandes, las categorías -a, b, c, d- ocupan los siguientes porcentajes de la superficie total de la UG.

Tabla 22. VCs para la UG N°1.

UG	Suelo	Área (km <sup>2</sup> )	(%)	IP	v <sub>i</sub>	p <sub>i</sub>	VCs
Sierras Grandes	Laderas escarpadas y muy escarpadas	51,0	76,1	1	1	1	0,8
	Pequeñas pampas loésicas	2,6	3,9	25	2	1	0,1
	Roca	13,4	20,0	0	1	1	0,2
		<b>67,0</b>	<b>100,0</b>				<b>1,0</b>

En el Valle de Punilla se identifican cinco composiciones del suelo:

- “Lomas onduladas”: ocupan un 30%, con pendiente de 3.5% a 1.1%, de espesor mayor de 100 cm, franco limoso en superficie y subsuelo, con presencia de materia orgánica moderada y moderada susceptibilidad a la erosión hídrica. El índice de productividad es de 43.
- “Valles y terrazas”: ocupan un 20% del terreno, es un suelo bien drenado, profundo, franco en superficie y subsuelo, bien provisto de materia orgánica, con ligera susceptibilidad a la

Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01
		Página 73 de 247	
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>			



erosión hídrica y eólica, levemente inclinado (1%-0.5%). El índice de productividad es de 76.

- c) “Pendientes fuertemente ondulados”: ocupan un 20%, con pendientes entre 10% y 3.5%), profundos, areno franco en superficie y subsuelo, pobre en materia orgánica y altamente susceptible a la erosión hídrica. Para estos, se indica un índice de productividad del suelo de 8.
- d) “Suelos de laderas bajas fuertemente inclinados”: ocupan un 20%, presentan pendientes >10%, de poco espesor (entre 50 y 25 cm), areno franco en superficie y subsuelo, pobre en materia orgánica, muy pedregoso y con alta susceptibilidad a la erosión hídrica. El índice de productividad es de 1.
- e) Un 10% está compuesto por roca.

Los valores adoptados a la superficie comprendida por la UG Valle de Punilla se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 23. VCs para la UG N°2.

UG	Suelo	Área (km <sup>2</sup> )	(%)	IP	v <sub>i</sub>	p <sub>i</sub>	VCs
Valle de Punilla	Laderas bajas fuertemente inclinadas	18,1	26,2	1	1	1	0,3
	Pendientes fuertemente onduladas	36,1	52,3	8	1	1	0,5
	Lomas onduladas	6,2	9,0	43	2	1	0,2
	Valles y terrazas	1,7	2,5	76	4	1	0,1
	Roca	6,9	10,0	0	1	1	0,1
		<b>69,0</b>	<b>100,0</b>				<b>1,2</b>

La Sierra Chica se puede dividir en tres grandes áreas según características que las diferencian: las laderas occidentales, los pastizales de altura y las laderas orientales.

- a) Las laderas occidentales se componen por:
  - I. “Laderas y pendientes escarpadas”: 50% de suelos, con pendientes >10%, de baja capacidad de retención de humedad, con profundidad moderada entre 75 y 50 cm,

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 74 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



- areno franco en superficie y subsuelo, materia orgánica pobre, muy pedregoso y alta susceptibilidad a la erosión hídrica. Tiene un índice de productividad de 1.
- II. “Laderas muy escarpadas”: ocupan un 20%, con pendientes >10%, con muy baja retención de humedad, con poco espesor -menos de 25 cm-, areno franco y materia orgánica pobre y alta susceptibilidad a la erosión. Tiene un índice de productividad de 1.
- III. 30% compuesto por roca.
- b) El segundo sector de la Sierra Chica, reconocido como pastizales de altura, se conforma por cuatro suelos.
- I. “Laderas escarpadas”: ocupan un 50%, con pendientes >10%, con muy baja capacidad de retención de humedad, con espesor entre 75 y 50 cm, areno franco en superficie y subsuelo, moderada presencia de materia orgánica, muy rocoso, alta susceptibilidad a la erosión hídrica e índice de productividad de 1.
- II. “Laderas con exposición Sur”: ocupan un 30% de suelos, de pendientes fuertes (>10%), muy baja capacidad de retención, espesor entre 75 y 50 cm y franco arenoso en superficie y subsuelo, materia orgánica moderada, muy pedregoso y de alta susceptibilidad a la erosión hídrica. El índice de productividad para este suelo es de 3.
- III. “Vallecitos de altura de pendientes moderadas”: ocupan un 10%, con pendientes entre 1.1 y 3.5%); con reducida capacidad de retención hídrica, espesor mayor a 100 cm, franco en superficie y franco arcillo limoso en el subsuelo, bien provisto de materia orgánica y de alta susceptibilidad a la erosión hídrica. Tiene un índice de productividad de 25.
- IV. 10% de material rocoso.
- c) El sector de la pendiente oriental de la Sierra Chica se compone por cuatro tipos de suelos.
- I. “Laderas escarpadas de pendientes fuertes”: ocupan un 40%, de pendientes mayores al 10%, de baja capacidad de retención, de espesor entre 75 y 50 cm, areno franco en superficie y subsuelo, moderadamente pobre en materia orgánica, muy pedregoso y altamente susceptible a la erosión hídrica. Con un índice de productividad del suelo de 1.
- II. “Laderas muy colinadas”: ocupan un 30%, con pendientes >10%, de muy escasa capacidad de retención, muy poco espesor (menos de 25 cm), areno franco en

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021	
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023	
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01	<b>Página 75 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>		



superficie y subsuelo, pobre en materia orgánica y alta susceptibilidad a la erosión. Con un índice de 1.

III. “Vallecitos”: ocupan un 10%, cuentan con mejor retención de humedad, de espesores profundos (más de 100 cm), franco en superficie y subsuelo, bien provisto de materia orgánica, moderada susceptibilidad a la erosión hídrica y pendientes entre 1.5 y 3.5%.. El índice de productividad es de 45.

IV. 20% del suelo es rocoso.

Para esta UG se promediaron los valores de IP para obtener un valor característico que comprende las tres áreas mencionadas.

Los resultados obtenidos son los siguientes.

Tabla 24. VCs para las UG N°3,4 y 5.

UG	Suelo	Área (km <sup>2</sup> )	(%)	IP	v <sub>i</sub>	p <sub>i</sub>	VCs
Vertiente Occidental SC	Laderas escarpadas y muy escarpadas	33,0	69,9	1	1	1	0,7
	Roca	14,2	30,0	0	1	1	0,3
		<b>47,2</b>	<b>100,0</b>				<b>1,0</b>
Sector Central SC	Laderas escarpadas y laderas con exposición sur	47,4	87,6	2	1	1	0,9
	Vallecitos de altura	1,2	2,2	25	2	1	0,0
	Roca	5,4	10,0	0	1	1	0,1
	<b>54,1</b>	<b>100,0</b>				<b>1,0</b>	
Vertiente Oriental SC	Laderas escarpadas y laderas muy colindadas	174,3	75,5	1	1	1	0,8
	Vallecitos	10,2	4,4	45	3	1	0,1
	Roca	46,2	20,0	0	1	1	0,2
	<b>231,0</b>	<b>100,0</b>				<b>1,1</b>	

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 76 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



La UG N°6, el piedemonte oriental, está compuesto por cuatro suelos.

- “Suelos de pendientes medias a bajas”: ocupan un 40%, con pendientes entre 3.5 y 1.1%, profundo, franco en superficie y subsuelo, con presencia moderada de materia orgánica; moderada capacidad de intercambio, ligera erosión hídrica. Índice de productividad igual a 56.
- “Lomas onduladas”: ocupan un 30%, de pendientes entre 10 y 3.5%, profundos, franco en superficie y subsuelo, bien provisto de materia orgánica, moderada, ligera erosión hídrica. Índice de productividad de 41.
- “Lomas onduladas”: ocupan un 20%, de pendientes entre 10 y 3.5% pero superficiales (< 25 cm) en un 20%, con baja capacidad de retención de humedad, pobre en materia orgánica, pedregoso y de alta susceptibilidad a la erosión hídrica. Se indica un índice de productividad de 5.
- “Suelos de bajos”: ocupan un 10%, de espesor profundo, franco en superficie y subsuelo, con presencia moderada de materia orgánica, de ligeras pendientes (1-0.5%), ligera susceptibilidad a la erosión hídrica y eólica. Índice de productividad de 72.

Tabla 25. VCs para la UG N°6.

UG	Suelo	Área (km <sup>2</sup> )	%	IP	v <sub>i</sub>	p <sub>i</sub>	VCs
Piedemonte	Lomas onduladas	39,2	55,2	56	3	1	1,7
	De pendientes medias a bajas	23,1	32,5	23	2	1	0,7
	De bajos	8,7	12,3	72	4	1	0,5
		<b>71,0</b>	<b>100,0</b>				<b>2,8</b>

La distribución de los diferentes suelos que cubren la zona de estudio se observa en el siguiente mapa. La delimitación de las áreas se realiza en base a los cambios de pendientes del terreno según la categorización descrita: pendientes entre 0,5%-1,0%; 1,1%-3,5%; 3,5%-10% y pendientes mayores al 10%. El mapa de pendientes se realiza en base al DEM 30 regional reclasificado para las categorías descritas.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 77 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

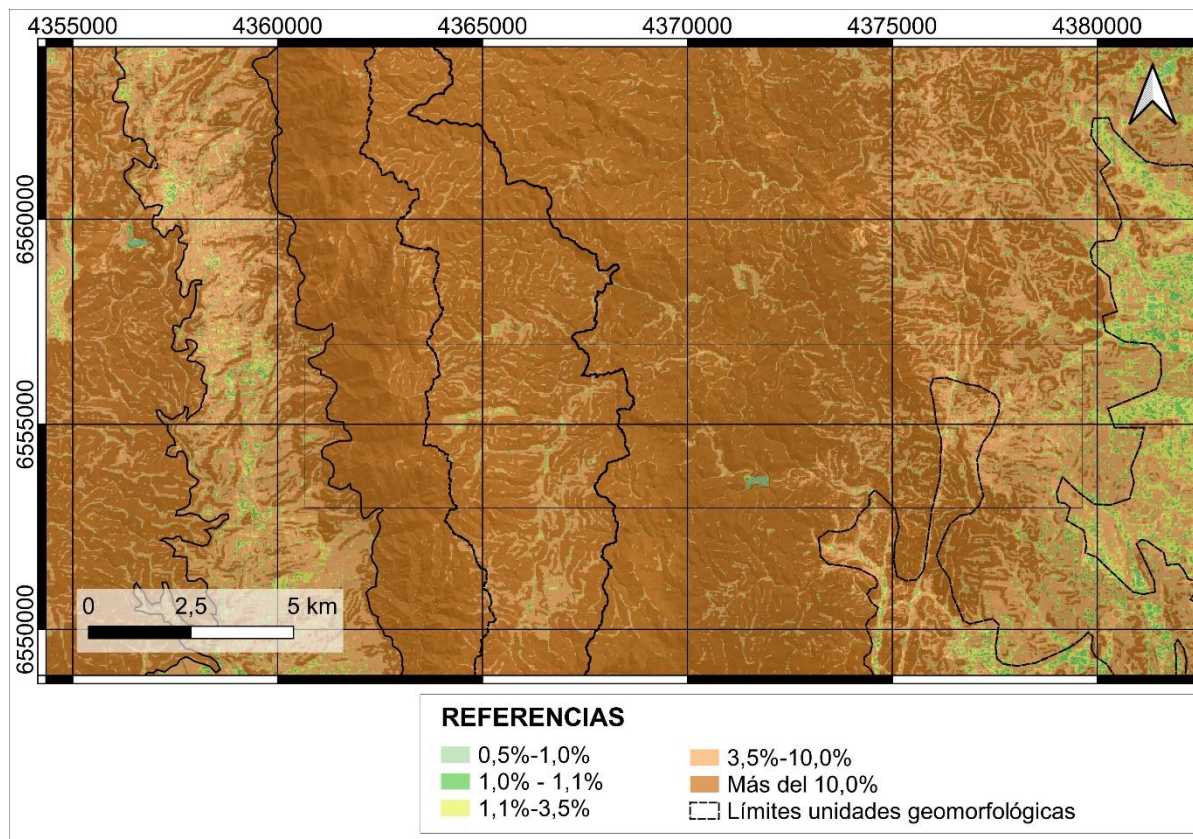


Figura 36. Coberturas del suelo en función de las pendientes del terreno.

- Vegetación

La flora propia de la Sierra Chica se clasifica en función de las altitudes en las que comienzan a aparecer, según el siguiente detalle:

- I. Bosque de llanura pedemontana: localizado por debajo de los 750 m s.n.m., dominado por quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho blanco*). En su mayor parte ha sido degradado a bosques secundarios o espinillares por acción antrópica, con un marcado incremento de espinillo (*Acacia caven*), aroma (*A. atramentaria*), garabato (*A. praecox*) y algarrobo (*Prosopis spp.*).
- II. Bosque serrano: se extiende entre los 700 y 1150 m s.n.m. sobre un relieve de laderas suaves y/o abruptas. Se trata de un bosque originalmente denso, dominado por molle (*Lithraea ternifolia*) con presencia de tala (*Celtis tala*) y coco (*Fagara coco*). Por la acción antrópica, la fisonomía actual es la de un bosque abierto a semicerrado entre

Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01
		Página 78 de 247	
<p><b>DOCUMENTO CONTROLADO</b>  <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b>  <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b></p>			



un 30 a 60% de cobertura, pudiendo alcanzar hasta el 70% en algunas quebradas y valles protegidos.

- III. Arbustal: se ubica por encima del bosque, entre los 1000 y 1100 m s.n.m. Las especies dominantes incluyen al romerillo (*Heterotalamus alienus*), chilca (*Eupatorium buniifolium*), *Salvia* spp., *Baccharis articulata*, *Eryngium* spp. y *Colletia spinosissima*. En muchos lugares el arbustal reemplaza al bosque serrano como consecuencia de incendios y/o por sobrepastoreo.
- IV. Pastizal de altura: se encuentra en cumbres y planicies por encima de los 1100 m s.n.m. Dominan las gramíneas *Festuca hieronymi*, *Stipa tenuissima*, *S. trichotoma*, *Paspalum dilatatum* y *P. notatum*.

Teniendo en cuenta lo anterior, la Calidad para la Conservación de la vegetación se valora en función del porcentaje de cobertura con respecto al territorio total, el carácter natural, clima, sustrato y presencia de vegetación autóctona e implantada.

Se establece la siguiente escala:

- Bosque serrano: molle, tala y coco. Y bosque de llanura pedemontana: quebracho blanco, espinillo, aramo, garabato y algarrobo. Se valora con 5.
- Arbustal: romerillo, chilca, etc. Se valora con 4.
- Pastizal de altura: gramíneas. Se valoran con 3.
- Cultivos agrícolas: se trata de formaciones de origen antrópico que generan cambios en los usos del suelo de una zona del territorio. Se valora con 2.
- Vegetación exótica: especies arbóreas introducidas como el siempreverde o ligustro *Ligustrum lucidum*. Se valora con 1.

Luego, para calcular la superficie que ocupan las diferentes vegetaciones en cada UG, se trabaja sobre el mapa de Cobertura y Uso del Suelo 2020-2021 con una Unidad Mínima Mapeable de 1 ha.

La Tabla 26 resume el cálculo de VCv y el mapa de la Figura 37 muestra la distribución espacial de la vegetación en la extensión del área de estudio.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 79 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	





Tabla 26. Valores VCv para cada UG.

UG	Vegetación	Área (km <sup>2</sup> )	(%)	p <sub>i</sub>	v <sub>i</sub>	VCv
Sierras Grandes	Bosque serrano	19,0	32,2	1	5	1,6
	Arbustal	31,1	52,7	1	4	2,1
	Pastizal de altura	2,4	4,1	1	3	0,1
	Cultivos agrícolas	6,5	11,0	1	2	0,2
	Vegetación exótica	0,0	0,0	1	1	0,0
	Otros <sup>4</sup>	8,0	-	-	-	-
	Área UG-Otros=	<b>59,0</b>	<b>100,0</b>			<b>4,1</b>
Valle de Punilla	Bosque serrano	22,3	54,4	1	5	2,7
	Arbustal	7,8	19,0	1	4	0,8
	Pastizal de altura	3,4	8,3	1	3	0,2
	Cultivos agrícolas	7,5	18,3	1	2	0,4
	Vegetación exótica	0,0	0,0	1	1	0,0
	Otros	28,0	-	-	-	-
	Área UG-Otros=	<b>41,0</b>	<b>100,0</b>			<b>4,1</b>
Vertiente Occidental SC	Bosque serrano	21,0	41,2	1	5	2,1
	Arbustal	17,0	33,4	1	4	1,3
	Pastizal de altura	10,5	20,6	1	3	0,6
	Cultivos agrícolas	2,1	4,1	1	2	0,1
	Vegetación exótica	0,4	0,7	1	1	0,0
	Otros	1,6	-	-	-	-
	Área UG-Otros=	<b>50,9</b>	<b>100,0</b>			<b>4,1</b>
Sector Central SC	Bosque serrano	1,1	2,0	1	5	0,1
	Arbustal	22,4	42,2	1	4	1,7
	Pastizal de altura	29,6	55,7	1	3	1,7
	Cultivos agrícolas	0,1	0,2	1	2	0,0
	Vegetación exótica	0,0	0,0	1	1	0,0
	Otros	1,0	-	-	-	-
	Área UG-Otros=	<b>53,1</b>	<b>100,0</b>			<b>3,5</b>
Vertiente Oriental SC	Bosque serrano	118,0	58,4	1	5	2,9
	Arbustal	47,0	23,3	1	4	0,9
	Pastizal de altura	21,3	10,6	1	3	0,3
	Cultivos agrícolas	16,3	8,1	1	2	0,2
	Vegetación exótica	0,3	0,2	1	1	0,0
	Otros	27,0	-	-	-	-
	Área UG-Otros=	<b>202,0</b>	<b>100,0</b>			<b>4,3</b>

<sup>4</sup> Urbanizaciones, redes viales, cuerpos de agua, etc..

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 80 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

Piedemonte oriental	Bosque serrano	15,8	29,8	1	5	1,5
	Arbustal	0,8	1,5	1	4	0,1
	Pastizal de altura	0,1	0,2	1	3	0,0
	Cultivos agrícolas	40,8	76,9	1	2	1,5
	Vegetación exótica	0,3	0,6	1	1	0,0
	Otros	13,2	-	-	-	-
Área UG-Otros=		<b>57,8</b>	<b>100,0</b>	<b>3,1</b>		

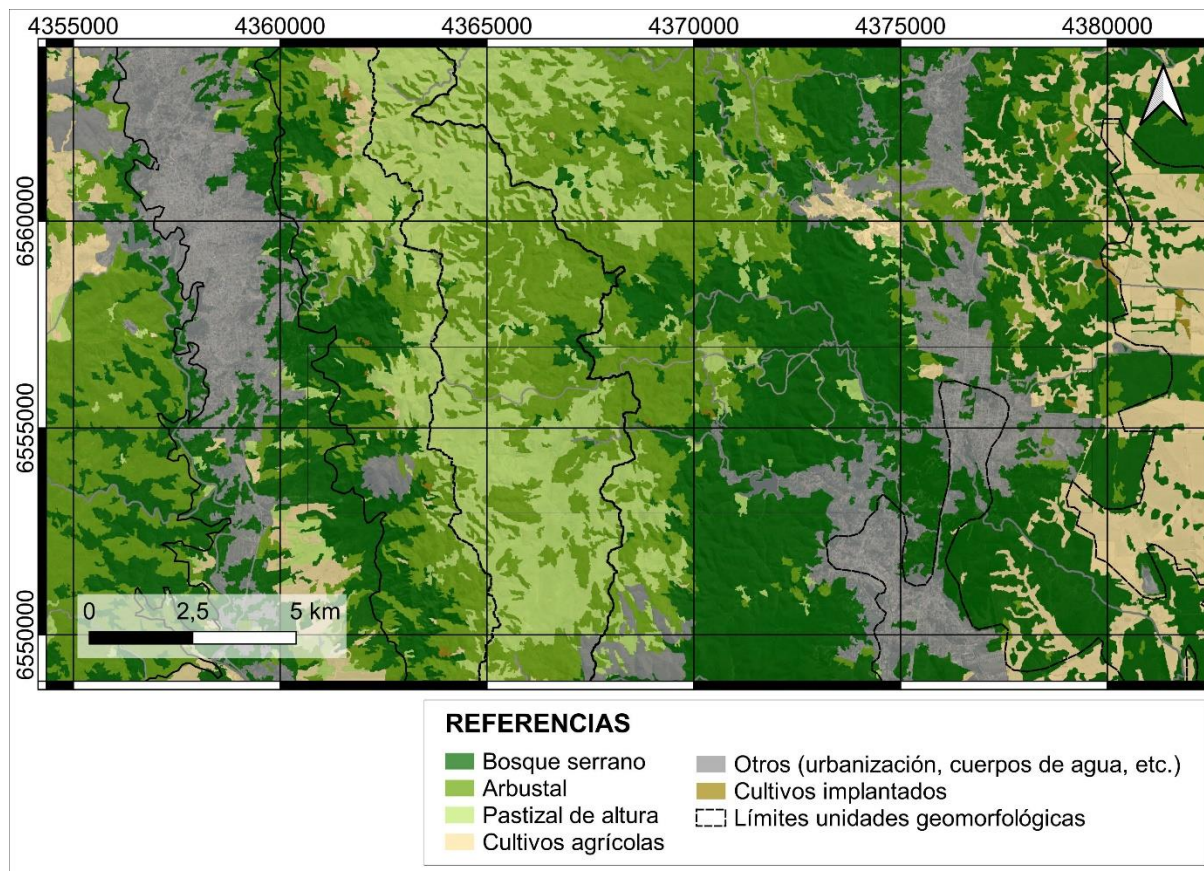


Figura 37. Mapa de coberturas para la determinación de VCv.

#### 6.1.4. Aguas superficiales y subterráneas

El ciclo hidrológico está regulado por tiempos naturales, aunque esos lapsos se ven alterados por los cambios en el entorno provocados por el ser humano. Teniendo en cuenta que cuanto mayor es la pendiente, mayor es la energía disponible en un flujo de agua, la presencia de vegetación es un elemento clave para disminuir la velocidad de escorrentía y así lograr que una mayor cantidad de agua se infiltre en el suelo. Evitar que la escorrentía viaje rápidamente pendiente abajo es una condición deseada ya que disminuye la ocurrencia de inundaciones,

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 81 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA	



degradación del suelo, etc.. Existen otros mecanismos naturales que regulan el ciclo hidrológico como el almacenamiento de agua en el suelo, la escorrentía subterránea, la convergencia de flujos de agua en corrientes mayores (ríos, arroyos, lagos, etc.) y la evapotranspiración de la vegetación.

La vulnerabilidad de las aguas subterráneas se analiza mediante la Metodología de Foster & Hirata (1999). Los autores sostienen que para la preservación del agua subterránea se debe procurar protegerla de potenciales contaminantes. Para tal preservación es necesario conocer los grados de vulnerabilidad de un acuífero de ser contaminado, definiendo este tipo de vulnerabilidad como la probabilidad de que el agua sea afectada con agentes contaminantes de valores superiores a los recomendados por los organismos reguladores. La vulnerabilidad de los acuíferos, además del potencial de contaminación de los mismos, depende de la permeabilidad de las formaciones geológicas y de la presencia de acuíferos de características importantes dentro de la unidad.

La siguiente etapa consiste en estudiar y ponderar cada una de las variables de la Metodología de Vulnerabilidad de Acuíferos para las seis unidades geomorfológicas identificadas en la zona de estudio.

Para el análisis de la profundidad del nivel freático se recurre a la publicación “Aguas Subterráneas de la Provincia de Córdoba”, donde los autores explican que las sierras de Córdoba forman una gran unidad que por su configuración de bloques y su altitud se constituye como “receptora y emisora de agua, con incidencia fundamental en el sistema hidrológico subterráneo”. La importancia radica en que los ríos y arroyos que discurren por las sierras “se infiltran al salir de la sierra y alimentan los acuíferos de piedemonte y llanuras onduladas cercanas, con aguas de muy baja salinidad”. Blarasin. (2014: 21)

Las principales formaciones hidrogeológicas en la zona de interés para este estudio son: el acuífero en medio fracturado de ambiente serrano, el acuífero en medio sedimentario clástico en valles intermontanos, el acuífero en pampa de altura y el acuífero de llanura. El primero cumple un papel relevante en el sistema porque toma el agua de precipitación que luego viaja hacia los valles y se infiltra en su mayoría en el pedemonte conformando el sistema hidrológico subterráneo de la llanura.

La primera formación se presenta en las zonas de serranías, donde el basamento presenta fracturas y sistemas de diaclasas que implican una permeabilidad en general baja, pero puede variar en función del fracturamiento. Constituye un sistema de acuífero libre, de pobre capacidad

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 82 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

para conducir el fluido, pero de importancia en la dinámica hidrológica. Posee profundidades variables con un promedio de 50 m y los caudales erogados son pequeños, en general menores a 5 m<sup>3</sup>/h.

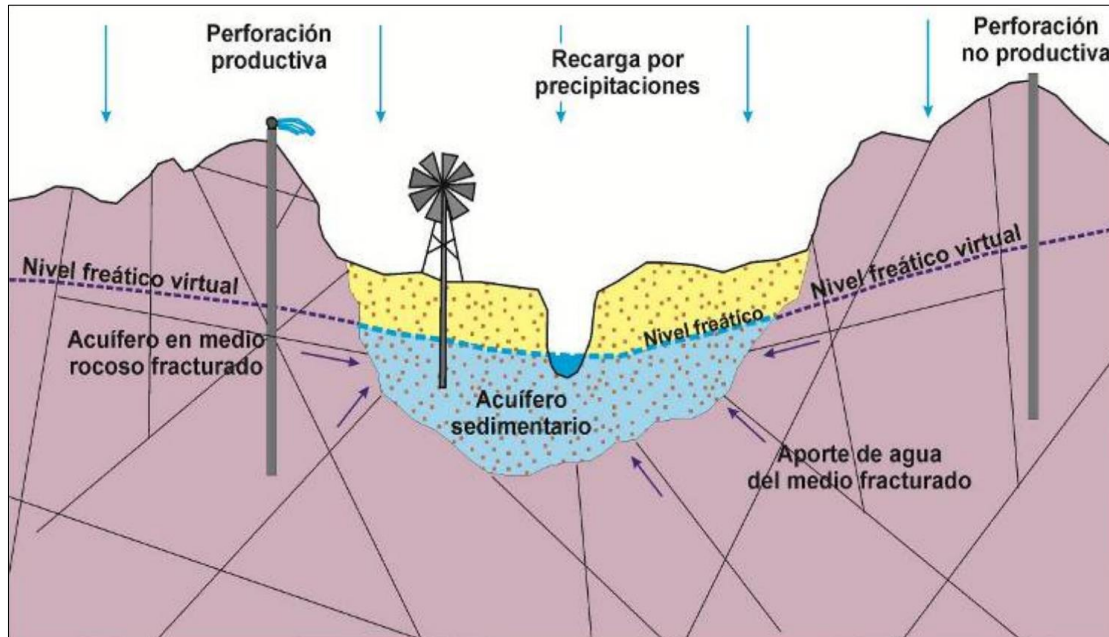


Figura 38. Esquema de relaciones hidrogeológicas entre medio fracturado y medio poroso clástico, en valles serranos. Fuente: Aguas subterráneas de la Provincia de Córdoba.

La segunda formación se ubica en las zonas de valles entre serranías, los acuíferos se conforman por rellenos de edad cuaternaria. Se llenan por las precipitaciones locales y también por las interceptadas en su entorno. Los valles son de tamaño variable, siendo algunos de gran extensión como el Valle de Punilla y unos cuantos de poca dimensión. En base a esta heterogeneidad y otras variables es que el espesor de los rellenos puede variar desde centímetros a decenas de metros, variando también la granulometría y la conductividad eléctrica (K). “Los valles intermontanos, Calamuchita, Punilla, San Pedro Norte, Avellaneda, etc., en general presentan una cubierta sedimentaria que no supera los 100 m de profundidad hasta alcanzar el basamento hidrogeológico constituido en algunos casos por sedimentitas del Neógeno, Carbonífero, Cretácico o basamento ígneo-metamórfico. En los más grandes se encuentran acuíferos semiconfinados y confinados con rendimientos variados, desde 10 m<sup>3</sup>/h hasta 150 m<sup>3</sup>/h. La salinidad es en general baja pero aparece el flúor como elemento limitante”. Blarasin. (2014:25)

Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01
		Página 83 de 247	
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>			



La tercera formación se origina en la zona de las pampas de altura, “son de escasa significación areal y poco espesor saturado, en general están compuestos por sedimentos arenosos muy finos limosos de baja conductividad hidráulica”. Blarasin. (2014:25)

La cuarta se da en la llanura oriental de las sierras, zona que tiene mayor potencialidad hidrogeológica que el sistema fracturado con importantes reservas en el subsuelo. Se caracteriza porque la profundidad del nivel freático desciende gradualmente desde el piedemonte hacia el este. Se identifican acuíferos libres así como diversos acuíferos confinados ubicados a distintas profundidades y, por ende, con distintos grados de confinamiento. Los acuíferos libres están conformados por sedimentos cuaternarios de origen eólico y fluvial principalmente; presentan espesores de pocos metros en las cercanías al basamento serrano y de hasta entre 80 y 100 (m) en la llanura. Los acuíferos confinados se hallan generalmente debajo de los 80 a 100 (m) de profundidad, presentan sedimentos arenosos y areno-gravosos, con techos y bases de materiales más impermeables que le otorgan confinamiento. Más específicamente en la llanura comprendida dentro del área de interés para este estudio se hallan:

- Pedemonte y áreas fuertemente onduladas: es una faja de entre 10 a 50 km de ancho, con basamento próximo a la superficie (1 a 40 m de profundidad) y afloraciones, por encima sedimentos aluviales-coluviales. Las llanuras fuertemente onduladas adosadas al pedemonte poseen el basamento más profundo (hasta aproximadamente 100 m) mayor espesor de cubierta sedimentaria.

Mediante la aplicación de la Metodología de Foster & Hirata, los valores que se obtienen para las unidades geomorfológicas son:

Tabla 27. Resultados parámetros GOD.

UG	Tipo	G	Profundidad	D	Sustrato	O
<b>Sierras Grandes</b>	Libre	1,0	50 (m)	0,5	Basamento (roca ígnea, metamórfica)	0,6
<b>Valle de Punilla</b>	Confinado	0,2	Hasta 100 (m)	0,5	Psefitas, psamitas-pelitas (conglomerados y brechas)	0,4
	Semi-confinado	0,4				
<b>Sector Central SC</b>	Semi-confinado	0,4	50 (m)	0,5	Arenosos muy finos limosos	0,5
<b>Vertientes Occidental y Oriental SC</b>	Libre	1,0	50 (m)	0,5	Basamento (roca ígnea, metamórfica)	0,6
<b>Piedemonte oriental</b>	Libre	1,0	Entre 1-40 (m)	0,7	Fluvio-eólicos	0,6
	Confinado	0,2				

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 84 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



Como propone la metodología de Centeno, la vulnerabilidad de los acuíferos se pondera con un “ $p_i$ ” igual a 2, con el que se obtienen los siguientes Valores de Calidad para la Conservación del elemento agua (VCa) (v. Tabla 28).

Tabla 28. Valores VCa para cada UG.

UG	G*O*D	Vi	Pi	VCa
<b>Sierras Grandes</b>	0,300	3	2	6
<b>Valle de Punilla</b>	0,040	1	2	2
	0,080	1	2	2
<b>Vertiente Occidental SC</b>	0,300	3	2	6
<b>Sector Central SC</b>	0,100	2	2	4
<b>Vertiente Oriental SC</b>	0,300	3	2	6
<b>Piedemonte oriental</b>	0,420	3	2	6
	0,084	1	2	2

#### 6.1.5. Paisaje

El paisaje de montaña se caracteriza por su relieve irregular con pendientes importantes y cuyo origen se deriva de dos procesos: a) formación de valles conformados por relleno que fue trasladado por la gravedad, aporte coluvional o trasladado por el agua, factor aluvional, a zonas más bajas y b) fajas aluviales que coinciden con los ríos y arroyos.

Más específicamente, el aporte coluvional es el material que se traslada por acción de la gravedad desde el relieve más alto a las zonas de menor altura. El aporte aluvional es el material arrastrado por una corriente de agua, depositando el material más grueso en la parte alta de la pendiente y el material más fino al final del recorrido.

Las características de estas formaciones de relieve irregular hacen que estas zonas se destinen al turismo y como consecuencia se transformen áreas extensas ocupadas con viviendas y dedicadas a actividades recreativas, constituyendo el principal problema para el paisaje por la intervención del medio natural con modificación de cauces naturales, intervención de taludes rocosos, etc.

La metodología para determinar el valor de calidad para la conservación del paisaje (VCp) consiste en otorgar valores a la calidad, según el valor intrínseco visual, y a la fragilidad, según “el riesgo de deterioro como consecuencia de la implantación de actividades humanas” Centeno. (s.f.. 60), de los siguientes factores:

- Complejidad topográfica y relieve
- Desnivel

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 85 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



- Vegetación y usos del suelo
- Masas de agua
- Acción humana
- Accesibilidad
- Incidencia visual

#### 6.1.5.1. Complejidad topográfica y relieve

En cuanto a la complejidad topográfica y relieve (CTyR), la metodología propone cinco categorías y puntuaciones de complejidad (C) y fragilidad (F) que serán adaptadas a las condiciones de la zona de estudio. El proceso para adaptar las categorías consiste en tomar el mayor valor de la Desviación Estándar (DE) de los gradientes medios de las distintas UG y dividirlo por cinco para obtener el intervalo de los rangos.

El valor intrínseco visual del relieve es mayor cuanto mayor es la DE del gradiente medio, es decir, a mayor complejidad; y menor cuando se trate de una topografía más uniforme. Por su parte, la fragilidad disminuye al aumentar la DE porque el terreno se vuelve menos accesible y por ende menos explotable por las personas.

Tomando como base los resultados de la DE media de los gradientes a través de la herramienta “estadísticas de zona”, se construye la Tabla 29. La mayor DE es del 19,6% y corresponde a la UG N°3, Vertiente Occidental de Sierra Chica. Al dividir ese valor por cinco se conforman los 5 intervalos de la tabla mencionada.

La Tabla 30 resume los valores de Calidad y Fragilidad asignados a cada UG según la DE que presenta cada una.

Tabla 29. Rangos adaptados para la zona de estudio.

DE (%)	C	F
0 - 3,9	1	5
3,9 - 7,8	2	4
7,8 - 11,7	3	3
11,7 - 15,6	4	2
15,6 - 19,6	5	1

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 86 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



Tabla 30. Valores C y F asignados a cada UG.

UG	DE (%)	C	F
1	12,1	4	2
2	9,3	3	3
3	19,6	5	1
4	11,9	4	2
5	14,8	4	2
6	4,0	2	4

#### 6.1.5.2. Desnivel

Para el segundo parámetro, el desnivel (D), entendido como la diferencia entre un punto más alto y uno más bajo en metros, al igual que el proceso para determinar las categorías del factor anterior se dividió el mayor valor por cinco.

El mayor desnivel está asociado a la unidad geomorfológica número cinco y corresponde a un valor de 963 metros. En función de ese cálculo, los rangos son de 192 metros.

La Tabla 31 resume las categorías adoptadas para el caso de estudio y la Tabla 32 resume los valores asignados de calidad y fragilidad.

Tabla 31. Rangos C y F adoptados.

Desnivel (m)	C	F
0 - 192	1	1
192 - 384	2	2
384 - 576	3	3
576 - 768	4	4
768 - 963	5	5

Tabla 32. Valores asignados a cada UG.

UG	Desnivel (m)	C	F
1	260	2	2
2	420	3	3
3	792	5	5
4	652	4	4
5	963	5	5
6	220	2	2

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 87 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	





### 6.1.5.3. Vegetación y usos del suelo

Para el parámetro correspondiente a la vegetación y usos del suelo (VyS), los valores recomendados son:

Tabla 33. Valores C y F para vegetación y usos del suelo.

Vegetación y usos del suelo	C	F
Agricultura extensiva, pastizales	1	1
Predominancia de cultivos con presencia de vegetación autóctona	2	2
Predominancia de vegetación nativa dispersa	3	5
Monte autóctono	4	3
Monte autóctono denso	5	2

La unidad número uno, se caracteriza predominantemente por ser un ecosistema de monte autóctono propio de las Sierras de Córdoba poco denso por tratarse de la vertiente oriental y no del cordón central de Sierras Grandes. El Valle de Punilla, UG 2, se encuentra en parte urbanizado y en parte cultivado con presencia de vegetación autóctona en baja cantidad. En la Vertiente Occidental de SC predominan en más de un 50% de la superficie el bosque autóctono denso y el arbustal, al igual que la Vertiente Oriental. En el Sector Central predomina el pastizal de altura. Por último, en la sexta unidad se identifican áreas de cultivo extensivo que ocupan casi el 80% de la misma. La siguiente tabla resume los valores asignados a cada UG según la descripción realizada.

Tabla 34. Valores asignados a cada UG.

UG	Vegetación y usos del suelo	C	F
1	Monte autóctono	4	3
2	Predominancia de cultivos con presencia de vegetación autóctona	2	2
3	Monte autóctono denso	5	2
4	Pastizales	1	1
5	Monte autóctono denso	5	2
6	Agricultura extensiva	1	1

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 88 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

#### 6.1.5.4. Masas de agua

La presencia de masas de agua (A), elemento de gran valor paisajístico, se valora según la siguiente clasificación adaptada la zona de estudio. El criterio se basa en conocer la cantidad de kilómetros de masas de agua (río, arroyos, etc.) con la que cuenta cada UG.

Tabla 35. Rangos C y F para la presencia de masas de agua.

Cursos de agua (km)	C	F
0 – 33,5	1	1
33,5 – 67,1	2	2
67,1 – 100,6	3	3
100,6 – 134,1	4	4
134,1 – 167,7	5	5

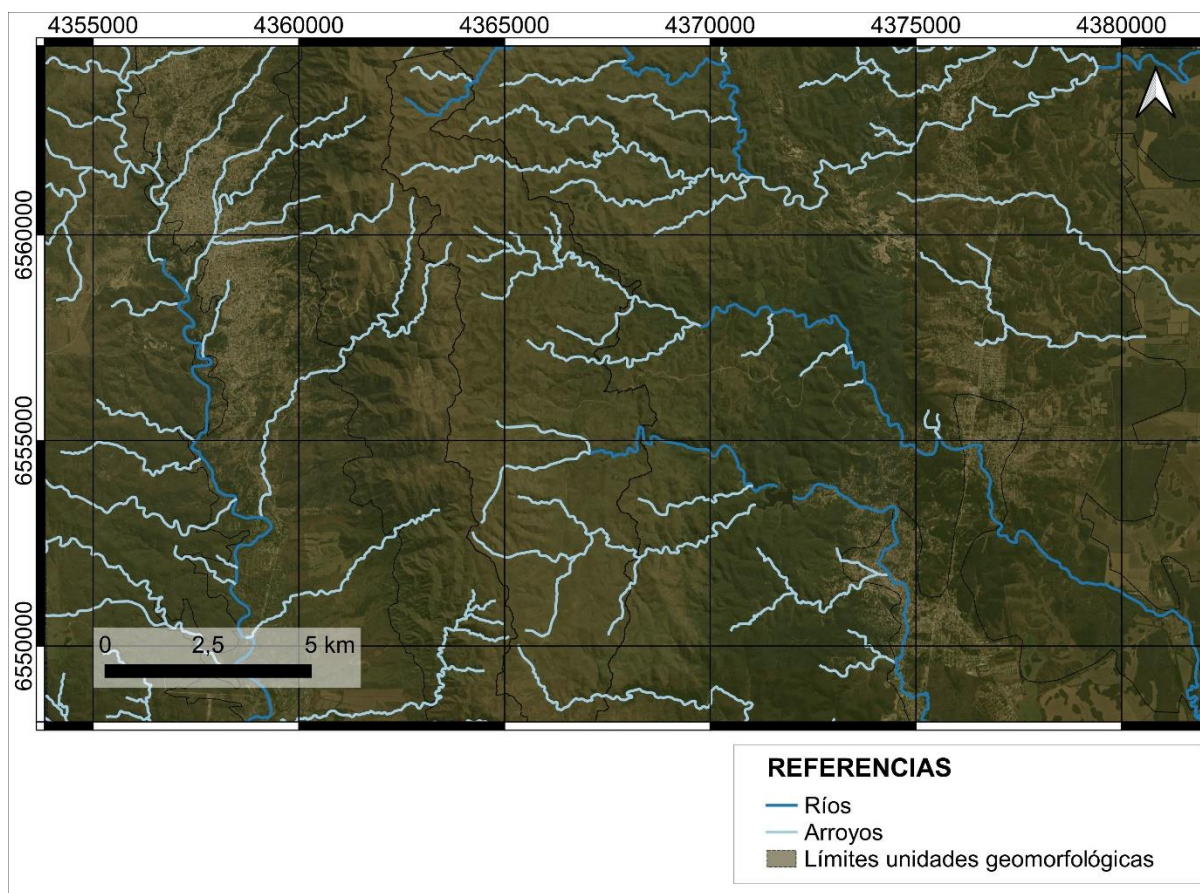


Figura 39. Mapa de cursos de agua.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 89 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



La unidad con mayor superficie cubierta por cursos naturales es la unidad 5 “Vertiente Oriental”, con 167,75 (km). Este valor se emplea para definir los rangos, dividiéndolo por cinco. En cuanto a la unidad número 5, además del dato anterior, cabe destacar que casi 45 (km) del total corresponden a ríos: río Salsipuedes, Ceballos, Colanchanga y río de la Huerta. Este aspecto le otorga mayor valor de calidad respecto al resto de las UG. En este sentido, la unidad más desfavorable es la UG 3 porque no tiene ríos en su extensión, únicamente cursos de menor relevancia como arroyos.

Tabla 36. Valores C y F para la presencia de masas de agua.

UG	(km)	C	F
1	69,1	3	3
2	67,3	3	3
3	30,88	1	1
4	50,74	2	2
5	167,75	5	5
6	22,56	1	1

#### 6.1.5.5. Acción antrópica

La clasificación de la acción humana (AH) depende de la existencia de urbanizaciones y sus variables como la distribución y la densidad, además de la presencia de industrias, canteras y vertederos.

Tabla 37. Valoración C y F recomendados para la acción humana.

Descripción	C	F
Zonas urbanas industriales	1	1
Zonas semiurbanas industriales, presencia de canteras y vertederos	2	2
Zona rural de edificación abundante, urbanizaciones de alta densidad	3	3
Zona rural de edificación dispersa y urbanizaciones de baja densidad	4	4
Construcciones dispersas, escasas e inexistentes	5	5

La zona de la unidad Sierras Grandes presenta un área considerable de construcciones y se destaca la existencia de yacimientos del grupo Valle Hermoso-San Antonio donde se extrae material carbonático para el uso en industrias de la pintura, papel, vidrio, entre otras; se le asigna un valor de 2. El Valle de Punilla presenta urbanización de media densidad; se le asigna un valor igual a 3. La Vertiente Occidental de Sierras Chicas, presenta escasa a inexistente urbanización

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 90 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



y se extienden grandes reservas naturales; se le asignan valores C y F de 5. En el Sector Central hay presencia de yacimientos de vermiculita, talco y mica que se localizan en las proximidades del cerro Sapo con acceso mediante el camino a El Cuadrado; se pondera con un valor de 2. Sobre la Vertiente Oriental se desarrollan urbanizaciones como Rio Ceballos, de alta densidad; se le asigna un valor de 3. El Piedemonte califica como zona rural que presenta edificaciones dispersas y se le asigna un valor de 4.

#### 6.1.5.6. Accesibilidad

El parámetro accesibilidad (Acc.) se evalúa en función de la facilidad para acceder a la región a través de los caminos existentes, como se ilustra con el mapa de la Figura 40 donde se demarcan los distintos caminos que se extienden por la zona de estudio y diferenciados según su carácter de primarios, secundarios, terciarios.

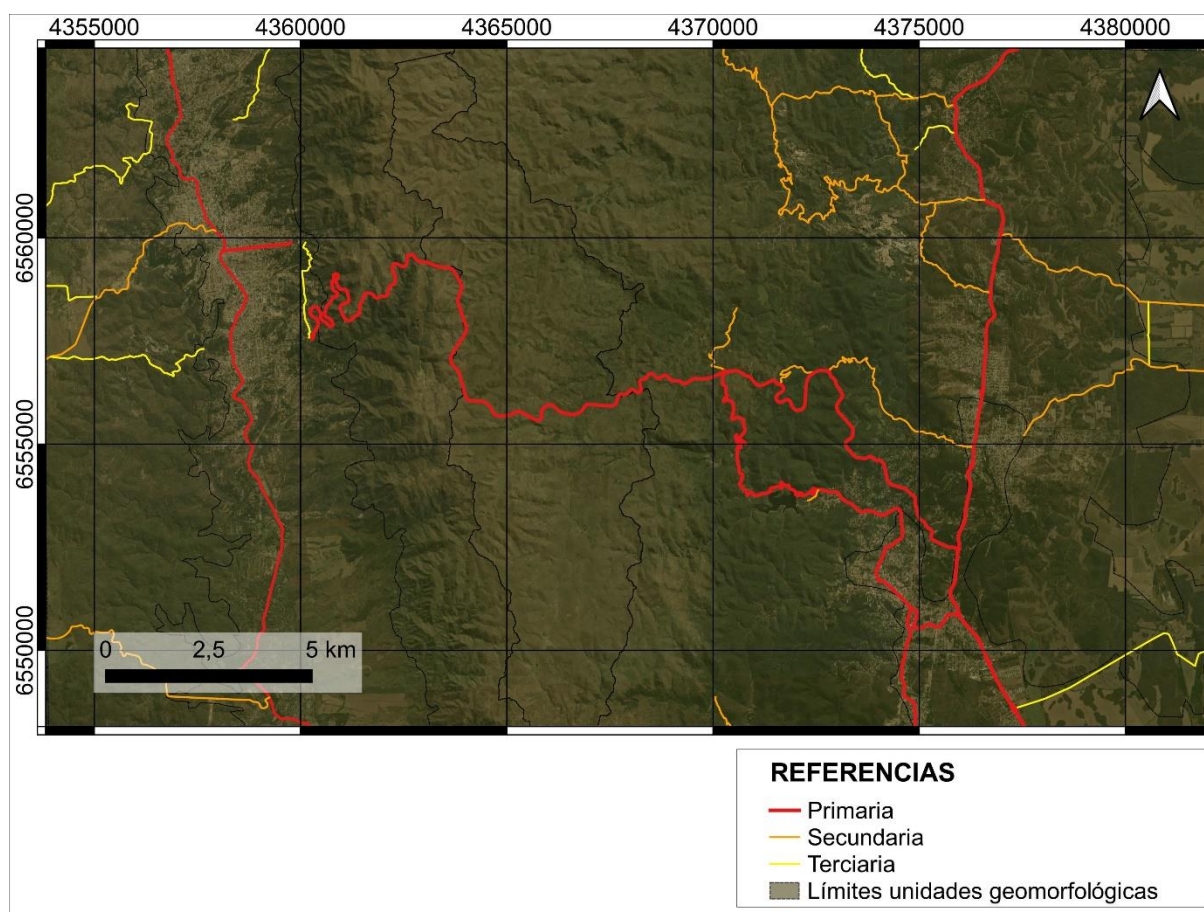


Figura 40. Red Vial.

Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021	
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023	
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01	Página 91 de 247
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>				



La primera unidad cuenta principalmente con la existencia de caminos secundarios y, en menor medida, caminos terciarios; se le asigna un valor de fragilidad igual a 4. El Valle de Punilla está marcado por la existencia de la Ruta Nacional 38 de orientación N-S que atraviesa el valle; se puntúa con un valor de 5. A lo largo de la Sierra Chica se extiende la Ruta Provincial (RP) E-98, de carácter principal como también la RP E-53 al este. Las unidades 3 y 4 cuentan únicamente con la presencia de la RP E-98, asignándoles un valor de 5 a ambas. Mientras que la unidad 5 es atravesada por los dos caminos principales nombrados y por una serie de caminos secundarios y terciarios en menor medida; se le asigna un valor de 5. La unidad de Piedemonte es atravesada por la RP E-53, caminos secundarios y terciarios que derivan de la anterior, esta unidad tiene un valor de fragilidad de 5.

Tabla 38. Valores C y F para accesibilidad.

Descripción	F
Unidades con carreteras principales	5
Unidades que contienen caminos secundarios	4
Unidades que contienen caminos terciarios	3
Unidades sin carreteras, adyacentes a otras con carreteras	2
Unidades sin carretera, no adyacentes a otras con carreteras	1

#### 6.1.5.7. Incidencia visual

La incidencia visual (IV) se clasifica en tres grupos: relieve convexo o positivo, neutro y cóncavo o negativo. Para este factor se considera la conformación del paisaje relacionada con la topografía del terreno, las pendientes y la altitud. Se pondera según la siguiente tabla.

Tabla 39. Valores C y F para incidencia visual.

Descripción	F
Relieve positivo (cerros)	5
Relieve neutro	3
Relieve negativo (valles)	1

La primera unidad se caracteriza por un relieve notoriamente marcado, de cerros de grandes altitudes; por lo que se le asigna un valor de 5. La segunda unidad corresponde, como su nombre lo dice, a la conformación de un valle ubicado entre dos serranías; por lo tanto se pondera con 1.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 92 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



Las unidades que corresponden a la Sierra Chica también están conformadas por cerros de gran altitud; por lo cual se les asigna una fragilidad de 5. La unidad Piedemonte se caracteriza por ser un relieve más bien neutro, de fragilidad igual a 3.

La Tabla 40 muestra el resultado, parcial, al haber ponderado cada uno de los parámetros involucrados en el valor paisajístico.

Tabla 40 - Resumen valores C y F paisaje

UG	CTyR		D		VyS		A		AH		Acc.	IV
	C	F	C	F	C	F	C	F	C	F	F	F
1	4	2	2	2	4	3	3	3	2	2	4	5
2	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3	5	1
3	5	1	5	5	5	2	1	1	5	5	5	5
4	4	2	4	4	1	1	2	2	2	2	5	5
5	4	2	5	5	5	2	5	5	3	3	5	5
6	2	4	2	2	1	1	1	1	4	4	5	3

#### 6.1.5.8. Calidad global del paisaje

Siguiendo el procedimiento aplicado para la confección de Mapa Geocientífico de la Provincia de Valencia, para el cálculo de la calidad global del paisaje se procede a ponderar cada parámetro. “Dado que no todos los parámetros descritos tienen la misma importancia para determinar la calidad global del paisaje, se ha aplicado un procedimiento de agregación ponderada, asignando a cada parámetro un peso o coeficiente que refleja la contribución de dicho parámetro al valor paisajístico de la unidad”. Cendrero. (1986:43)

Los valores de peso se distribuyen de la siguiente manera:

Tabla 41. Agregación ponderada.

Parámetro	pci	Parámetro	pfi
Complejidad topográfica	3	Complejidad topográfica e incidencia visual	3
Vegetación, usos y acción humana	2	Vegetación y usos, masas de agua, acción humana y accesibilidad	2
Desniveles	1	Desniveles	1

Donde,  $pc_i$  es el peso de la calidad del parámetro “i” y  $pf_i$  es el peso asignado a la fragilidad del parámetro “i”.

Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01
		Página 93 de 247	
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>			



Tabla 42 - Valores parciales ( $pci * vi$ ) y ( $pfi * vi$ ).

UG	Calidad					Fragilidad						
	CTyR*3	D*1	VyS*2	A	AH*2	CTyR*3	D*1	VyS*2	A*2	AH*2	Acc.*2	IV*3
1	12	2	8	3	4	6	2	6	6	4	8	15
2	9	3	4	3	6	9	3	4	6	6	10	3
3	15	5	10	1	10	3	5	4	2	10	10	15
4	12	4	2	2	4	6	4	2	4	4	10	15
5	12	5	10	5	6	6	5	4	10	6	10	15
6	6	2	2	1	8	12	2	2	2	8	10	9

A continuación se calculan valores parciales de calidad,  $v_p$ , según:

Tabla 43. Determinación de los valores parciales para la calidad global del paisaje. Donde, " $v_i$ " son los valores de los parámetros: CTyR, D, VyS, A, AH, Acc. y IV.

UG	lc $\Sigma pci * vi / \Sigma pci$	lf $\Sigma pfi * vi / \Sigma pfi$	$v_p$ $(2lc + lf) / 3$
Sierras Grandes	3,22	3,13	3,19
Valle de Punilla	2,78	2,73	2,76
Vertiente Occidental SC	4,56	3,27	4,13
Sector Central SC	2,67	3,00	2,78
Vertiente Oriental SC	4,22	3,73	4,06
Piedemonte	2,11	3,00	2,41

### 6.1.6. Valores de Calidad para la Conservación

A fines de incorporar los valores de  $v_p$  a la clasificación final del Valor para la Calidad para la Conservación, junto a los valores previamente definidos para la geología, suelos y vegetación, aguas subterráneas y superficiales; se realiza una conversión en función de la Calidad global del Paisaje Media ( $v_{pm}$ ) y la desviación estándar DE. Los rangos quedan definidos según la siguiente tabla.

Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01
		Página 94 de 247	
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>			



Tabla 44. Adaptación VCp para introducir al cálculo de Vctot.

Rango	Valor VCp
$v_p \leq v_{pm} - 1,25 * DE$	1
$v_{pm} - 1,25 * DE \leq v_p \leq v_{pm} - 0,75 * DE$	2
$v_{pm} - 0,75 * DE \leq v_p \leq v_{pm} + 0,75 * DE$	3
$v_{pm} + 0,75 * DE \leq v_p \leq v_{pm} + 1,25 * DE$	4
$v_{pm} + 1,25 * DE \leq v_p$	5

Los límites de los rangos están dados por

- $v_{pm} = 3,22$ .
- $DE = 0,72$ .
- $v_{pm} - 1,25 * DE = 2,32$ .
- $v_{pm} - 0,75 * DE = 2,68$ .
- $v_{pm} + 1,25 * DE = 4,12$ .
- $v_{pm} + 0,75 * DE = 3,76$ .

En base a estos datos se asignan los siguientes valores:

Tabla 45. Valor final VCp.

UG	Condición	Valor VCp
1	$2,68 \leq 3,19 \leq 3,76$	3
2	$2,32 \leq 2,76 \leq 2,68$	2
3	$4,12 \leq 4,13$	5
4	$2,68 \leq 2,78 \leq 3,76$	3
5	$3,76 \leq 4,06 \leq 4,12$	4
6	$2,32 \leq 2,41 \leq 2,68$	2

La metodología premultiplica el valor  $V_p$  por la constante “3” correspondiente a los pesos  $p_i$  asignados al comienzo ( $V_{ci} = p_i * v_i$ ), con lo que se obtiene finalmente el VCp.

Finalmente se puede calcular el Valor de Calidad para la Conservación para cada unidad mediante la fórmula:

$$V_{ctot} = \sum(p_i * v_i) + n \quad (1)$$

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 95 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	





La variable “n” según la metodología se refiere a los puntos singulares como elementos de interés preponderante como yacimientos de fósiles, afloramientos notables, perfiles edafológicos notables, etc.. que aportan un aumento en la calidad de la unidad a la que correspondan. En el caso bajo estudio no se identifican puntos singulares a tener en cuenta.

Tabla 46. Determinación de VCtot.

UG	VCg	VCs	VCv	VCa	VCp	VCtot
Sierras Grandes	2,9	1,0	4,1	6,0	9	23,0
Valle de Punilla	2,6	1,2	4,1	2,0	6	15,9
Vertiente Occidental SC	2,9	1,0	4,1	6,0	15	29,0
Sector Central SC	2,7	1,0	3,5	4,0	9,0	20,2
Vertiente Oriental SC	2,9	1,1	4,3	6,0	12,0	26,3
Piedemonte	1,0	2,8	2,8	6,0	6,0	18,6

Teniendo en cuenta que los valores finales de Calidad para la Conservación van desde el 1 al 5, es necesario establecer nuevos rangos para reclasificar los valores de la Tabla 46. El procedimiento para calcular el Valor de Calidad para la Conservación total (VCtot) es similar al que se lleva a cabo para ponderar la calidad del paisaje: calculando el valor medio (VCtotm) y la DE. En este caso las variables valen 22,16 y 4,90 respectivamente.

Los límites de los rangos están dados por:  $1,25 * DE = 6,13$  y  $0,75 * DE = 3,68$ .

Tabla 47. Rangos para definir el valor final de Calidad.

Rango	VCtot	Descripción
$VCtot \leq VCtotm - 1,25 DE$	1	Muy baja
$VCtotm - 1,25 * DE \leq VCtot \leq VCtotm - 0,75 * DE$	2	Baja
$VCtotm - 0,75 \leq VCtot \leq VCtotm + 0,75 * DE$	3	Moderada
$VCtotm + 0,75 * DE \leq VCtot \leq VCtotm + 1,25 * DE$	4	Elevada
$VCtotm + 1,25 * DE \leq VCtot$	5	Muy elevada

El siguiente mapa muestra cómo las categorías previamente definidas se distribuyen en el espacio, y la Tabla 48 resume los valores de VCtot obtenidos y su respectiva clasificación.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 96 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

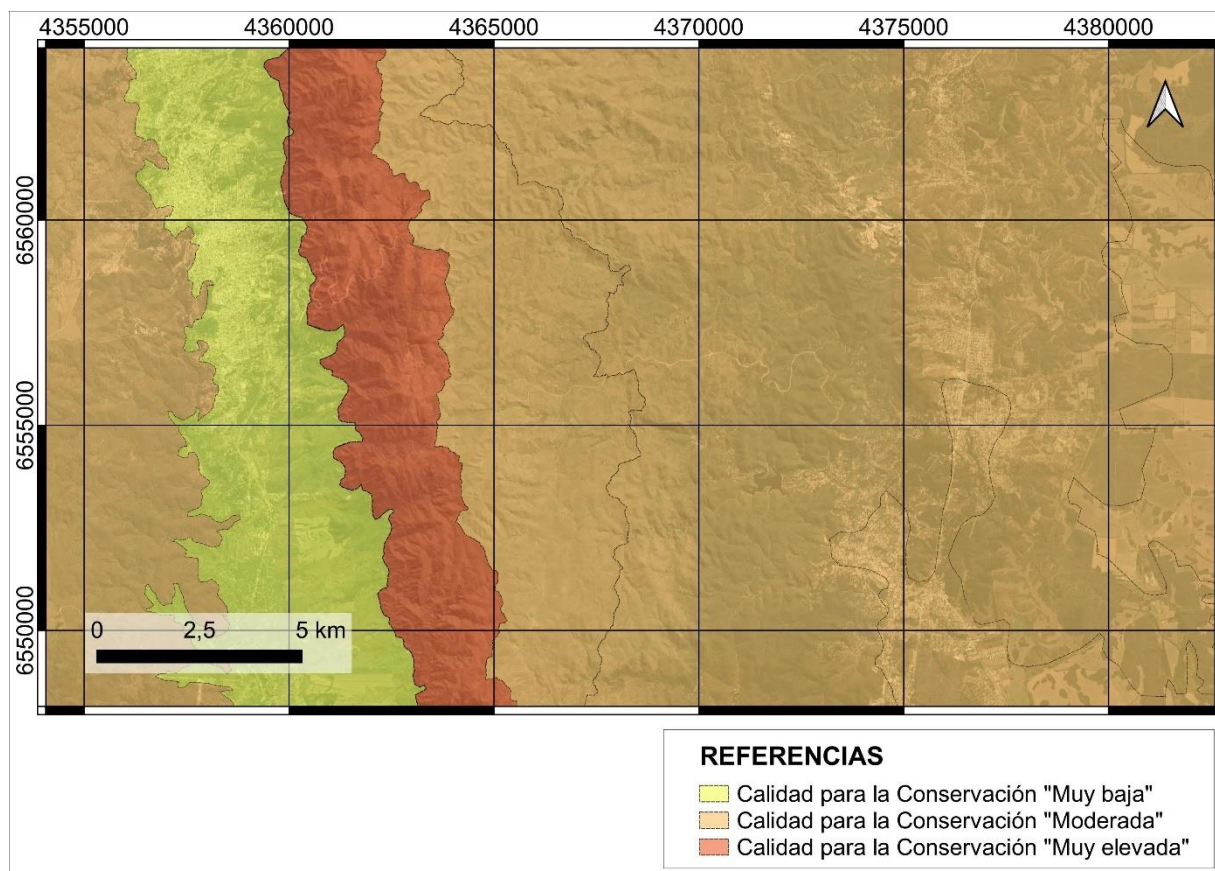


Figura 41. Distribución de la Calidad para la Conservación en la zona de estudio.

Tabla 48. Clasificación de Calidad final para cada UG

UG	Condición	VCtot	Descripción
1	$18,49 \leq 23 \leq 28,30$	3	Moderada
2	$15,9 \leq 16,03$	1	Muy baja
3	$28,30 \leq 29$	5	Muy elevada
4	$18,49 \leq 20,23 \leq 28,30$	3	Moderada
5	$18,49 \leq 26,3 \leq 28,30$	3	Moderada
6	$18,49 \leq 18,6 \leq 28,30$	3	Moderada

El mapa de Calidad para la Conservación muestra que la unidad con mayor interés de ser conservada es la Vertiente Occidental de Sierra Chica. La siguiente tabla resume las reflexiones que derivan de estos resultados.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 97 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



UG	Calidad para la Conservación	Descripción
1	Moderada	Se trata de un relieve escarpado a muy escarpado de bosque y arbustal serrano. Se debe prever una correcta ocupación territorial y de los usos del suelo para preservar este ambiente natural en su extremo este donde se intercala con la el Valle de Punilla, unidad altamente urbanizada.
2	Muy baja	El Valle de Punilla presenta importante ocupación del territorio con urbanizaciones de moderada a alta densidad, cultivos agrícolas y baja presencia de vegetación autóctona. No existen restricciones por resigo o calidad para la conservación relevantes.
3	Muy elevada	Constituye una “zona de protección” al presentar grado 5 de calidad. Se debe restringir la ocupación territorial y la construcción de vías de comunicación debido a la vulnerabilidad intrínseca de este ambiente que constituye un riesgo para la vida humana, principalmente por la existencia de la falla de la Sierra Chica. Preservar la vegetación autóctona conformada por el bosque y arbustal serrano, la calidad del agua subterránea, la dirección del escurrimiento natural y las afloraciones litológicas de elevado interés de estudio por sus características. Es una zona apta para actividades deportivas como rapel o trekking y paseos con miradores para apreciar el paisaje.
4	Moderada	Se caracteriza por un relieve escarpado, de bajo interés florístico al tratarse de una zona de pastizales de altura. Presenta restricciones para la construcción de infraestructura debido a los potenciales movimientos de suelo y caídas de bloques de roca, principalmente posterior a eventos de lluvia intensos.
5	Moderada	Zona de relieves escarpados a muy escarpados, con predominancia de bosque serrano, con abundante arboleda y vegetación. Se debe prever un correcto planeamiento territorial y agrícola para preservar este ambiente natural en los limites con el piedemonte oriental, donde las pendientes moderadas se vuelven aptas para estas actividades.
6	Moderada	Zonas de bajas pendientes a llanas, aptas para el asentamiento humano y la agricultura. Procurar preservar la existencia de vegetación autóctona aislada y la calidad del agua subterránea.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 98 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

## 6.2. Metodología de Macrozonificación de la Amenaza de la Inestabilidad de Laderas

En este apartado se calculan los valores de los distintos parámetros que influyen en la inestabilidad de las laderas de la zona de estudio para realizar un mapa de susceptibilidad al deslizamiento aplicando la Metodología MV. Para alcanzar el principal objetivo propuesto, se confeccionan mapas de litología, pendientes, humedad, sismicidad y precipitaciones, a partir de los cuales el resultado final es el mapa de susceptibilidad a la inestabilidad de laderas en la zona de estudio.

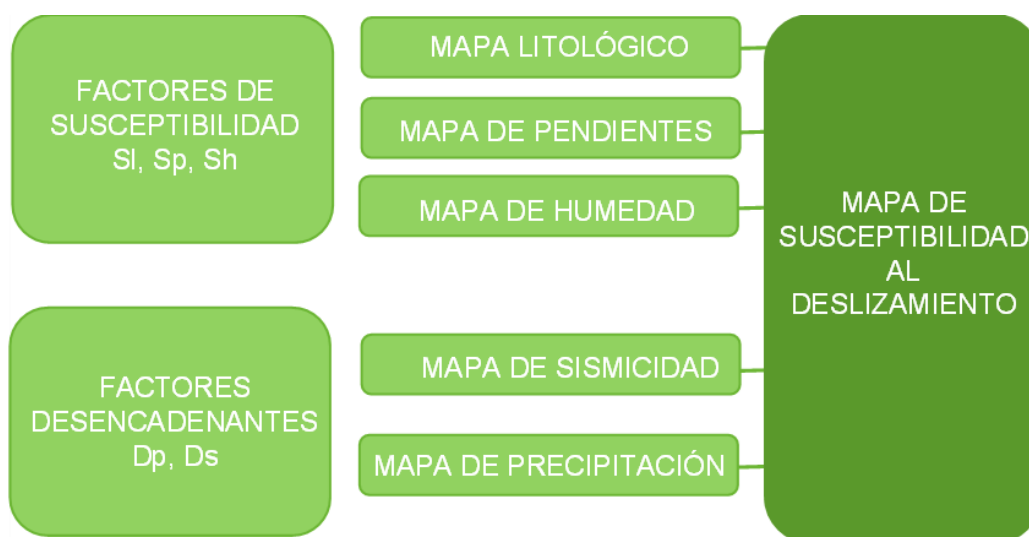


Figura 42. Esquema de la Metodología MV.

### 6.2.1. Factor de influencia de las pendientes ( $S_p$ ) y de relieve relativo ( $S_r$ )

El factor “ $S_p$ ” se obtiene interpretando un modelo numérico del terreno, para este caso el Modelo de Elevación Digital (MED), del cual se extrae un valor de pendiente indicado en grados o en porcentajes. Luego, se ingresa con dicho valor a la Tabla 49 provista por la metodología y presentada a continuación, a fin de determinar un valor definitivo que se aplica en la confección del mapa correspondiente.

Por otra parte, el factor “ $S_r$ ” pondera la diferencia de nivel entre dos puntos, considerando la distancia entre ellos y el área que abarcan. Para su determinación se parte del MED del terreno y se produce un mapa de relieve relativo para un área de análisis; y luego se clasifica con los valores recomendados en la tabla mencionada en el párrafo anterior. Este factor puede sustituirse con el factor  $S_p$ .

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 99 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

Tabla 49. Rangos sugeridos para el factor Sp a partir de los valores de pendiente.

Pendiente (%)	Pendiente (°)	Valor Sp	Descripción
<5	<3	0	Nulo
5-18	3-10	1	Muy bajo
18-48	10-25	2	Bajo
48-100	25-45	3	Medio
100-400	45-75	4	Elevado
>400	>75	5	Muy elevado

En este trabajo se opta por el factor de influencia de las pendientes Sp.

Para la confección del mapa, sobre el DEM de la zona de estudio se traza un mapa de pendientes y luego se reclasifican los valores. Se obtuvieron valores de pendientes de entre un 0% y un 117%. Con la herramienta “reclasificación por tabla” se reasignaron los valores que la metodología recomienda según la Tabla 49.

De la distribución espacial del factor Sp que se observa en el mapa de la Figura 43, se puede ver que las mayores pendientes, por lo tanto los mayores valores de Sp, se concentran en la vertiente occidental de la Sierra Chica.

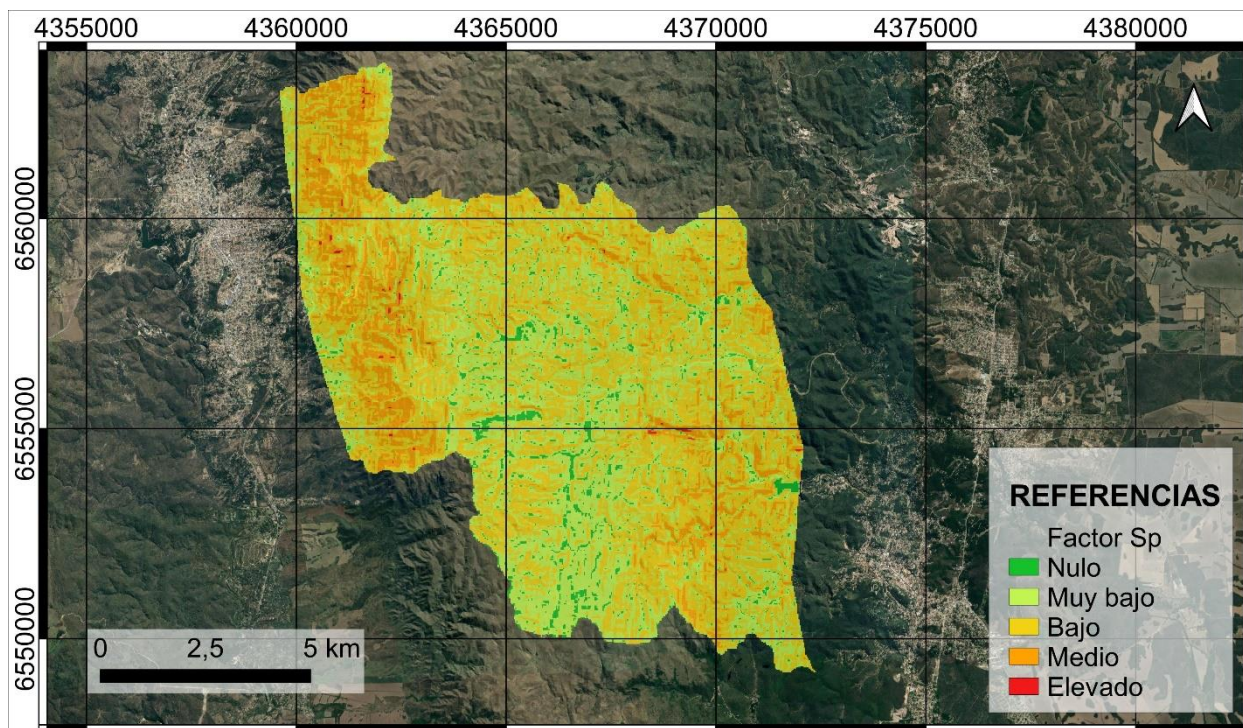


Figura 43. Factor Sp.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 100 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



### 6.2.2. Factor litológico (SI)

Según la metodología de Mora y Vahrson (1994, 1999) y Mora et al. (2015) se propone la determinación del factor de la susceptibilidad litológica "SI" en función de la condición que presenta la litología en términos de características intrínsecas como: composición geológica, calidad geomecánica y distribución espacial, entre otras características, que influyen en la estabilidad de laderas y cortes. La Tabla 50 muestra los valores recomendados por la metodología para definir el factor en función de la litología y de las condiciones físico-mecánicas.

Tabla 50. Valores recomendados del factor SI.

Litología	Condición físico-mecánica	SI	Condición
Aluviones: gruesos, permeables, compactos, con nivel freático (NF) bajo. Calizas: duras, permeables. Intrusivos: poco fisurados, bajo nivel freático. Basaltos, andesitas, ignimbritas, y similares: sanas, permeables, poco fisuradas. Rocas metamórficas: sanas, poco fisuradas, NF bajo.	Sanos con poca o ninguna meteorización, elevada resistencia al corte, fisuras sanas sin relleno	1	Bajo
Rocas sedimentarias: poco alteradas, estratificación maciza (decamétrica o métrica), poco fisuradas, nivel freático bajo. Rocas intrusivas, calizas duras, lava, ignimbritas o metamórficas: alteradas, NF a profundidad media.	Media a elevada resistencia al corte, fracturas cizallables	2	Moderado
Rocas sedimentarias, rocas intrusivas, calizas duras, lava, ignimbritas, tobas poco soldadas o metamórficas medianamente alteradas. Coluvión, lahares, arenas, suelos regolíticos levemente compactados: drenaje poco desarrollado, NF relativamente alto.	Moderada a media resistencia al corte, fracturación importante.	3	Medio
Aluviones fluvio-lacustres, suelos piroclásticos poco compactados, sectores de alteración hidrotermal, rocas fuertemente alteradas y fracturadas con estratificaciones y foliaciones, buzamientos desfavorables, rellenos arcillosos, NF somero.	Moderada a baja resistencia al corte.	4	Alto
Materiales aluviales, coluviales, regolíticos de muy baja calidad mecánica: con estado de alteración avanzado, drenaje pobre, se incluyen las cat. 3 y 4 con NF muy somero, gradientes hidrodinámicos muy elevados. Zonas de falla.	Muy baja resistencia al corte, materiales blandos con muchos finos.	5	Muy Alto

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 101 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



Cuando se analizan laderas que componen macizos rocosos, la metodología relaciona la obtención de este factor con otros dos parámetros: la clasificación de las rocas “Rock Mass Rating (RMR)” y el índice de calidad de la roca “Rock Quality Index (Q)”. La determinación del factor litológico puede basarse tanto en el estudio de la geomorfología y las características de las rocas o suelos constituyentes, cuanto en la estimación de ciertos parámetros característicos como el RMR o Q.

La metodología permite predecir el comportamiento de ciertos tipos de materiales. Por ejemplo, las laderas conformadas por depósitos aluvionales, coluvios, suelos residuales, rocas alteradas, fracturadas o con presencia de materiales de baja calidad en su estructura son más propensos a sufrir inestabilidad. En el extremo opuesto se ubican las rocas sanas que se caracterizan por buenas condiciones de estabilidad.

Por un lado, la clasificación geomecánica RMR cuenta con mayores años de aplicación y trabajos realizados y, por otro, el Índice de Resistencia Geológica (“GSI” por sus siglas en inglés) propone un modelo de rotura no lineal como los usados en muchos de los softwares modernos. En función de esto, diversos autores han propuesto ecuaciones que relacionen ambos parámetros. En este trabajo se emplea la fórmula propuesta por Hoek et al. (1995), la cual establece la siguiente correlación:

$$\text{si: } RMR' > 23 \rightarrow GSI = RMR' - 5 \quad (23)$$

si:  $23 > RMR' > 80 \rightarrow$  el RMR' no debe utilizarse como parámetro indirecto en la obtención del GSI.

Siendo RMR' el valor de RMR en condiciones secas (supuestos 15 o más puntos de ausencia de aguas subterráneas) y realizada la corrección por orientación.

Previo a la determinación del factor SI, se realiza una zonificación a fines de delimitar áreas de características similares que permita discretizar el terreno y asignar valores SI a cada una de las unidades definidas. Posteriormente, en base a las metodologías de Hoek y Brown y RMR de Bienawski, se definen dos parámetros característicos: cohesión y ángulo de fricción interna que se emplean para correlacionarlos con el factor SI mediante las tablas presentadas a continuación.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 102 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



Tabla 51. Correlación valor RMR y factor SI.

Valor RMR	Nº de clase	Descripción RMR	Valor SI	Susceptibilidad
< 20	I	Muy pobre	5	Muy elevada
21-40	II	Pobre	4	Elevada
41-60	III	Medio	3	Mediana
41 a 60	IV	Bueno	2	Moderada
81-100	V	Muy bueno	1	Baja

Tabla 52. Valoración SI para suelos Miles and Keafer (2002)

Ángulo de fricción (°)	Cohesión (kPa)	Valor SI
0-15	0-10	5
15-20	10-15	4
20-25	15-20	3
25-30	20-25	2
>30	>25	1

#### 6.2.2.1. Zonificación

El siguiente apartado tiene por objetivo la definición de unidades de mapeo de menor a mayor detalle. Para esto se emplea la metodología de la Asociación Internacional de Ingeniería Geológica (IAEG) (1976), donde se propone la delimitación de las siguientes unidades de menor a mayor detalle: Series Litológicas (SL), Complejos litológicos (CL), Tipos Litológicos (TL) y Tipos Geotécnicos (TG).

Previo a la definición de las distintas unidades que cubren el área de estudio, se confecciona un mapa de identificación de fallas geológicas en la zona. Las principales fallas morfogénicas que dieron origen a bloques de basamento levantados que conforman hoy las Sierras de Córdoba son, comenzando por las fallas más antiguas: falla de la Sierra de Pocho, falla de Ciénaga del Coro-La Sierrita, falla de Cumbre de Gaspar-falla de Nono, falla de la Sierra Grande-Sierra de Comechingones, falla de la Sierra de San Marcos-Cunuputo-Perchel, falla de la Sierra Chica y

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 103 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	





falla de la Elevación Pampeana. Las mencionadas no son las únicas fallas que existen sino las más relevantes; también se identifican otras fallas inversas menores en las terminaciones de las sierras y antiguos lineamientos de rumbo NNO y NNE oblicuos al rumbo general.

En el siguiente mapa se ilustra la orientación de las principales fallas que atraviesan la zona de estudio.

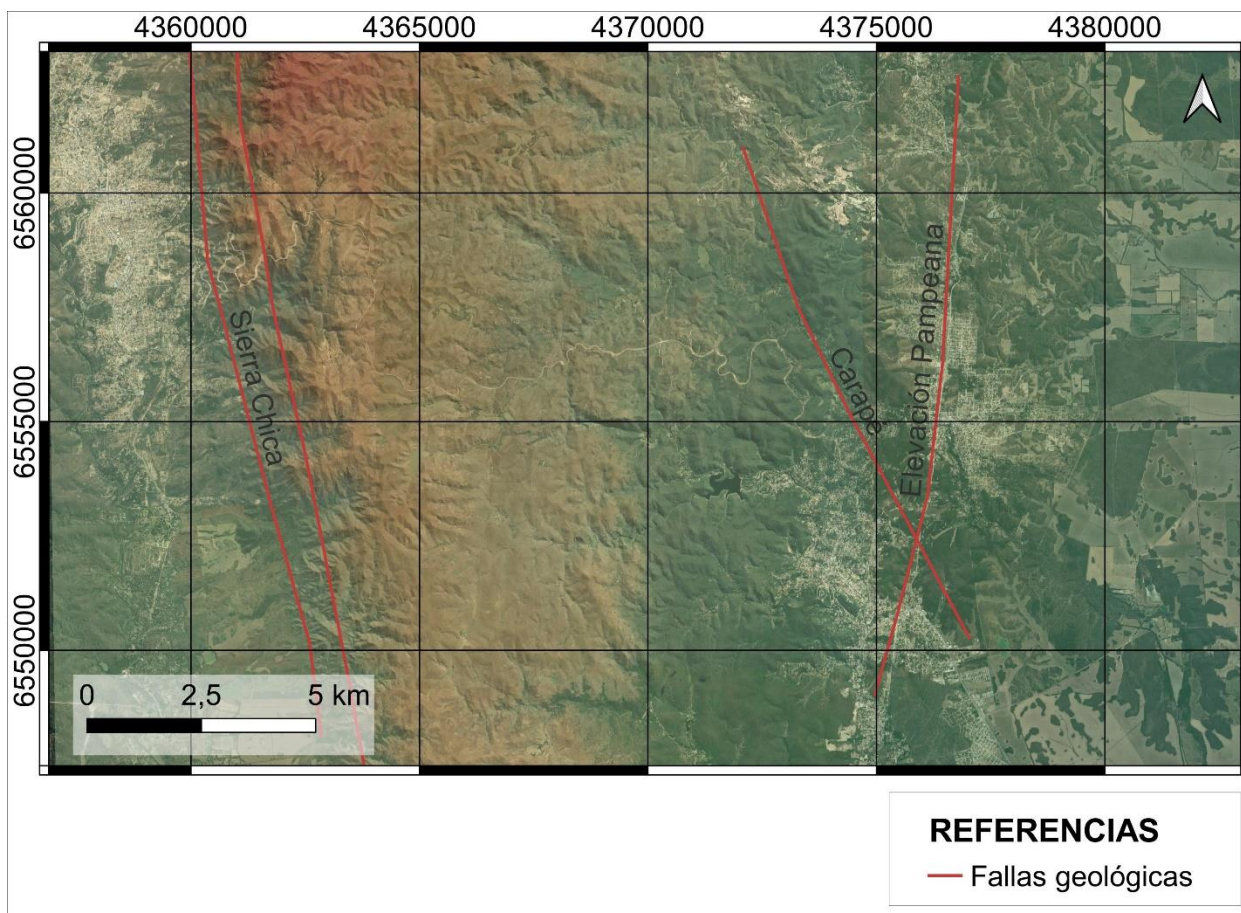


Figura 44. Fallas geológicas en la zona de estudio.

Para el caso de estudio se pone especial interés en la falla de Sierras Chicas, una de las fallas inversas más importantes de las Sierras de Córdoba que se extiende a lo largo de aproximadamente de 200 km, desde la localidad de Capilla del Monte (norte del valle de Punilla) hasta la sierra de las Peñas al sur. Los materiales que conforman la formación son de diversas litologías y de edades de deposición variables, desde cretácicos, terciarios y cuaternarios hasta suelos actuales. El material preponderante de la falla es arcilla de origen tectónico conocida como harina de falla.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 104 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



La zonificación se realiza sobre una superficie que coincide con los límites de las cuencas hídricas afectadas por el camino a fin de limitar el área de estudio. Las cuencas se delimitaron empleando el complemento GRASS de QGIS sobre el DEM de 30 (m).

Comenzando con la primera unidad de mapeo, se definen las Series Litológicas que comprenden grandes unidades geológicas con homogeneidad en cuanto a características generales como, por ejemplo, edad de formación. En la zona de estudio se definieron las Series Litológicas que se presentan en la Tabla 53 y en el mapa de la Figura 45 donde se puede observar la ubicación de las mismas. Se tomó como base el Mapa Geológico de la Provincia de Córdoba recuperado de <https://mapascordoba.gob.ar/viewer/#/mapa/356> en escala 1:250.000.

Tabla 53. Series Litológicas en el área de estudio.

Sigla	Edad	Ambiente	Descripción
NPεgnP	Precámbrico: Neoproterozoico- Ediacariano	Metamorfism o regional medio/alto grado	Paragneis tonalítico biotítico, granatífero y sillimanítico. Paragneis biotítico, granatífero y sillimanítico, Ortogneis, Esquisto cuarzo-biotítico, Metagabro, Gneis calcosilicático.
Q1fe	Fenerozoico: Cenozoico- Cuaternario- Pleistoceno Medio	Eólico/Fluvial	Limo, Limo arenoso, Arena limosa, Arena fina, Arena fango gravosa, Calcrete
NPεyp	Precambrio	Magmatismo calcoalcalino	Granito
q4Q2lo	Fenerozoico: Cenozoico- Cuaternario- Pleistoceno Superior	Eólico	Limo, Limo arenoso
Nc	Fenerozoico: Cenozoico- Neógeno- Plioceno	Abanico Aluvial	Conglomerado clasto-soportado con matriz arenosa, Conglomerado, Arena gravosa, Conglomerado matriz-soportado con matriz fangosa

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 105 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

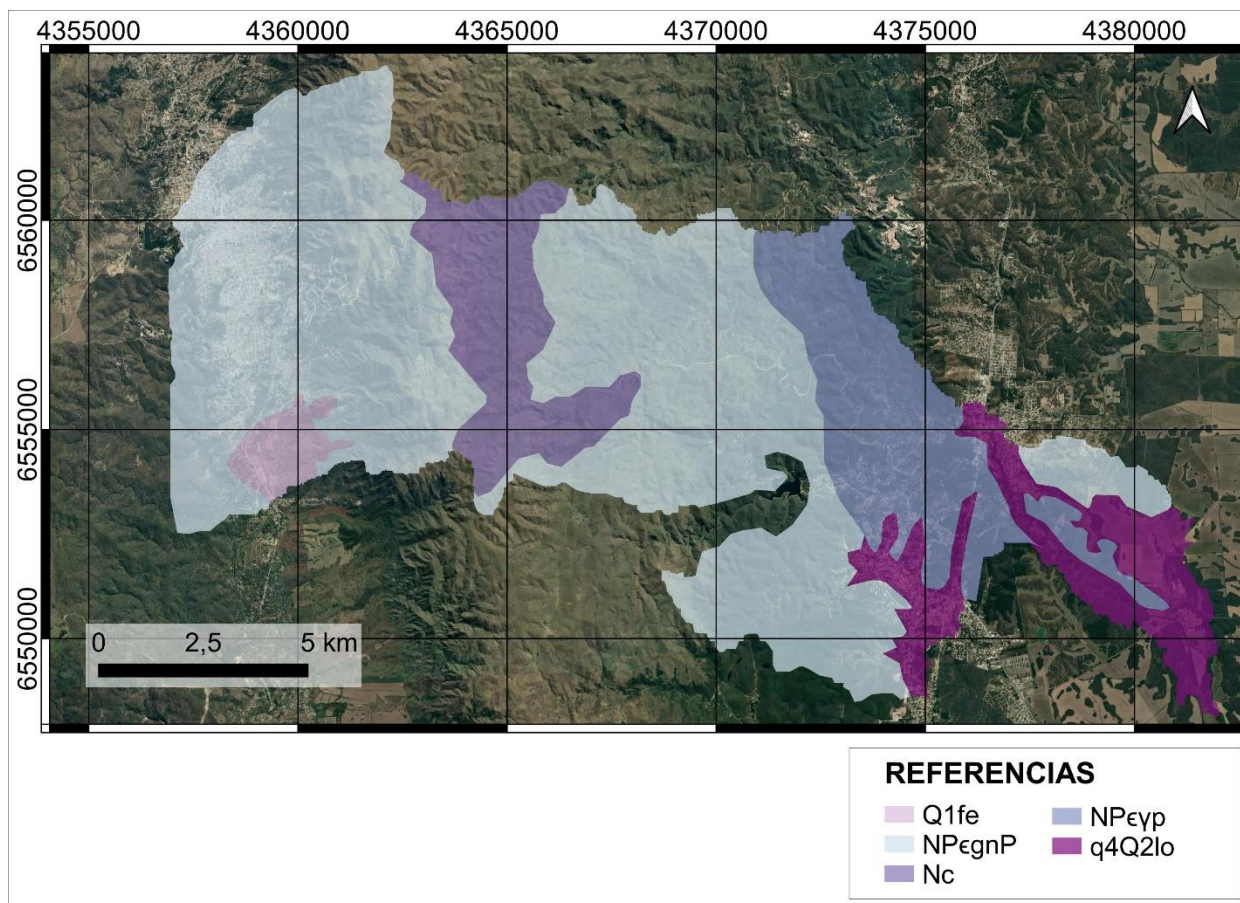


Figura 45. Series Litológicas.

Según la metodología de la IAEG, las series previamente definidas se subclasifican en Complejos Litológicos (CL) que comprenden grupos de rocas con condiciones similares. La identificación se lleva a cabo sobre la Carta Geológica de Córdoba 3163-III, provisto por el Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR) recuperado de <https://repositorio.segemar.gov.ar/handle/308849217/69>. En el mapa de la Figura 46 se observa la ubicación de los complejos litológicos delimitados y la Tabla 54 aporta una descripción de los mismos.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 106 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

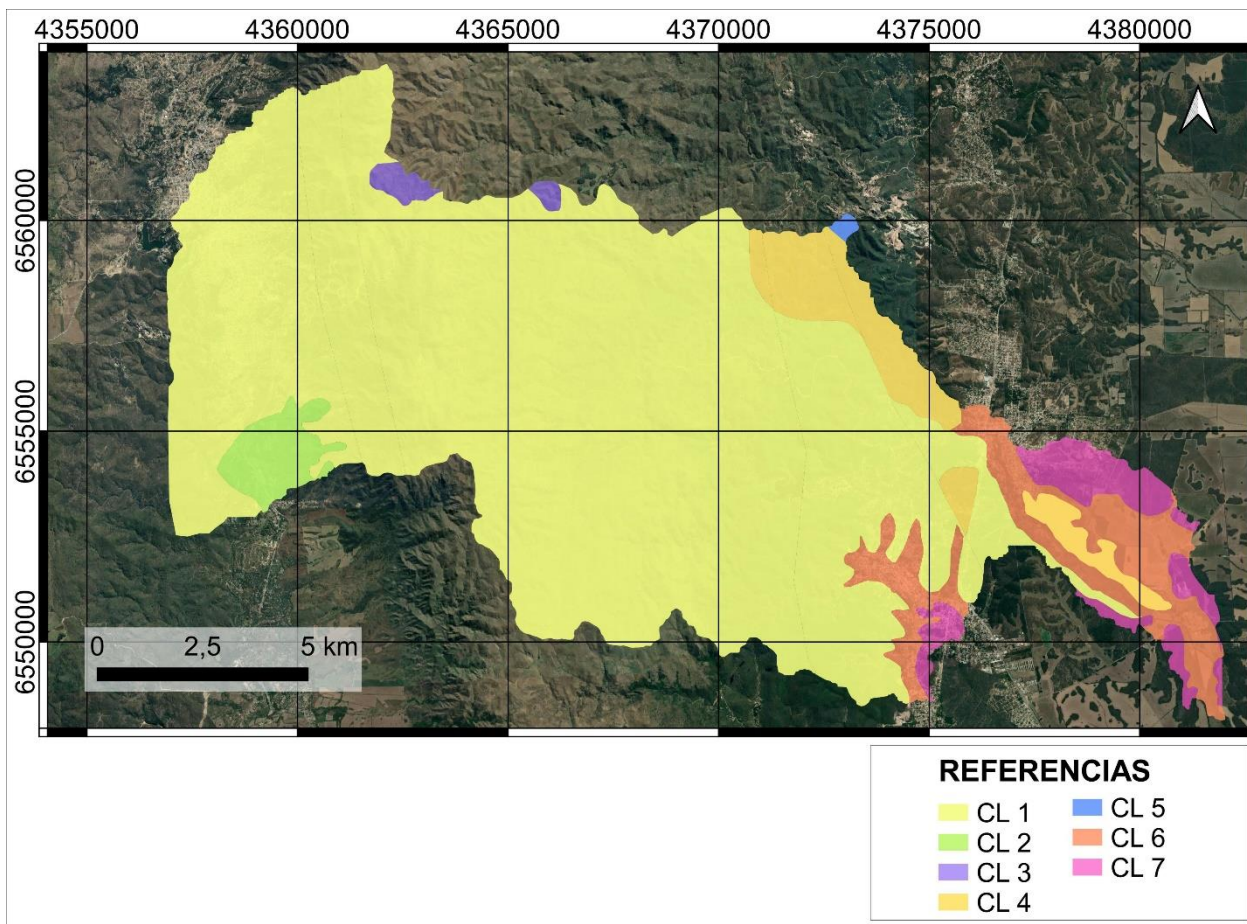


Figura 46. Complejos litológicos. Fuente: autor.

Tabla 54. Complejos litológicos.

CL	Nombre	Material
1	Complejo Metamórfico La Falda	Paragneis feldespático cuarzo biotítico muscovítico bandeado intercalado con Ortogneis leucotonalítico Escasos mármoles y rocas calcosilicáticas
2	Formación Charbonier.	Sedimentos fluvio loésicos
3	Conglomerado Estancia El Rosario	Vulcanitas cretácicas
4	Granito Candonga	Granito
5	Formación El Manzano	Mármol Gneis pelítico
6	Formación la Invernada	Loess Paleosuelos
7	Casa Grande	Pedemonte

Elaboró:	Barotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01
		Página 107 de 247	
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>			



A continuación y con mayor detalle se definen los Tipos Litológicos (TL) contenidos dentro de cada Complejo Litológico que atraviesa la traza. En el caso estudiado, el camino se desarrolla sobre un único complejo litológico nombrado CL 1 el que corresponde al Complejo Metamórfico La Falda.

Los TL se constituyen por tipos de roca bien definidos con propiedades litológicas y físicas específicas; en este caso se limita el estudio a la superficie comprendida entre las fallas de Sierra Chica y la falla de Carapé. Mientras que los Tipos Geotécnicos (TG) son unidades que resultan del análisis local que otorga información geotécnica de los taludes a lo largo de la traza. Para la determinación de los TG se recorrió la zona investigada, se tomaron fotografías identificatorias de cada talud a analizar, se realizó un ensayo de esclerometría, además de la identificación visual de los materiales componentes de los taludes y se relevaron datos como coordenadas, altura y longitud de los mismos.

La primera serie se denominada con la sigla “NPεgnP” es la que cubre la mayor parte de la superficie bajo análisis. Su composición se corresponde con metasedimentitas de medio a alto grado de origen precámbrico (neoproterozoico-ediacariano), incluye paragneis tonalítico biotítico, granatífero y sillimanítico, paragneis biotítico, granatífero y sillimanítico, ortogneis, esquisto cuarzo-biotítico, metagabro y egneis calcosilicático. Dentro de esta serie, en el nivel de Complejos Litológicos, se diferencia el “Complejo Metamórfico La Falda” que se denomina con “CL 1”, compuesto por paragneis feldespático cuarzo biotítico muscovítico bandeado intercalado con ortogneis, leucotonalítico, escasos mármoles y rocas calcosilicáticas. La casi totalidad de la región bajo análisis está localizada sobre este complejo dentro del cual se definen todos los Tipos Litológicos que son de interés para este trabajo.

Se establecieron los cinco tipos que se detallan a continuación.

- El “TL 1.1” se conforma por material de falla e intrusivo pegmático. Dentro del mismo se identifica un único Tipo Geotécnico denotado “TG 1.1.1”, que se corresponde con el talud número uno relevado (T1); está formado por Material de falla de Sierras Chicas intercalado con pegmatitas.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 108 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

Tabla 55. Planilla de datos TG1.1.1.

<b>RP E-98</b>	<b>Relevamiento: Talud 1 lado derecho – Progresiva 0.118 (km)</b>	
Altura: 8 (m)	Longitud: 90.4 (m)	Coordenadas: 31°06'42.1"S 64°27'51.4"O



TL1.1: Material de falla e intrusivo pegmático – TG1.1.1: Material de falla de Sierras Chicas intercalado con pegmatitas

- El "TL 1.2" está conformado por esquistos micáceos con intercalación de rocas ígneas. Dentro del mismo se identificaron dos Tipos Geotécnicos: "TG 1.2.1" para esquistos micáceos intercalados con filones de roca ígnea pegmática (anexo nro 1), "TG 1.2.2" para esquistos micáceos intercalado con roca ígnea intrusiva granítica y pegmatitas. (anexo nro 1)
- El "TL 1.3" corresponde a los materiales roca ígnea, gneis masivo y esquistoso. En este TL, se identifican dos Tipos Geotécnicos: el "TG 1.3.1" que corresponde a gneis esquistoso y filones de roca ígnea pegmatítica (anexo nro 1), mientras que el "TG 1.3.2" `roca ígnea intrusiva de tipo granítica intercalada con gneis. (anexo nro 1)
- El "TL 1.4" corresponde a una zona de rocas sedimentarias; dentro del mismo se identifica un único TG denotado "TG 1.4.1" que corresponde a materiales conglomerados y areniscas. (anexo nro 1)
- El "TL 1.5" se compone de basamento cristalino, roca ígnea y roca metamórfica. Se identifica un único TG, el TG1.5.1, correspondiente a basamento cristalino con capas de materiales de colores claros correspondientes a rocas ígneas y oscuros por la presencia de rocas metamórficas para los taludes. (anexo nro 1)

<b>Elaboró:</b> Barotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 109 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

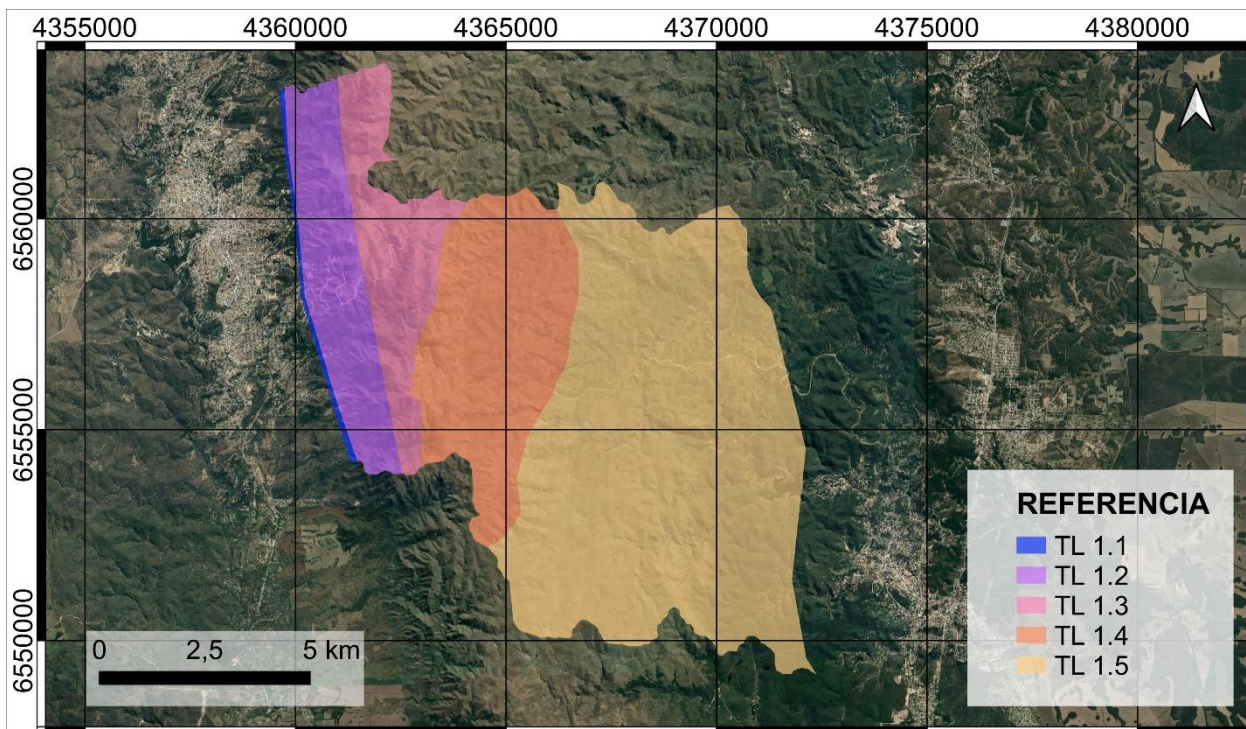


Figura 47. Tipos litológicos.

La Tabla 56 resume los Tipos Geotécnicos contenidos dentro del CL 1.

Tabla 56. Tipos Geotécnicos.

SL	CL	Nombre	TL	TG	Material
NPegnP	1	Complejo Metamórfico La Falda	1.1	1.1.1	Material de falla de Sierras Chicas intercalado con pegmatitas
			1.2	1.2.1	Esquistos micáceos intercalados con filones de roca ígnea pegmatítica
				1.2.2	Esquistos micáceos intercalado con roca ígnea intrusiva granítica y pegmatitas
			1.3	1.3.1	Gneis esquistoso y filones de roca ígnea pegmática
				1.3.2	Roca ígnea intrusiva de tipo granítica intercalada con gneis
			1.4	1.4.1	Conglomerados y areniscas
			1.5	1.5.1	Basamento cristalino con capas de materiales de colores claros (roca ígnea) y oscuros (rocas metamórficas)

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 110 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



Las Series Litológicas restantes son las siguientes:

- Serie “Q1fe” corresponde a una formación de origen eólico/fluvial y fenerozoico (cenozoico- cuaternario- pleistoceno medio), conformada por gravas, arenas y limos fluviales con intercalaciones de sedimentos limosos. Dentro de esta unidad se identifica el Complejo Litológico número 2, denominado Formación Charbonier conformado por sedimentos fluvio loésicos.

La serie Q1fe “Son depósitos de abanico aluvial formados por conglomerados con rodados de tamaños muy variados, incluidos en una matriz limo-arenosa que contiene carbonato de calcio pulverulento o en forma de pequeños nódulos mientras que, en las zonas medias y distales del piedemonte, se compone de sedimentos limo-arenosos y areno-arcillosos de origen fuvioeólico (loess retransportado mezclado con arenas fuviales) y costras calcáreas o calcretes”. Martino. (2020:35)

- Serie NPεγ: caracterizada por un ambiente de magmatismo calcoalcalino, es de edad precámbrica y comprende el Complejo Litológico CL 4 que se identifica con el nombre de Granito Candonga y contiene material tipo granito.

“En la sierra de Las Peñas, en el extremo sur de la Sierra Chica, aflora un cuerpo plutónico de dimensiones batolíticas y composición granítica. Tiene 25 km de longitud en sentido norte-sur y 8 km de ancho en sentido este-oeste. Es parcialmente concordante con las rocas gnéisicas encajonantes. Sus límites laterales con las rocas metamórficas coinciden con dos megafacturas, en el borde oriental con la falla de Las Peñas y en el occidental con la falla de la Sierra Chica. Los aforamientos permiten caracterizar al cuerpo como un granitoide sin genético, muy deformado y con alto contenido de magnetita. Es un granitoide porfirico biotítico, de color rosado a rojo por desferrización de la escasa biotita, con texturas protomiloníticas a miloníticas, con un bandeo más o menos marcado, lo que le confiere a las rocas el aspecto de un gneis granítico (ortogneis). Se intercalan rocas básicas, pegmatitas, aplitas ácidas y un granito rosado granular sin enclaves que instruye al granitoide porfirico”. Martino. (2020:21)

- Serie q4Q2lo: es un ambiente generado en el fenerozoico, cenozoico, cuaternario, pleistoceno superior, que se compone por “Loess típico de color gris amarillento, compuesto fundamentalmente por limos finos”. Martino. (2020:38)

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021	
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023	
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01	<b>Página 111 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>		





- Serie Nc: originada en el fenerozoico (cenozoico, neógeno, plioceno), compuesta por un conglomerado clasto-soportado con matriz arenosa y conglomerado, arena gravosa, conglomerado matriz-soportado con matriz fangosa.

“El registro neógeno está mucho más distribuido regionalmente y se relaciona con el levantamiento de las sierras a partir del Mioceno tardío: conglomerados arenosos, areniscas, pelitas y tobas interestratificadas; conglomerados y brechas muy gruesas a finos, intercalados con areniscas; conglomerados y sabulitas, limolitas areniscosas y arcilitas. A partir de esta nueva etapa de estructuración, con la inversión y reactivación tectónica de antiguas estructuras, se produjo en la región serrana una fuerte segmentación, con desarrollo diferencial de sistemas aluviales, a diferencia de la llanura oriental, donde el registro sedimentario es más continuo y condensado”.  
Martino. (2020:32)

#### 6.2.2.2. Determinación del factor SI

##### I. Metodología de Hoek y Brown

A fin de obtener los valores de los parámetros intrínsecos de los Tipos Geotécnicos se efectúa un relevamiento geológico-geotécnico a lo largo de la zona en estudio, donde los taludes generados permiten evidenciar las características de los mismos. A partir de la observación “in situ” se estiman los valores GSI requeridos para calcular el factor “SI”. Además, se obtiene el resto de los datos necesarios para efectuar la calificación del macizo rocoso mediante la metodología de Hoek y Brown, los cuales se procesan mediante el software RocLab 1.0. El software permite calcular la cohesión (c) y el ángulo de fricción interna ( $\phi$ ) del talud, datos que serán empleados en el siguiente capítulo para el estudio de la estabilidad de taludes, ingresando como datos de entrada los valores de resistencia a la compresión simple, del parámetro GSI, D y m; mientras que estima las constantes de la fórmula generalizada de Hoek y Brown:  $m_b$ , s y a. Además, permite visualizar los efectos de cambio de los parámetros en la envolvente de falla.

La resistencia a la compresión simple de los materiales que componen los taludes se define en base a lo propuesto por Miller citado por Quintana Crespo et al. (2020). El autor plantea la obtención de la resistencia a compresión de la roca a partir del número de rebotes del martillo (R), la orientación del martillo y el peso unitario de la roca, ingresando al gráfico confeccionado por el autor (Figura 48). El número de rebotes del martillo se obtiene mediante ensayos de esclerometría realizados en campo, el cual constituye un ensayo de tipo no destructivo. Para este

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 112 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

trabajo, se emplea un esclerómetro cuyo modelo corresponde al tipo L. Los valores obtenidos mediante el ensayo de esclerometría se resumen en la Tabla 57, según las litologías registradas.

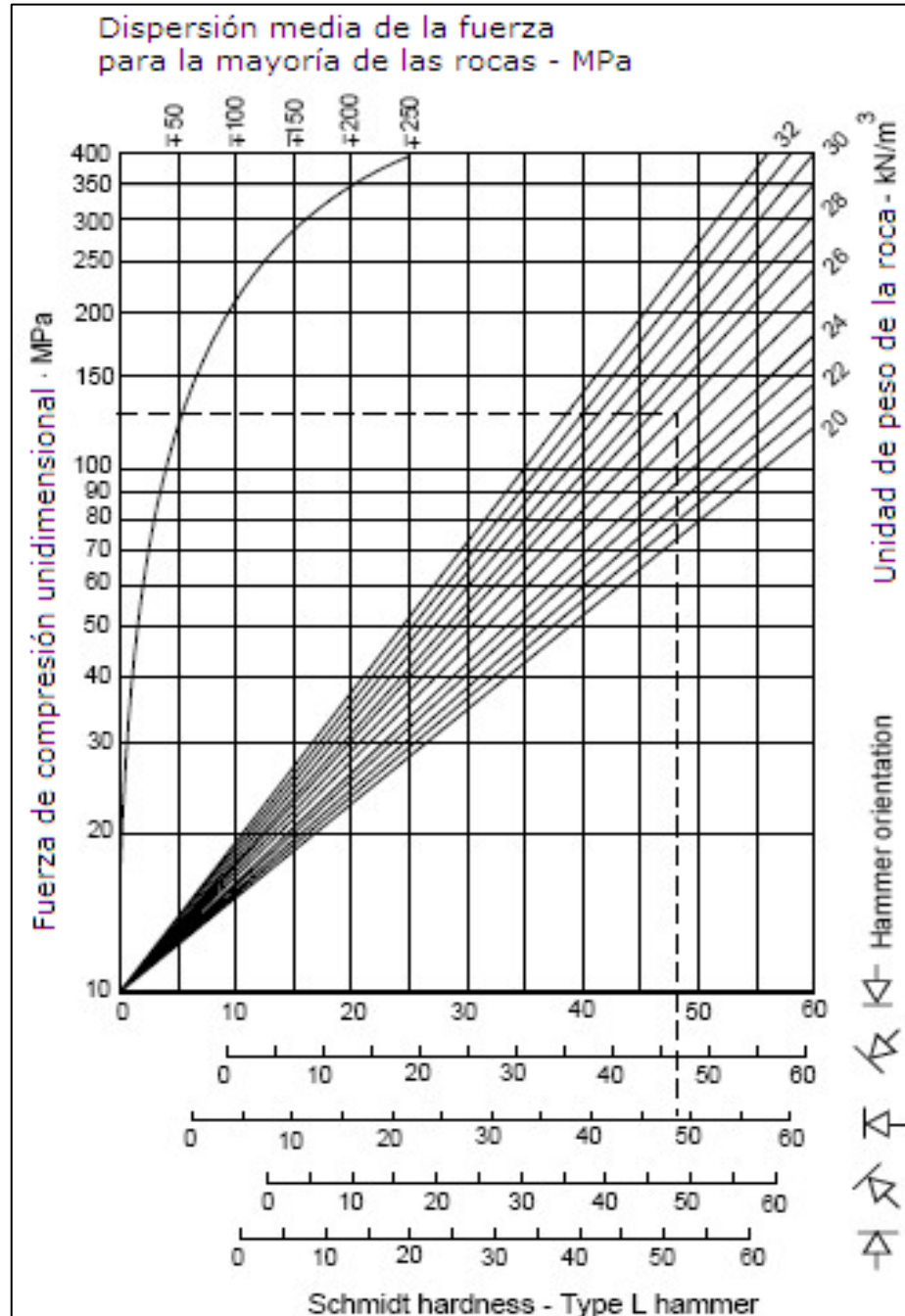


Figura 48. Gráfico de Miller (1965).

<b>Elaboró:</b> Barotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 113 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



Tabla 57. Esclerometría y resistencia a la compresión simple.

TL	Ensayos de esclerometría
1.1	Material de falla
	RL= 0 RL <sub>m</sub> = 0
1.1	Pegmatita
	RL <sub>1</sub> = 15-31-23-21-34-12-38-30-38-24-24-14 (Golpe hacia abajo) RL <sub>m1</sub> = 23 <b>R<sub>c1</sub>= 46 +/- 12,5 (MPa)</b> RL <sub>2</sub> = 14-14-31-38-26-55-48-42-50-40-25-25-15 (Golpe hacia abajo) RL <sub>m2</sub> = 33 <b>R<sub>c2</sub>= 70 +/- 25 (MPa)</b>
	Gneis esquistoso
	RL= 30-28-21-36-22-32-35-24-30-22 (Golpe hacia abajo) RL <sub>m1</sub> = 28 <b>R<sub>c1</sub>=37 +/- 5 (MPa)</b> RL <sub>2</sub> =22-20-30-22-44-20-32-54-32-44 (Golpe hacia abajo) RL <sub>m2</sub> = 32 <b>R<sub>c2</sub>=42 +/- 5,5 (MPa)</b>
1.2	Filones de roca ígnea pegmatítica
	RL= 40-48-24-24-40-36-31-40-44-40 (Golpe hacia abajo) RL <sub>m</sub> = 37 <b>R<sub>c</sub>= 85 +/- 37 (MPa)</b>
	Gneis esquistoso, distancia entre esquistosidad aproximada de 50 (cm)
	RL= 55-64-44-54-58-42-50-55-60-44 (Golpe hacia abajo) RL <sub>m</sub> = 53 <b>R<sub>c</sub>= 84 +/- 37 (MPa)</b>
	Mica esquistos
	RL= 21-15-10-22-21-10-18-15-20-15 (Golpe hacia abajo) RL <sub>m</sub> = 17 <b>R<sub>c</sub>=36 +/- 5 (MPa)</b>

Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01
		Página 114 de 247	
<p>DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</p>			



1.3	Roca ígnea intrusiva tipo granítica
	RL <sub>1</sub> = 40-36-36-22-12-46-36-40-25-36 (Golpe hacia abajo) RL <sub>m1</sub> = 33 <b>R<sub>c1</sub>= 74 +/- 25,5 (MPa)</b> RL <sub>2</sub> = 62-44-54-46-22-42-24-44-22-54 (Golpe hacia arriba) RL <sub>m2</sub> = 41 <b>R<sub>c2</sub>= 94 +/- 37,5 (MPa)</b>
1.4	Roca sedimentaria
	Bloques
	RL= 30-18-0-18-10-25-30-15-0-18 (Golpe hacia abajo) RL <sub>m</sub> = 16 <b>R<sub>c</sub>= 26 +/- 5</b>
1.5	Matriz
	RL= 0-12-10-11-0-12-14-11-12-0 (Golpe hacia abajo) RL <sub>m</sub> = 8 <b>R<sub>c</sub>= 19,5 +/- 0</b>
1.5	Basamento cristalino
	RL= 25-45-39-38-32-32-58-44-54-58-44 (Golpe hacia abajo) RL <sub>m</sub> = 43 <b>R<sub>c</sub>= 80 +/- 12,5</b>

El esclerómetro es un instrumento que se ideó para estimar la resistencia a la compresión simple del hormigón lo que derivó en modelos que permiten estimar la resistencia simple de las rocas. Previo al ensayo se calibra el instrumento realizando disparos sobre una superficie determinada y de ubicación conocida. El ensayo consiste en preparar la superficie alisándola con una piedra de amolar para retirar pátina de la roca meteorizada, luego se posiciona el martillo perpendicularmente, se dispara el vástago empujando el instrumento hacia la superficie hasta que el botón salte, se bloquea el botón y se toma nota del valor del rebote arrojado manualmente. La lectura se observa en sobre la escala y es indicada por el puntero.

El valor de resistencia estimado a partir de este ensayo debe ser obtenido estadísticamente como se muestra en la tabla precedente, a fin de contar con valores representativos.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021	
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023	
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01	<b>Página 115 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>		

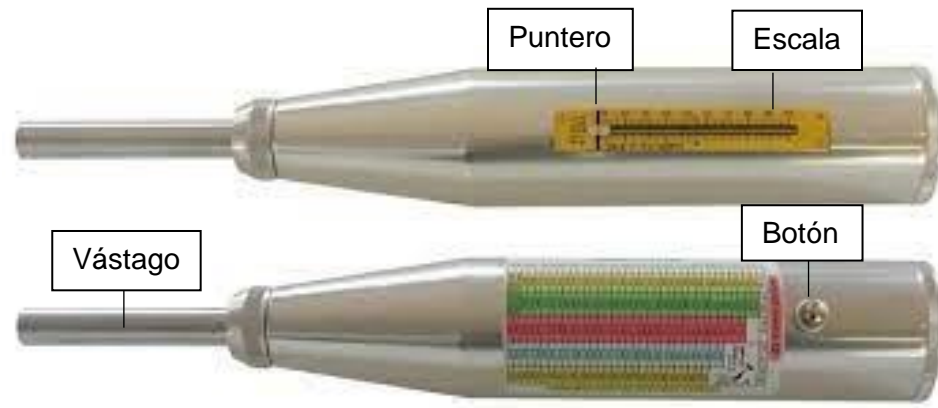


Figura 49. Esclerómetro.

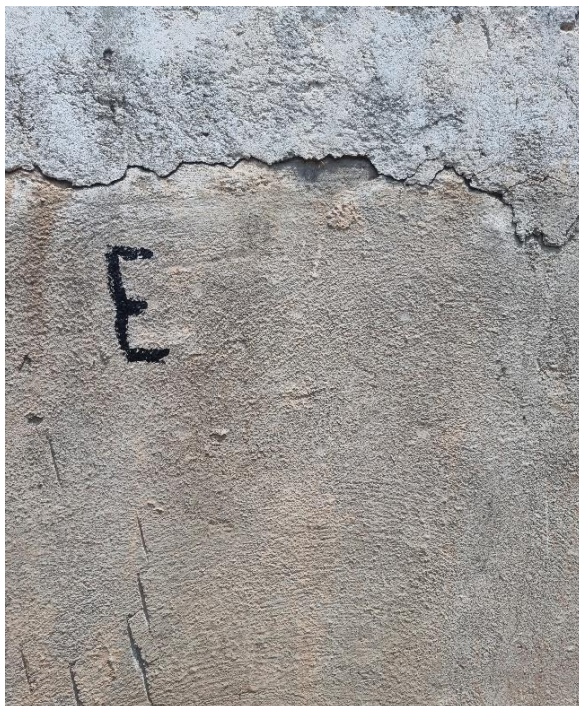


Figura 50. Muro de hormigón sobre el que se calibra el instrumento.



Figura 51. Ejecución del ensayo.

<b>Elaboró:</b> Barotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 116 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



Figura 52. Detalle de los planos de esquistosidad de los gneises.



Figura 53. Detalle de los gneises con distancia entre la esquistosidad aproximada de 50 (cm).

Los parámetros antes descritos se definen, para este trabajo, en base al relevamiento de datos “in situ” y se verifican con bibliografía de estudios en la zona. Entre los antecedentes consultados se halla el anexo del EIA de la RN N°38 (Estudio Geológico-Geotécnico Preliminar), el trabajo de Quintana-Soffietti “Zonificación Geotécnica Aplicada a Taludes Rocosos en el Cordón de Sierra Chica, Provincia de Córdoba, Argentina” y “Definition of geological-geotechnical models in slope stability studies applied to road projects in complex geological zones” de Balbis y Cerutti (2019).

En cuanto al material de falla de la Sierra Chica, el valor de resistencia a compresión se definió en base a las investigaciones de bibliografías consultadas, observación en campo y empleando los valores recomendados por el programa RocLab en las tablas que proporciona. El material de falla se halla en los cortes realizados sobre la vertiente occidental de la Sierra Chica, que presenta una intensa fracturación generalizada, lo cual determina el peor de los estados de las rocas de la región, según los antecedentes mencionados. La conformación de los taludes está compuesta por bloques inmersos en una matriz de rocas trituradas y los cortes se han realizado mediante técnica de escarificado con retroexcavadoras, topadoras y palas mecánicas, debido a la facilidad para romper el material. Los resultados observados en algunos sectores donde la roca se encuentra excesivamente triturada permiten adelantar que su comportamiento es similar al de un

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 117 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



suelo. Teniendo en cuenta esta caracterización y en base a la observación en campo, se determina que corresponde a la categoría en las tablas de RocLab para materiales que pueden ser marcados simplemente con la uña y se le asigna un valor de resistencia a la compresión de 0.6 (MPa) (v. Tabla 61). Respecto al valor GSI, existe bibliografía que define un rango de entre 20 y 30, existiendo zonas puntuales donde el índice es menor que 20; en este caso se adopta  $GSI=20$ . El valor  $m_i$  corresponde a 10 el valor D es 0.7 correspondiente a excavación mecánica. (v. Tabla 62)

En los primeros taludes del camino también se hallan pegmatitas intercaladas con el material de falla. Para esta litología los ensayos de esclerometría permiten estimar una resistencia a la compresión simple ( $\sigma'_{cm}$ ) de aproximadamente 46 (MPa) para el escenario más desfavorable con una dispersión de  $\pm 12,5$ . El parámetro GSI, según las tablas brindadas por RocLab, se promedia en un valor de 35. El valor  $m_i$ , también según las referencias de las tablas, se define igual a 32, y el valor D en 0.7 correspondiente a excavación mecánica.

El segundo sector litológico, presenta taludes compuestos por esquistos micáceos intercalados con filones de roca ígnea y apariciones de roca ígnea intrusiva en algunos sectores. En cuanto a los parámetros de los taludes compuestos por esquistos micáceos, la resistencia a la compresión simple en una primera aproximación se asimila a la categoría de materiales que pueden fracturarse con un solo golpe de un martillo geológico. Las tablas de RocLab le asignan un valor medio de 35 (MPa). En base al ensayo de esclerometría se determinó un valor de 36 (MPa) con una dispersión igual a 5, valor que se adopta por ser obtenido de una fuente directa. Los valores GSI varían talud a talud y se consignan en las tablas del anexo respectivas a cada uno; el promedio de dichos valores arroja un GSI igual a 34. El valor  $m_i$  se define igual a 10, número que las tablas definen para esquistos. El valor D en todos los taludes es de 0.7 correspondiente a excavación mecánica. La altura, también variable de talud a talud, se promedió en un valor de 14 (m).

Los filones de roca ígnea que se intercalan con los esquistos micáceos, en función de la esclerometría presentan una resistencia a la compresión simple de aproximadamente 85 (MPa) para el escenario más desfavorable, con una dispersión de  $\pm 37$ . El parámetro GSI en función de las condiciones de los taludes se promedia en 34. El valor  $m_i$  se define igual a 32, el valor D en 0.7 correspondiente a excavación mecánica y la altura promedio de los taludes es de 16 (m).

En el extremo de esta litología, en ciertos taludes se hallan rocas ígneas intrusivas, para las cuales el ensayo de esclerometría permitió estimar la resistencia a la compresión en 74  $\pm 25.5$

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 118 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



(MPa). El promedio de los valores del parámetro GSI se promedia en 35. El valor  $m_i$  se define igual a 32, el parámetro D en 0.7 y la altura promedio de los taludes en 22 (m).

El sector correspondiente al tipo litológico 1.3 con taludes compuestos por gneises, según investigaciones realizadas en la zona, conforman unidades relativamente densas, pero de elevada absorción y de baja a media resistencia a la compresión (menos de 100 MPa). Por estas razones se las define como rocas de mala calidad para realizar cortes. Los antecedentes consultados sostienen que la resistencia a la compresión simple de este tipo de material en la zona es de alrededor de 10 a 25 (MPa) y que el valor del índice Geológico de Resistencia (GSI) está comprendido entre un rango de 20 a 30. Sin embargo, el ensayo en campo arrojó un valor medio de resistencia a la compresión más elevado, igual a 84 +/-37 (MPa). Nuevamente, la determinación del GSI varía en cada talud de la litología definiendo un valor promedio igual a 36. El valor  $m_i$  se toma igual a 33, que según las tablas corresponde a gneises. El valor D se toma como D=1 porque se observa una superficie mala a causa de la voladura en la mayoría de los taludes, aunque hay excepciones donde vale 0.7 correspondiente a excavación mecánica. Por último las alturas de los taludes se promediaron para obtener un valor representativo del área, en un valor de 13 (m).

También en este sector, en los taludes aparecen intercalaciones de gneis esquistoso. Los ensayos de esclerometría permiten estimar una resistencia a la compresión simple de aproximadamente 37 +/-5 (MPa). El promedio de los valores del parámetro GSI, según las tablas brindadas por RocLab, ronda en un valor de 37. El valor  $m_i$ , también según las referencias de las tablas, se define igual a 13; y el valor D es 0.7 correspondiente a excavación mecánica. La altura promedio de los taludes es de 22 (m).

Al igual que en la litología 1.2, en este tercer sector se hallan taludes conformados por roca ígnea intrusiva. El promedio de los valores del parámetro GSI se promedia en 36. El valor  $m_i$  se define igual a 32, el valor D en 1.0 porque presentan una buena condición de la superficie posterior a la voladura. La altura promedio de los taludes es de 13 (m).

En cuanto al tipo litológico 1.4 correspondiente a roca sedimentaria, el parámetro  $\sigma'_{cm}$  presentó dos valores en base a los ensayos de esclerometría; por un lado, al ensayar sobre superficies correspondientes a bloques inmersos en la matriz se alcanza una resistencia media de 26 +/-5, mientras que la matriz arroja un valor inferior de 19,5 (MPa). Para el análisis se adopta la menor de las resistencias a fines de considerar el escenario más adverso. El promedio de los valores del parámetro GSI es de 25. Para determinar el factor  $m_i$ , la tabla define para roca

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 119 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	





sedimentaria tipo conglomerados un valor igual a 21. En el caso del parámetro D, al igual que en la mayoría de los taludes analizados, el talud ha sido excavado con maquinaria logrando menor daño en la ladera. El programa considera este tipo de situaciones con un valor igual a 0.7. La altura promedio de los taludes es de 12 (m).

El último tramo relevado es donde se hallan taludes conformados por basamento cristalino. El ensayo de esclerometría permitió estimar la resistencia a compresión simple en un valor de 80 (MPa) +/-12.5. El valor GSI varía de un talud a otro y se promedia en 37. El valor  $m_i$  corresponde al que en la tabla se indica para gneises y es de 33; el valor D se toma igual a 0.7 correspondiente a una buena voladura. La altura de estos taludes se promedia en 16 (m).

Los parámetros definidos para cada uno de los materiales que conforman los distintos tipos litológicos se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 58. Parámetros Hoek y Brown.

TL	Parámetros (Hoek y Brown)						
		$\sigma$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	$m_i$	D
1.1	Material de falla	0.6	16.0	6	5	10	0.7
	Pegmatita	46.0	26.0	6	35	32	0.7
1.2	Esquistos micáceos	36.0	26.5	14	34	10	0.7
	Filones de roca ígnea	85.0	27.5	14	34	32	0.7
	Roca ígnea intrusiva	74.0	27.5	22	35	32	0.7
1.3	Roca ígnea intrusiva	74.0	27.5	13	36	32	1.0
	Gneis	84.0	24.0	13	36	33	1.0
	Gneis esquistoso	37.0	24.0	22	37	13	0.7
1.4	Roca sedimentaria	19.5	19.5	12	25	21	0.7
1.5	Basamento cristalino	80.0	24.0	16	37	33	0.7

Los resultados de salida de cohesión y ángulo de fricción interna, obtenidos mediante RocLab, se muestran en la tabla siguiente. Se calcula además, para cada Tipo Litológico, la dispersión de los datos obtenidos. Según los resultados de la tabla, se presentan dispersiones elevadas que se corresponden con las condiciones de heterogeneidad del tipo de rocas analizadas.

Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01
		Página 120 de 247	
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>			



Tabla 59 . Resultados  $c$  y  $\phi$  por Hoek y Brown.

TL	Descripción	$\phi$ (°)		$c'$ (MPa)	
		Media	DE	Media	DE
1.1	Material de falla	8.7	-	0.006	-
	Pegmatita	51.0	-	0.052	-
1.2	Esquistos micáceos	41.9	7.25	0.098	0.03
	Filones de roca ígnea	56.8	4.74	0.188	0.06
	Roca ígnea intrusiva	53.1	8.23	0.243	0.07
1.3	Roca ígnea intrusiva	51.0	3.13	0.141	0.08
	Gneis	55.3	4.63	0.158	0.10
	Gneis esquistoso	44.8	4.44	0.142	0.02
1.4	Roca sedimentaria	41.7	1.73	0.053	0.01
1.5	Basamento cristalino	58.4	2.35	0.199	0.08

Tabla 60. Factor  $m_i$ . Fuente RocLab.

Pick Mi Value

List of Mi Values

- Migmatite 29 ± 3
- Norite 20 ± 5
- Obsidian 19 ± 3
- Peridotite 25 ± 5
- Phyllites 7 ± 3
- Porphyries 20 ± 5
- Quartzites 20 ± 3
- Rhyolite 25 ± 5
- Sandstones 17 ± 4
- Schists 10 ± 3
- Shales 6 ± 2
- Siltstones 7 ± 2
- Slates 7 ± 4
- Sparitic Limestones 10 ± 5
- Tuff 13 ± 5

Selected Mi Value

Mi Value: 13

Filter List

Rock Type

- Sedimentary
- Igneous
- Metamorphic

Texture

- Coarse
- Medium
- Fine
- Very Fine

OK Cancel

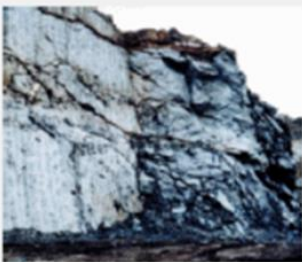

Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01
		Página 121 de 247	
<p>DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</p>			



Tabla 61. Factor resistencia a la compresión uniaxial. Fuente: RocLab.

Field Estimate of Strength	Examples	Strength (MPa)
Specimen can only be chipped with a geological hammer.	Fresh basalt, chert, diabase, gneiss, granite, quartzite.	>250
Specimen requires many blows of a geological hammer to fracture it.	Amphibolite, sandstone, basalt, gabbro, gneiss, granodiorite, limestone, marble, rhyolite, tuff.	100-250
Specimen requires more than one blow of a geological hammer to fracture it.	Limestone, marble, phyllite, sandstone, schist, shale.	50-100
Cannot be scraped or peeled with a pocket knife, specimen can be fractured with a single blow from a geological hammer.	Claystone, coal, concrete, schist, shale, siltstone.	25-50
Can be peeled with a pocket knife with difficulty, shallow indentation made by firm blow with point of a geological hammer.	Chalk, rocksalt, potash.	5-25
Crumbles under firm blows with point of a geological hammer, can be peeled by a pocket knife.	Highly weathered or altered rock.	1-5
Indented by thumbnail.	Stiff fault gouge.	0.25-1

Tabla 62. Factor D. Fuente: RocLab

	Small scale blasting in civil engineering slopes results in modest rock mass damage, particularly if controlled blasting is used as shown on the left hand side of the photograph. However, stress relief results in some disturbance.	D=0.7 Good Blasting
		D=1.0 Poor Blasting
	Very large open pit mine slopes suffer significant disturbance due to heavy production blasting and also due to stress relief from overburden removal.	D=1.0 Production Blasting
	In some softer rocks excavation can be carried out by ripping and dozing and the degree of damage to the slopes is less.	D=0.7 Mechanical Excavation

Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01
		Página 122 de 247	
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>			

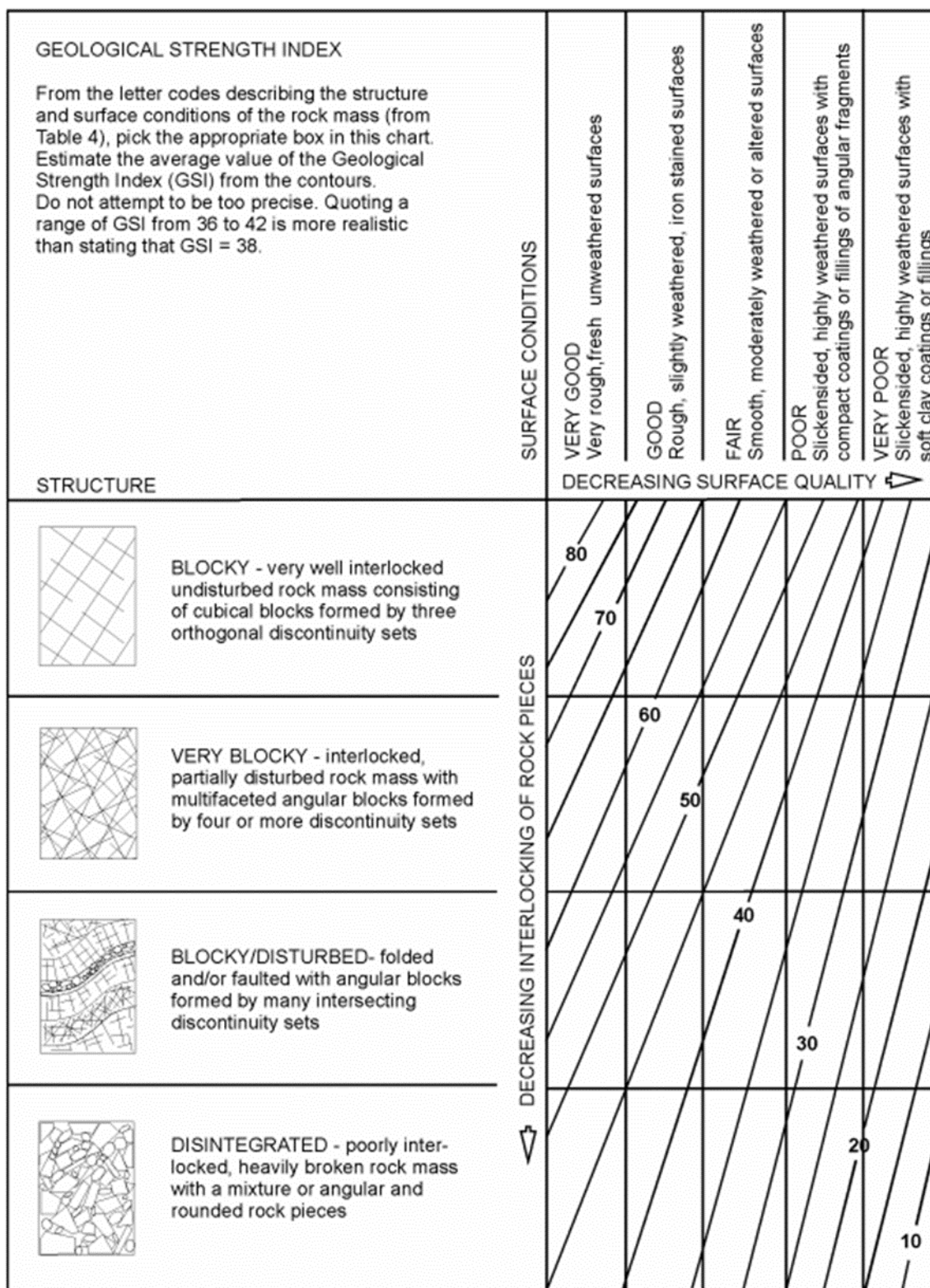


Tabla 63. Estimación de GSI según descripción geológica. Fuente: RocLab.

Elaboró:	Barotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01
		Página 123 de 247	
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>			



## II. Metodología RMR

Para el presente trabajo, se calculan los valores de ángulo de fricción interna y cohesión, mediante dos procedimientos: por un lado, empleando el método de Hoek y Brown, por el otro, el índice RMR.

El índice RMR se calcula según la fórmula

$$\text{si: } RMR' > 23 \rightarrow GSI = RMR' - 5 \quad (23)$$

De esta metodología solo se utiliza la Tabla 64 para definir los valores de cohesión y fricción.

Tabla 64. Resultados de  $c$  y  $\phi$  por metodología RMR.

TL	Material	Bieniawski (RMR)	
		$\phi$ (°)	$c'$ (MPa)
1.1	Material de falla	< 15	< 0.098
	Pegmatita	15 – 20	0.098 – 0.196
1.2	Esquistos micáceos	15 – 20	0.098 – 0.196
	Filones de roca ígnea	15 – 20	0.098 – 0.196
	Roca ígnea intrusiva	15 – 20	0.098 – 0.196
1.3	Roca ígnea intrusiva	25 – 35	0.196 – 0.294
	Gneis	25 – 35	0.196 – 0.294
	Gneis esquistoso	25 – 35	0.196 – 0.294
1.4	Roca sedimentaria	15 – 20	0.098 – 0.196
1.5	Basamento cristalino	25 – 35	0.196 – 0.294

### 6.2.2.3. Factor SI

De acuerdo con los valores RMR, se evalúa según la Tabla 51 para determinar el factor litológico SI.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 124 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

Tabla 65. Relación RMR Bieniawski y factor SI.

TL	Material	RMR	Valor SI	Descripción
1.1	Material de falla	<20	5	Muy elevado
	Pegmatita	40	4	Elevado
1.2	Esquistos micáceos	39	4	Elevado
	Filones de roca ígnea	39	4	Elevado
	Roca ígnea intrusiva	40	4	Elevado
1.3	Roca ígnea intrusiva	41	3	Moderado
	Gneis	41	3	Moderado
	Gneis esquistoso	42	3	Moderado
1.4	Roca sedimentaria	30	4	Elevado
1.5	Basamento cristalino	42	3	Moderado

Finalmente, se asignan los valores a las litologías según la tabla precedente para obtener el mapa del factor SI. Para el caso del TL 1.1 se asigna un valor SI=5 para toda el área por considerar que es el peor escenario. De igual manera para el TL 1.2 se asigna un SI =4.

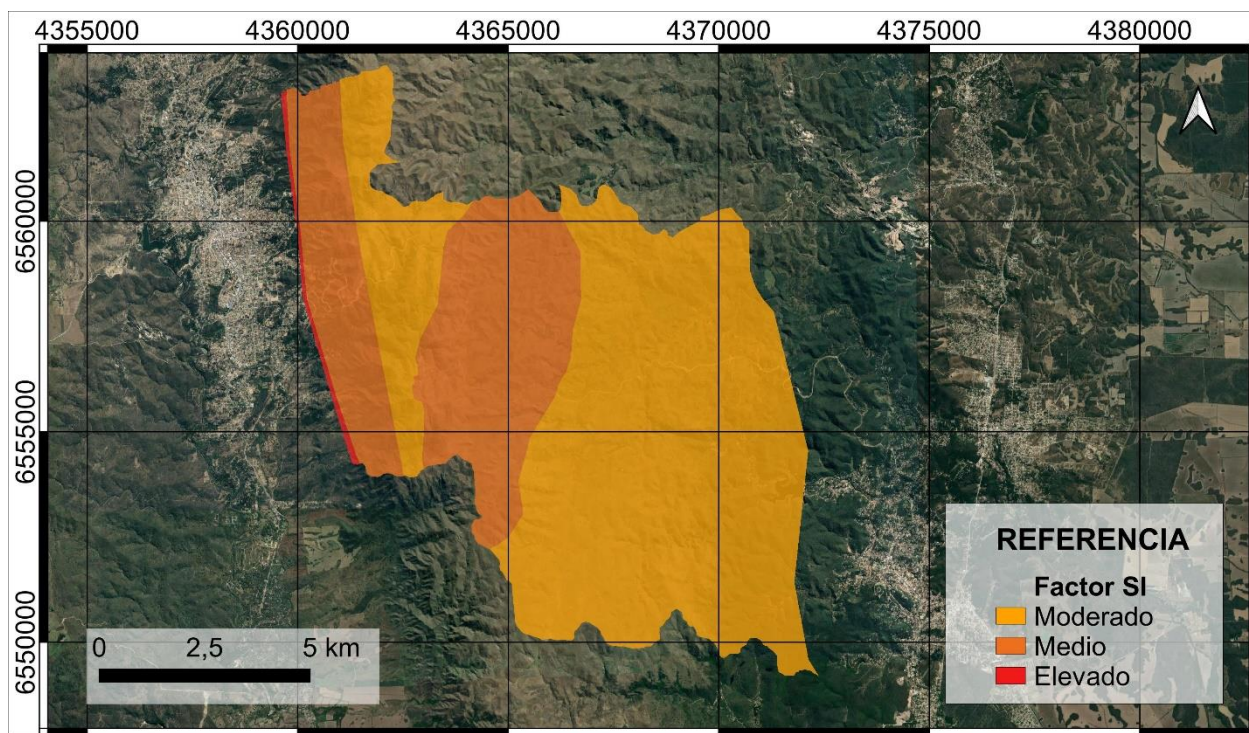


Figura 54. Factor SI.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 125 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



### 6.2.3. Factor de susceptibilidad derivado de la humedad prevalente (Sh)

La metodología MV considera que todo terreno tiene, en la mayoría de los casos y casi todo el tiempo, una humedad medianamente estable producto de las lluvias, lo que conduce a un incremento de la presión hidrostática. Esa humedad se aloja tanto dentro de las masas de suelo, en los poros; cuanto de las masas de roca, dentro de fisuras. Cuanta mayor cantidad de agua precipita, mayor cantidad se infiltra aumentando la humedad y alcanzando presiones intersticiales que aportan a la inestabilidad de las laderas. A su vez, dados ciertos valores altos de humedad previa y presión intersticial, ante un evento de lluvia intensa podría desencadenarse un proceso de inestabilidad.

El valor de humedad comprende la cantidad de agua precipitada menos la cantidad escurrida y la devuelta a la atmósfera por evapotranspiración. La manera confiable de conocer este valor es mediante ensayos in situ a la masa de suelo. En el caso de obras de gran extensión no puede realizarse en la totalidad del territorio, por lo tanto, para estudios de prefactibilidad se recurre a información proveniente de fuentes confiables. Para conocer la humedad (aproximada) presente en el terreno se obtiene la precipitación total (PT) en función de la evapotranspiración (ET), la cantidad escurrida (ESC) y la que infiltra en el terreno (INF).

$$PT = ET + ESC + INF \quad (24)$$

Esta ecuación simple permite despejar la humedad del terreno a partir de la cantidad de agua infiltrada.

$$INF = PT - ET - ESC$$

La metodología agrega que, para zonas tropicales y subtropicales, se puede considerar que para precipitaciones inferiores a 125 mm/mes los suelos se encuentran a capacidad. Dicha condición indica que el agua no infiltra ni escurre superficialmente, sino que es devuelta a la atmósfera por un proceso de evapotranspiración. En tal caso, si la precipitación media mensual es inferior a 125 mm/mes, se otorga un valor "0" de "indicador de promedio mensual (IMP)". Por otro lado, al superarse el valor establecido se dice que el terreno tiene una saturación próxima a la total y comienza a producirse un régimen constante de infiltración. En dicho caso se otorga un valor IPM de 2. Cabe destacar que, la humedad máxima es el valor a partir del cual se genera la presión intersticial causal de un proceso de inestabilidad. Un caso intermedio toma un valor IPM igual a 1.

Teniendo en cuenta lo anterior, el primer paso para calcular el factor Sh y poder clasificar la condición de disponibilidad de humedad en el terreno es conocer los valores de precipitación

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 126 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



media mensual del sitio de estudio. Con dichos valores se ingresa a la Tabla 66 y se determinan los valores IPM que le corresponde a cada mes. Luego, se realiza la suma de los IPM de todos los meses. Con este último valor se ingresa a la

Tabla 67 y se obtiene el factor de susceptibilidad Sh.

Tabla 66. Correlación pmm-IPM IPM.

Precipitación media mensual (mm/mes)	IPM
<125	0
125-250	1
>250	2

Tabla 67. Clasificación del factor Sh.

Sumatoria IPM	Valor Sh	Influencia de Sh sobre la susceptibilidad
0-4	1	Muy Baja
5-9	2	Baja
10-14	3	Mediana
15-19	4	Elevada
20-24	5	Muy Elevada

Tabla 68. Precipitaciones medias mensuales en (mm) y valoración IPM. Fuente: <https://es.weatherspark.com/>.

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Valle Hermoso – Coordenadas: 31°07'01"S 64°28'59"O												
mm	127.9	125.1	103.6	57.0	19.5	6.5	9.2	9.6	26.5	57.5	101.8	126.2
IPM	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Río Ceballos – Coordenadas: 31°10'00"S 64°19'00"O												
mm	129.1	126.8	105.8	58.8	20.5	6.7	9.7	10.0	27.8	60.1	105.8	128.6
IPM	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Cosquín – Coordenadas: 31°14'38"S 64°28'00"O												
mm	127.3	124.1	102.0	56.4	19.5	6.5	9.4	9.5	26.4	57.4	100.8	125.1
IPM	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Jesús María – Coordenadas: 30°58'54"S 64°05'39"O												
mm	129.1	127.9	108.6	60.5	21.2	6.9	9.9	10.2	28.1	60.8	107.4	129.1
IPM	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 127 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



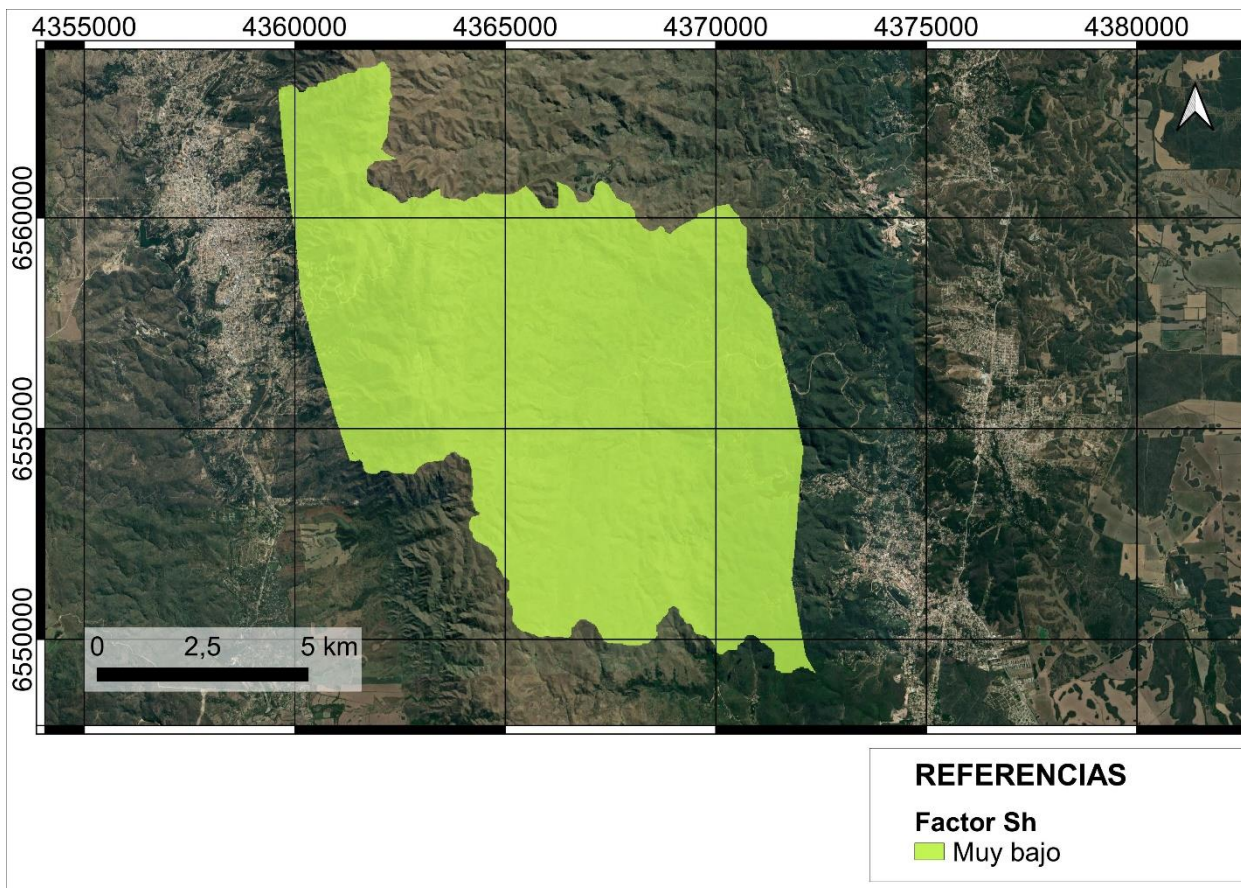


Figura 55. Factor Sh.

Para las localidades de Valle Hermoso, Río Ceballos y Jesús María la sumatoria de los valores IPM de cada mes da un total de 3 respectivamente; mientras que para Cosquín la sumatoria resulta igual a 2. Al ingresar a la tabla 49 se observa que para un rango entre 0 y 4 al factor Sh se le asigna un valor de 1, correspondiente a una clasificación de la influencia anual de Sh sobre la susceptibilidad “Muy baja”.

En consecuencia, el mapa del factor Sh para la región estudiada, se presenta cromáticamente homogéneo dado que toda la zona corresponde a un área identificada con un mismo valor. Para realizar el mapa, primero se ubican los puntos en los que se registran los datos de precipitaciones. El paso siguiente, es la asignación de los valores Sh en la tabla de atributos de dichos puntos; en este caso, todos valen 1. Finalmente, con la herramienta “interpolación” de QGIS se configura la capa correspondiente.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 128 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



#### 6.2.4. Factor de disparo sísmico (Ds)

Para conocer la influencia de un evento sísmico sobre la inestabilidad del terreno, la metodología MV recomienda utilizar un período de recurrencia  $T_r=100$  años. La Tabla 69 relaciona la Intensidad de Mercalli Modificada (IMM) y el Ds.

El Reglamento Argentino para Construcciones Sismorresistentes provee una zonificación sísmica (ver Figura 56) que asigna para el área bajo análisis la categoría “Zona 1” que corresponde a la calificación de “peligrosidad sísmica reducida”.

Mientras que el mapa de la Figura 57, confeccionado en el marco de un protocolo de gestión de riesgos, ubica los sismos ocurridos en el territorio argentino e indica los valores correspondientes según la escala Mercalli modificada. Para la zona de estudio la intensidad Mercalli máxima registrada fue de VII.

En base a la información precedente y a los valores propuestos por la metodología se obtiene un índice Ds igual a 5 para toda el área (ver Figura 58).

Tabla 69. Correlación IMM y factor Ds.

IMM	Ds	Clasificación
3	1	Marginal o nulo
4	2	Muy bajo
5	3	Bajo
6	4	Moderado
7	5	Mediano
8	6	Considerable
9	7	Importante
10	8	Elevado
11	9	Muy elevado
10	10	Extremadamente elevado

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 129 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

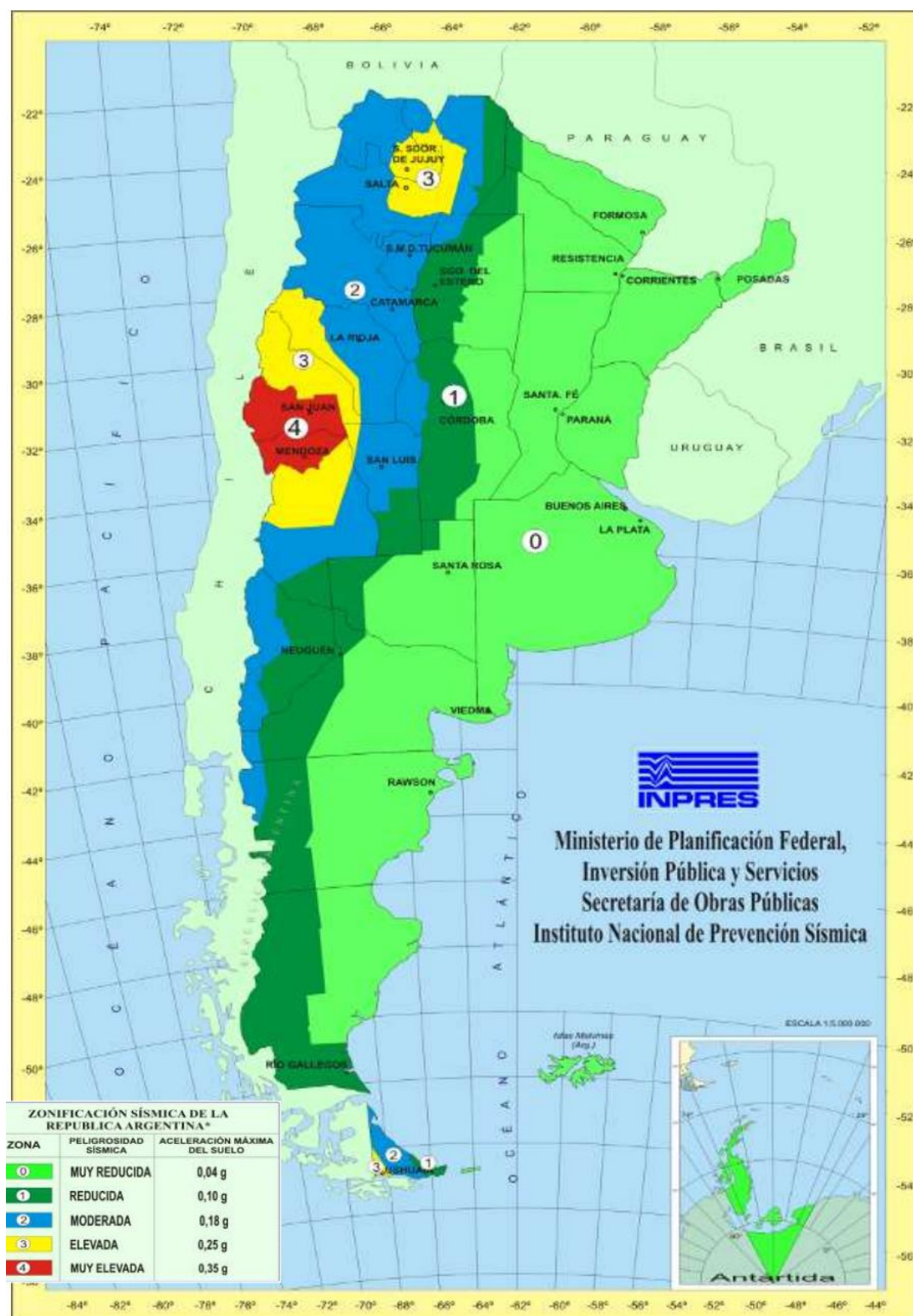


Figura 56. Mapa de zonificación sísmica de la república argentina. Fuente: <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/sismos.pdf>.

Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01
		Página:	130 de 247
<p>DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</p>			

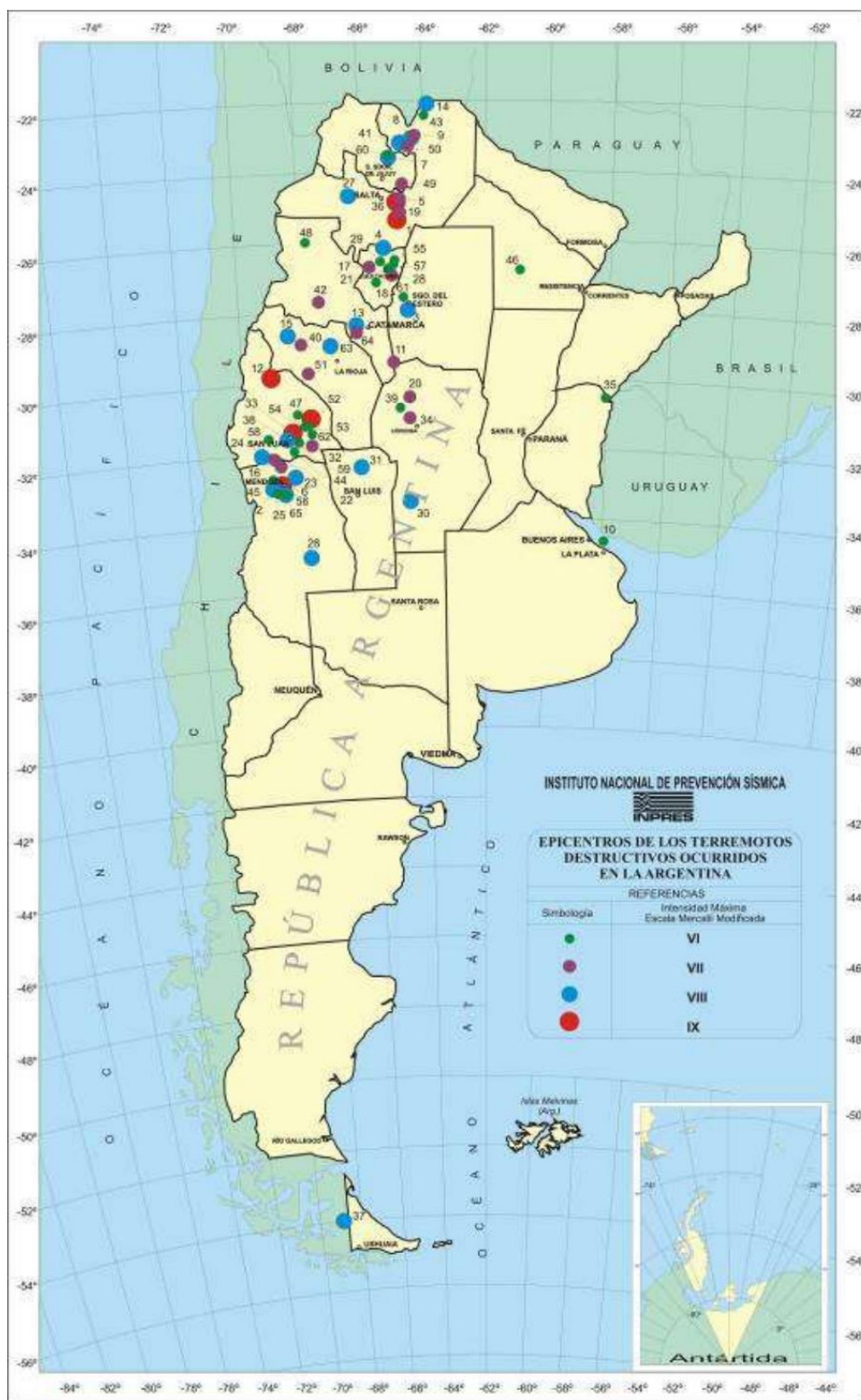


Figura 57. Epicentros e intensidad máxima escala Mercalli Modificada. Fuente: <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/sismos.pdf>

Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01
		Página 131 de 247	
<p>DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</p>			

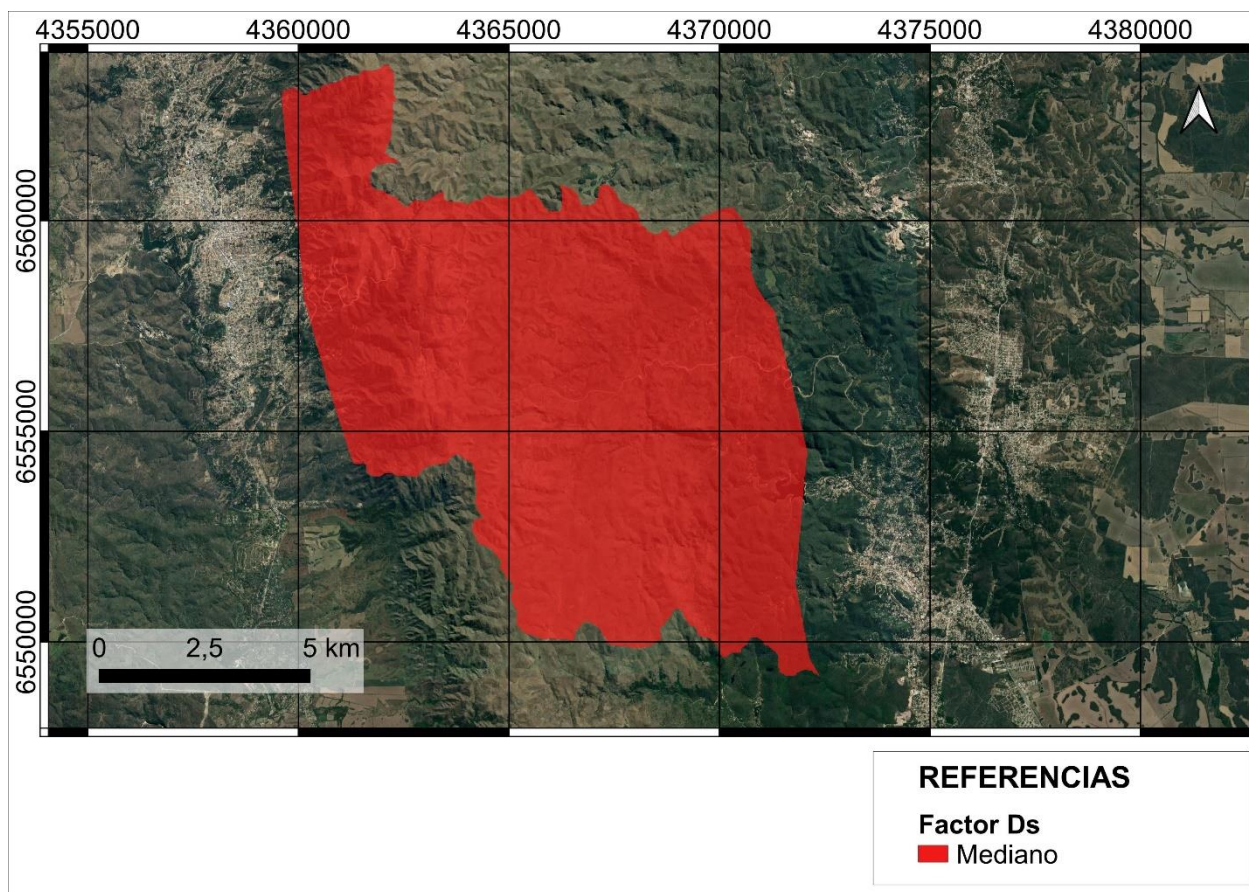


Figura 58. Factor Ds.

#### 6.2.5. Factor de disparo derivado de la intensidad de las lluvias (Dp)

Una de las maneras de calcular este factor es conocer las lluvias acumuladas máximas en 24 horas y extrapolar ese valor para un período de recurrencia de 100 años. Con esa información, se ingresa a la Tabla 70 de la metodología MV en los rangos correspondientes.

Según la información brindada en el Mapa de Precipitaciones Máximas Diarias para Diseño Hidrológico recuperado de MapasCordoba <https://mapascordoba.gob.ar/viewer/#/mapa/342>, para la zona en estudio, se toman los valores de Precipitación Máxima Diaria (PMD) con recurrencia de 100 años y se aplican en la Tabla 71. En relación a los rangos propuestos por la metodología, se obtienen los respectivos coeficientes  $D_p=2$  para las cuatro localidades. (v. Figura 59)

<b>Elaboró:</b> Barotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 132 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



Tabla 70. Rangos y valores Dp sugeridos por la metodología.

PMD (mm)	Dp	Clasificación
≤ 45	1	Muy baja
45-125	2	Baja
125-235	3	Media
235-375	4	Elevada
375≥	5	Muy elevada

Tabla 71. Precipitación máxima diaria TR 100 años y valor del factor Dp.

Ubicación	PMD (mm)	Valor Dp	Susceptibilidad
Río Ceballos	154	2	Baja
Valle Hermoso	154	2	Baja
Cosquín	154	2	Baja
Jesús María	158	2	Baja

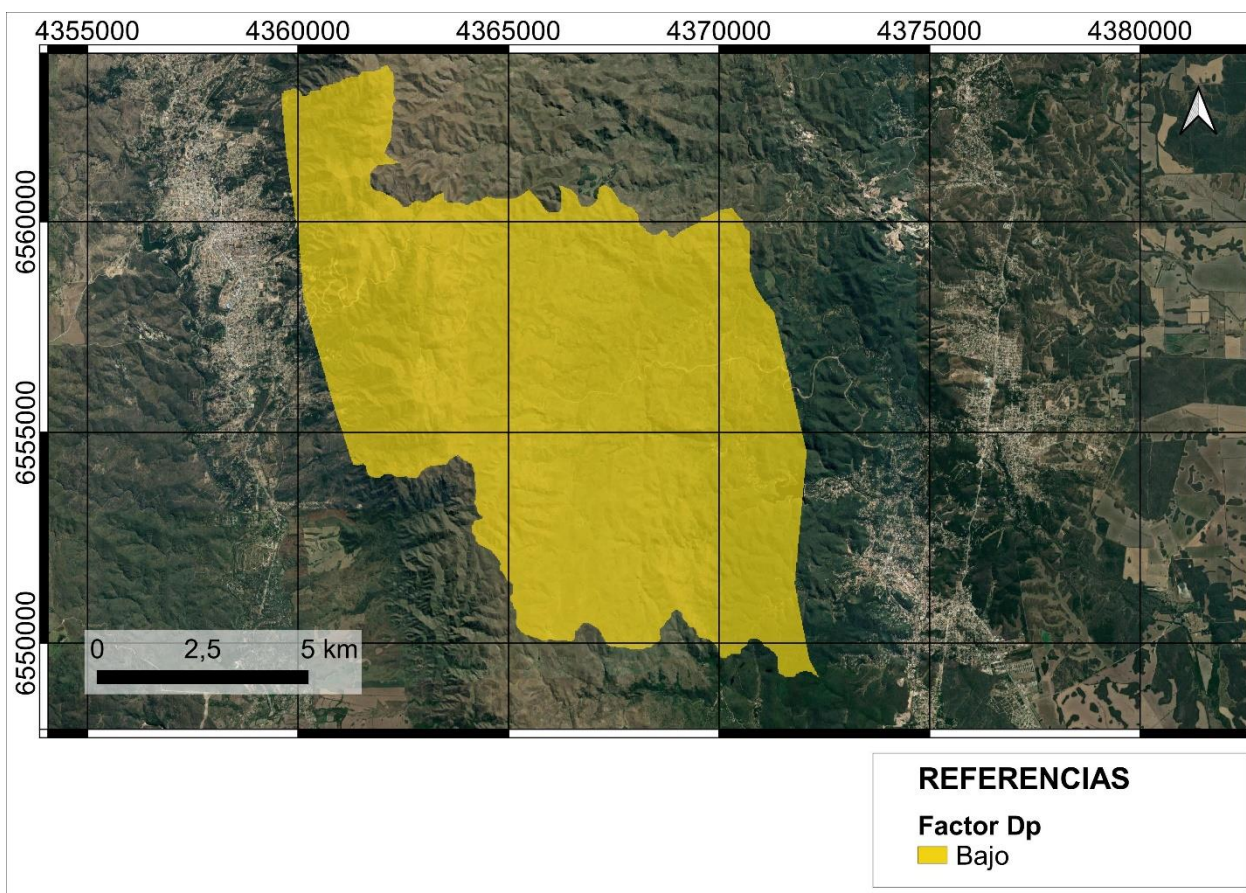


Figura 59. Factor Dp.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 133 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

### 6.2.6. Mapa de amenaza a la inestabilidad de laderas

El mapa de susceptibilidad a la inestabilidad de laderas, mediante la combinación de los factores, como lo establece la ecuación propuesta por la metodología MV, se realiza empleando la herramienta “calculadora ráster” de QGIS. Ajustando los valores resultantes de la aplicación de la fórmula a las condiciones de la zona de estudio, se establecieron los rangos y la respectiva clasificación en la Tabla 72.

La variable Ail se divide en 6 intervalos, para los que el rango 0-10 corresponde a una susceptibilidad “nula” y los comprendidos entre 10 y 26 son los significantes para esta investigación. Con esta información se configuró el mapa de la Figura 60.

Tabla 72. Categorías para la susceptibilidad.

Rangos Ail	Categoría	Susceptibilidad
0 - 10	0	Nula
10 - 13.2	1	Muy baja
13.2 - 16.4	2	Baja
16.4 - 19.6	3	Moderada
19.6 - 22.8	4	Elevada
22.8 – 26,0	5	Muy elevada

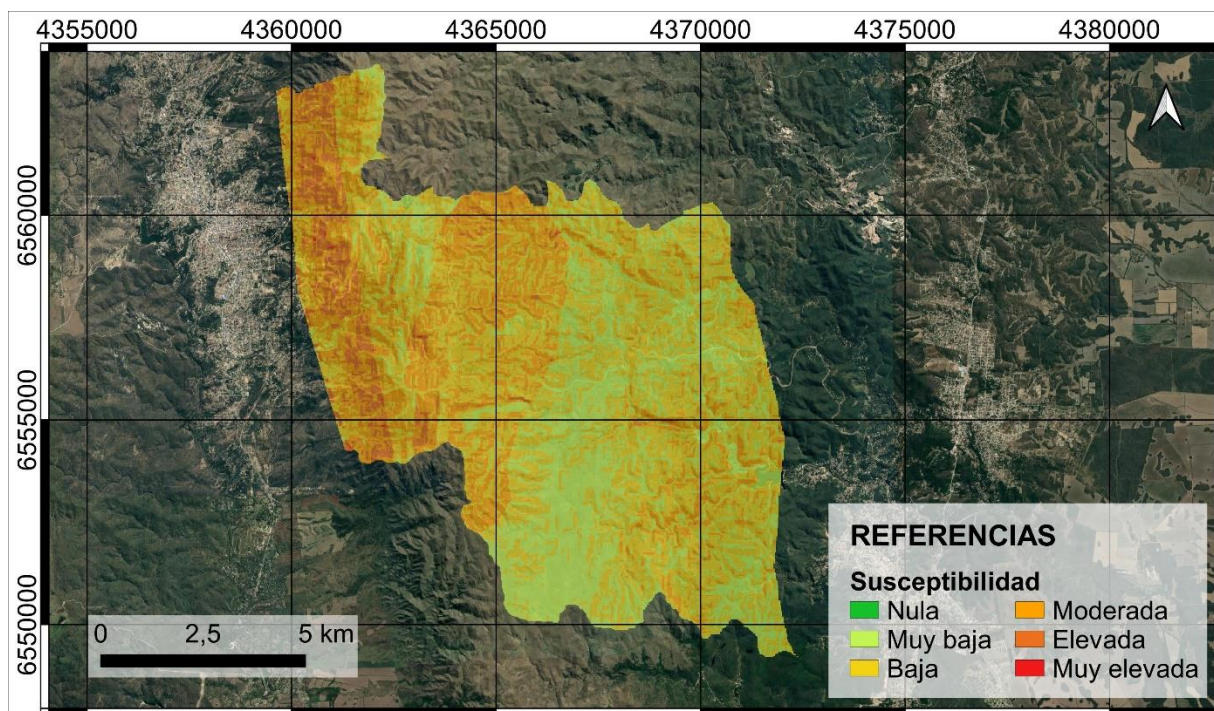


Figura 60. Mapa de amenaza a la inestabilidad de laderas.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 134 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



Del mapa de amenaza a la inestabilidad de laderas se desprenden los siguientes resultados según la superficie ocupada por cada categoría:

- 1°) Amenaza “Baja”: se da en un 46.97% del área analizada
- 2°) Amenaza “Muy Baja”: en un 27.74%
- 3°) Amenaza “Mediana”: en un 24.02%
- 4°) Amenaza “Elevada”: en un 5.34%
- 5°) Amenaza “Muy elevada”: en un 0,05%

Al analizar los porcentajes de Ail que presentan las Unidades Geomorfológicas intervenidas se obtienen:

Tabla 73. Resultados del mapa de Ail.

Ail	VP		VOcc		Sector Central		VOr	
	Área (km <sup>2</sup> )	(%)	Área (km <sup>2</sup> )	(%)	Área (km <sup>2</sup> )	(%)	Área (km <sup>2</sup> )	(%)
1	0.12	4.4	2.09	8.6	14.40	36.2	11.14	29.8
2	1.38	50.7	7.49	30.8	16.22	40.8	21.89	58.6
3	0.87	32.0	10.27	42.2	8.62	21.7	4.25	11.4
4	0.35	12.9	4.43	18.2	0.49	1.2	0.05	0.1
5	0.00	0.0	0.05	0.2	0.00	0.0	0.00	0.0
<b>Área total</b>	<b>2,72</b>	<b>100,00</b>	<b>24,33</b>	<b>100,00</b>	<b>39,73</b>	<b>100,00</b>	<b>37,35</b>	<b>100,00</b>

De donde, la unidad “Vertiente Occidental” presenta la condición más adversa en cuanto a la amenaza de inestabilidad de laderas, siendo esta el área más susceptible a sufrir deslizamientos. En campo se verificó esta condición hallando taludes con fracturación generalizada que hace que el estado de las rocas sea inferior al del resto de las unidades.

### 6.3. Metodología de Estabilidad Global de Taludes

Conocida la geometría de los taludes que conforman las diversas litologías identificadas y sus propiedades geotécnicas se procede a verificar las condiciones de estabilidad global de los mismos. Luego se realiza un análisis probabilístico y de sensibilidad, para aproximar los valores medios de sus propiedades.

#### 6.3.1. Verificación de las condiciones de estabilidad global

La primera litología, correspondiente a “material de falla e intrusivo pegmático”, se identifica en el primer talud relevado e indicado en la Figura 61 y la 62 tomadas “in situ”. Según el plano de

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 135 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	





la progresiva 3+450.000 del proyecto del Camino del Cuadrado brindados por la Dirección Provincial de Vialidad, el perfil transversal se diseñó con un contratalud 1H:2V; además, se indica la geometría de la ladera por encima del talud analizado.



Figura 61. Vista del talud T1. Fuente: Autor.

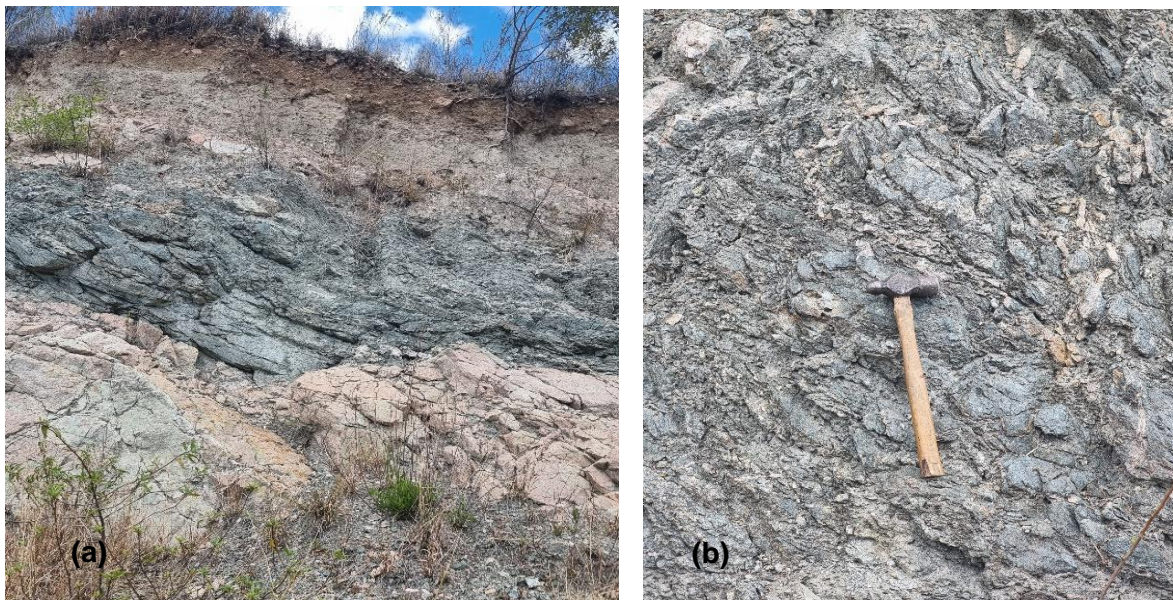


Figura 62. Fotografías "in situ" del año 2022. (a) Detalle interfaz material de falla-roca intrusiva. (b) Detalle material de falla.

El talud se compone en la parte superior de material coluvional en el que se han desarrollado algunos horizontes edáficos incipientes, luego se encuentra el material de la falla de Sierra Chica

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página</b> 136 de 247
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

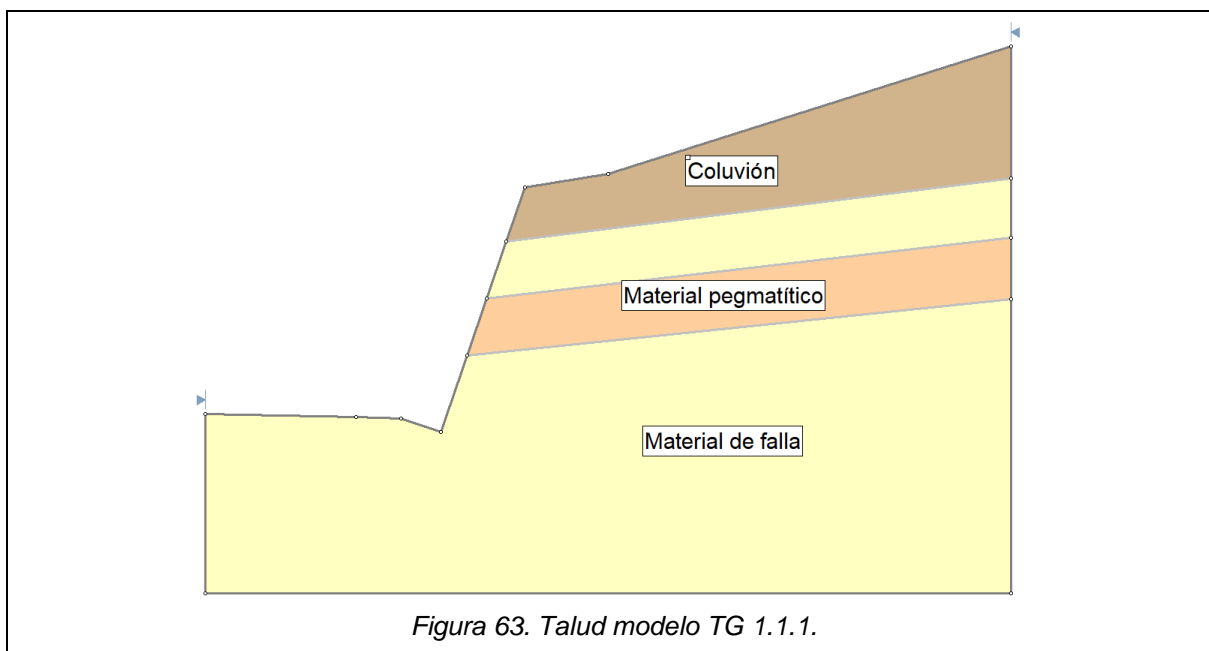
como estrato superior de aproximadamente 3 (m) sobre un intrusivo pegmatítico de mayor resistencia y finalmente vuelve a aparecer el material de falla, que es bien visible en otros taludes lindantes con el analizado y a veces cubierto por derrumbes del coluvión. (v. Figura 63)

En cuanto a la profundidad del nivel freático, cuya influencia se considera en el segundo escenario, se la define a los 3 (m) desde la superficie del terreno, en la interfaz entre ambos estratos.

La Tabla 74 muestra las propiedades geotécnicas correspondientes al TL 1.1, cuya obtención se describió anteriormente.

Tabla 74. Parámetros geotécnicos del talud T1.

Material	Parámetros (Hoek y Brown)					Resultados		
	$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	mi	D	$\sigma'_{3m\acute{a}x}$ (MPa)	$\phi$ (°)	c' (MPa)
Coluvión	3.0	18	6	17	0.7	0.80	29	0,012
Material de falla	0.6	16.0	6	10	0.7	0.06	16	0.005
Pegmatita	46.0	26.0	6	32	0.7	0.15	51	0.052



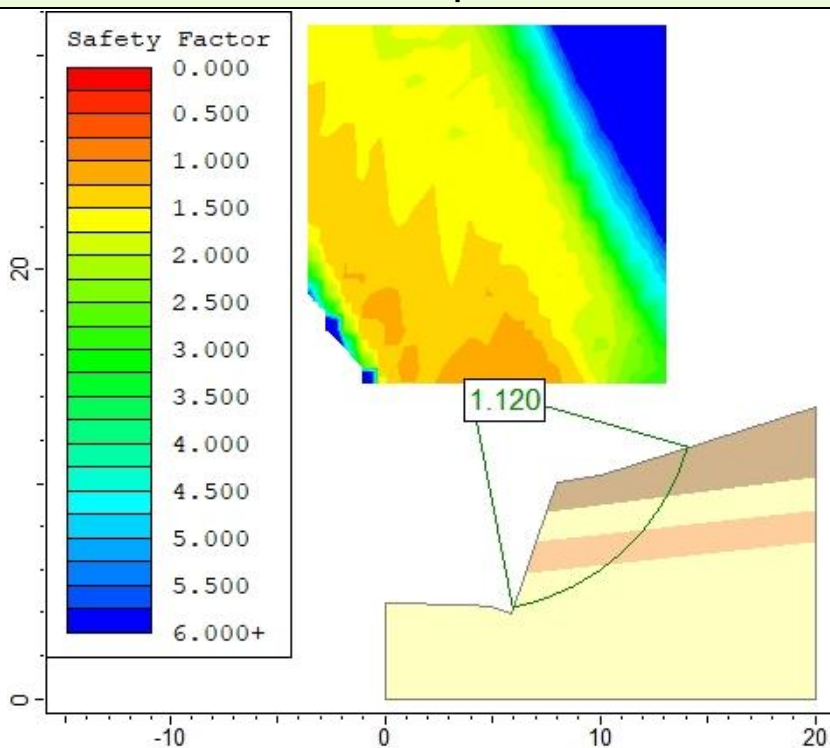
Los resultados de la verificación realizada con Slide, tanto por el método de Bishop como Janbu simplificados, presentan los Factores de Seguridad (FS) y las gráficas de fallas que se presentan en la Tabla 75.

Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01
		Página 137 de 247	
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>			

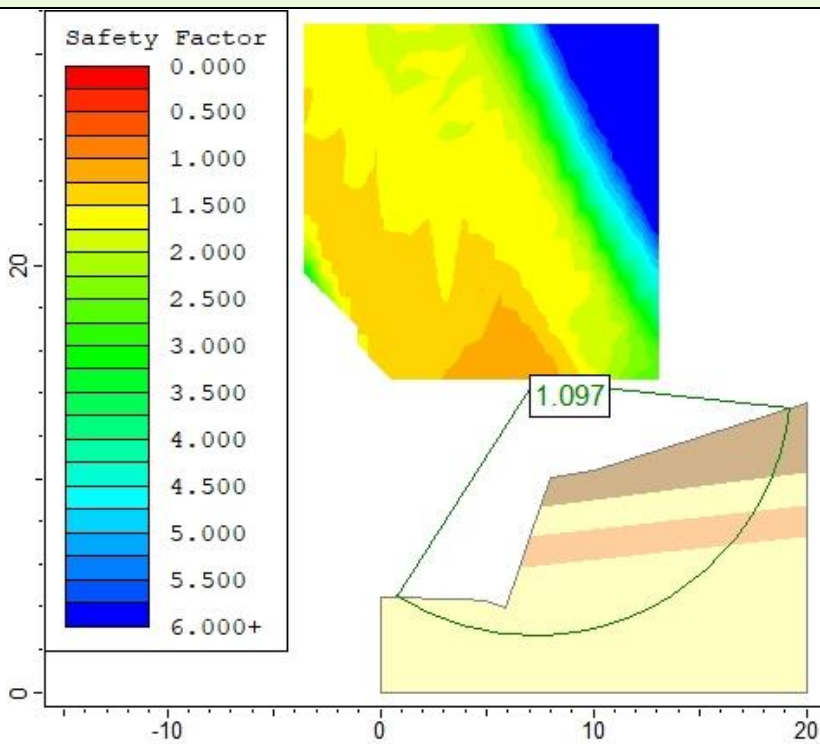


### Escenario 1

#### Bishop



#### Janbu

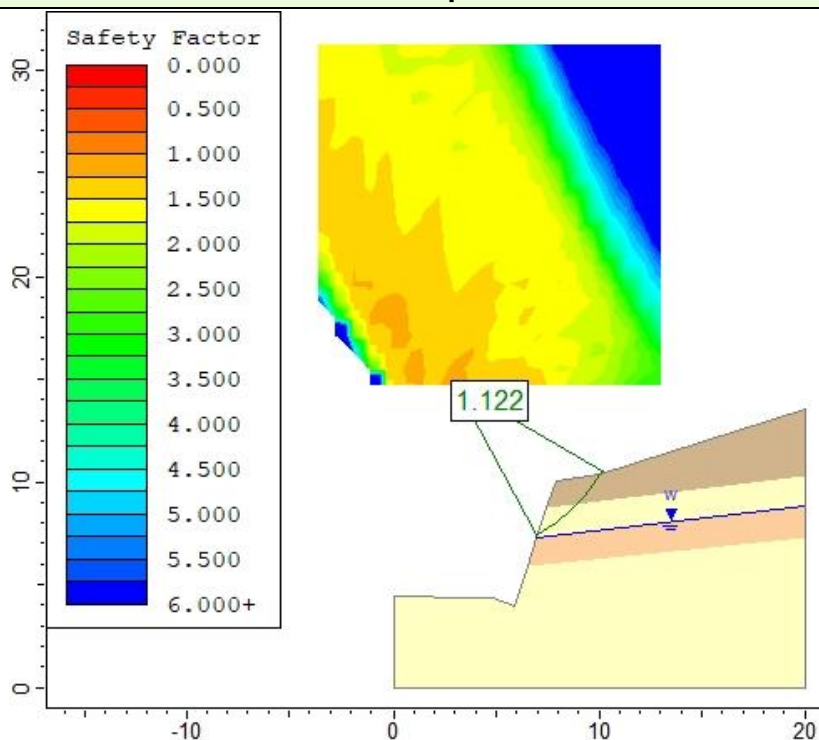


<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página</b> 138 de 247
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

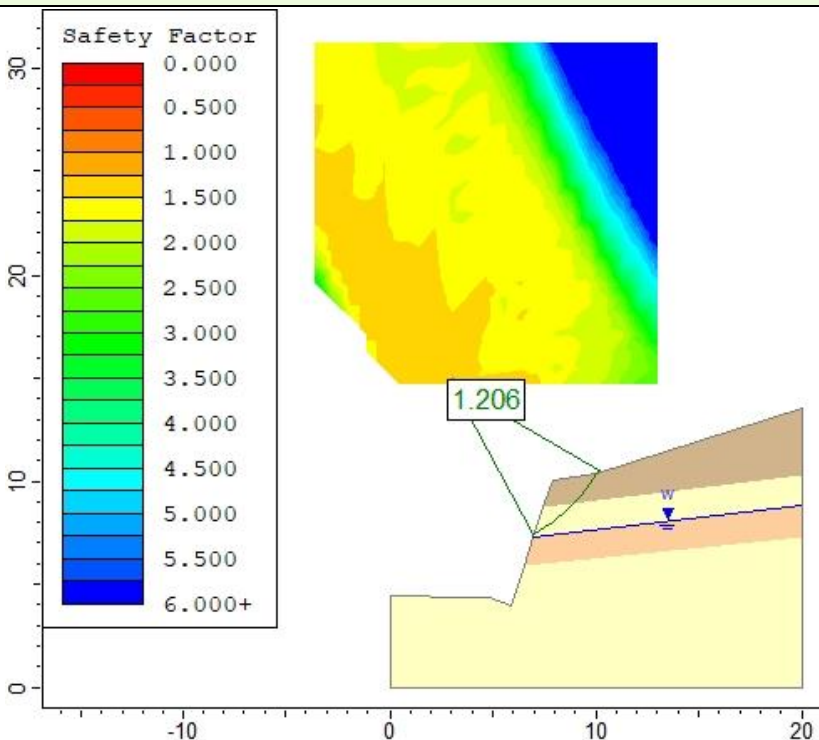


### Escenario 2

#### Bishop



#### Janbu

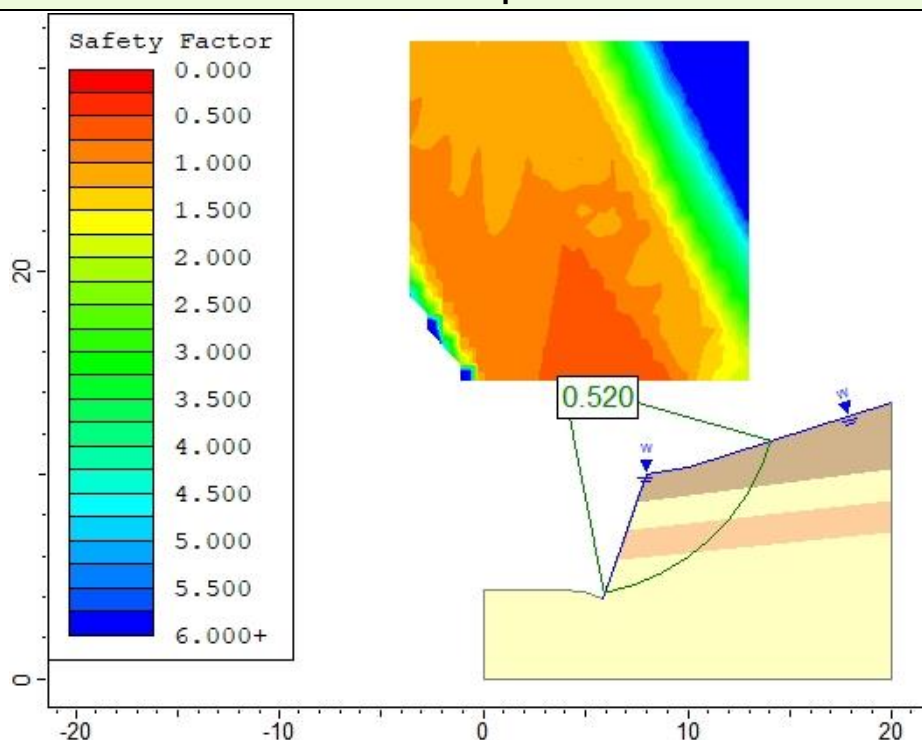


<b>Elaboró:</b> Barotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página</b> 139 de 247
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

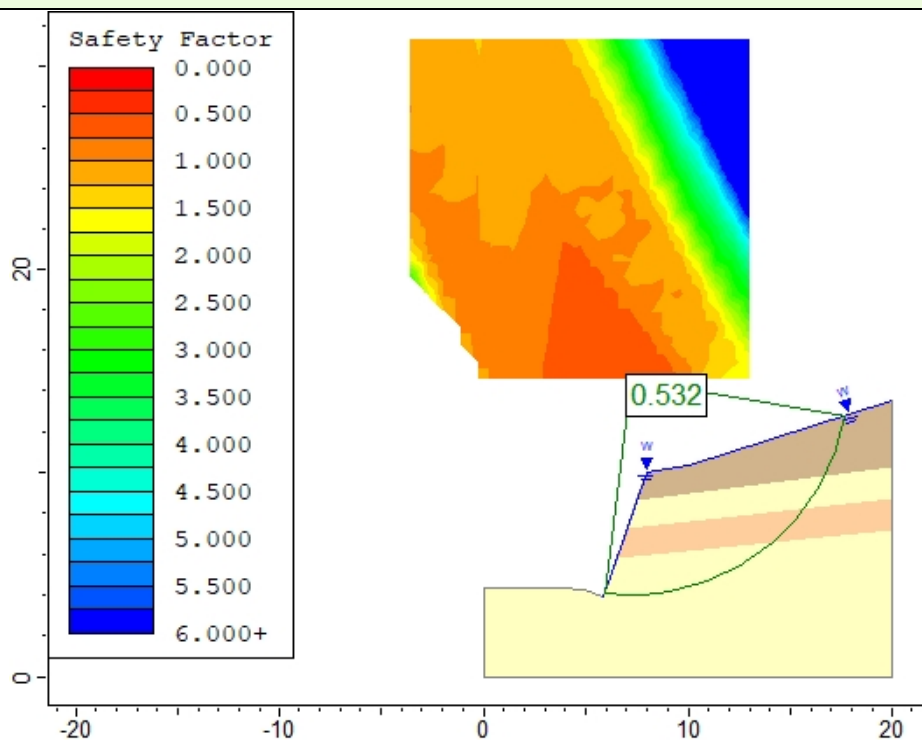


### Escenario 3

#### Bishop



#### Janbu

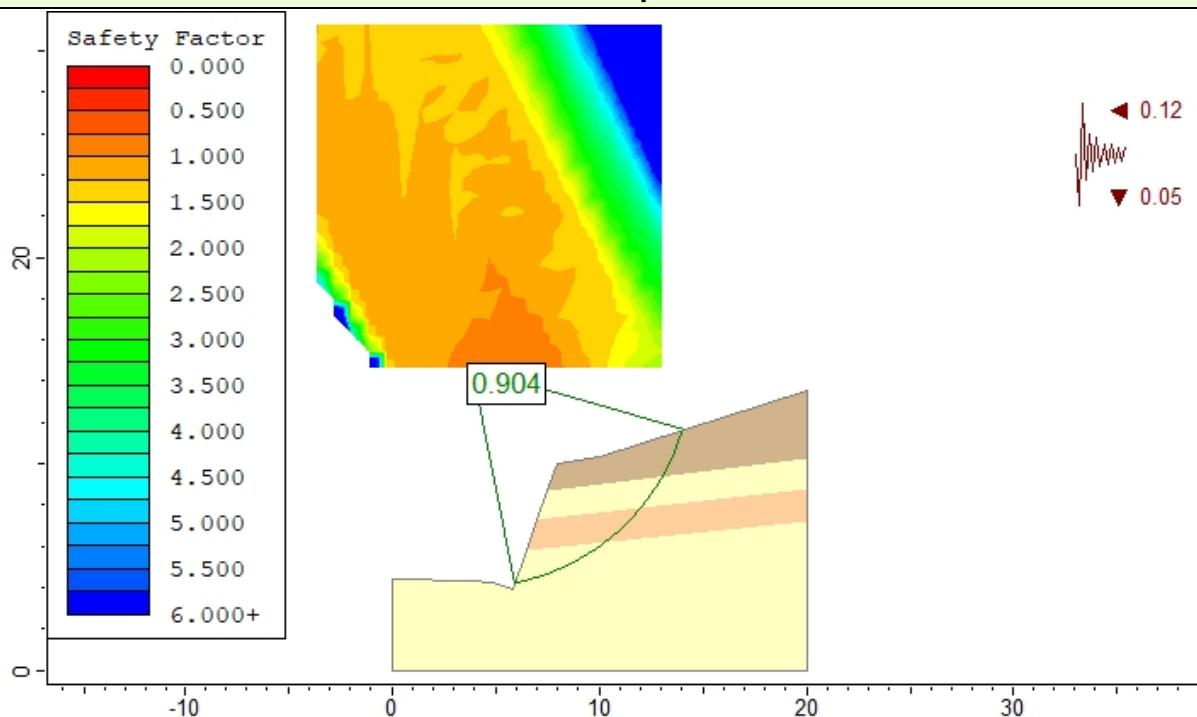


<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 140 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

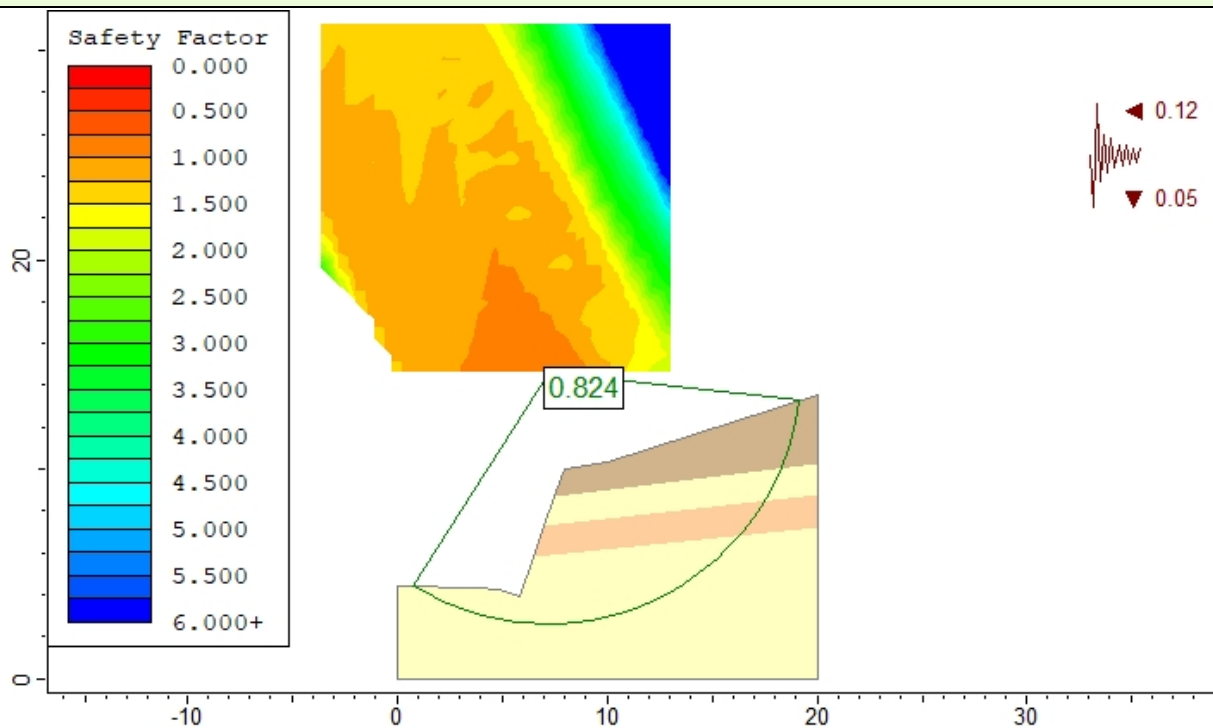


### Escenario 4

#### Bishop



#### Janbu

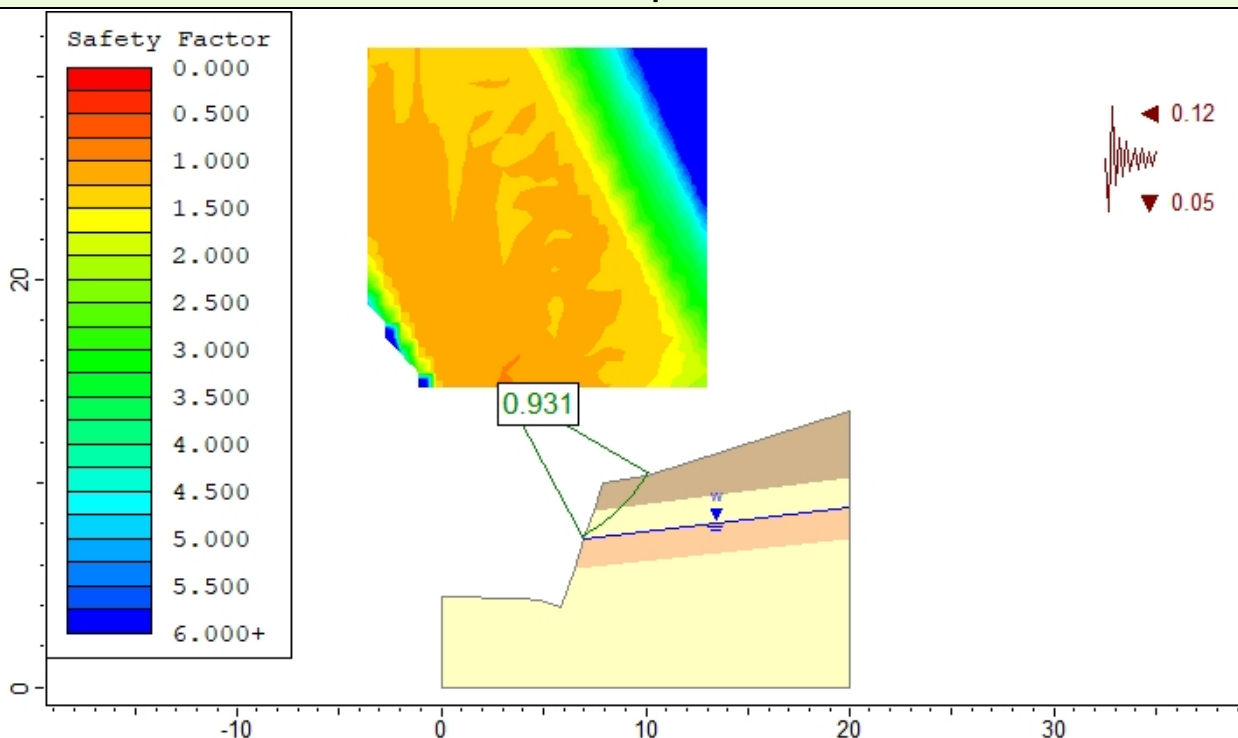


Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01
		Página:	141 de 247
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA			

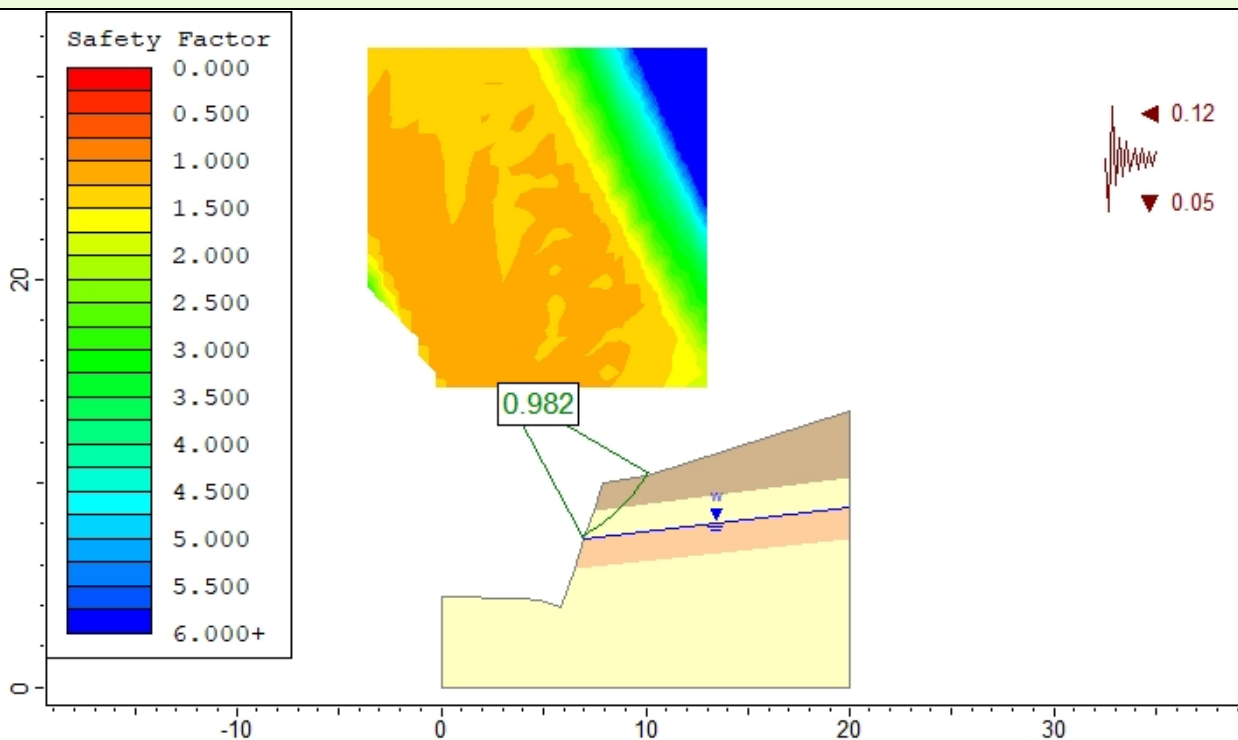


### Escenario 5

#### Bishop



#### Janbu



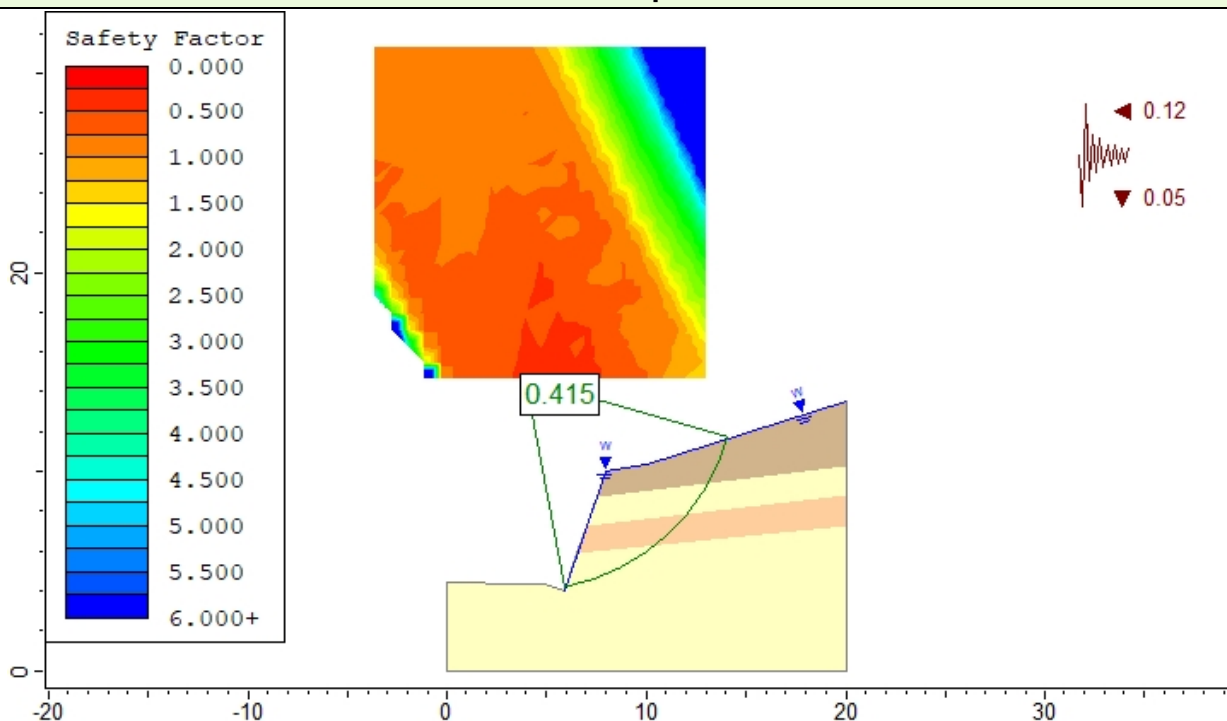
Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01
		Página	142 de 247

**DOCUMENTO CONTROLADO**  
**CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL**  
**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA**



### Escenario 6

#### Bishop



#### Janbu

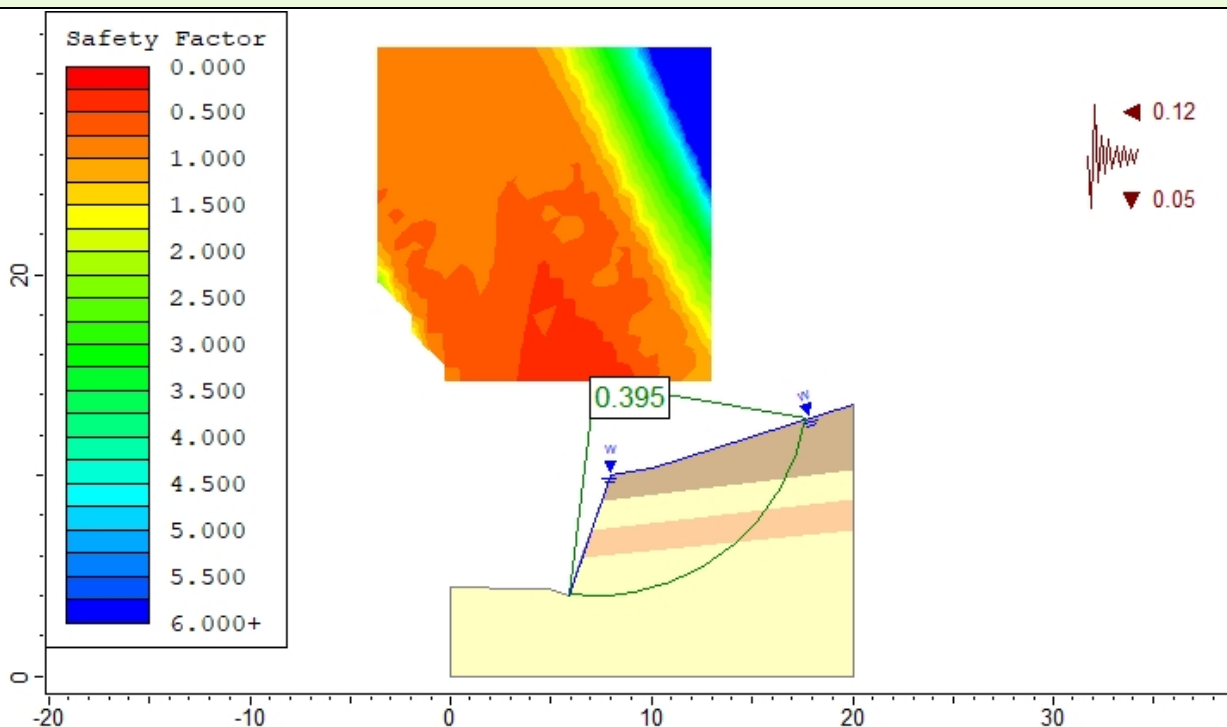


Tabla 75. Resultados FS para el TG 1.1.1.

Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01
		Página	143 de 247
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA			



Para confeccionar el modelo correspondiente al Tipo Geotécnico 1.2.1 se consideraron los valores de cohesión y ángulo de fricción interna promedios del apartado 3.2.2.2 y se tomó como geometría característica la del talud T3 para este trabajo, correspondiente con el talud de la progresiva 3+850.000 de los planos del proyecto (v. Anexo). La modelación del TG 1.2.3 se basa en la geometría del talud T10 (v. Anexo) y las características geológicas correspondientes. El TL 1.3 se divide en dos modelos: para el primero, el TG 1.3.1, se estudia como talud tipo el T17 (v. Anexo); para el segundo, el TG 1.3.2, el talud T23 (v. Anexo). El TG 1.4.1 presenta taludes tipo como el T29/30 (v. Anexo). El TG 1.5.1 se modelo según la geometría del talud T34 (v. Anexo).

Las propiedades de los modelos restantes y sus geometrías se muestran a continuación, mientras que los FS resultantes se resumen en la Tabla 77.

Tabla 76. Propiedades modelos TL 1.2.1 a 1.5.1.

Material	c' (MPa)	DE	$\phi$ (°)	DE
Esquistos micáceos	0,098	0.03	41.9	7.25
Roca ígnea intrusiva	0,243	0,07	53,1	8,2
Filones de pegmatita	0.188	0.06	56.8	4.74
Gneis esquistoso	0,142	0,02	44,8	4,4
Gneis masivo	0.158	0.10	55.3	4.63
Roca ígnea granítica	0.141	0.08	51.0	3.13
Roca sedimentaria	0,053	0,01	41,7	1,7
Basamento cristalino	0,168	0,06	51,4	2,6

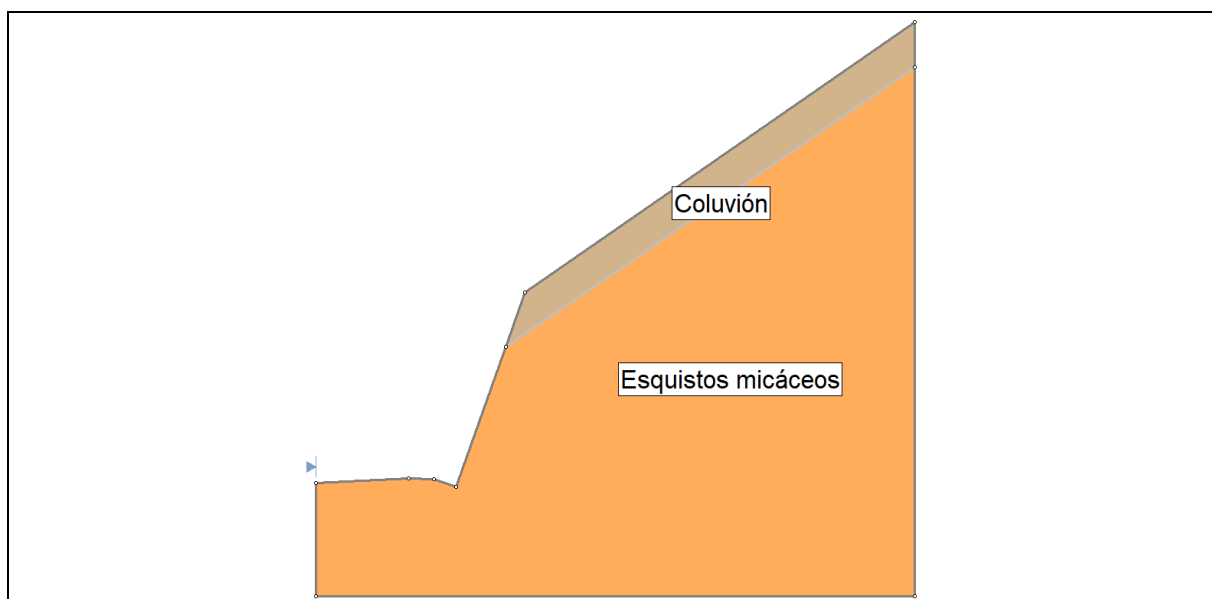


Figura 64. Talud modelo TG 1.2.1.

Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01
		Página 144 de 247	
<p><b>DOCUMENTO CONTROLADO</b>  <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b>  <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b></p>			

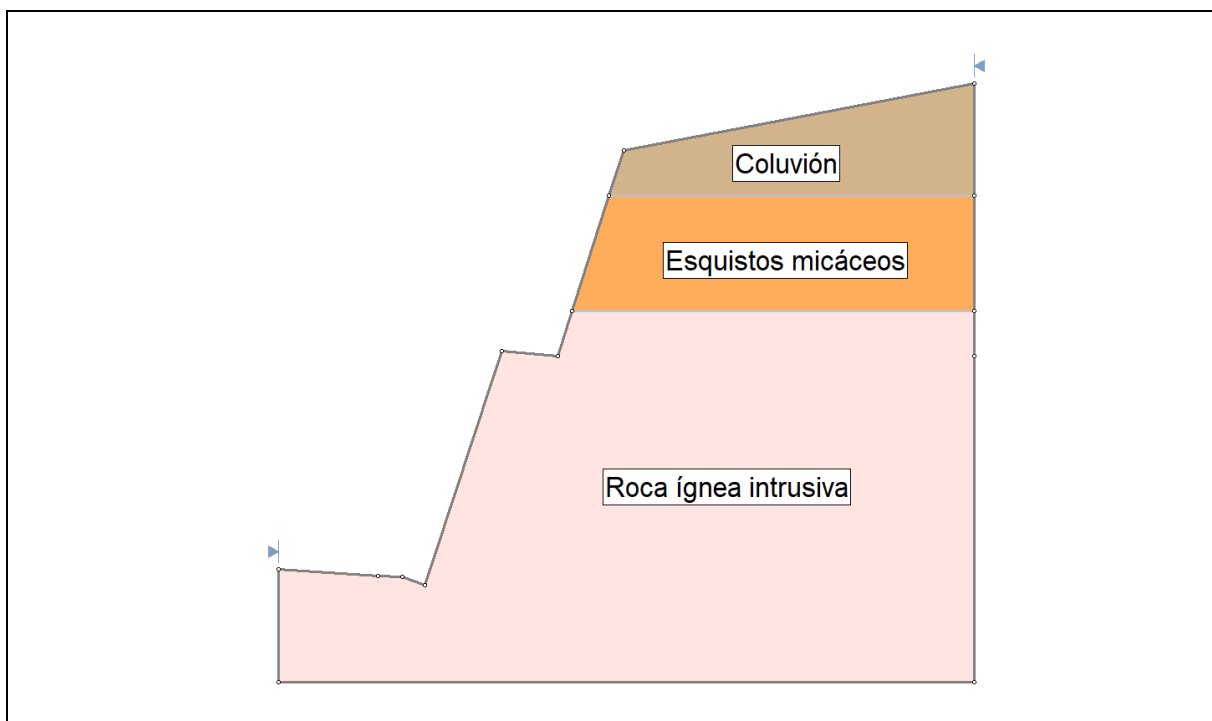


Figura 65. Talud modelo TG 1.2.2.

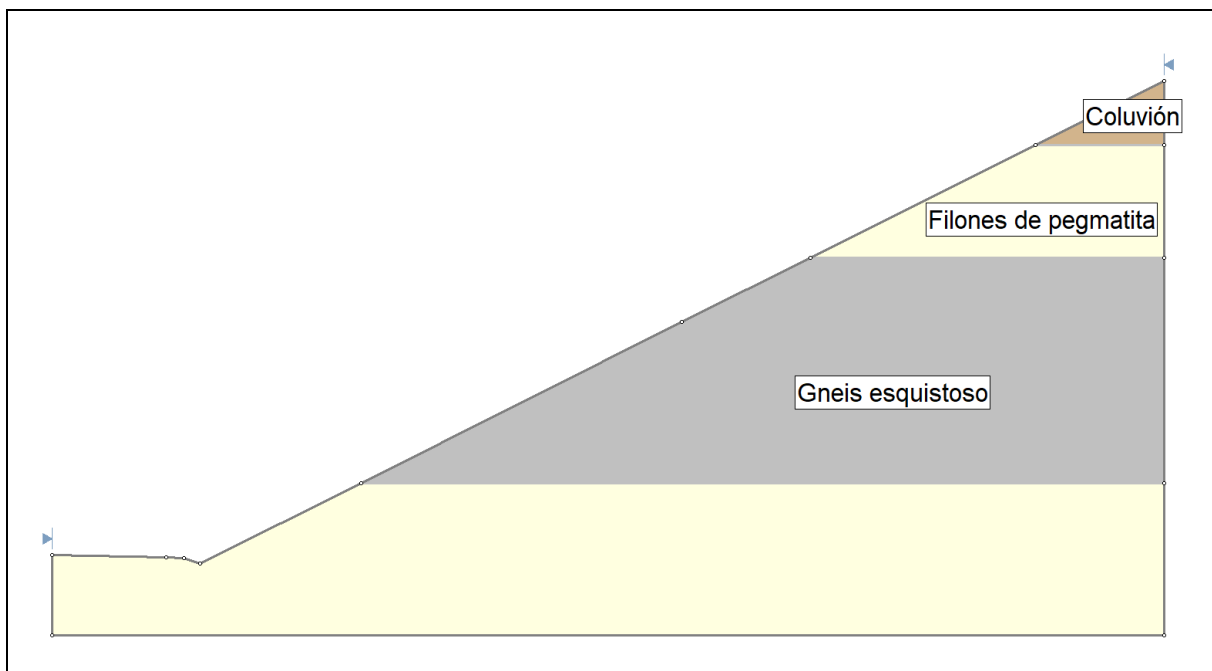


Figura 66. Talud modelo TG 1.3.1.

Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01
		Página 145 de 247	
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>			

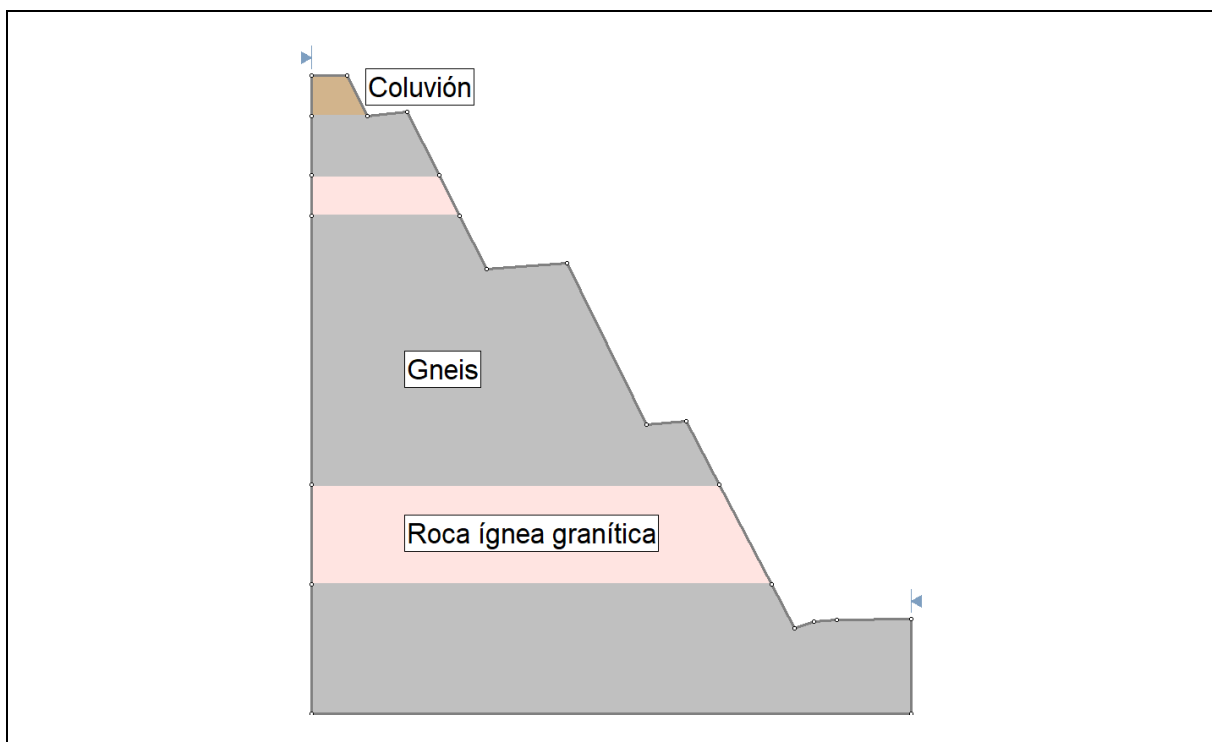


Figura 67. Talud modelo TG 1.3.2.

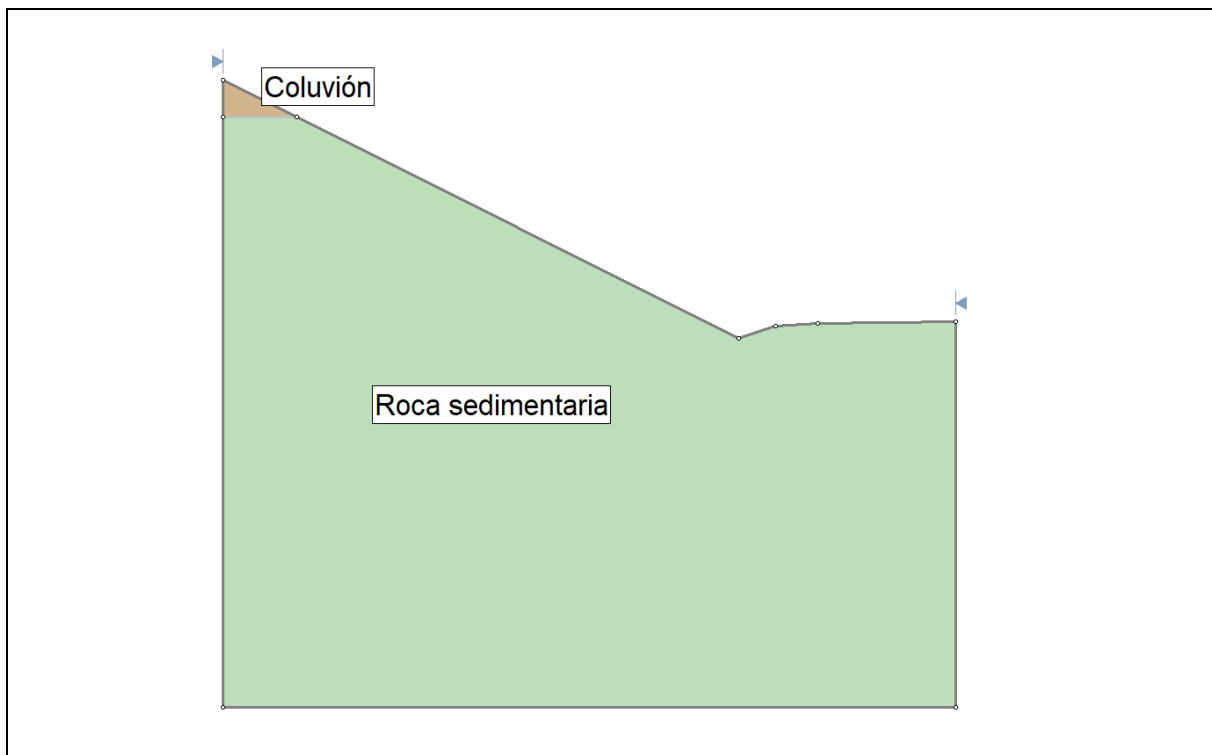


Figura 68. Talud modelo TG 1.4.1.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 146 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

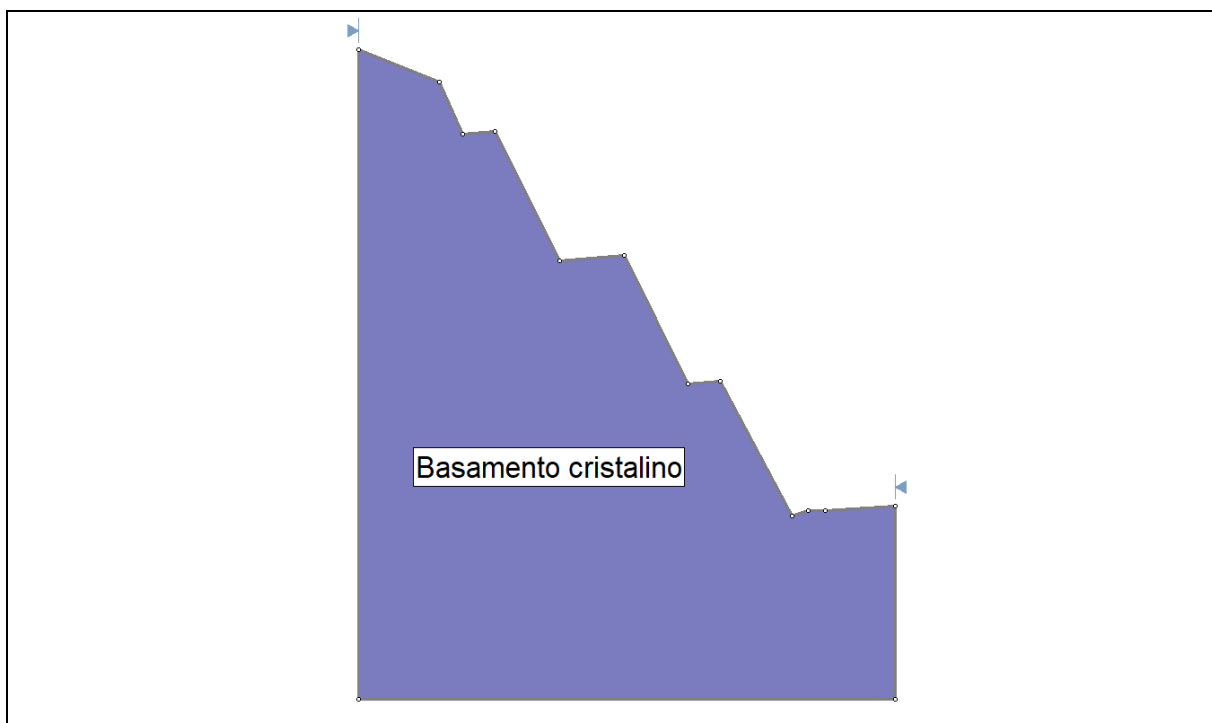


Figura 69. Talud modelo TG 1.5.1.

Las verificaciones de estabilidad aportaron que el modelo con mayores probabilidades de falla corresponde al TG 1.1.1. Se concluyó que, para los primeros dos escenarios el talud analizado presenta estabilidad global; por el contrario, para los escenarios 3, 4, 5 y 6 los FS resultaron menores a 1. La interpretación de los resultados indica que podrían ocurrir posibles derrumbes relacionados principalmente con la saturación del talud y la acción sísmica, o la combinación de sismo y presencia de nivel freático sin la ocurrencia de eventos extraordinarios. Teniendo en cuenta que se analizaron cortes, se puede concluir que el trazado del camino ha dado lugar a un cambio en el equilibrio de las laderas.

El TL 1.2.1 presenta FS menor a 1 para los escenarios 3 y 6, en los que se considera talud saturado y su combinación con acción sísmica respectivamente.

Los cinco modelos restantes verificaron la estabilidad global con factores mayores a 1. Los motivos son diversos, por ejemplo, en los modelos correspondientes al TG 1.2.2, 1.3.1 y 1.3.2 la presencia de litologías más resistentes en la parte inferior del talud funciona de soporte para los materiales de menor resistencia ubicados en la parte superior de los mismos. En el caso del TG 1.4.1, si bien los conglomerados presentan baja resistencia, en el sector central de la Sierra Chica los taludes no alcanzan alturas elevadas lo cual otorga estabilidad. El último modelo analizado,

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021	
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023	
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01	<b>Página 147 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>		



correspondiente a las afloraciones de basamento cristalino, presentan la ventaja de conformarse por material de elevada resistencia y una geometría lograda mediante voladura controlada lo cual disminuyó su alteración.

Tabla 77. Factores de seguridad TL 1.2, 1.3, 1.4 y 1.5

TG	Método	Escenario					
		1	2	3	4	5	6
1.2.1	B	1,765	1,765	1.129	1,449	1,449	0,917
	J	1,787	1,787	0.152	1,461	1,461	0,931
1.2.2	B	2,512	2,512	1,831	2,045	2,045	1,449
	J	2,527	2,527	1,848	2,040	2,040	1,426
1.3.1	B	5,058	5,058	3,770	3,930	3,930	2,939
	J	4,634	4,634	3,423	3,561	3,561	2,634
1.3.2	B	2,863	2,863	2,229	2,356	2,356	1,831
	J	2,870	2,870	2,083	2,357	2,357	1,695
1.4.1	B	5,932	5,932	4,468	4,610	4,610	3,484
	J	5,359	5,359	4,022	4,122	4,122	3,097
1.5.1	B	4.475	3,515	2.973	3.793	3.667	2.496
	J	4.496	3,589	2.835	3.709	3.583	2.308

### 6.3.2. Análisis probabilístico

El análisis de probabilidad arroja los resultados que se muestran en la Figura 70 y la 71 por el método de Bishop y de Janbu respectivamente.

Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01
		Página 148 de 247	
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>			

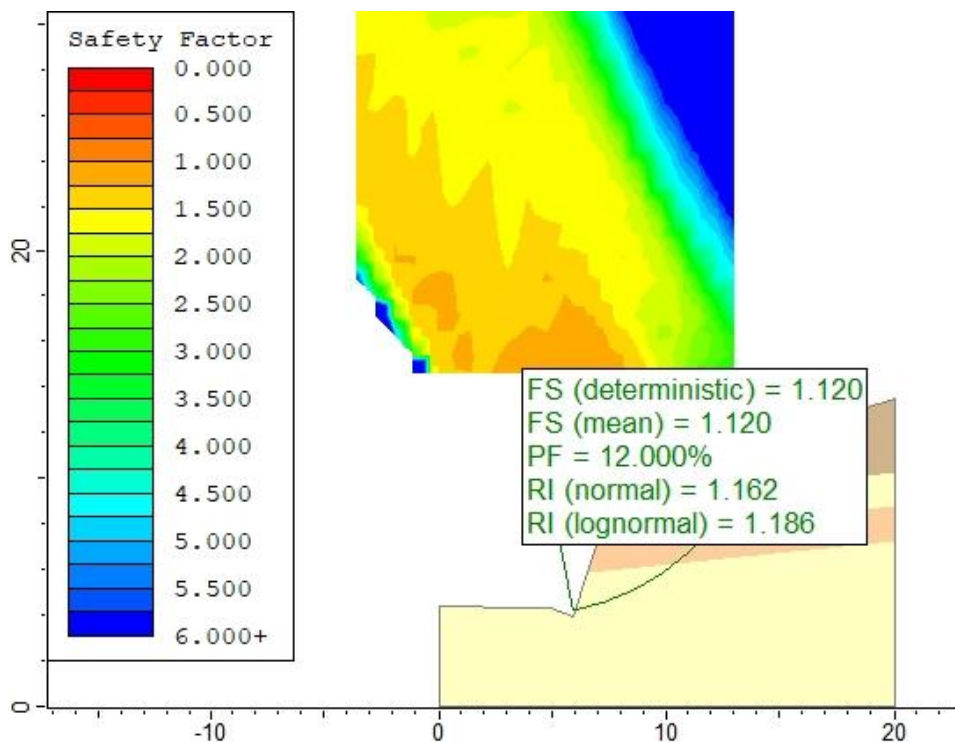


Figura 70. Análisis probabilístico por Bishop.

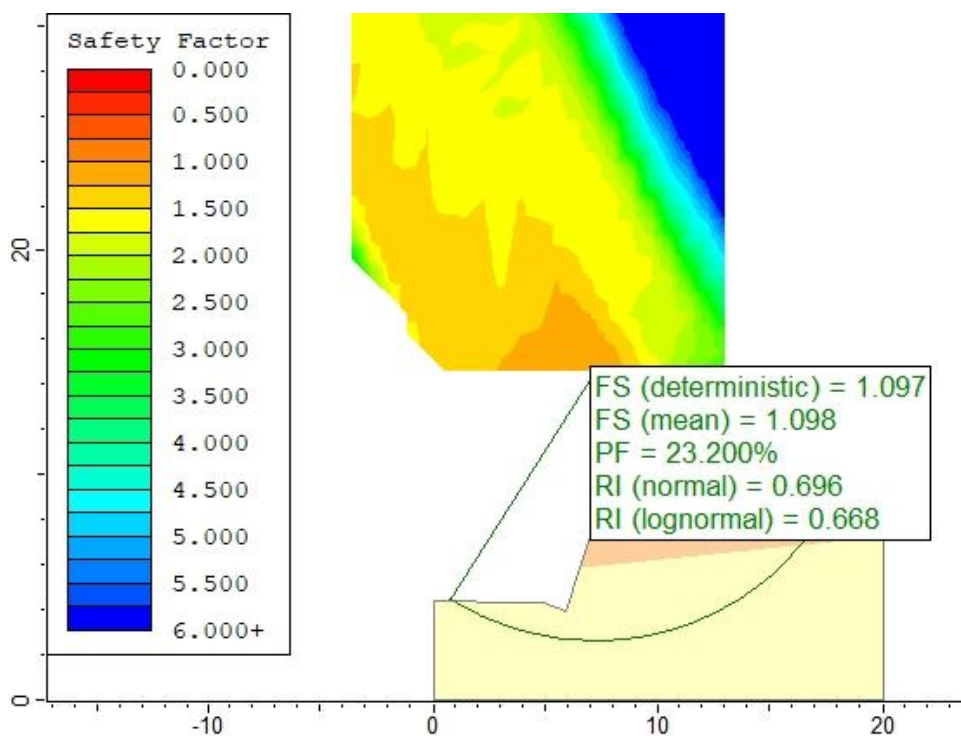


Figura 71. Análisis probabilístico por Janbu.

Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021	
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023	
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01	Página 149 de 247
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>				



Los histogramas en función del FS muestran según las barras rojas los análisis que dieron como resultado un factor de seguridad inferior a 1 ( $FS < 1$ ) por el método de Bishop y de Janbu respectivamente. La probabilidad de falla se calcula en función del área de las barras rojas dividida por el área total del histograma.

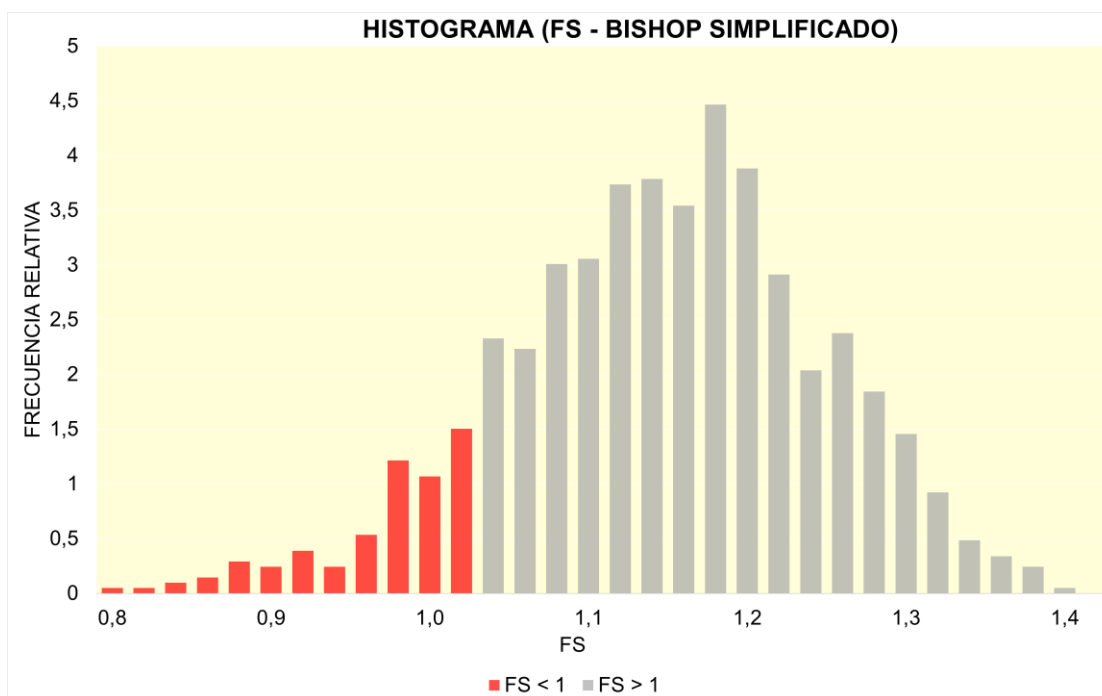


Figura 72. Histograma FS (Bishop).

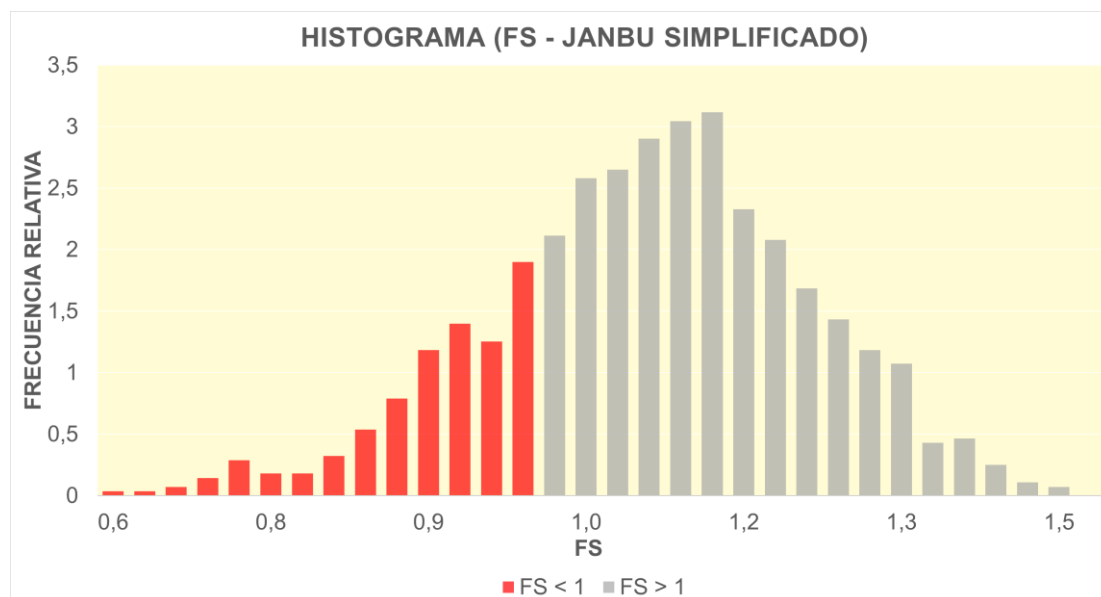


Figura 73. Histograma FS (Janbu).

Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021	
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023	
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01	Página 150 de 247
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>				



Para el caso del talud T1, el histograma indica que 120/1000 puntos tienen un factor de seguridad menor a 1; lo que en términos de probabilidad de falla es igual a decir que la misma es del 12.0% mediante el método de Bishop; mientras que 123/1000 puntos y 23.2% mediante Janbu.

Tabla 78. Resultados análisis probabilístico

TG	Método	FSm	PFm (%)	RIn
1.2.1	B	1,778	0,0	6,255
	J	1,800	0,0	6,638
1.2.2	B	2,516	0,0	8,642
	J	2,531	0,0	6,683
1.3.1	B	5,119	0,0	8,180
	J	4,686	0,0	8,442
1.3.2	B	2,871	0,0	9,095
	J	2,874	0,0	9,215
1.4.1	B	5.982	0,0	10.065
	J	5,409	0,0	9.598
1.5.1	B	3,622	0,0	5.041
	J	3,677	0,0	4.147

### 6.3.3. Análisis de sensibilidad

Al graficar las tres variables aleatorias en un gráfico de sensibilidad se obtiene el presentado en la Figura 74. El eje horizontal del gráfico muestra “porcentajes de rango”: un porcentaje de rango igual a 0 representa los valores mínimos de cada variable, y 100 los máximos. Las tres curvas se intersecan para un porcentaje de rango igual al 50%, el que representa el valor medio de cada variable.

El gráfico indica que el factor de seguridad es más sensible a la variable cuya curva es más pronunciada, por ejemplo, en este caso la curva naranja.

Los gráficos correspondientes a las litologías restantes se integran al Anexo N°2.

Elaboró: Barrotto, María	Código: TF-B-2021
Revisó: Dr. Ing. Quintana	Emisión: 23 de marzo de 2023
Autorizó: Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión: 01   Página 151 de 247
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



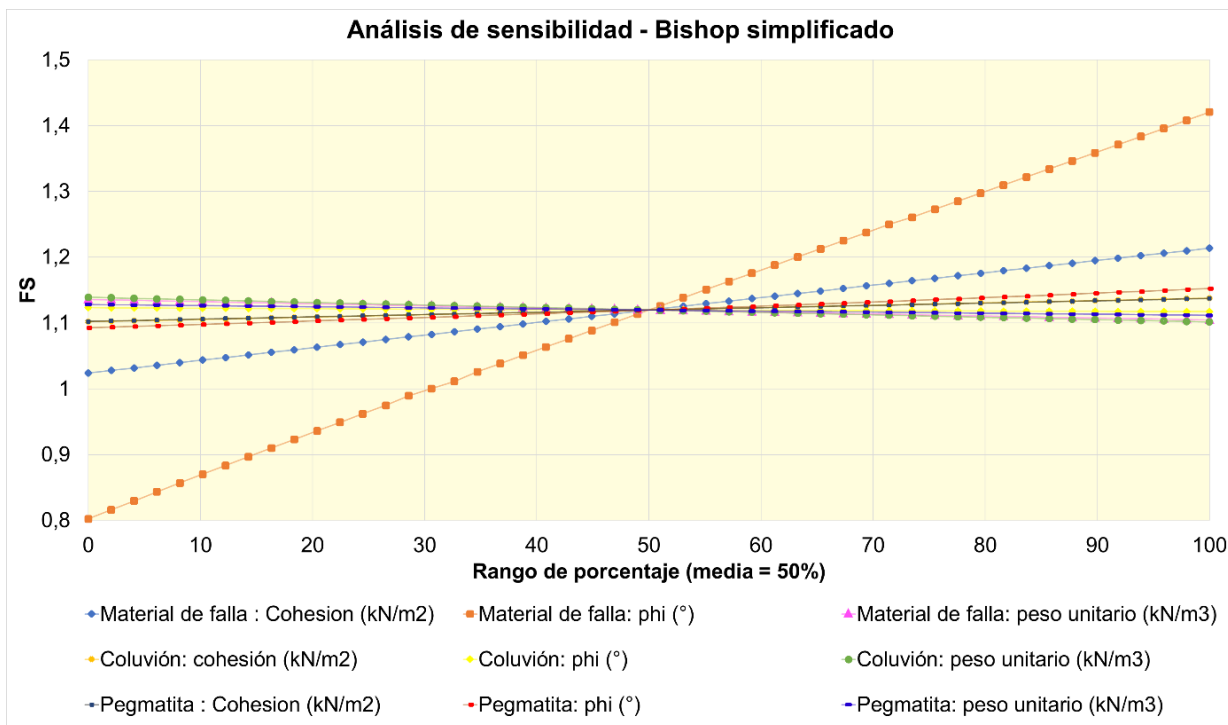


Figura 74. Gráfico de sensibilidad TG 1.1.1 (Bishop).

El análisis de probabilidad del escenario 1 arrojó PF mayor a cero para el TG 1.1.1, con valores del 12,0% y 23,2% por Bishop y Janbu respectivamente; y FS (medio) de 1,120 y 1,098 por cada método. El resto de los modelos presentaron PF nulas y FS (medio) más elevados.

En cuanto al análisis de sensibilidad, se concluyó que el FS del TG 1.1.1 es más sensible a la variación del ángulo de fricción interna del material de falla y en menor medida al resto de las propiedades de los materiales que lo componen. El resto de los modelos presentaron los siguientes resultados:

- TG 1.2.1: FS sensible a la cohesión del material coluvión y luego al ángulo de fricción.
- TG 1.2.2: FS más sensible a la cohesión del material coluvión.
- TG 1.3.1: FS sensible al ángulo de fricción interna del gneis esquistoso, luego a la cohesión del mismo.
- TG 1.3.2: FS sensible a la cohesión del material coluvión y luego al ángulo de fricción.
- TG: 1.4.1: FS más sensible a la cohesión del material coluvión.
- TG 1.5.1: FS más sensible a la cohesión del basamento cristalino.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 152 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



## 7. Caso de estudio: RP E-98 – Camino del Cuadrado

“Los aspectos geomorfológicos y la interpretación de la topografía son de gran importancia en lo referente a la caracterización física del territorio y aportan información sobre procesos de inestabilidad y zonas inestables; los emplazamientos y trazados de muchas de las obras de ingeniería están condicionados por estos factores.” (Vallejos. 2012:406).

En la zona de estudio se encuentra una importante obra vial: la ruta E98 conocida como “el Camino del Cuadrado” en la cual se han estudiado importantes problemas de asentamientos y desplazamientos en las laderas naturales y en los taludes de terraplenes y de cortes en el macizo rocoso. En ocasiones de intensas precipitaciones, en las zonas de pendientes pronunciadas y donde el macizo rocoso se encuentra en condiciones inestables, se han desencadenado movimientos de laderas naturales y de taludes que han debido ser reparados.

En el presente apartado se resumen algunos de los eventos ocurridos a lo largo del trazado de la RP E-98, que se toma como un caso emblemático porque se construyó en una zona serrana que combina un macizo rocoso de muy mala calidad, con pendientes muy elevadas, originándose desprendimientos, procesos de remoción en masa, inestabilidad de laderas y erosión.

### 7.1. Fallas geotécnicas y estructurales

Como consecuencia de diversas problemáticas técnicas relacionadas con las características geológicas – geotécnicas de los macizos rocosos existentes en la zona de construcción del Camino de El Cuadrado se registraron derrumbes en taludes rocosos de cortes y de terraplenes y deslizamientos en laderas. En la mayoría de los casos el evento disparador fueron precipitaciones de mucha intensidad ocurridas en toda la zona de Sierra Chica.

Más particularmente en el extremo oeste de la obra, el terreno presenta mayor susceptibilidad intrínseca debido a tres aspectos principales:

- La intercalación de materiales rocosos ígneos, de mayor resistencia con esquistos micáceos de pésima calidad geotécnica afectándose la estabilidad global,
- La existencia de materiales rocosos afectados por la cercanía de la Falla de Sierra Chica,
- Y un regolito de considerable espesor que constituye una cobertura superficial inestable.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 153 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

En consecuencia, en la ladera oriental del cerro El Cuadrado se originaron procesos de deslizamiento de detritos con visibles cicatrices de altura y longitud relevantes.

El primer tramo de la obra, ubicado desde la intersección con la ruta E53, con una longitud de 22,80 km, no presenta grandes complicaciones en cuanto a inestabilidad de laderas. La mayor parte de los taludes han sido excavados con maquinaria, presentan alturas moderadas y buena resistencia al deslizamiento. Esta zona se caracteriza por laderas onduladas formadas por conglomerados y areniscas; en el extremo más oriental, afloran taludes de basamento cristalino, algunos de ellos excavados con técnicas de voladura controlada.

### 7.1.1. Falla en taludes, terraplenes y muro en la progresiva 4800

El sector más crítico corresponde a los alrededores de la progresiva 4800. En el mapa de la Figura 75 se identifican los 3 sectores, delimitados con recuadros rojos, correspondientes a fallas de muro, terraplén y contrataludes rocosos.

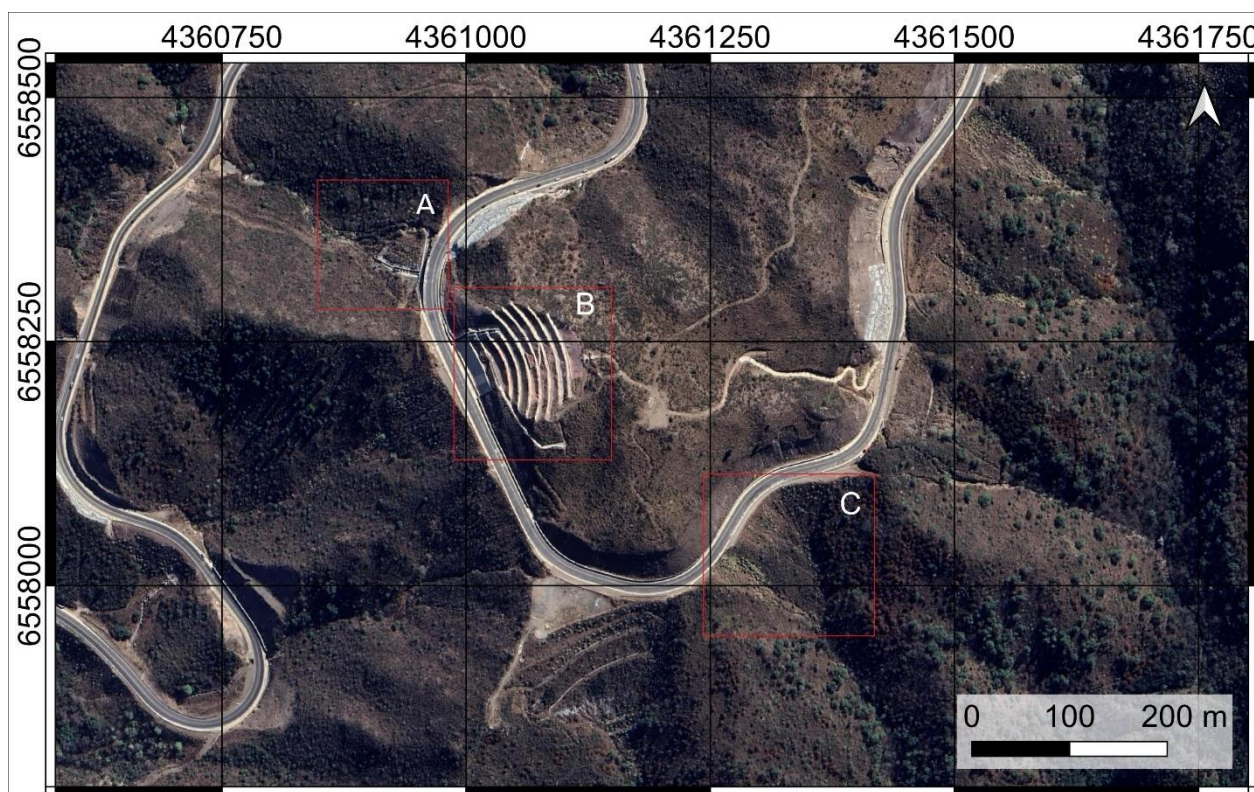


Figura 75. Fallas en la progresiva 4800. Fuente: autor.

Las imágenes históricas de Google Earth permiten seguir la evolución del sector analizado en relación a los trabajos realizados y las consiguientes configuraciones que fue adoptando.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 154 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



Comparando las imágenes correspondientes al año 2005, cuando aún el proyecto no se había materializado (Figura 76) y las del 2011 con la construcción de la RP E-98 (Figura 77), se observa: la construcción del muro de hormigón en masa (recuadro amarillo), una cicatriz de deslizamiento de 7 metros de altura y de aproximadamente 150 metros de longitud (línea verde). En una imagen tomada en 2015 se ven importantes erosiones laterales y al pie del muro de hormigón; también se advierten los primeros trabajos para la estabilización del contratalud mediante una geometría escalonada de bancos y bermas (sector B), el proceso de gunitado y el camino con una sola mano habilitada (Figura 78). En la imagen del 2017 (Figura 79) se indica en color rojo la construcción del muro de hormigón armado al pie del contratalud y en azul el derrumbe del muro de hormigón el pie del talud (sector A). La imagen más reciente, del 08/2022, muestra la construcción de un viaducto y la extensión del ancho de calzada para solucionar el deslizamiento del talud que se observa en la Figura 78. La Figura 81 muestra los restos del muro de hormigón derrumbado y el viaducto en la Figura 82.

La falla del terraplén del sector "C", amerita un análisis particular, debido a que las intervenciones realizadas no alcanzaron el propósito aspirado y continúa evolucionando. En la imagen del 2015 (Figura 78) muestra el derrumbe principal dentro del recuadro magenta; en las imágenes posteriores, se distingue el tratamiento de remediación provisoria mediante colocación de geotextil y la ejecución del cordón cuneta de hormigón que cubre las vigas cabezales y riostras del sistema de pilotes que se ejecutan como método de estabilización del terraplén. La Figura 83, tomada en campo, muestra el asentamiento del paquete vial pese a su estabilización con pilotes; la Figura 85 permite dimensionar el deslizamiento y en la Figura 86 se aprecia a distancia desde el borde del cordón cuneta hasta la cabecera del talud, de aproximadamente 1 metro (indicado con naranja).

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 155 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

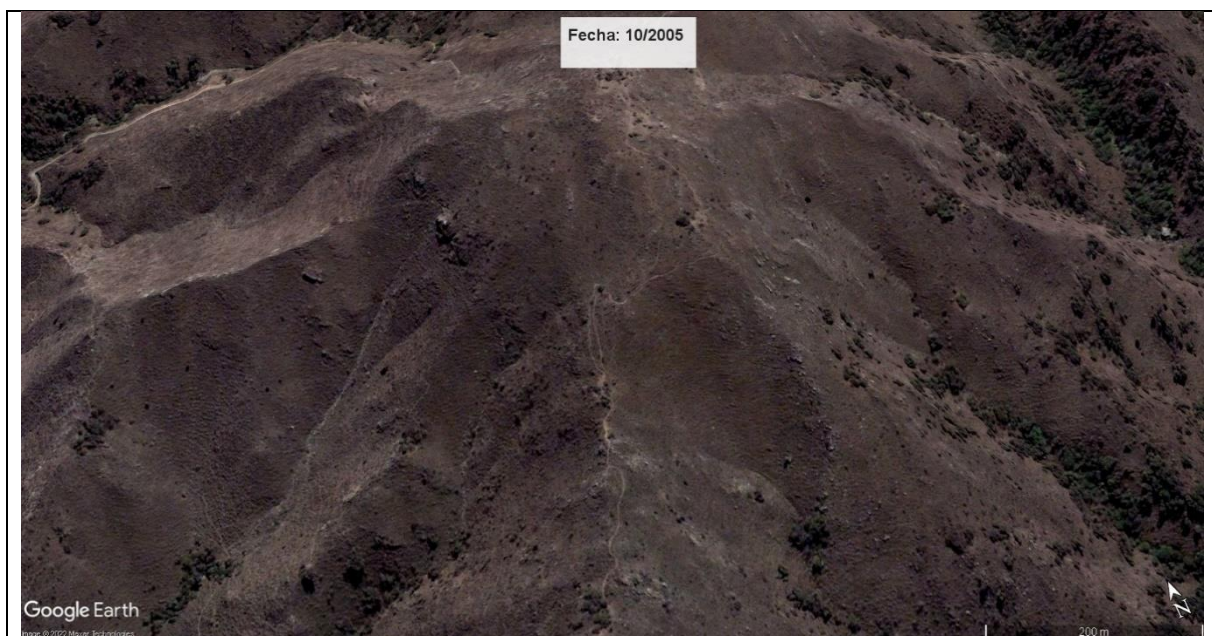


Figura 76. Imagen GE correspondiente al 10/2005. Situación previa a la ejecución de la obra.

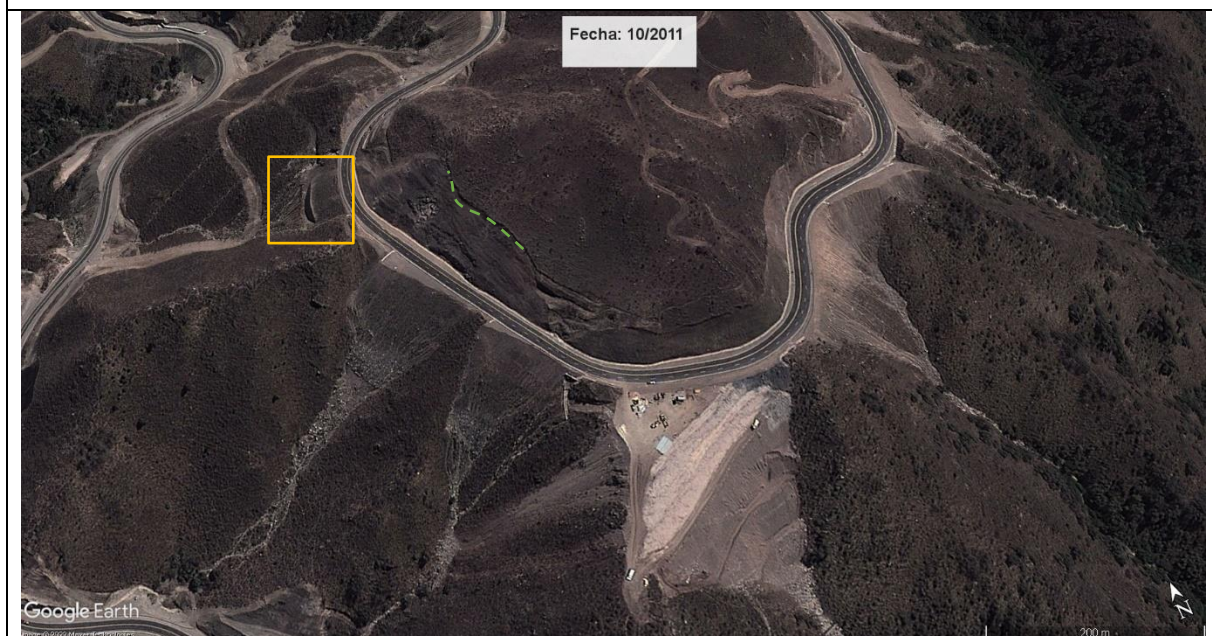


Figura 77. Imagen GE correspondiente al 10/2011. Recuadro amarillo: muro de hormigón en masa, línea verde intermitente: cicatriz de deslizamiento.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 156 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

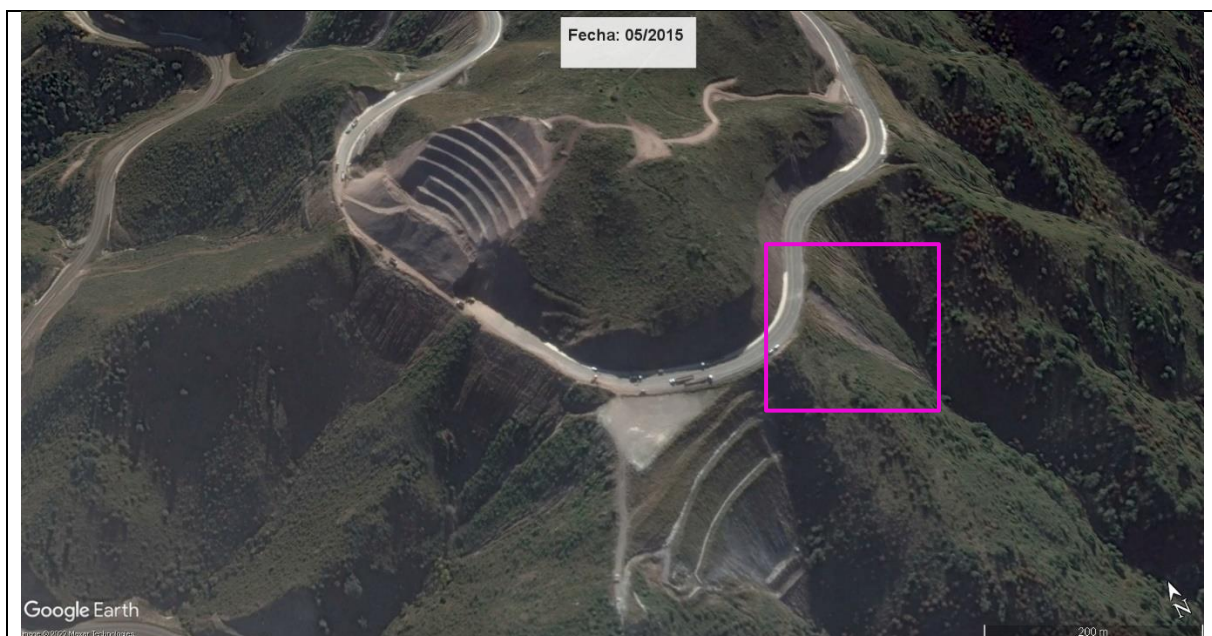


Figura 78. Imagen GE correspondiente al 05/2015. Recuadro magenta: derrumbe del talud.

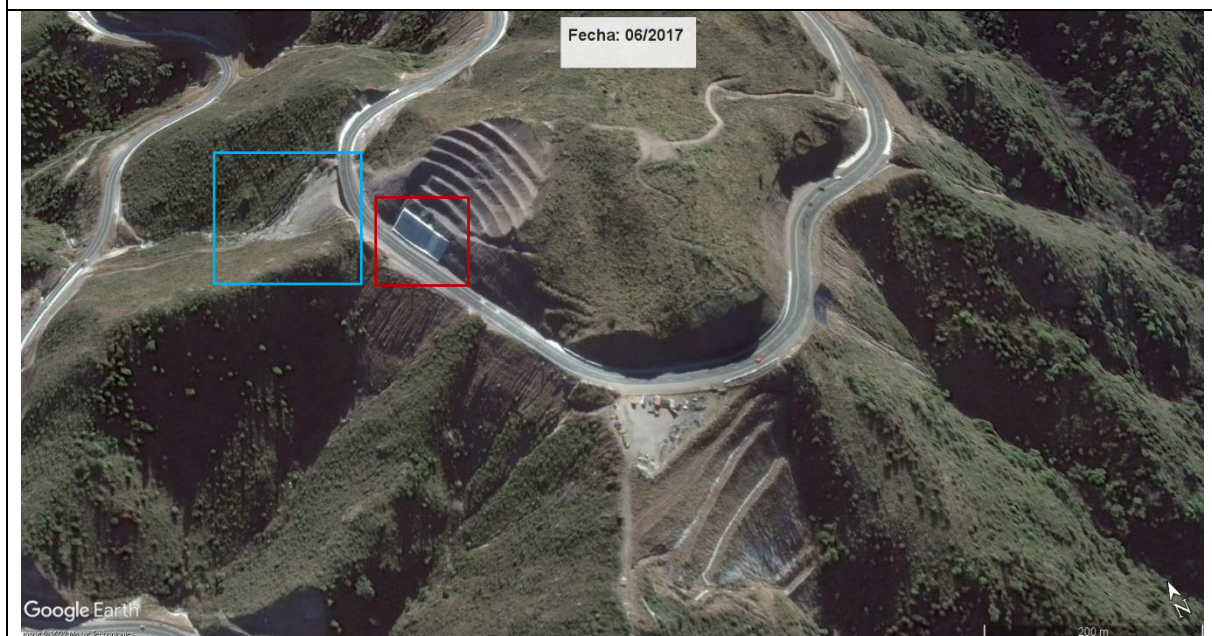


Figura 79. Imagen GE correspondiente al 08/2017. Recuadro azul: derrumbe del muro al pie del talud; recuadro rojo: construcción del muro al pie del contratalud.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 157 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

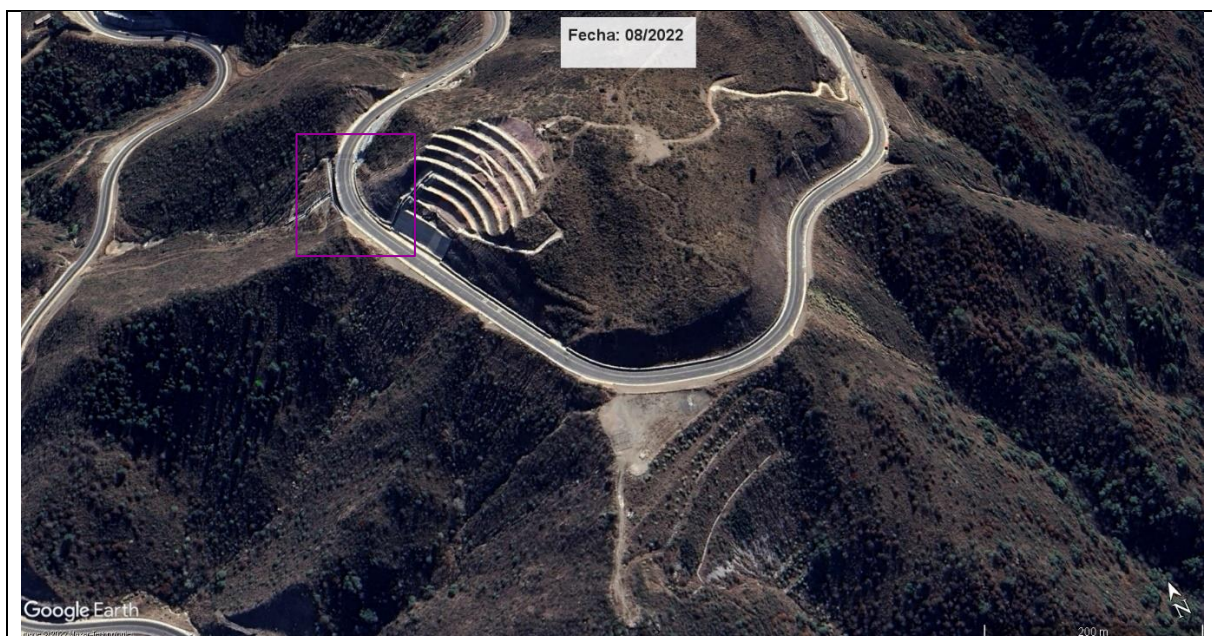


Figura 80. Imagen GE correspondiente al 08/2022. Recuadro violeta: construcción del viaducto en curva y del cordón cuneta.



Figura 81. Restos del muro de hormigón.

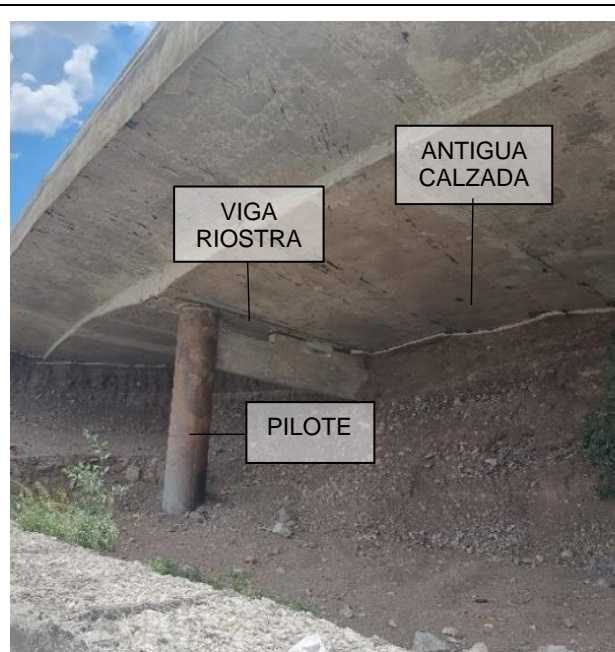


Figura 82. Vista inferior del viaducto.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 158 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



Figura 83. Remediación con vigas y pilotes.



Figura 84. Asentamiento de la calzada.



Figura 85. Deslizamiento del talud.



Figura 86. Distancia de cordón a cabecera.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 159 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



### 7.1.1.1. Retrocálculo de la estabilidad global del talud en el sitio “C”

El sector en cuestión se ubica en una de las zonas de susceptibilidad “Elevada” al deslizamiento según el mapa de amenaza a la inestabilidad de laderas.

Para este caso se consideraron los escenarios definidos en el capítulo 6; los parámetros geotécnicos, que se resumen en la Tabla 79, corresponden a los del Tipo Geotécnico 1.3.1 y la geometría de la ladera se definió realizando un corte transversal del talud en QGIS indicado con una línea roja en el mapa de la Figura 87.

Tabla 79. Parámetros geotécnicos TG 1.3.1.

TL	Descripción	$\phi$ (°)		c' (MPa)	
		Media	DE	Media	DE
1.3	Coluvión	29.0	-	0.012	-
	Gneis esquistoso	44.8	4.4	0.142	0.02



Figura 87. Ubicación del perfil transversal de la ladera (línea intermitente roja).

El retroanálisis permite definir las propiedades geotécnicas de la ladera en el sector que falló. Se considera para el análisis:

- Geometría: la original de la ladera previo al deslizamiento
- Configuración estratigráfica del talud: cobertura de detritos y gneis esquistoso.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 160 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

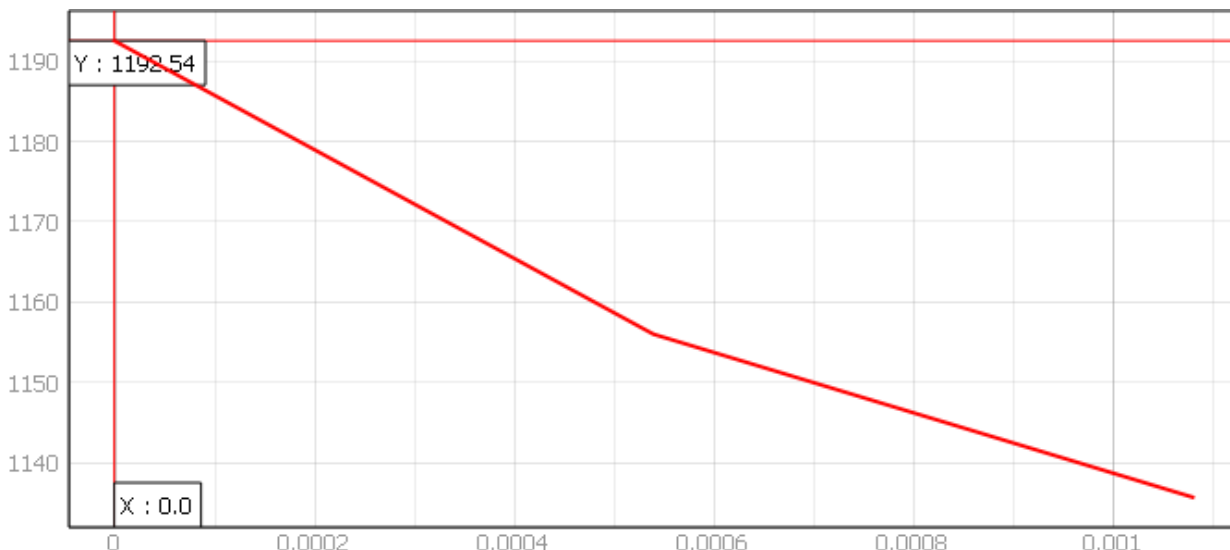


Figura 88. Geometría del perfil transversal previo al deslizamiento.

Se ejecuta el análisis para los seis escenarios para analizar el comportamiento del talud y determinar los valores de los parámetros geotécnicos que alcanzan un FS=1. Para los valores de cohesión y fricción de entrada, los resultados (FS y PF) se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 80. Resultados análisis probabilístico.

Escenario	Bishop		Janbu	
	FS (medio)	PF (%)	FS (medio)	PF (%)
1	1,237	2,1	1,195	3,8
2	1,237	2,1	1,195	3,8
3	0,545	100,0	0,511	100,0
4	0,983	60,1	0,949	73,4
5	0,983	60,1	0,949	73,4
6	0,425	100,0	0,400	100,0

Los escenarios que presentan las mayores probabilidades de falla son los que suponen la saturación del talud.

Al realizar el análisis de sensibilidad de los materiales, se concluye que el ángulo de fricción interna y la cohesión de la capa de detritos son los parámetros más influyentes en la estabilidad del talud.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 161 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

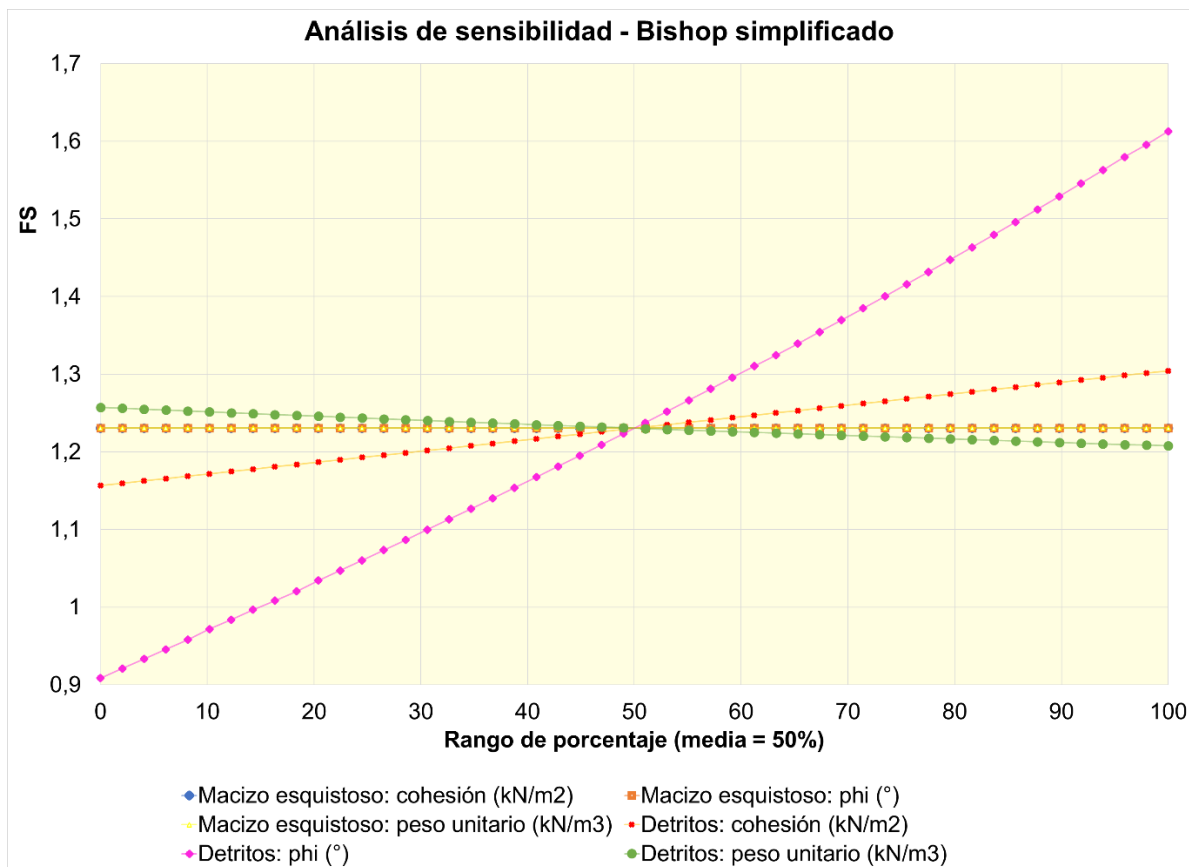


Figura 89. Análisis de sensibilidad por el método de Bishop.

Teniendo en cuenta los antecedentes de la zona, el deslizamiento puede haberse desencadenado como consecuencia de una reducción de la cohesión, afectada por un evento de precipitación intensa. Al reducir la cohesión un 80% se obtiene un  $F=1$ , siendo indiferente la presencia o no del nivel freático y considerando que no hay actividad sísmica; y la probabilidad de falla es del 52,0% por el método de Bishop. Al reducir la cohesión un 75% se alcanza un FS próximo a uno y PF del 44,4% por el método de Janbu.

Este escenario permite deducir el valor de cohesión y fricción de los detritos al momento del deslizamiento: cohesión entre 0,0024 y 0,003 MPa y ángulo de fricción interna de 29°.

### 7.1.2. Falla en la ladera de la progresiva 3250

La falla en la progresiva 3250 constituye un caso particular de estabilidad local, donde se realiza un retrocálculo del deslizamiento ocurrido. Su ubicación se correspondiente con una de las zonas de "elevada" susceptibilidad, según el mapa de amenaza a la inestabilidad de laderas.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 162 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

Se ha desprendido material de una longitud de alrededor de 65 metros y de 8 metros de altura. También se observa que, posteriormente al desprendimiento, a medida que el material ha ido descendiendo fue retenido por la vegetación del pie de la ladera.



Figura 90. Deslizamiento. Violeta: ubicación del deslizamiento; rojo: trazado del perfil transversal.

Según el relevamiento de campo, el deslizamiento estudiado se ubica en la ladera superior del talud número 14 y corresponde al Tipo Geotécnico 1.3.1, gneis esquistoso intercalado con filones de roca ígnea. La ladera configura un relieve escalonado producto de dicha composición del macizo, debido a la predominancia de esquistos más débiles y filones de roca ígnea de mayor resistencia.

#### 7.1.2.1. Retrocálculo de la estabilidad global de la ladera

Se consideraron los seis escenarios definidos, los parámetros geotécnicos correspondientes al Tipo Geotécnico 1.3.1 y la geometría de la ladera definida mediante el corte transversal del talud (Figura 91).

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 163 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

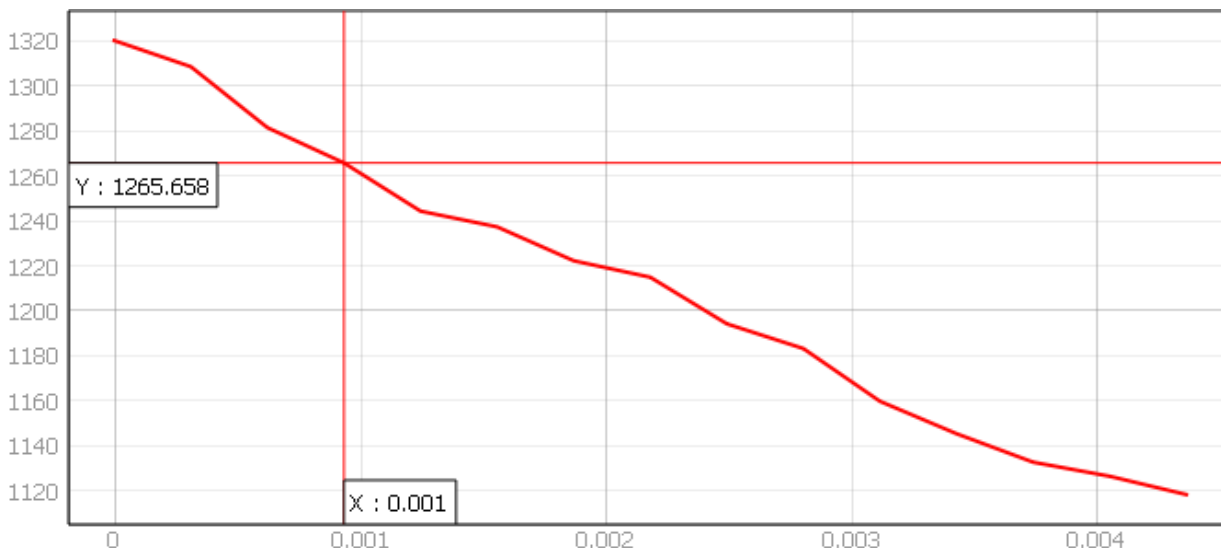


Figura 91. Perfil transversal de la ladera. Fuente: autor

El retroanálisis permite definir las propiedades geotécnicas de la ladera en el sector que falló.

Se considera:

- Geometría: la original de la ladera previo al deslizamiento.
- Configuración estratigráfica: detritos y macizo esquistoso.

El análisis bajo los seis escenarios resulta en los valores de FS y PF y RI que se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 81. Resultados análisis probabilístico.

Escenario	Bishop		Janbu	
	FS (medio)	PF (%)	FS (medio)	PF (%)
1	1,133	10,3	1,107	14,6
2	1,133	10,3	1,107	14,6
3	0,466	100,0	0,445	100,0
4	0,903	86,7	0,883	91,1
5	0,903	86,7	0,883	91,1
6	0,362	100,0	0,346	100,0

Las mayores probabilidades de falla se alcanzan al suponer la saturación del terreno debido a un evento de precipitación.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 164 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



En análisis de sensibilidad muestra que los parámetros más influyentes en la estabilidad de la ladera corresponden a los detritos: el ángulo de fricción interna y la cohesión de los mismos.

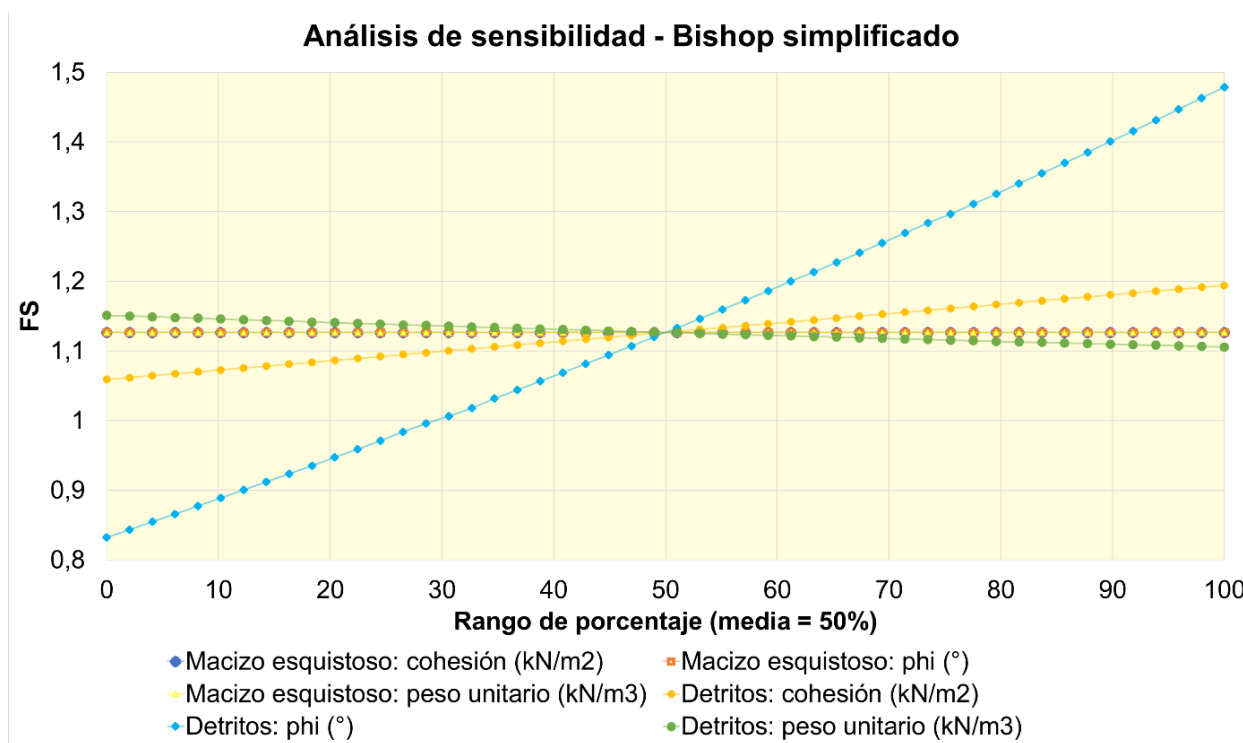


Figura 92. Análisis de sensibilidad por el método de Bishop.

Al reducir la cohesión 36% se obtienen valores de FS=1, alcanzando una probabilidad de falla del 44,7% por el método de Bishop y del 47,2% por el método de Janbu. Para estas condiciones los valores de cohesión y fricción de los detritos al momento del deslizamiento, valen:  $c=0.00768$  MPa y  $\varphi = 29^\circ$ .

## 7.2. Problemáticas hídricas

Las precipitaciones pueden aumentar la inestabilidad de las laderas y erosionar la superficie del terreno. En cuanto a la inestabilidad de los macizos rocosos, el incremento de la humedad origina cambios en propiedades tales como el peso unitario; y disminución de la resistencia al corte por lubricación, expansión de minerales arcillosos, etc.. También provoca ascensos en el nivel freático luego de una precipitación intensa. Otros de los principales cambios que el agua genera, tienen que ver con la variación de la presión intersticial y el aumento de peso del terreno, efectos que modifican los estados tensionales.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 165 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



En cuanto a la erosión hídrica se hace evidente en la formación de regueros en los frentes de corte y también material arrastrado hacia el pie del talud formando depósitos detríticos.

Específicamente, los problemas asociados a la precipitación son:

- Reducción de la resistencia al corte, por el aumento de las presiones intersticiales y por la reducción de los parámetros resistentes en determinados macizos rocosos.
- Aumento de los esfuerzos de corte, al incrementarse el peso del terreno y por la aparición de fuerzas desestabilizadoras en grietas y discontinuidades al generarse altas presiones dentro de las mismas al ingresar el agua.

En la zona de estudio, el período más crítico de lluvias tiene lugar en los meses de verano, con particular importancia los meses de febrero y marzo. Durante este período el terreno presenta baja tasa de infiltración, suelos saturados y consecuente escurrimiento superficial más elevado que el resto de las estaciones. En la observación en campo se evidencia la condición de humedad y zonas saturadas de los macizos, por ejemplo, por la aparición de vertientes, la existencia de obras de drenaje en los taludes estabilizados con hormigón y la existencia de regueros en los frentes de corte analizados.



Figura 93. Deslizamiento de detritos.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 166 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



Un evento de precipitación intensa ocurrió durante febrero de 2015 en las localidades que componen el corredor Sierra Chica cuando se registraron lluvias que alcanzaron entre 270 y 300 milímetros en un día, que configuró un antecedente que puso en alerta a los responsables de la red vial.

Según explica el “Informe de inundaciones. Provincia de Córdoba y Santa Fe” (2015) realizado en conjunto por el INTA y el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca:

Desde enero a los primeros días de marzo de 2015, se registraron lluvias superiores a los promedios de las series históricas de lluvia para el período enero-marzo 2015 para la región. En el noreste de la provincia de Córdoba y centro-norte de San Luis se registraron los mayores valores de lluvia acumulada, superiores a 300 mm. La zona de mayor afectación fue el centro-este de la provincia de Córdoba, afectando las cuencas de Cuenca Sistema de Morteros, Cuenca Río Primero (Suquía), Río Salsipuedes, Cuenca Río Segundo (Xanaes), Cuenca Sistema de Jeanmaire, Cuenca Río Carcarañá, Sistema de Obispo Trejo y cuencas menores del faldeo oriental de las Sierras Chicas, Arroyo Santa Catalina y Sistema de Canals. En el Sistema de Obispo Trejo y cuencas menores del faldeo oriental de las Sierras Chicas, las precipitaciones extremas registradas, dieron lugar a inundaciones rápidas, por acumulación de masas de agua y desborde de ríos, con afectación de áreas urbanas y rurales”.

([https://inta.gov.ar/sites/default/files/informe\\_de\\_inundaciones\\_provincia\\_de\\_cordoba\\_y\\_santa\\_fe\\_2015.pdf](https://inta.gov.ar/sites/default/files/informe_de_inundaciones_provincia_de_cordoba_y_santa_fe_2015.pdf))

Un informe científico que se realizó por parte de la UNC acerca de las inundaciones en las Sierra Chica a un mes de su ocurrencia, consistió en una serie de mapas que zonifican las áreas con mayor riesgo a inundaciones de la cuenca del Río Ceballos-Saldán. El informe concluye que las áreas de mayor riesgo coinciden con las zonas de menores pendientes y menores altitudes, cuya cobertura corresponde a uso suburbano y urbano de alta densidad, lo cual es un gran problema.

Explica además que, aparte de los problemas ocurridos en las ciudades como el cese de las comunicaciones, calles inundadas, desborde de ríos y arroyos, caída de árboles, destrucción de estructuras y viviendas, etc.; en la zona de montaña ocurrieron procesos de movimiento de masa superficiales.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 167 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



### 7.2.1. Análisis hidrológico

Se analizan las características y componentes principales de las cuencas existentes en la zona de estudio y en relación a la ruta E98 con el objetivo de determinar la susceptibilidad a la erosión hídrica de las mismas. Se analizan las 8 cuencas definidas en el siguiente mapa.

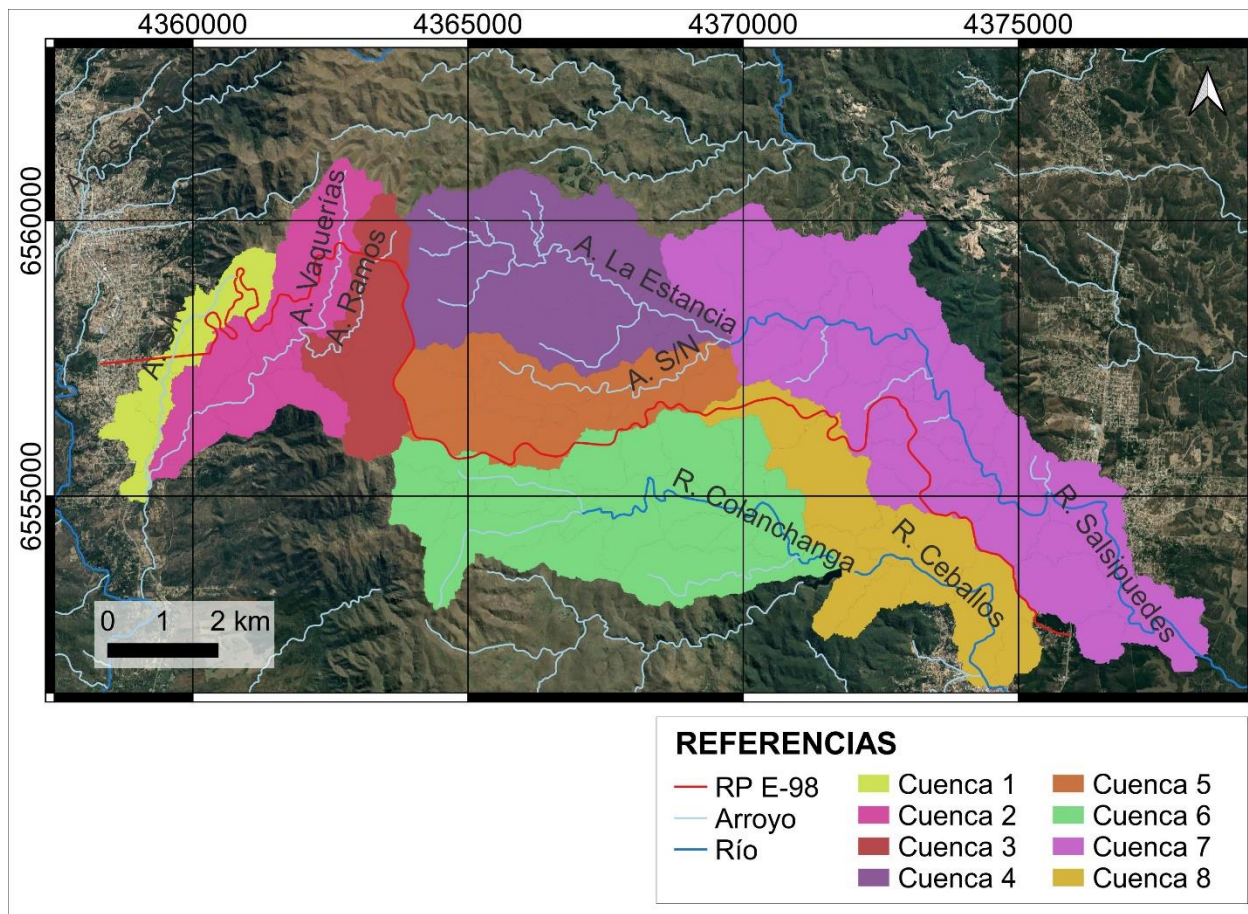


Figura 94. Cuencas definidas para el análisis de vulnerabilidad hídrica.

El análisis de los atributos topográficos se emplea, entre otras cosas, para la predicción espacial de las propiedades del suelo y predicción de la erosión. Los índices hidrológicos a determinar para los fines de este trabajo son: el índice topográfico de humedad (ITH) y el factor de longitud de la pendiente (LP). Estos ayudan a identificar qué zonas del terreno tienden a acumular agua y qué zonas debido a sus pendientes no lo hacen. Sin embargo, estas últimas pueden estar sujetas a otros procesos como remoción en masa.

- Índice topográfico de humedad: es ampliamente utilizado para predecir el contenido de humedad del suelo y para identificar áreas de erosión y/o deposición potencial de

Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01
			Página 168 de 247
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>			



materiales. Permite determinar la potencialidad de generación de escorrentía relacionando la morfología del relieve y la acumulación de agua en el terreno, representados en la fórmula por la tangente de la pendiente y el área acumulada. El concepto de área acumulada (AA) se refiere a que el flujo de una celda cualquiera va a desplazarse naturalmente por efecto de la gravedad a una o más celdas vecinas, a su vez el flujo de las celdas que receptoras se desplaza por gravedad a las siguientes; siendo el AA de una celda particular el área total de las celdas cuyo flujo pasará por la misma. Este índice considera el supuesto de que la escorrentía se produce en presencia de una saturación de agua en el suelo.

Como resultado los valores más altos corresponden a porciones del territorio de pendientes bajas con acumulación de humedad debido a que no evacuan rápidamente el agua. Mientras que un índice con valor bajo indica áreas de elevada pendiente y baja área acumulada.

$$ITH = \left( \frac{AA}{\tan(i)} \right) \quad (25)$$

- Factor de longitud de la pendiente: forma parte de la ecuación universal de la pérdida de suelo, RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation). Es utilizado para estimar el potencial topográfico para la erosión o deposición de un terreno. En su fórmula relaciona el área acumulada de una celda con la pendiente local de esa celda, además, intervienen dos factores empíricos que pueden determinarse analizando las características del terreno. Ayuda a entender cómo la configuración de las pendientes contribuye al desarrollo de procesos de pérdida del suelo. Los valores más altos indican zonas que presentan mayor susceptibilidad a la erosión hídrica.

$$LP = \left( \frac{AA}{22.13} \right)^m \left( \frac{\sin\beta}{0.0896} \right)^n \quad (26)$$

La fórmula RUSLE propuesta por Wischmeier y Smith, representa el promedio de pérdida de suelo a lo largo de un período de tiempo y un área total.

Los factores mencionados se procesan mediante el complemento GRASS de QGIS para los límites definidos.

Los valores del ITH se clasifican en cuatro categorías: nulo, bajo, medio y alto. El mapa muestra la distribución espacial de este índice según esta clasificación. Se observa que las zonas correspondientes a los cursos drenantes presentan valores altos de ITH lo que indica que hay acumulación de agua, mientras que las zonas más altas y escarpadas presentan valores bajos.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 169 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



Al analizar la distribución de estos valores en cada cuenca, resumidos en la Tabla 82 y Tabla 83 se concluye que la cuenca con mayor porcentaje de superficie con valores del índice topográfico de humedad altos es la cuenca N°1, correspondiente a un arroyo sin denominación. Esto la convierte en la cuenca con mayor área inundable y de mayor susceptibilidad a la erosión hídrica. Las cuencas del arroyo Vaquerías, del arroyo Ramos, del arroyo La Estancia y del Río Salsipuedes presentan valores moderados asignándoles una baja susceptibilidad a la erosión hídrica. Sin embargo, el relieve escarpado de estas cuencas puede significar el detonante de otros tipos de procesos problemáticos como lo son los procesos de remoción en masa. Las cuencas N°5 y 6, que corresponden a un arroyo sin nombre y al río Colanchanga, tienen porcentajes relevantes de ITH medio lo que le asigna moderada susceptibilidad a la erosión. En cuanto a la cuenca N°8, del río Ceballos, presenta elevado porcentaje de ITH alto, pero en este caso se debe a la presencia de masas de agua como el dique La Quebrada.

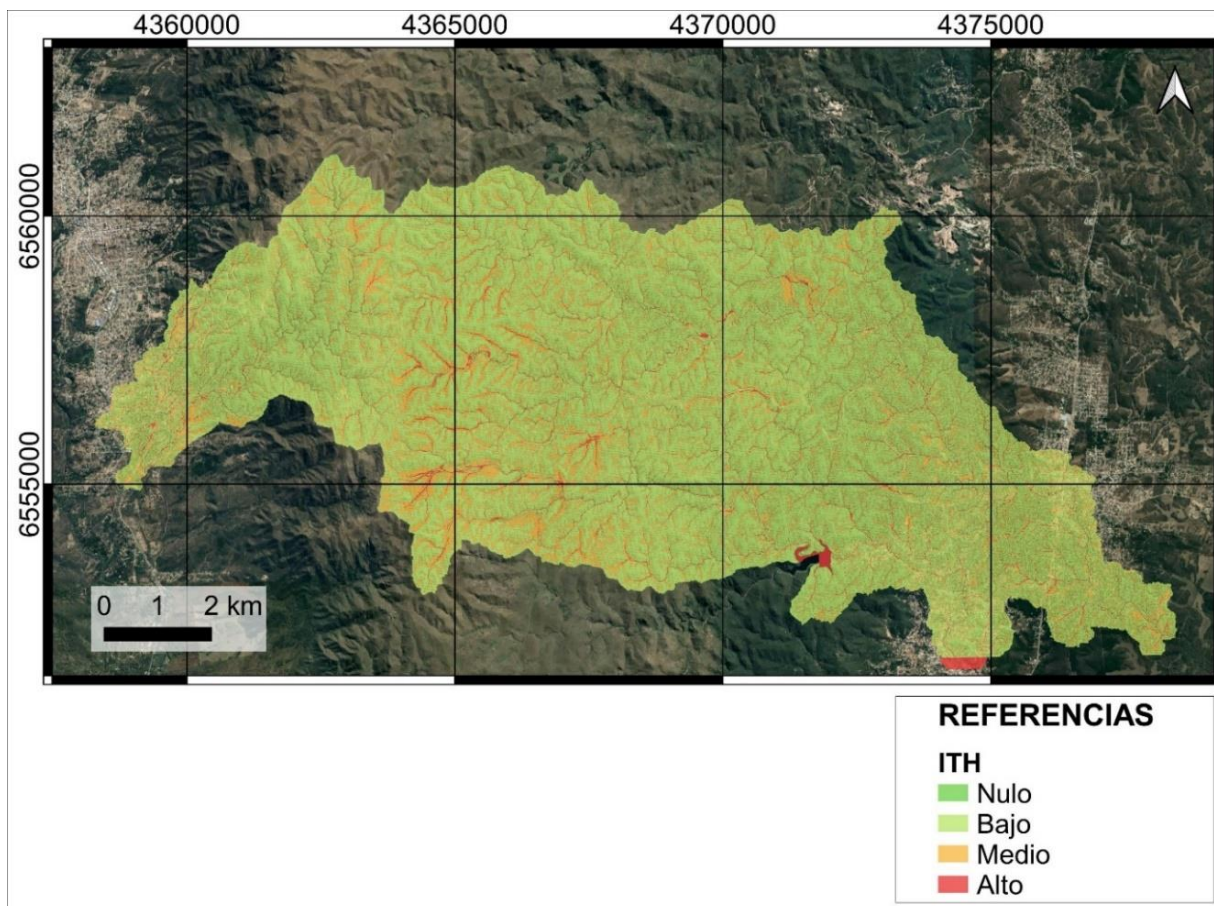


Figura 95. Índice topográfico de humedad.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 170 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



Tabla 82. ITH cuencas 1 a 4.

ITH	Cuenca 1		Cuenca 2		Cuenca 3		Cuenca 4	
	Área (km <sup>2</sup> )	(%)	Área (km <sup>2</sup> )	(%)	Área (km <sup>2</sup> )	(%)	Área (km <sup>2</sup> )	(%)
<b>Nulo</b>	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
<b>Bajo</b>	2,66	69,8	6,75	74,8	4,04	73,5	10,81	75,1
<b>Medio</b>	0,89	23,4	1,93	21,4	1,30	23,6	3,13	21,7
<b>Alto</b>	0,26	6,8	0,35	3,9	0,16	2,9	0,44	3,0
<b>Área total</b>	<b>3,81</b>	<b>100,0</b>	<b>9,03</b>	<b>100,0</b>	<b>5,50</b>	<b>100,0</b>	<b>14,38</b>	<b>100,0</b>

Tabla 83. ITH cuencas 5 a 8.

ITH	Cuenca 5		Cuenca 6		Cuenca 7		Cuenca 8	
	Área (km <sup>2</sup> )	(%)	Área (km <sup>2</sup> )	(%)	Área (km <sup>2</sup> )	(%)	Área (km <sup>2</sup> )	(%)
<b>Nulo</b>	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,02	0,2
<b>Bajo</b>	6,40	68,4	12,95	67,7	20,64	72,3	8,23	72,0
<b>Medio</b>	2,60	27,8	5,46	28,5	6,68	23,4	2,48	21,7
<b>Alto</b>	0,36	3,8	0,72	3,8	1,20	4,2	0,70	6,1
<b>Área total</b>	<b>9,36</b>	<b>100,0</b>	<b>19,13</b>	<b>100,0</b>	<b>28,52</b>	<b>100,0</b>	<b>11,43</b>	<b>100,0</b>

Los valores del factor LP se clasifican en tres categorías: bajo, medio y alto. El mapa de la Figura 96 muestra la distribución espacial del mismo según esta clasificación. Las zonas de colores más oscuros coinciden con las zonas más bajas y con los cursos drenantes, presentan valores altos de LP lo que indica que en esas zonas la configuración de las pendientes favorece la ocurrencia de procesos de erosión.

Los resultados del factor de longitud de la pendiente arrojaron que la cuenca N°2 presenta el mayor porcentaje de cobertura del terreno con valores “altos”. Esto indica que esta cuenca por la configuración del terreno es la más susceptible a la ocurrencia de procesos de pérdida de suelo.

Tabla 84. LP cuencas 1 a 4.

LP	Cuenca 1		Cuenca 2		Cuenca 3		Cuenca 4	
	Área	(%)	Área	(%)	Área	(%)	Área	(%)
<b>Bajo</b>	3,33	87,4	7,29	80,7	4,62	84,0	11,99	83,5
<b>Medio</b>	0,29	7,6	1,00	11,1	0,57	10,4	1,71	11,9
<b>Alto</b>	0,19	5,0	0,74	8,2	0,31	5,6	0,66	4,6
<b>Área total</b>	<b>3,81</b>	<b>100,0</b>	<b>9,03</b>	<b>100,0</b>	<b>5,50</b>	<b>100,0</b>	<b>14,36</b>	<b>100,0</b>

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 171 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

Tabla 85. LP cuencas 5 a 8.

LP	Cuenca 5		Cuenca 6		Cuenca 7		Cuenca 8	
	Área	(%)	Área	(%)	Área	(%)	Área	(%)
Bajo	8,40	89,7	16,65	87,0	25,01	87,7	9,75	85,3
Medio	0,79	8,4	1,69	8,8	2,63	9,2	1,16	10,1
Alto	0,17	1,8	0,79	4,1	0,88	3,1	0,52	4,5
Área total	9,36	100,0	19,13	100,0	28,52	100,0	11,43	100,0

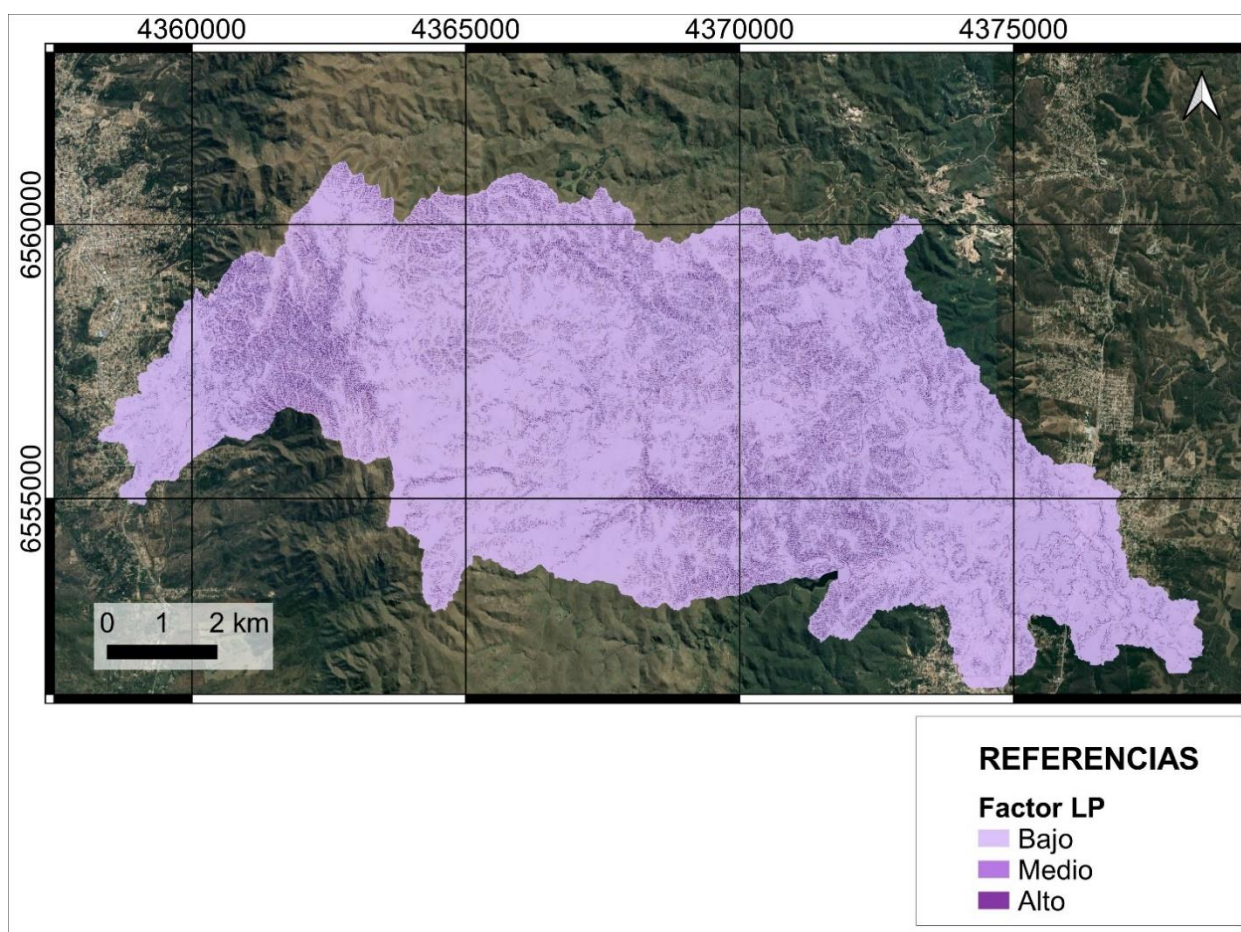


Figura 96. Factor de longitud de la pendiente.

La importancia de precisar la interferencia de la obra sobre las cuencas hídricas radica en las variadas consecuencias adversas como cambios en el ecosistema hídrico, invasión de las líneas de ribera, intervención u obstaculización de cauces originales, efecto barrera en las cuencas que modifican el comportamiento natural y que, frente a crecidas repentinas, puede originar daños en la naturaleza, en poblaciones cercanas y en la obra misma. Otro fenómeno que afecta de manera

Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01
		Página 172 de 247	
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>			



directa es la invasión de la planicie aluvional, modificando las características naturales de la misma al erosionar el suelo a ambos lados del cauce principal. Esto aumenta el ancho del mismo, se eleva el nivel de agua y se modifica el límite de inundación.

La erosión superficial debido a la canalización del agua de lluvia es uno de los problemas presentes en la ruta RP E-98; por ejemplo en la zona de la bajada a Valle Hermoso en coincidencia con la cuenca N°1 previamente identificada. Allí, se desencadenan diversos inconvenientes con el agua interceptada y canalizada por las cunetas y alcantarillas. En la Figura 97 se puede observar que en el primer diseño del camino, el tramo contaba con una canalización y derivación del flujo drenado que finalizaba en un terreno de pendiente pronunciada. El curso de agua generaba un canal natural, erosionando el terreno y depositando el material en la zona de menor altura. Para resolver este fenómeno fue necesaria la ejecución de una serie de obras a fin de evitar la inundación y la erosión de la calle pública de suelo natural, además de otras consecuencias para los asentamientos ubicados aguas abajo. Las obras de mitigación efectuadas son colchones de gaviones, la pavimentación de la calle pública en cuestión y un canal de disipación escalonado (v. Figura 100).

La cuenca N°2, correspondiente al arroyo Vaquerías, también ha presentado problemas en relación a la afectación hídrica causada por la construcción del camino. Un recorrido por las noticias de los últimos años refleja esta situación, principalmente analizan el caso particular de la reserva natural Vaquería. Principalmente se advierte el problema alrededor de la alteración que sufrieron los cursos de agua naturales, disminuyendo también el caudal que ingresaba al embalse de Vaquerías. Como consecuencia, en conjunto con la acción de las tareas con explosivos y movimiento de suelos, se identificó la pérdida y migración de especies animales (principalmente grupos de aves).

La Reserva Natural Vaquerías pertenece a la Universidad Nacional de Córdoba desde el año 1970, se trata de 400 hectáreas en las que se desarrolla un complejo turístico y la reserva. El principal objetivo es el de preservar la biodiversidad propia del ecosistema serrano y los recursos naturales y constituye un área de aprendizaje e investigación. Cuenta con una gran diversidad de flora y fauna: alrededor de 170 especies de aves (el zorzal, el chingolo, el carpintero común, etc.), 500 especies de plantas (el molle, espinillo, manzanos del campo, etc.) y otros ejemplares de animales nativos como la corzuela, el pecarí, la iguana overa y el puma.

Entre las medidas de remediación que se presentaron los primeros años de operación de la vía se planteaban: estudio hidrogeológico, recomposición ambiental de la zona afectada,

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 173 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



prevención de alteraciones futuras, deposición correcta de los materiales de acopio, estabilización y cobertura de pedraplenes sobre la cuenca Vaquerías (con vegetación nativa o exótica no invasora mediante técnicas de hidrosiembra y colocación de geomallas), remoción de sedimentos de arroyos y hasta la construcción de gaviones para evitar erosiones de suelo suelto en las laderas. Respecto a la problemática en torno al hecho de que no se proyectaron pasafaunas, en el año 2011 se acordó que desde la Provincia la implementación de un sistema de monitoreo de animales como así también el estudio estadístico de accidentes con animales para elaborar índices que permitieran tomar decisiones correctivas y preventivas. Según dijo Gustavo Reati, biólogo y docente investigador de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la UNC, a La Voz en cuanto a la proyección de cuatro pasafaunas: "No se hicieron porque se cambió el proyecto original, que bajaba en principio a La Falda por otro que desciende a Valle Hermoso. Esta bajada se encontró con problemas técnicos muy importantes que provocaron cambios e implicó que no se hicieran los pasafaunas".

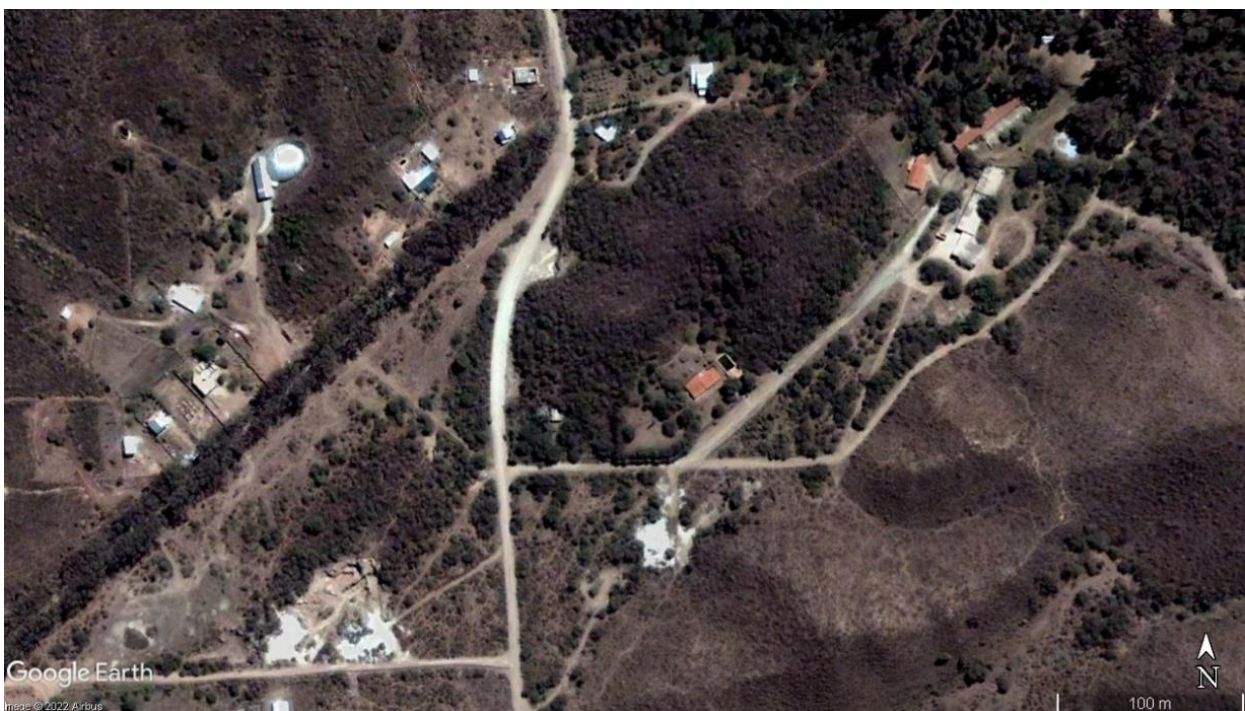


Figura 97. Imagen GE 2005. Previo a la construcción de la RP E-98.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 174 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

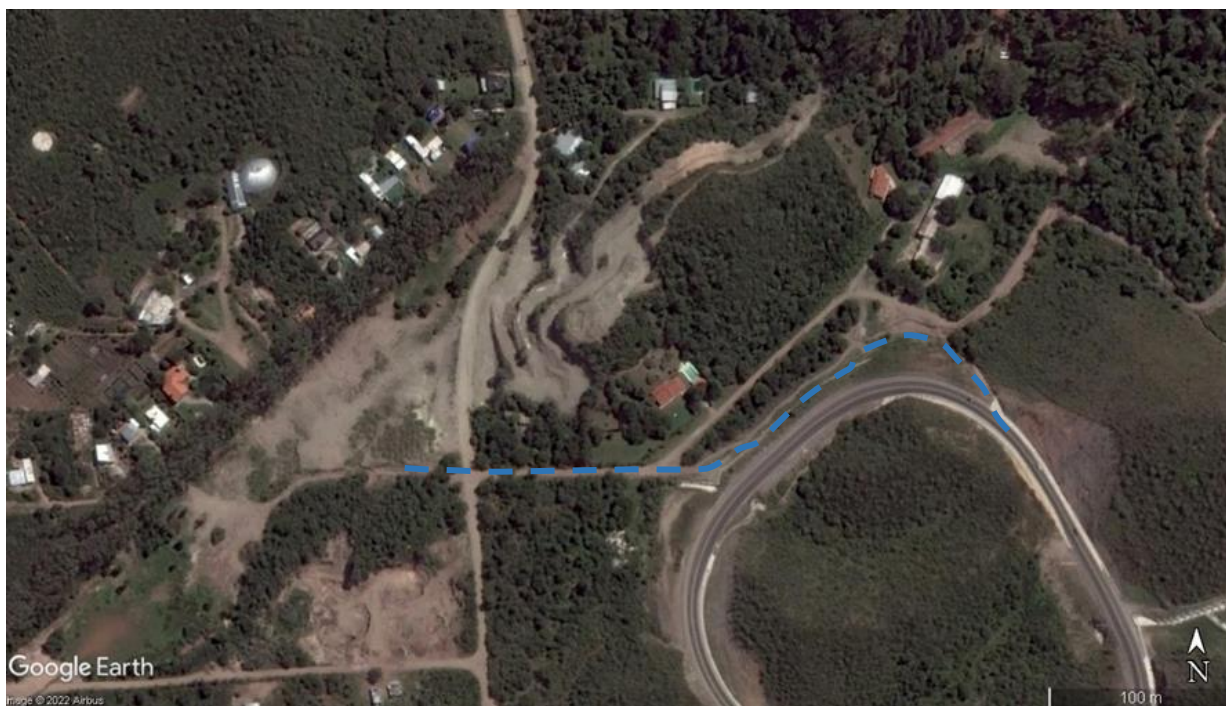


Figura 98. Imagen GE 2014. Línea intermitente azul: erosión causada por el canal que se forma al derivar el agua canalizada.



Figura 99. Imagen GE 2018.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 175 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



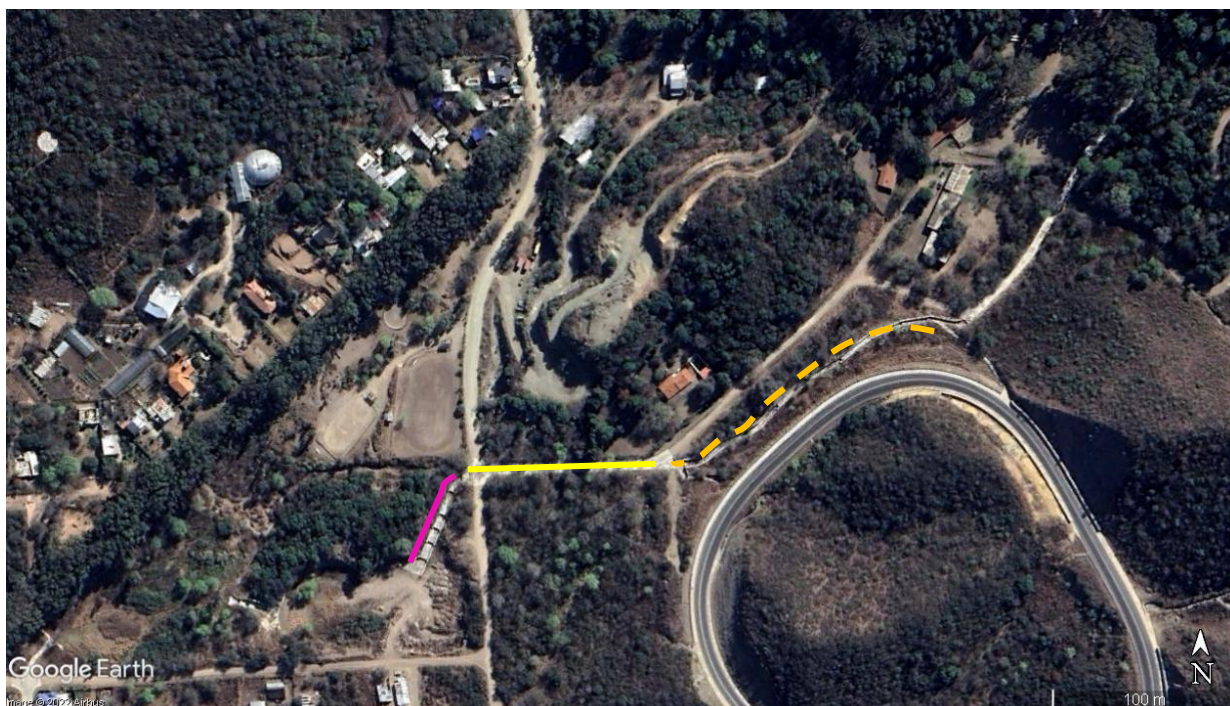


Figura 100. Imagen GE 2022. Se observan obras de mitigación como colchones de gaviones (línea naranja intermitente), calle pavimentada (línea llena amarilla) y obra de disipación escalonada (línea llena magenta).

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021	
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023	
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01	<b>Página 176 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>		



## Conclusiones

Todas las metodologías utilizadas se basaron en la definición de las siguientes unidades geomorfológicas:

- UG Sierra Grande: unidad orográfica definida por una pendiente media del 15,6%, pendiente máxima del 81,4% y rango altitudinal entre 720 y 980 m s.n.m.
- UG Valle de Punilla: valle estructural definido por una pendiente media del 9,3% y máxima del 66,0% con altitudes entre 720 y 1140 m s.n.m.
- UG Vertiente Occidental de Sierra Chica: ladera definida por una pendiente media del 36,9%, máxima del 111,8% y rango altitudinal entre 853 y 1645 m s.n.m.
- UG Sector Central de Sierra Chica: unidad orográfica con pendiente media del 19,8%, máxima del 101,0% y rango altitudinal entre 985 y 1637 m s.n.m.
- UG Vertiente Oriental de Sierra Chica: ladera definida por una pendiente media 19,6%, máxima del 136,5% y rango altitudinal entre 578 y 1541 m s.n.m.
- UG Piedemonte oriental: pendiente media del 5,9%, máxima del 74,2% y rango altitudinal entre los 570 y 970 m s.n.m

La combinación de los mapas de Calidad para la Conservación y Amenaza de la inestabilidad de laderas permitió establecer que:

- Las unidades Sierra Grande, Sector Central y Vertiente Oriental de Sierra Chica y Piedemonte Oriental presentaron calidad “moderada”, la unidad Valle de Punilla “muy baja” y la Vertiente Occidental de Sierra Chica “muy elevada”:
- La amenaza a la inestabilidad de laderas sobre la superficie de estudio se distribuye: un 47% con susceptibilidad “baja”, un 28% “muy baja”, 24% “mediana”, 5% “elevada” y aproximadamente un 0.05% susceptibilidad “muy elevada”.
- La UG 3, Vertiente Occidental de la Sierra Chica, se identificó como la unidad con el mayor valor de Calidad para la Conservación y presenta la condición más adversa en cuanto a la amenaza de inestabilidad de laderas.

Las verificaciones de estabilidad global de los taludes que conforman cada Tipo Litológico permiten concluir que:

- Los modelos de taludes con menores factores de seguridad se ubican en el sector de la unidad Vertiente Occidental de Sierras Chicas.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 177 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



- La falla de tipo “deslizamiento de laderas” de la capa de detritos en los modelos puede ocurrir incluso en condiciones secas; debido a la pendiente, el espesor de la capa de regolito y eventual acción sísmica.

El caso de estudio analizado, en relación con la ruta E98 (camino de El Cuadrado) permitió llegar a las siguientes conclusiones:

En cuanto a la falla en el talud se arribó a que:

- Los escenarios que suponen la saturación del talud debido a un evento de precipitación presentan las mayores probabilidades de falla.
- El ángulo de fricción interna y la cohesión de la capa de detritos (regolito) son los parámetros más influyentes en la estabilidad del talud.
- Las condiciones propicias para el deslizamiento implican una reducción de la cohesión entre un 75% y 80% obteniéndose valores de cohesión de los detritos al momento del deslizamiento entre 0,0024 y 0,003 MPa y ángulo de fricción interna de 29°.

En cuanto a las fallas en laderas se arribó a que:

- Las mayores probabilidades de falla se alcanzan al suponer la saturación del terreno.
- Los parámetros más influyentes en la estabilidad de la ladera corresponden a los detritos: el ángulo de fricción interna y la cohesión de los mismos.
- Al reducir la cohesión un 36% se obtienen valores de FS=1 y los valores de cohesión y fricción de los detritos al momento del deslizamiento, valen:  $c=0.00768$  MPa y  $\phi = 29^\circ$ .

Del análisis hidrológico de las cuencas se concluyó:

- La primera cuenca analizada, correspondiente a un arroyo sin nombre, presenta el mayor porcentaje de superficie con valores del índice topográfico de humedad altos; siendo la cuenca con mayor área inundable y mayor potencial para la erosión hídrica.
- Las cuencas del arroyo Vaquerías, del arroyo Ramos, del arroyo La Estancia y del Río Salsipuedes presentan baja susceptibilidad a la erosión hídrica pero el relieve escarpado puede ser detonante de procesos de remoción en masa.
- La cuenca del arroyo Vaquerías presenta el mayor porcentaje de cobertura del terreno con valores “altos” del factor de longitud de la pendiente. Por la configuración del terreno que presenta es la más susceptible a la ocurrencia de procesos de pérdida de suelo.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 178 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



## Recomendaciones

- Implementar este tipo de metodologías para la zonificación de la vulnerabilidad ambiental como herramienta para la definición de estrategias de manejo y gestión del territorio y de los riesgos, acompañados de campañas de información y alertas tempranas.
- Establecer un orden de prioridad en las acciones de prevención, control o remediación: comenzando por las zonas que presentan valor más alto de calidad para la conservación y mayor superficie de susceptibilidad “muy elevada” a la amenaza de la inestabilidad de laderas; en este caso la Vertiente Occidental de Sierra Chica.
- Implementar el análisis de estabilidad global de taludes como una herramienta para predecir el comportamiento de los mismos en las zonas de moderada, elevada y muy elevada susceptibilidad a la amenaza de la inestabilidad de laderas; y evaluar la factibilidad de potenciales soluciones.
- Implementar el análisis hidrológico de erosión superficial en la definición de estrategias de manejo y gestión de cuencas hidrográficas.
- Para la construcción de obras de infraestructura en el sector de la Vertiente Occidental de Sierra Chica, que comprende el sector de la falla con el mismo nombre, se recomienda realizar estudios geotécnicos exhaustivos.
- Evitar la deforestación e impulsar la repoblación en los sectores de elevada calidad para la conservación y en los sectores más afectados por los incendios.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 179 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



## Bibliografía

Arroyo Díaz, M. J. (2015). *Estudio de susceptibilidad por fenómenos de geodinámica externa en el sector de “San Jorge Alto” perteneciente al cantón de Esmeraldas. Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar por el Título de Ingeniera en Geología. Carrera de Ingeniería en Geología.* <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/7705>

Balbis, A., & Cerutti, J. P. (2019). *Definition of geological-geotechnical models in slope stability studies applied to road projects in complex geological zones.* <https://onepetro.org/isrmcongress/proceedings-abstract/CONGRESS19/All-CONGRESS19/ISRM-14CONGRESS-2019-444/511027>

Barchuk, A., Martínez (Producción De Textos), M., & Donato (Producción De Textos), V. (2016, octubre). *Riesgos ambientales ante el cambio de usos de suelo en Sierras Chicas.* <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/tecyt/article/view/15293>

Beltramone, C. A. (2007). Las superficies de erosión en las sierras pampeanas de córdoba: algunas consideraciones sobre su génesis. *Revista de La Asociación Geológica Argentina*, 62(3), 478-482. <https://revista.geologica.org.ar/raga/article/view/1093>

Blarasin, M., Cabrera, A. & Matteoda, E. (2014). *Aguas subterráneas de la Provincia de Córdoba* (1.ª ed.) [E-Book]. UniRío.

Caminos de las Sierras S.A. (2016). Estudio Geológico - Geotécnico Preliminar Para Proyecto Licitatorio. Tramo Variante Costa Azul. Progresivas 4+300 a 7+300. En <https://ambiente.cba.gov.ar/>. <https://ambiente.cba.gov.ar/wp-content/uploads/2021/02/Informe-Geotecnico-Alternativa-R38.pdf>

Caminos de las Sierras S.A. (2021). Estudio de impacto ambiental. Alternativa ruta n° 38- tramo variante Costa Azul-La Cumbre. En <https://ambiente.cba.gov.ar/>. [https://ambiente.cba.gov.ar/wp-content/uploads/2021/02/ElAyS-RN38-VCA-La-Cumbre-2020\\_compressed-1.pdf](https://ambiente.cba.gov.ar/wp-content/uploads/2021/02/ElAyS-RN38-VCA-La-Cumbre-2020_compressed-1.pdf)

Centeno, J. D., Fraile, M. J., Otero, M. A., & Pividal, A. J. (s. f.). *Geomorfología práctica. Ejercicios de Fotointerpretación y Planificación Geoambiental.* Editorial Rueda.

Córdoba, U. N. de. (s. f.). *El informe científico de la UNC que explica las inundaciones en las Sierras Chicas de Córdoba* –. UNCiencia. <https://unciencia.unc.edu.ar/medioambiente/el-informe-cientifico-de-la-unc-que-explica-las-inundaciones-en-las-sierras-chicas-de-cordoba/>

Coronel Valencia, J. A. & Alvarado Vera, J. J. (2016). “Determinación de zonas susceptibles a deslizamientos en el casco urbano de General Leonidas plaza a través del método Mora Vahrson.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 180 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



En (Tesis de grado. Ingeniero en Geología y Minas). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.  
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/7672>

Foster, S., & Hirata, R. (1991). *Determinación del resigo de contaminación de aguas subterráneas* (2.ª ed.).

Geler Roffe, T., Penteado Crósta, A., & Perez Filho, A. (s. f.). ANÁLISIS DEL FACTOR-LS EN DIFERENTES MODELOS DE PREDICCIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO.  
<http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal15/Nuevastecnologias/Sig/18.pdf>

González de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L. & Oteo, C. (2004). *INGENIERÍA GEOLÓGICA*. Isabel Capella.

<https://repositorio.segemar.gov.ar/handle/308849217/4117>

INPRES-CIRSOC. (2018). *Reglamento Argentino para construcciones sismorresistentes. Parte I. Construcciones en general*. INTI. <https://www.argentina.gob.ar/interior/secretaria-de-planificacion-territorial-y-coordinacion-de-obra-publica/Reglamentos-INPRES-CIRSOC>

López, R. E., Zuluaga, A. D., Gómez, F. & Tapia, L. (2020, julio). Aplicación del Método Mora-Vahrson para Evaluar la Susceptibilidad a Deslizamiento en el Municipio de Manaure, Cesar, Colombia. *Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres REDER*, 4(2), 57-70. <https://www.revistareder.com/ojs/index.php/reder/article/view/50>

Lozano, A. & Geoengineering Services & Consulting EIRL. (2009). *Martillo Schmidt (esclerómetro)*. [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/37481697/El\\_martillo\\_de\\_Schmidt-libre.pdf?1430565360=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DMARTILLO\\_SCHMIDT\\_ESCLEROMETRO.pdf&Expires=1676993882&Signature=CcT7RhS9dmBwAK0iDK6cdTAbNm6XU63ZpxFek2eTA1dEMHHiPA6TYmRMnFW1ScYkQeNA1b8Bz3cFyUkdMbmrxTZ-8Y4y-Fzy94F~pViLEC6-xgZ6lfGfq9cViB2M~vR0rIn~GYr0tvihmkcmxwFOozU857WYavmE3rkzpxrZEK-ub5N9kYVxRII6ZUNKe6UDmHvbdIF2m7A5APnTVHuMx2Tpkm70QAKpdmAeUjtuyxDspAyYhqFXThI77WC29756CTrAAYskPEh4Rd4GJ2yOarKXrZaKJAP6MXXrTO7rOYwVzZcFFB1yqNv2PM7rmPj8E0O2YhQzNuuOv4Kz8WvA\\_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/37481697/El_martillo_de_Schmidt-libre.pdf?1430565360=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DMARTILLO_SCHMIDT_ESCLEROMETRO.pdf&Expires=1676993882&Signature=CcT7RhS9dmBwAK0iDK6cdTAbNm6XU63ZpxFek2eTA1dEMHHiPA6TYmRMnFW1ScYkQeNA1b8Bz3cFyUkdMbmrxTZ-8Y4y-Fzy94F~pViLEC6-xgZ6lfGfq9cViB2M~vR0rIn~GYr0tvihmkcmxwFOozU857WYavmE3rkzpxrZEK-ub5N9kYVxRII6ZUNKe6UDmHvbdIF2m7A5APnTVHuMx2Tpkm70QAKpdmAeUjtuyxDspAyYhqFXThI77WC29756CTrAAYskPEh4Rd4GJ2yOarKXrZaKJAP6MXXrTO7rOYwVzZcFFB1yqNv2PM7rmPj8E0O2YhQzNuuOv4Kz8WvA_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)

Martino, R. D., Guerreschi, A. B., & Carignano, C. (2012). INFLUENCIA DE LA TECTÓNICA PREANDINA SOBRE LA TECTÓNICA ANDINA: EL CASO DE LA FALLA DE LA SIERRA CHICA, SIERRAS PAMPEANAS DE CÓRDOBA. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 69(2), 207-221. <https://ppct.caicyt.gov.ar/index.php/raga/article/view/1342>

<b>Elaboró:</b> Barotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 181 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



Martino, R. D., Guerreschi, A. B., Carignano, C. A., Sfragulla, J. A., & Bonalumi, A. A. (2020). *Mapa Geológico de la Provincia de Córdoba*. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino Serie Publicación N° 176, 82 pp. Buenos Aires.

Mora Castro, S. (2022). *La Geodinámica Externa: aspectos geomecánicos, hidrológicos, climáticos y del riesgo* (1.ª ed.).

Quintana Crespo, E. & Navarro, M. E. (2015). Determinación de la calidad para la conservación de áreas impactadas por la minería en la zona de San Agustín, provincia de Córdoba, Argentina. *Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente*, 35. <https://www.editoresasagai.org.ar/ojs/index.php/rgaia/article/view/102/89>

Quintana Crespo, E., & Navarro, M. E. (s. f.). Aplicación de una Metodología de Calidad para la Conservación a la Selección de Sitios para Enterramiento Sanitario en la Provincia de Córdoba. *REVISTA FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES*.

Quintana Crespo, E., & Primo Soffietti, F. (2020). Una Zonificación Geotécnica Aplicada a Taludes Rocosos en el Cordón de Sierra Chica, Provincia de Córdoba, Argentina. *REVISTA FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES*, 7(2). <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/FCEFYN/article/view/29363>

Roa, J. G., & Kamp, U. (2012). Uso del índice topográfico de humedad (ITH) para el diagnóstico de la amenaza por desborde fluvial, estado Trujillo-Venezuela. *Revista geográfica venezolana*, 53(1), 109-126. <https://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/35599/1/articulo6.pdf>

Sanhueza Plaza, C., & Rodríguez Cifuentes, L. (2013). Análisis comparativo de métodos de cálculo de estabilidad de taludes finitos aplicados a laderas naturales. *Revista de La Construcción*, 12(1). <https://www.scielo.cl/pdf/rconst/v12n1/art03.pdf>

Tecco, C. A. (2005, marzo). *Cambios sociales y espaciales en la región metropolitana Córdoba, Argentina*.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 182 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

## Anexos

### Anexo N°1

<b>RP E-98</b>	<b>Relevamiento: Talud 1 lado derecho – Progresiva 0.118 (km)</b>	
Altura: 8 (m)	Longitud: 90.4 (m)	Coordenadas: 31°06'42.1"S 64°27'51.4"O



TL1.1: Material de falla e intrusivo pegmático – TG1.1.1: Material de falla de Sierras Chicas intercalado con pegmatitas

#### Parámetros Hoek y Brown - Material de falla

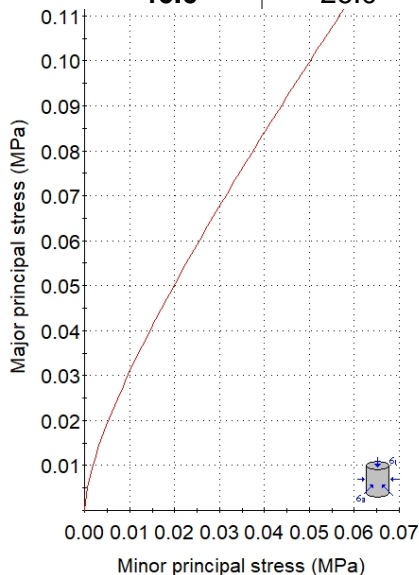
$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	mi	D	$\phi$ (°)	$c'$ (MPa)
0.6	16.0	6	20	10	0.7	15.97	0.005

#### Resultados

#### Parámetros Hoek y Brown - Pegmatita

$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	mi	D	$\phi$ (°)	$c'$ (MPa)
46.0	26.0	6	20	32	0.7	50.78	0.052

#### Resultados



#### Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 0.6 MPa  
GSI = 20 mi = 10 Disturbance factor = 0.7

#### Hoek-Brown Criterion

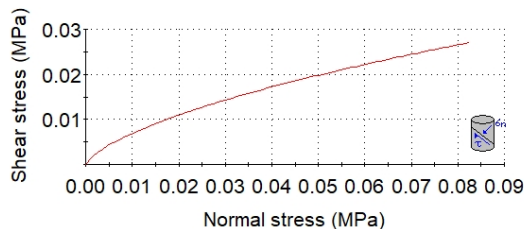
mb = 0.123 s = 9.22e-6 a = 0.544

#### Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.005 MPa friction angle = 15.97 deg

#### Rock Mass Parameters

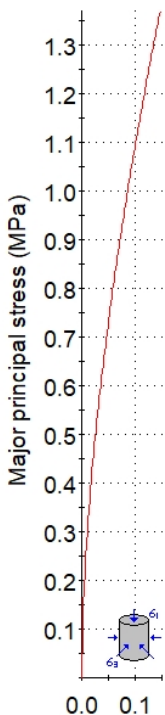
tensile strength = -4.49e-5 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.001 MPa  
global strength = 0.021 MPa  
modulus of deformation = 89.53 MPa



<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 183 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



### Analysis of Rock Strength using RocLab



Minor principal stress (MPa)

#### Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 46 MPa  
GSI = 20  $m_i = 32$  Disturbance factor = 0.7

#### Hoek-Brown Criterion

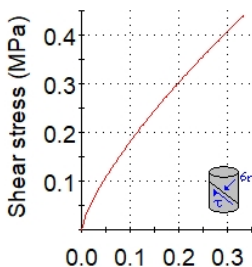
$m_b = 0.395$   $s = 9.22e-6$   $a = 0.544$

#### Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.052 MPa friction angle = 50.78 deg

#### Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.001 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.084 MPa  
global strength = 3.035 MPa  
modulus of deformation = 783.96 MPa



Normal stress (MPa)



<b>Elaboró:</b> Barotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 184 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



<b>RP E-98</b>	<b>Relevamiento: Talud 2 lado derecho – Progresiva 0.349 (km)</b>
Altura: 20 (m)	Longitud: 113.8 (m)      Coordenadas: 31°06'34.9"S 64°27'46.5"O



TL1.2: Esquistos micáceos con intercalación de rocas ígneas – TG1.2.1: Esquistos micáceos intercalados con filones de roca ígnea pegmatítica

**Parámetros Hoek y Brown - esquistos micáceos**

$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	mi	D	$\phi$ (°)	$c'$ (MPa)
<b>36.0</b>	26.5	20	20	10	0.7	30.3	0.070

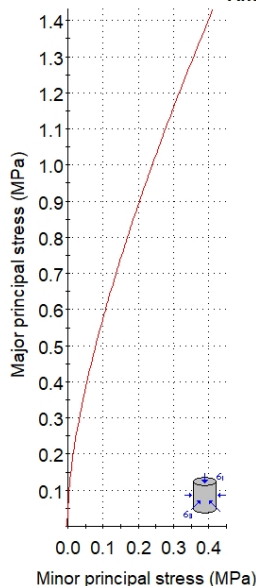
**Resultados**

**Parámetros Hoek y Brown - roca ígnea**

$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	mi	D	$\phi$ (°)	$c'$ (MPa)
<b>85.0</b>	27.5	20	20	32	0.7	46.4	0.146

**Resultados**

Analysis of Rock Strength using RocLab



**Hoek-Brown Classification**

intact uniaxial compressive strength = 36 MPa  
GSI = 20    mi = 10    Disturbance factor = 0.7

**Hoek-Brown Criterion**

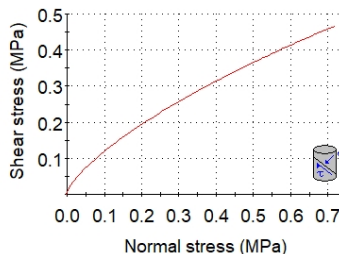
mb = 0.123    s = 9.22e-6    a = 0.544

**Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 0.070 MPa    friction angle = 30.32 deg

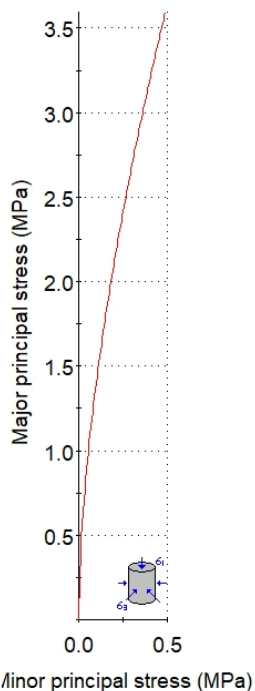
**Rock Mass Parameters**

tensile strength = -0.003 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.066 MPa  
global strength = 1.263 MPa  
modulus of deformation = 693.53 MPa



<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01 <b>Página</b> 185 de 247
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

Analysis of Rock Strength using RocLab



Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 85 MPa  
GSI = 20 mi = 32 Disturbance factor = 0.7

Hoek-Brown Criterion

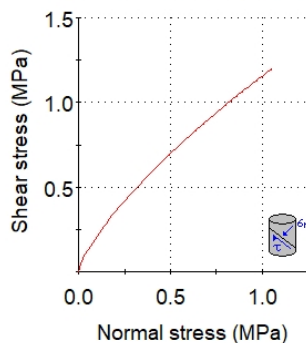
mb = 0.395 s = 9.22e-6 a = 0.544

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.146 MPa friction angle = 46.45 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.002 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.155 MPa  
global strength = 5.609 MPa  
modulus of deformation = 1065.67 MPa



Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01
		Página 186 de 247	
<p>DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</p>			

<b>RP E-98</b>	<b>Relevamiento: Talud 3 lado derecho – Progresiva 0.477 (km)</b>
Altura: 16 (m)	Longitud: 86.4 (m)      Coordenadas: 31°06'34.9"S 64°27'46.5"O



TL1.2: Esquistos micáceos con intercalación de rocas ígneas – TG1.2.1: Esquistos micáceos intercalados con filones de roca ígnea pegmatítica

**Parámetros Hoek y Brown – esquistos micáceos**

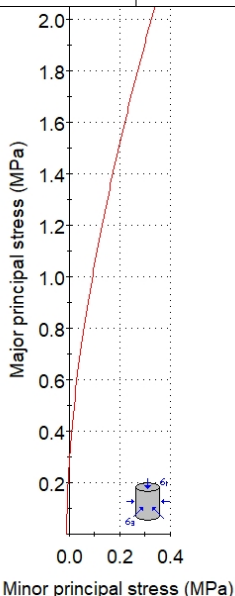
**Resultados**

$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	mi	D	$\phi$ (°)	c' (MPa)
<b>36.0</b>	26.5	16	35	10	0.7	41.3	0.110

**Parámetros Hoek y Brown - roca ígnea**

**Resultados**

$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	mi	D	$\phi$ (°)	c' (MPa)
<b>85.0</b>	27.5	16	35	32	0.7	56.4	0.213

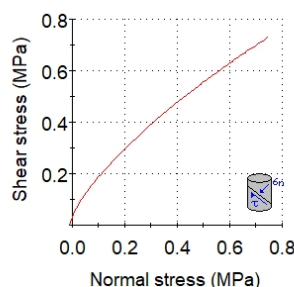


**Hoek-Brown Classification**  
intact uniaxial compressive strength = 36 MPa  
GSI = 35    mi = 10    Disturbance factor = 0.7

**Hoek-Brown Criterion**  
mb = 0.281    s = 0.0001    a = 0.516

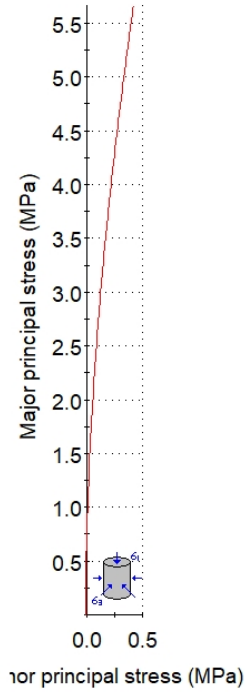
**Mohr-Coulomb Fit**  
cohesion = 0.110 MPa    friction angle = 41.32 deg

**Rock Mass Parameters**  
tensile strength = -0.010 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.279 MPa  
global strength = 2.332 MPa  
modulus of deformation = 1644.62 MPa



<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01 <b>Página 187 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

Analysis of Rock Strength using RocLab



Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 85 MPa  
GSI = 35 mi = 32 Disturbance factor = 0.7

Hoek-Brown Criterion

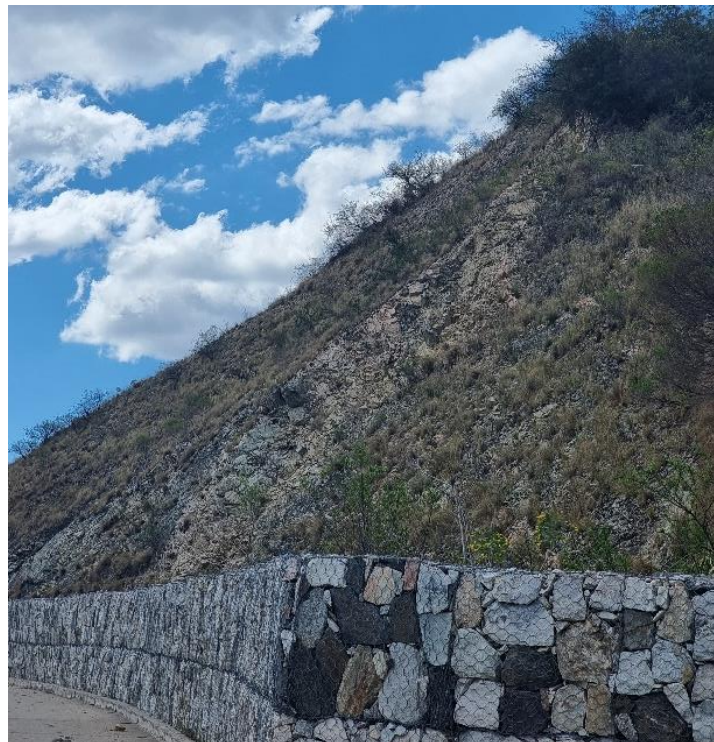
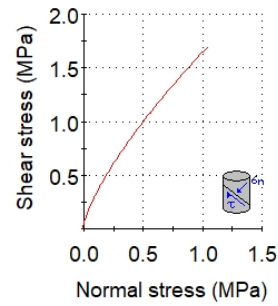
mb = 0.900 s = 0.0001 a = 0.516

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.213 MPa friction angle = 56.39 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.008 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.659 MPa  
global strength = 10.005 MPa  
modulus of deformation = 2527.10 MPa



Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01
		Página 188 de 247	
<p>DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</p>			



<b>RP E-98</b>	<b>Relevamiento: Talud 4 lado izquierdo – Progresiva 0.477 (km)</b>
Altura: 8 (m)	Longitud: 82.3 (m)      Coordenadas: 31°06'34.9"S 64°27'46.5"O



TL1.2: Esquistos micáceos con intercalación de rocas ígneas – TG1.2.1: Esquistos micáceos intercalados con filones de roca ígnea pegmatítica

**Parámetros Hoek y Brown – esquistos micáceos**

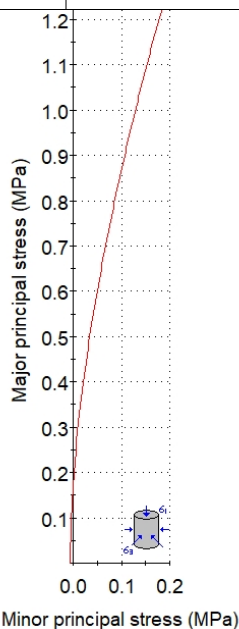
$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	mi	D	$\phi$ (°)	$c'$ (MPa)
<b>35.0</b>	26.5	8	30	10	0.7	43.5	0.062

**Resultados**

**Parámetros Hoek y Brown - roca ígnea**

$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	mi	D	$\phi$ (°)	$c'$ (MPa)
<b>85.0</b>	27.5	8	30	32	0.7	58.3	0.119

**Resultados**



**Hoek-Brown Classification**

intact uniaxial compressive strength = 36 MPa  
GSI = 30    mi = 10    Disturbance factor = 0.7

**Hoek-Brown Criterion**

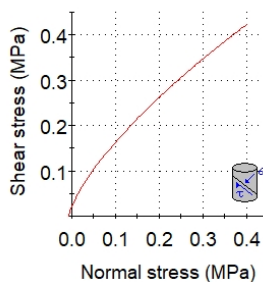
mb = 0.214    s = 3.93e-5    a = 0.522

**Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 0.062 MPa    friction angle = 43.54 deg

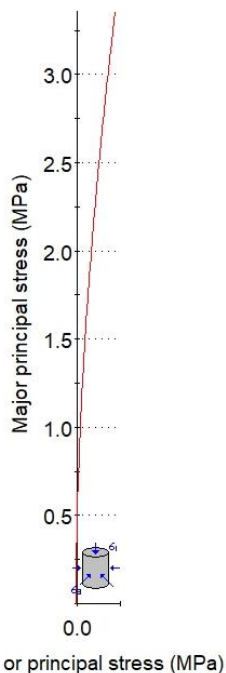
**Rock Mass Parameters**

tensile strength = -0.007 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.180 MPa  
global strength = 1.944 MPa  
modulus of deformation = 1233.29 MPa



<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01 <b>Página 189 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

**Analysis of Rock Strength using RocLab**



**Hoek-Brown Classification**

intact uniaxial compressive strength = 85 MPa  
GSI = 30  $m_i = 32$  Disturbance factor = 0.7

**Hoek-Brown Criterion**

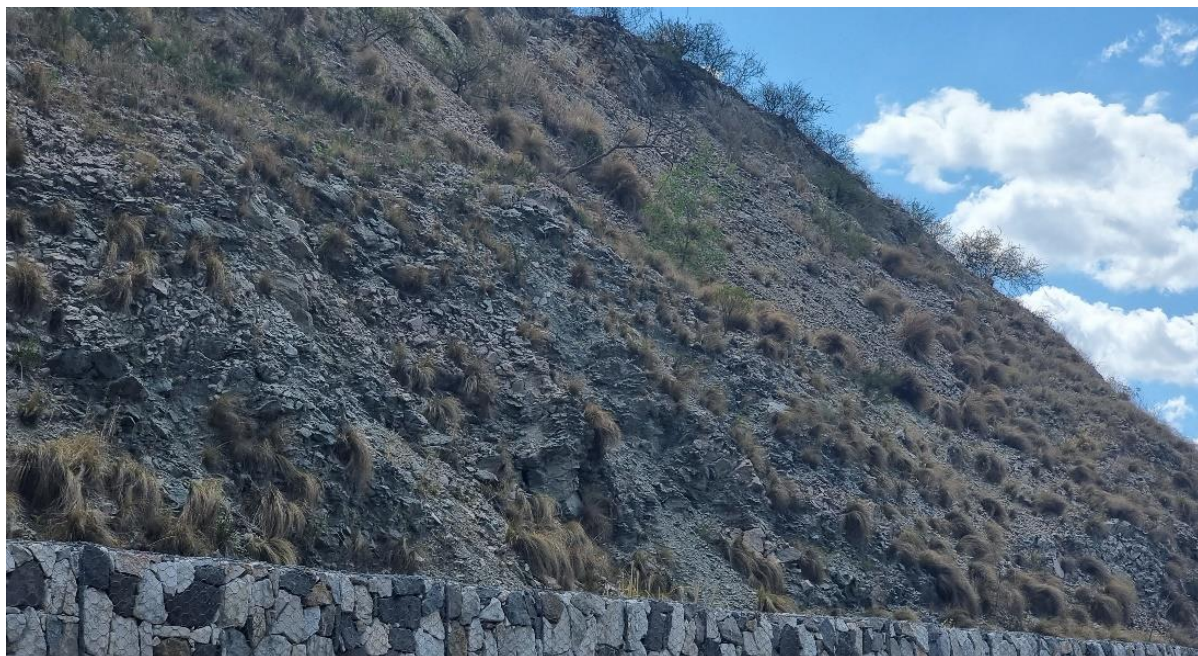
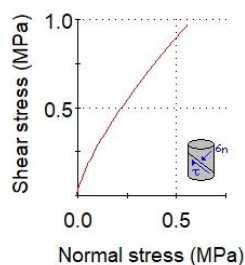
$m_b = 0.684$   $s = 3.93e-5$   $a = 0.522$

**Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 0.119 MPa friction angle = 58.29 deg

**Rock Mass Parameters**

tensile strength = -0.005 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.425 MPa  
global strength = 8.411 MPa  
modulus of deformation = 1895.06 MPa



<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 190 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



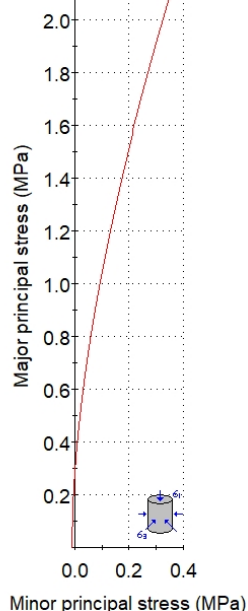
<b>RP E-98</b>	<b>Relevamiento: Talud 5 lado derecho – Progresiva 0.690 (km)</b>
Altura: 16 (m)	Longitud: 124.0 (m)      Coordenadas: 31°06'32.8"S 64°27'46.8"W



TL1.2: Esquistos micáceos con intercalación de rocas ígneas – TG1.2.1: Esquistos micáceos intercalados con filones de roca ígnea pegmatítica

Parámetros Hoek y Brown – esquistos micáceos						Resultados	
$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	mi	D	$\phi$ (°)	c' (MPa)
35.0	26.5	16	35	10	0.7	41.3	0.110

Parámetros Hoek y Brown - roca ígnea						Resultados	
$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	mi	D	$\phi$ (°)	c' (MPa)
85.0	27.5	16	35	32	0.7	56.4	0.213

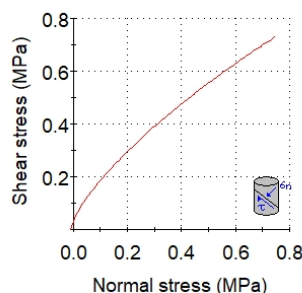


**Hoek-Brown Classification**  
intact uniaxial compressive strength = 36 MPa  
GSI = 35    mi = 10    Disturbance factor = 0.7

**Hoek-Brown Criterion**  
mb = 0.281    s = 0.0001    a = 0.516

**Mohr-Coulomb Fit**  
cohesion = 0.110 MPa    friction angle = 41.32 deg

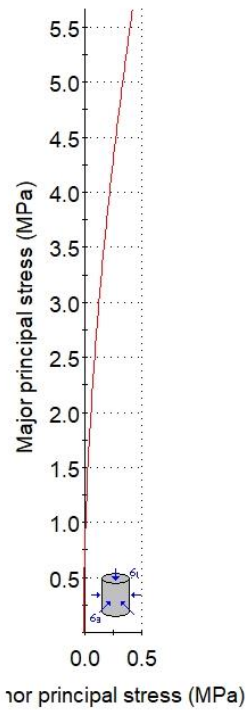
**Rock Mass Parameters**  
tensile strength = -0.010 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.279 MPa  
global strength = 2.332 MPa  
modulus of deformation = 1644.62 MPa



<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01 <b>Página</b> 191 de 247
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



**Analysis of Rock Strength using RocLab**



**Hoek-Brown Classification**

intact uniaxial compressive strength = 85 MPa  
GSI = 35  $m_i = 32$  Disturbance factor = 0.7

**Hoek-Brown Criterion**

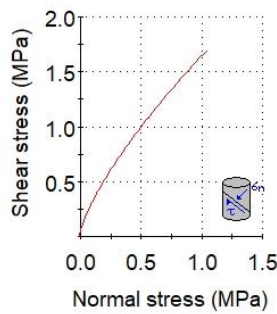
$m_b = 0.900$   $s = 0.0001$   $a = 0.516$

**Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 0.213 MPa friction angle = 56.39 deg

**Rock Mass Parameters**

tensile strength = -0.008 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.659 MPa  
global strength = 10.005 MPa  
modulus of deformation = 2527.10 MPa



<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 192 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

<b>RP E-98</b>	<b>Relevamiento: Talud 6 lado derecho – Progresiva 1.016 (km)</b>
Altura: 8 (m)	Longitud: 145.5 (m)      Coordenadas: 31°06'23.9"S 64°27'46.1"O



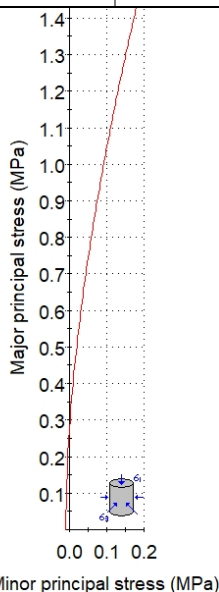
TL1.2: Esquistos micáceos con intercalación de rocas ígneas – TG1.2.1: Esquistos micáceos intercalados con filones de roca ígnea pegmática

**Parámetros Hoek y Brown – esquistos micáceos      Resultados**

$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	mi	D	$\phi$ (°)	c' (MPa)
<b>36.0</b>	26.5	8	35	10	0.7	48.47	0.093

**Parámetros Hoek y Brown - roca ígnea      Resultados**

$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	mi	D	$\phi$ (°)	c' (MPa)
<b>85.0</b>	27.5	8	35	32	0.7	60.5	0.141

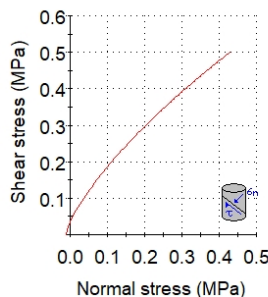


**Hoek-Brown Classification**  
intact uniaxial compressive strength = 36 MPa  
GSI = 35    mi = 10    Disturbance factor = 0.7

**Hoek-Brown Criterion**  
mb = 0.281    s = 0.0001    a = 0.516

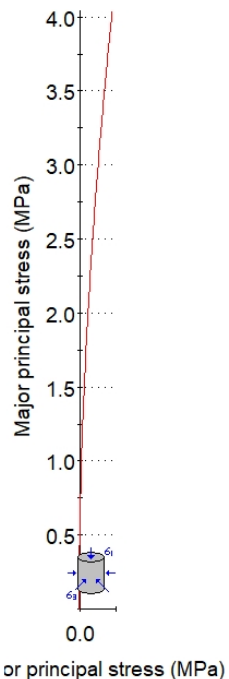
**Mohr-Coulomb Fit**  
cohesion = 0.076 MPa    friction angle = 46.27 deg

**Rock Mass Parameters**  
tensile strength = -0.010 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.279 MPa  
global strength = 2.332 MPa  
modulus of deformation = 1644.62 MPa



<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01 <b>Página</b> 193 de 247
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

Analysis of Rock Strength using RocLab



Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 85 MPa  
GSI = 35 mi = 32 Disturbance factor = 0.7

Hoek-Brown Criterion

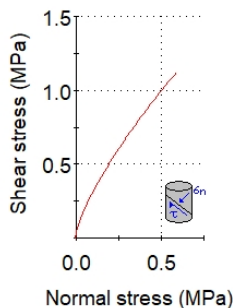
mb = 0.900 s = 0.0001 a = 0.516

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.141 MPa friction angle = 60.49 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.008 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.659 MPa  
global strength = 10.005 MPa  
modulus of deformation = 2527.10 MPa



Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01
		Página 194 de 247	
<p>DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</p>			

<b>RP E-98</b>	<b>Relevamiento: Talud 7 lado izquierdo – Progresiva 1.016 (km)</b>
Altura: 12(m)	Longitud: 84.7 (m)      Coordenadas: 31°06'23.9"S 64°27'46.1"O



TL1.2: Esquistos micáceos con intercalación de rocas ígneas – TG1.2.1: Esquistos micáceos intercalados con filones de roca ígnea pegmatítica

**Parámetros Hoek y Brown – esquistos micáceos**

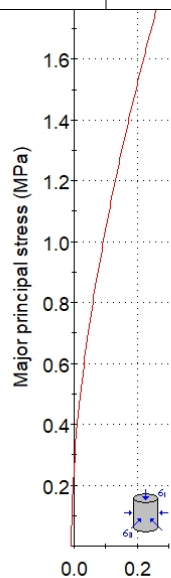
**Resultados**

$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	mi	D	$\phi$ (°)	c' (MPa)
36.0	26.5	12	35	10	0.7	43.41	0.094

**Parámetros Hoek y Brown - roca ígnea**

**Resultados**

$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	mi	D	$\phi$ (°)	c' (MPa)
85.0	27.5	12	35	32	0.7	58.1	0.179



Minor principal stress (MPa)

**Hoek-Brown Classification**

intact uniaxial compressive strength = 36 MPa  
GSI = 35    mi = 10    Disturbance factor = 0.7

**Hoek-Brown Criterion**

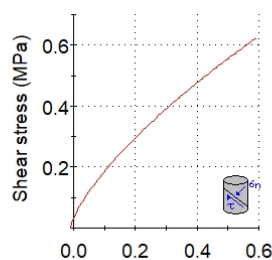
mb = 0.281    s = 0.0001    a = 0.516

**Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 0.094 MPa    friction angle = 43.41 deg

**Rock Mass Parameters**

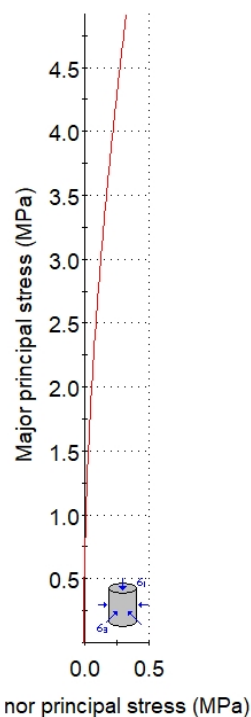
tensile strength = -0.010 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.279 MPa  
global strength = 2.332 MPa  
modulus of deformation = 1644.62 MPa



Normal stress (MPa)

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01 <b>Página</b> 195 de 247
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

Analysis of Rock Strength using RocLab



**Hoek-Brown Classification**

intact uniaxial compressive strength = 85 MPa  
GSI = 35  $m_i = 32$  Disturbance factor = 0.7

**Hoek-Brown Criterion**

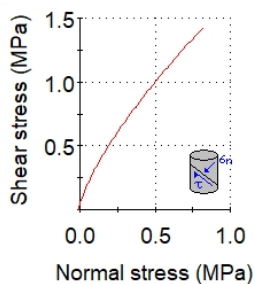
$m_b = 0.900$   $s = 0.0001$   $a = 0.516$

**Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 0.179 MPa friction angle = 58.14 deg

**Rock Mass Parameters**

tensile strength = -0.008 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.659 MPa  
global strength = 10.005 MPa  
modulus of deformation = 2527.10 MPa



<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página</b> 196 de 247
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

<b>RP E-98</b>	<b>Relevamiento: Talud 8 lado izquierdo – Progresiva 1.650 (km)</b>	
Altura: 8 (m)	Longitud: 143.0 (m)	Coordenadas: 31°06'36.7"S 64°27'34.7"W



TL1.2: Esquistos micáceos con intercalación de rocas ígneas – TG1.2.1: Esquistos micáceos intercalados con filones de roca ígnea pegmatítica

**Parámetros Hoek y Brown – esquistos micáceos**

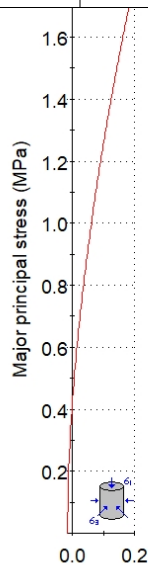
**Resultados**

$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	mi	D	$\phi$ (°)	c' (MPa)
<b>36.0</b>	26.5	8	40	10	0.7	48.6	0.466

**Parámetros Hoek y Brown - roca ígnea**

**Resultados**

$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	mi	D	$\phi$ (°)	c' (MPa)
<b>85.0</b>	27.5	8	40	32	0.7	62.4	0.168



Minor principal stress (MPa)

**Hoek-Brown Classification**

intact uniaxial compressive strength = 36 MPa  
GSI = 40 mi = 10 Disturbance factor = 0.7

**Hoek-Brown Criterion**

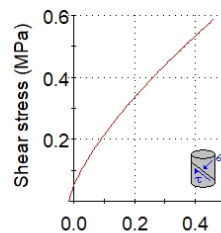
mb = 0.370 s = 0.0002 a = 0.511

**Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 0.094 MPa friction angle = 48.66 deg

**Rock Mass Parameters**

tensile strength = -0.016 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.422 MPa  
global strength = 2.762 MPa  
modulus of deformation = 2193.13 MPa

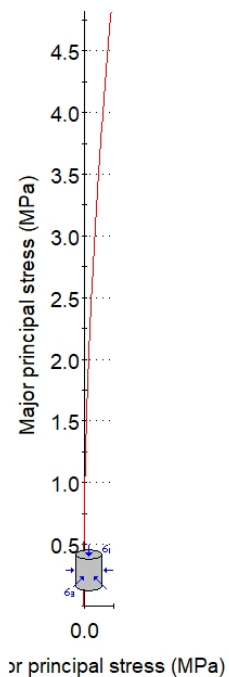


Normal stress (MPa)

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 197 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



Analysis of Rock Strength using RocLab



**Hoek-Brown Classification**

intact uniaxial compressive strength = 85 MPa  
GSI = 40 mi = 32 Disturbance factor = 0.7

**Hoek-Brown Criterion**

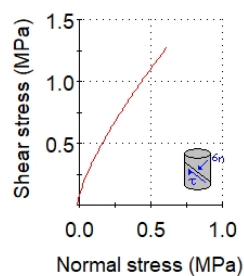
mb = 1.184 s = 0.0002 a = 0.511

**Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 0.168 MPa friction angle = 62.39 deg

**Rock Mass Parameters**

tensile strength = -0.012 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.996 MPa  
global strength = 11.768 MPa  
modulus of deformation = 3369.95 MPa



<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 198 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

<b>RP E-98</b>		<b>Relevamiento: Talud 9 lado derecho – Progresiva 1.650 (km)</b>	
Altura: 25 (m)	Longitud: 212.4 (m)	Coordenadas: 31°06'36.7"S 64°27'34.7"W	



TL1.2: Esquistos micáceos con intercalación de rocas ígneas – TG1.2.1: Esquistos micáceos intercalados con filones de roca ígnea pegmatítica

**Parámetros Hoek y Brown – esquistos micáceos**

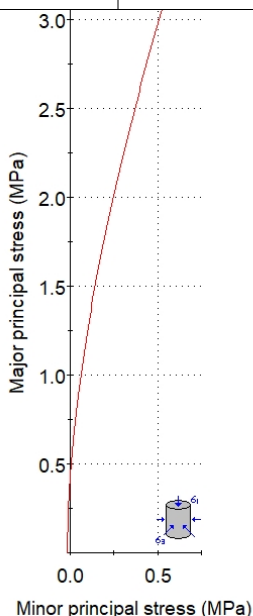
**Resultados**

$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	mi	D	$\phi$ (°)	c' (MPa)
<b>36.0</b>	26.5	25	40	10	0.7	40.58	0.166

**Parámetros Hoek y Brown - roca ígnea**

**Resultados**

$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	mi	D	$\phi$ (°)	c' (MPa)
<b>85.0</b>	27.5	25	40	32	0.7	55.74	0.322



**Hoek-Brown Classification**

intact uniaxial compressive strength = 36 MPa  
GSI = 40 mi = 10 Disturbance factor = 0.7

**Hoek-Brown Criterion**

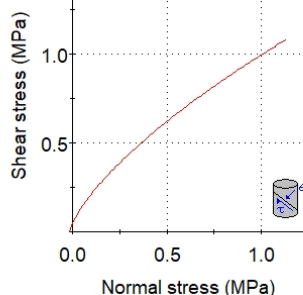
mb = 0.370 s = 0.0002 a = 0.511

**Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 0.166 MPa friction angle = 40.58 deg

**Rock Mass Parameters**

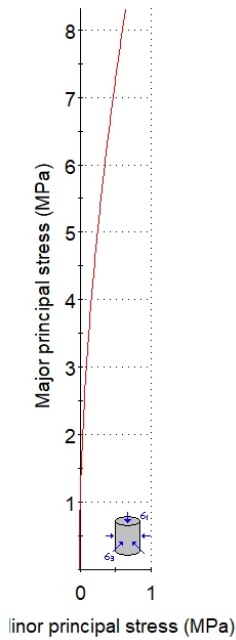
tensile strength = -0.016 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.422 MPa  
global strength = 2.762 MPa  
modulus of deformation = 2193.13 MPa



<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página</b> 199 de 247
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA	



**Analysis of Rock Strength using RocLab**



**Hoek-Brown Classification**

intact uniaxial compressive strength = 85 MPa  
GSI = 40    mi = 32    Disturbance factor = 0.7

**Hoek-Brown Criterion**

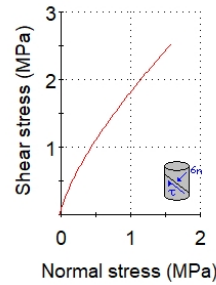
mb = 1.184    s = 0.0002    a = 0.511

**Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 0.322 MPa    friction angle = 55.74 deg

**Rock Mass Parameters**

tensile strength = -0.012 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.996 MPa  
global strength = 11.768 MPa  
modulus of deformation = 3369.95 MPa



<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01 <b>Página</b> 200 de 247
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



<b>RP E-98</b>	<b>Relevamiento: Talud 10 lado derecho – Progresiva 1.970 (km)</b>
Altura: 18 (m)	Longitud: 127.4 (m)      Coordenadas: 31°06'26.1"S 64°27'40.5"W

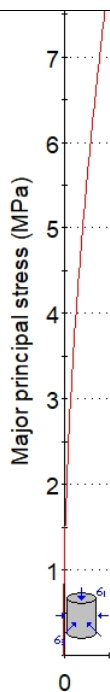


TL1.2: Esquistos micáceos con intercalación de rocas ígneas – TG1.2.2: Esquistos micáceos intercalado con roca ígnea intrusiva granítica y pegmatitas

**Parámetros Hoek y Brown – roca ígnea intrusiva**

**Resultados**

$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	$m_i$	D	$\phi$ (°)	$c'$ (MPa)
<b>74.0</b>	27.5	18	45	32	0.7	58.9	0.290



or principal stress (MPa)

**Hoek-Brown Classification**

intact uniaxial compressive strength = 74 MPa  
GSI = 45     $m_i$  = 32    Disturbance factor = 0.7

**Hoek-Brown Criterion**

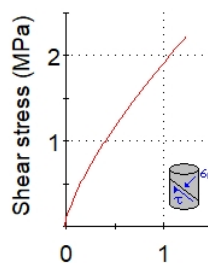
$m_b$  = 1.559     $s$  = 0.0003     $a$  = 0.508

**Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 0.290 MPa    friction angle = 58.89 deg

**Rock Mass Parameters**

tensile strength = -0.016 MPa  
uniaxial compressive strength = 1.289 MPa  
global strength = 11.962 MPa  
modulus of deformation = 4193.04 MPa



Normal stress (MPa)

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01 <b>Página 201 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA	



<b>RP E-98</b>	<b>Relevamiento: EG11 Talud Derecho – Progresiva 2.160 (km)</b>		
Altura: 25 (m)	Longitud: 94.8 (m)	Coordenadas: 31°06'23.0"S 64°27'39.7"O	



TL1.2: Esquistos micáceos con intercalación de rocas ígneas – TG1.2.2: Esquistos micáceos intercalado con roca ígnea intrusiva granítica y pegmatitas

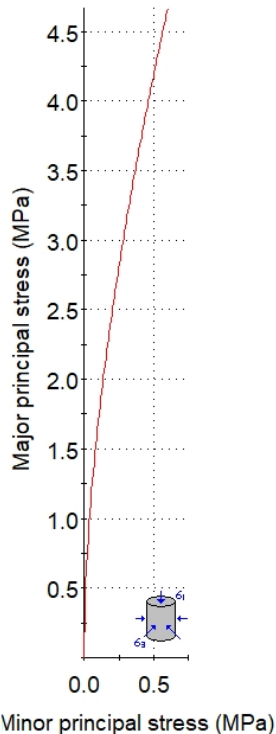
**Parámetros Hoek y Brown roca ígnea intrusiva**

**Resultados**

$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	mi	D	$\phi$ (°)	c' (MPa)
74.0	26.0	25	25	32	0.7	31.9	0.098

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 202 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

Analysis of Rock Strength using RocLab



Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 74 MPa  
GSI = 25 mi = 32 Disturbance factor = 0.7

Hoek-Brown Criterion

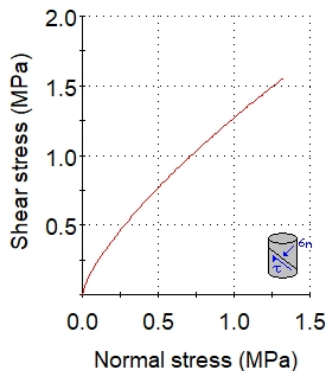
mb = 0.519 s = 1.9e-5 a = 0.531

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.195 MPa friction angle = 47.25 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.003 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.230 MPa  
global strength = 6.054 MPa  
modulus of deformation = 1325.96 MPa



Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01   Página 203 de 247
<p>DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</p>			



<b>RP E-98</b>	<b>Relevamiento: Talud 12 lado derecho – Progresiva 2.500 (km)</b>
Altura: 20 (m)	Longitud: 143.4 (m)      Coordenadas: 31°06'13.7"S 64°27'31.7"W



TL1.3: Genis esquistoso, gneis, roca ígnea – TG1.3.1: Gneis esquistoso y filones de roca ígnea pegmatítica

**Parámetros Hoek y Brown - gneis**

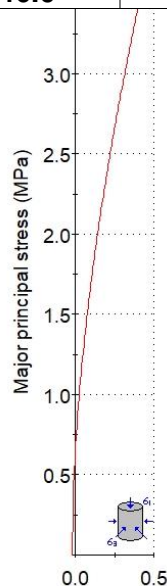
$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	mi	D	$\phi$ (°)	$c'$ (MPa)
<b>37.0</b>	24.0	20	45	13	0.7	47.6	0.177

**Resultados**

**Parámetros Hoek y Brown - filones**

$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	mi	D	$\phi$ (°)	$c'$ (MPa)
<b>46.0</b>	26.0	20	45	32	0.7	55.6	0.244

**Resultados**



linor principal stress (MPa)

**Hoek-Brown Classification**

intact uniaxial compressive strength = 37 MPa  
GSI = 45    mi = 13    Disturbance factor = 0.7

**Hoek-Brown Criterion**

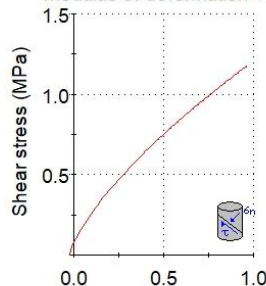
mb = 0.633    s = 0.0003    a = 0.508

**Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 0.177 MPa    friction angle = 47.68 deg

**Rock Mass Parameters**

tensile strength = -0.020 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.645 MPa  
global strength = 3.802 MPa  
modulus of deformation = 2964.93 MPa

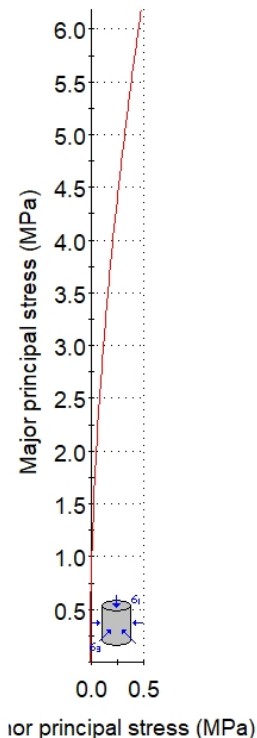


Normal stress (MPa)

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01 <b>Página 204 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



Analysis of Rock Strength using RocLab



**Hoek-Brown Classification**

intact uniaxial compressive strength = 46 MPa  
GSI = 45 mi = 32 Disturbance factor = 0.7

**Hoek-Brown Criterion**

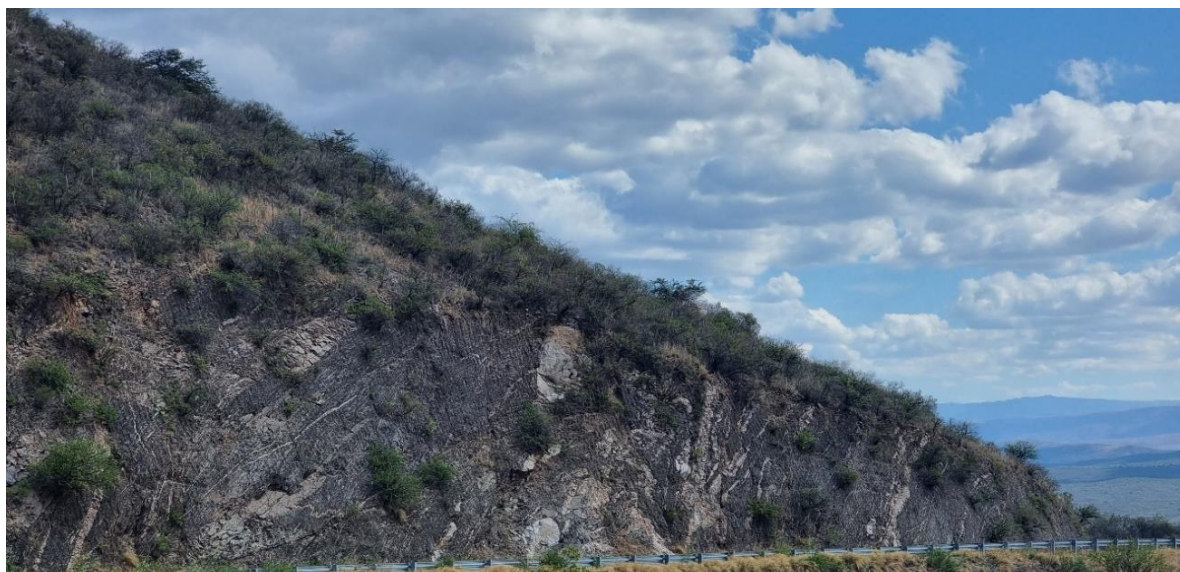
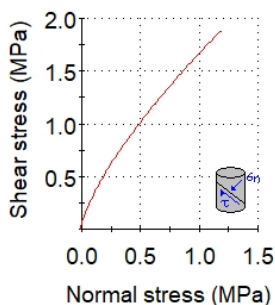
mb = 1.559 s = 0.0003 a = 0.508

**Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 0.244 MPa friction angle = 55.65 deg

**Rock Mass Parameters**

tensile strength = -0.010 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.801 MPa  
global strength = 7.436 MPa  
modulus of deformation = 3305.92 MPa



<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 205 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

<b>RP E-98</b>	<b>Relevamiento: Talud 13 lado derecho – Progresiva 2.770 (km)</b>
Altura: 25 (m)	Longitud: 226.4 (m)      Coordenadas: 31°06'10.8"S 64°27'28.7"W



TL1.3: Genis esquistoso, gneis, roca ígnea – TG1.3.1: Gneis esquistoso y filones de roca ígnea pegmatítica

**Parámetros Hoek y Brown - gneis**

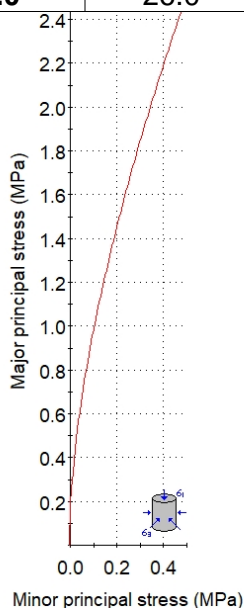
$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	mi	D	$\phi$ (°)	c' (MPa)
<b>37.0</b>	24.0	25	30	13	0.7	38.4	0.123

**Resultados**

**Parámetros Hoek y Brown - filones**

$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	mi	D	$\phi$ (°)	c' (MPa)
<b>46.0</b>	26.0	25	30	32	0.7	47.1	0.187

**Resultados**



**Hoek-Brown Classification**

intact uniaxial compressive strength = 37 MPa  
GSI = 30    mi = 13    Disturbance factor = 0.7

**Hoek-Brown Criterion**

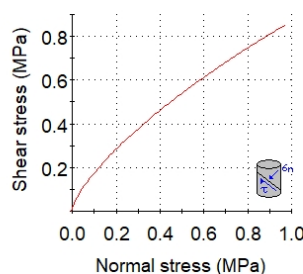
mb = 0.278    s = 3.93e-5    a = 0.522

**Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 0.123 MPa    friction angle = 38.45 deg

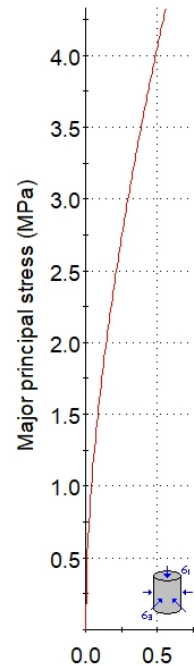
**Rock Mass Parameters**

tensile strength = -0.005 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.185 MPa  
global strength = 2.290 MPa  
modulus of deformation = 1250.30 MPa



<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01 <b>Página</b> 206 de 247
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

Analysis of Rock Strength using RocLab



Minor principal stress (MPa)

**Hoek-Brown Classification**

intact uniaxial compressive strength = 46 MPa  
GSI = 30  $m_i = 32$  Disturbance factor = 0.7

**Hoek-Brown Criterion**

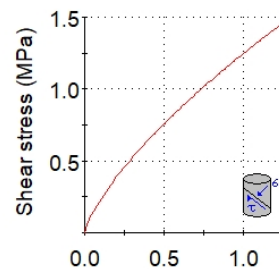
$m_b = 0.684$   $s = 3.93e-5$   $a = 0.522$

**Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 0.187 MPa friction angle = 47.15 deg

**Rock Mass Parameters**

tensile strength = -0.003 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.230 MPa  
global strength = 4.552 MPa  
modulus of deformation = 1394.09 MPa



Normal stress (MPa)



\*Talud inestable y negativo. Derrumbes. Muro de hormigón al pie de aproximadamente 3.5 (m). Resto del talud estabilizado con técnica de gunitado.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página</b> 207 de 247
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	





<b>RP E-98</b>	<b>Relevamiento: Talud 14 lado izquierdo – Progresiva 3.250 (km)</b>
Altura: 16 (m)	Longitud: 157.6 (m)      Coordenadas: 31°05'57.2"S 64°27'27.6"O



TL1.3: Genis esquistoso, gneis, roca ígnea – TG1.3.1: Gneis esquistoso y filones de roca ígnea pegmatítica

**Parámetros Hoek y Brown - gneis**

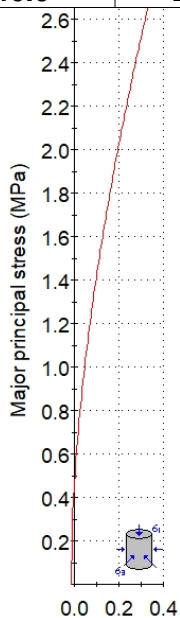
$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	mi	D	$\phi$ (°)	$c'$ (MPa)
<b>37.0</b>	24.0	16	40	13	0.7	46.9	0.133

**Resultados**

**Parámetros Hoek y Brown - filones**

$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	mi	D	$\phi$ (°)	$c'$ (MPa)
<b>46.0</b>	26.0	16	40	32	0.7	55.0	0.187

**Resultados**



Minor principal stress (MPa)

**Hoek-Brown Classification**

intact uniaxial compressive strength = 37 MPa  
GSI = 40    mi = 13    Disturbance factor = 0.7

**Hoek-Brown Criterion**

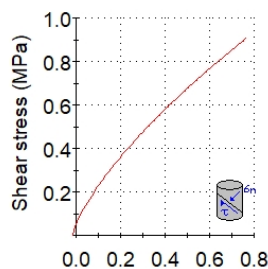
mb = 0.481    s = 0.0002    a = 0.511

**Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 0.133 MPa    friction angle = 46.98 deg

**Rock Mass Parameters**

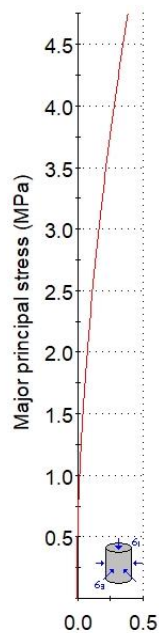
tensile strength = -0.013 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.434 MPa  
global strength = 3,241 MPa  
modulus of deformation = 2223.38 MPa



Normal stress (MPa)

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01 <b>Página 208 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

Analysis of Rock Strength using RocLab



Minor principal stress (MPa)

**Hoek-Brown Classification**

intact uniaxial compressive strength = 46 MPa  
GSI = 40 mi = 32 Disturbance factor = 0.7

**Hoek-Brown Criterion**

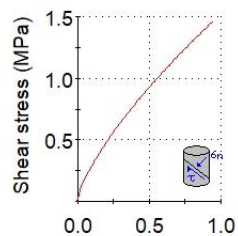
mb = 1.184 s = 0.0002 a = 0.511

**Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 0.187 MPa friction angle = 55.02 deg

**Rock Mass Parameters**

tensile strength = -0.006 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.539 MPa  
global strength = 6.369 MPa  
modulus of deformation = 2479.09 MPa



Normal stress (MPa)



<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página</b> 209 de 247
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

<b>RP E-98</b>	<b>Relevamiento: Talud 15 lado izquierdo – Progresiva 3.411 (km)</b>
Altura: 12 (m)	Longitud: 161.3 (m)      Coordenadas: 31°05'58.3"S 64°27'28.3"O



TL1.3: Genis esquistoso, gneis, roca ígnea – TG1.3.1: Gneis esquistoso y filones de roca ígnea pegmatítica

**Parámetros Hoek y Brown - gneis**

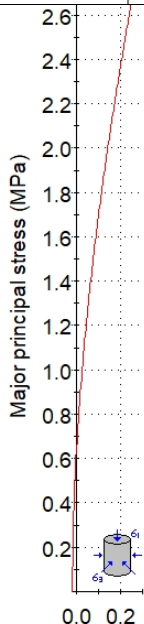
$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	mi	D	$\phi$ (°)	c' (MPa)
<b>37.0</b>	24.0	12	45	13	0.7	51.1	0.138

**Resultados**

**Parámetros Hoek y Brown - filones**

$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	mi	D	$\phi$ (°)	c' (MPa)
<b>46.0</b>	26.0	12	45	32	0.7	58.8	0.182

**Resultados**



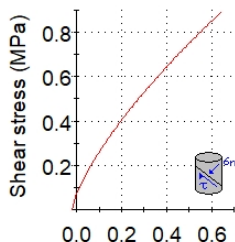
Minor principal stress (MPa)

**Hoek-Brown Classification**  
 intact uniaxial compressive strength = 37 MPa  
 GSI = 45    mi = 13    Disturbance factor = 0.7

**Hoek-Brown Criterion**  
 mb = 0.633    s = 0.0003    a = 0.508

**Mohr-Coulomb Fit**  
 cohesion = 0.138 MPa    friction angle = 51.15 deg

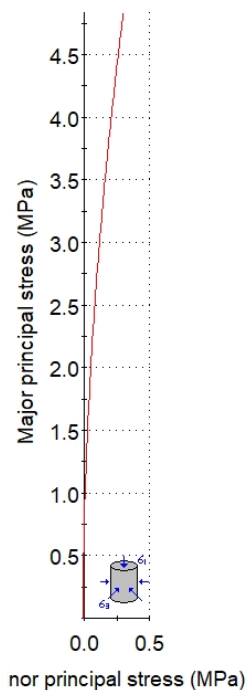
**Rock Mass Parameters**  
 tensile strength = -0.020 MPa  
 uniaxial compressive strength = 0.645 MPa  
 global strength = 3.802 MPa  
 modulus of deformation = 2964.93 MPa



Normal stress (MPa)

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01 <b>Página 210 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

**Analysis of Rock Strength using RocLab**

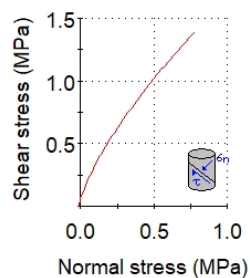


**Hoek-Brown Classification**  
intact uniaxial compressive strength = 46 MPa  
GSI = 45  $m_i = 32$  Disturbance factor = 0.7

**Hoek-Brown Criterion**  
 $m_b = 1.559$   $s = 0.0003$   $a = 0.508$

**Mohr-Coulomb Fit**  
cohesion = 0.182 MPa friction angle = 58.80 deg

**Rock Mass Parameters**  
tensile strength = -0.010 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.801 MPa  
global strength = 7.436 MPa  
modulus of deformation = 3305.92 MPa

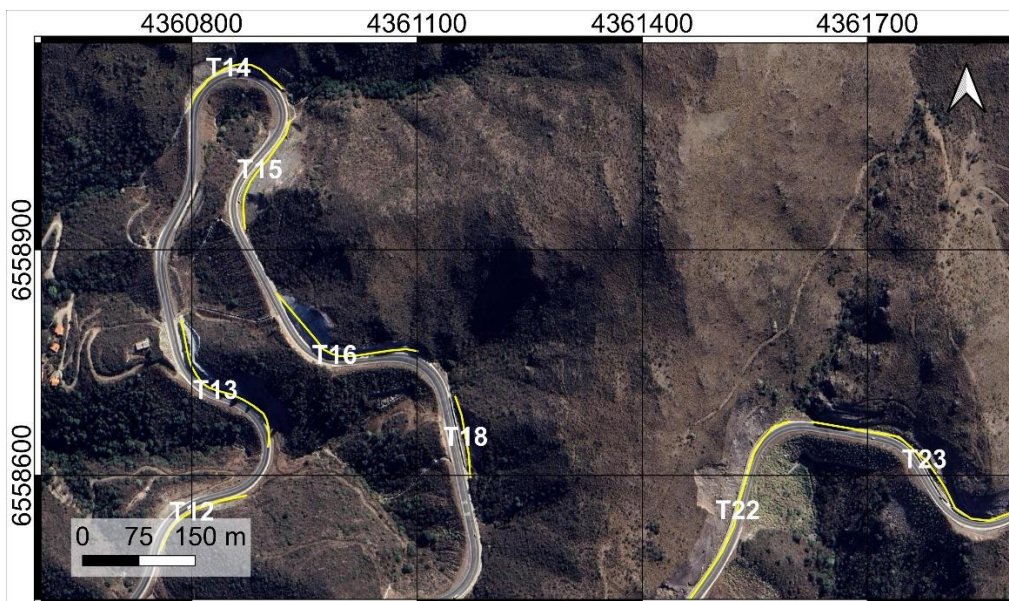


Medidas de remediación existentes: enmallado simple con anclajes y muro de gaviones.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 211 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



<b>RP E-98</b>	<b>Relevamiento: Talud 16 lado izquierdo – Progresiva 3.718 (km)</b>	
Altura: 30 (m)	Longitud: 223.7 (m)	Coordenadas: 31°06'06.9"S 64°27'27.4"O



Medidas de remediación existente: estabilización con técnica de gunitado.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021	
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023	
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01	<b>Página 212 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>		

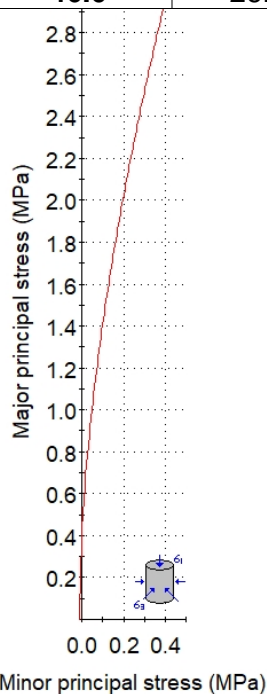
<b>RP E-98</b>	<b>Relevamiento: Talud 17 lado izquierdo – Progresiva 3.960 (km)</b>
Altura: 20 (m)	Longitud: 108.934 (m)      Coordenadas: 31°06'11.3"S 64°27'19.2"O



TL1.3: Genis esquistoso, gneis, roca ígnea – TG1.3.1: Gneis esquistoso y filones de roca ígnea pegmatítica

Parámetros Hoek y Brown - genis						Resultados	
$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	mi	D	$\phi$ (°)	c' (MPa)
<b>37.0</b>	24.0	20	40	13	0.7	45.4	0.150

Parámetros Hoek y Brown - filones						Resultados	
$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	mi	D	$\phi$ (°)	c' (MPa)
<b>46.0</b>	26.0	20	40	32	0.7	53.5	0.214

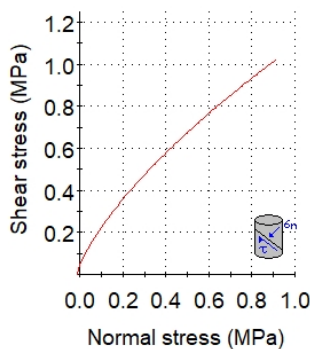


**Hoek-Brown Classification**  
intact uniaxial compressive strength = 37 MPa  
GSI = 40    mi = 13    Disturbance factor = 0.7

**Hoek-Brown Criterion**  
mb = 0.481    s = 0.0002    a = 0.511

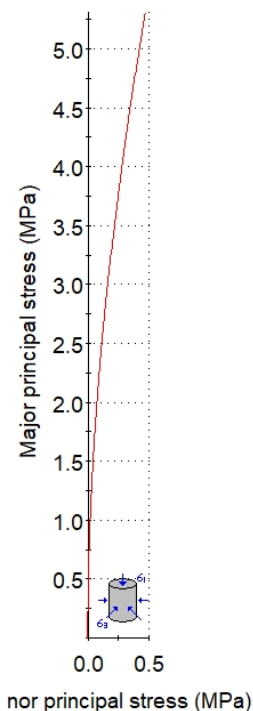
**Mohr-Coulomb Fit**  
cohesion = 0.150 MPa    friction angle = 45.39 deg

**Rock Mass Parameters**  
tensile strength = -0.013 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.434 MPa  
global strength = 3.241 MPa  
modulus of deformation = 2223.38 MPa



<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01 <b>Página 213 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

**Analysis of Rock Strength using RocLab**



**Hoek-Brown Classification**

intact uniaxial compressive strength = 46 MPa  
GSI = 40 mi = 32 Disturbance factor = 0.7

**Hoek-Brown Criterion**

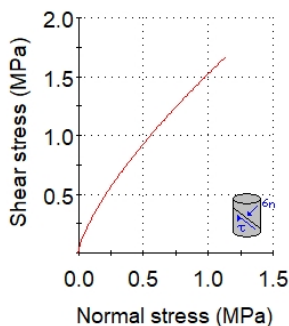
mb = 1.184 s = 0.0002 a = 0.511

**Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 0.214 MPa friction angle = 53.56 deg

**Rock Mass Parameters**

tensile strength = -0.006 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.539 MPa  
global strength = 6.369 MPa  
modulus of deformation = 2479.09 MPa



<b>RP E-98</b>	<b>Relevamiento: Talud 18 izquierdo – Progresiva</b>	
Altura: 32 (m)	Longitud: 180.1 (m)	Coordenadas: 31°06'20.1"S 64°27'24.4"O

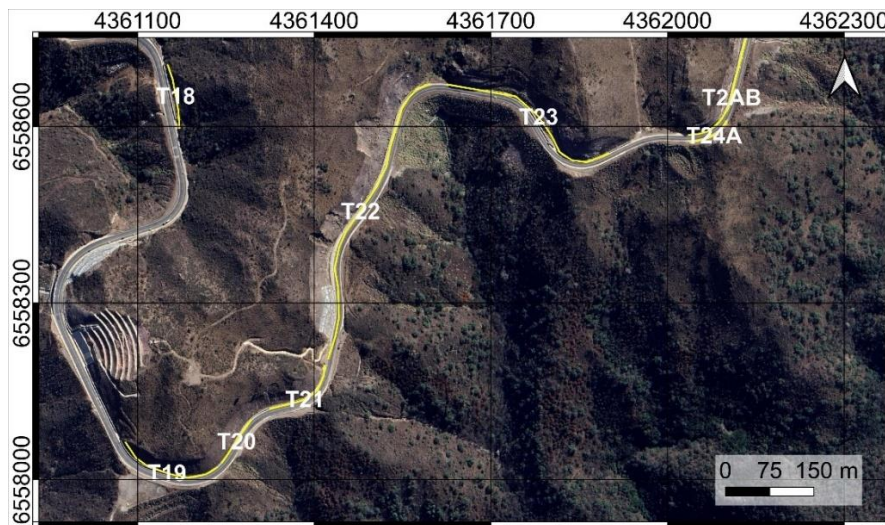


TL1.3: Genis esquistoso, gneis, roca ígnea – TG1.3.1: Gneis esquistoso y filones de roca ígnea pegmatítica  
Medidas de remediación existentes: estabilización con técnica de gunitado.

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 214 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



<b>RP E-98</b>	<b>Taludes 19/20/21/22– Progresivas 4.805/4.951/5.102/5.212 (km)</b>
Altura: 16 (m)	Coordenadas: 31°06'32.0"S 64°27'16.6"O



TL1.3: Genis esquistoso, gneis, roca ígnea – TG1.3.1: Gneis esquistoso y filones de roca ígnea pegmatítica

**Parámetros Hoek y Brown - gneis**

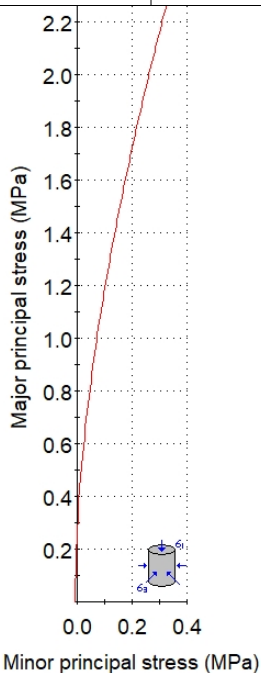
**Resultados**

$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	mi	D	$\phi$ (°)	c' (MPa)
<b>37.0</b>	24.0	16	35	13	0.7	44.5	0.112

**Parámetros Hoek y Brown - filones**

**Resultados**

$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	mi	D	$\phi$ (°)	c' (MPa)
<b>46.0</b>	26.0	16	35	32	0.7	52.7	0.163



**Hoek-Brown Classification**

intact uniaxial compressive strength = 37 MPa  
GSI = 35 mi = 13 Disturbance factor = 0.7

**Hoek-Brown Criterion**

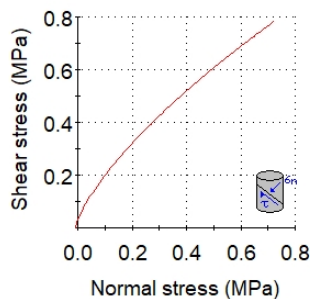
mb = 0.366 s = 0.0001 a = 0.516

**Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 0.112 MPa friction angle = 44.50 deg

**Rock Mass Parameters**

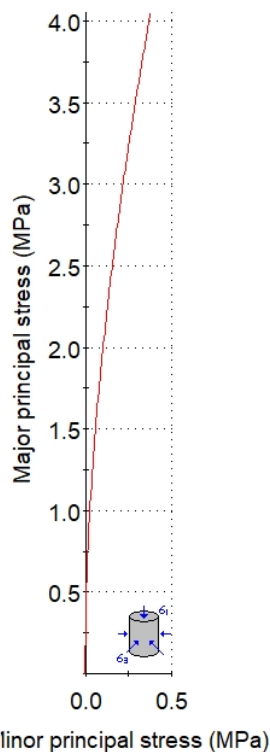
tensile strength = -0.008 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.287 MPa  
global strength = 2.742 MPa  
modulus of deformation = 1667.30 MPa



<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 215 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



### Analysis of Rock Strength using RocLab



#### Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 46 MPa  
GSI = 35  $m_i = 32$  Disturbance factor = 0.7

#### Hoek-Brown Criterion

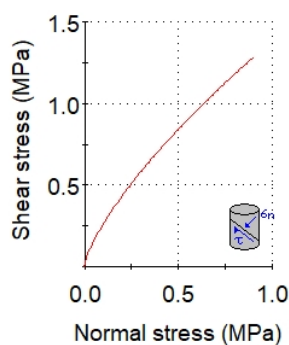
$m_b = 0.900$   $s = 0.0001$   $a = 0.516$

#### Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.163 MPa friction angle = 52.78 deg

#### Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.004 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.356 MPa  
global strength = 5.414 MPa  
modulus of deformation = 1859.06 MPa



<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 216 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

<b>RP E-98</b>	<b>Relevamiento: Talud 23 lado izquierdo – Progresiva 5.877 (km)</b>
Altura: 10 (m)	Longitud: 330.4 (m)      Coordenadas: 31°06'11.0"S 64°27'00.6"O



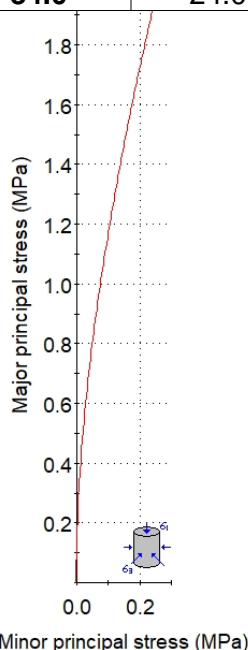
TL1.3: Genis esquistoso, gneis, roca ígnea – TG1.3.2: Roca ígnea intrusiva de tipo granítica intercalada con gneis

**Parámetros Hoek y Brown - roca ígnea intrusiva      Resultados**

$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	mi	D	$\phi$ (°)	c' (MPa)
74.0	27.5	10	30	13	1.0	47.16	0.087

**Parámetros Hoek y Brown - gneis      Resultados**

$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	mi	D	$\phi$ (°)	c' (MPa)
84.0	24.0	10	30	13	1.0	49.2	0.085

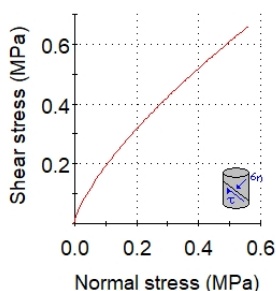


**Hoek-Brown Classification**  
intact uniaxial compressive strength = 74 MPa  
GSI = 30    mi = 32    Disturbance factor = 1

**Hoek-Brown Criterion**  
mb = 0.216    s = 8.57e-6    a = 0.522

**Mohr-Coulomb Fit**  
cohesion = 0.087 MPa    friction angle = 47.16 deg

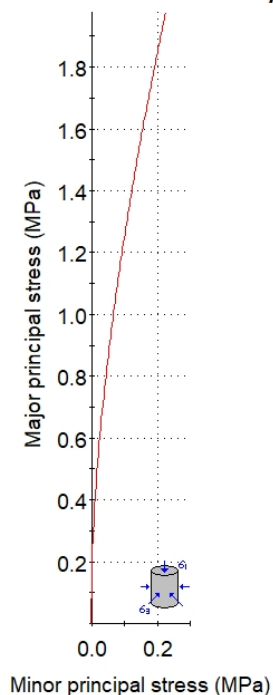
**Rock Mass Parameters**  
tensile strength = -0.003 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.167 MPa  
global strength = 4.007 MPa  
modulus of deformation = 1360.15 MPa



<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01 <b>Página 217 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



Analysis of Rock Strength using RocLab



Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 84 MPa  
GSI = 30 mi = 33 Disturbance factor = 1

Hoek-Brown Criterion

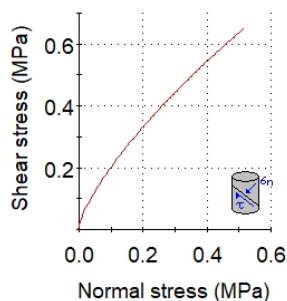
mb = 0.222 s = 8.57e-6 a = 0.522

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.085 MPa friction angle = 49.25 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.003 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.190 MPa  
global strength = 4.622 MPa  
modulus of deformation = 1449.14 MPa



Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01
		Página 218 de 247	
<p>DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</p>			



<b>RP E-98</b>	<b>Relevamiento: Talud 24A lado derecho – Progresiva 6.267 (km)</b>
Altura: 8 (m)	Longitud: 74.2 (m)      Coordenadas: 31°06'14.1"S 64°26'44.8"O



TL1.3: Genis esquistoso, gneis, roca ígnea – TG1.3.2: Roca ígnea intrusiva de tipo granítica intercalada con gneis

**Parámetros Hoek y Brown – roca ígnea intrusiva**

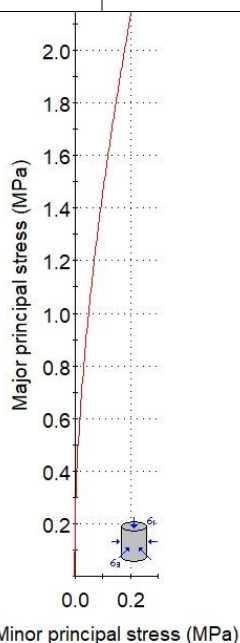
$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	mi	D	$\phi$ (°)	c' (MPa)
<b>74.0</b>	27.5	8	35	13	1.0	52.1	0.092

**Resultados**

**Parámetros Hoek y Brown – gneis**

$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	mi	D	$\phi$ (°)	c' (MPa)
<b>84.0</b>	24.0	8	35	13	1.0	54.0	0.090

**Resultados**



**Hoek-Brown Classification**

intact uniaxial compressive strength = 74 MPa  
GSI = 35    mi = 32    Disturbance factor = 1

**Hoek-Brown Criterion**

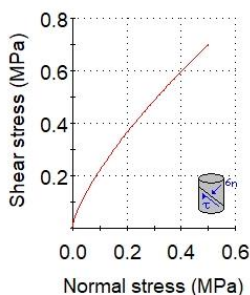
mb = 0.308    s = 1.97e-5    a = 0.516

**Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 0.092 MPa    friction angle = 52.10 deg

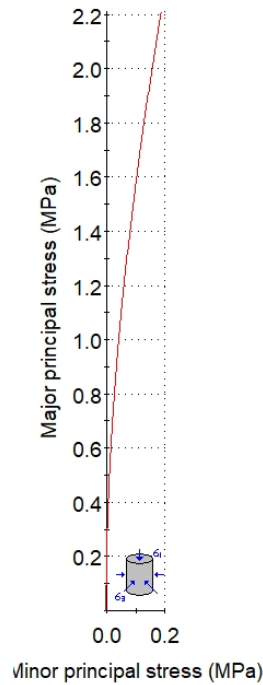
**Rock Mass Parameters**

tensile strength = -0.005 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.277 MPa  
global strength = 5.009 MPa  
modulus of deformation = 1813.79 MPa



<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01 <b>Página 219 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

Analysis of Rock Strength using RocLab



Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 84 MPa  
GSI = 35  $m_i = 33$  Disturbance factor = 1

Hoek-Brown Criterion

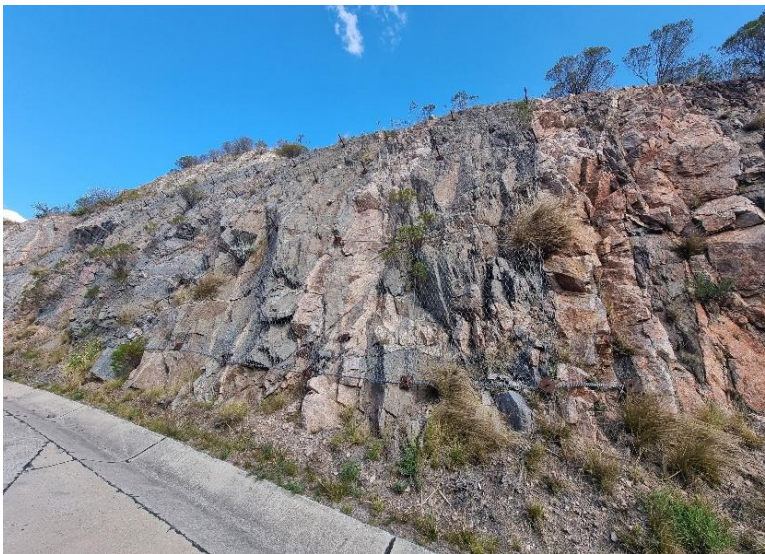
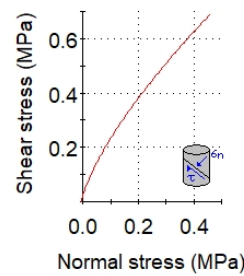
$m_b = 0.318$   $s = 1.97e-5$   $a = 0.516$

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.090 MPa friction angle = 54.06 deg

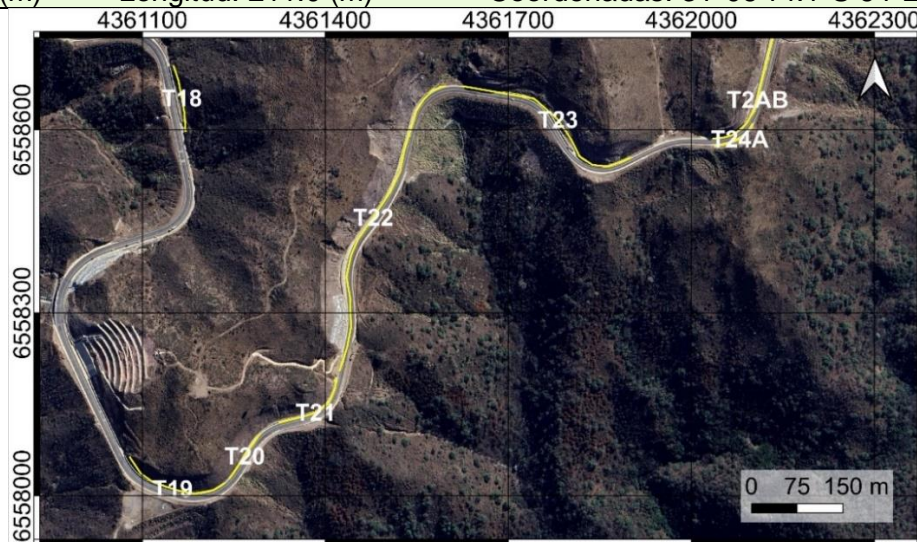
Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.005 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.314 MPa  
global strength = 5.777 MPa  
modulus of deformation = 1932.46 MPa



Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01
		Página 220 de 247	
<p>DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</p>			

<b>RP E-98</b>	<b>Relevamiento: Talud 24 B lado izquierdo – Progresiva 6.267 (km)</b>		
Altura: 20 (m)	Longitud: 211.0 (m)	Coordenadas: 31°06'14.1"S 64°26'44.8"O	



TL1.3: Genis esquistoso, gneis, roca ígnea – TG1.3.2: Roca ígnea intrusiva de tipo granítica intercalada con gneis

**Parámetros Hoek y Brown – roca ígnea intrusiva**

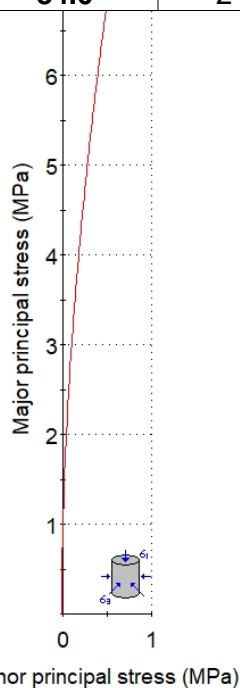
**Resultados**

$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	mi	D	$\phi$ (°)	c' (MPa)
<b>74.0</b>	27.5	20	40	13	0.7	56.28	0.266

**Parámetros Hoek y Brown – gneis**

**Resultados**

$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	mi	D	$\phi$ (°)	c' (MPa)
<b>84.0</b>	24.0	20	40	13	0.7	58.1	0.260



**Hoek-Brown Classification**

intact uniaxial compressive strength = 74 MPa  
GSI = 40 mi = 32 Disturbance factor = 0.7

**Hoek-Brown Criterion**

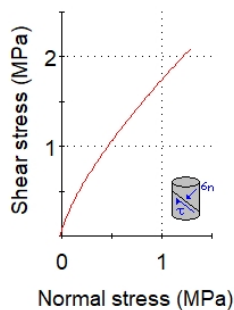
mb = 1.184 s = 0.0002 a = 0.511

**Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 0.266 MPa friction angle = 56.28 deg

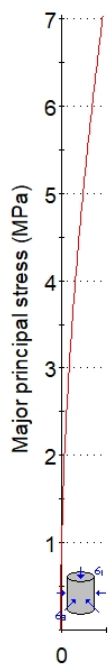
**Rock Mass Parameters**

tensile strength = -0.010 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.867 MPa  
global strength = 10.245 MPa  
modulus of deformation = 3144.34 MPa



<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 221 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

Analysis of Rock Strength using RocLab



or principal stress (MPa)

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 84 MPa  
GSI = 40 mi = 33 Disturbance factor = 0.7

Hoek-Brown Criterion

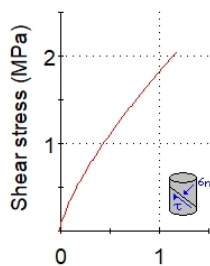
mb = 1.221 s = 0.0002 a = 0.511

Mohr-Coulomb Fit

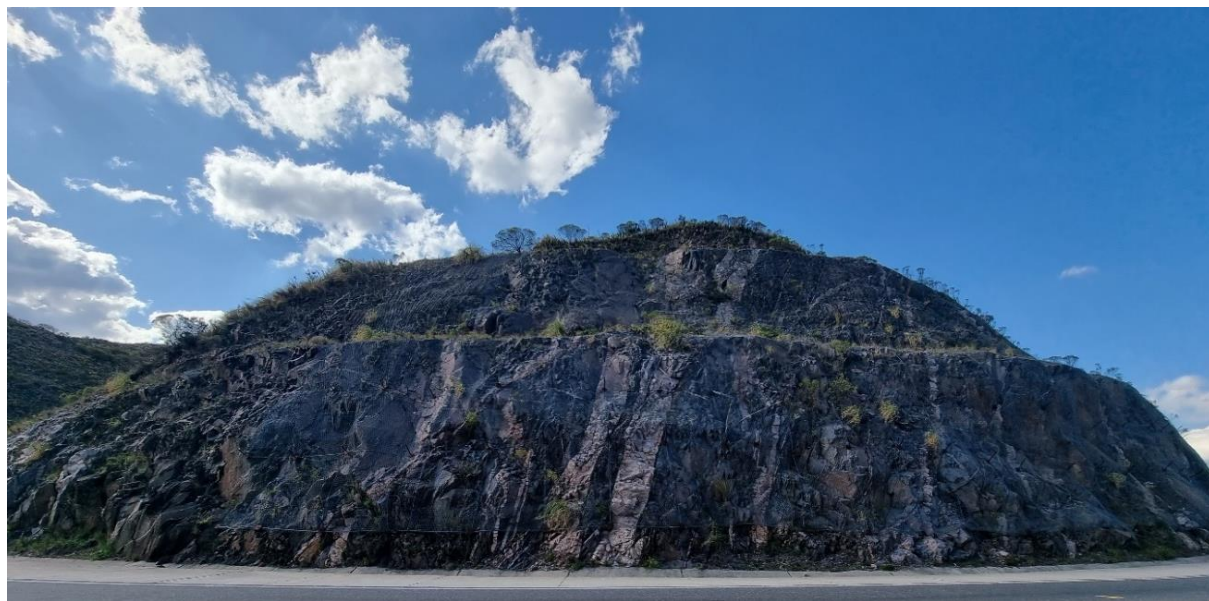
cohesion = 0.260 MPa friction angle = 58.11 deg

Rock Mass Parameters

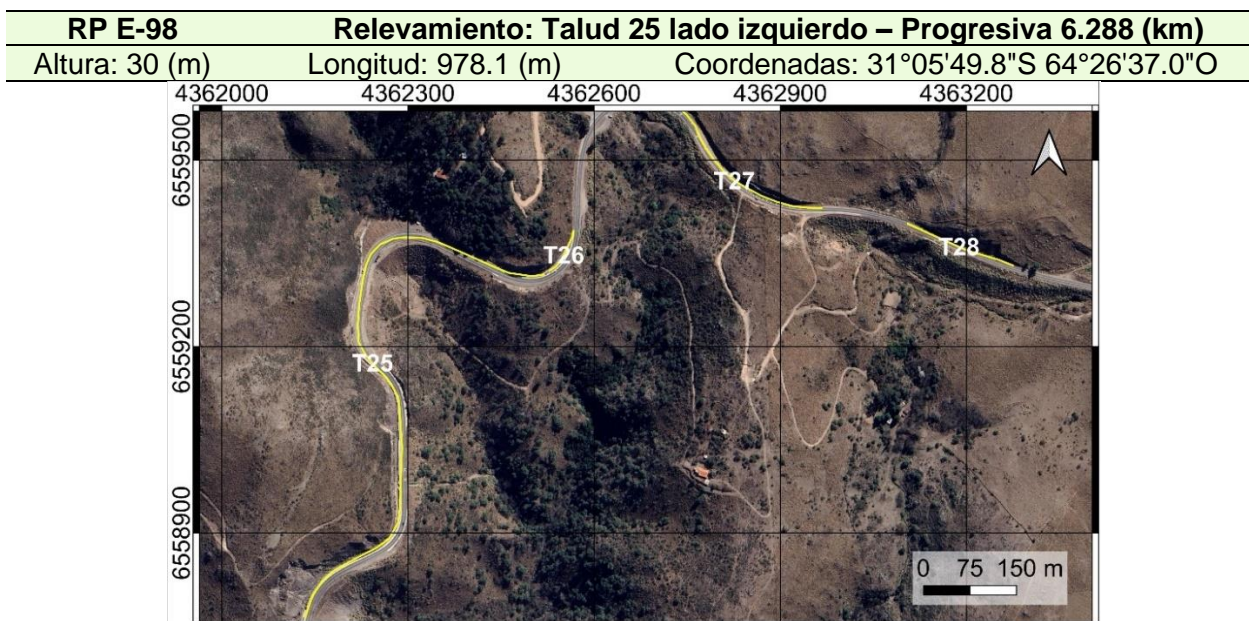
tensile strength = -0.012 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.984 MPa  
global strength = 11.813 MPa  
modulus of deformation = 3350.06 MPa



Normal stress (MPa)



Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01   Página 222 de 247
<p>DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</p>			



TL1.3: Genis esquistoso, gneis, roca ígnea – TG1.3.1: Gneis esquistoso y filones de roca ígnea pegmatítica

**Parámetros Hoek y Brown – gneis**

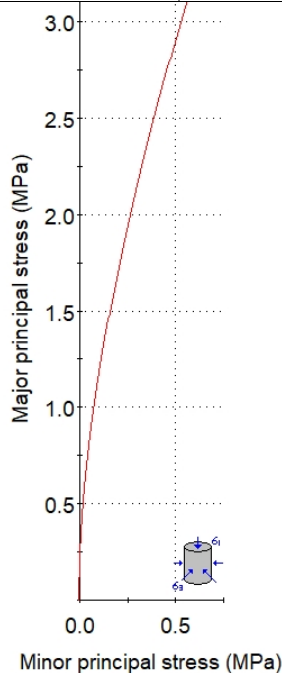
**Resultados**

$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	mi	D	$\phi$ (°)	c' (MPa)
<b>37.0</b>	24.0	30	35	13	0.7	39.9	0.162

**Parámetros Hoek y Brown - filones**

**Resultados**

$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	mi	D	$\phi$ (°)	c' (MPa)
<b>46.0</b>	26.0	30	35	32	0.7	49.0	0.230



**Hoek-Brown Classification**

intact uniaxial compressive strength = 37 MPa  
GSI = 35 mi = 13 Disturbance factor = 0.7

**Hoek-Brown Criterion**

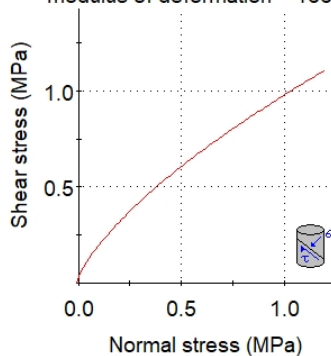
mb = 0.366 s = 0.0001 a = 0.516

**Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 0.162 MPa friction angle = 39.87 deg

**Rock Mass Parameters**

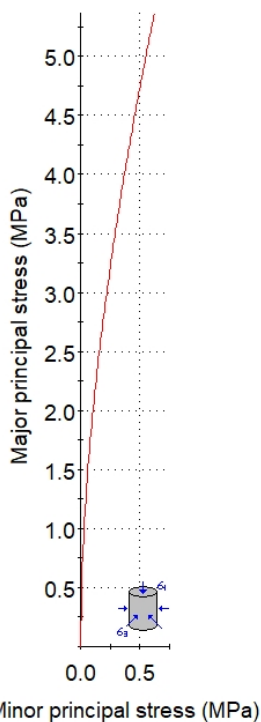
tensile strength = -0.008 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.287 MPa  
global strength = 2.742 MPa  
modulus of deformation = 1667.30 MPa



<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 223 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



Analysis of Rock Strength using RocLab



Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 46 MPa  
GSI = 35  $m_i = 32$  Disturbance factor = 0.7

Hoek-Brown Criterion

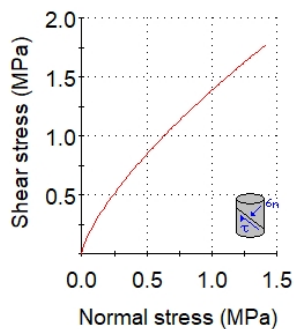
$m_b = 0.900$   $s = 0.0001$   $a = 0.516$

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.230 MPa friction angle = 49.00 deg

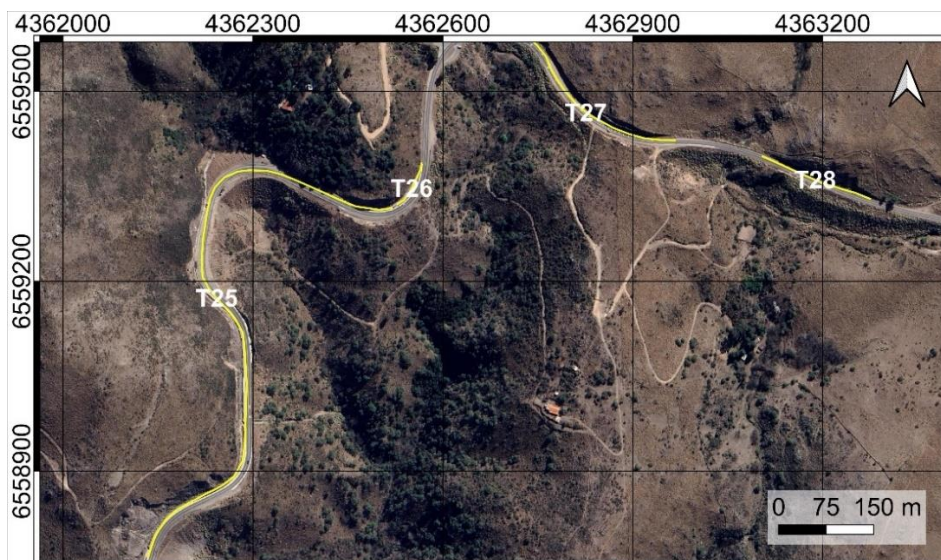
Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.004 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.356 MPa  
global strength = 5.414 MPa  
modulus of deformation = 1859.06 MPa



Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01   Página 224 de 247
<p>DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</p>			

<b>RP E-98</b>	<b>Relevamiento: Talud 26 lado izquierdo – Progresiva 7.440 (km)</b>
Altura: 8 (m)	Longitud: 76.8 (m)      Coordenadas: 31°05'50.5"S 64°26'26.6"O



TL1.3: Genis esquistoso, gneis, roca ígnea – TG1.3.2: Roca ígnea intrusiva de tipo granítica intercalada con gneis. Además, se observan dos fallas perpendiculares al talud.

**Parámetros Hoek y Brown – roca ígnea intrusiva**

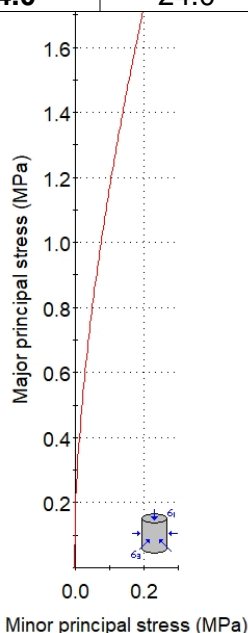
**Resultados**

$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	mi	D	$\phi$ (°)	$c'$ (MPa)
<b>74.0</b>	24.0	8	30	13	1.0	48.7	0.076

**Parámetros Hoek y Brown - gneis**

**Resultados**

$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	mi	D	$\phi$ (°)	$c'$ (MPa)
<b>84.0</b>	24.0	8	30	13	1.0	50.78	0.074



**Hoek-Brown Classification**

intact uniaxial compressive strength = 74 MPa  
GSI = 30    mi = 32    Disturbance factor = 1

**Hoek-Brown Criterion**

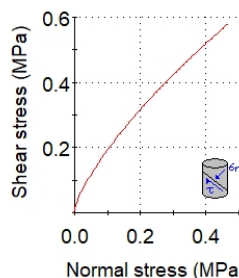
mb = 0.216    s = 8.57e-6    a = 0.522

**Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 0.076 MPa    friction angle = 48.72 deg

**Rock Mass Parameters**

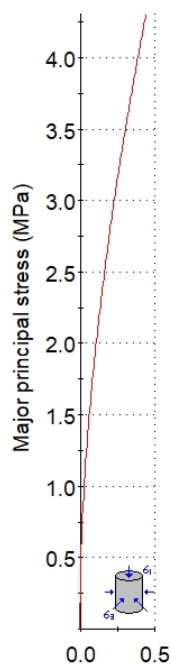
tensile strength = -0.003 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.167 MPa  
global strength = 4.007 MPa  
modulus of deformation = 1360.15 MPa



<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01 <b>Página 225 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



### Analysis of Rock Strength using RocLab



Minor principal stress (MPa)

#### Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 84 MPa  
GSI = 40  $m_i = 33$  Disturbance factor = 1

#### Hoek-Brown Criterion

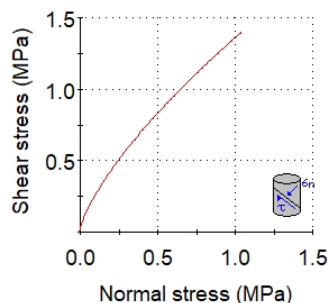
$m_b = 0.454$   $s = 4.54e-5$   $a = 0.511$

#### Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.187 MPa friction angle = 50.97 deg

#### Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.008 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.505 MPa  
global strength = 7.120 MPa  
modulus of deformation = 2576.97 MPa



<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021	
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023	
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01	<b>Página 226 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>		

<b>RP E-98</b>	<b>Relevamiento: Talud 27 lado izquierdo – Progresiva 8.031 (km)</b>
Altura: 15 (m)	Longitud: 301.1 (m)      Coordenadas: 31°05'46.6"S 64°26'10.1"O



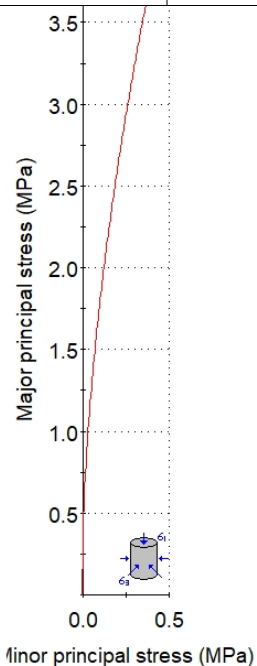
TL1.3: Genis esquistoso, gneis, roca ígnea – TG1.3.2: Roca ígnea intrusiva de tipo granítica intercalada con gneis

**Parámetros Hoek y Brown – roca ígnea intrusiva      Resultados**

$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	mi	D	$\phi$ (°)	c' (MPa)
<b>74.0</b>	24.0	15	40	13	0.7	50.9	0.161

**Parámetros Hoek y Brown - gneis      Resultados**

$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	mi	D	$\phi$ (°)	c' (MPa)
<b>84.0</b>	24.0	15	40	13	0.7	59.8	0.220

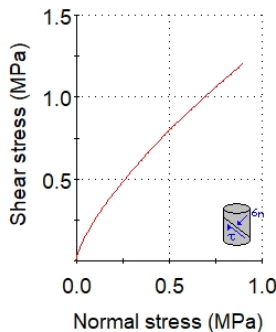


**Hoek-Brown Classification**  
intact uniaxial compressive strength = 74 MPa  
GSI = 40    mi = 32    Disturbance factor = 1

**Hoek-Brown Criterion**  
mb = 0.440    s = 4.54e-5    a = 0.511

**Mohr-Coulomb Fit**  
cohesion = 0.161 MPa    friction angle = 50.89 deg

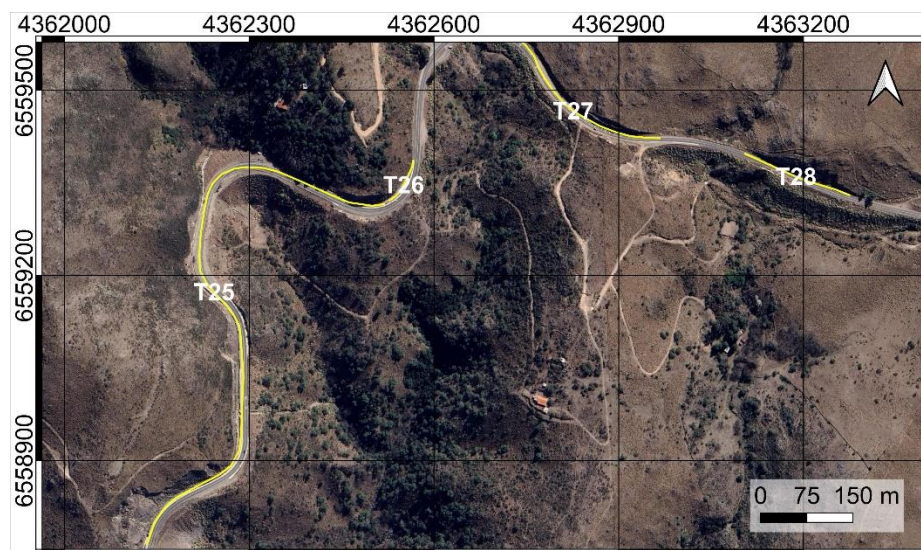
**Rock Mass Parameters**  
tensile strength = -0.008 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.445 MPa  
global strength = 6.175 MPa  
modulus of deformation = 2418.72 MPa



<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01 <b>Página 227 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



<b>RP E-98</b>	<b>Relevamiento: Talud 28 lado izquierdo – Progresiva 8.385 (km)</b>
Altura: 15 (m)	Longitud: 184.1 (m)      Coordenadas: 31°05'48.6"S 64°26'03.7"O



TL1.3: Genis esquistoso, gneis, roca ígnea – TG1.3.2: Roca ígnea intrusiva de tipo granítica intercalada con gneis

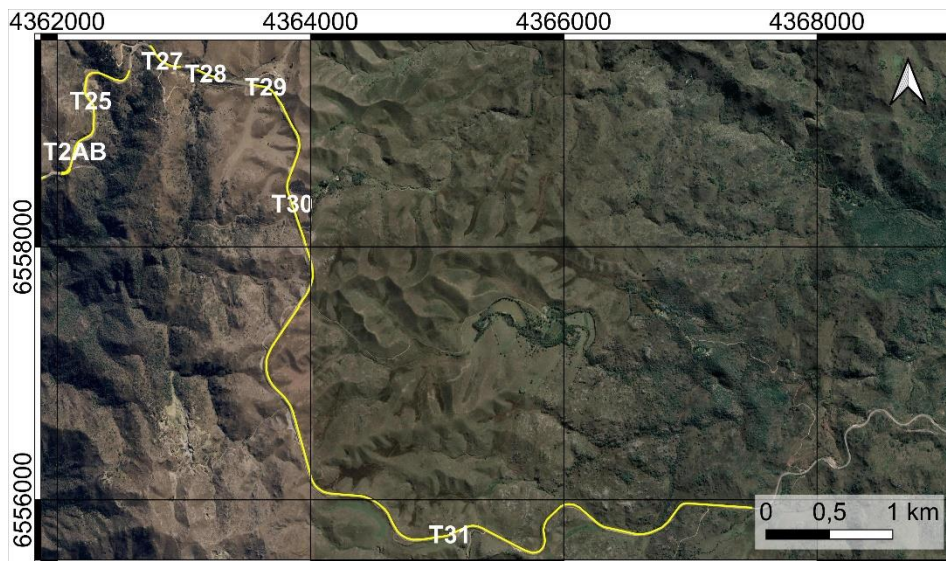
Parámetros Hoek y Brown – roca ígnea intrusiva						Resultados	
$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	mi	D	$\phi$ (°)	c' (MPa)
74.0	24.0	15	40	13	0.7	50.9	0.161

Parámetros Hoek y Brown - gneis						Resultados	
$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	mi	D	$\phi$ (°)	c' (MPa)
84.0	24.0	15	40	13	0.7	59.8	0.220

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01 <b>Página 228 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

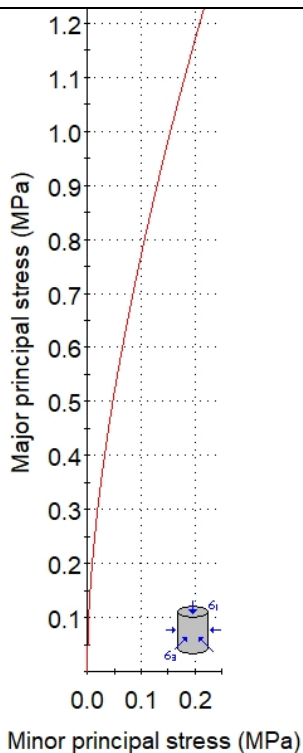


<b>RP E-98</b>	<b>Relevamiento: Talud 29/30 izquierdo – Progresivas 8.858/9.385 (km)</b>
Altura: 14 (m)	Longitud: 286.2 (m)      Coordenadas: 31°05'56.7"S 64°25'41.0"O



TL1.4: Roca sedimentaria – TG1.4.1: Conglomerados y areniscas

Parámetros Hoek y Brown					Resultados		
$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	mi	D	$\phi$ (°)	c' (MPa)
<b>19.5</b>	20.0	14	25	21	0.7	40.5	0.059



**Hoek-Brown Classification**

intact uniaxial compressive strength = 19.5 MPa  
GSI = 25    mi = 21    Disturbance factor = 0.7

**Hoek-Brown Criterion**

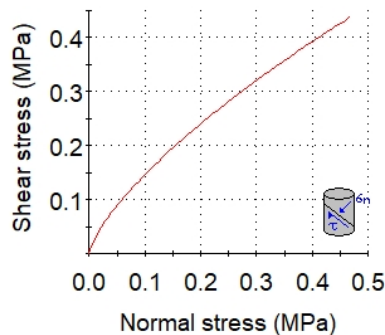
mb = 0.341    s = 1.9e-5    a = 0.531

**Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 0.059 MPa    friction angle = 40.49 deg

**Rock Mass Parameters**

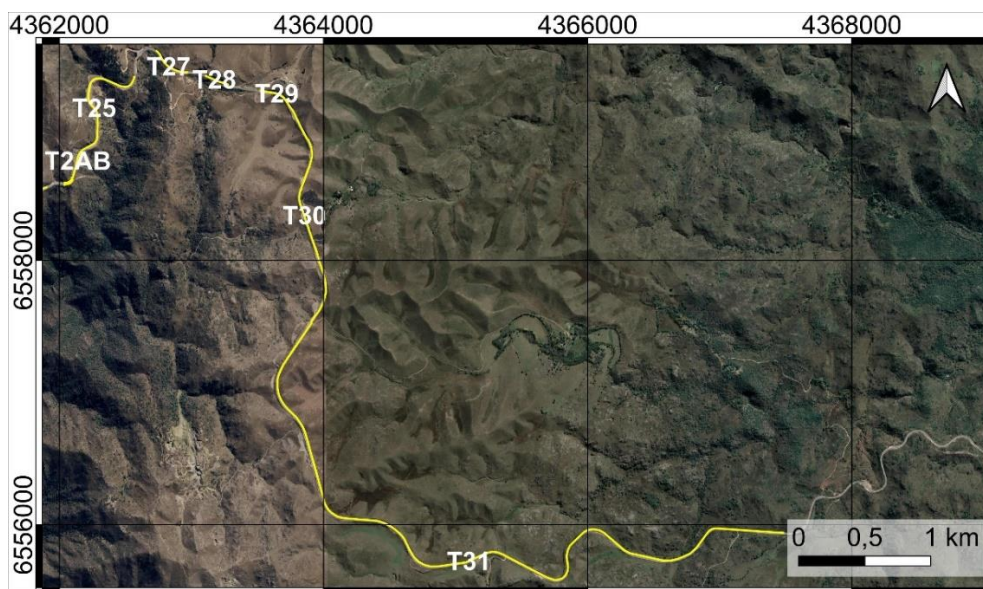
tensile strength = -0.001 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.061 MPa  
global strength = 1.276 MPa  
modulus of deformation = 680.66 MPa



<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01 <b>Página</b> 229 de 247
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



<b>RP E-98 Relevamiento: Talud 31 B lado derecho – Progresiva 10.716-16.38 (km)</b>		
Altura: 10 (m)	Longitud: 1713.2 (m)	Coordenadas: 31°06'53.8"S 64°25'39.1"O

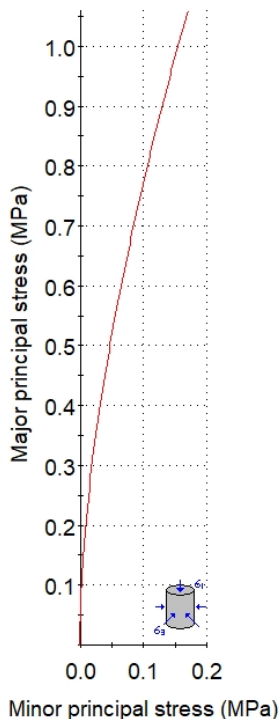


TL1.4: Roca sedimentaria – TG1.4.1: Conglomerados y areniscas

Parámetros Hoek y Brown					Resultados		
$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	mi	D	$\phi$ (°)	c' (MPa)
35.0	20.0	10	25	21	0.7	42.9	0.048

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página</b> 230 de 247
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

Analysis of Rock Strength using RocLab



**Hoek-Brown Classification**

intact uniaxial compressive strength = 19.5 MPa  
GSI = 25    mi = 21    Disturbance factor = 0.7

**Hoek-Brown Criterion**

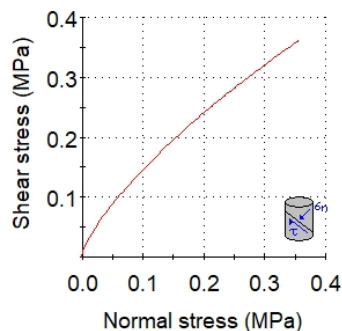
mb = 0.341    s = 1.9e-5    a = 0.531

**Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 0.048 MPa    friction angle = 42.93 deg

**Rock Mass Parameters**

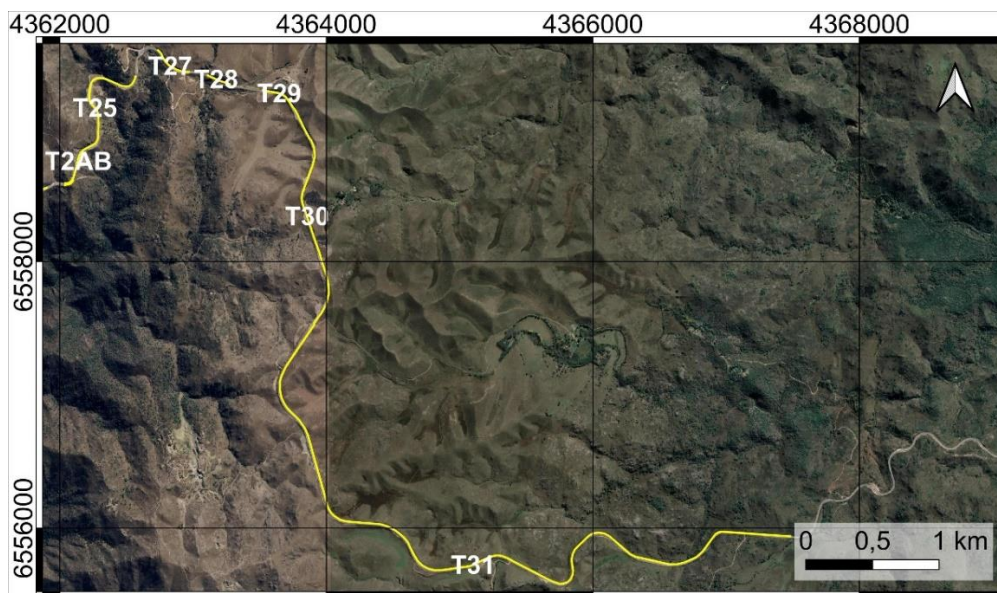
tensile strength = -0.001 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.061 MPa  
global strength = 1.276 MPa  
modulus of deformation = 680.66 MPa



<b>Elaboró:</b> Barotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01 <b>Página 231 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



<b>RP E-98</b>	<b>Relevamiento: Talud 31 B lado derecho – Progresiva 10.716-16.38 (km)</b>
Altura: 10 m	Longitud: 1713.2 (m)      Coordenadas: 31°07'42.9"S 64°23'25.7"O

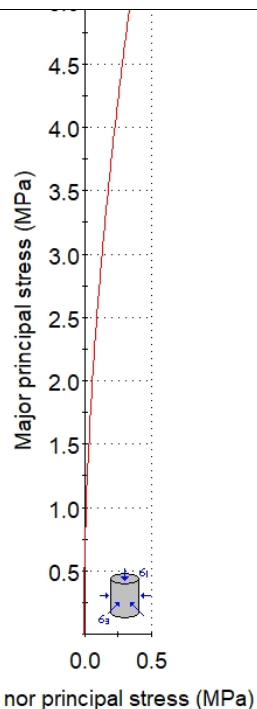


TL1.5: Basamento cristalino, roca ígnea, roca metamórfica – TG1.5.1: Basamento cristalino con capas de materiales de colores claros (roca ígnea) y oscuros (rocas metamórficas)

**Parámetros Hoek y Brown**

**Resultados**

$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	mi	D	$\phi$ (°)	c' (MPa)
17.5	24.0	15	35	28	0.7	57.4	0.185

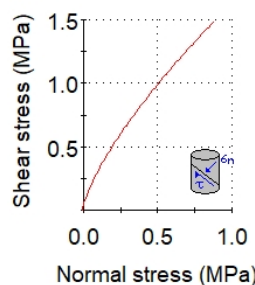


**Hoek-Brown Classification**  
intact uniaxial compressive strength = 80 MPa  
GSI = 35    mi = 33    Disturbance factor = 0.7

**Hoek-Brown Criterion**  
mb = 0.928    s = 0.0001    a = 0.516

**Mohr-Coulomb Fit**  
cohesion = 0.185 MPa    friction angle = 57.47 deg

**Rock Mass Parameters**  
tensile strength = -0.007 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.620 MPa  
global strength = 9.567 MPa  
modulus of deformation = 2451.65 MPa



<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01 <b>Página</b> 232 de 247
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



<b>RP E-98</b>	<b>Relevamiento: Talud 33 lado derecho – Progresiva 21.306 (km)</b>
Altura: 8	Longitud: 172.6 (m)      Coordenadas: 31°07'35.5"S 64°21'20.0"O



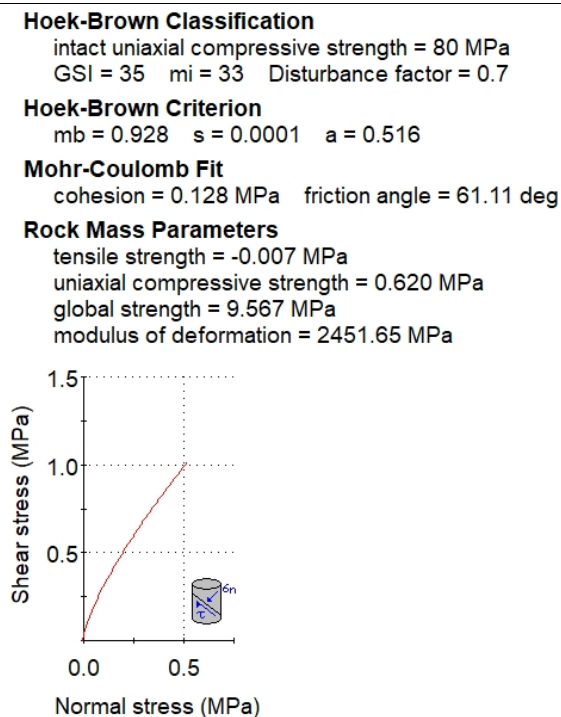
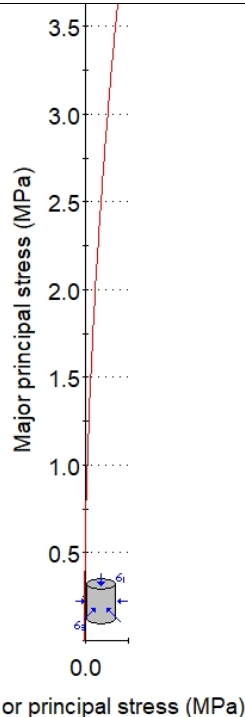
TL1.5: Basamento cristalino, roca ígnea, roca metamórfica – TG1.5.1: Basamento cristalino con capas de materiales de colores claros (roca ígnea) y oscuros (rocas metamórficas)

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01 <b>Página</b> 233 de 247
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

**Parámetros Hoek y Brown**

**Resultados**

$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	$m_i$	D	$\phi$ (°)	$c'$ (MPa)
17.5	24.0	8	35	28	0.7	61.1	0.128



**Hoek-Brown Classification**

intact uniaxial compressive strength = 80 MPa  
GSI = 35  $m_i$  = 33 Disturbance factor = 0.7

**Hoek-Brown Criterion**

$m_b$  = 0.928  $s$  = 0.0001  $a$  = 0.516

**Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 0.128 MPa friction angle = 61.11 deg

**Rock Mass Parameters**

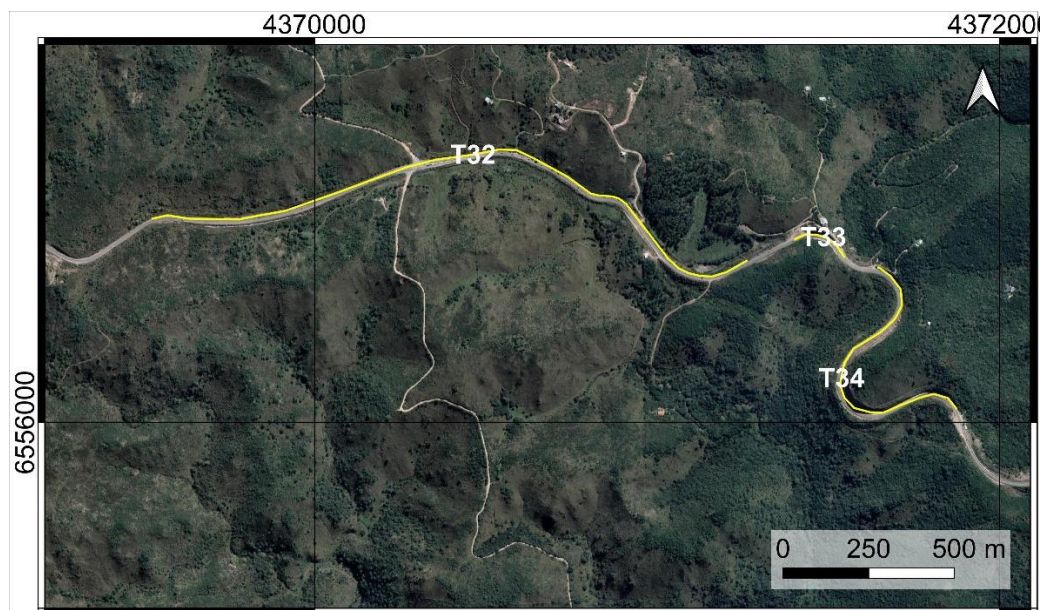
tensile strength = -0.007 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.620 MPa  
global strength = 9.567 MPa  
modulus of deformation = 2451.65 MPa



<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página</b> 234 de 247
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



<b>RP E-98</b>	<b>Relevamiento: Talud 34 lado izquierdo – Progresiva 22.000 (km)</b>
Altura: 24 m	Longitud: 855.7 (m)      Coordenadas: 31°07'34.0"S 64°20'43.8"O

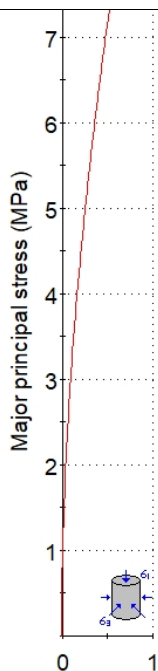


TL1.5: Basamento cristalino, roca ígnea, roca metamórfica – TG1.5.1: Basamento cristalino con capas de materiales de colores claros (roca ígnea) y oscuros (rocas metamórficas)

**Parámetros Hoek y Brown**

**Resultados**

$\sigma'_{cm}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	H (m)	GSI	mi	D	$\phi$ (°)	c' (Mpa)
17.5	24.0	24	50	28	0.7	56.7	0.285



Minor principal stress (MPa)

**Hoek-Brown Classification**

intact uniaxial compressive strength = 80 MPa  
GSI = 40    mi = 33    Disturbance factor = 0.7

**Hoek-Brown Criterion**

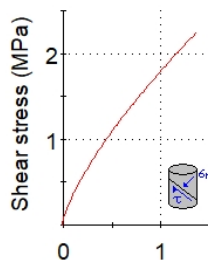
mb = 1.221    s = 0.0002    a = 0.511

**Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 0.285 MPa    friction angle = 56.70 deg

**Rock Mass Parameters**

tensile strength = -0.011 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.937 MPa  
global strength = 11.251 MPa  
modulus of deformation = 3269.33 MPa



Normal stress (MPa)

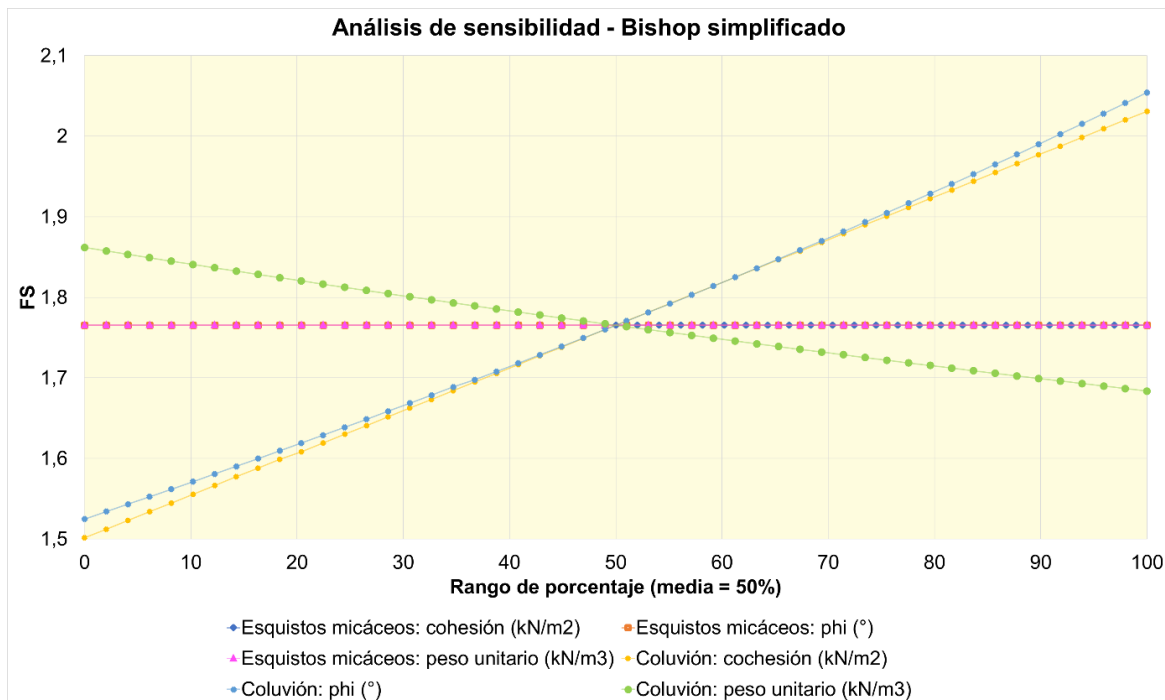
<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01 <b>Página 235 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



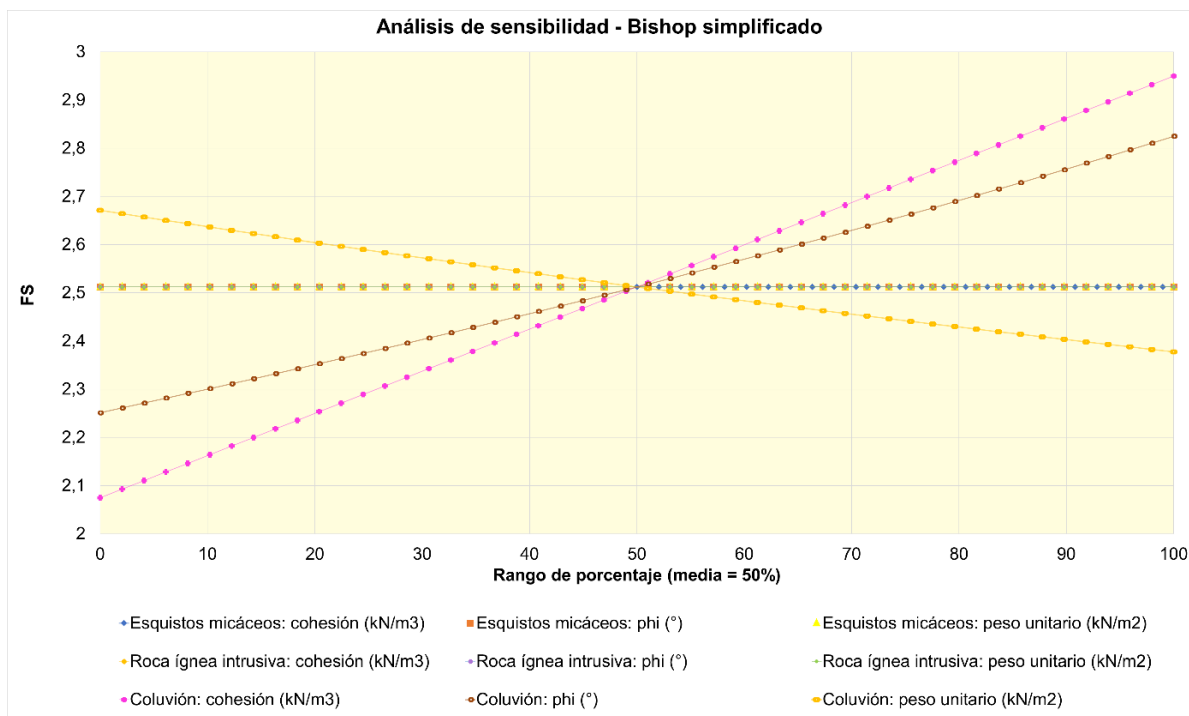
<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021	
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023	
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01	<b>Página 236 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>		



## Anexo N°2

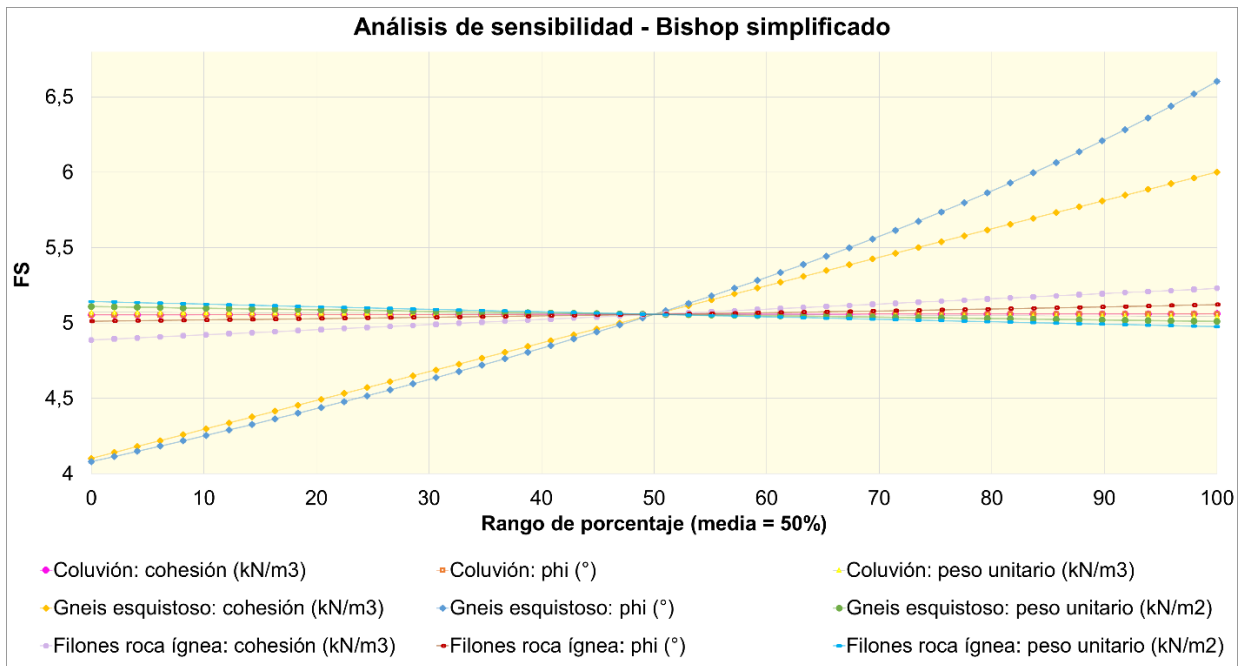


*Análisis de sensibilidad TG 1.2.1 Bishop simplificado.*

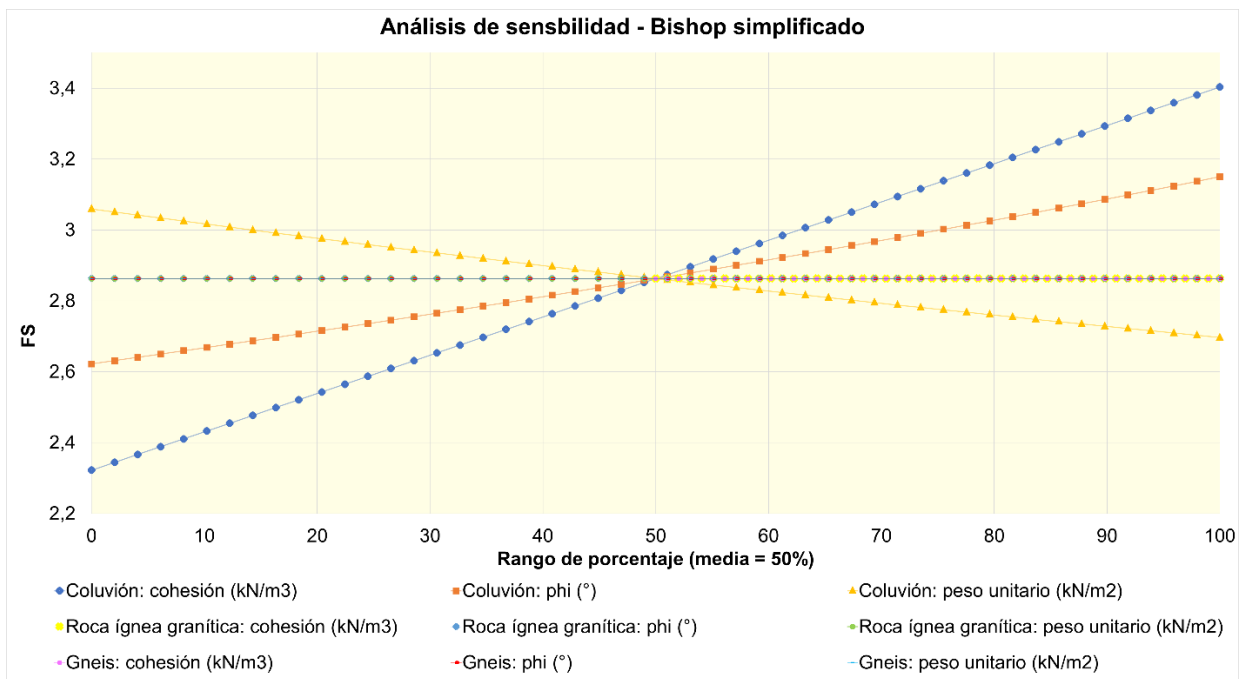


*Análisis de sensibilidad TG 1.2.2 Bishop simplificado.*

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 237 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	

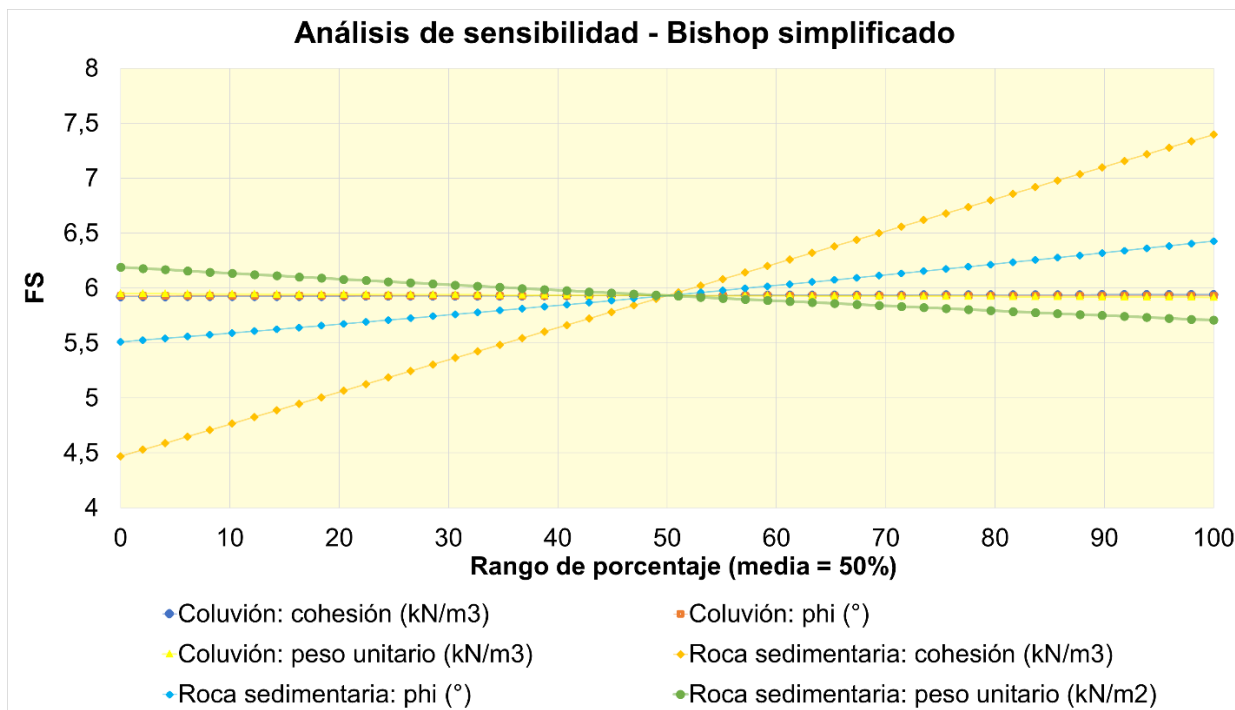


*Análisis de sensibilidad TG 1.3.1 Bishop simplificado.*

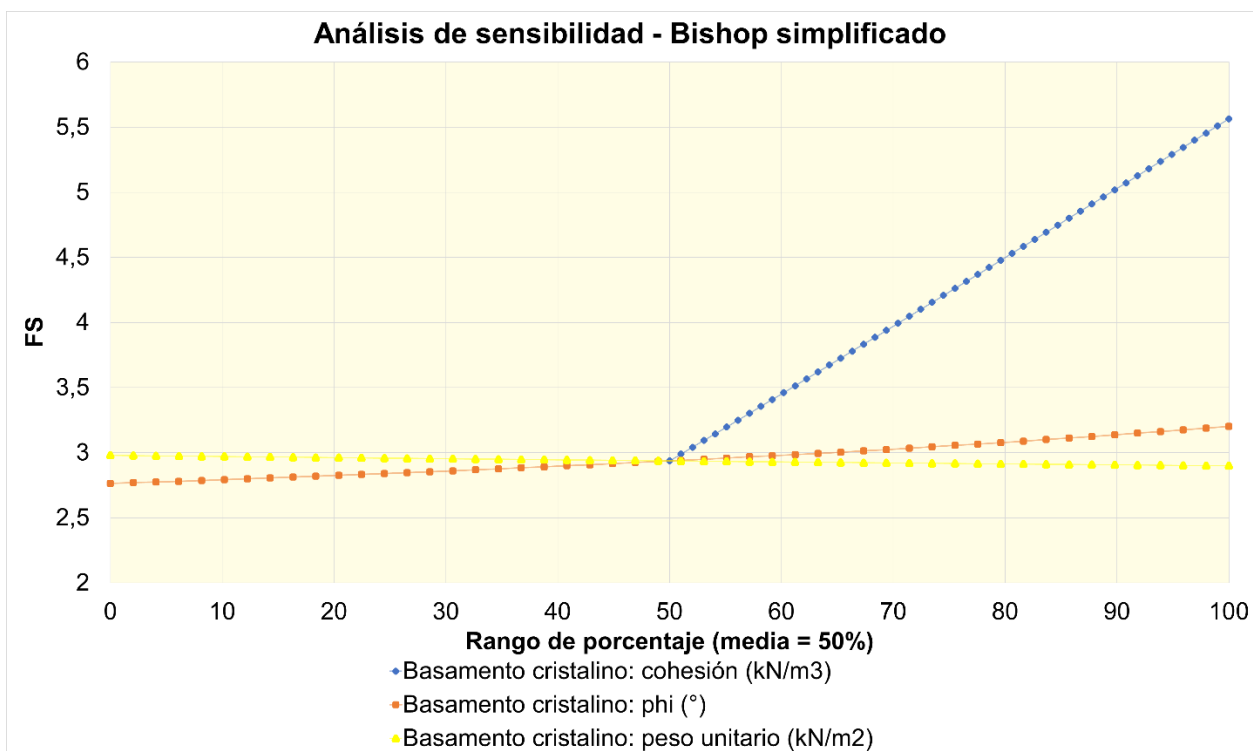


*Análisis de sensibilidad TG 1.3.2 Bishop simplificado.*

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página</b> 238 de 247
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



Análisis de sensibilidad TG 1.4.1 Bishop simplificado.



Análisis de sensibilidad TG 1.5.1 Bishop simplificado.

Elaboró:	Barrotto, María	Código:	TF-B-2021
Revisó:	Dr. Ing. Quintana	Emisión:	23 de marzo de 2023
Autorizó:	Ing. Ganancias – Ing. Fontana	Revisión:	01
		Página 239 de 247	
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>			





## Referencias

### Figuras

Figura 1. Área de estudio.....	9
Figura 2. Esquema de valoración según Foster & Hirata: valores parámetro O . (1991).....	23
Figura 3. Proceso para obtener el modelo. Fuente: autor. ....	25
Figura 4. Esquema de obtención de la Ail. Fuente: autor.....	26
Figura 5. Estimación de GCI según descripción geológica.....	30
Figura 6. Diagrama de cuerpo libre.....	35
Figura 7. Alternativa 1 y detalle (rojo) y alternativa 2 (cian). ....	38
Figura 8. Alternativas 3 (verde) y alternativa 4 (naranja).....	39
Figura 9. Alternativa seleccionada. ....	40
Figura 10. Mapa final de Calidad para la Conservación. ....	42
Figura 11. Mapa final de Calidad para la Conservación. ....	43
Figura 12. Resultado de la zonificación de la zona de estudio. ....	44
Figura 13. Resultado del mapa de susceptibilidad MV.....	46
Figura 14. Mapa de Susceptibilidad (Método de Brabb).....	47
Figura 15. Mapa de amenaza de deslizamientos año 2020. Fuente: Clavijo Rivera y Malavé Hernandez. (2020).....	49
Figura 16. Mapa de amenaza para el año 2040. Fuente: Clavijo Rivera y Malavé Hernandez. (2020). ....	49
Figura 17. Mapa de susceptibilidad de la zona de estudio. Fuente: trabajo citado, 2020. ....	51
Figura 18. Mapa de susceptibilidad (activación de la falla) Fuente: trabajo citado, 2020.....	51
Figura 19. Modelo digital del terreno de la Provincia de Córdoba. Carignano. ....	53
Figura 20. Distribución del terreno según rangos de pendiente. ....	54
Figura 21. Pendientes UG 1 Fuente: autor.....	55
Figura 22. Pendientes UG 2. Fuente: autor.....	56
Figura 23. Pendientes UG 3. Fuente: autor.....	57
Figura 24. Pendientes UG 4. Fuente: autor.....	58
Figura 25. Pendientes UG 5. Fuente: autor.....	59
Figura 26. Pendientes UG 6. Fuente: autor.....	60
Figura 27. Análisis geomorfológico. Cortes transversales. Fuente: autor. ....	62

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 240 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



Figura 28. Perfil transversal tipo orientación E-O.....	63
Figura 29. Perfil transversal tipo orientación E-O.....	63
Figura 30. Perfil transversal tipo orientación N-S.....	63
Figura 31. Unidades geomorfológicas presentes en el área de estudio. Fuente: autor.....	64
Figura 32. Mapa geológico de las sierras de Córdoba. Carignano et al. (2012).....	65
Figura 33. Área de estudio y Series Litológicas. Quintana, Soffiatti. (2020:28).....	66
Figura 34. Mapa de geología de la zona de estudio. Fuente: autor.....	69
Figura 35. Superficie que ocupan dentro del área de estudio. ....	71
Figura 36. Coberturas del suelo en función de las pendientes del terreno. ....	78
Figura 37. Mapa de coberturas para la determinación de VCv.....	81
Figura 38. Esquema de relaciones hidrogeológicas entre medio fracturado y medio poroso clástico, en valles serranos. Fuente: Aguas subterráneas de la Provincia de Córdoba.....	83
Figura 39. Mapa de cursos de agua.....	89
Figura 40. Red Vial.....	91
Figura 41. Distribución de la Calidad para la Conservación en la zona de estudio.....	97
Figura 42. Esquema de la Metodología MV.....	99
Figura 43. Factor Sp.....	100
Figura 44. Fallas geológicas en la zona de estudio.....	104
Figura 45. Series Litológicas.....	106
Figura 46. Complejos litológicos. Fuente: autor.....	107
Figura 47. Tipos litológicos.....	110
Figura 48. Gráfico de Miller (1965).....	113
Figura 49. Esclerómetro.....	116
Figura 50. Muro de hormigón sobre el que se calibra el instrumento.....	116
Figura 51. Ejecución del ensayo.....	116
Figura 52. Detalle de los planos de esquistosidad de los gneises.....	117
Figura 53. Detalle de los gneises con distancia entre la esquistosidad aproximada de 50 (cm). .....	117
Figura 54. Factor SI.....	125
Figura 55. Factor Sh.....	128
Figura 56. Mapa de zonificación sísmica de la república argentina. Fuente: <a href="https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/sismos.pdf">https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/sismos.pdf</a> .....	130

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 241 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



*Figura 57. Epicentros e intensidad máxima escala Mercalli Modificada. Fuente:*  
*<https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/sismos.pdf> ..... 131*

*Figura 58. Factor Ds. .... 132*

*Figura 59. Factor Dp. .... 133*

*Figura 60. Mapa de amenaza a la inestabilidad de laderas. .... 134*

*Figura 61. Vista del talud T1. Fuente: Autor. .... 136*

*Figura 62. Fotografías "in situ" del año 2022. .... 136*

*Figura 63. Talud modelo TG 1.1.1. .... 137*

*Figura 64. Talud modelo TG 1.2.1. .... 144*

*Figura 65. Talud modelo TG 1.2.2. .... 145*

*Figura 66. Talud modelo TG 1.3.1. .... 145*

*Figura 67. Talud modelo TG 1.3.2. .... 146*

*Figura 68. Talud modelo TG 1.4.1. .... 146*

*Figura 69. Talud modelo TG 1.5.1. .... 147*

*Figura 70. Análisis probabilístico por Bishop. .... 149*

*Figura 71. Análisis probabilístico por Janbu. .... 149*

*Figura 72. Histograma FS (Bishop). .... 150*

*Figura 73. Histograma FS (Janbu). .... 150*

*Figura 74. Gráfico de sensibilidad TG 1.1.1 (Bishop). .... 152*

*Figura 75. Fallas en la progresiva 4800. Fuente: autor. .... 154*

*Figura 76. Imagen GE correspondiente al 10/2005. .... 156*

*Figura 77. Imagen GE correspondiente al 10/2011. .... 156*

*Figura 78. Imagen GE correspondiente al 05/2015. .... 157*

*Figura 79. Imagen GE correspondiente al 08/2017. .... 157*

*Figura 80. Imagen GE correspondiente al 08/2022. .... 158*

*Figura 81. Restos del muro de hormigón. .... 158*

*Figura 82. Vista inferior del viaducto. .... 158*

*Figura 83. Remediación con vigas y pilotes. .... 159*

*Figura 84. Asentamiento de la calzada. .... 159*

*Figura 85. Deslizamiento del talud. .... 159*

*Figura 86. Distancia de cordón a cabecera. .... 159*

*Figura 87. Ubicación del perfil transversal de la ladera (línea intermitente roja). .... 160*

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 242 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



Figura 88. Geometría del perfil transversal previo al deslizamiento. ....	161
Figura 89. Análisis de sensibilidad por el método de Bishop.....	162
Figura 90. Deslizamiento. I.....	163
Figura 91. Perfil transversal de la ladera. Fuente: autor.....	164
Figura 92. Análisis de sensibilidad por el método de Bishop.....	165
Figura 93. Deslizamiento de detritos.....	166
Figura 94. Cuencas definidas para el análisis de vulnerabilidad hídrica.....	168
Figura 95. Índice topográfico de humedad.....	170
Figura 96. Factor de longitud de la pendiente.....	172
Figura 97. Imagen GE 2005. Previo a la construcción de la RP E-98.....	174
Figura 98. Imagen GE 2014.....	175
Figura 99. Imagen GE 2018.....	175
Figura 100. Imagen GE 2022. escalonada (línea llena magenta).....	176

## Tablas

Tabla 1. Rangos GOD.....	22
Tabla 2. Valores parámetro G.....	23
Tabla 3. Valores parámetro D.....	23
Tabla 4. Rangos GOD adaptados al área de estudio.....	24
Tabla 5. Guía para estimar el factor de perturbación D. Fuente: Hoek y Brown (2002).....	29
Tabla 6. Valores de $m_i$ para la roca intacta, por grupos de roca. Fuente: Vallejo (2002).....	31
Tabla 7. Relación cohesión, fricción interna y RMR. Fuente: Vallejo (2002).....	32
Tabla 8. Tabla de definición de las variables aleatorias.....	36
Tabla 9. Resultados de aplicar la metodología de MV.....	46
Tabla 10. Resultados de aplicar la metodología de Brabb.....	47
Tabla 11. Resultados año 2020.....	48
Tabla 12. Resultados año 2040.....	48
Tabla 13. Distribución del terreno según rangos de pendiente.....	54
Tabla 14. Pendientes UG 1.....	55
Tabla 15. Pendientes UG 2.....	56
Tabla 16. Pendientes UG 3.....	57
Tabla 17. Pendientes UG 4.....	58

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 243 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



Tabla 18. Pendientes UG 5.....	59
Tabla 19. Pendientes UG 6.....	60
Tabla 20. Valor de Calidad para la conservación de la geología.....	70
Tabla 21. Relación IP y VCs.....	72
Tabla 22. VCs para la UG N°1.....	73
Tabla 23. VCs para la UG N°2.....	74
Tabla 24. VCs para las UG N°3,4 y 5.....	76
Tabla 25. VCs para la UG N°6.....	77
Tabla 26. Valores VCv para cada UG.....	80
Tabla 27. Resultados parámetros GOD.....	84
Tabla 28. Valores VCa para cada UG.....	85
Tabla 29. Rangos adaptados para la zona de estudio.....	86
Tabla 30. Valores C y F asignados a cada UG.....	87
Tabla 31. Rangos C y F adoptados.....	87
Tabla 32. Valores asignados a cada UG.....	87
Tabla 33. Valores C y F para vegetación y usos del suelo.....	88
Tabla 34. Valores asignados a cada UG.....	88
Tabla 35. Rangos C y F para la presencia de masas de agua.....	89
Tabla 36. Valores C y F para la presencia de masas de agua.....	90
Tabla 37. Valoración C y F recomendados para la acción humana.....	90
Tabla 38. Valores C y F para accesibilidad.....	92
Tabla 39. Valores C y F para incidencia visual.....	92
Tabla 40 - Resumen valores C y F paisaje.....	93
Tabla 41. Agregación ponderada.....	93
Tabla 42 - Valores parciales ( $p_{ci} * v_i$ ) y ( $p_{fi} * v_i$ ).....	94
Tabla 43. Determinación de los valores parciales para la calidad global del paisaje. Donde, “ $v_i$ ” son los valores de los parámetros: CTyR, D, VyS, A, AH, Acc. y IV.....	94
Tabla 44. Adaptación VCp para introducir al cálculo de Vctot.....	95
Tabla 45. Valor final VCp.....	95
Tabla 46. Determinación de Vctot.....	96
Tabla 47. Rangos para definir el valor final de Calidad.....	96
Tabla 48. Clasificación de Calidad final para cada UG.....	97

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 244 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



Tabla 49. Rangos sugeridos para el factor $S_p$ a partir de los valores de pendiente. ....	100
Tabla 50. Valores recomendados del factor $S_l$ .....	101
Tabla 51. Correlación valor RMR y factor $S_l$ . ....	103
Tabla 52. Valoración $S_l$ para suelos Miles and Keafer (2002).....	103
Tabla 53. Series Litológicas en el área de estudio. ....	105
Tabla 54. Complejos litológicos. ....	107
Tabla 55. Planilla de datos TG1.1.1.....	109
Tabla 56. Tipos Geotécnicos. ....	110
Tabla 57. Esclerometría y resistencia a la compresión simple. ....	114
Tabla 58. Parámetros Hoek y Brown. ....	120
Tabla 59. Resultados $c$ y $\phi$ por Hoek y Brown. ....	121
Tabla 60. Factor $m_i$ . Fuente RocLab.....	121
Tabla 61. Factor resistencia a la compresión uniaxial. Fuente: RocLab. ....	122
Tabla 62. Factor $D$ . Fuente: RocLab.....	122
Tabla 63. Estimación de GSI según descripción geológica. Fuente: RocLab.....	123
Tabla 64. Resultados de $c$ y $\phi$ por metodología RMR.....	124
Tabla 65. Relación RMR Bieniawski y factor $S_l$ .....	125
Tabla 66. Correlación $p_{mm}$ -IPM IPM.....	127
Tabla 67. Clasificación del factor $S_h$ . ....	127
Tabla 68. Precipitaciones medias mensuales en (mm) y valoración IPM. Fuente: <a href="https://es.weatherspark.com/">https://es.weatherspark.com/</a> . ....	127
Tabla 70. Correlación IMM y factor $D_s$ .....	129
Tabla 71. Rangos y valores $D_p$ sugeridos por la metodología. ....	133
Tabla 72. Precipitación máxima diaria TR 100 años y valor del factor $D_p$ .....	133
Tabla 73. Categorías para la susceptibilidad. ....	134
Tabla 74. Resultados del mapa de Ail.....	135
Tabla 75. Parámetros geotécnicos del talud T1. ....	137
Tabla 76. Resultados FS para el TG 1.1.1.....	143
Tabla 77. Propiedades modelos TL 1.2.1 a 1.5.1.....	144
Tabla 78. Factores de seguridad TL 1.2, 1.3, 1.4 y 1.5.....	148
Tabla 79. Resultados análisis probabilístico.....	151
Tabla 80. Parámetros geotécnicos TG 1.3.1.....	160

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 245 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



Tabla 81. Resultados análisis probabilístico. ....	161
Tabla 82. Resultados análisis probabilístico. ....	164
Tabla 83. ITH cuencas 1 a 4. ....	171
Tabla 84. ITH cuencas 5 a 8. ....	171
Tabla 85. LP cuencas 1 a 4. ....	171
Tabla 86. LP cuencas 5 a 8. ....	172

## Ecuaciones

Ecuación (1) .....	21
Ecuación (2) .....	22
Ecuación (3) .....	26
Ecuación (4) .....	26
Ecuación (5) .....	26
Ecuación (6) .....	26
Ecuación (7) .....	27
Ecuación (8) .....	27
Ecuación (9) .....	28
Ecuación (10) .....	28
Ecuación (11) .....	28
Ecuación (12) .....	28
Ecuación (13) .....	28
Ecuación (14) .....	28
Ecuación (15) .....	34
Ecuación (16) .....	34
Ecuación (17) .....	34
Ecuación (18) .....	34
Ecuación (19) .....	34
Ecuación (20) .....	34
Ecuación (21) .....	34
Ecuación (22) .....	35
Ecuación (23) .....	102
Ecuación (24) .....	126

<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 246 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b> <b>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</b> <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	



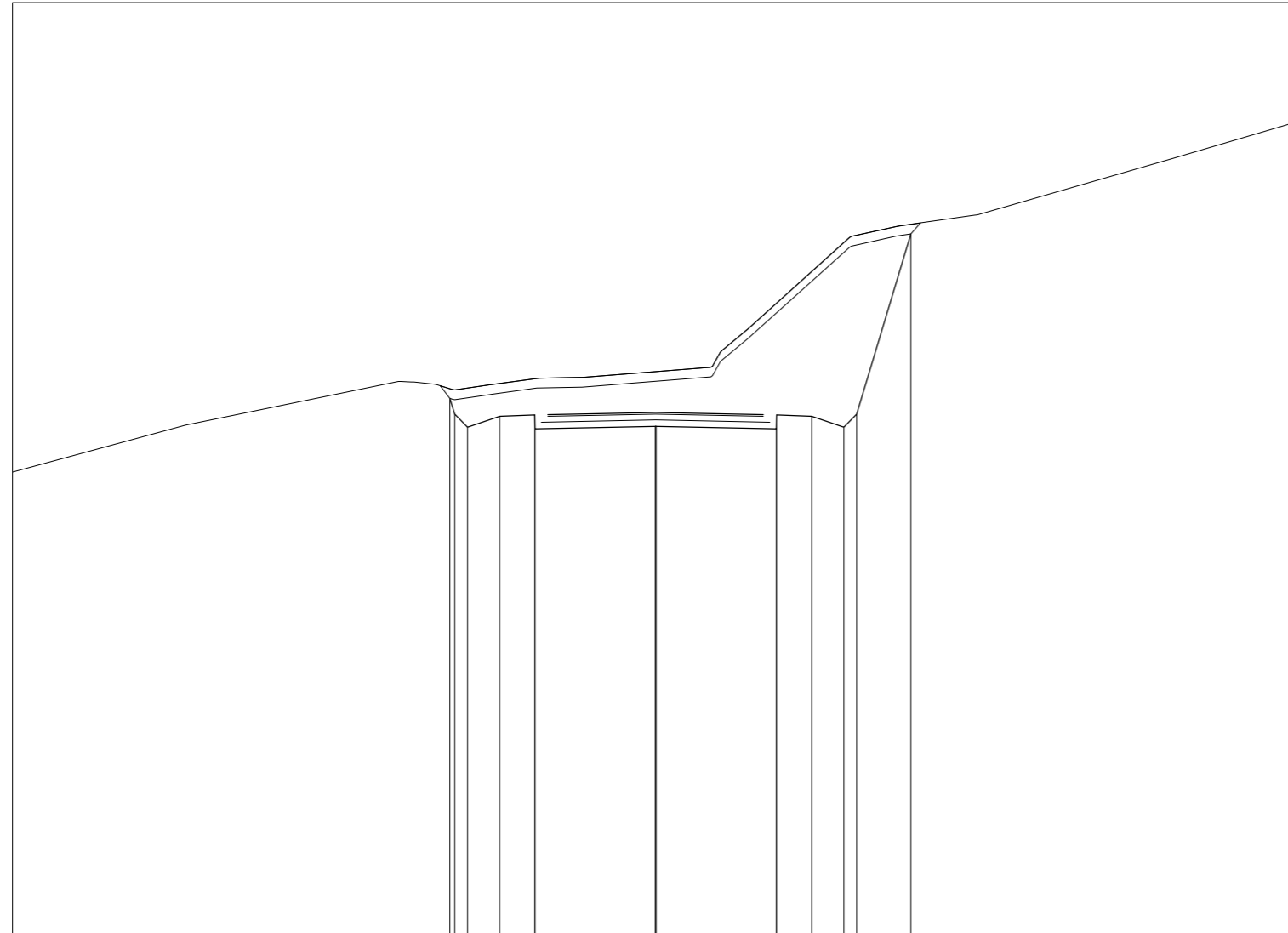
Ecuación (25) .....	169
Ecuación (26) .....	169

## Anexo

Anexo 1 .....	248
Anexo 2 .....	249
Anexo 3 .....	250
Anexo 4 .....	251
Anexo 5 .....	252
Anexo 6 .....	253

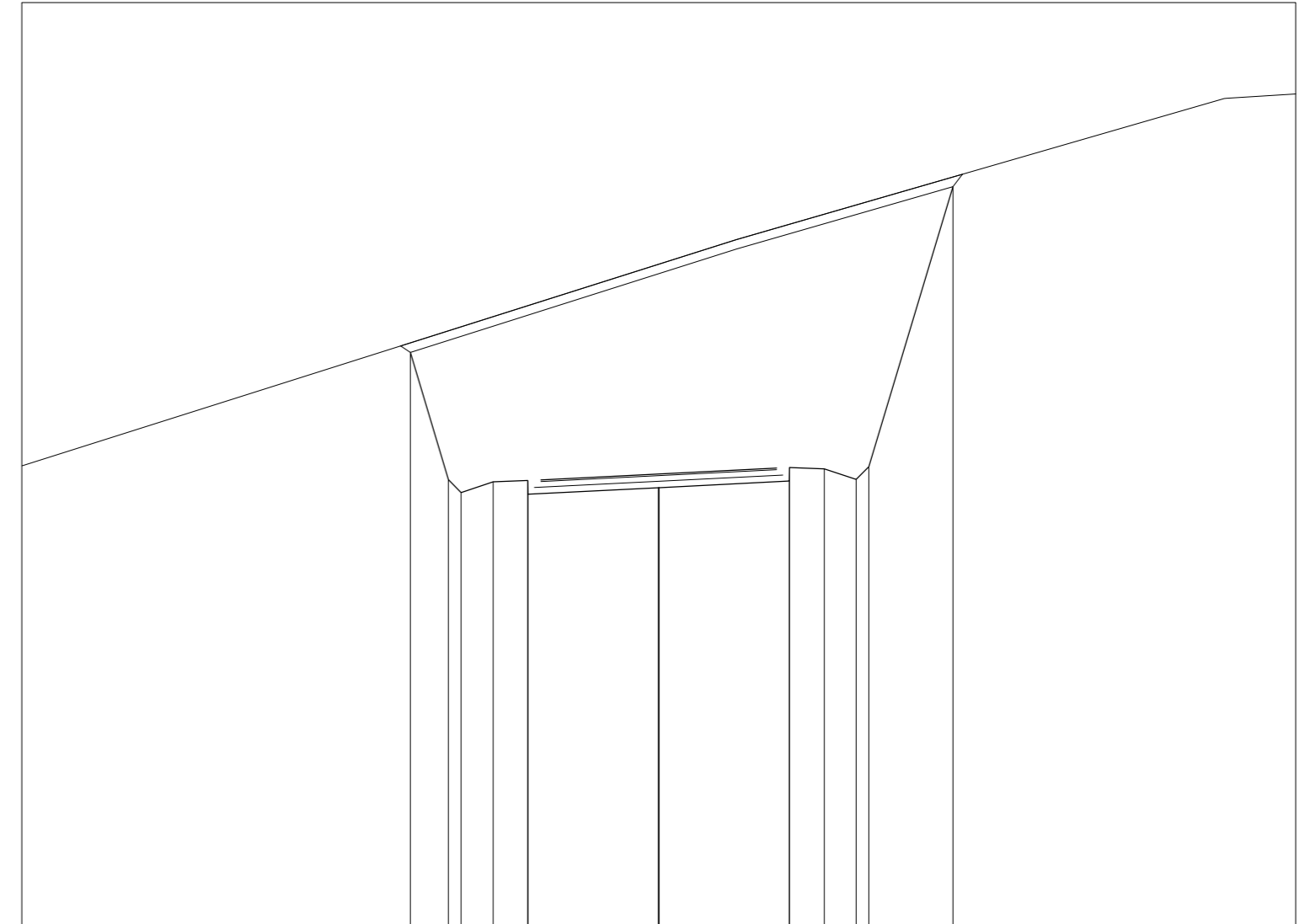
<b>Elaboró:</b> Barrotto, María	<b>Código:</b> TF-B-2021
<b>Revisó:</b> Dr. Ing. Quintana	<b>Emisión:</b> 23 de marzo de 2023
<b>Autorizó:</b> Ing. Ganancias – Ing. Fontana	<b>Revisión:</b> 01   <b>Página 247 de 247</b>
<b>DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</b>	





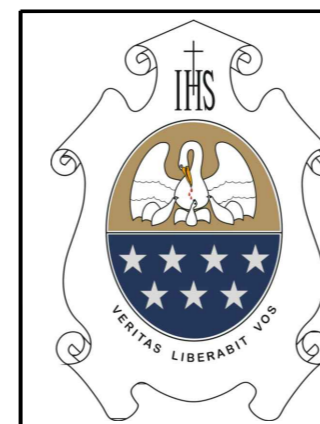
P.K.		3+450.000						
Distancia	Acumulada							
Cota	Terreno							
	Perfil							
	Rojas							
Superficie	Vegetal							
	Desmorte							
	Terraplen							

PERFIL TRANSVERSAL TG 1.1.1



P.K.		3+850.000						
Distancia	Acumulada							
Cota	Terreno							
	Perfil							
	Rojas							
Superficie	Vegetal							
	Desmorte							
	Terraplen							

PERFIL TRANSVERSAL TG 1.2.1

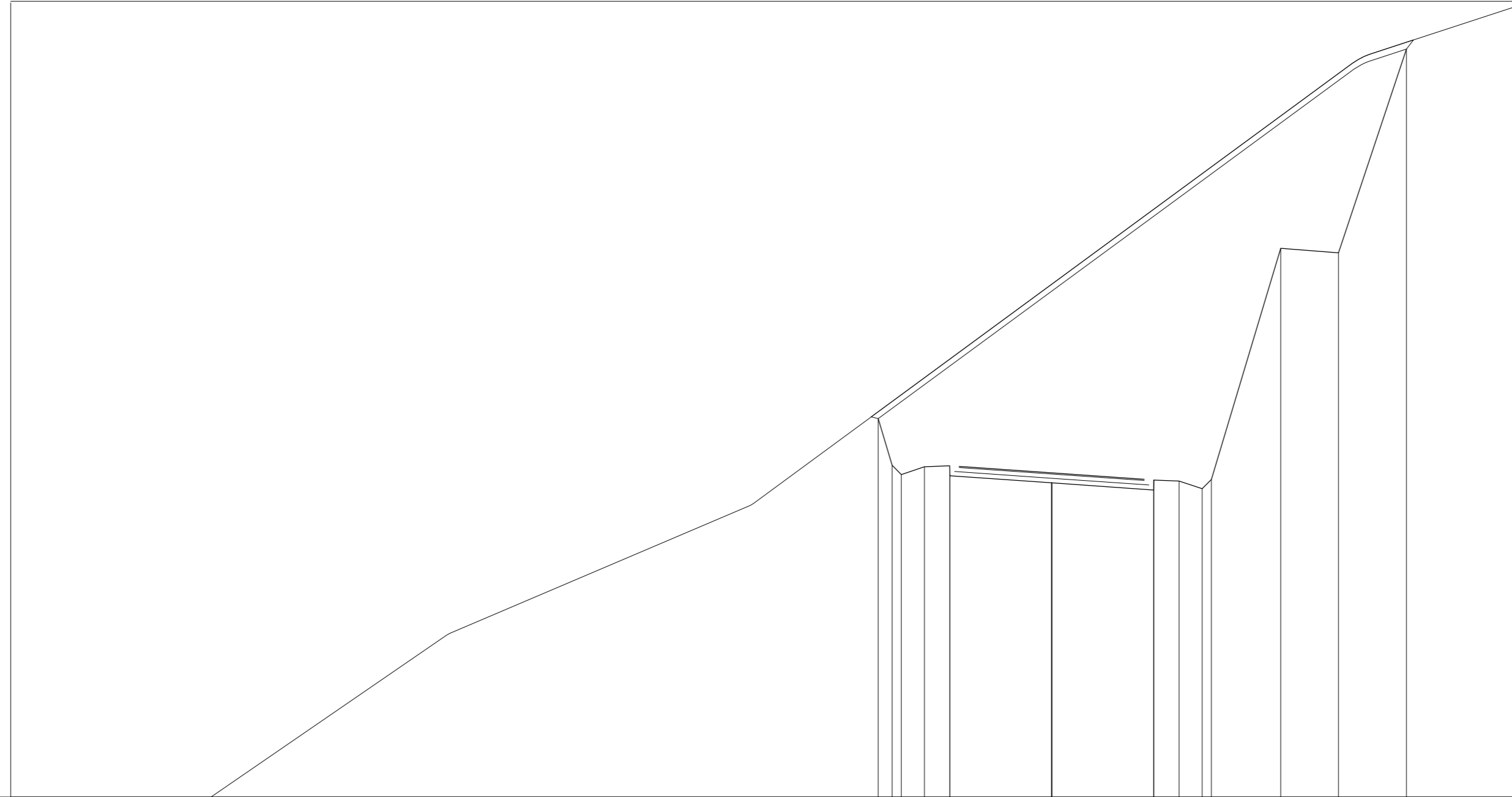


**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA**  
 FACULTAD DE INGENIERÍA - TRABAJO FINAL ING. CIVIL

**TITULO: PERFIL TRANSVERSAL**  
 TG 1.1.1 - TG 1.2.1

ESCALA: 1:200

AUTOR: BAROTTO MARÍA



P.K.					5+350.000							
Distancia	Acumulada											
Cota	Terreno											
	Perfil											
Cotas	Rojas											
Superficie	Vegetal											
	Desmonte											
	Terraplen											

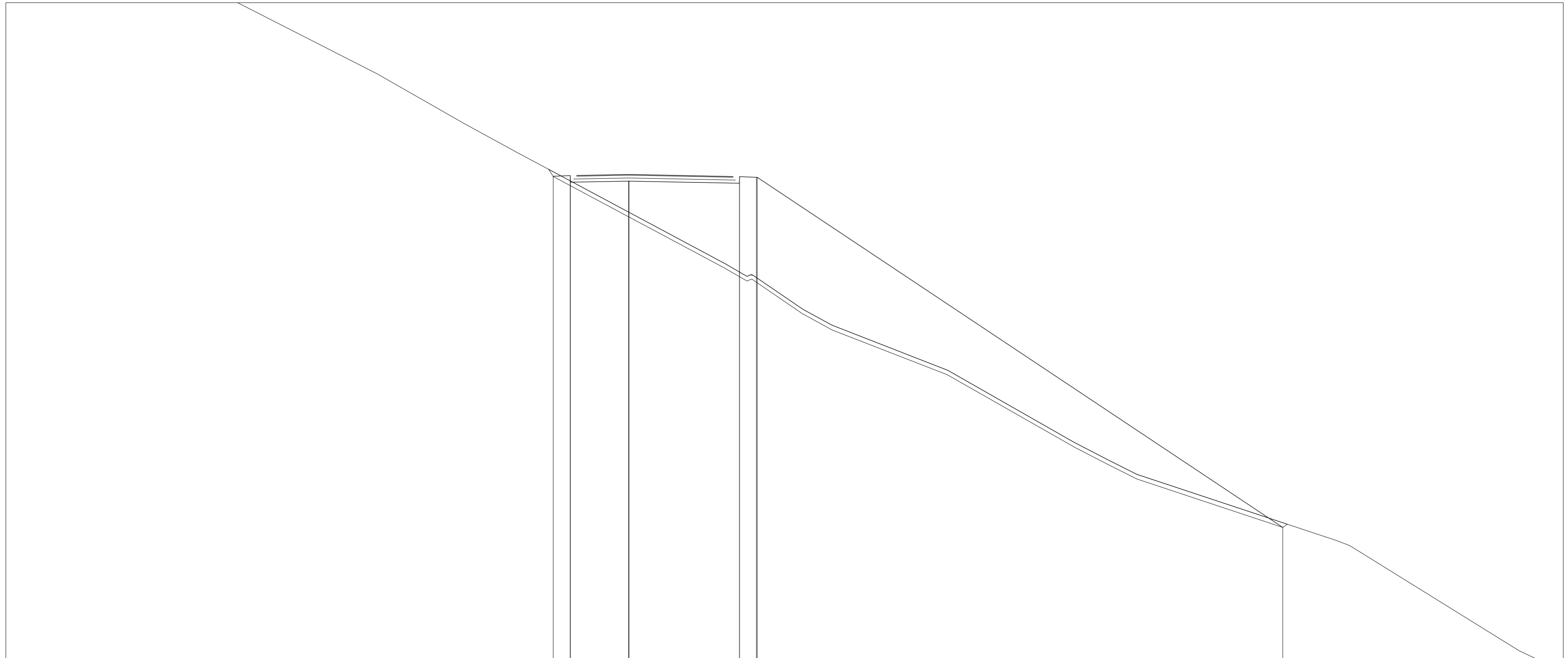


**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA**  
 FACULTAD DE INGENIERÍA - TRABAJO FINAL ING. CIVIL

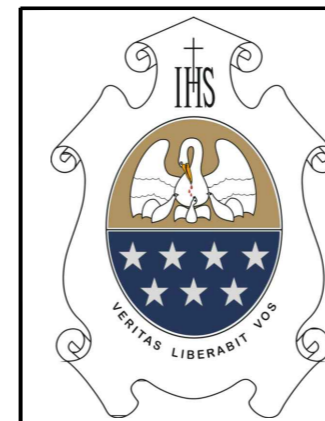
**TITULO: PERFIL TRANSVERSAL**  
 TG 1.2.2

ESCALA: 1:200

AUTOR: BAROTTO MARÍA



P.K.				7+450.000		
Distancia	Acumulada		-4.850	0.000	7.100	41.987
Cota	Terreno	1154.910	1154.327	1152.317	1148.478	1132.365
	Perfil	1154.626	1154.670	1154.315	1154.173	1132.065
Cotas	Rojas	0.284	-0.342	-1.998	-5.695	0.300
Superficie	Vegetal			14.141		
	Desmante			0.000		
	Terraplen			178.233		



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA**  
 FACULTAD DE INGENIERÍA - TRABAJO FINAL ING. CIVIL

**TITULO: PERFIL TRANSVERSAL**  
 TG 1.3.1

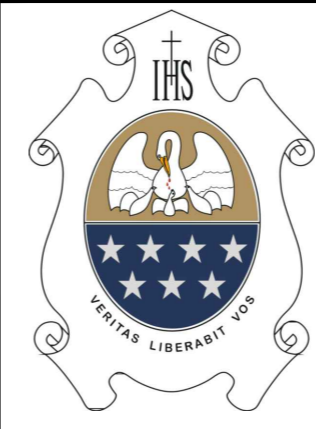
ESCALA: 1:200

AUTOR: BAROTTO MARÍA





P.K.					10+650.000						
Distancia	Acumulada			-5.702	-3.906	0.000	3.896	4.996	5.996		19.026
Cota	Terreno			1236.807	1236.066	1234.622	1233.183	1232.777	1232.406		1227.964
	Perfil			1236.507	1236.578	1236.082	1236.004	1236.391	1236.351		1227.664
Cotas	Rojas			0.300	-0.513	-1.460	-2.821	-3.614	-3.944		0.300
Superficie	Vegetal					7.508					
	Desmonte					0.000					
	Terraplen					50.523					



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA**  
 FACULTAD DE INGENIERÍA - TRABAJO FINAL ING. CIVIL

**TITULO: PERFIL TRANSVERSAL**  
 TG 1.4.1

ESCALA: 1:200

AUTOR: BAROTTO MARÍA

