



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CATAMARCA
Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas
Carrera Licenciatura en Geología

***LOS PROCESOS NATURALES Y EL
RIESGO GEOLOGICO EN LA
QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS
COORDENADAS $27^{\circ}37'29.13''S$ - 67°
 $1'26.55''O$***

ALUMNOS:

García, María Fernanda Leticia MUN° 392

Sánchez, Nelson Ramón MUN° 501

DIRECTORA:

Dra. Niz, Adriana E.

CO-DIRECTORA:

Lic. Lamas, Cinthia A.

FEBRERO 2018

INDICE

CAPÍTULO I: INTRODUCCION Y CARACTERISTICAS GENERALES	4
1.1. INTRODUCCION.....	5
1.2. FUNDAMENTO	7
1.3. OBJETIVOS	9
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	9
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
1.4. METODOLOGIA DE TRABAJO	10
1.4.1. PRIMERA ETAPA.....	10
1.4.2. SEGUNDA ETAPA	11
1.4.3. TERCERA ETAPA.....	12
1.5. ANTECEDENTES DE LA PROBLEMÁTICA EVALUADA.....	13
1.6. MARCO TEORICO	18
1.6.1. GLOSARIOS SOBRE CUENCAS	18
1.6.2. GLOSARIO GEOMORFOLÓGICO	23
1.6.3. GLOSARIO SOBRE RIESGO GEOLÓGICO.....	30
1.7. AREA DE ESTUDIO	33
1.7.1. UBICACIÓN Y VIAS DE ACCESO.....	33
CAPÍTULO II: DESCRIPCION DE AMBIENTE	36
2.1. GEOLOGIA REGIONAL Y LOCAL	37
2.1.1. GEOLOGIA REGIONAL	37
2.1.2. GEOLOGÍA LOCAL.....	38
2.2. ESTRUCTURA.....	47
2.3. CLIMA.....	49
2.4. HIDROLOGIA.....	52
CAPÍTULO III: GEOMORFOLOGIA.....	54
3.1. GEOMORFOLOGIA LOCAL	55
3.2. UNIDADES GEOMORFOLOGICAS.....	56
3.2.1. AREAS MONTANAS - SIERRA DE BELEN	56
3.2.2. ÁREAS PEDEMONTANAS - PIEDEMONTA DE LA QUEBRADA DE BELEN	56
3.2.3. CAUCES Y FORMAS ASOCIADAS.....	58
CAPÍTULO IV: ANALISIS GEOMORFOLOGICO Y DE RIESGO.....	61
4.1. ANALISIS GEOMORFOLOGICO Y DE RIESGO	62
4.2. PROCESOS NATURALES Y ANTRÓPICOS.....	62
4.2.1. LAS GEOFORMAS DE ORIGEN HIDRICO Y SU CLASIFICACION SEGÚN EL GRADO DE RIESGO.....	63

LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE
BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

4.2.2. LOS PROCESOS DE REMOCION EN MASA.....	91
4.3. ANALISIS GENERAL DE LOS EVENTOS GEOMORFOLOGICOS VINCULADOS A LOS PROCESOS DE REMOCION EN MASA.....	118
CAPITULO V: COMPORTAMIENTO GEOMECANICO.....	126
5.1. COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO	127
5.2. DESCRIPCIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES Y CLASIFICACIÓN DEL GSI.....	130
CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	135
6.1. CONCLUSIONES.....	136
6.2. RECOMENDACIONES.....	138
CAPITULO VII: AGRADECIMIENTOS.....	139
7.1. AGRADECIMIENTOS.....	140
CAPITULO VIII: BIBLIOGRAFIA.....	141
CAPITULO IX: ANEXOS	146

RESUMEN

El presente Trabajo Final se desarrolló con el objetivo de dar cumplimiento con lo establecido en la ordenanza N°002-2015, que estipula la normativa para el Trabajo Final exigido para la obtención del Título de Grado de la Carrera Lic. en Geología. La investigación ha sido realizada en forma conjunta por los alumnos Sánchez, Nelson Ramón y García, María Fernanda Leticia

Para ello se ha seleccionado como área de investigación la Quebrada del Río Belén, en el departamento Belén, provincia de Catamarca, se ha centrado la actividad de investigación entre las coordenadas 27°33'20.89" de latitud S 67° 0'22.17" de longitud O y 27°38'12.92" de latitud S Y 67° 1'35.51" de longitud O.

La Quebrada de Belén, integra la Ruta Nacional 40, es un valle angosto que atraviesa la sierra de Belén y conecta la ciudad de Belén con localidades como: La Puerta de San José, el Valle de San Fernando, Puerta de Corral Quemado, La Ciénega, particularmente con los emprendimientos mineros Farallón Negro y Bajo La Alumbraera, entre otros.

Además la Ruta Nacional 40, tiene singular importancia ya que se extiende a lo largo de todo el país y se constituye en una vía de comunicación importante con tránsito permanente entre las localidades del norte del Departamento, el resto de la Provincia y Provincias vecinas, por lo que es de gran importancia analizar su vulnerabilidad, las amenazas debidas a procesos geológicos combinados con la actividad antrópica y el clima, para definir el riesgo potencial.

El presente trabajo se realizó aplicando una metodología específica en áreas concretas, de la Quebrada de Belén.

La actividad se dividió en tres etapas, la primera etapa comprendió las tareas de gabinete previas a los trabajos de campo, fotointerpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales, confección de cartografía geológica, geomorfológica, topográfica e hidrológica, utilizando software, AutoCad 2010, Map Source, Global Mapper, Google earth Pro, ArcGis; en la segunda etapa se llevó a cabo el trabajo de control de campo, recorriendo toda la zona de investigación constatando, correlacionando, ajustando y corrigiendo la cartografía confeccionada, con la observación directa en el campo de las diversas geoformas presentes, y de todas las características del relieve, relevando puntos estratégicos con navegador GPS, para facilitar el posicionamiento de campo en la cartografía. Asimismo se describieron y fotografiaron in situ las manifestaciones de los procesos hídricos y de remoción en masa que pudieran implicar una amenaza. Luego se elaboró un análisis descriptivo del comportamiento geomecánico, utilizando para éste último caso una tabla de clasificación del macizo rocoso denominada GSI (Geological Strength Index); la tercera etapa consistió en la corrección y elaboración definitiva de la cartografía: a.- Carta Geológica, b.- Carta Hidrogeológica, c.- Carta Geomorfológica, d.- Carta de Pendiente, e.- Carta de Orientación de Laderas, f.- Carta Topográfica, g.- Carta de Riesgo y h.- Carta de Amenaza y el informe final correspondiente, que aquí se presenta.



CAPÍTULO I:
INTRODUCCION Y
CARACTERISTICAS
GENERALES

1.1. INTRODUCCION

El estudio comprende el análisis de las características geológicas, geomorfológicas y de hidrología superficial de las subcuencas que integran el área considerada, como así mismo, el comportamiento geotécnico de taludes y laderas colindantes a la ruta, teniendo en consideración que, en virtud de las observaciones de campo y los eventos registrados, son evidentes las amenazas de riesgo hídrico de tipo desbordes laterales en cauce y de remoción en masa en laderas y taludes, transformándose en una zona potencialmente vulnerable ante el riesgo de origen hídrico, causado por la combinación de procesos naturales y actividades antrópicas. Asimismo se determinó el impacto de los mencionados eventos en el desarrollo socio-económico del área, definiendo el impacto directo a los usuarios de dicha ruta.

En primer término se divide la zona de estudio en dos sectores principales, con características particulares que ameritan su análisis individual, para establecer causa y efecto de los procesos geológicos y antrópicos que tienen lugar en ellas, ya sea en condiciones climáticas normales (o comunes) y ante eventos extraordinarios.

Una vez realizado el estudio de cada sector particular, se correlacionaron los resultados, lo que permitió conocer el comportamiento general de la zona de estudio, establecer las zonas más vulnerables y elaborar conclusiones parciales y generales, para proponer las recomendaciones finales que contribuyan a la contención de laderas.



1.1.1. BREVE HISTORIA DE LA RUTA NACIONAL N° 40

Dada la importancia de la RN 40, se considera un aporte interesante realizar una breve



reseña de sus características generales e historia.

La mítica Ruta 40, creada en el año 1935, recorre nuestro país en sentido paralelo a la Cordillera De Los Andes, tiene más de cinco mil kilómetros de longitud atraviesa la Argentina de norte a sur, recorriendo tres regiones turísticas (Cuyo, Patagonia, y el Norte) y once provincias: Santa Cruz, Chubut, Río Negro, Neuquén, Mendoza, San Juan, La Rioja, Catamarca, Tucumán, Salta y Jujuy.

Tiene un lugar destacado entre las 10 carreteras más memorables del mundo entero por su longitud.

Su origen se remonta a la Ley 11.658 del 5 de octubre de 1932, que creó un Sistema Troncal de Caminos Nacionales y a la Dirección Nacional de Vialidad (DNV) para administrarlo. Esta institución sería la encargada de construir los caminos y mantenerlos con los fondos que provendrían de un impuesto que gravaba a los combustibles.

Por qué lleva el Número 40: en 1936, la Dirección Nacional de Vialidad definió un Sistema de Numeración de los Caminos Nacionales, con normas precisas para asignar el número a las carreteras Argentinas. El número 40 establecido a la Ruta se debe a una convención fijada por la DNV: Los números del 1 al 50 se destinarían a numerar las rutas que conectan las capitales provinciales o las de los grandes itinerarios y, entre ellas, las numeradas entre 32 y 40 corresponderían a rutas con una traza en dirección de Norte a Sur. La ruta más

occidental, al pie de los Andes, recibiría el número 40.

En tal sentido, la DNV enlazó una serie de caminos provinciales y formó una ruta principal al pie de la Cordillera y próxima a la frontera oeste del país. Nació así la legendaria Ruta 40. Su trazado ha ido cambiando a lo largo del tiempo.

La Ruta Nacional 40 nace en el punto más austral del territorio continental Argentino, en el Cabo Vírgenes, ubicado en la provincia de Santa Cruz, en el Departamento de Güer Aike, a los 52°20'S y 68°21'W. Hay un proyecto para extenderla a la provincia de Tierra del Fuego



con un servicio de transbordadores que evite el paso por Chile. Siguiendo luego la Ruta su recorrido en la provincia de Tierra del Fuego.

Desde sus orígenes en 1935 hasta la actualidad, la ruta ha cambiado varias veces la numeración de su kilometraje.

Antiguamente la ruta se dividía en dos partes, una era la Ruta 40 Norte y la otra, la Ruta 40 Sur. El punto inicial de ambas (el "KM cero") se encontraba en la ciudad de Mendoza en el cruce de la calle Garibaldi y la Av. San Martín.

En el año 2004, la Dirección Nacional de Vialidad trasladó el kilómetro cero ubicándolo al pie del Faro del Cabo Vírgenes en la provincia de Santa Cruz, por lo que desplazo más hacia el sur a su original punto de inicio, culmina en el extremo norte, en la frontera con Bolivia, a la latitud de la localidad de La Quiaca, en la provincia de Jujuy.

Por Ley 27.389, publicada en el Boletín Oficial de la República Argentina N° 33.722 del 3 de octubre de 2017, se denomina en la actualidad Ruta Nacional N° 40 "Libertador General Don José de San Martín"

En nuestra provincia se conecta, desde el sur, por la ruta Provincial N° 60, a la latitud de la localidad de Cerro Negro, continua por Londres, pasa por la ciudad de Belén y, por la Quebrada de Belén (área donde se desarrolla este estudio) se dirige al Norte al departamento Santa María, por donde se comunica con las provincias de Tucumán, Salta y Jujuy.

1.2. FUNDAMENTO

La Quebrada de Belén, es un valle angosto que atraviesa la sierra de Belén y comunica la ciudad de Belén con localidades como: La Puerta de San José, el valle de San Fernando, Puerta de Corral Quemado, La Ciénega, entre otros, en particular con los emprendimientos mineros Farallón Negro y Bajo La Alumbraera entre otros. Integra, además, la Ruta Nacional 40, se constituye en una vía de comunicación importante con tránsito permanente entre las localidades del norte del Departamento, el resto de la Provincia y provincias vecinas, por lo que es de gran importancia analizar su vulnerabilidad, las amenazas debidas a procesos geológicos combinados con la actividad antrópica y el clima, para definir el riesgo potencial de origen hídrico.

La sociedad en general, es vulnerable frente al impacto de procesos geológicos a distintas escalas. Aunque a veces no se perciba el riesgo, en los ambientes como el de la Quebrada de Belén normalmente se está expuesto a eventos que pueden llegar a ser destructores a punto tal de ocasionar pérdidas de vidas. Esos eventos pueden ser por ejemplo: terremotos, inundaciones, incendios, deslizamientos de roca o suelo, etc.

Esta vulnerabilidad está relacionada con las transformaciones en el ambiente físico y natural, que afectan de manera potencial a las sociedades.

En tal sentido, se encuentran vinculados íntimamente los diferentes procesos naturales que impactan en el medio ambiente geológico. Las características climáticas y el comportamiento del relieve definirán los procesos dominantes en una región.

En la zona de estudio, caracterizada por clima semiárido, con una marcada estación seca y húmeda (referido al periodo de precipitaciones), y una escasa cobertura vegetal en las

laderas de las sierras, los procesos geomorfológicos dominantes son de origen hídrico y de remoción en masa (tanto de tipo seco como húmedo).

Los procesos geomorfológicos de tipo hídrico se manifiestan en: erosión laminar en laderas, erosión en cauces tributarios, crecidas de los colectores principales, anegamiento lateral del Río Belén, colapsos parciales por hundimiento de suelo, entre otros.

En cuanto a los procesos geomorfológicos de remoción en masa, se manifiesta mediante el transporte de material, definidos por la movilización de determinado volumen de suelo, roca o ambos, en diversas proporciones, generados por una serie de factores que se encuentran presentes en las laderas. Ese desplazamiento se realiza por movimientos lentos, también denominados de reptación, y/o deslizamientos rápidos, caracterizados por el acarreo de un importante volumen de sedimentos y rocas en un corto periodo de tiempo; estos deslizamientos tienen carácter descendente, ya que están fundamentalmente controlados por la gravedad.

Existen numerosas clasificaciones para los distintos tipos de eventos de remoción en masa, las cuales según Corominas y García Yagüe (1997) han sido diferenciadas en las siguientes categorías principales: desprendimientos o caídas, deslizamientos (rotacionales y traslacionales), flujos, topping o volcamientos, extensiones laterales, o la combinación entre ellos. Estas clasificaciones consideran diversas variables, como por ejemplo, los tipos de materiales involucrados (suelo o roca), el mecanismo de ruptura y el grado de saturación que alcanza, entre otros. Estos factores, junto con las características geológicas, geotécnicas y geomorfológicas del entorno, condicionan la potencial generación de eventos de remoción en masa, así como la velocidad de desplazamiento y el volumen de material transportado. Si bien es cierto que existen una serie de factores condicionantes para la ocurrencia de los eventos que deben ser identificados y estudiados, es asimismo de crucial importancia identificar el factor que se encarga de desencadenarlo, a lo que se denomina genéricamente como disparadores y/o potenciadores del proceso.

Los eventos de remoción en masa constituyen una de las amenazas geológicas más importantes en ambientes de tipo montañoso, donde las características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas del paisaje serrano lo convierten en la principal fuente de numerosos desastres naturales de este tipo.

La frecuencia en el tiempo, su dependencia de factores desencadenantes (ya sean naturales o inducidos) y la presencia de una comunidad, sea estable o intermitente, consecuentemente lo transforman en un riesgo geológico, que puede incluir una gran variedad de manifestaciones, ya sean de orden puramente geológicos, climáticos, como así también antrópicos (considerando los aspectos de la actividad del hombre en si misma afectando la naturaleza, su desarrollo social y algunas veces el aspecto político en la toma de decisiones) o la combinación de ellos.

Entender y reducir el riesgo geológico es la suma de numerosas acciones sistemáticas orientadas al análisis, evaluación, ponderación y gestión de los factores que contribuyen a la ocurrencia del mismo, es un proceso permanente de planificación, toma de decisiones y promoción de acciones antes, durante y después de la ocurrencia de un evento destructor, entendiendo la planificación del riesgo geológico como la acción que tiene por objeto la elaboración de medidas destinadas a hacer frente a los daños que estos pudieran provocar. Estas medidas consisten en identificar, predecir, prevenir y corregir, cuando es posible, el riesgo.



La reducción del riesgo derivado de eventos geológicos debe ser entendida como una acción integral, transversal y permanente en los procesos normales y cotidianos de desarrollo sustentable y sostenible de un territorio. Estos conocimientos podrían llevar a la construcción de sociedades más resistentes contra potenciales desastres, llamadas en la actualidad “ciudades resilientes”, y educar a la comunidad para que tenga una reacción adecuada, a través de una mejor instrucción de la toma de decisiones, ya que la ocurrencia del desastre, en algunas circunstancias, es prácticamente inevitable por cuanto no siempre son controlados cuando predominan en su génesis las variables naturales.

El primer paso para este tipo de actividades es identificar los peligros geológicos que afectan una región en particular.

En este contexto, el estudio de la Quebrada de Belén - Ruta Nacional 40 - que involucra la circulación constante no solo de los habitantes de los distritos que se ubican al norte de la cabecera departamental, sino también de productores y movimiento de insumos para las empresas mineras y proveedoras de comestibles y combustibles para la región del Norte Argentino, constituye un aporte muy importante para la seguridad de la comunidad y para el desarrollo socio- económico de la región.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar de qué forma los procesos naturales y las actividades del hombre, presentes en la Quebrada de Belén, desde la construcción y ampliación de la Ruta Nacional 40 hasta la actualidad, han influenciado e influyen en la vulnerabilidad frente al riesgo geológico de origen hídrico y de remoción en masa, ya sea generando el riesgo y/o potenciándolo, partiendo desde el análisis geológico, geomorfológico, hidrológico, geomecánico del mismo. Para aportar al conocimiento científico de la región en particular, como así mismo a la comunidad y a los órganos pertinentes, las herramientas para la toma de decisiones, al momento de planificar nuevas obras civiles o elaborar medidas preventivas que tiendan a mitigar o evitar los daños producidos, como consecuencia de eventos geológicos- antrópicos que pueden significar un riesgo.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Adquirir y aplicar los conocimientos específicos sobre la temática de riesgos geo-ambientales en áreas serranas, poniendo un énfasis en el riesgo de origen hídrico y en eventos de remoción en masa.
- Caracterizar el ambiente en estudio desde el punto de vista: climático, geológico, geomecánico, geomorfológico e hidrológico.
- Delimitar las cuencas hidrográficas que aportan agua a la Quebrada de Belén, para conocer su dinámica y la influencia de estas en los procesos de remoción en masa.
- Elaborar la cartografía temática a escala de detalle de tipo: geológica, geomorfológica, hídrica y de riesgo frente a la amenaza de procesos de origen hídrico y antrópico que puede implicar un riesgo.
- Definir las amenazas y las vulnerabilidades presentes para identificar el tipo de riesgo geológico a lo largo de la Quebrada de Belén



- Recolectar in situ los datos necesarios para completar y constatar la información generada en gabinete, toma de muestra y mediciones de campo.
- Establecer la relación existente entre los procesos naturales y la actividad del hombre y su impacto en la generación de amenazas que podrían derivar en riesgo.
- Redactar el informe final, que demuestre y alcance los objetivos planificados, y presentarlo para su evaluación y posterior defensa.

1.4. METODOLOGIA DE TRABAJO

El presente trabajo se realizó aplicando una metodología específica en áreas concretas, de la Quebrada de Belén. Para su ejecución se dividió la zona en dos áreas, con el objetivo de dar cumplimiento a lo establecido según reglamento de trabajo final, que establece que cada autor analice un sector definido.

La actividad se dividió en 3 etapas, la primera etapa comprendió las tareas de gabinete previas a los trabajos de campo; la segunda etapa se llevó a cabo el trabajo de control de campo, la tercera etapa consistió en el procesamiento e interpretación de la información obtenida para la elaboración del informe final.

Se describen a continuación las etapas enunciadas:

1.4.1. PRIMERA ETAPA

Las tareas realizadas en la primera etapa estuvieron vinculadas principalmente a la búsqueda y recopilación de información estadística, cartográfica y bibliográfica sobre el área de estudio, la región y la temática abordada. Para esto se consultaron, informes técnicos, bibliografía específica, publicaciones, investigaciones, cartas y hojas geológicas, disponibles en la biblioteca de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la UNCA, bibliotecas públicas, la Secretaría del Agua y el Ambiente (Dir. Prov. de Hidrología y Evaluación de Riesgos Hídricos), Catastro Provincial (Dirección Cartografía), websites (consultadas a través de google académico), el software free Google Earth y sitios web oficiales (INTA, SMN, SEGEMAR, INA, SCIELO, entre otros).

En base a esto se realizó:

- Fotointerpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales.
- Confección de cartografía geológica, geomorfológica, topográfica e hidrológica, utilizando softwares AutoCad 2010, Map Source, Global Mapper, Google Earth Pro, ArcGis.
- Digitalización de imágenes satelitales empleando el software Google Earth, lo cual comprende la delimitación de las cuencas hidrográficas, divisorias de agua, ríos principales y transitorios, subcuencas, partes de la cuenca (alta, media y baja), áreas pobladas, zonas de cultivo, etc.
- Descripción de los componentes ambientales propios de la región: Clima, Vegetación, Geología, Geomorfología e Hidrología.
- Confección de Planos preliminares de la zona de estudio, que incluyen rutas, vías de acceso, localidades y ríos principales. Para ello se utilizó los softwares ArcGis 10.5, Global Mapper, Google Earth, Paint y Power Point.



- Confección de gráficos y tablas a partir de la información recopilada y la provista por la Secretaría del Agua y el Ambiente.
- Selección de puntos estratégicos preliminares para la observación en campo.

1.4.2. SEGUNDA ETAPA

Una vez generada la cartografía base, se realizó el correspondiente control de campo, recorriendo toda la zona de investigación constatando, correlacionando, ajustando y corrigiendo los mapas confeccionados, con la observación directa en el campo de las diversas geoformas presentes, y de todas las características del relieve, relevando puntos estratégicos con navegador GPS, para facilitar el posicionamiento de campo en la cartografía.

Asimismo se describieron y fotografiaron in situ las manifestaciones de los procesos hídricos y de remoción en masa que pudieran implicar una amenaza.

Teniendo en cuenta que el objeto de confeccionar una cartografía, ya sea en base a las características geológicas (en lo referente a la litología, estructura, etc.), como el relevamiento geomorfológico de la zona y al diseño hidrológico, implica proporcionar información concreta, sistemática y accesible al lector, en la actividad de campo se han extremado las medidas de control para lograr que la cartografía resultante represente lo más fidedignamente posible las características de la región en estudio.

Trabajo de Campo:

La actividad se llevó a cabo en 2 campañas

- **Valoración del trazado de la ruta.**

Se realizó una toma de puntos consecutivos y de control (mediante GPS) tanto del lecho del Río como del trazado de la Ruta, para ser correlacionadas y georeferenciadas en las imágenes satelitales que se utilizaron para este trabajo, donde se destacan las características particulares de la zona de estudio referidas a evidencia de procesos naturales y geoformas resultantes, que permitirán asimismo definir la cartografía de intensidad de riesgo y/o amenaza.

- **Análisis del Riesgo**

Se entiende el Riesgo Natural, como la probabilidad de ocurrencia en un lugar determinado y en un momento dado, de un evento natural potencialmente peligroso para la comunidad y susceptible de causar daño a las personas y a sus bienes, más específicamente, la O.N.U. (Ayala-Carcedo, 1993) lo define como el producto de la probabilidad de ocurrencia de una amenaza o peligro natural, por la vulnerabilidad -en tanto por uno- y la exposición.

Un desastre natural de tipo geomorfológico se genera cuando los factores que regulan el estado morfogenético de un lugar franquean en cascada los umbrales de estabilidad (Anguita y Moreno, 1994). El umbral correspondería a una situación límite en torno a la cual los factores o variables que controlan el proceso geomorfológico se modifican, superan valores críticos de ritmo, de intensidad, de sentido o de naturaleza.

En ese contexto se realizaron las siguientes tareas:



- Reconocimiento del riesgo de tipo geomorfológico presente (hídrico y de remoción en masa).
- Evaluación de los riesgos de tipo geomorfológico.
- Identificación y descripción de cada una de las evidencias existentes en la ruta.
- Caracterización de los factores que mayor impacto causan.
- Análisis descriptivo geomecánico.
- Toma de fotografías de los rasgos más representativos del área.

Para la definición del comportamiento del macizo rocoso se utilizó el método geotécnico descriptivo, que se designa como GSI (geological strenght index - Hoek, 1994; Hoek et al. 1995) siglas en ingles que significa el Índice Geológico de Resistencia, teniendo en cuenta las condiciones de las discontinuidades y la estructura del macizo rocoso (Tabla E. que refleja el Índice de Resistencia Geológica-GSI- en capítulo VI).

El GSI es un sistema para la estimación de las propiedades geomecánicas del macizo rocoso a partir de observaciones geológicas de campo. Las observaciones se basan en la apariencia del macizo a nivel de estructura y a nivel de condición de la superficie. Respecto a la estructura se tiene en cuenta el grado de alteración que sufren las rocas, la unión que existe entre ellas, si ha sufrido erosión o qué tipo de textura presenta, y el tipo de recubrimiento existente.

Una vez realizadas las observaciones se escoge en la Tabla, que organiza las características del sistema rocoso para estimar el GSI, la situación que más se acerca a la realidad del macizo analizado, obteniendo de esta forma, el valor del GSI. En la Tabla los valores del GSI varían desde 10 hasta 90. Los valores cercanos al 10 corresponden a las situaciones del macizo rocoso de menor calidad, es decir con la superficie muy erosionada, con arcilla blanda en las juntas, y con una estructura poco resistente debido a las formas redondeadas y subredondeadas, y de intensa fragmentación que sufre el macizo. Por el contrario, valores de GSI cercanos a 90, implican macizos de muy buena a excelente calidad, ya que indica una estructura marcada por una pequeña fragmentación en la que abundan las formas prismáticas y superficies rugosas sin erosión.

1.4.3. TERCERA ETAPA

Corrección y elaboración definitiva de la cartografía: a.- Carta Geológica, b.- Carta Hidrológica, c.- Carta Geomorfológica, d.- Carta de Pendiente, e.- Carta Topográfica, f.- Carta de Orientación de Laderas, g.- Carta de Riesgo y h.- Carta de Amenaza

La cartografía se elaboró usando los programas que se detallaron en la primera etapa, utilizando como soporte la información preexistente de mapas, hojas geológicas y cartográficas aledañas a la zona. La proyección utilizada es Gauss Krugger, coordenadas geográficas con sistema de referencia es WGS84. Valga la aclaración que la zona de estudio se encuentra en la proyección faja 3 (3.000.000).



Material Utilizado

En campo:

- Hoja geológica Belén Catamarca 2799-III (etapa preliminar), Hoja Geológica 12d (Capillitas) 13 d (Andalgalá) y Hoja Geológica 13 c Fíambalá, además de las cartas realizados para este trabajo.
- Imágenes satelitales LandSat 7 cedida por CONAE, tabla de GSI (Geological Strench Index), GPS (eTrex vista H), Brújula Brunton, máquinas fotográficas, planillas, etc.

En Gabinete:

- Softwares AutoCad 2010, Map Source, Global Mapper, Google Earth Pro, ArcGis, las Hojas Geológicas mencionadas y Bibliografía referida del tema a desarrollar.

1.5. ANTECEDENTES DE LA PROBLEMÁTICA EVALUADA

Los deslizamientos generados a lo largo de la Quebrada de Belén tendieron a ser muy frecuentes desde que se construyó el tramo de la Ruta Nacional 40, realizada por la empresa Techin en el año 1994. Posteriormente se hicieron trabajos de mantenimiento de la obra, tales como la re pavimentación y trabajos complementarios de limpieza de laterales de la ruta y de obras de arte, la DNV realizó una importante obra de defensas mediante gaviones semicirculares fabricados con malla hexagonal a triple torsión de alambre galvanizado, que luego se rellenaron con piedra como solución para resolver problemas de derrumbes y erosión y como defensa para proteger la zona de camino en época de crecientes. Las últimas lluvias han permitido constatar la eficiencia de estas defensas, que, al mismo tiempo que actúan como protección de la margen del río y áreas aledañas contribuyen a la metamorfosis del cauce que modifica paulatinamente su curso, alejándose de la costa del Río Belén, y por ende de la ruta.

Evidencia de los diferentes eventos ocurridos en la Quebrada de Belén plasmada en los periódicos locales de los procesos de remoción presentados en la quebrada, que se manifiesta principalmente en meses de enero, febrero y marzo, periodos durante los cuales las precipitaciones son muy intensas y torrenciales.



- **NUEVO DERRUMBE EN LA QUEBRADA DE BELÉN 02/2011 RADIO MEGA 98.5 MHZ**

“La Dirección Nacional de Vialidad informa que entre anoche y la madrugada de hoy se produjeron nuevos derrumbes sobre Ruta Nacional N° 40, a la altura de la Quebrada de Belén, aunque personal y equipos de la DNV se encuentra trabajando en estos momentos para despejar la calzada.



Las máquinas trabajan intensamente en el lugar. Los desprendimientos de tierra y roca se produjeron porque llovió durante toda la noche, según informó el personal vial que trabaja en el lugar. Éstos incluso dañaron parcialmente la calzada, banquina y barandas metálicas. En la medida de lo posible, se recomienda a los usuarios de la ruta tomar caminos alternativos”.

- **TRAS UN DERRUMBE, REHABILITAN EL TRÁNSITO EN LA QUEBRADA DE BELÉN – 02/10/2012**

“El 11° Distrito Catamarca de la Dirección Nacional de Vialidad (DNV) informa que en horas de la madrugada fue rehabilitado el tránsito por Ruta Nacional N° 40, a la altura del kilómetro 4.102, en La Quebrada de Belén, que había sido interrumpido por un derrumbe repentino ocurrido aproximadamente a las 0:30.

El derrumbe de algunas piedras de gran tamaño se produjo en horario nocturno y de inmediato personal y equipos del Campamento Belén de la Dirección Nacional de Vialidad se trasladó hasta el lugar y logró despejar la calzada. Aproximadamente a las 6:00 se habilitó el tránsito para todo tipo de vehículos.



Subsanado el inconveniente se informó a la empresa contratista a cargo de la obra de repavimentación de la Malla 403 para que concluya los trabajos de limpieza y realice tareas preventivas para evitar nuevos derrumbes como el producido”.

▪ **LUEGO DE UN DERRUMBE FUE REHABILITADO EL PASO EN LA QUEBRADA DE BELÉN – 03/10/2012**



El 11º Distrito Catamarca de la Dirección Nacional de Vialidad informo que fue rehabilitado el tránsito por Ruta Nacional Nº 40. El derrumbe repentino había ocurrido aproximadamente a las 0:30 horas de este martes.

El derrumbe de algunas piedras de gran tamaño se produjo en horario nocturno y de inmediato personal y equipos del Campamento Belén de la Dirección Nacional de Vialidad se trasladó hasta el lugar y logró despejar la calzada. Aproximadamente a las 6:00 se habilitó el tránsito para todo tipo de vehículos.

Subsanado el inconveniente se informó a la empresa contratista a cargo de la obra de repavimentación de la Malla 403 para que concluya los trabajos de limpieza y realice tareas preventivas para evitar nuevos derrumbes como el producido.



▪ **POR DERRUMBES, PRECAUCIÓN AL TRANSITAR POR LA QUEBRADA DE BELÉN MARTES, 17 DE FEBRERO DE 2015**

“Vialidad Nacional informó a los usuarios de Ruta Nacional N° 40 que deberán transitar con suma precaución a la altura del kilómetro 4.098, en la Quebrada de Belén, por derrumbes menores sobre calzada.



Asimismo, se recomienda no transitar por el lugar en horario nocturno.

A raíz de las intensas precipitaciones registradas en la zona entre la madrugada y la mañana de hoy se produjo un importante derrumbe a la altura del kilómetro 4.098, el que ya fue despejado por personal y equipos viales. Sin embargo, en las últimas horas continuaban produciéndose desprendimientos menores en varios sectores de la Quebrada de Belén, por lo que se hace necesario transitar con muchísima precaución por el lugar.

Asimismo, se solicita a los usuarios tomar todos los recaudos preventivos necesarios en el cruce de los ríos Villa Vil y Los Nacimientos, también en RN 40, debido al aumento considerable de su caudal”.



▪ **INTERRUMPEN PREVENTIVAMENTE EL TRÁNSITO POR LA QUEBRADA DE BELÉN LUNES, 23 DE ENERO DE 2017 (EL ANCASTÍ DIGITAL)**

“Debido a los derrumbes en la zona, se decidió interrumpir el tránsito por la Ruta Nacional 40, a la altura de la Quebrada



El Ministerio de Transporte de la Nación, a través de la Dirección Nacional de Vialidad (D. N. V.), informó a los usuarios de Ruta Nacional N° 40 que se decidió el cierre preventivo del tránsito de todo tipo de vehículos a la altura de la Quebrada de Belén, entre los kilómetros 4.091 (ciudad de Belén) y 4.102 (Río Agua Clara).

La decisión se tomó luego de producirse ayer a la tarde varios derrumbes sobre calzada, en momentos en que llovía intensamente sobre la zona. La interrupción del tránsito vehicular se llevó a cabo con el auxilio de personal de Gendarmería Nacional. Las condiciones climáticas continúan siendo adversas y provocaron la crecida del río Belén, por lo que resultó imposible construir cualquier tipo de desvíos en el tramo mencionado.

No obstante, personal y equipos del Campamento Belén ya trabajan en la zona para despejar la calzada, con la intención de dar transitabilidad lo antes posible. Como vía alternativa para acceder al Norte del departamento Belén y al departamento Santa María se sugiere utilizar la ruta de los Valles Calchaquíes, a través de Ruta Nacional N° 38, Ruta Provincial N° 307, de Tucumán, y Nacional N° 40, desde Santa María hasta el Río Agua Clara”.

▪ **DERRUMBES EN LA QUEBRADA DE BELÉN 22/02/2017 |SOLICITAN TRANSITAR CON PRECAUCIÓN**

“La Dirección Nacional de Vialidad, solicita a los conductores transitar con precaución por la Ruta Nacional 40, a la altura de la Quebrada de Belén, Kilómetro 4099.

Ello, se debe a la presencia de derrumbes en la calzada.

Trabajaba en el lugar Personal del Organismo para liberar el material de roca y tierra esparcido en algunos tramos de la calzada”.



1.6. MARCO TEORICO

A continuación se definen los conceptos utilizados en el presente estudio, basados en la revisión y análisis de la bibliografía de distintos autores, haciendo una recopilación de los principales términos y procesos involucrados en los procesos naturales y el riesgo geológico.

1.6.1. GLOSARIOS SOBRE CUENCAS

Cuenca hidrográfica: Al hablar de cuenca hidrográfica se refiere exclusivamente al comportamiento de las aguas superficiales, mientras que al definir una cuenca hidrológica está haciendo referencia a las aguas subterráneas.

Una cuenca hidrográfica es un territorio drenado por un único sistema de drenaje natural. Se define como una unidad territorial en la cual el agua que cae por precipitación en parte se infiltra y otra parte se reúne y escurre a un punto común de menor cota, de manera que fluye al mismo río, lago, o mar. Está delimitada por la línea de las cumbres, también llamada divisoria de aguas. En esta área coexisten la flora y la fauna natural o generada por el hombre por lo que cada cuenca en sí misma tiene un medio ambiente que le es propio. También se define como una unidad fisiográfica conformada por la reunión de un sistema de cursos de ríos de agua definidos por el relieve. Sus límites (divisoria de aguas o la línea de cumbres) se definen naturalmente y corresponden a las partes más altas del área que encierra un río, la integran una serie de canales menores denominados tributarios, que drenan a un canal colector, el cual es el responsable de transportar todo el material al piedemonte donde, independientemente de la geoforma que resulte, se distribuye en canales que reciben el nombre de distributarios.

Cuenca hidrogeológica: se refiere a unidades morfológicas integrales que además de incluir todo el concepto de cuenca hidrográfica, abarcan en su contenido, toda la estructura hidrogeológica subterránea del acuífero como un todo.

Subdivisión de cuencas

Una cuenca hidrográfica puede dividirse en espacios definidos por la relación entre el drenaje superficial y la importancia que tiene con el curso principal (Fig. 1). Cuando a un curso principal llega un afluente secundario, este comprende una subcuenca. Luego al curso principal de una subcuenca, llega un afluente terciario, este comprende una microcuenca. En síntesis:

- ✓ **Cuenca:** sistema integrado por varias subcuencas o microcuencas.
- ✓ **Subcuencas:** conjunto de microcuencas que drenan a un solo cauce con caudal fluctuante pero permanente.
- ✓ **Microcuencas:** una microcuenca es toda área en la que su drenaje va a dar al cauce principal de una subcuenca; es decir, que una subcuenca está dividida en varias microcuencas.



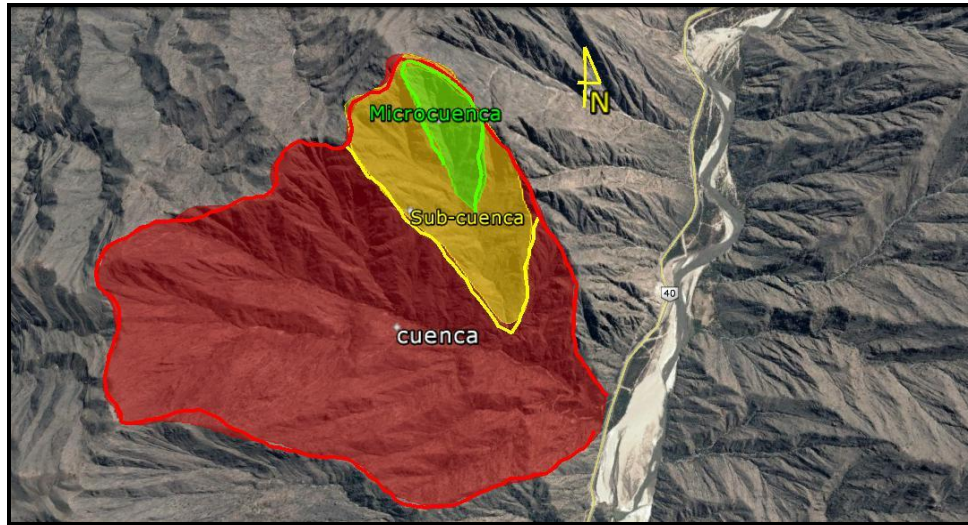


Figura 1: Subdivisión de cuencas

Partes de una cuenca

- ✓ **Divisoria de aguas:** la divisoria de aguas o divortium aquarum, es una línea imaginaria que delimita la cuenca hidrográfica y corresponde a las partes más elevadas del área (Fig. 2). Una divisoria separa las cuencas entre sí, como así también permite subdividir la cuenca en unidades menores (subcuencas y microcuencas).



Figura 2: Divisorias de agua en rojo y cauces en verde

- ✓ **Laderas:** son las secciones inclinadas que se encuentran entre las divisorias y los cauces (en caso de que no tengan valle) y si tienen valle entre las divisorias y el



valle, en Argentina se reserva el nombre de vertiente a las surgencias de agua - sean termales o no - sin embargo en otros países también a las laderas se las denomina como vertientes.

- ✓ **Valle:** son las zonas por donde discurre el cauce principal, pueden ser superficies más o menos planas adyacentes a los cauces de los ríos, según sea el nivel de erosión alcanzado.
- ✓ **Río receptor o canal colector:** aquel cauce de mayor envergadura al cual confluyen dos o más microcuencas.
- ✓ **Interfluvio:** son áreas o secciones de forma triangular que se encuentra en el medio de dos subcuencas o microcuencas adyacentes.
- ✓ **Río principal:** es el curso con mayor caudal de agua (medio o máximo) o bien con mayor longitud. El río principal tiene un curso, que es la distancia entre su nacimiento y su desembocadura.

Partes de un río

- ✓ **Cauce o lecho:** es el conducto descubierto o acequia por donde circulan las aguas.
- ✓ **Caudal:** volumen de agua que pasa por una determinada sección transversal del cauce en la unidad de tiempo, generalmente se expresan en m³/s.
- ✓ **Thalweg:** línea que une los puntos de menor cota o mayor profundidad a lo largo de un curso de agua.
- ✓ **Margen derecha:** mirando río abajo, la margen que se encuentra a la derecha.
- ✓ **Margen izquierda:** mirando río abajo, la margen que se encuentra a la izquierda.
- ✓ **Aguas abajo:** con relación a una sección de un curso de agua, sea principal o afluente; si se sitúa después de la sección considerada, avanzando en el sentido de la corriente.
- ✓ **Aguas arriba:** con relación a una sección de un curso de agua, sea principal o afluente; si se sitúa después de la sección considerada, avanzando en el sentido de las nacientes del cauce.
- ✓ **Afluentes:** corresponde a un curso de agua, también llamado tributario, que desemboca en otro río más importante con el cual se une en un punto llamado confluencia. En principio, cuando dos ríos que se unen, se considera como afluente a aquel de menor relevancia, que está definida por su caudal, su longitud o la superficie de su cuenca.
- ✓ **Efluentes:** lo contrario de un afluente, es un distributivo, es decir, una derivación (natural o artificial) que se desprende fuera de la corriente principal de un río mayor a través de otro menor. Los de origen natural se encuentran en su mayoría en los deltas fluviales, como abanicos y, en general, en el piedemonte. Son más frecuentes los efluentes de "origen artificial", es decir, de una derivación, acequia o canal que se utiliza con fines de riego o de abastecimiento de agua en regiones relativamente alejadas del río principal.



Red de drenaje: Es el sistema jerarquizado de cauces, desde los pequeños surcos hasta los ríos, que confluyen unos en otros configurando un colector principal de toda una cuenca (Matauco, 2004). Cisternas, M (2011), define a la red de drenaje como el conjunto de ríos, arroyos, vaguadas y demás huellas impresas en el terreno, por el que fluyen los escurrimientos superficiales de manera temporal o permanente.

Patrón o diseño: la combinación de los efectos del clima, la geología y la topografía de la cuenca, originan un diseño erosional, el cual es caracterizado por la red de cauces (Fig. 3). El patrón que forman los cauces, es determinado localmente por las desigualdades en la pendiente del terreno y en las resistencias de las rocas. Existen seis formas básicas, como así también otras formas menos comunes, donde cada una de las cuales tiene un significado específico:

- ✓ **Dendrítico:** los cursos de agua circulan libremente en función del gradiente del terreno. El diseño se asemeja a las ramas de un árbol. Puede presentarse en cualquier tipo de litología e indica homogeneidad del terreno sobre el que circula.
- ✓ **Paralelo:** los cursos de agua son aproximadamente paralelos, desembocando en lugares diferentes. Este patrón se desarrolla predominantemente en suelos de textura gruesa (arenosos) y con pendiente uniforme.
- ✓ **Subparalelo:** es muy similar al diseño paralelo pero los cauces desembocan en un colector común.
- ✓ **Rectangular:** los cursos de agua siguen fracturas y diaclasas de las rocas que se cortan en ángulos rectos.
- ✓ **Radial:** los cursos de agua convergen o divergen desde un punto central, denominándose respectivamente radial centrifugo o radial centrípeto.
- ✓ **Anular:** el drenaje radial puede ser interrumpido por una corriente que refleja control estructural y tiende a encausarse sobre los bancos rocosos de menor resistencia.

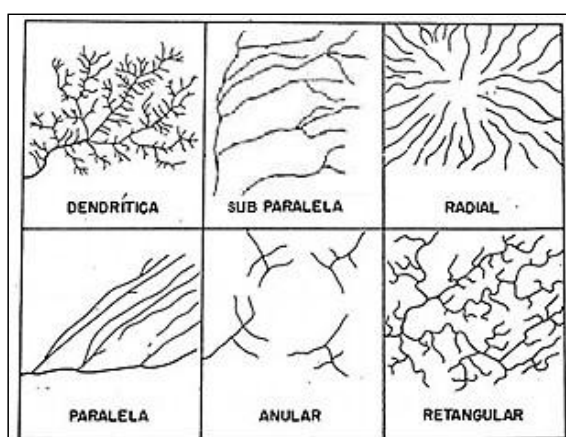


Figura 3: Patrones o diseños de redes de drenajes.

Dentro de las formas menos comunes se pueden mencionar los diseños entrelazados y anastomosados (Fig.4). Aquí suele haber confusión con el significado de los términos “entrelazados” y “anastomosados”, ya que ambos vocablos pueden ser usados como sinónimos. En un cauce entrelazado, la separación del flujo en un punto provoca la



sedimentación de parte de la carga que está siendo transportada por el fondo, dando origen a bancos de arena. Por otro lado, un río anastomosado consiste en un sistema de múltiples cauces, separados entre sí por islas que fueron divididas de una llanura aluvial originalmente continua; normalmente, estas geoformas son mucho más grandes que los cauces que la limitan.

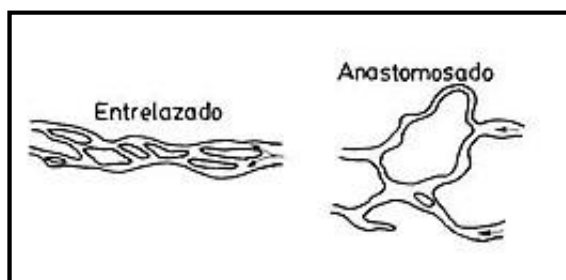


Figura 4: Patrones o diseños de redes de drenajes.
Fuente: Ramonell, C. (2000)

Unidades hidrogeomorfológicas

Un río o valle fluvial se compone de diferentes unidades hidrogeomorfológicas, las cuales se clasifican en base a las características geológicas, geomorfológicas y por los materiales constituyentes. A continuación se describe la clasificación de las unidades según Simón, V. (2008):

- ✓ **Lecho menor u ordinario:** representa la unidad de mayor actividad hídrica y se caracteriza por márgenes bien definidas, por la presencia de materiales como gravas y arenas, indicativos de regímenes de alta energía y por un escaso desarrollo de vegetación. Se incluye dentro de esta unidad el canal de estiaje por el que escurren los caudales en períodos de sequía.
- ✓ **Lecho mayor, lecho de inundación periódico o llanura de inundación:** el lecho mayor se activa de manera parcial o total cuando se sobrepasa la capacidad de conducción del fluido por parte del lecho ordinario. Se caracteriza por la presencia de material aluvional de moderada energía, como arenas y limos, escasa vegetación y desarrollo de trazas de escorrentía. Su morfología es esencialmente plana y variable ya que está compuesta por materiales de desborde del río que poseen un bajo nivel de consolidación favoreciendo la acción de los procesos erosivos.
- ✓ **Lecho de inundación episódico o histórico:** se activa durante la ocurrencia de crecidas excepcionales, cuando se supera la capacidad de conducción del lecho periódico y puede ser inundado de manera parcial o total en función de la intensidad de la crecida.

1.7.2. GLOSARIO GEOMORFOLÓGICO

Como consecuencia de la acción fluvial se generan geoformas correspondientes a procesos de erosión y de acumulación, que, acuerdo a su génesis, reciben el nombre de geoformas de erosión (o denudativas) y geoformas de acumulación respectivamente.

Entre las geoformas de acumulación se encuentran las siguientes:

Conos y Abanicos, ambos se originan por la depositación en la desembocadura de la cuenca, debido a la reducción brusca de la competencia y capacidad de transporte en los ríos, provocada por una repentina disminución de gradiente o pendiente al abandonar la zona montañosa o serrana lo cual impacta en la energía del cauce.

Conos: se desarrollan en un ambiente climático donde predominan las tormentas concentradas, cortas y torrenciales, lo cual provoca que la depositación de los sedimentos se lleve a cabo en pulsos, de manera que la primera carga de material grueso se deposita en la sección central, presentan una forma menos desarrollada en planta pero más empinados que un abanico (adquiere un perfil transversal cónico), con inclinaciones de hasta 15°. En los laterales de los conos se acumulan los materiales finos, mientras que en el centro se acumulan los materiales gruesos y permeables (rodados y gravas arenosas). A medida que aumenta la distancia al cuerpo montañoso, disminuyen el gradiente topográfico y la granulometría, en este caso se dice que la depositación es gradacional hacia los laterales. El espacio entre dos conos coalescentes (vecinos) se caracteriza por la acumulación de sedimentos más finos, por lo general poco permeables, se localiza a lo largo del contacto entre ellos, se denominan a estos terrenos como “barreales”, en ellos la actividad agrícola es limitada.

Abanicos: se desarrollan en un ambiente climático donde las precipitaciones son más extendidas en el tiempo y menos torrenciales, por ello, la depositación de los sedimentos se lleva a cabo en forma gradual desde el ápice a la zona distal, de manera que los materiales gruesos se depositan en las cercanías del contacto con la sierra y disminuyen gradacionalmente a medida que se aleja, en este caso, se dice que la depositación es gradacional desde el ápice a la zona distal del abanico. Presentan una forma extendida, en forma de abanico (de allí su nombre), su perfil transversal es achatado. La coalescencia entre dos abanicos, genera un “barreal” en la zona distal.

Terrazas: son depósitos aluviales que se erosionan formando superficie planas, generalmente escalonadas debido a la ocurrencia de dos o más niveles de terrazas, ubicadas en los márgenes de los ríos, originadas al encajarse el cauce fluvial en la llanura aluvional formada por la acumulación del río en etapas anteriores. Como consecuencia de la depositación de los materiales transportados por los ríos se forman amplias llanuras de acumulación de sedimentos cuaternarios, cuando la corriente de agua, debido a un incremento en el caudal, incrementa la velocidad y con ello la capacidad erosiva y de transporte, produce erosión en el manto aluvial escavando. Cuando la energía disminuye, el agua pierde la capacidad de excavar en profundidad y comienza a erosionar lateralmente, ensanchando nuevamente el lecho del cauce (explaya). Este proceso origina el primer nivel de terraza que se designa como nivel 0 o nivel 1, la repetición del proceso genera los siguientes niveles de terrazas, que se designaran como Nivel 2, Nivel 3 y así



sucesivamente. La variación de la energía del cauce puede deberse a una reactivación tectónica o a un cambio climático.

Dicho proceso se verifica hasta formar todos los niveles de terrazas del río (Fig. 5); así, cada terraza es más antigua que su inmediata inferior, y más moderna que la siguiente más alta. Éste es uno de los pocos casos en que se incumple el principio de superposición de estratos.

En términos generales, las terrazas son simétricas cuando los niveles de terrazas se corresponden simétricamente en ambos márgenes del río y a la misma altura, en cambio, cuando el número de niveles y altura es distinta se denominan terrazas asimétricas.

En función de la importancia relativa de los episodios de erosión y depositación que suceden a lo largo de la historia de un río, pueden formarse terrazas fluviales escalonadas o encajonadas. En las terrazas escalonadas los periodos de erosión son más importantes que los periodos de depositación, de manera que el río excava todos sus aluviones y llega al sustrato rocoso dejando solo algunos restos de sus aluviones en los bordes del valle. En las terrazas encajonadas los periodos de erosión no alcanzan a eliminar completamente los depósitos de aluviones anteriores, de manera que las terrazas quedan yuxtapuestas y superpuestas.

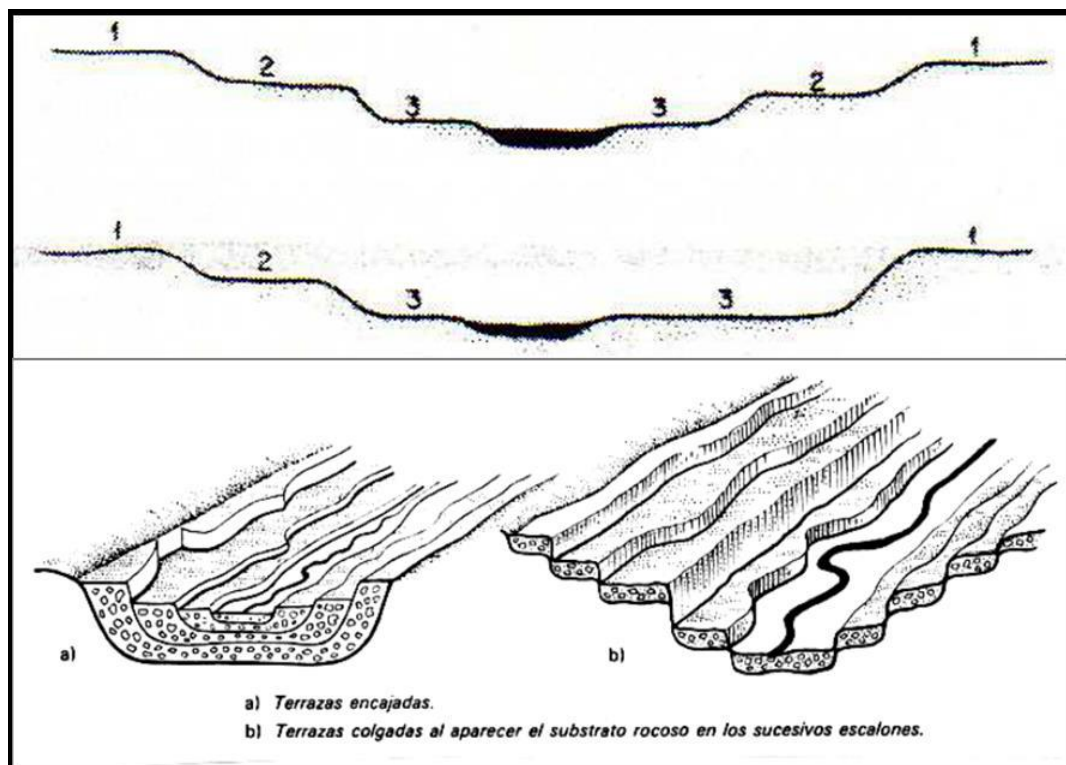


Figura 5: Tipos de terrazas.

Fuente: Busnelli, J. (s.f).



Remoción en Masa

La remoción en masa o deslizamiento de laderas (también denominado en la bibliografía como proceso gravitacional) es un proceso que involucra un movimiento en el cual el sustrato rocoso, detritos rocosos o partes del suelo formado sobre la roca del sustrato que conforma una ladera se mueven pendiente abajo por atracción directa de la gravedad. Ello puede ocurrir en un bloque o una masa compacta de rocas. A simple vista, pareciera ser que las laderas de las montañas están estáticas y que el suelo o regolito presente en ellas no se mueve, en realidad la superficie de la tierra es dinámica, en todo momento hay modificaciones en ella, aun cuando son imperceptibles a la observación directa y temporal, la fuerza de gravedad actúa constantemente trasladando los materiales ladera abajo. Cuando esto sucede decimos que los materiales están en una condición de relativa estabilidad.

Según Corominas y García Yagüe (1997) los movimientos de ladera se definen como los movimientos del terreno o desplazamientos que afectan a los materiales que se encuentran inestables en laderas o escarpes. Estos desplazamientos se producen hacia el exterior de las laderas y en sentido descendente como consecuencia de la fuerza de la gravedad, también ellos excluyen los hundimientos de cavidades o de materiales (Varnes, 1978).

Los fenómenos de remoción en masa pueden ser clasificados de acuerdo con los siguientes tres criterios: **a) velocidad del movimiento, b) tipo de material involucrado y c) tipo de movimiento**

a) Velocidad del movimiento: El movimiento cuesta abajo puede ser rápido o lento. En el primer caso grandes volúmenes de rocas pueden caer por la pendiente en términos de segundos o minutos como parte de un evento instantáneo. Por el contrario hay casos en los cuales el movimiento ocurre tan lentamente que se hace imperceptible para un observador común ya que puede moverse tan solo unos centímetros por año. Por lo tanto, las evidencias más importantes de su efecto se tendrán por la acumulación de lo que se ha movido año tras año.

b) Tipo del material involucrado: Los fenómenos de remoción en masa son usualmente identificados a partir de ver si la masa que ha comenzado a descender lo hace como un bloque de roca compacto o como detritos rocosos. El término detrito, barro o tierra se aplica en remoción en masa al material inconsolidado (suelo o regolito) de la superficie cualquiera sea su tamaño. En cambio si se desplaza una masa rocosa compacta, se utiliza el término roca.

c) Tipos de movimiento: teniendo en consideración la velocidad de movimiento y el material involucrado se define el tipo de movimiento que resulta en el proceso de remoción en masa. En la siguiente tabla se ordenan los tipos de remoción en masa más comunes de acuerdo con los tres criterios de clasificación mencionados.



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

Tipo de movimiento	Nombre	Tipo de material (M) y velocidad (V)	Factores de control más importantes
1. FLUJO	Reptación	M: Material inconsolidado V: Lento (menor a 1 cm/ año) visualmente imperceptible.	La inclinación y relieve de la pendiente junto con la presencia de suelos son los factores primordiales.
	Flujo de detritos	M: Más de la mitad de las partículas son mayores que el tamaño arena, aunque también participan linos y arcillas y fragmentos rocosos gruesos. V: Lento a rápido varía de <1 m/año a 100 km/hora o mayor.	Ocurren a menudo asociados a asentamientos. Son comunes en regiones áridas con lluvias ocasionales intensas. Pueden iniciarse por erupciones volcánicas.
	Flujo de tierra y Flujo de barro	M: partículas de suelo de grano fino con grandes cantidades de agua. V: Lento a rápido varía de 1 mm/día a 10 km/ hora	La lluvia y la escases de vegetación generalmente son los factores disparadores más relevantes.
	Avalancha de detritos	Fragmentos de rocas del sustrato, junto con aire y agua. Son muy rápidas. En general mayores a 4 km/hora	La aridez del clima y el aire atrapado en la masa turbulenta de rocas y agua favorecen la ocurrencia de este fenómeno.
	Soliflucción	M: partículas húmedas situadas encima de suelo congelado	Se puede producir en pendientes muy suaves. El hielo es un factor promotor.
2. DESLIZAMIENTO	Asentamiento ó deslizamiento rotacional	M: Deslizamiento de un bloque, generalmente con una rotación sobre una superficie cóncava V: velocidades medias a rápidas	Necesitan fracturas, estratos horizontales, inhomogeneidad litológica y precipitaciones suficientes.
	Deslizamiento de rocas ó deslizamiento planar	M: Rocas del sustrato V: Movimientos rápidos	Necesitan fracturas, estratos inclinados y precipitaciones suficientes.
3. CAÍDA	Caída de rocas	M: Bloques rocosos V: movimientos muy rápido	Se producen únicamente en relieves verticales o casi verticales en los que domina la gravedad como agente promotor.

Factores Condicionantes

Son aquellos factores que pueda generar una situación potencialmente peligrosa o inestable. Estos corresponden principalmente a la geomorfología, geología, geotecnia y



vegetación, que actúan controlando la susceptibilidad de una zona a generar fenómenos de remoción en masa.

Cada uno de los distintos procesos de remoción en masa tiene génesis y comportamientos distintos, por lo cual cada uno podrá ser influenciado por diversos factores de maneras y grados diferentes.

- **Geología y geotecnia**

Entre los factores que influyen en esta categoría, se encuentran el tipo de depósito y el material que lo compone, también la densidad, plasticidad, humedad y permeabilidad, es importante mencionar que además de estos factores, la litología de la roca, su estructura, alteración y meteorización, influirán en cómo se comporta en términos mecánicos la masa a ser movilizada.

- **Geomorfología**

Los rasgos geomorfológicos que condicionan eventos de remoción en masa son principalmente la topografía, las características de pendientes de las laderas, los cambios fuertes de pendientes de las laderas, y la extensión y altura de las laderas. Estas características inciden en la velocidad, energía y volumen de las remociones que puedan originarse. Así también, cualquier modificación de ellos puede transformar una ladera estable en inestable y generar remociones (Popescu, 2002). Otros factores importantes a tomar en cuenta como factor condicionante es la forma y superficie de las hoyas hidrográficas y la orientación de la ladera con respecto al norte, aspecto geográfico que puede influir por ejemplo en el tiempo de exposición al sol y por lo tanto, en el grado de humedad, presencia de vegetación y meteorización en la ladera.

Una topografía escarpada y ángulos altos de pendientes de ladera es el primer factor geomorfológico a considerar, siendo propicios para la generación de flujos, deslizamientos y derrumbes. Pendientes mayores a 25° en las cabeceras de las hoyas hidrográficas, son favorables para el desarrollo de flujos o aluviones (Hauser, 1993), aunque algunos podrían generarse sobre pendientes menores que no sobrepasan los 15° (Sauret, 1987 en Sepúlveda, 1998).

La geometría de la ladera es uno de los factores más importantes en la evaluación de generación de deslizamientos, por cuanto determinara las orientaciones de las fuerzas resistentes y las solicitantes.

- **Hidrología e Hidrogeología**

La red de drenaje, las posiciones y variaciones del nivel freático, caudales, coeficientes de escorrentías y coeficientes de infiltración, son factores hidrológicos e hidrogeológicos que condicionan la generación de remociones en masa ya que están directamente relacionados a la incorporación de agua en los suelos o macizos rocosos (Lara, 2007). El agua juega un papel negativo en la resistencia de los materiales, ya que por un lado, genera presiones intersticiales que reducen la resistencia, aumentan los esfuerzos de corte por el incremento de peso del terreno y generan fuerzas desestabilizadoras en grietas y discontinuidades, y



por otro lado reduce la resistencia al corte de discontinuidades al lavar los rellenos de estas (González de Vallejo et al. en Muñoz, 2013).

El suelo saturado presentará variaciones en los rangos de cohesión dependiendo de su granulometría. De todas maneras, la incorporación de agua en la estructura del suelo, que en ciertos casos puede llegar a la saturación, genera una disminución en la resistencia del material, disminuyendo su tensión efectiva producto de la generación de presiones de poros (Lambe & Whitman, 1972).

- **Vegetación**

Según Selby (1993), la vegetación contribuiría a disminuir el efecto erosivo sobre las laderas, generado por factores como el clima, propiedades del suelo y topografía. La existencia de árboles en las laderas permitiría la absorción de agua por parte de estos disminuyendo el grado de saturación del suelo. Además, sus raíces ayudarían a la estabilización de las laderas actuando como anclajes de reforzamiento, sin dejar de considerar que en algunos casos esta estabilización es solo superficial.

Sin embargo los eventos de remoción en masa generados en Chile, principalmente en zonas climáticas lluviosas con poca vegetación, demuestran que no siempre la vegetación contribuye a disminuir la erosión sobre laderas, como por ejemplo deslizamientos ocurridos en el sur de Chile, en la Región de Aisén, producto de un sismo ocurrido en abril del 2007, donde una parte de un cerro con frondosa vegetación deslizo provocando un tsunami.

- **Clima**

Los factores más importantes que generan erosión de laderas son el viento, temperaturas, radiación solar y precipitaciones, siendo estas últimas las más influyentes.

El carácter fluctuante y variable del clima en el tiempo, le otorga una extraordinaria variabilidad a todos los procesos geodinámicos. Por ende, las situaciones más críticas se vinculan a la frecuencia y severidad de los fenómenos extremos (sequías e inundaciones), pues son precisamente estos eventos los que provocan las mayores pérdidas económicas y sociales (Hauser, 2002).

Las precipitaciones condicionan la estabilidad del macizo, al disminuir la resistencia de las estructuras al incorporar agua entre las fracturas del macizo y/o la estructura del suelo, disminuyendo el coeficiente de roce. Este factor adquiere gran importancia por ejemplo para las caídas de rocas en zonas de acantilados, ya que el agua se infiltra por arriba y las caídas suelen producirse cerca de la cumbre de las laderas. Además los grandes eventos de flujo de detrito y barros han sido gatillados por lluvias intensas, asociadas con saturación del material por lluvias cercanas al día del evento, que en este caso estaría actuando como condicionante en la estabilidad de la ladera (Lara, 2007).

- **Actividad antrópica**

Las actuaciones humanas ocupan un lugar importante dentro de los factores que modifican las condiciones y fuerzas que actúan sobre las laderas. Las excavaciones, la construcción de presa y embalses, las sobrecargas de edificios, estructuras, terraplenes, rellenos o



escombreras sobre laderas y las voladuras en zonas cercanas, entre otros, modifican los estados tenso-deformacionales del terreno y sus propiedades geotécnicas, generando inestabilidades. Algunas de estas acciones generan principalmente, hundimientos, caídas, deslizamientos y flujos.

Las principales causas de desestabilización son los cambios de geometría y pendiente, los cambios en las condiciones hidrogeológicas y las fuerzas estáticas externas. Las excavaciones superficiales para vías de comunicación y transporte, boquillas de túneles, minería y otras obras varían los perfiles de equilibrio de las laderas y pueden desencadenar movimientos, dependiendo de otros factores condicionantes, como las estructuras geológicas, la resistencia o el contenido en agua del terreno. Las excavaciones más desfavorables son las realizadas a pie de las laderas, por soportar esta zona las mayores tensiones, situación frecuente en la construcción de vías de comunicación por valles o por zonas bajas de las laderas (Gonzalez de Vallejo et al., 2002).

Agentes desencadenantes de remociones en masa:

Existen factores que modifican la estabilidad preexistente del terreno y disparan (gatillan) la ocurrencia de un evento de remoción en masa, conocidos como factores desencadenantes (Gonzalez de Vallejo et al., 2002). Un agente gatillante o disparador, se caracteriza principalmente por la existencia de un corto lapso entre causa y efecto. Los agentes desencadenantes más comunes son las lluvias de gran intensidad y los sismos; secundariamente las erupciones volcánicas, la intervención antrópica (modificando el relieve, con la vibración que producen los vehículos en la ruta, etc.), la fusión de nieve, entre otros.

▪ **Precipitaciones**

El desencadenamiento de los movimientos de ladera por causas meteorológicas y climáticas está relacionada fundamentalmente con el volumen, intensidad y distribución de las precipitaciones (González et al., 2002). Así, precipitaciones de poca o alta intensidad en periodos largos de tiempo, podrían desencadenar factores gatillantes de remociones en masa profundas, y otras de gran intensidad pero en periodos cortos, un potencial factor desencadenante de eventos superficiales en zonas donde la susceptibilidad a remociones en masa sea alta (Aleotti, 2004).

El agua en el terreno da lugar a presiones que alteran los estados tensionales, por presiones intersticiales y aumento del peso, a procesos de erosión interna y externa, y finalmente a cambios mineralógicos, todos estos aspectos modifican las propiedades y resistencia de los materiales, sobre todo en los suelos. Además las precipitaciones intensas aumenta la escorrentía superficial, lo que se traduce en un mayor grado de erosión de laderas, pudiendo generar fenómenos de remociones en masa.

Otro tipo de acciones relacionadas con el clima son los procesos de hielo-deshielo estacionales, que provocan inestabilidades superficiales en laderas de suelos de zonas frías y desprendimiento en macizo rocosos donde el hielo provoca la meteorización y fracturación del material, provocando caídas de rocas (González de Vallejos et al., 2002).



▪ **Sismos**

Los sismos pueden provocar movimientos de todo tipo en las laderas, dependiendo de las características de los materiales, de la magnitud y de la distancia al epicentro. Desprendimiento de bloques, deslizamientos, flujos y avalanchas rocosas pueden ocurrir durante eventos sísmicos. Asimismo, cuando el material es un suelo saturado, no cohesivo, la vibración puede causar remociones en masa debido a la licuefacción.

En zonas sísmicas activas del mundo, alguna de los más desastrosos deslizamientos de tierra o roca de la historia, han sido provocadas por una descarga sísmica. Los materiales particularmente susceptibles son los que tienen una baja resistencia o de estructuras metaestables como loes, cenizas volcánicas en laderas empinadas, arenas saturadas de baja densidad, los depósitos de grano fino de arcilla y acantilados de roca fracturada o hielo. Cuando esto ocurre en regiones sísmicas, la zonificación del peligro de deslizamiento debe estar íntimamente ligada con la zonificación sísmica a través de una evaluación de como los materiales responderán a la aceleración, la amplitud y la duración de la sísmica, junto con la estimación de los intervalos de recurrencia (Varnes, 1984).

1.6.3. GLOSARIO SOBRE RIESGO GEOLÓGICO

Para establecer el marco conceptual que se presenta a continuación se ha consultado a Ayala, F.J. y Olcina, J. (2002).

Concepto: Riesgo es toda condición, proceso, fenómeno o evento, de origen natural o antrópico que signifique un cambio en el medio ambiente que ocupa una comunidad determinada, la cual sea vulnerable a dicho cambio. En sentido estricto, solo se consideran riesgos aquellos procesos susceptibles de producir daños personales o materiales. Se lo puede plantear de la siguiente manera:

RIESGO = AMENAZA x VULNERABILIDAD

Área de Afectación: es el área perteneciente a una o más poblaciones, incluyendo también todas las zonas que pertenezcan a la actividad de la misma (zona de cultivos, sector de fábricas, etc.), y que se vea afectada o impactada por el cambio que genera el riesgo.

Peligrosidad: hace referencia a la “probabilidad” y a la “amenaza” que representa el evento.

Probabilidad: es la frecuencia relativa de ocurrencia de un suceso

Amenaza: es un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que pueden ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales, que se produce durante cierto periodo de tiempo en un sitio dado.

Amenaza Natural: probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente desastroso que afecte un área, para un período de retorno específico.

Vulnerabilidad: son las características y las circunstancias de una comunidad, sistema o bienes materiales que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza. Es el



grado de pérdida provocado por un fenómeno destructivo, de una determinada magnitud, causado sobre un elemento expuesto o bajo riesgo.

Por lo tanto, “si la vulnerabilidad es baja o inexistente, por más que el grado de amenaza sea alto, no hay destrucción ni pérdidas, por lo tanto no hay riesgos”.

Elementos expuesto o bajo riesgo: población, edificaciones, propiedades, actividades económicas y demás expuestas a un riesgo en un área dada.

Susceptibilidad: es aquello que está potencialmente dispuesto a modificarse o evolucionar ante eventuales circunstancias naturales o antrópicas.

Desastre: es un evento calamitoso, repentino o previsible, que trastorna seriamente el funcionamiento de una comunidad o sociedad y causa pérdidas humanas, materiales, económicas o ambientales que desbordan la capacidad de la comunidad o sociedad afectada para hacer frente a la situación a través de sus propios recursos.

Riesgos Naturales: una amenaza natural puede definirse como un proceso geológico o climatológico potencialmente dañino para la población, en su mayoría, son difíciles de predecir con absoluta precisión del momento (día y hora), lugar e intensidad donde se producirá. Su ocurrencia, de acuerdo a su magnitud, puede provocar “desastres” o “catástrofes”, que involucran desde la pérdida de vidas humanas y graves daños en la infraestructura edilicia, caminos, etc., así como pérdidas económicas. Los riesgos naturales se dividen, según su origen en: GEOLÓGICOS, METEOROLÓGICOS O CLIMÁTICOS Y BIOLÓGICOS.

Los **riesgos geológicos** pertenecen al grupo de los riesgos naturales y son los que causan las mayores catástrofes naturales. Se subdividen en:

- Los originados directamente por la dinámica de los procesos geológicos internos: volcanes, terremotos y tsunamis.
- Los derivados directamente de la dinámica de los procesos geológicos externos: inundaciones y movimientos gravitacionales.
- Los inducidos o provocados por la intervención y modificación directa del ser humano sobre el medio geológico o la dinámica de diversos procesos geológicos naturales: derrumbes por la inestabilidad debido a obras públicas como carreteras en zona de montaña, inundaciones por la construcción de presas y diques.

Fenómenos hidrometeorológicos: son aquellos que tienen por origen un elemento en común: el agua. Este tipo de fenómenos tiene la capacidad de ocasionar efectos negativos en las esferas ambiental, económica y social cuando se presentan de manera extraordinaria, sobre todo en sitios identificados de alto riesgo, cuyas poblaciones son especialmente vulnerables. Es importante señalar, que este tipo de fenómenos se encuentra íntimamente ligado a los procesos atmosféricos, es decir, las condiciones meteorológicas extremas son la principal causa de este tipo de riesgo, lo que se traduce en precipitaciones extremas, sequías, inundaciones, entre otros.

Riesgos Antrópicos: los riesgos de origen antrópico pueden ser originados intencionalmente por el hombre o por una falla de carácter técnico, la cual puede desencadenar una serie de fallas en serie causando un desastre de gran magnitud. Entre ellos tenemos desforestación, incendios, sobreexplotación de recursos, contaminación, etc.



Gestión del Riesgo: de acuerdo con la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (EIRD) la gestión del riesgo se define como el conjunto de decisiones administrativas, de organización y conocimientos operacionales desarrollados por sociedades y comunidades para implementar políticas, estrategias y fortalecer sus capacidades a fin de reducir el impacto de amenazas naturales y de desastres ambientales y tecnológicos consecuentes. La lucha contra los riesgos naturales contempla la prevención, la predicción, la intervención inmediata y la resiliencia.

Prevención: abarca todas las medidas realizadas con anticipación a fin de disminuir o evitar los daños producidos como consecuencia del desencadenante del riesgo en cuestión.

Predicción: hace referencia a la anticipación del fenómeno con mayor o menor antelación, lo cual dependerá del tipo de fenómeno. La predicción está limitada no solamente por el conocimiento de los factores que intervienen en la manifestación del propio riesgo, sino también por las limitaciones de las técnicas de predicción.

Intervención Inmediata: se refiere a la gestión del riesgo una vez desencadenado (seguimiento, salvamento, evacuación, coordinación de los cuerpos implicados, etc.).

Resiliencia: si bien es una terminología que nace desde la medicina, más que todo en los psico-social, se ha adaptado esta terminología al medio ambiente para expresar la capacidad de un sistema, comunidad o sociedad para resistir, adaptarse, absorber y recuperarse de los efectos de un desastre, de forma oportuna y eficaz.

La **prevención, predicción e intervención inmediata** no son aspectos desvinculados entre sí, sino que se pueden considerar incluidos dentro de lo que hoy en día es conocido como “**mitigación**”, mientras que la **resiliencia** va más allá, estando incluidas aquí las compensaciones por daños (seguros) y los decretos o medidas extraordinarias enfocadas a la ayuda para la recuperación de las zonas afectadas, tales como el establecimiento de beneficios fiscales.

Análisis de Riesgo: para poder llevar a cabo la gestión adecuada del riesgo, es necesario la aplicación de estas medidas de seguridad, lo cual sirve como base para detectar errores en los planes de desarrollo de una población. Consiste en estimar las pérdidas probables para los diferentes eventos peligrosos posibles, por medio de estudios y análisis de identificación y evaluación de amenazas y vulnerabilidades.

Teniendo determinado cual o cuales serían los posibles riesgos, deben ser analizados a partir de tres pasos fundamentales:

- **Evaluación de Amenazas:** el principal objetivo de una evaluación de amenazas (o de peligros) es predecir o pronosticar el comportamiento de los fenómenos naturales potencialmente dañinos o, en su defecto, tener una idea de la probabilidad de ocurrencia de dichos fenómenos para diferentes magnitudes. Se realizan observaciones, mediciones de campo, análisis y revisión de información científica disponible (mapas, fotos aéreas, informes, etc.), con el fin de conocer la probable ubicación y severidad de los eventos naturales peligrosos, así como la probabilidad de que ocurran en un tiempo y área específica.
- **Evaluación de la Vulnerabilidad:** es el proceso mediante el cual se determina el nivel de exposición y predisposición a daños y pérdidas, ante una amenaza



específica. Consiste en la identificación y evaluación de los elementos vulnerables y la estimación del porcentaje de pérdidas resultante de un fenómeno peligroso. Es importante saber, en una sociedad, cuáles son los factores o causas que conllevan a la construcción de vulnerabilidad (o a su reducción). Por ejemplo, recursos económicos insuficientes o conocimientos inapropiados acerca de las amenazas, hace que se construyan viviendas, infraestructuras y vías de comunicación en zonas de peligro.

- **Estimación del Riesgo:** consiste en relacionar los dos parámetros anteriores, teniendo en cuenta el nivel de amenazas y el grado de vulnerabilidades, mostrando una zonificación que indique el peligro de un determinado evento, con el fin de inferir las consecuencias sociales, económicas y ambientales de dicho evento.

El alcance de los estudios y el tipo de metodología para la evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y la estimación del riesgo dependen de:

- ✓ La escala del espacio geográfico involucrado.
 - ✓ El nivel y tipo de decisiones de mitigación que se espera tomar.
 - ✓ La información disponible, factible y justificable de conseguir.
 - ✓ La importancia económica y social de los elementos expuestos.
 - ✓ La consistencia entre los niveles de resolución posibles de obtener en cada etapa de la evaluación.
- **Recomendaciones:** una vez identificado un sitio de coexistencia de vulnerabilidad y amenazas, y evaluado el riesgo asociado, se pueden elaborar las correspondientes recomendaciones para la reducción de riesgos. En particular, las evaluaciones de riesgo sirven como base para incorporar medidas de mitigación, lineamientos de uso del suelo y otras recomendaciones a los planes estratégicos de desarrollo a nivel nacional, municipal, de cuencas e inclusive a nivel micro en el diseño de proyectos de construcción o infraestructura. Al momento de proponer las recomendaciones de prevención activa, siempre deben tomarse en cuenta las posibilidades financieras y técnicas del municipio y el nivel de riesgo existente. Una propuesta costosa o muy complicada no será aplicada debido a las condiciones de los mismos.

En base a lo mencionado, puede concluirse que el **análisis de riesgo** en particular es un procedimiento fundamental para el ordenamiento territorial, lo que permita actuar ante un riesgo y concebir planes para reducir los desastres, medidas de contingencia y proyectos u obras que contemplen un ordenamiento territorial eficiente, especialmente cuando se trata de determinar la aptitud ambiental de posibles zonas de expansión urbana o de localización de nueva infraestructura.

1.7. AREA DE ESTUDIO

1.7.1. UBICACIÓN Y VIAS DE ACCESO

El área de estudio se encuentra ubicada en la Sierra de Belén en la ladera sur-oriental, delimitada entre las coordenadas 27°37'29.13" de latitud S - 67° 1'26.55" de longitud O,



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

sobre Ruta Nacional 40, posee una extensión de 11 Km aproximadamente, y está ubicada al oeste de la provincia de Catamarca, a 309 Km de la ciudad Capital. Limita hacia el norte con la provincia de Salta, al nor-oeste con el departamento Antofagasta de la Sierra, al oeste y al sud-oeste con el departamento Tinogasta, al sud-este con el departamento Pomán, y al este con los departamentos Santa María y Andalgalá.

Belén cuenta con 6 distritos catastrales, a saber: Belén, Londres, Puerta de San José, La Ciénaga, San Fernando y Hualfín.

Para acceder al área de estudio desde San Fernando del Valle de Catamarca (Fig. 6), se transita por la Ruta Nacional 38, pasando por la localidad de Chumbicha, hasta empalmar con RN 60, luego de circular por la Quebrada de La Cébila, atraviesa las localidades de Aimogasta y Alpacinche (ambas localidades pertenecientes a la Prov. De La Rioja), hasta interceptar el cruce con RN 40 en la localidad de Cerro Negro, se continúa por esta, atraviesa las localidades de Londres y Belén, a partir de allí se dirige hacia el norte por la misma ruta, hasta llegar a la Quebrada de Belén, que conecta la Puerta de San José con la ciudad de Belén.

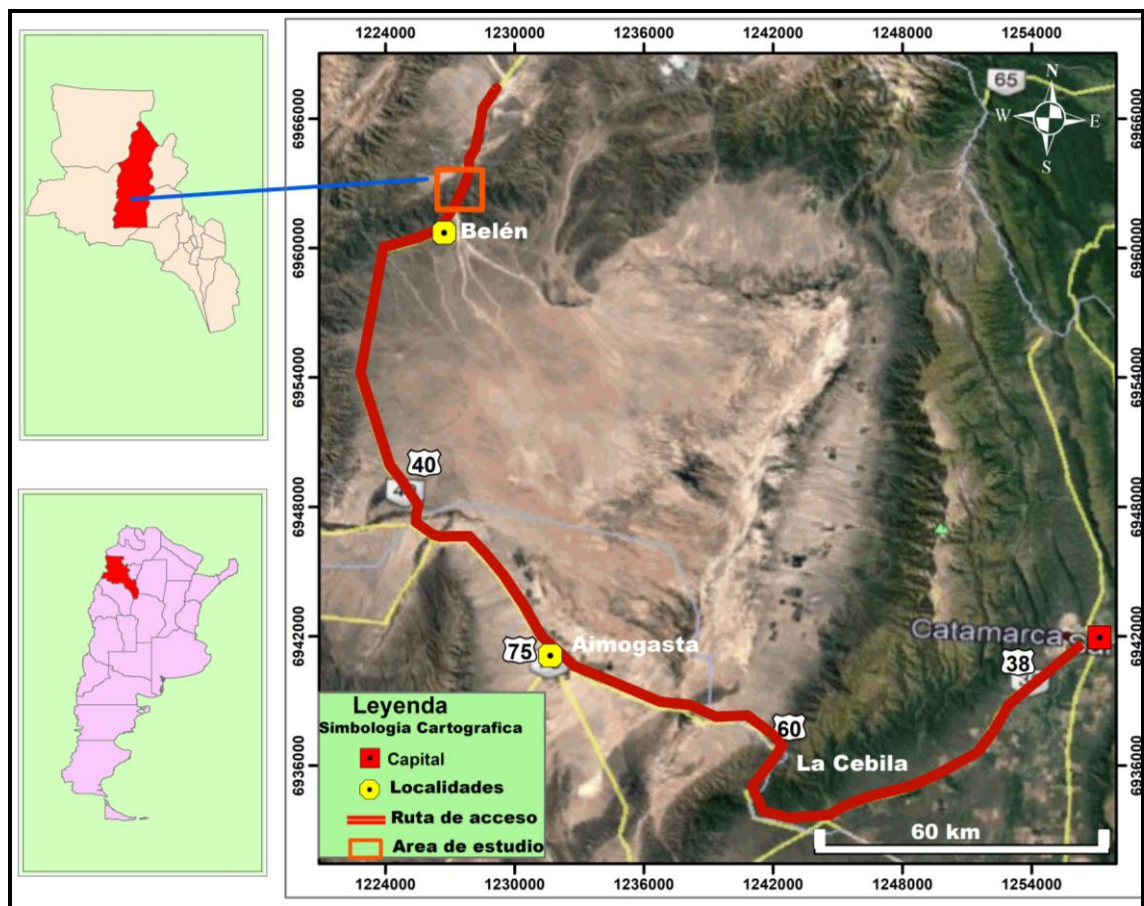


Figura 6: Ubicación y Vías de Acceso al área de Estudio.
Fuente: Elaboración propia en base a Imagen tomada de Google Earth.



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

Es necesario aclarar que el área de estudio se divide en dos sectores (Fig. 7)

- Sector I: comprende un tramo de la quebrada por donde circula la RN 40, y se encuadra entre las coordenadas 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O y 27°35'23.21"S - 67° 0'41.69"O.
- Sector II: abarca otra zona de la quebrada de Belén y se ubica entre las coordenadas 27°37'29.13"S - 67°1'26.55"O y 27°33'20.18"S - 67° 0'31.74"O

Para dar cumplimiento por lo establecido por la Comisión de Seguimiento, se ha dividido el área en dos sectores que son analizados particularmente por cada alumno autor de la presente investigación. El SECTOR I fue analizado por Sánchez, Nelson Ramón, mientras que el SECTOR II analizado por García María Fernanda Leticia. Se realizaron en forma conjunta las conclusiones y recomendaciones para el área considerando ambos sectores.

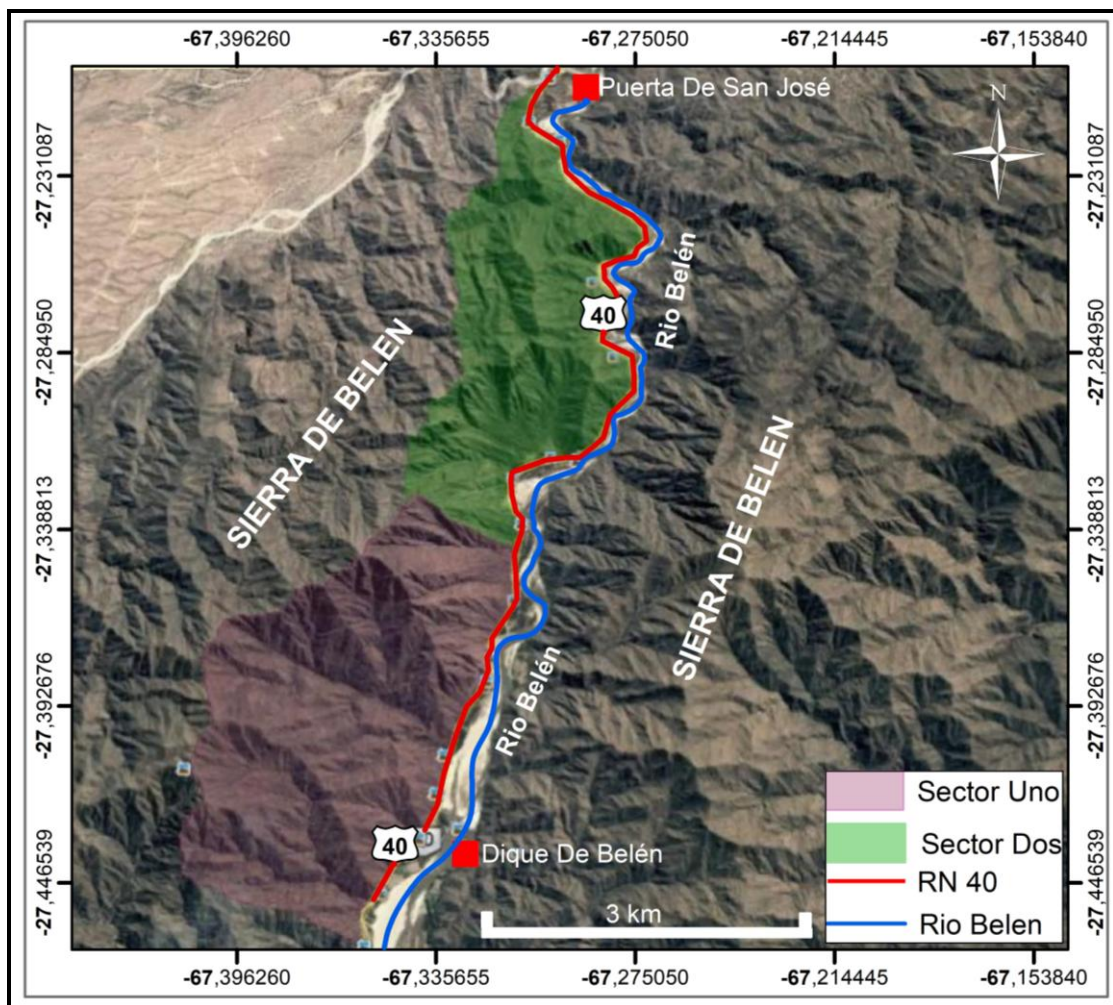


Figura 7: Área de Estudio Completa
Fuente: Elaboración propia





CAPÍTULO II: DESCRIPCION DEL AMBIENTE



2.1. GEOLOGIA REGIONAL Y LOCAL

2.1.1. GEOLOGIA REGIONAL

El área de estudio se encuentra emplazada en la provincia geológica de Sierras Pampeanas, esta unidad, así denominada por Stelzner (1873), se caracteriza por comprender una serie de Sierras formadas por cuerpos cristalinos y metamórficos que emergían de las pampas circundantes. Esta provincia geológica actualmente es subdividida en dos provincias de características diferentes según lo propuesto por (Caminos, 1979), las Sierras Pampeanas septentrionales y australes (*Fig. 8*).

Más tarde (Ramos et al., 1988) las define como Sierras Pampeanas Occidentales y Orientales.

Las Sierras Pampeanas Orientales corresponden a un orógeno generado durante el Proterozoico, con una colisión cercana al límite Precámbrico - Cámbrico, que sería responsable del magmatismo y metamorfismo de esa edad (Ramos, 1988; Rapela y Pankhurst, 1996). Abarcaría las Sierras de Córdoba Norte, las Sierras Grandes y Chicas de Córdoba y la Sierra de Comechingones, con la parte más oriental de la Sierra de San Luis. Están caracterizadas por rocas metamórficas proterozoicas, en las que se emplazan granitoides calcoalcalinos asociados a subducción (Lira et al; 1997) y que corresponderían a un arco magmático de edad proterozoico.

Los granitos postcolisionales tendrían una edad cámbrica basal (Rapela y Pankhurst, 1996). En forma póstuma y postectónica se emplaza al batolito de Achala de edad silúrica (Rapela et al; 1982) a carbonífera inferior (Rapela et al; 1991b).

El basamento de las Sierras Pampeanas Occidentales, entendiéndose como tal al que constituye las Sierras Pampeanas de Tucumán, Catamarca, La Rioja, San Juan y el sector occidental de San Luis corresponde a un orógeno Eopaleozoico (Ramos, 1988). Esta caracterizado por metamorfitas y migmatitas con una edad de metamorfismo Ordovícica, que alojan una serie de granitoides calcoalcalinos. La composición de estos intrusivos varía de gabros tholeíticos, a tonalita y granodioritas asociadas a subducción, de edad Cámbrica a Ordovícica media y que culmina con granitos postcolisionales de edad Ordovícica superior a Devónica basal. Granitos apotectónicos se emplazan en el Carbonífero inferior.

Ambos sectores de las Sierras Pampeanas están cubiertos por sedimentitas continentales de edad Neopaleozoica correspondiente al grupo paganzo (Bodenbender, 1911; Salfity y Gorustovich, 1984) asociadas a eventos glaciares del Carbonífero superior y que registran frecuentes niveles piroclásticos procedentes de la Cordillera Frontal.



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

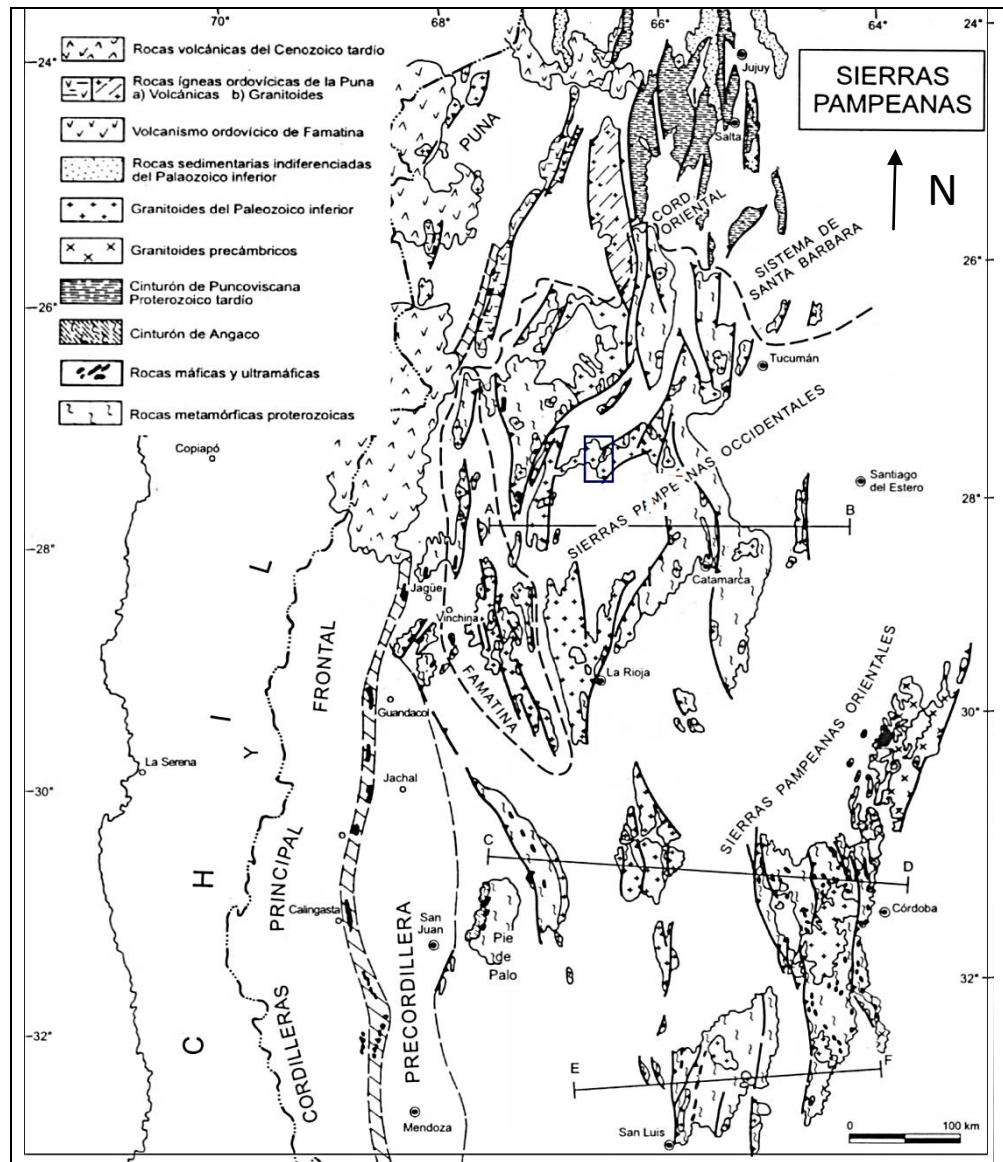


Figura 8: Rasgos principales de las Sierras Pampeanas y su relación con Provincias Geológicas adyacentes. (Geología Argentina - SEGEMAR. Año 1999, fig. 22, pág.62). el cuadro azul muestra el área de estudio.

2.1.2. GEOLOGÍA LOCAL

ESTRATIGRAFIA

El área de estudio como se indicó anteriormente, pertenece a la provincia geológica de Sierras Pampeanas, descrita en la Hoja Geológica 13 d Andalgalá - Capillita, Hoja Geologica 13 c Fiambala, y Hoja Geológica 2766-III Belén.

Según la unificación de la Hoja Geológica 2766 III, mencionada precedentemente, se describe la estratigrafía de la zona como sigue (Tabla A): las unidades litológicas más antiguas constituyen el basamento, donde intervienen rocas metamórficas y graníticas de edad precámbrica a paleozoica inferior. Así se identifican los esquistos, gneises y



migmatitas de la Formación Loma Corral, Formación Suncho y Formación Famabalasto. En el extremo sur de la sierra de Fiambalá se identifica el Ortogneis La Puntilla, que consiste en un granitoide tonalítico metamorfizado. También en la sierra de Fiambalá se identifican rocas máficas y ultramáficas estratificadas de edad cambro-ordovícicas. Fajas de milonitización de probable edad pre-Carbonífera afectan a todo este paquete litológico. Granitos carboníferos (Granito los Ratones y La Florida) sellan las fajas de deformación milonítica (Fig. 9).

Sobre una peneplanicie pre-cenozoica, labrada sobre el basamento, se depositan sedimentitas de probable edad cretácica a paleógena y las secuencia neógena del Grupo Santa María. El volcanismo neógeno está bien expuesto en la parte suroeste del campo del Arenal, representado en su mayor parte por el Complejo Volcánico Farallón Negro. El volcanismo y la sedimentación neógena se desarrollan en una zona de transtensión, generando una cuenca pull-apart - entre el bloque de basamento Aconquija - Capillitas al sur-este y el bloque de las sierras Altohuasi - Hualfín al norte-oeste. La proximidad del complejo volcánico al borde austral de la Puna sugiere que su formación pudo estar controlada por una compleja interacción entre efectos relacionados a la subducción, esfuerzos compresivos asociados con el alzamiento de la Puna e inhomogeneidades previas en el basamento.

Los depósitos cuaternarios se han depositado principalmente en dos grandes cuencas intermontanas: el Campo del Arenal y el bolsón de Pipanaco. En menor proporción hay depósitos ubicados en algunos valles. En las partes altas de la sierra del Aconquija se observan rasgos de actividad glacial cuaternaria.

- **PRECAMBRICO A PALEOZOICO**

Formación Loma Corral (Vendiano – Cámbrico)

Antecedentes:

Turner (1962) denomina de esta forma a las metamorfitas de bajo grado que afloran en ambas márgenes del río Vicuña Pampa y en los faldeos occidental y oriental de la sierra Chango Real. El mismo nombre formacional fué utilizado por Ruiz Huidobro (1975) al mapear las rocas aflorantes en el extremo norte de la sierra de Fiambalá y en los cerros Pabellón, Bayo y Negro. En la sierra de Altohuasi, Ruiz Huidobro (1975) mapeó un grupo de afloramientos como prolongación de los anteriores, según un brazo oriental.

González Bonorino (1950) representó extensos asomos de metamorfitas en el faldeo occidental de la sierra de Aconquija y en una faja que va del río Villa Vil (Andalgalá) hasta el faldeo occidental de la sierra de Ambato, a la altura de la quebrada de la Campana. Este autor también reconoció esquistos de bajo grado en la falda oriental de la sierra de Zapata, aunque sin darle nombre formacional. Ahumada (1979) designó bajo el nombre de "esquistos inferiores" a las metamorfitas de la Cuesta de La Chilca.

Toselli *et al.* (1992) describieron las metamorfitas del borde oriental de la sierra de Zapata en localidad La Ramada.

La homogeneidad litológica y textural de los afloramientos permite considerar a las Formaciones Loma Corral y las rocas asignadas a "esquistos inferiores" de la Cuesta de La



Chilca, así como las metamorfitas del borde oriental de la sierra de Zapata como similares y asignarlas en conjunto a una sola unidad con la denominación de Formación Loma Corral.

Litología:

Corresponden a rocas esquistosas de bajo grado, en su mayoría pizarras, filitas, filitas cuarzosas y micacitas homogéneas de color gris a verde oscuro. En menor proporción se reconocen texturas bandeadas y variedades pobremente esquistosas formadas principalmente por cuarzo y feldspatos subordinados, con cantidades variables de mica. Las variedades micáceas poseen brillo satinado y marcada esquistosidad. Ocasionalmente, estas rocas muestran pasajes transicionales a variedades de mayor grado metamórfico, si bien en la mayoría de las localidades observadas este contacto es abrupto. En las Cumbres del Nevado (sierra de Aconquija), sierra de Belén, sierra de Zapata, cordón de Los Colorados y sierra de Papachacra el reconocimiento de las unidades del basamento se ve complicada por la presencia de grandes volúmenes de intrusivos graníticos que han desmembrado los paquetes de esquistos.

En la sierra de Belén, en el área cercana a la Aguada de la Toma, se encuentran afloramientos aislados de esquistos de grano fino distribuidos entre otros asomos, también de grano fino pero de rocas esquistosas de mayor grado metamórfico, algunas con evidencias de metamorfismo de contacto sobreimpuesto.

Relaciones estratigráficas:

Las metamorfitas de la Formación Loma Corral, constituyen la caja de numerosos intrusivos. Sobre ella se apoyan sedimentitas terciarias y cuaternarias.

Edad y correlaciones:

Tanto González Bonorino (1972) como Ruiz Huidobro (1975) asignan una edad prepaleozoica a las metamorfitas de bajo grado. Algunas determinaciones radimétricas sobre roca total, con el método K/Ar han dado valores de 395 ± 15 Ma; 410 ± 15 Ma y 456 ± 15 Ma (Toselli y Aceñolaza, 1978). Se interpreta que estos datos corresponden en realidad a temperaturas de cierre vinculadas con el calentamiento producido por las numerosas intrusiones magmáticas y no a una temperatura de formación de la roca metamórfica. Se considera el Precámbrico superior (Vendiano) – Cámbrico inferior como el entorno de edad probable de estas rocas.

- **VENDIANO – ORDOVÍCICO**

Granitos deformados - Granitoides sensu lato

(Plutones La Puntilla, La Primavera, Chango Real, Belén, Capillitas, Zarzo y Arenal)

Distribución areal:

Corresponden a granitos cuya edad se ha establecido como del Paleozoico inferior. Los cuerpos reconocidos en la literatura como **Granitos Pampeanos** corresponden a intrusivos



del Precámbrico superior - Cámbrico inferior y **Granitos Famatinianos** es el nombre que designa a los granitoides del Ordovícico-Silúrico.

Se encuentran irregularmente distribuidos en la mayoría de las sierras de la región y están estrechamente relacionados con las áreas migmatíticas. En general son de tamaño variable y pueden formar una alta densidad de asomos. Así se observan, por ejemplo en la Sierra de Fiambalá, a la latitud de Anillaco (Ortogneis de La Puntilla) y en el norte, por la quebrada del río Grande (Granito II de Penck o La Primavera). En la sierra de Culampajá, aflora un granitoide conocido como Formación Chango Real. Otros se reconocen hacia el sur, en la Quebrada de Belén y sierra homónima, como así también los asomos que se extienden hacia el este, comprendiendo las serranías de las Cumbres del Venado y Cuesta de Belén. Otro grupo importante de granitoides aflora en la sierra de Capillitas, Santa Bárbara y se prolonga hacia el sur hasta los alrededores de Andalgalá. Estas rocas se conocen como Granito Capillitas.

Litología:

En general la composición no es homogénea; se reconocen desde granitos hasta tonalitas. Son rocas de colores claros, formadas por feldespatos y cuarzo en forma dominante. En algunos de ellos es común encontrar minerales accesorios que les confieren a las rocas un carácter peraluminoso (muscovita, cordierita y silicatos de aluminio). Son comunes las texturas de reacción o reemplazo como mirmequitas y pertitas. Estas rocas muestran variaciones texturales primarias y diferencias en la cantidad y tipo de minerales accesorios y sus alteraciones. Sin embargo todos tienen en común que están deformados, ya sea frágil o dúctilmente.

Se reconoce la sierra de Belén conformada en su mayor parte por granitoides que fueron descriptos por primera vez en las hojas geológicas realizadas por González Bonorino (1950). Estas rocas se encuentran afectadas por deformación cataclástica o milonítica, donde se dan dos importantes fajas de milonitización, una en las cercanías del Cerro Pampa y otro a lo largo de la quebrada de Belén; esta última tiene rumbo NO, una ancho variable entre 500 y 800 metros y consiste en una zona de intensa deformación. La roca está compuesta por cristaloblastos de microclino y cuarzo (a veces azulado) inmerso en pasta de sericita, muscovita y biotita con estructura de fluxión.

Donde el granito no se encuentra afectado por la cataclasis, presenta esquema de fracturación relativamente sencillos, con predominio de fracturas de NE-SO y muy escaso diaclasamiento horizontal (Eremchuk J. et al, 1984).

En la quebrada de Belén aflora un granitoide deformado, con textura porfiroclástica formado por porfiroblastos de microclino perítico distribuidos entre un mosaico recrystalizado de grano fino, formado principalmente por tectosilicatos, cuarzo y cantidades menores de feldespatos con uniones triples entre granos. Entre los tectosilicatos se disponen minerales micáceos formando cintas subparalelas. La deformación de la roca no impide distinguir microtexturas gráficas relicticas en el feldespato alcalino. En las facies sin deformación con texturas porfiroides. Lazarte et al. (1999) identifican cordierita como megacrístales cloritizados y muscovitizados.

La cuesta de Belén bordea el límite sur de una serranía denominada Cumbres del Venado. En este sector los granitoides muestran rasgos estructurales de deformación similares a los



observados en la quebrada de Belén. Las rocas están constituidas por cuarzo, biotita, plagioclasa, feldespato alcalino y silicato de aluminio reemplazado en parches por material micáceo, con accesorios menores como apatita, circón y minerales opacos. Asimismo se ha detectado una variedad que se caracteriza por preservar rasgos texturales de emplazamiento somero, como lo son las texturas simplectíticas entre cuarzo y feldespato alcalino. Estas rocas contienen enclaves hornfelizados formados por plagioclasa, cuarzo, biotita minerales opacos, apatita y circón.

Relaciones estratigráficas:

Los afloramientos reconocidos en la sierra de Belén corresponden a un intrusivo con contactos subconcordantes con la roca de caja y algunas de sus facies muestran deformación interna subparalela al contacto.

Edad y correlaciones:

Con respecto a Chango Real hay un número de determinaciones que van desde 505±20 Ma; 441±15 Ma; 430±15 Ma a 408±15 Ma (González et al, 1985). Por último hay dos determinaciones K/Ar sobre biotita con edades de 498±15 Ma y 474±15Ma (García y Rossello, 1984). Dadas las características texturales, se asigna a esta unidad al lapso Precámbrico superior - Paleozoico inferior. Otros cuerpos considerados en esta sección no cuentan con dataciones radimétricas a la fecha y se ha asignado su edad paleozoica inferior por relaciones estratigráficas.

- **MESOZOICO A CENOZOICO**

Cretácico – Paleógeno

Formación Hualfín

Areniscas rojas

Antecedentes:

La Formación Hualfín ha sido definida por Muruaga (1998, 2001) indicando como localidad tipo los afloramientos de las márgenes del río Villa vil entre las localidades de Villa vil y Hualfín.

El término Calchaquense fue asignado por Bodenbender (1911) a ciertos horizontes rojos y gris verdosos que consideró poscretácicos en la Provincia de La Rioja. Con criterio regional, González Bonorino (1950) reconoció dos divisiones fundamentales en el Neógeno comprendido en la actual Hoja Belén: 1) Calchaquense, unidad inferior texturalmente más fina y varicolor y 2) Araucanense, o unidad superior de areniscas y conglomerados pardos y grises con niveles de tobas blancas. Esta división fundamental persistió por muchos años y fue crucial en los estudios geológicos del Neógeno de las sierras Pampeanas. Sin embargo, los términos Calchaquense o Calchaquí utilizados como unidades litoestratigráficas no concuerdan con las indicaciones del Código Argentino de Estratigrafía (CAE) respecto a este tipo de unidades y en consecuencia no resultan convenientes.



Sosic (1963) definió Formación río Colorado a los afloramientos ubicados entre las sierras de Zapata y Vínquis y en la quebrada de la Chilca. En tanto González Bonorino (1972) los atribuyó al Calchaquense. Si bien la denominación Formación río Colorado es anterior a la creación de la Formación Hualfín, aquella implica afloramientos muy limitados en espesor y extensión y muy poco representativos regionalmente, en consecuencia se propone desacreditar el uso de aquel nombre y conservarlo como Formación Hualfín.

Bossi et al. (1987, 1993) consideraron esta unidad como parte de la sobreyacente Formación Las Arcas, en tanto que Muruaga (1998, 2001) diferenció ambas unidades rojas, mediante el contacto disconforme entre ellas.

Distribución Areal:

Pueden encontrarse afloramientos en la sierra de Belén, Cerro Pampa, cerro El Durazno (occidental), El Suncho, en la depresión de Las Juntas y entre el río Las Morcillas y la sierra del Venado.

En la Puerta de San José, la unidad tiene rumbo N60°E/50° junto al basamento, esta inclinación decrece a 15° a la altura de las coladas basálticas, una distancia aproximada de 400 metros. Los depósitos se componen de areniscas medianas a gruesas y conglomerados en capas lenticulares irregulares con rodados angulosos de granito y feldespatos.

Ambiente sedimentario:

El tipo de sedimentación que domina en la unidad es de capas delgadas tabulares laminadas paralelas o con ondulitas, con evidencias de haber sido acumuladas con exceso de agua (convoluciones y escapes de fluidos), las pelitas también están laminadas, bioturbadas y ocasionalmente con grietas de desecación en el contacto con areniscas. Los rodados son redondeados y pequeños de proveniencia metamórfica o granítica generalmente concentrados en las capas basales. Existen pocas capas de estratificación cruzada y en ocasiones aparecen en cuerpos de arena media con extensiones de algunas decenas de metros y con base cóncava erosiva. Los sedimentos acumulados corresponden a una planicie con corrientes en manto por donde discurrían canales de escasa relevancia posiblemente efímeros.

Relaciones Estratigráficas:

La Formación Hualfín se apoya en no-conformidad sobre la penillanura labrada en el basamento cristalino granítico-metamórfico. A su vez es cubierta en disconformidad o discordancia angular por la Formación Las Arcas.

Paleontología:

Hasta el momento no se han encontrado fósiles en esta unidad, salvo trazas de vermes en las pelitas.



Edad y Correlaciones:

En la Puerta de San José, recostada sobre el faldeo norte de la sierra de Belén aparecen depósitos de areniscas y conglomerados rojizos, comparables a las reconocidas en el perfil del cerro Pampa a la altura del Puesto Quillay y que se atribuyen a la Formación Hualfín (Bossi et al., 1999). Por encima de estos depósitos de areniscas y conglomerados siguen dos coladas basálticas correspondientes al *Basalto de la Puerta de San José* (González Bonorino, 1972) separadas por un conglomerado basáltico intermedio, parcialmente cementado por calcita. La colada inferior de este basalto fue datado mediante K/Ar (roca total) en $131,0 \pm 4,0$ Ma (Rosello et al., 1999) arrojando con esto una edad Cretácico inferior. Sin embargo, aun las porciones más frescas, macizas y afaníticas observadas al microscopio lucen muy alteradas, de manera que la datación debería considerarse preliminar.

Se considera posible que la Formación Hualfín sea equivalente a la Formación Saladillo en el valle de Santa María en base a correlaciones regionales auxiliadas con las líneas sísmicas del Campo del Arenal y valle de Santa María donde el contacto entre ambas unidades está definido por un marcado contraste de impedancia y dos planos reflectores contiguos, muy intensos y continuos. En tal caso la unidad podría tener una edad paleógena-cretácica.

• CUATERNARIO

El cuaternario está representado por; sedimentos aluviales de valle, de piedemonte, y de conos de deyección - sedimentos eluvio-eolicos de falda.

Los sedimentos aluviales son los más extensos y potentes. Forman en primer lugar el relleno de los valles y de los campos como el de Belén.

En el campo de Belén, los sedimentos más o menos gruesos de los conos aluviales se sumergen debajo de los depósitos arenosos y loessicos del campo. Los sedimentos que constituyen el cono aluvial del río Belén son más finos que los de otros ríos de la cuenca. En la propia quebrada de Belén, son arenas de grano mediano, provenientes en su mayor parte de la desintegración de las capas terciarias de la depresión de Corral Quemado.

En el relleno de las depresiones interiores encontramos asimismo una sección de grano fino, que forma la parte visible de las terrazas más antiguas, sobre todo a cierta distancia de las sierras. Los cañadones que la surcan contienen, en cambio, material reciente de grano más grueso (arena gruesa, gravilla y grava). Estos sedimentos finos están muy bien desarrollados, por ejemplo en la depresión situada al noroeste de la sierra de Belén, especialmente en su parte sudoeste. Su espesor es allí algunas decenas de metros, y están cubiertos por fanglomerados. Se trata de capas espesas de limo loessico grueso, friable, de color castaño claro y grano muy seleccionado. Por su carácter fino y homogéneo, y por su color, estos sedimentos pueden parecer a primera vista de edad terciaria, el contacto con el basamento de la sierra. La composición de estos sedimentos es; cuarzo, plagioclasa, biotita, moscovita, yeso, algo de piroxeno y anfíbol; los granos son más bien angulosos, aunque bien seleccionado en tamaño. Este limo loessico aparece también en forma de lentes intercaladas en los fanglomerados de la parte superior.

Esta arena fina o limo castaño se encuentra asimismo en forma de lentes, dentro del fanglomerado de la parte superior.



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

Las faldas de las sierras están cubiertas por una capa más o menos delgada de material friable, en cuya formación intervienen eluviación, solifluxión y depositación eólica. En la parte occidental, ésta cubierta es generalmente delgada y discontinua; en el este, en cambio puede alcanzar varios metros. En las sierras del oeste es de grano irregular, con abundantes trozos grueso de la roca subyacente; en el este es de grano fino y relativamente homogéneo.

Esta cubierta está bien desarrollada en las sierras de Zapata Norte, cerro Shincal, Los Colorados y parte norte de la Sierra de Belén, en general, allí donde la humedad es mayor; por esa misma razón es más gruesa en la parte alta de la sierra.

El color del sedimento es gris a gris castaño claro, y su grano corresponde a arena fina mezclada con limo y arcilla. En la parte inferior pueden contener trozos de roca. En la (figura 9) se observa la geología del área de estudio, se puede consultar la Carta Geológica en formato A3 en el capítulo de ANEXOS.

Era	EDAD	PERIODO	FORMACION		LITOLOGIA
CENOZOICO	CUATERNARIO				Sedimentos aluviales de valle de piedemonte y de conos de deyección
	TERCIARIO	PALEOGENO	FORMACION HUALFÍN		Areniscas rojas, conglomerados y fanglomerados
MESOZOICO	CRETÁCICO				
PALEOZOICO	PRE CARBONIFERO		FORMACION LOMA CORRAL	FAJA MILONÍTICA	Milonitas
	ORDOVICICO			GRANITOS DEFORMADOS DE BELÉN	Granitos a tonalitas
	CÁMBRICO				
PRECÁMBRICO	VENDIANO				Esquistos de grano fino

Tabla N° A: Cuadro Estratigráfico elaborado a partir de la Hoja Geológica 2766 III Belén. Fuente: elaboración propia.



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLÓGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

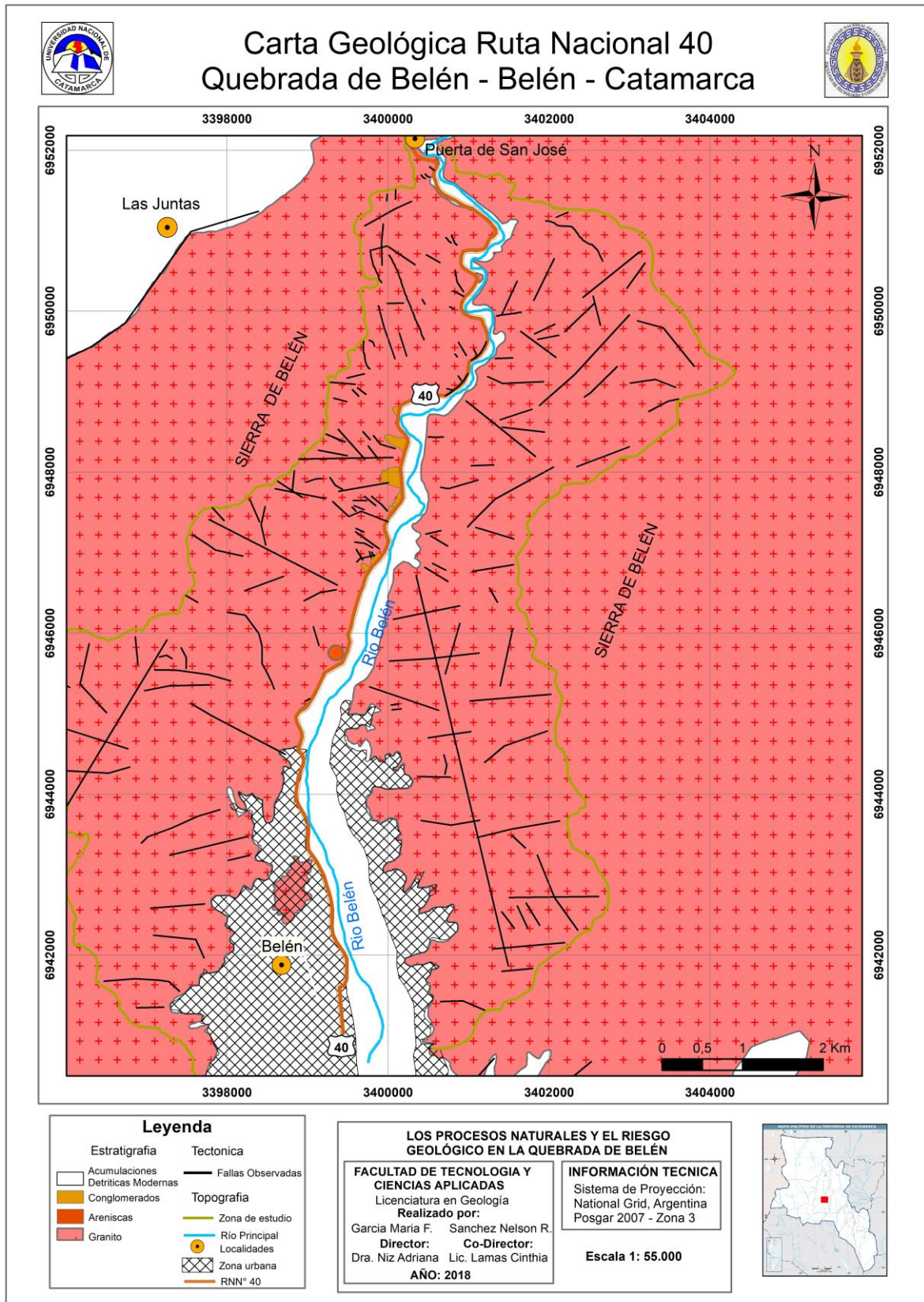


Figura N° 9: Geología del área de estudio. Fuente: elaboración propia.



2.2. ESTRUCTURA

La zona de estudio se enmarca en la unidad morfoestructural de Sierras Pampeanas. La estructura característica corresponde a bloques de basamentos cristalino levantadas por fallas inversas.

En una vista regional del área, las Sierras Pampeanas muestran un abrupto cambio de orientación regional de sus cordones serranos, que de N-S pasan a NE-SO en el borde suroriental de la Puna. González Bonorino (1950) reconoció esta flexión como un reflejo del levantamiento de la Puna.

El lineamiento de Tucumán (LT; Mon, 1976) alcanza una importancia regional y representa una estructura transpresiva mayor, que atraviesa los Andes en dirección N50° a N60° con movimiento transcurrente dextral (Jordan et al., 1983). Este lineamiento es el responsable de la inflexión que experimentan las Sierras Pampeanas con rumbo NE-SO. Esta flexión corresponde una zona de cizalla dextral de 100 km de ancho, asociada a fallas paralelas de rumbo NE-SO que limitan bloques de basamento y cuencas cenozoicas. El lineamiento de Tucumán parece constituir una antigua estructura que refleja esfuerzos ocurridos a escala litosférica desde el Precámbrico y que fuera reactivada en el Cenozoico.

El lineamiento de Tucumán parece representar un antiguo rasgo cortical reactivado parcialmente, a modo de rampa lateral durante la deformación Cenozoica (González y Mon, 1996). Esta estructura también podría representar parte del *detachment* extensional mesozoico, luego reactivado e invertido durante el Cenozoico (Kley et al., 2004).

En general todo el sistema andino muestra importantes variaciones estructurales hacia el sur de este lineamiento como: Reducción de su ancho, disminución de la topografía, desaparición del volcanismo neógeno y la horizontalización de la placa subductada (flatslab). Este lineamiento es el responsable de la inflexión que experimentan las Sierras Pampeanas con rumbo NE-SO.

La morfología actual de la región responde a la orogenia Andina (González Bonorino, 1950), no obstante el basamento cristalino muestra evidencias de importantes episodios tectónicos previos. Por ello se describen en adelante los efectos de una tectónica pre-cenozoica y una tectónica cenozoica o andina.

- **Movimientos Pre-Cenozoico**

Los bloques sobreelevados de basamento muestran indicios de la fase Oclóyica del Paleozoico inferior. Esta posición “sobre-elevada” del basamento no está relacionada a una estructura cenozoica, sino que es una característica ya heredada desde Paleozoico Inferior (Fernández Garrasino, 1989). Así, se identifica una relación directa entre la intensidad de la deformación oclóyica y la magnitud del levantamiento. También es probable que las fallas con vergencia al oeste representen elementos estructurales correspondientes a la fase oclóyica y que pudieron ser reactivadas posteriormente (Jordan y Allmendinger, 1986; Mon, 1993).

Las fallas oclóyicas elevaron el basamento cristalino a partir del Ordovícico superior. No obstante la estructura oclóyica no debió ser un único factor condicionante de la estructura. Jordan et al. (1983) indican una correlación entre las estructuras oclóyicas y el cambio de ángulo de subducción de la placa de Nazca.



La superficie de erosión pre-cenozoica labrada en el basamento cristalino está bien expuesta en las sierras centrales, donde abundan los granitos (sierra de Hualfín, bloque del Durazno, bloque Azampay-El Tolar, sierra de Belén, cerro Quemado, cerro Pampa, sierra de la Ovejería, etc.). En cambio esta superficie está poco preservada en el basamento metamórfico.

La estructura penetrativa del basamento metamórfico ha controlado en parte la orientación del fracturamiento cenozoico. Las fajas de cizalla regionales de edad paleozoica desempeñaron un papel importante en la distribución de esfuerzos y geometría de la fracturación posterior en las sierras de Belén, Zapata y Fiambalá.

- **Movimientos Cenozoicos**

Durante el Cenozoico el basamento cristalino actuó como un elemento de resistencia frente al esfuerzo tangencial de la orogenia andina, condicionando los cambios en las características del antepaís andino.

En la zona en general se pueden reconocer una alternancia de cordones serranos y cuencas limitadas por fallas inversas de alto ángulo, con vergencia predominantemente al este. La estratigrafía cenozoica se caracteriza por secuencias continentales sinorogénicas de gran espesor y depósitos piroclásticos neógenos.

El estilo estructural resultante corresponde a cuencas de antepaís segmentadas (*brocken foreland basin*), donde la deformación involucró al basamento de las Sierras Pampeanas (Jordan y Allmendinger, 1986). La región se caracteriza por fallas inversas de alto ángulo en superficie, las que ascienden bloques de basamento basculantes, en tanto que las fallas se tornan lítricas en profundidad (González Bonorino, 1950). La dirección más común de las trazas de fallas que limitan los bloques es NE-SO y N-S. En la mitad occidental de la hoja las fallas muestran una clara vergencia al este, en tanto que en la mitad oriental la vergencia general es al oeste.

La geometría de las sierras y cuencas es fuertemente asimétrica, con un rango de espaciamiento de varias decenas de kilómetros. Los márgenes de las cuencas individuales no están fallados y presentan poca inclinación controlada por la paleosuperficie de erosión.

La geometría de la superficie de erosión sugiere que el fallamiento ocurre luego de un arqueamiento del basamento cristalino a gran escala y "*kinking*" asimétrico del basamento. Un ejemplo lo muestra la sierra de Hualfín.

La estructura de algunos márgenes de cuencas cambia a lo largo del rumbo, de zonas de kink asimétrico a corrimientos de bajo ángulo. Esto demuestra que la cantidad de sobrecorrimientos también cambia a lo largo del rumbo. Un ejemplo es la sierra de Hualfín.

En algunas comarcas pedemontanas de la hoja Belén y en particular las que se desarrollan al pie de los Nevados del Aconquija, poseen rasgos morfológicos que evidencian la reactivación cuaternaria de fallas de desarrollo regional (Fauqué y Strecker, 1987). En el sector mencionado hay fallas que afectan a los niveles pedemontanos antiguos, pero no a los abanicos aluviales modernos, en tanto que hay otras que afectan a estos últimos reflejándose también en los primeros. Aparentemente la sierra del Aconquija está ascendiendo, siendo las fallas de su pié occidental reactivadas de tanto en tanto.



2.3. CLIMA

Según, Navarro, H. (2002), la provincia de Catamarca se caracteriza por presentar un clima del tipo Árido, el cual se subdivide en:

- Climas áridos del tipo Tropical Serrano
- Climas áridos del Andino Puneño
- Climas áridos de Sierras y Bolsones

Teniendo en cuenta las características fitogeográficas, zoogeográficas, volúmenes de precipitaciones y temperaturas, el sector de trabajo, ubicado en el departamento Belén, pertenece a una variante de la categoría de climas áridos denominada "Árido de Sierras y Bolsones" (Figura N°10).



Figura 10: Clasificación de Climas de Catamarca

Fuente: (<http://www.catamarcaquia.com.ar/Geografia/Climas.php>)

El clima Árido de Sierras y Bolsones, es un tipo de clima que se caracteriza por presentar escasas precipitaciones anuales (<200 mm), en el que las particularidades topográficas inciden en gran medida en su definición. La presencia de sierras da lugar a la formación de microclimas por su orientación y diferencia de altura.



Aunque las montañas interrumpen la continuidad del desierto, fundamentalmente cuando por su altura interceptan los vientos provenientes del este y noroeste, la condensación que se genera en las laderas enfrentadas a las corrientes de aire húmedo produce nubosidad abundante, sin embargo en el fondo del valle es de pequeña magnitud, generando escasos volúmenes de precipitación.

El balance hídrico es deficitario y la distribución anual de las precipitaciones no es la adecuada. Generalmente llueve en unas cuantas horas o días la cantidad que se representa como precipitación anual. Las precipitaciones son, por lo general, torrenciales, en ese caso, provocan crecidas súbitas y violentas acompañadas por gran cantidad de material de erosión en arrastre y suspensión.

2.3.1. Temperatura y Precipitación

La atmósfera terrestre es una capa gaseosa sensible y sufre alteraciones constantes, tanto en forma natural (vulcanismo) como por la participación del hombre que con frecuencia altera su estructura térmica y gaseosa.

A la latitud que se ubica el área de estudio, le corresponde un albedo que oscila entre un 25 a un 45 % por tratarse de suelos arenosos y secos. Considerando que del total de la radiación solar que llega a la superficie de la tierra parte es absorbida por ella misma y parte es reflejada y devuelta a la atmósfera, esa radiación solar reflejada por la tierra es lo que conoce con el nombre de albedo.

Por su situación geográfica el área presenta alta heliofanía (duración del brillo solar u horas de sol), en consecuencia, el aire recibe mayor hora de radiación, como así también el suelo. Igual consideración merece la amplitud térmica diaria propia de este dominio climático, y el fenómeno de la inversión térmica que en este caso particular la topografía juega un papel protagónico. La temperatura del aire, de la superficie del suelo y de los combustibles vegetales que interactúan.

Para describir las condiciones climáticas locales (temperatura y precipitación) de la Sierra de Belén, se analizaron los datos de la estación meteorológica cercana, (Tabla B), proporcionados por la Dirección Provincial de Hidrología y Evaluación de Recursos Hídricos.

Estación	Obras Sanitarias
Código	00020006
Departamento	Belén
Localidad	Belén
Estado	Activo
Tipo	Termopluviométrica
Altura	1285m
Coordenada W	66° 54` 08.9``
Coordenada S	27° 37` 04.9``

Tabla B: Estación Termopluviométrica - Dpto. Belén



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

La temperatura media anual es de 23,86 °C. La zona presenta una precipitación media anual de 311,6 mm; en los meses invernales se producen nevadas en la zona occidental. Las heladas son frecuentes en siete meses del año y casi diarias entre abril y agosto.

El periodo más lluvioso, es el verano (Fig. N°11) época en el que se produce el 55 % de las precipitaciones (predominantemente líquidas) dicho periodo húmedo se extiende desde los meses de Diciembre a Marzo. En los meses invernales tanto en las zonas cumbreales como en las de altitud media se registran precipitaciones sólidas de nieve y granizo.

Del registro termopluviométrico, provistos por la Dir. Prov. de Hidrología y Evaluación de Riesgos Hídricos de la provincia de Catamarca del periodo 2015 – 2016, se puede observar la variación en las precipitaciones de diciembre a marzo.

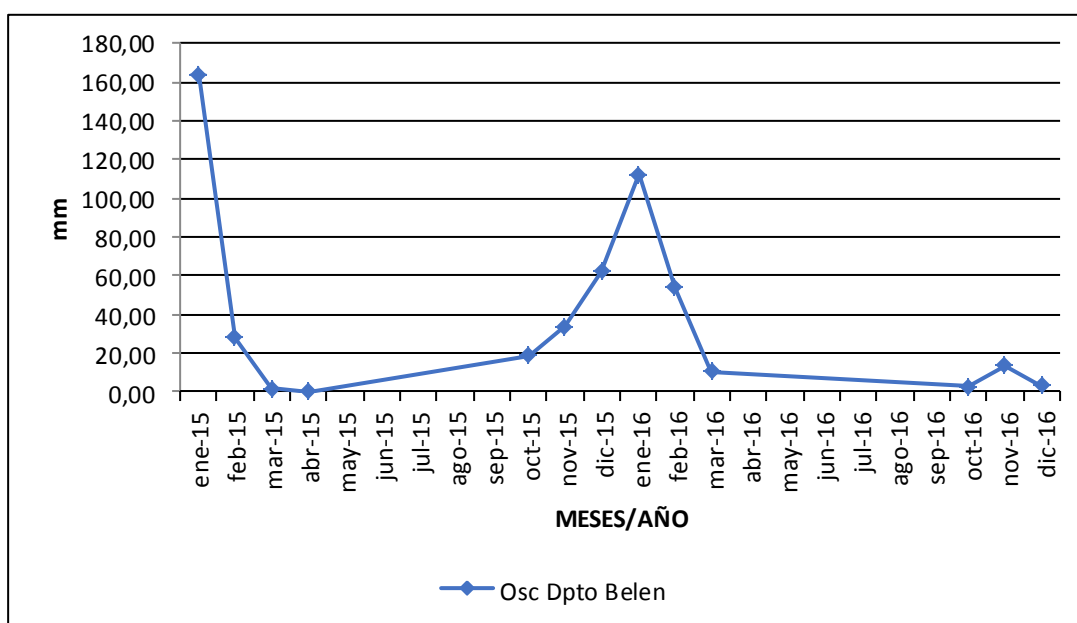


Figura N°11: Precipitaciones mensuales a nivel local.



2.4. HIDROLOGIA

Escala Regional Dentro del Sistema Hidrográfico de Catamarca se distinguen las siguientes cuencas hidrográficas:

- Cuencas del río Santa María, compartida con la Provincia de Salta y Tucumán.
- Cuenca con desagües al Salar de Pipanaco.
- Cuenca del río Abaucán - Colorado - Salado y sus afluentes, Guanchín, de La Troya, Zapata y otro.
- Cuenca cerrada de La Puna.

El área de estudio se encuentra dentro de la Cuenca con desagües al Salar de Pipanaco, la misma comprende los ríos Pomán, Andalgalá, Belén y otros que desaguan en el salar de Pipanaco. Constituye una cuenca endorreica, en donde el ciclo hidrológico comienza por las precipitaciones en las áreas elevadas de las sierras de Ambato, continúa por el escurrimiento superficial en las zonas altas, que se produce por numerosos cauces de corto recorrido y, en general, de régimen temporario (sólo algunos cursos se mantienen permanentes por tramos) hasta la zona de acumulación en el piedemonte, donde las aguas se infiltran. Desde allí el escurrimiento es subterráneo (sólo en las grandes crecidas suele ser superficial) hasta su nivel de base en el Salar de Pipanaco, donde el agua asciende por capilaridad (probablemente también por presión hidrostática) y se produce su descarga en la superficie por evaporación. Es decir, se infiltra el aporte de las crecientes y el retorno del riego, y sólo en las grandes crecidas unos pocos de ellos llegan como curso superficial hasta el Salar, pues los caudales de los menos importantes - inclusive en las grandes avenidas - se infiltran en los arenales intermedios o en campos inmediatos a las zonas de cultivos. Es necesario señalar que prácticamente la totalidad de los caudales de estiaje de sus ríos y arroyos son íntegramente aprovechados (para riego, bebida y generación de energía eléctrica).

El Río Belén inicia su cuenca con el nombre de río Chango Real, acorde con la identificación de las sierras en sus nacientes, continua con el de río de Las Cuevas, para luego tomar el nombre de río Nacimientos y posteriormente Río Belén, este río constituye el principal curso de agua de la cuenca. Los principales afluentes son los ríos Vallecitos, Villavil y Corral Quemado. Su principal aprovechamiento se logra en el distrito de riego Belén, mediante un dique nivelador construido por Agua y Energía de la Nación que también abastece de agua a la ciudad capital del Departamento. Sus aguas son utilizadas para riego y consumo humano por varias comunidades ubicadas entre Hualfín y Belén, luego de su captación para la zona de riego de Belén, el cauce, orienta su escurrimiento con dirección SE para desembocar en el Salar de Pipanaco. En la Figura N° 12 se puede observar la Carta Hidrogeológica del área de estudio, la misma puede ser consultado en formato A3 en el capítulo IX ANEXOS.



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLÓGICO EN LA QUEBRADA DE BELÉN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

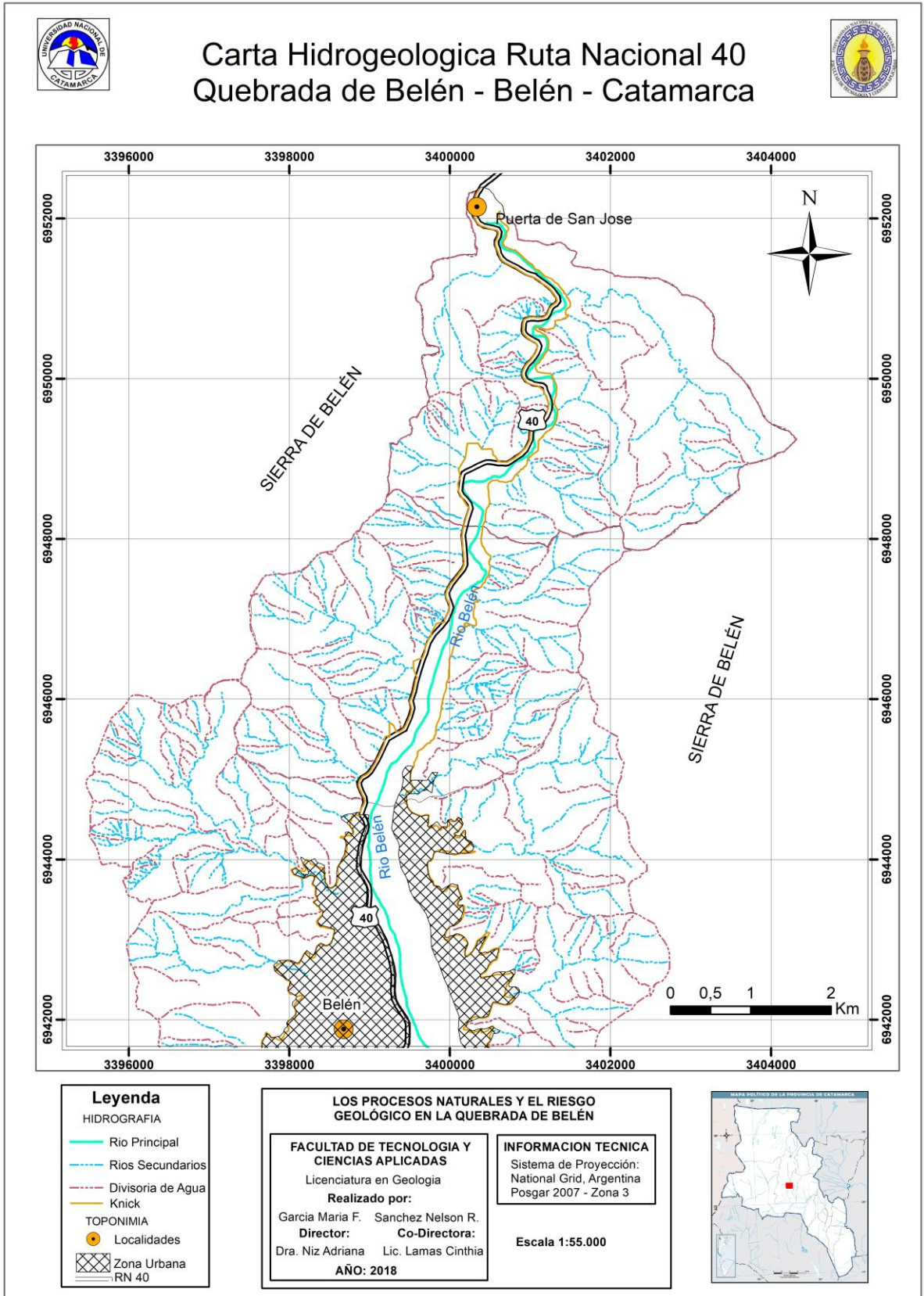


Figura N° 12: Hidrogeológico del área de estudio
Fuente: elaboración propia





CAPÍTULO III: GEOMORFOLOGIA



3.1. GEOMORFOLOGIA LOCAL

El paisaje de la región ha resultado principalmente del accionar de los procesos endógenos modificados parcialmente por el proceso fluvial y otros procesos exógenos. El papel jugado por la estructura y evolución tectónica regional ha sido determinante en las características del modelado del paisaje regional. La región presenta una configuración de una faja plegada y corrida a Orogenia Andina ha generado una serie de cordones serranos con rumbos submeridianos escalonados. En éstos bloques participan diferentes litologías: basamento precámbrico, granitoides paleozoicos, sedimentitas y metamorfitas paleozoicas superior y volcanitas y rocas asociadas terciarias cada una de las cuales ha presentado diferente respuesta frente al accionar de los procesos denudacionales, en particular la acción fluvial y la meteorización.

Caracteriza a la región una compleja evolución tectónica, ya que a la estructuración andina típica compresiva, de rumbo aproximadamente longitudinal, se le ha sobreimpuesto una dinámica transversal oblicua, con rumbo aproximadamente noroeste-sudeste a oeste-este, con un importante componente transcurrente. El primero ha sido responsable del desarrollo de valles tectónicos longitudinales, con dirección norte-sur y el segundo ha controlado la integración entre las diferentes cuencas endorreicas preexistentes y el desarrollo del volcanismo terciario.

No obstante el predominio de condiciones climáticas de extrema aridez, la acción fluvial constituye el proceso exógeno que ha ejercido mayor influencia en el modelado del paisaje. El relieve positivo creado por la acción tectónica ha dado lugar a la formación de niveles de piedemonte formados por la coalescencia de abanicos aluviales formados en varios pulsos de agradación pedemontana. Asimismo se han desarrollado una serie de valles tectónicos longitudinales, con rumbo aproximado SW-NE, que han constituido cuencas endorreicas. Estas características del paisaje y las condiciones bioclimáticas imperantes, han dado lugar a un drenaje regional pobremente integrado.

Se pueden diferenciar dos grandes sectores, uno al norte, denominado Campo del Arenal o de Pozuelos y otro al sur, denominado Campo de Belén-Salar de Pipanaco. En el primero, la red de drenaje se estructura parcialmente a partir de un colector principal, el río Santa María, que drena hacia el norte. En el segundo, la mayor parte de las aguas se infiltran en la depresión, configurando una cuenca casi endorreica. Una parte del drenaje se integra al río Salado, que desagua hacia el sur.

Para una mejor descripción se ha caracterizado al área en unidades geomorfológicas teniendo en consideración que “una unidad geomorfológica se caracteriza por su homogeneidad en el espacio y en el tiempo expresada por la reiteración de elementos morfogenéticos endógenos y una historia geomorfológica semejante proporcionando de esa manera una unidad básica de mapeo” (tomado de Niz, Adriana; op cit).



3.2. UNIDADES GEOMORFOLOGICAS

3.2.1. AREAS MONTANAS - SIERRA DE BELÉN

El área montana de la zona de trabajo está representada por la Sierra de Belén (Fig.N°17). Es un cordón montañoso elongado con rumbo noreste-sudoeste, la sierra es segmentada por una falla de tipo inversa, que ha dado origen a una zona deprimida, que es la Quebrada de Belén, por la que drena el Río Belén. Está compuesta, por una serie de bloques granitoides que suele inclinar al NO. En la ladera oriental el relieve es más irregular y extendido que la opuesta. Esto debe atribuirse a que esta última conserva aún algo de la regularidad de la peneplanicie que se inclinaba hacia ese lado, mientras que del lado oriental la erosión incidió desde el principio profundamente en el bloque ascendente. La ladera oeste presenta una fuerte erosión, que se manifiesta en la erosión diferencial que indica el marcado contraste de resistencia de la litología frente a la degradación hídrica. Las laderas de la Quebrada presentan una serie de subcuencas, que son las nacientes de los afluentes que alimentan lateralmente el cauce principal, estos tributarios presentan un fuerte control estructural, generando un patrón de drenaje de tipo rectangular y angular, estos cauces transportan los sedimentos de las laderas al cauce.

Dado que es una vía de comunicación natural entre la cabecera del Departamento y las Localidades del norte, se ha aprovechado este accidente geográfico para la construcción de la RN 40.

3.2.2. ÁREAS PEDEMONTANAS - PIEDEMONTES DE LA QUEBRADA DE BELEN

Las áreas pedemontanas son aquellas que se encuentran ubicadas en el área de transición en un relieve montañoso y un relieve llano. Su contacto puede ser neto: debido a un fracturamiento o de forma irregular, formando engolfamientos,

La erosión del relieve positivo creado por la acción tectónica ha dado lugar a la acumulación de los sedimentos en el piedemonte, ya sea por la coalescencia de abanicos aluviales y conos de deyecciones formados en diversos pulsos de agradación pedemontana. También se han desarrollado una serie de valles tectónicos longitudinales con rumbo aproximado SO-NE originando cuencas endorreicas.

Las principales geoformas que se observaron en los piedemontes de la zona de estudio son: los abanicos aluviales y conos de deyección.

- **Abanicos Aluviales:** esta unidad comprende pequeños cuerpos adosados al frente serrano, están constituida por conglomerados de coloración grisácea. Se observaron un total de 5 abanicos y se los caracteriza por presentar una forma extendida y achatada.

Uno de los elementos más representativos de esta unidad se encuentra localizado en la ciudad de Belén. Este cuerpo conserva muy bien la morfología de abanico con un ápice claramente distinguible en la desembocadura de un valle serrano y una zona distal se encuentra conectada a través del cuerpo con una pendiente muy suave que irradia desde dicho ápice. De acuerdo a los límites establecidos en el presente trabajo, este solo comprende una pequeña porción de dicho abanico



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

correspondiente al ápice a donde se asienta la ciudad de belén. Este abanico mide longitudinalmente unos 25.9 km y su altura mínima se localiza a unos 1025 m.s.n.m. (Fig. N° 13).

En el faldeo oriental de la sierra de belén los cuerpos de abanicos tienen sus ápices localizados entre los 1360 y 1400 m.s.n.m y se extienden con dirección hacia el oeste.



Figura 13: Imagen satelital del Abanico de Belén.

- **Conos de Deyección:** está compuesto de material grueso y fino de escaso transporte, originado de la destrucción de las rocas graníticas aflorantes, llegando a alcanzar el material erosionado a la traza. Los bloques tienen un tamaño mayor de 35 cm son subangulosos (Fig. N° 14).

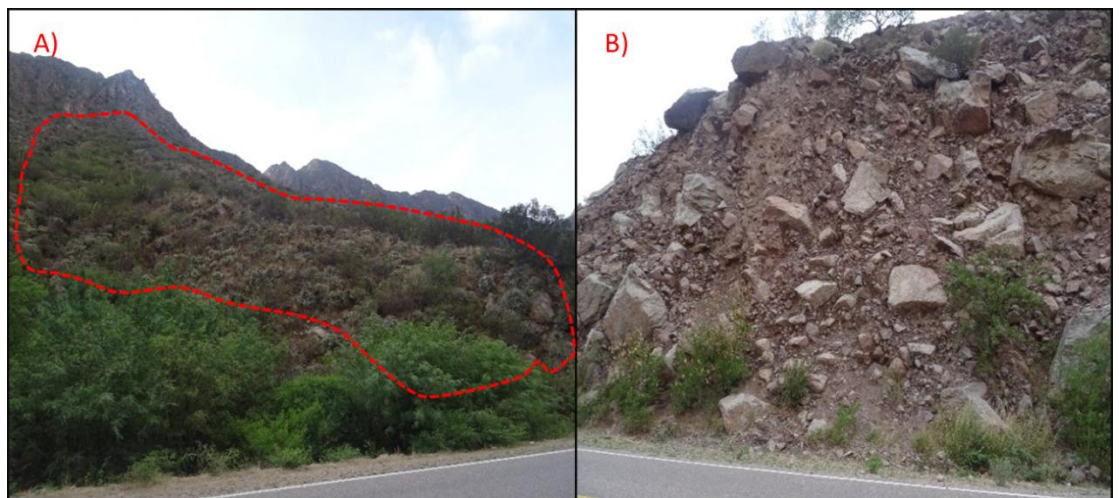


Figura 14: A) vista general del cono de deyección. B) Materiales que componen el cono.



3.2.3. CAUCES Y FORMAS ASOCIADAS

El Río Belén constituye el cauce más importante del área de estudio, su origen se encuentra en la región demarcada por el sistema integrado: Quebrada de Hualfin - Cerro Durazno - Sierra de Zapata - Sierra de Belén.

El Río Belén es un curso de régimen permanente, se alimenta del agua de deshielo procedente de la cordillera de San Buenaventura y Cerros de Curuto, sus nacientes se encuentran en la confluencia del río de Los Nacimientos o Las Cuevas con el río Villa Vil.

El río Villa Vil desciende por la ladera occidental de Chango Real, con el nombre de río El Bolsón, baja del Cerro Compo de 4.500 m. recibiendo en su trayecto el aporte del río de Los Baños. Luego el río Villa Vil corre en dirección sur hasta la población de El Eje donde al confluir con el río Los Nacimientos pasa a denominarse Río Belén, que frente a la población de San Fernando recibe el aporte del río Corral Quemado, este último, en su descenso desde las montañas ha recibido los caudales del río Papachacra, el río Vicuña Pampa y los arroyuelos de las quebradas Yanuquenco, Durazno, La Tranca, la Falda, y Altohausi. Luego por su margen derecha el Río Belén, el río Loconte, los arroyos Quillay y La Villa, el río Ishanga. Finalmente corre al norte de la ciudad de Belén y su caudal se pierde en un desierto denominado Campo de Belén, siendo su destino final el Salar de Pipanaco.

Tiene una longitud de 57,4 km, el ancho del lecho mayor es de 230 metros y es por esto que es uno de los ríos más importantes de la región.

Está conformado por depósitos cuaternarios de origen aluvial, arrastrando gran cantidad de sedimentos arenosos, que provienen mayormente de la desintegración de los estratos terciarios del norte, el curso de agua sigue un patrón geomorfológico de tipo meandriforme, en donde se puede observar que el río posee una sinuosidad alta y sus meandros muy distinguidos, producto del bajo ángulo de pendiente, de la zona de estudio.

El diseño de drenaje en esta área, es, en algunos sectores, rectilíneo, en otros anastomosado y en las zonas bajas domina el diseño meandriforme.

De acuerdo a sus formas asociadas, el Río Belén y sus afluentes muestran terrazas que comprueban, un cierto control estructural e incidencia climática en su formación. Los niveles de terrazas que se observan se encuentran labrados por la actividad erosiva del río en dichos depósitos y en niveles antiguos de piedemonte.

En el margen izquierdo del lado de la ruta se presentan dos niveles de terrazas y del margen derecho un solo nivel, formando terrazas asimétricas.

En algunos sectores del río se observa la presencia de albardones, se denomina así a los bancos estrechos o acumulaciones a lo largo de los ríos o cauces abandonados, constituidos por sedimentos con predominio de arena fina y gruesa (Fig. N° 15).





Figura 15: Vista de un albardón (en rojo).

Por ultimo tenemos la llanura de inundación o llanura aluvial de un rio, corresponde desde el punto de vista morfodinámico, a las cubiertas por el agua durante las crecidas que se producen luego de precipitaciones fluviales de alta intensidad y duración. Constituyen fajas de 55 a 80 metros de ancho. En general los materiales predominantes de las llanuras aluviales son sedimentos areno-gravosos, provenientes de la erosión de las áreas serranas. (Fig N° 17 - Consultar Carta formato A3 en capitulo IX Anexos). La presencia ocasional de bloques de 50 cm de diámetro o algo mayor, es un indicio del nivel de energía que se alcanza durante las crecidas (Fig. N° 16).



Figura 16: vista de la llanura aluvial



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLÓGICO EN LA QUEBRADA DE BELÉN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

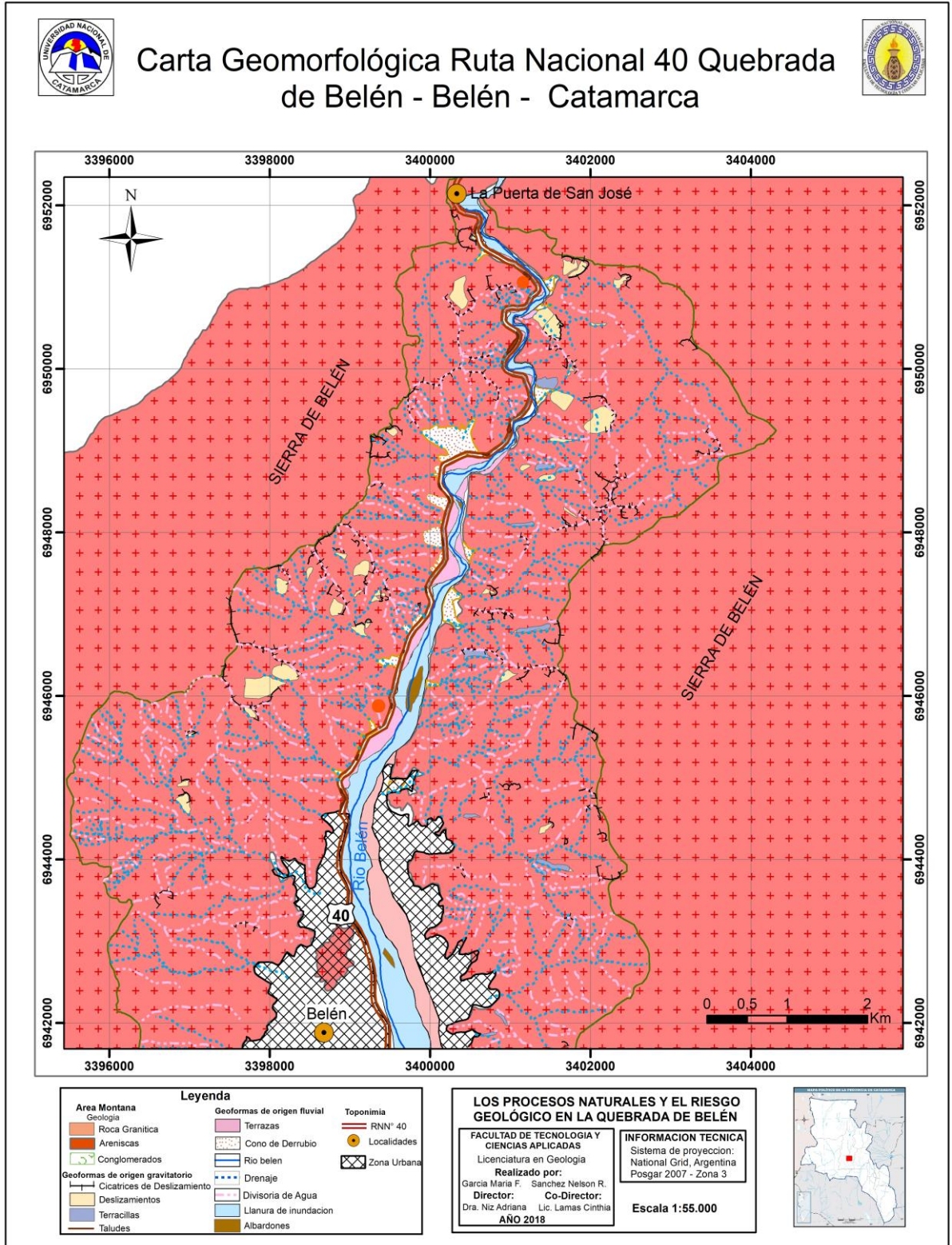


Figura N° 17: Geomorfología del área de estudio
Fuente: elaboración propia





CAPÍTULO IV:
ANALISIS
GEOMORFOLOGICO
Y DE RIESGO



4.1. ANALISIS GEOMORFOLOGICO Y DE RIESGO

Tanto los procesos de movimiento en masa como los de erosión, meteorización y desborde de los arroyos y ríos, constituyen fenómenos naturales en la evolución del relieve, generando así cambios ambientales. La obtención de información sobre la susceptibilidad, la vulnerabilidad y la forma de ocurrencia del fenómeno, ayuda a contribuir a su atenuación o eliminación de eventos que pueden generar grandes pérdidas materiales e incluso pérdidas humanas, es aquí donde entra en juego la palabra riesgo y asociada con ella la de peligro.

Como se dijo, la Quebrada de Belén, es un valle angosto que atraviesa la sierra de Belén y conecta la Ciudad de Belén con las localidades de La Puerta de San José, el valle de San Fernando, Puerta de Corral Quemado, La Ciénega, entre otros en particular con el emprendimiento minero Farallón Negro. Por otra parte, la Ruta Nacional 40, que es una vía de comunicación importante con un tránsito permanente, no tan solo vehicular sino también de ciclismo y motociclismo, que se incrementa en gran medida durante los períodos veraniegos por las condiciones climáticas agradables para los turistas y pobladores de los departamentos aledaños, periodo que coincide con las épocas de precipitaciones y por lo tanto con la potenciación de los procesos geológicos de tipo geomorfológico, lo cual incrementa la amenaza de eventos de anegamiento y de deslizamiento de laderas, transformándose en un riesgo potencial para la comunidad.

Por lo expuesto es de gran importancia analizar su vulnerabilidad, las amenazas debidas a procesos geológicos combinados con la actividad antrópica y el clima, para definir el Riesgo potencial.

4.2. PROCESOS NATURALES Y ANTRÓPICOS

Los eventos naturales y antrópicos generados en el área de estudio, más representativos y recurrentes, que implican probabilidad de definir zonas de riesgo para la vida humana, son los encuadrados en los eventos de deslizamiento de laderas (movimiento de masa), anegamiento y desborde de río por crecidas.

Para analizar cómo interactúan estos procesos se los caracterizará teniendo en cuenta:

- Si son deslizamientos individuales.
- Mecanismo de movimiento: deslizamiento, caída, desplome, etc.
- Material involucrado.
- Agente disparador: sismo, precipitación, acción antrópica.
- Factores Condicionantes.
- Contenido de humedad.
- Clasificación de riesgo: alto, moderado, bajo.
- Vulnerabilidad hacia las personas y Vías de Acceso.



4.2.1. LAS GEOFORMAS DE ORIGEN HIDRICO Y SU CLASIFICACION SEGÚN EL GRADO DE RIESGO

Estos fenómenos pueden ser observados en el río Belén a lo largo de toda la quebrada por donde está construida la traza, posee una pendiente mayor al 60% en las laderas este y oeste, los afluentes que descienden por ambas laderas constituyen cursos de agua profundamente controlados por la estructura, que desembocan en el río permanente, estos afluentes, durante el verano, cuando se producen las precipitaciones más intensas del sector, son capaces de movilizar grandes volúmenes de agua y sedimentos, generando así cicatrices de deslizamiento, cárcavas y socavamiento en laderas y en el pie de montaña.

Si bien, en el periodo de lluvias de verano, las laderas presentan una buena cubierta vegetal, en el período de invierno domina un ambiente de mayor sequedad de manera que las rocas quedan al desnudo sometidas al intemperismo, lo cual produce abundante material suelto en laderas y lechos de los cauces -que transportan agua solo en el periodo húmedo o en ocasionales precipitaciones nivales de invierno (que no proporcionan un caudal abundante al derretirse).

Ese material está disponible para ser posteriormente transportado en periodo de precipitaciones; dependiendo de la energía de las precipitaciones puede simplemente transportar el material al cauce o bien, con energía alta, generar deslizamientos de laderas.



ANALISIS SECTOR I

Descripción fotográfica N° 1

Coordenadas:	27°37'33,9"S /67°01'24,1" W
Geoforma:	Terraza Natural
Acción:	Acumulación de origen hídrico.
Clasificación de Riesgo:	Bajo



Observaciones: primer nivel de terraza, se puede notar que es un depósito aluvial, cuaternario, el mismo fue erosionado lateralmente por el cauce dejando el primer nivel.



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

Descripción fotográfica N° 2

Coordenadas:	27°37'33,9"S /67°01'24,1" W
Geoforma:	Quebrada Natural
Acción:	Aumento de caudal, Taponamiento de desagüe
Clasificación de Riesgo:	Bajo



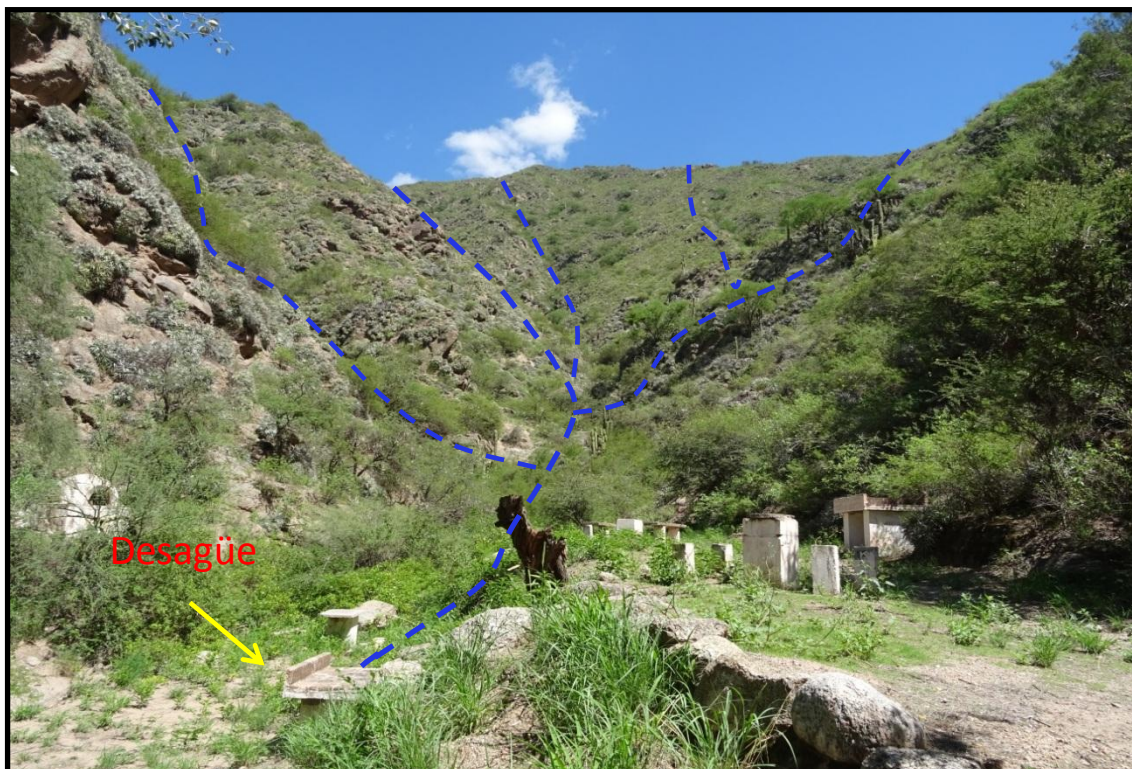
Observaciones: afluentes provenientes de la cuenca que confluyen hacia un desagüe de forma circular con un radio de 50cm. Las posibilidades de taponamiento originados en épocas de crecidas son bajas, debido a que el río pierde energía e intensidad transportando solo material fino.



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

Descripción fotográfica N° 3

Coordenadas:	27°36'56"S /67°01'14,8" W
Geoforma:	Valle en V
Acción:	Erosión, Aumento de caudal
Clasificación de Riesgo:	Bajo



Observaciones: puede identificarse el valle principal y zona de piedemonte. Los cursos de aguas bajan por las depresiones del valle erosionando, transportando y depositando en las zonas más altas bloques y detritos. Estos afluentes confluyen hacia un desagüe construido con arena, ripio, cemento y que circula por debajo de la ruta hasta desembocar en el río principal. Este desagüe, en una precipitación extraordinaria, soporta la embestida de la creciente y no corre riesgo de obstruirse.



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

Descripción fotográfica N° 4

Coordenadas:	27°36'56,80"S /67°00'57.70" W
Geoforma:	Llanura de inundación
Acción:	Altura del nivel del cauce por sedimentación
Clasificación de Riesgo:	Bajo



Observaciones: Se puede apreciar en la imagen, una llanura de inundación con bloques provenientes de la quebrada de la ladera este, la dimensión de los bloques nos da evidencia de la energía que pueden alcanzar los afluentes de esa zona, dejando depósitos de sedimentos finos y elevando el nivel de la llanura, esta acumulación crece a medida que ocurren las crecidas. El hecho de que la llanura esta colmatada implica una vulnerabilidad de ese sector al anegamiento, aun en crecidas medianas.



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

Descripción fotográfica N° 5

Coordenadas:	27°36'34,58"S /67°1'0,55" W
Geoforma:	Valle en V
Acción:	Aumento de Caudal, erosión
Clasificación de Riesgo:	Bajo



Observaciones: Se presenta una zona deprimida (Foto A) compuesta por sedimentos que provienen de zonas altas, cuando fuertes lluvias estacionales produce procesos de erosión,

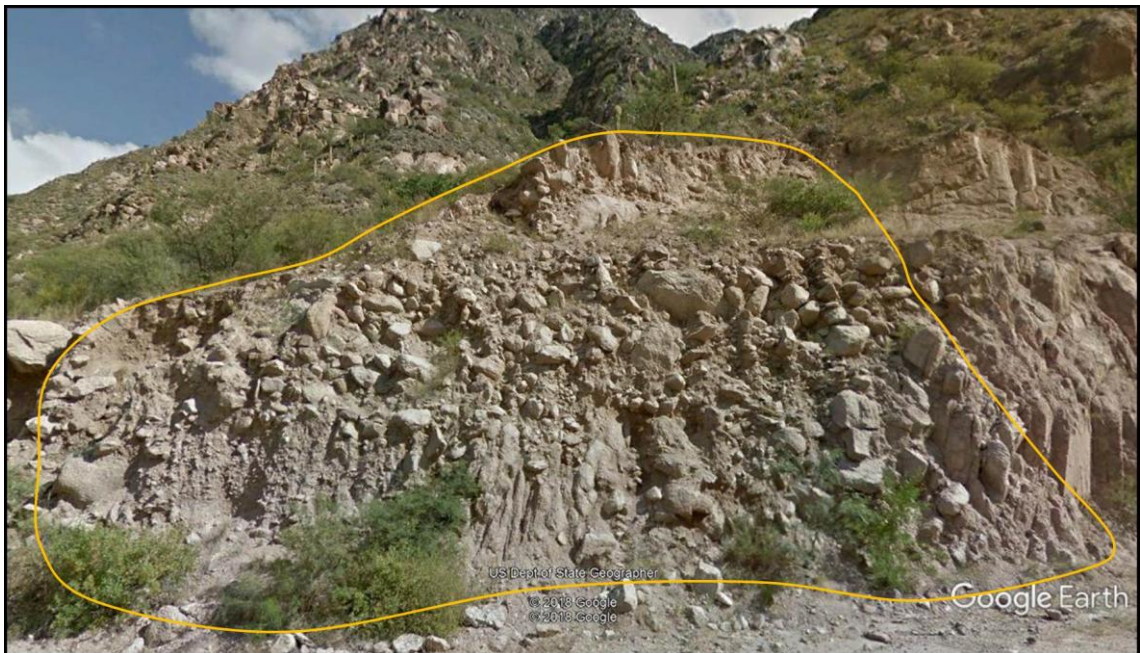


LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

transporte y sedimentación. Desde este punto de observación se puede ver una geoforma en abanico con un ancho de 172 metros. En la (Foto B) se observa una subcuenca integrada por varias microcuenclas, los afluentes que integran la misma se unen en zonas más bajas del terreno circulando por el desagüe al Rio Belén. Sin embargo este canal subterráneo no tiene la capacidad de soportar un incremento de caudal y sedimento debido a la gran cantidad de agua que puede llegar a generarse en épocas estivales.

Descripción fotográfica N° 6

Coordenadas:	27°36'14,50" S /67°00'48,32" W
Geoforma:	Cono de deyección
Acción:	Deslizamiento rocoso activo con evidencias de acción hídrica concentrada
Clasificación de Riesgo:	Medio



Observaciones: depósito de tipo fanglomerado, de bloques angulosos, sector de pendiente elevada, donde fluyen cursos de agua proveniente de la cuenca alta. Al contener sedimentos friables son causales de zonas de fricción provocando deslizamientos de sedimentos.

LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

Descripción fotográfica N° 7

Coordenadas:	27°35,56'56,80" S /67°00'43" W
Geoforma:	Socavamiento
Acción:	Erosión en banquina y .ruta
Clasificación de Riesgo:	Medio



Observaciones: erosión lateral de la ruta debido a la circulación del agua proveniente de los afluentes de las quebradas. El agua en esta zona se concentra en la unión de la ladera con la traza de la ruta, para circular hacia zonas deprimidas, esta situación ocurre debido a que el peralte de la ruta se sitúa en una posición más elevada, por lo tanto el agua escurre por los puntos más bajos.



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

Descripción fotográfica N° 8

Coordenadas:	27°35'42,59"S /67°00'40,70" W
Geoforma:	Quebrada natural, Cono aluvial
Acción:	Aumento de Caudal
Clasificación de Riesgo:	Bajo



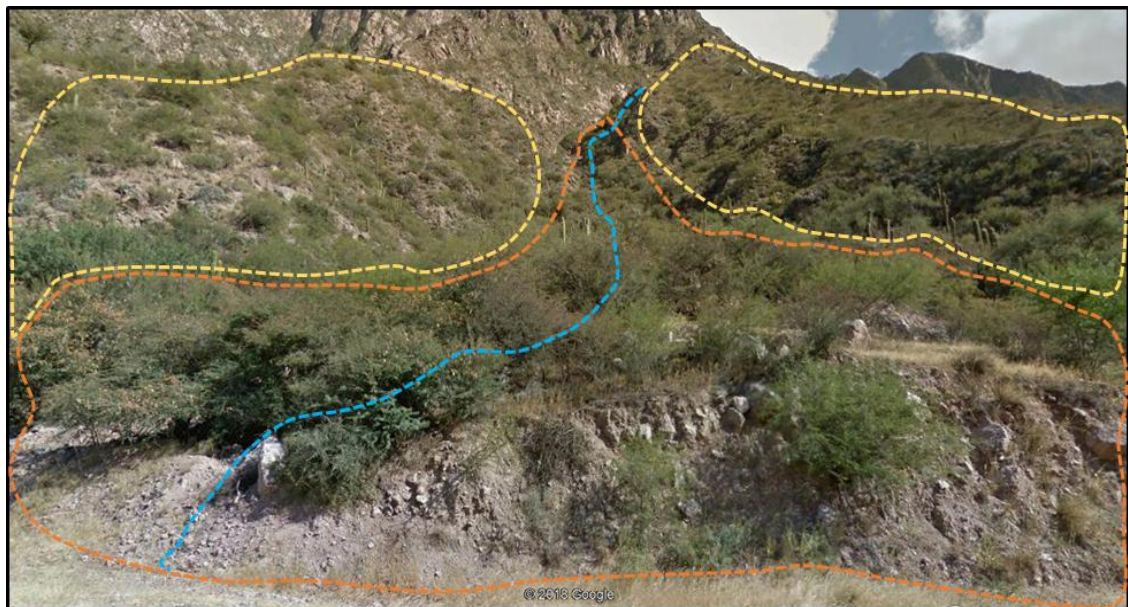
Observaciones: cursos de aguas que discurren por pendientes del orden del 40 %, que durante las épocas estivales erosionaron y transportaron grandes volúmenes de sedimentos que al depositarse formaron un cono aluvial, observado en margen derecho de la imagen. Los afluentes son desviados por un canal de desagüe que lo dirige al Rio principal, para evitar la erosión lateral y la socavación.



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

Descripción fotográfica N° 9

Coordenadas:	27°35'35,18"S /67°00'39,39" W
Geoforma:	Abanico Aluvial
Acción:	Aumento de Caudal
Clasificación de Riesgo:	Bajo



Observaciones: puede identificarse un gran cono aluvial, en donde fue erosionado, dando la forma de un abanico como se ve en la figura (línea punteada en color marrón). Después la misma fue modificada por el hombre para la construcción de la ruta.



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

Descripción fotográfica N° 10

Coordenadas:	27°35'26,18"S /67°00'38,71" W
Geoforma:	Meandro, Terraza Natural
Acción:	Erosión en gaviones, sedimentación del Rio
Clasificación de Riesgo:	Medio



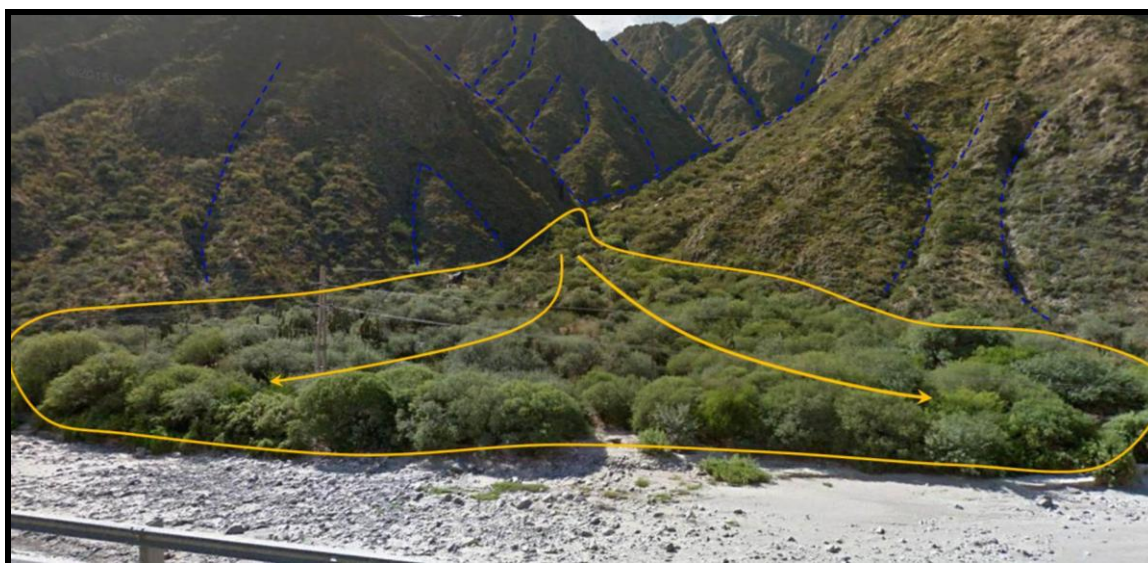
Observaciones: Curso de agua tipo meandroso, del lado izquierdo del Rio Belén, se observa cómo el río erosiona más en su parte exterior, mientras que en el interior de la curva suele sedimentar debido a una disminución de la velocidad del agua. En la parte superior derecha se puede observar una terraza natural (T) por la evolución del curso de agua. A la izquierda espigones de gaviones para impedir la erosión que puede ocasionar el meandro.



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

Descripción fotográfica N° 11

Coordenadas:	27°34'47,98"S /66°59'56,70" W
Geoforma:	Abanico aluvial
Acción:	Evolución de erosión, inferencia en el curso de agua
Clasificación de Riesgo:	Medio



Observaciones: se puede apreciar en la imagen un abanico aluvial, con una pendiente de 10° aproximadamente. El mismo se formó por la acumulación de los sedimentos transportados por los cursos de agua que provienen de la cuenca alta, el régimen de precipitaciones dominante ha sido de tipo continuo y moderada a fuerte, de manera que el transporte y depositación del material se realizó en forma lenta, lo cual permitió su distribución extendida en el piedemonte.

LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

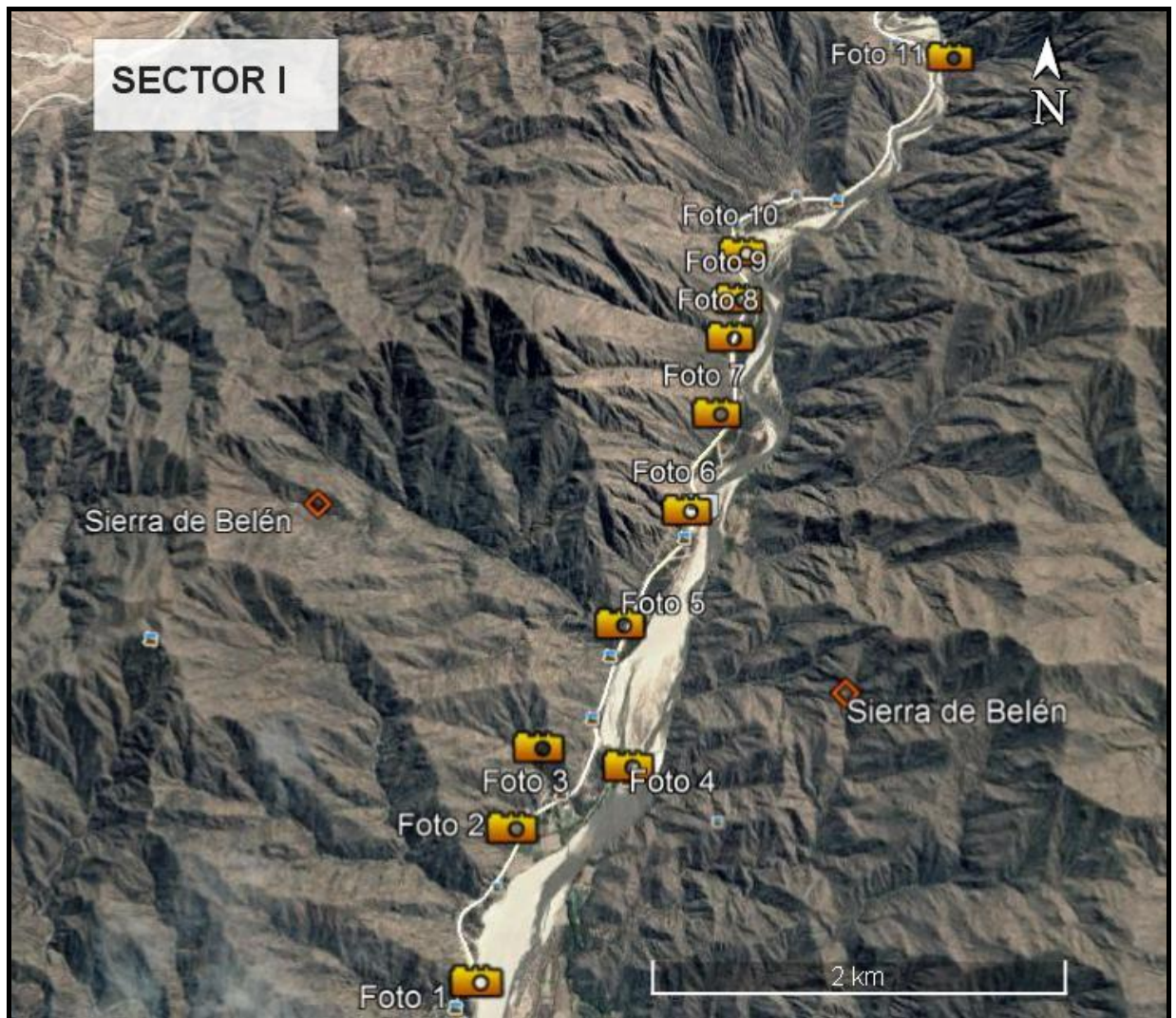


Figura 18: Muestra la ubicación de las fotografías analizadas en el Sector I.
Fuente: Elaboración propia



ANÁLISIS DEL SECTOR II

Descripción fotográfica N° 12

Coordenadas:	27°34'37,39"S /67°00'11,58" W
Geoforma:	Meandro
Acción:	Erosión de ruta, erosión y rotura de gaviones
Clasificación de Riesgo:	Medio



Observaciones: la imagen representa el sector convexo de un meandro, como sabemos es la sección del mismo que produce erosión, en particular en este sector del cauce erosionó la ruta y destruyó los gaviones realizados a modos de contención.



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

Descripción fotográfica N° 13

Coordenadas:	27°34'18,72"S /67°00'11,59" W
Geoforma:	Terraza antropomórfica
Acción:	Protección de la traza
Clasificación de Riesgo:	Bajo



Observaciones: terraza de origen antrópico (antropofoma), generada por la acumulación del material producto de las voladuras al momento de la construcción de la ruta en la quebrada, se puede notar también, el conducto realizado en la misma para la circulación del cauce proveniente de la ladera oeste.

LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

Descripción fotográfica N° 14

Coordenadas:	27°34'17,21"S /67°00'12,35" W
Geoforma:	Quebrada Natural
Acción:	Desborde de cauce
Clasificación de Riesgo:	Medio



Observaciones: afluente proveniente de ladera oeste, con una pendiente pronunciada, aproximadamente de 60°. El desagüe se encuentra en buenas condiciones. Cono de derrubio producto de la erosión de la ladera.



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

Descripción fotográfica N° 15

Coordenadas:	27°34'16,81"S /67°00'11" W
Geoforma:	Meandro
Acción:	Sedimentación y divagación del curso de agua
Clasificación de Riesgo:	Medio



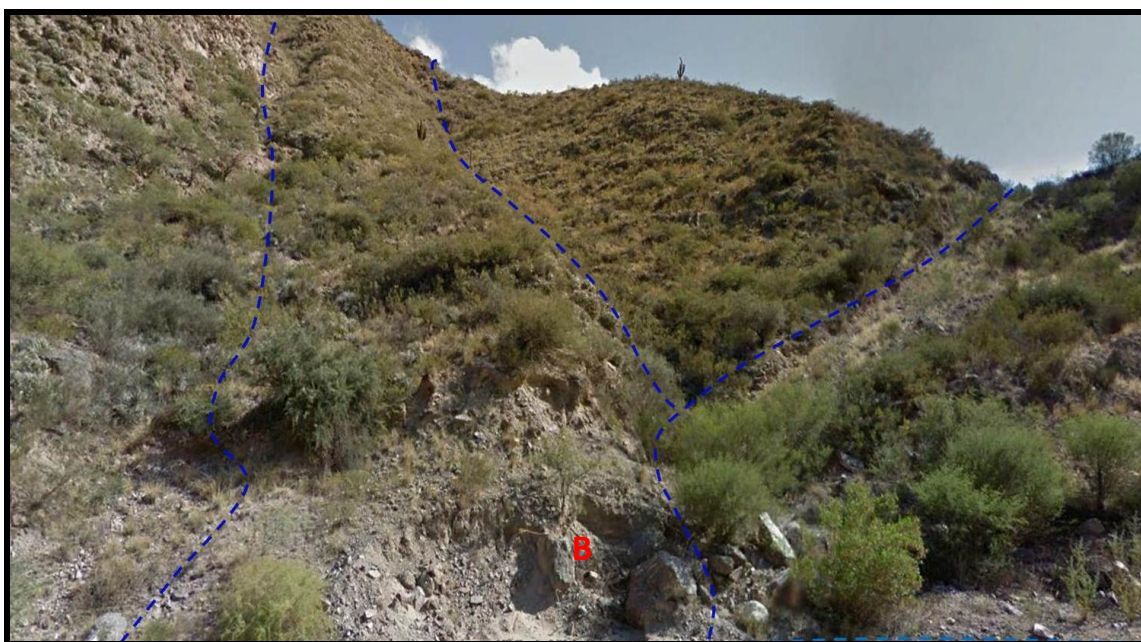
Observaciones: en este sector del cauce, se pueden apreciar dos tipos de obras civiles de contención; gaviones cóncavos para evitar la erosión del meandro (1) y gaviones de bloques no consolidados (2) para evitar el socavamiento de la ruta. En el sector superior izquierdo de la imagen se puede observar una terraza natural formada posiblemente por los pulsos de inundaciones y posterior sedimentación T.



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

Descripción fotográfica N° 16

Coordenadas:	27°34'7,63"S /67°59'58,68" W
Geoforma:	Quebrada Natural
Acción:	Desborde de cauce, socavamiento de traza
Clasificación de Riesgo:	Medio



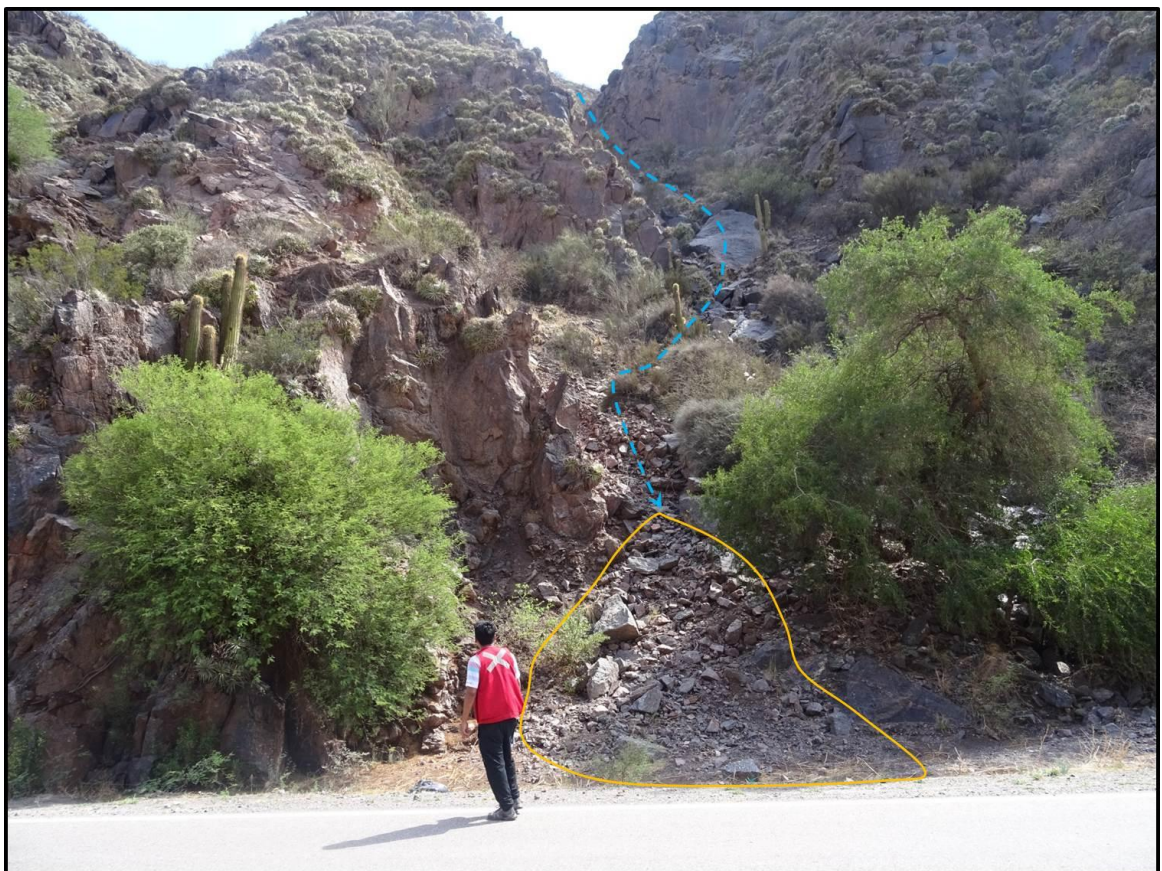
Observaciones: confluencia de la cuenca, hacia el rio principal, es destacable la pendiente de los cauces, lo que nos habla de la alta energía de erosión y transporte que puede alcanzar e una precipitación muy fuerte o extraordinaria, una evidencia de esa energía se puede percibir en los bloques (B) que se encuentran en el cauce bajo, es de destacar además, que la quebrada no posee desagüe, lo que puede generar la destrucción de la ruta.



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

Descripción fotográfica N° 17

Coordenadas:	27°33'57,21"S /67°00'04,75" W
Geoforma:	Quebrada Natural, Cono de derrubio
Acción:	Remoción en masa con transporte fluvial de alta energía-
Clasificación de Riesgo:	Alto



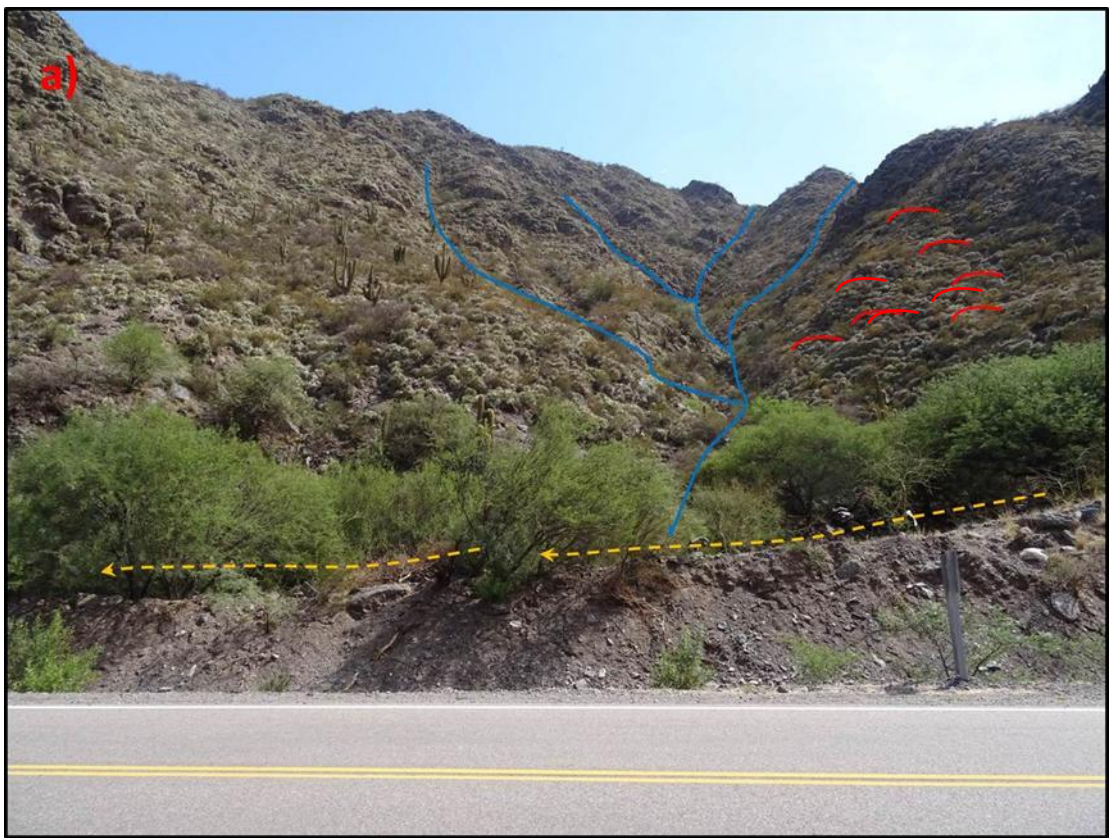
Observaciones: se presenta desborde de cauce, desembocadura de una quebrada con pendiente pronunciada, proveniente de la ladera oeste. Se puede observar la formación de un cono de derrubio producto del transporte y erosión proveniente de zonas altas de la ladera. No cuenta con un sistema de desagüe hacia el río principal.



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

Descripción fotográfica N° 18

Coordenadas:	27°33'54.34"S /67°00'11.33" W
Geoforma:	Quebrada Natural
Acción:	Aumento de Caudal, canalización de drenaje. Obstrucción de evacuación de la escorrentía
Clasificación de Riesgo:	Alto



Observaciones: quebrada natural, donde confluyen los afluentes hacia un canal artificial que drena las aguas provenientes de la quebrada hacia el río principal a través de una alcantarilla. Puede notarse un depósito acumulado por el hombre producto de la excavación del canal. Esta canalización del curso de agua posee una cierta inclinación para que el agua fluya hacia el desagüe, y debe tener una constante limpieza en épocas estivales, para evitar la colmatación del mismo y la posible obstrucción del fluido. En la ladera norte se observa remoción en masa de tipo lento, reptación.



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O



a) Quebrada Natural, y desviación de los afluentes. b) Desviación del curso de agua y material suelto disponible para deslizamiento con posible obstrucción de canal. c) Canal de derivación hacia Alcantarilla.



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

Descripción fotográfica N° 19

Coordenadas:	27°33'52.8"S /67°00'14,0" W
Geoforma:	Cono de deyección
Acción:	Deslizamiento de material
Clasificación de Riesgo:	Medio



Observaciones: se indican tres pulsos de sedimentación, en la base pueden notarse bloques redondeados (cantos) que originalmente han estado sujetos a transporte fluvial evidenciado a través de la redondez de los mismos (1). Sobre éste se deposita material aluvial formando un cono de deyección (2), el mismo conformado por bloques angulosos de diferentes tamaños, dispuesto en forma caótica, sin seguir ningún patrón de ordenamiento. En la cabecera del deslizamiento se deposita material fino con intercalación de bloques angulosos, es decir predomina la matriz sobre los bloques (3). Sin embargo, en la misma área, (4) se puede observar un afloramiento rocoso, fracturado y metamorfizado muy vulnerable para la caída en forma de bloques.



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

Descripción fotográfica N° 20

Coordenadas:	27°33'50.41"S /67°00'19.58" W
Geoforma:	Valle Fluvial, piedemonte
Acción:	Aumento de Caudal, socavamiento en ruta
Clasificación de Riesgo:	Medio



Observaciones: confluencia de la cuenca, hacia el lado este, los afluentes secundarios de ambas laderas poseen una pendiente elevada, muestran un marcado control estructural, dirigiéndose al tributario principal que fluye hacia el Rio Belén. Puede notarse el piedemonte con una dimensión de aproximadamente 200 m, lo cual reviste importancia como área de depositación de los materiales transportados por posibles deslizamientos.



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

Descripción fotográfica N° 21

Coordenadas:	27°33'40,41"S /67°00'23,98" W
Geoforma:	Quebrada Natural
Acción:	Desborde del afluente, aumento de caudal
Clasificación de Riesgo:	Medio



Observaciones: este curso de agua ha aprovechado para drenar una fractura preexistente, posee una pendiente abrupta, lo que significa mayor energía de circulación y mayor transporte de sedimento. En caso de una precipitación muy copiosa o extraordinaria, canaliza el agua desde la zona cumbral hacia la ruta de forma directa.



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

Descripción fotográfica N° 22

Coordenadas:	27°33'32,03"S /67°00'31,72" W
Geoforma:	Meandro evolucionado, Terraza Natural
Acción:	Socavamiento de la ruta
Clasificación de Riesgo:	Bajo



Observaciones: llanura aluvial muy desarrollada, por lo cual se originó el meandro evolucionado, producto de esto puede notarse la depositación de sedimento formando una terraza natural. Al llegar al punto de colmatación el curso de agua cambió de dirección ampliando el meandro.



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

Descripción fotográfica N°23

Coordenadas:	27°33'30,18"S /67°00'34,38" W
Geoforma:	Quebrada Natural
Acción:	Aumento de Caudal, Transporte de Material
Clasificación de Riesgo:	Medio



Observaciones: se pueden distinguir tres afluentes que provienen de la ladera oeste, que confluyen hacia una alcantarilla, que cumple la función de encausar y desagotar el agua proveniente de la misma para evitar el desborde del cauce por encima de la ruta y la colmatación de los sedimentos.



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

Descripción fotográfica N° 24

Coordenadas:	27°33'26,11"S /67°00'34,38" W
Geoforma:	Quebrada Natural
Acción:	Aumento de caudal, socavamiento de traza
Clasificación de Riesgo:	Bajo



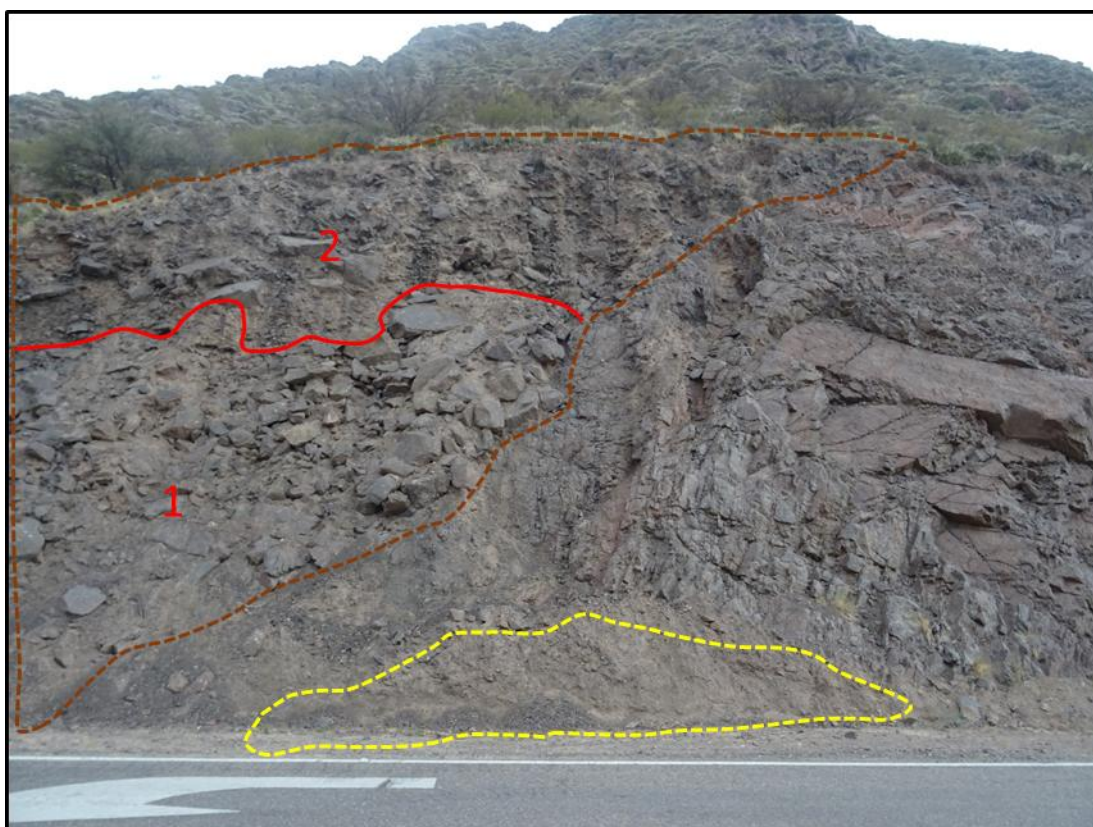
Observaciones: afluentes, que contribuyen con el incremento de caudal del Rio principal, ambos confluyen en un desagüe construido a tal fin.



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

Descripción fotográfica N° 25

Coordenadas:	27°33'24,78"S /67°00'33,93" W
Geoforma:	Cono de Derrubio
Acción:	Desborde de Cauce y acumulación de sedimento
Clasificación de Riesgo:	Medio



Observaciones: se puede notar una zona de contacto entre el cono de derrubio (línea punteada en color marrón) y la roca granítica del lado derecho. Los puntos 1 y 2 indican dos episodios de acumulación, uno caótico (1) y el otro lineal (2), de ello se infiere que el primero se debió a un régimen de transporte rápido, sin clasificación del material, posiblemente producto de la pendiente abrupta que, asociado a la presencia de agua, le imprimió una energía fuerte. En el segundo se puede advertir que los clastos se depositaron en forma subparalela, indicando una acumulación más lenta debido a la disminución de la pendiente. Es importante destacar que el corte de talud no se realizó respetando su ángulo de reposo, lo que provoca la caída de material.



Figura 19: Muestra la ubicación de las fotografías analizadas en el Sector II.
Fuente: Elaboración propia

4.2.2. LOS PROCESOS DE REMOCION EN MASA

Los procesos que ocurren en una ladera y en taludes son generalmente complejos y dependen de una variedad de factores, los cuales interactúan entre ellos para definir un comportamiento.

Para determinar la vulnerabilidad y la probabilidad de riesgo para las personas que circulan por la ruta, se basó el análisis en las Tablas C y D. A continuación se describen los procesos geológicos más abundantes de la quebrada del Río Belén, por donde circula la Ruta Nacional N°40.



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

Clasificación De La Vulnerabilidad	Red Vial	Para Personas
Alta	Bloqueo total de la Vía. Se afecta totalmente el tránsito de vehículos.	Alta posibilidad de muerte o lesiones serias.
Media	Parte del volumen deslizado reposa sobre el camino. Los vehículos pasan con dificultad.	Alta posibilidad de lesiones moderadas, pero baja probabilidad de muertes.
Baja	No existe material sobre el camino o el material que alcanzó la vía es fácilmente evadible por los vehículos.	Probabilidad de muerte casi nula y lesiones muy leves o inexistentes.

Tabla C: Daños esperados para la ruta y personas basadas en Li et al. (2010) Du et al. (2013) y Coburn (2002, en Du et al, 2013).

Categoría	Descripción
Alto	Alta probabilidad de víctimas fatales y lesiones serias en las personas. La implementación de medidas de intervención es prácticamente inviable desde el punto de vista técnico. Se debe hacer una evaluación económica detallada para establecer la posibilidad de mitigación y disminución del nivel de riesgo
Medio	Lesiones moderadas muy frecuentes, con alguna probabilidad de víctimas fatales. Se requiere evitar que el nivel de riesgo aumente, pero las medidas de intervención son en todo caso viables técnica y económicamente.
Bajo	Probabilidad de víctimas fatales prácticamente nula. Es un riesgo aceptable y requiere tan solo medidas de prevención.

Tabla D: Descripción de la categoría de riesgo (Yamin et. Al. 2013).



ANALISIS SECTOR I

Descripción fotográfica N° 1

Coordenadas:	27°37'31.17"S 67°1'27.12"O
Tipo de Remoción:	En cuña y Planar
Mecanismo de Movimiento	Deslizamiento, complementado con caída de bloques
Factor Condicionante	Estructura de la roca y Pendiente
Factor Disparador	Vibraciones y Precipitaciones
Material involucrado:	Bloques de roca
Velocidad:	Rápido
Contenido de humedad	Seco
Vulnerabilidad hacia las personas y vía de acceso	Bajo
Clasificación de Riesgo:	Bajo



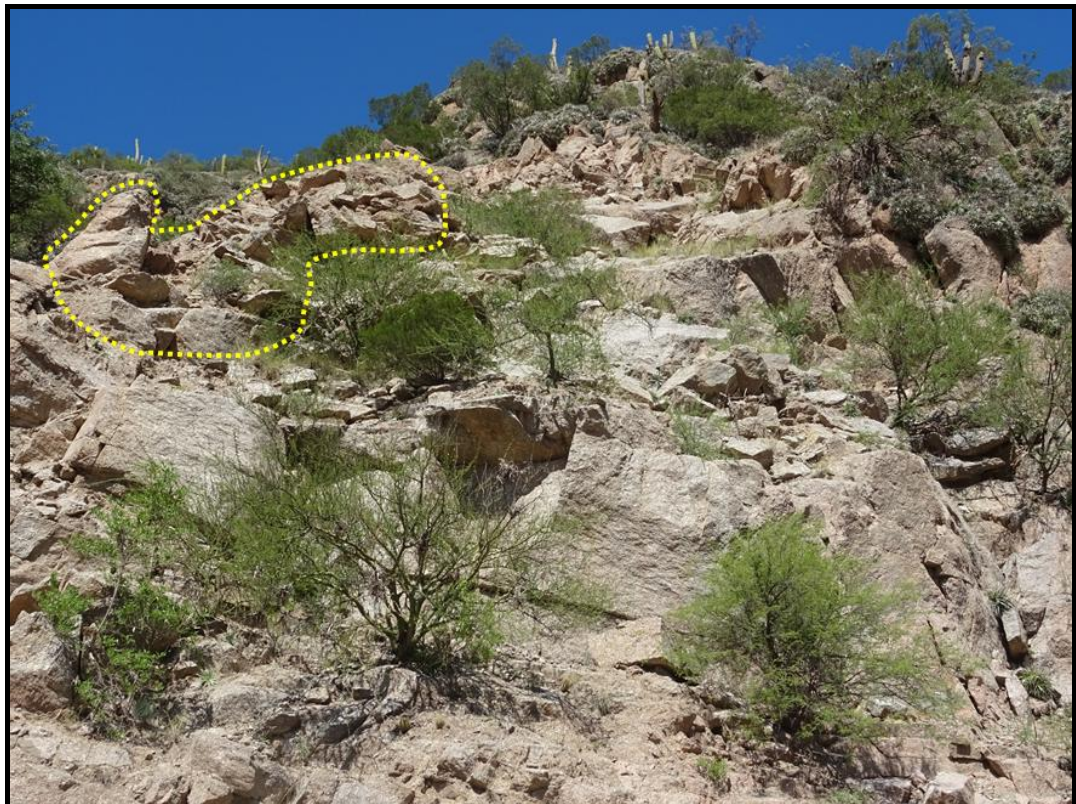
Observaciones: zona de talud, presenta rotura en cuña y planar. La roca se encuentra fracturada, predominan dos juegos de diaclasamiento; la altura del talud es de aproximadamente 20 metros, tiene inclinaciones superiores a los 50 grados. Se observaron bermas (marcadas en amarillo), que proporcionan el espacio para acumular el material proveniente de la zona superior y evitar que el mismo llegue a la plataforma del camino.



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

Descripcion fotografica N° 2

Coordenadas:	27°37'24.54"S 67°1'26.93"O
Tipo de Remoción:	Caída De Bloques
Mecanismo de Movimiento	Caída
Factor Condicionante	Pendiente
Factor Disparador	Vibraciones y Precipitaciones
Material involucrado:	Bloques de roca
Velocidad:	Rápido
Contenido de humedad	seco
Vulnerabilidad hacia las personas y vía de acceso	Medio
Clasificación de Riesgo:	Alto



Observaciones: grandes bloques angulosos, inestables, ubicados en una zona de pendiente abrupta, pueden llegar a desprenderse o deslizarse hacia la ruta afectando el tránsito o incluso daños hacia las personas.



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

Descripción fotográfica N° 3

Coordenadas:	27°37'23.9"S 67°1'27.5"O
Tipo de Remoción:	Caída De Bloques
Mecanismo de Movimiento:	Caída
Factor Condicionante:	Pendiente y estructura
Factor Disparador	Vibraciones y Precipitaciones
Material involucrado:	Bloques de roca
Velocidad:	Rápido
Contenido de humedad	Seco
Vulnerabilidad hacia las personas y vía de acceso	Bajo
Clasificación de Riesgo:	Bajo



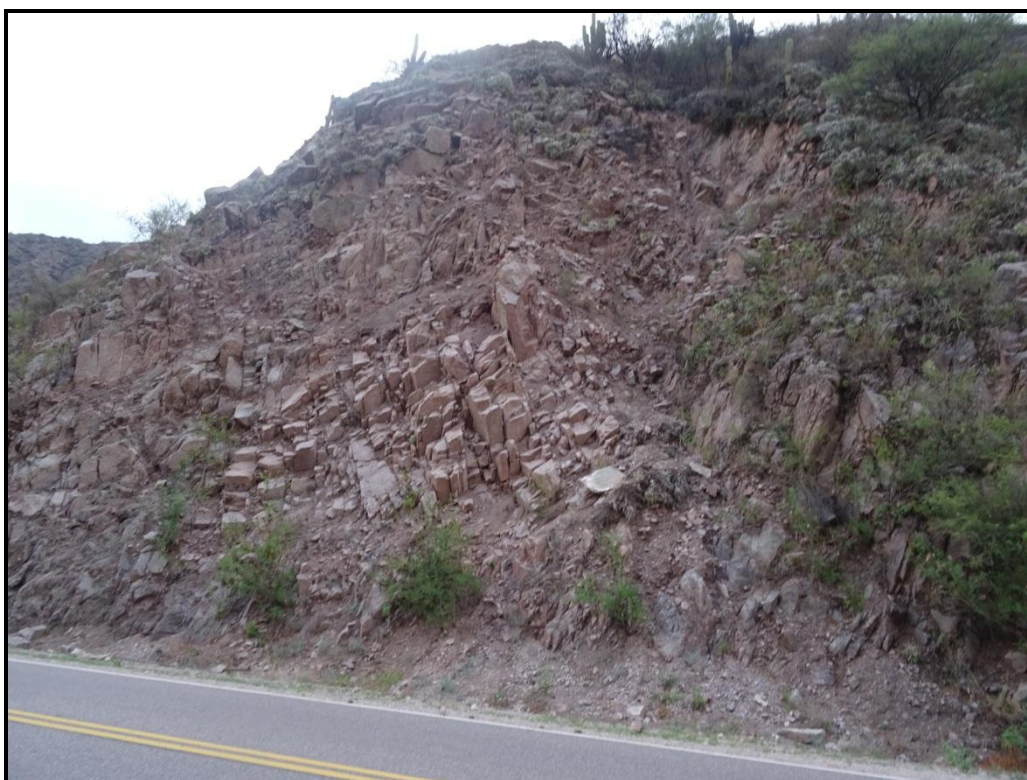
Observaciones: en amarillo se presenta material acumulado de la propia ladera, el principal factor desencadenante son las lluvias, que insertan en la separación de las diaclasas material fino, yacente en la superficie, producto de la meteorización, lo cual proporciona un elemento lubricante que favorece la caída de bloques, también el desarrollo de las raíces de la vegetación que hace un efecto de cuña entre los bloques, y las vibraciones producida por el tránsito de los vehículos y camiones de diverso porte que circulan por la ruta.



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

Descripción fotográfica N° 4

Coordenadas:	27°36'28.80"S 67° 0'58.50"O
Tipo de Remoción:	Deslizamiento de rocas
Mecanismo de Movimiento:	Deslizamientos
Factor Condicionante:	Estructura y Litología
Factor Disparador	Vibraciones y agua
Material involucrado:	Bloques de diferente tamaño
Velocidad:	Rápido
Contenido de humedad	Seco
Vulnerabilidad hacia las personas y vía de acceso	Medio
Clasificación de Riesgo:	Medio



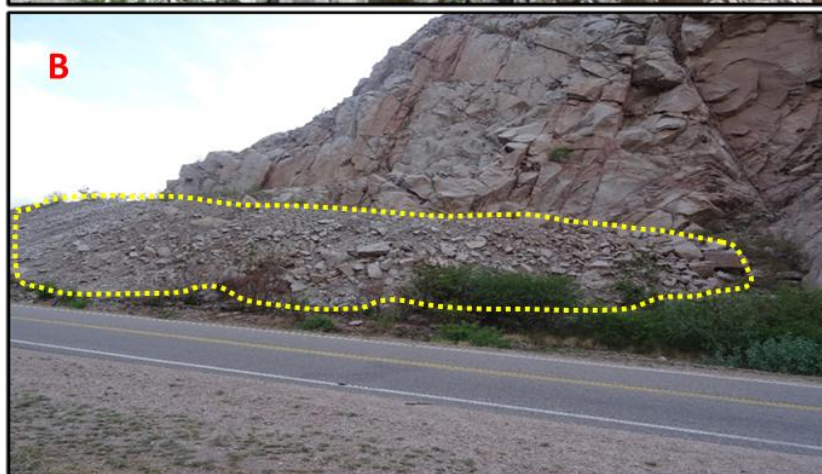
Observaciones: zona de ladera con altura de cuatro metros y pendiente superior a los 50°. El macizo rocoso se encuentra muy fracturado fuertemente erosionado por la meteorización física y el intemperismo, conformado por materiales finos y bloques de hasta 45 centímetros que descienden por rodamiento y saltación.



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

Descripción fotográfica N° 5

Coordenadas :	27°36'07.5"S 67° 0'47.8"O
Tipo de Remoción:	Caída de bloques
Mecanismo de Movimiento:	Caída
Factor Condicionante:	Estructura y pendiente
Factor Disparador	Antrópico y agua
Material involucrado:	Bloques grandes y pequeños
Velocidad:	Muy rápidos
Contenido de humedad	seco
Vulnerabilidad hacia las personas y vía de acceso	Bajo
Clasificación de Riesgo:	Medio



Observaciones: En **A**) vemos la superficie de un deslizamiento antiguo, que se encuentra acumulado (como se observa en **B**) marcado en amarillo, compuesta por bloques de diferente tamaño. Es un macizo rocoso que presenta una pendiente escarpada con una

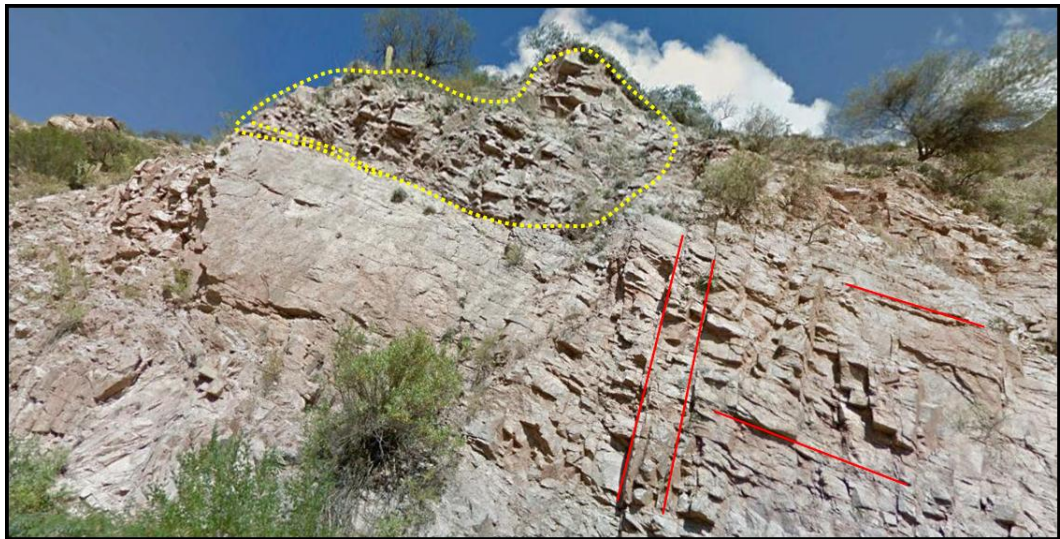


LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

altura aproximada de 30 metros. En la figura **A** se presenta una cuña formada por dos sistemas de fractura, haciéndola inestable.

Descripción Fotográfica N° 6

Coordenadas:	27°35'33.4"S 67° 0'38.6"O
Tipo de Remoción:	Deslizamiento de roca
Mecanismo de Movimiento:	Deslizamiento
Factor Condicionante:	Diaclasas y Litología
Factor Disparador	Agua
Material involucrado:	Bloques y material fino
Velocidad:	Rápidos
Contenido de humedad	seco
Vulnerabilidad hacia las personas y vía de acceso	Medio
Clasificación de Riesgo:	Alto



Observaciones: ladera natural, el macizo rocoso está muy fracturado dominado por dos juegos de diaclasas. La parte demarcada en amarillo representa una zona inestable y de alto riesgo, por desprendimiento de bloque.



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

Descripción fotográfica N° 7:

Coordenadas :	27°35'27,49"S 67° 0'38,20"O
Tipo de Remoción:	Deslizamiento y caída de roca
Mecanismo de Movimiento:	Deslizamiento y Caídas
Factor Condicionante:	Pendiente
Factor Disparador	Vibraciones y Agua
Material involucrado:	Bloques y material fino
Velocidad:	Rápidos a muy rápidos
Contenido de humedad	Húmedo
Vulnerabilidad hacia las personas y vía de acceso	Alto
Clasificación de Riesgo:	Alto

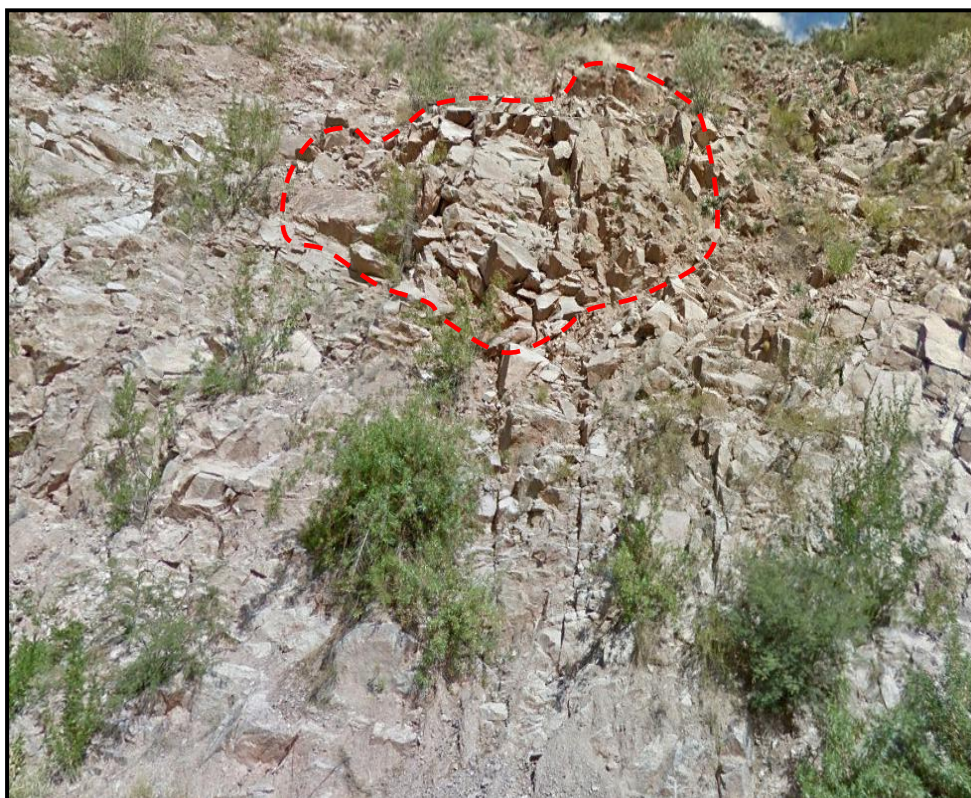


Observaciones: talud natural que muestra dos pulsos de deslizamientos en forma de cono. El primero corresponde a la zona demarcada en amarillo compuesta por bloques de diferentes tamaños, presenta una pendiente muy abrupta con altas posibilidades de deslizamiento. El segundo, ubicado encima del primer pulso, demarcado en rojo, está constituido por materiales de tamaños más uniformes, se trata de bloques medianos, angulosos en una matriz más fina producto de la disgregación de los mismos.

LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

Descripción fotográfica N° 8

Coordenadas :	27°35'23.28"S 67° 0'41,50"O
Tipo de Remoción:	Caída de rocas
Mecanismo de Movimiento:	Caída
Factor Condicionante:	Pendiente y diaclasamiento
Factor Disparador	Vibraciones y Agua
Material involucrado:	Bloques rocosos
Velocidad:	Rápidos
Contenido de humedad	Seco
Vulnerabilidad hacia las personas y vía de acceso	Medio
Clasificación de Riesgo:	Medio



Observaciones: en la zona demarcada con rojo se presenta una roca muy fracturada en bloques medianos, con elevada probabilidad de desprenderse y generar una obstrucción en la carretera, asimismo representa un riesgo para los transeúntes ocasionales, el nivel de impacto dependerá de la ubicación de las personas al momento del desprendimiento de bloques.

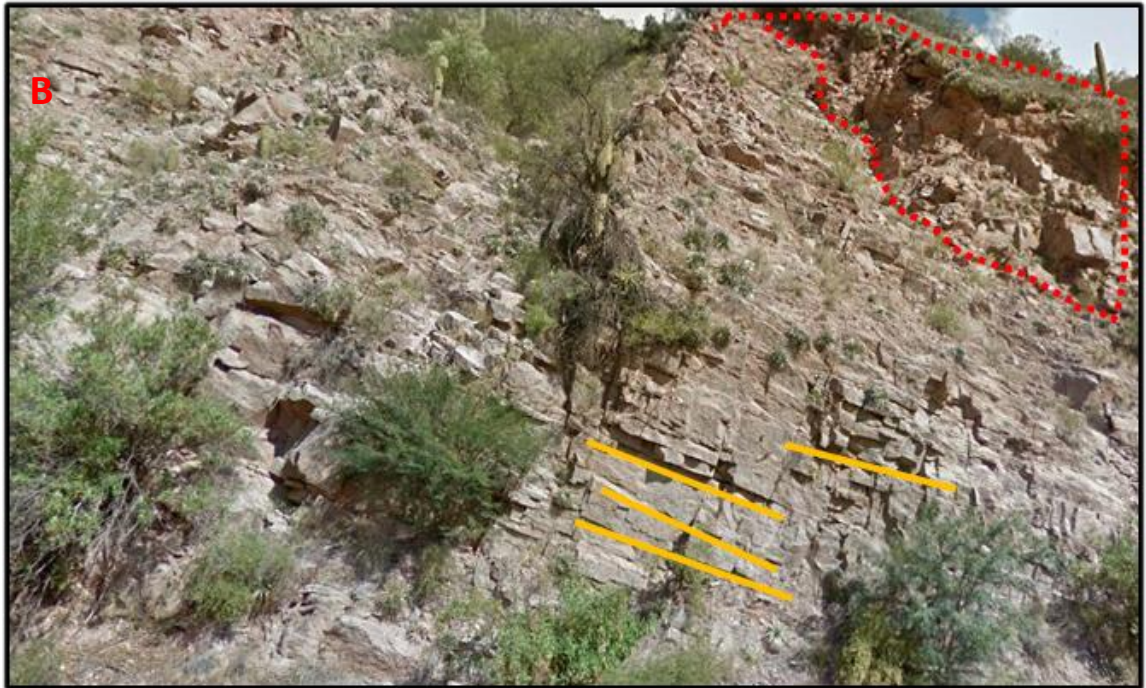


LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

Descripción fotográfica N° 9

Coordenadas :	27°35'22.9"S 67° 0'41,6"O
Tipo de Remoción:	Deslizamiento planar
Mecanismo de Movimiento:	Deslizamiento
Factor Condicionante:	Diaclasas
Factor Disparador	Agua
Material involucrado:	Bloques pequeños y material fino
Velocidad:	Rápidos
Contenido de humedad	Húmedo
Vulnerabilidad hacia las personas y vía de acceso	Medio
Clasificación de Riesgo:	Medio





Observaciones: zona de ladera natural con pendiente pronunciada en donde se registraron deslizamientos de material fino y grueso. En este caso la vegetación no actúa como un medio protector ante la erosión, tampoco es efectivo como fijador del sustrato, más bien actúa provocando meteorización por crecimiento de raíces en el diaclasamiento, como se puede notar en la foto **A**, en la misma también se puede ver en rojo resaltado un deslizamiento planar relativamente fresco, que permite inferir que el material situado abajo a la derecha tiene altas probabilidades de desplazarse de la misma manera. En la figura **B** vemos que el deslizamiento se produce siguiendo los planos de fractura que inclinan a favor de la ladera, en este caso hacia la ruta, lo cual potencia la vulnerabilidad frente al riesgo de caída de bloques.



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

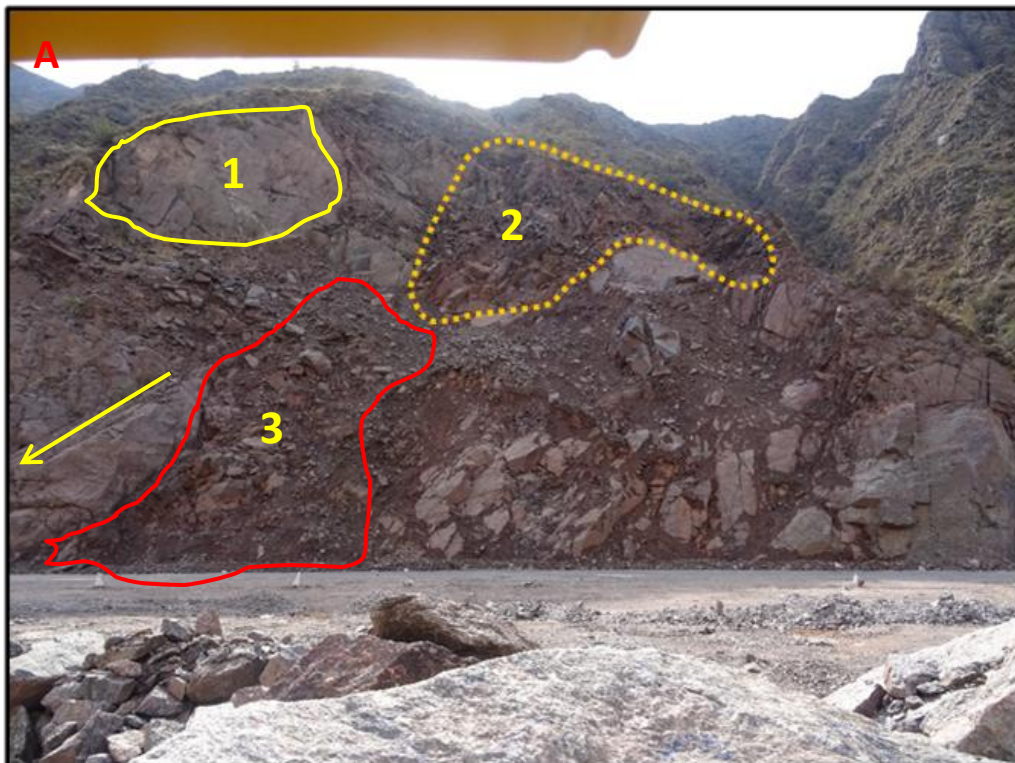


Figura 20: Muestra la ubicación de las fotografías analizadas en el Sector I.
Fuente: Elaboración propia.

ANALISIS SECTOR II

Descripción fotográfica N° 10

Coordenadas :	27°34'15.70"S 67° 0'12.20"O
Tipo de Remoción:	Deslizamiento de roca
Mecanismo de Movimiento:	Deslizamiento
Factor Condicionante:	Pendiente y Diaclasas
Factor Disparador	Agua y Antrópico
Material involucrado:	Bloque y material fino
Velocidad:	Lento
Contenido de humedad	Seco
Vulnerabilidad hacia las personas y vía de acceso	Medio
Clasificación de Riesgo:	Alto





Observaciones: en fotografía A se destaca un frente de deslizamiento del material que se encuentra en 2, que a su vez constituye una zona inestable, ante una precipitación intensa será removido de su lugar debido a que la roca se encuentra muy fracturada el agua se infiltra con facilidad generando presiones en las paredes de la roca; en 3 vemos la dirección de desplazamiento de los materiales producto de caídas de clastos previas y de la desagregación de la roca. En fotografía B, en 1 distinguimos la cicatriz de arranque de los clastos depositados en forma de lengua en 2. Las superficies definidas con 3 indican deslizamiento planar. Esto implica que, en esta área, se combinan movimientos de tipo planar y de caída de rocas, lo cual hace de este frente una zona de alto riesgo ante un proceso de remoción en masa. Sin embargo, en vistas de que no se encuentra en contacto directo con la ruta, sus depósitos contribuyen al río, significa riesgo solo cuando hay crecidas de alta energía capaces de transportar el material.



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

Descripción fotográfica N° 11

Coordenadas:	27°34'1.19"S 66° 59'32"O
Tipo de Remoción:	Flujo de Detritos
Mecanismo de Movimiento:	En flujo
Factor Condicionante:	Pendiente
Factor Disparador	Agua
Material involucrado:	Bloque y Material coluvial
Velocidad:	Lento a rápido
Contenido de humedad	Húmedo-seco
Vulnerabilidad hacia las personas y vía de acceso	Bajo
Clasificación de Riesgo:	Medio



Observaciones: se presenta un movimiento en flujo compuesta en su mayor parte por materiales finos que, si bien tienden a activarse en épocas de lluvia, durante el periodo seco el material se desplaza por gravedad en movimientos lentos de reptación.



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

Descripción fotográfica N° 12

Coordenadas:	27°33'57.97"S 67° 0'3.62"O
Tipo de Remoción:	Caída de roca
Mecanismo de Movimiento:	Desplome o Caída
Factor Condicionante:	Estructura y pendiente
Factor Disparador	Vibraciones y agua
Material involucrado:	Bloques de roca
Velocidad:	Rápido
Contenido de humedad	Seco
Vulnerabilidad hacia las personas y vía de acceso	Medio
Clasificación de Riesgo:	Alto



Observaciones: el macizo rocoso está muy fracturado haciendo posible que el agua de lluvia actúe de dos maneras, por un lado, que ejerza presiones en las paredes y actúe como lubricante, además pueda lavar las superficies y el material fino que rellena las fracturas a su vez, es común que genere la caída de rocas.



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

Descripción fotográfica N° 13

Coordenadas:	27°33'54,1"S 67° 0'11.7"O
Tipo de Remoción:	Reptación
Mecanismo de Movimiento:	Flujo
Factor Condicionante:	Inclinación y relieve
Factor Disparador	Agua
Material involucrado:	Material coluvial
Velocidad:	Lento
Contenido de humedad	Seco
Vulnerabilidad hacia las personas y vía de acceso	Bajo
Clasificación de Riesgo:	Bajo



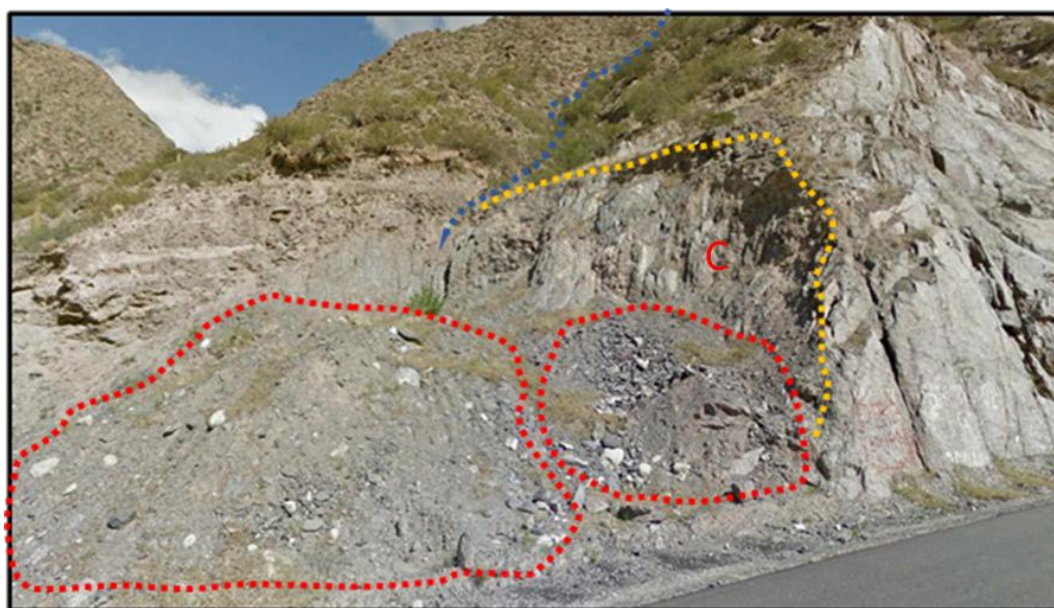
Observaciones: deslizamiento lento de materiales, de tipo reptación, en general se los puede reconocer por la inclinación que presentan las plantas.



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

Descripción fotográfica N° 14

Coordenadas:	27°33'49.23"S 67° 0'21.08"O
Tipo de Remoción:	Flujo de detritos
Mecanismo de Movimiento:	Flujo
Factor Condicionante:	Litología y meteorización
Factor Disparador	Agua
Material involucrado:	Material coluvial
Velocidad:	Lento a rápido
Contenido de humedad	Húmedo/seco
Vulnerabilidad hacia las personas y vía de acceso	Bajo
Clasificación de Riesgo:	Medio



Observaciones: Proceso de remoción en masa vinculado con la modificación de la roca, por voladura, para la construcción de la ruta dejando el frente rocoso susceptible de deslizamiento posterior, en amarillo notamos la cicatriz de deslizamiento, en C el frente de deslizamiento (donde se encontraba previamente el material acumulado al pie) que se representa en la foto con línea roja, este depósito muestra una selección errática de los materiales, se repite en varios de los taludes artificiales indicando que no hay intervención del agua en el proceso, si hubiera sido transportado por acción fluvial mostraría algún nivel de selección.



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

Descripción fotográfica N° 15

Coordenadas :	27°33'44.60"S 67° 0'23.60"O
Tipo de Remoción:	Planar
Velocidad:	Rápido
Mecanismo de Movimiento:	Deslizamiento
Factor Condicionante:	Estructura y pendiente
Factor Disparador	Agua
Material involucrado:	Bloques y Detritos
Contenido de humedad	Seco
Vulnerabilidad hacia las personas y vía de acceso	Bajo
Clasificación de Riesgo:	Medio





Observaciones: deslizamiento planar, con la ayuda de la gravedad se desliza por la pendiente y provoca la caída de los bloques, agregado a esto se produce el desprendimiento de detritos por el esfuerzo que genera el bloque en su caída.

El material acumulado producto del deslizamiento no corre probabilidad de caída ya que estos están contenidos mediante un gabión. Otro factor a tener en cuenta es la generación de caídas de bloques grandes, que si estos son redondeados pueden rodar por el plano y ser contenidos por el gabión, pero si estos son bloques con caras plana angulosos pueden rebotar y caer en la traza, cabe destacar que este deslizamiento es antiguo y que el talud encontró su ángulo de reposo llegando a su tope máximo de la estructura.



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

Descripción fotográfica N° 16

Coordenadas :	27°33'38.3"S 67° 0'22.8"O
Tipo de Remoción:	Traslacional y en Cuña
Velocidad:	Rápido
Mecanismo de Movimiento:	Deslizamiento
Factor Condicionante:	Estructura
Factor Disparador	Agua y Antrópico
Material involucrado:	Bloques rocosos
Contenido de humedad	Seco
Vulnerabilidad hacia las personas y vía de acceso	Medio
Clasificación de Riesgo:	Medio



Observaciones: se puede notar la acumulación de bloques en la primera berma. Los desprendimientos son de tipo traslacional que puede llegar a originar a lo largo de una

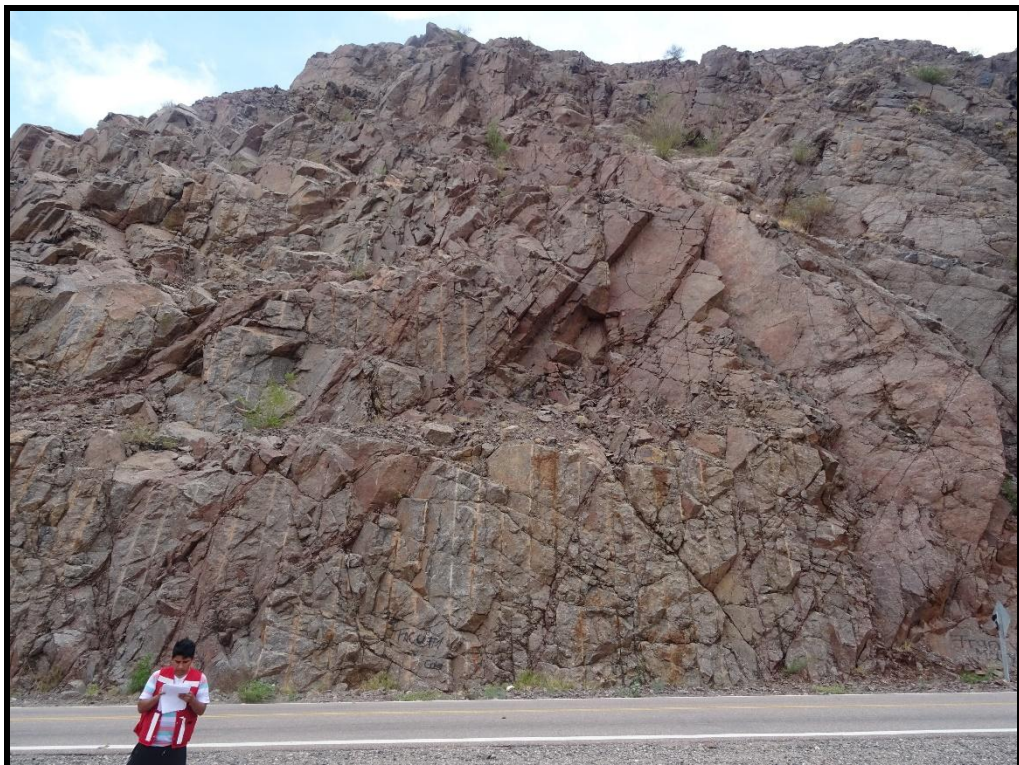


LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

superficie de fractura. También se observa que parte de la segunda berma fue desplomada y se puede deducir que la inclinación que tenía el banco no era el adecuado. El crecimiento de vegetación sirve como sostenimiento del material mediante sus raíces lo cual baja la vulnerabilidad.

Descripción fotográfica N° 17

Coordenadas :	27°33'36.4"S 67° 0'25.5"O
Tipo de Remoción:	Caída de rocas
Velocidad:	Rápido
Mecanismo de Movimiento:	Caída
Factor Condicionante:	Estructura y pendiente
Factor Disparador	Vibraciones y agua
Material involucrado:	Bloques rocosos
Contenido de humedad	Bajo
Vulnerabilidad hacia las personas y vía de acceso	Alto
Clasificación de Riesgo:	Alto



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O



Observaciones: movimiento de tipo caída de bloques, al desprenderse liberan presión provocando la abertura de las diaclasas y causando un efecto domino. En la segunda figura se observa un tipo de fractura provocada por la misma voladura cuando se realizaron los precortes.

Descripción fotográfica N° 18

Coordenadas :	27°33'35.10"S 67° 0'30.70"O
Tipo de Remoción:	Flujo de Detritos
Velocidad:	Lento a rápido
Mecanismo de Movimiento:	Flujo
Factor Condicionante:	Pendiente
Factor Disparador	Agua y antrópico
Material involucrado:	Detritos
Contenido de humedad	Medio
Vulnerabilidad acia las personas y vía de acceso	Bajo
Clasificación de Riesgo:	Medio

LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O



Observaciones: estos depósitos de flujos de detritos son producto de la erosión y meteorización del granito, se componen de grava de tamaño grueso y pequeños bloques de formas angulares a subangulares. Estos flujos son causados por el exceso de lluvia durante el verano generando acumulación de materiales en las bermas.

Descripción fotográfica N° 19

Coordenadas :	27°33'23.10"S 67°0'33.0"O
Tipo de Remoción:	Flujo de detritos
Velocidad:	Lento a rápido
Mecanismo de Movimiento:	Flujo
Factor Condicionante:	Erosión y meteorización
Factor Disparador	Agua y vibraciones
Material involucrado:	Pequeños fragmentos de rocas con arena y limo
Contenido de humedad	Seco/Humedo
Vulnerabilidad hacia las personas y vía de acceso	Medio
Clasificación de Riesgo:	Medio



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O



Observaciones: en amarillo se resalta el material susceptible de deslizamiento, se trata de una cubierta cuaternaria, el deslizamiento se puede llegar a generar cuando las precipitaciones son muy intensas y parte de la misma se infiltra con facilidad en el material suelto haciéndola inestable.



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

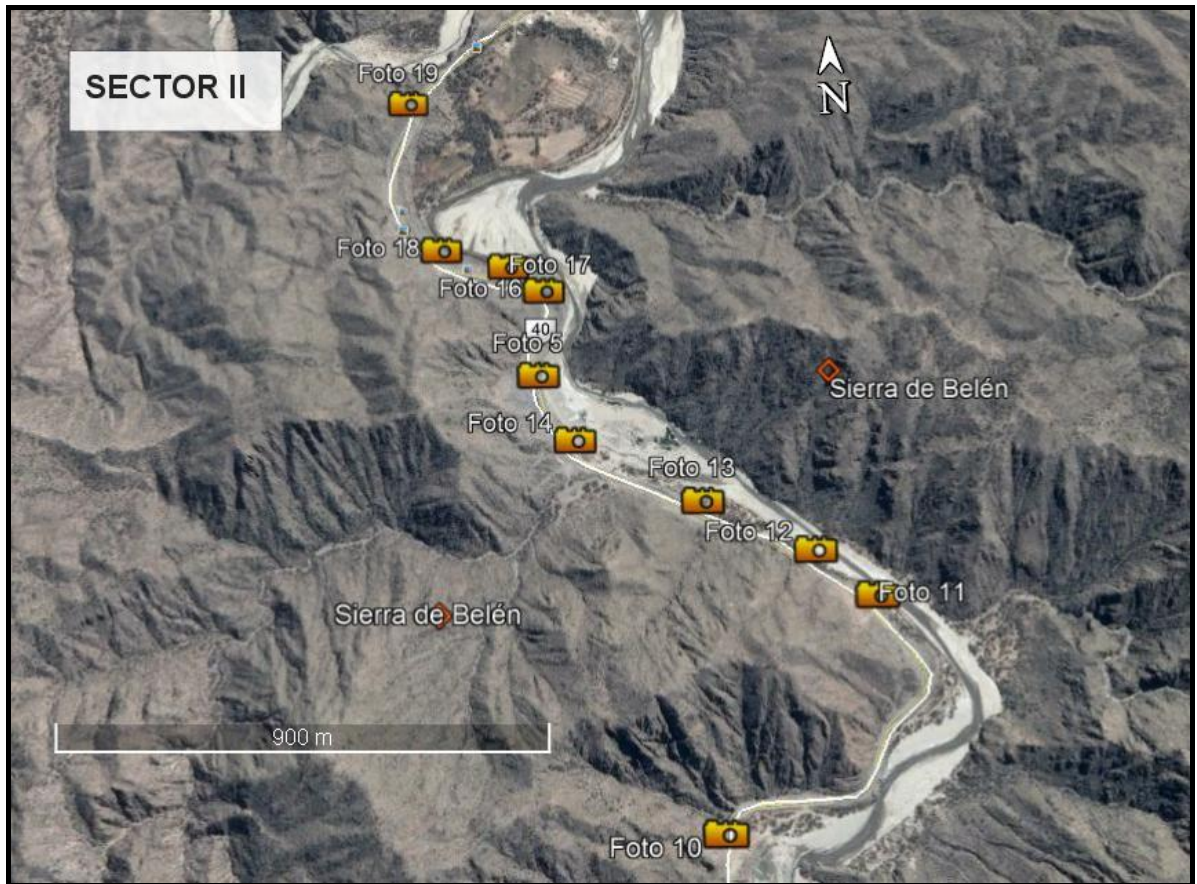


Figura 21: Muestra la ubicación de las fotografías analizadas en el Sector II.
Fuente: Elaboración propia

4.3. ANALISIS GENERAL DE LOS EVENTOS GEOMORFOLOGICOS VINCULADOS A LOS PROCESOS DE REMOCION EN MASA

Según Ferrer Gijón (1995), los factores que controlan los procesos, sobre todo los movimientos de ladera, pueden quedar agrupados en factores condicionantes y factores desencadenantes. Los primeros están unidos a la propia naturaleza, composición, estructura y forma de terreno, mientras que los desencadenantes pueden ser considerados como "externos", ya que al actuar sobre el terreno provocan o desencadenan los procesos al modificar las condiciones de equilibrio pre-existentes.

Factores desencadenantes: para la quebrada del Río Belén, se pueden incluir en este grupo al clima, concretamente las precipitaciones fluviales, el efecto que imprime sobre la roca y el material sedimentario, es contribuir a que se produzcan e incrementen las presiones intersticiales y la circulación del agua, y sedimentos que traslada de la superficie, por medio de las discontinuidades, generando así una disminución en la resistencia al corte de los materiales, además de elevar peso por depositación de material, en el caso particular de obras de prevención como bermas de taludes.

Otro factor es el antrópico, ya que juega un papel importante en los cambios que introducen en el sistema de manera intencional y/o accidental, como ser la desestabilización de las laderas ocasionada por actividades de mantenimiento de caminos generando cambios en la geometría y pendiente de las laderas. También se debe considerar la eliminación del somero estrato de suelo, ya de por si escasa, cubierta vegetal dejando a la roca expuesta a la erosión e infiltración.

Los factores condicionantes: en el área de trabajo podemos destacar en primer lugar la litología, quien cumple un papel muy importante en el control de tipo de movimiento generado. En este caso se trata de granitoide deformado, con textura porfiroclástica, formado por porfiroblastos de microclino perfitico, con notorios procesos de meteorización física intemperismo y acción de las raíces de la escasa vegetación presentes.

Otro factor condicionante son las condiciones tectónicas, en cuanto a que las rocas que integran las laderas se encuentran altamente diaclasadas y fracturadas, favorecen los movimientos en masa, particularmente los movimientos en seco, y generan una superficie de deslizamiento de fácil lubricación en periodos húmedos que incrementan las probabilidades de deslizamientos de materiales.

Los aspectos geomorfológicos más relevantes a considerar para la generación de procesos de remoción en masas, corresponden a las pendientes de las laderas, como así también, sus alturas y exposición al sol. En función de ello, se ha generado la cartografía correspondiente para analizar y valorar las variables de mención, las cuales se obtuvieron a partir de un modelo de elevación digital (DEM).

Una Carta de exposición de laderas (Fig.N°22) permite conocer, de un relieve, la orientación de las caras de las laderas que lo conforman, respecto a los puntos cardinales.

Existen diversos usos para este tipo de imágenes, sin embargo, en lo que se refiere al estudio del peligro de los procesos de remoción en masa, las condiciones de humedad que guarda una ladera debido a la influencia del sol sobre ésta determinarán el tipo de proceso exógeno a ocurrir. En los procesos gravitacionales la resistencia de los macizos rocosos puede verse severamente resentidos por el efecto de inestabilidad que el agua ejerce sobre estos, de tal forma que, la cantidad de humedad que presenta una ladera debe incluirse



aunque de manera indirecta en un estudio de peligro sobre todo en lugares donde es evidente que uno de los factores detonantes es la acumulación de agua dentro del sistema rocoso por efecto de la lluvia.

En la Carta de Orientación de Laderas (Figura N° 22), se observa que la orientación mayoritaria de las laderas del lado occidental es hacia el este, sudeste y en menor proporción al sur, mientras que del lado oriental inclinan hacia el oeste, noroeste, sudoeste, y en menor proporción hacia el norte. Este es un factor que influye en la cantidad de vegetación que puede encontrarse en la zona, observando que en las laderas orientadas hacia el oeste, noroeste, sudoeste y norte tienen menor cantidad de vegetación que el resto. El efecto es generado porque el sol pasa por el norte de este a oeste, impidiendo de cierta manera que el suelo en esas laderas conserve una cantidad importante de humedad, condición fundamental para el crecimiento de vegetación.

El relieve de una determinada área juega un papel definitivo en la estabilidad de la misma, puesto que es necesaria cierta pendiente para que se produzcan los movimientos gravitacionales de masas, esa pendiente se puede distinguir muy bien en la Carta topográfica y en la Carta de pendiente.

En la Carta Topográfica (Fig. N°23) se observa en el Sector I, las curvas de nivel que están cercanas a la ruta muestran un patrón espaciado lo que indica un relieve suave, mientras que en Sector II, ocurre lo contrario, casi toda el área muestra una mayor densificación de las curvas, caracterizando un relieve más escarpado con pendientes abruptas.



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

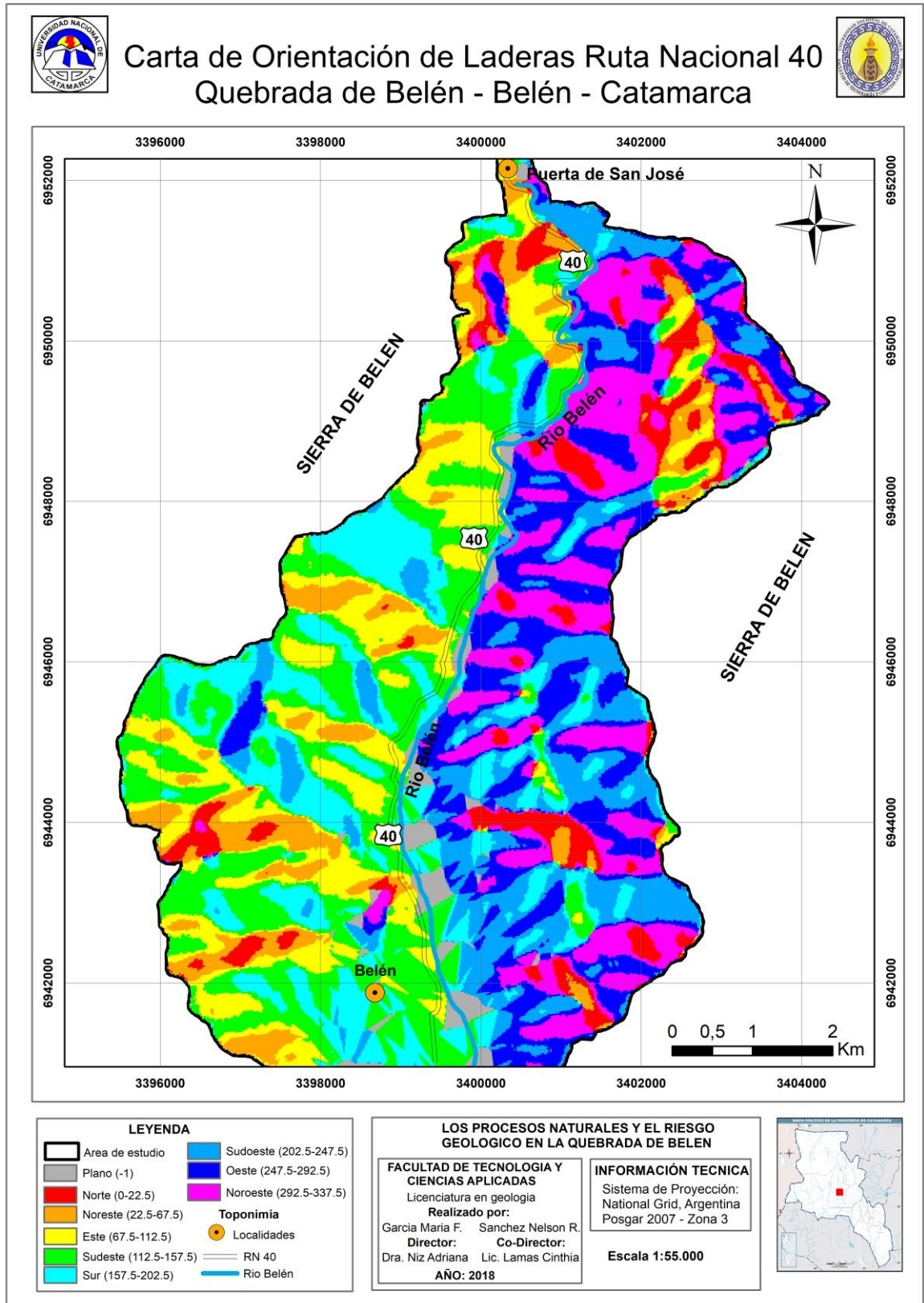


Figura N° 22: Carta de Orientación de Ladera del Área de Análisis

Fuente: Elaboración propia



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

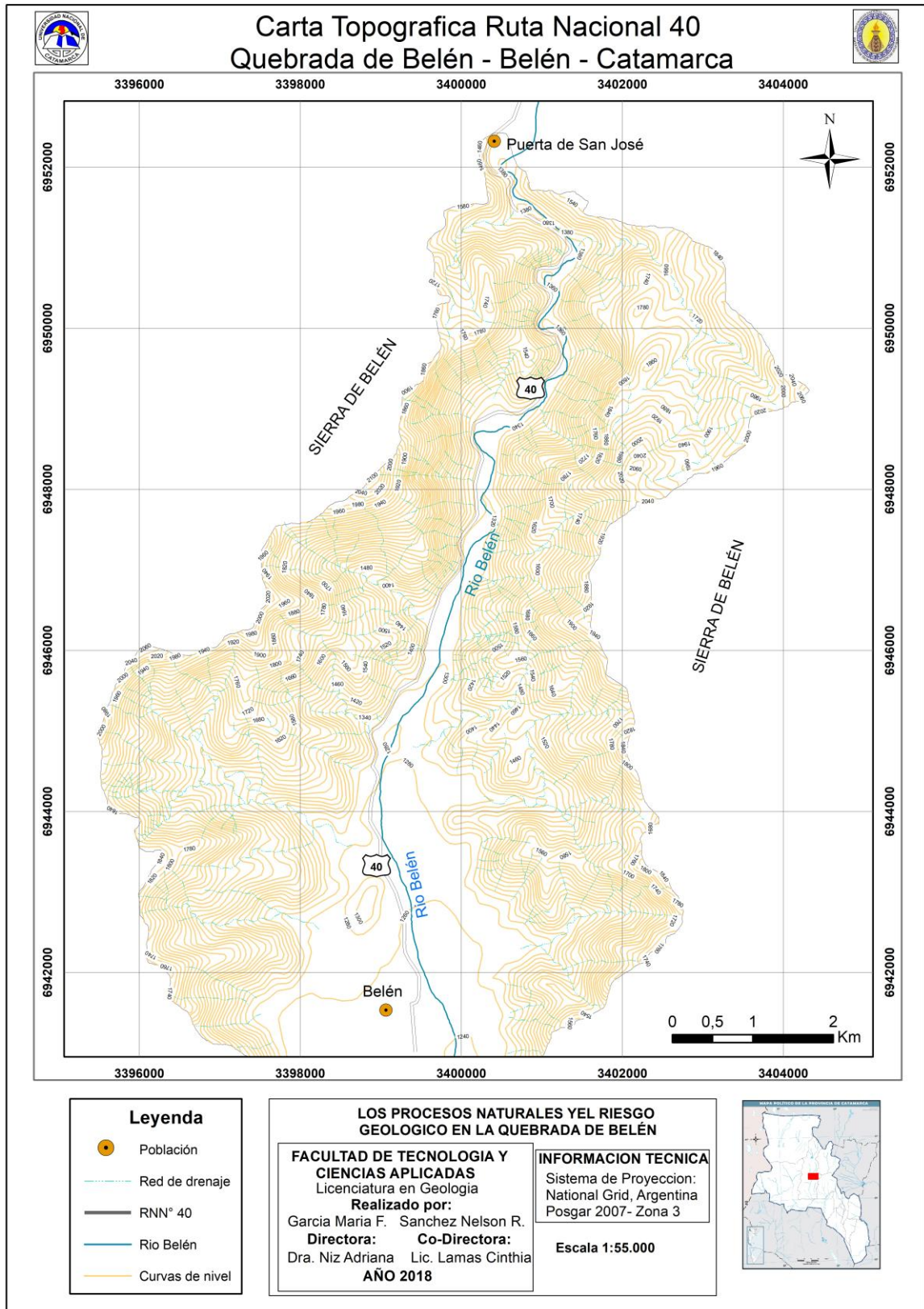


Figura N° 23: Carta Topográfica del Área de Análisis
Fuente: Elaboración propia



4.4. PENDIENTE

En la carta de Pendiente y de Riesgo Geológico se pueden observar las zonas que son vulnerables y/o susceptibles a deslizamiento y derrumbe o caídas, las cuales pueden presentar mayor o menor riesgo.

Los valores obtenidos en el mapa de pendiente oscilan entre 0° y 55°, encontrándose un mayor número de pendientes entre los 15° y 35° (Fig. N° 24). Como puede observarse en la carta, el mayor porcentaje del relieve de la zona presenta pendientes susceptibles o propensas a movimientos gravitacionales considerando lo estipulado por (Dai y Lee, 2002) que afirman que “al aumentar el gradiente de una ladera se incrementa la probabilidad de falla. En la metodología a aplicar, se indica que los sectores con pendientes inferiores a 5° no serán considerados para la evaluación de vulnerabilidad (dado que son pendientes con muy baja probabilidad de remoción en masa, salvo casos muy particulares de subducción), se identifican en la figura estas áreas por colores verde oscuro y verde amarillento. Sin embargo, esta carta de pendientes no refleja de forma fidedigna las reales pendientes de los cortes artificiales de ladera observados en terreno, que incluso puede llegar a los 75° y que han sido consideradas al aplicar la metodología de riesgo geológico, quizá esto se deba a que la sección que se eligió para aplicar el programa tiene una escala que no permite este nivel de detalle.

Como resultado del análisis de las cartas temáticas descriptas (Carta de pendiente, topográfico, y geológico), se pudo elaborar una Carta de Amenaza Geológica, la cual se vincula con la distancia de la ruta 40 con las laderas de la Quebrada, considerando que la amenaza se potencia y se transforma en riesgo cuando se relaciona con el impacto que puede provocar en la economía, los bienes y la vida de las personas.

La Carta de amenazas (Fig. 25) muestra la distribución de las zonas que pueden ser afectadas por movimiento de masa, en este se aprecian tres niveles de amenaza, distribuidos en toda el área de estudio.

Se observa que en el Sector I predominan las zonas de amenaza media y alta, mientras que en el sector dos presentan niveles de amenaza muy alta que corresponden a las zonas con pendientes más fuertes y que, además están directamente aledañas a la ruta.

Las zonas de amenaza baja se localizan principalmente en áreas de pendientes bajas y moderadas.

Los niveles de amenaza que se destacan en el mapa, coinciden con algunos de los sectores analizados y comprobados de estar afectados por movimientos en masa durante el trabajo de campo.

El nivel de riesgo por movimiento de masa, está representado en la carta de riesgo (Fig. N° 26), se pueden observar claramente las zonas donde el nivel de riesgo es alto, principalmente en el sector II del área de estudio, coincide con las pendientes muy escarpadas, en el sector I el relieve es moderado y presenta un nivel de riesgo moderado a bajo.

Todos las Cartas temáticas pueden ser consultados en tamaño A3, en el Capítulo IX Anexos.



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

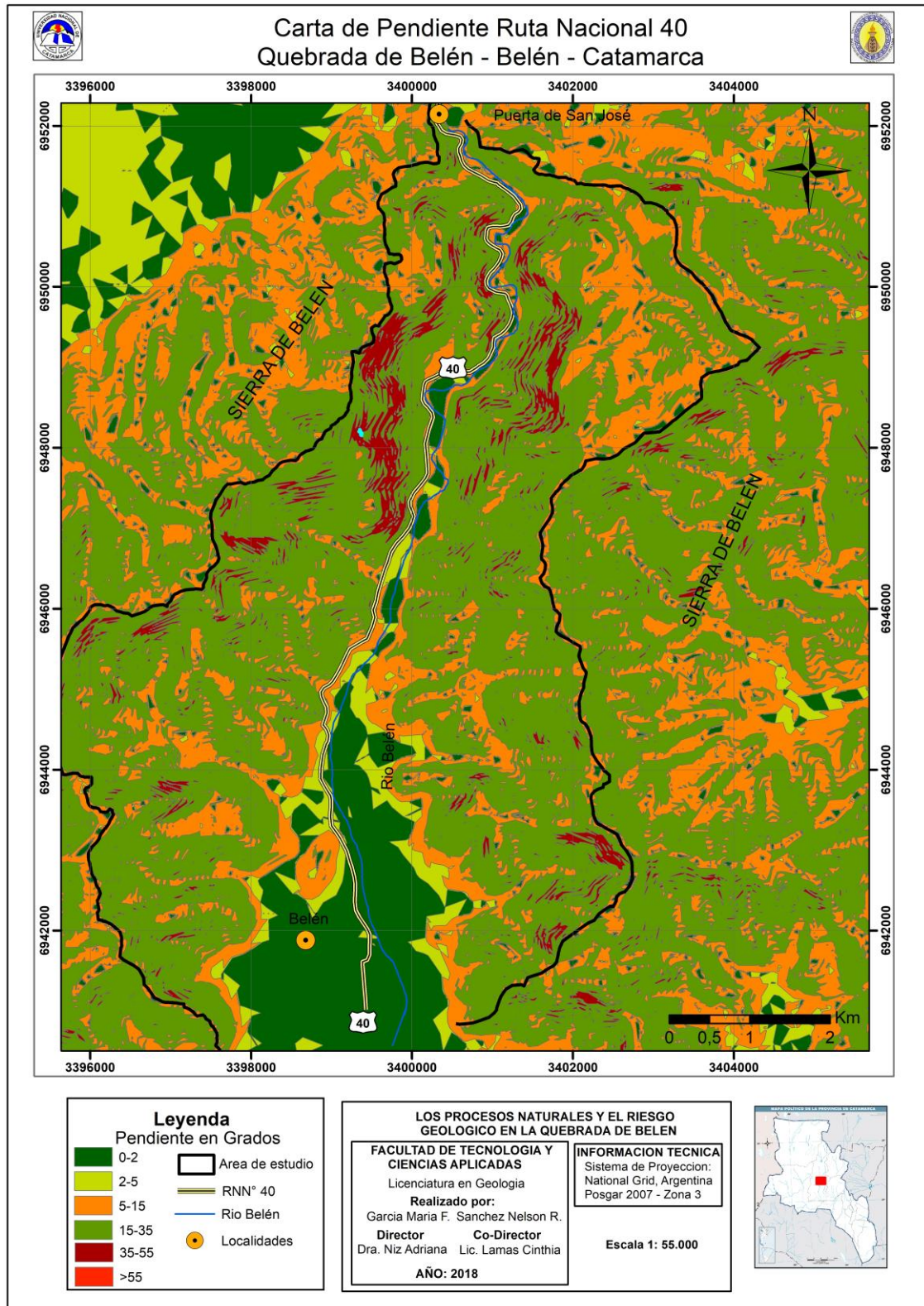


Figura N° 24: Carta de Pendiente del Área de Análisis
Fuente: Elaboración propia.



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

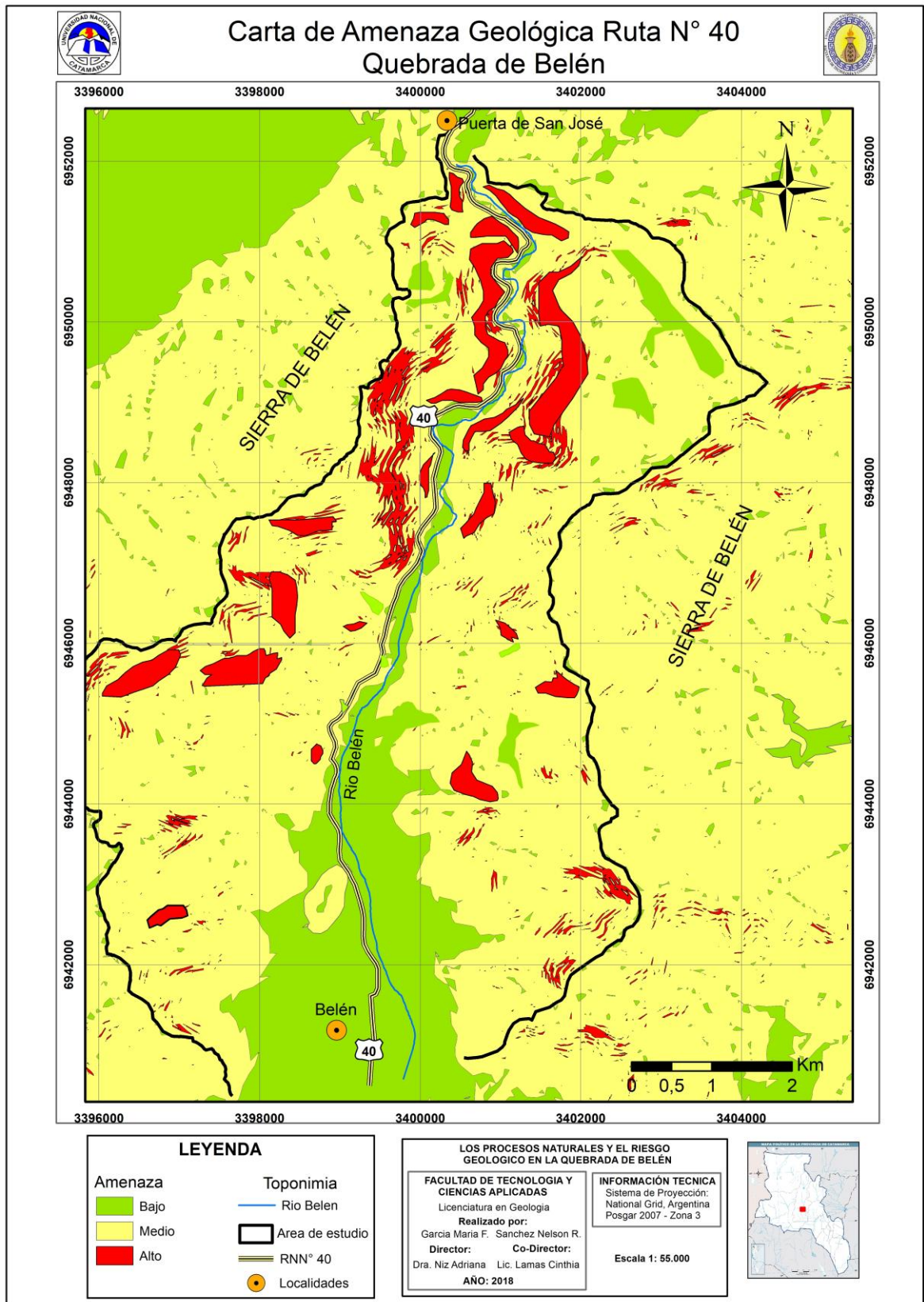


Figura N° 25: Carta de Amenaza Geológica del Área de Análisis.
Fuente: Elaboración propia



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

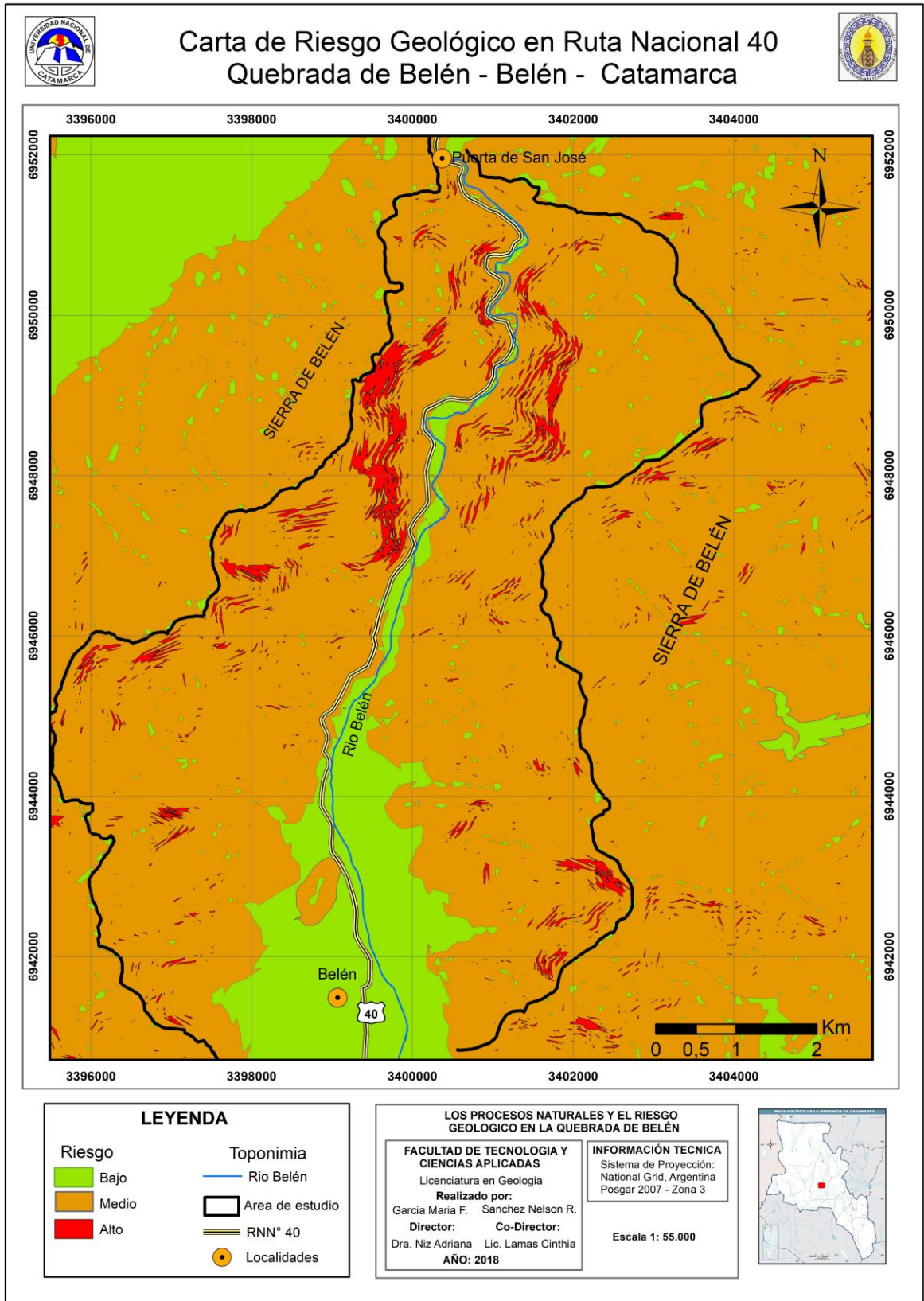


Figura N° 26: Carta de Riesgo geológico del Área de Análisis.
Fuente: Elaboración propia





CAPITULO V: COMPORTAMIENTO GEOMECANICO



5.1. COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO

La identificación de los mecanismos de las discontinuidades en los taludes, tanto naturales como artificiales se basa en el reconocimiento de los factores geológicos que son los que condicionan el comportamiento de cada uno de ellos. Los deslizamientos de taludes tienen varias ocurrencias y en cierta manera si no se analiza su comportamiento llega a ser impredecible, se debe tener en cuenta su velocidad de ocurrencia y el área afectada.

El análisis se basa en patrones que ayudan a identificar y reconocer áreas potenciales de fallas, lo cual permite el tratamiento del talud para eliminar o reducir a un mínimo el riesgo.

Se conocen con el nombre genérico de talud a cualquier superficie inclinada con relación a la horizontal adoptada por las estructuras en tierra, tanto de forma natural como por la intervención humana en una obra ingenieril. Partiendo de este principio, los taludes se clasifican en naturales (barrancas) o artificiales (cortes).

Ambos están presentes en el área de interés, los primeros se relacionan con la cubierta cuaternaria, generando deslizamientos o caídas debido al ángulo o inclinación, los procesos meteóricos y la fuerza de infiltración.

Los taludes artificiales, en este caso, se generan por cortes en voladura donde la mayoría de ellos posee un ángulo vertical o sub vertical y genera desprendimientos o deslizamientos de grandes bloques, por ello los taludes pueden presentar problemas de vital importancia para el mantenimiento de la obra y para la seguridad vehicular.

La verificación de la estabilidad de los taludes se hace necesaria debido a la posibilidad de ocurrencia de deslizamientos o movimientos de masa inducidos por el aumento de las tensiones de corte o por la reducción de su resistencia. En el primer caso, el aumento de las tensiones en general puede deberse a la sobrecarga en el coronamiento o cabeceo de los terraplenes, a la descarga en la base, cortes, excavaciones, erosiones y a las vibraciones ya sea sísmica o propia de las máquinas. En el segundo caso, los factores más comunes para la reducción de la resistencia son el intemperismo de los minerales, modificaciones de estructuras débiles tales como fallas, diaclasas o discontinuidades y la foliación quien aumenta la concentración de fracturas.

Tan pronto se comprueba que hay un riesgo de inestabilidad en un determinado talud, se debe buscar la mejor solución y considerar la naturaleza de la zona afectada tanto en la cresta como al pie del talud y ver el tiempo durante el cual que se puede presentar el problema y la disponibilidad de los materiales de construcción que se van a utilizar para evitar la acción (Apuntes FILP, 2008).

Para ello, existen varios métodos para lograr la estabilidad de un talud entre ellos la disminución de los esfuerzos actuantes en el mismo, con un cambio de la geometría mediante el corte parcial o total de éste a un ángulo menor o bien a la reducción de la cresta para disminuir su altura. Otro de los métodos más usados en la región es incrementar los esfuerzos de confinamiento del talud, esto se puede lograr mediante obras, como ser los muros de gravedad, las pantallas más conocidas como bermas realizadas con el mismo material.

Las bermas son cortes horizontales un espacio llano, cornisa, o barrera elevada que separa dos zonas, realizados sobre la línea del contratalud a los efectos de mejorar la estabilidad de los taludes naturales o artificiales, con la función de acumular allí los materiales que caen de las zonas más elevadas. Mediante la modificación de la geometría de los taludes, se



redistribuyen las fuerzas debidas al peso de los materiales obteniéndose una nueva configuración más estable.

El escalonamiento del talud, con la construcción de bermas contribuye a evitar que se produzcan roturas superficiales que afecten a todo el frente del talud, al cortarse los posibles planos de rotura. Esta medida suele decidirse antes de la excavación del talud; además las bermas sirven para retener bloques que se desprendan y roturas locales del talud, para instalación de medidas de drenaje y accesos para las obras de saneamiento y control del talud Collin (1997).

En la Ruta Nacional 40 se encuentran varios cortes realizados por medio de voladuras dejando una geometría irregular y una pendiente casi vertical, debido a los factores geológicos, principalmente el tipo de roca donde se generó el corte. Se trata de rocas graníticas con superficies débiles tales como fallas, diaclasas y foliación, estas estructuras dividen el macizo rocoso en una serie de unidades individuales que pueden estar separadas unas con respecto de otras. Estas discontinuidades se potencian cuando se les suma la escorrentía de láminas de agua y vegetación, lo cual aumenta más el desplazamiento o separación de los bloques individuales reduciendo así la resistencia al deslizamiento.

Debido a lo expuesto se utilizará un método geomecánico descriptivo del comportamiento del macizo rocoso, que lleva por nombre GSI (Geological Strength Index - Hoek, 1994; Hoek et al. 1995) sigla en inglés que significa el Índice de Fuerzas Geológicas, teniendo en cuenta las condiciones de las discontinuidades y la estructura del macizo rocoso (Tabla E).

El GSI es un sistema para la estimación de las propiedades geomecánicas del macizo rocoso a partir de observaciones geológicas de campo. Las observaciones se basan en la apariencia del macizo a nivel de estructura y a nivel de condición de la superficie. A nivel de estructura se tiene en cuenta el nivel de alteración que sufren las rocas, la unión que existe entre ellas, si ha sufrido erosión o qué tipo de textura presenta, y el tipo de recubrimiento existente.

Una vez realizadas las observaciones se escoge en la Tabla la situación que más se acerca a la realidad del macizo a analizar, obteniendo de esta forma, el valor del GSI. Se observa en la Tabla los valores del GSI varían desde 10 hasta 90. Los valores cercanos al 10 corresponden a las situaciones del macizo rocoso de menor calidad, es decir con la superficie muy erosionada, con arcilla blanda en las juntas, y con una estructura poco resistente debido a las formas redondas, y a la gran cantidad de fragmentación que sufre el macizo. Por el contrario, valores de GSI cercanos a 90, implican macizos de gran calidad, ya que significa una estructura marcada por una pequeña fragmentación en la que abundan las formas prismáticas y superficies rugosas sin erosión.



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O







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

Tabla. E: Caracterización de las masas de las rocas en Bloque. - Hoek & Brown 1995



5.2. DESCRIPCIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES Y CLASIFICACIÓN DEL GSI

Las discontinuidades condicionan de una forma definitiva las propiedades y el comportamiento resistente, de deformaciones e hidráulico del macizo rocoso. Para conocer su comportamiento se definieron las características y propiedades de los planos de las discontinuidades existentes.

Imagen I:

Familia de Discontinuidades	2
GSI 65	Bloques fracturados
Estabilidad	Media



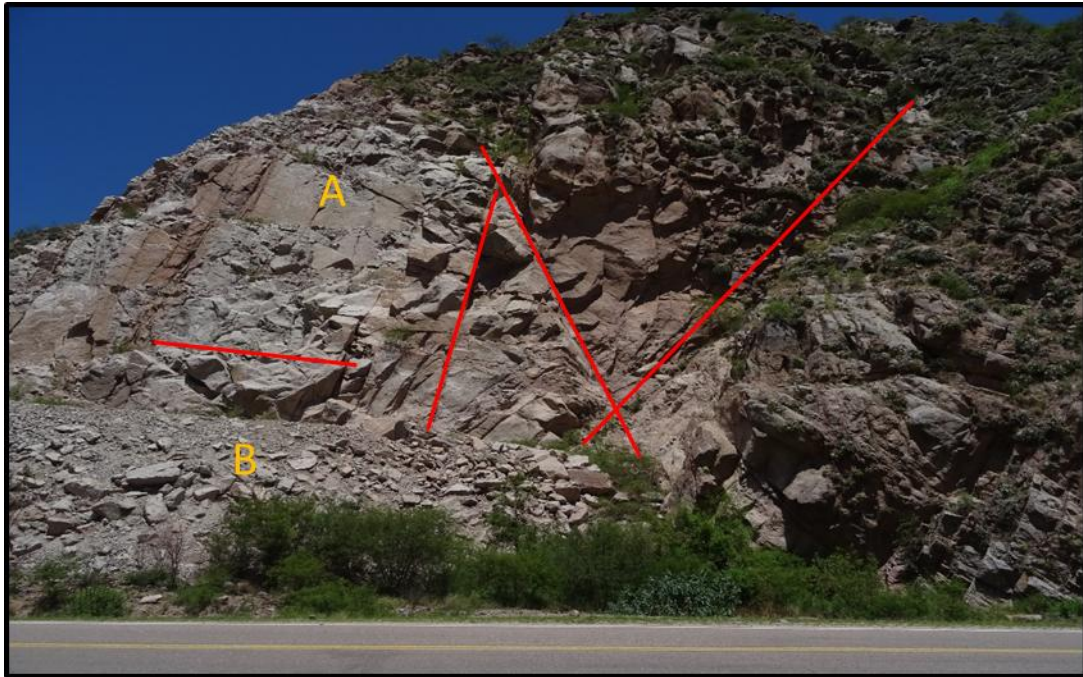
Observaciones: los bloques se encuentran entrelazados conformado por tres familias de discontinuidades, presentando superficies planas poco meteorizadas y presentan sedimentos en sus fracturas. En amarillo vemos una fractura muy importante y con línea cortada, es una fractura de corte neotectónica en A planos de diaclasamiento que evidencian el estilo de desplazamiento en bloques.



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

Imagen II:

Familia de Discontinuidades	4
GSI 45	Bloques fracturados
Estabilidad	Baja



Observaciones: macizo parcialmente perturbado con bloques entrelazados y angulares formado por cuatro o más discontinuidades, al haber intersección entre ellas genera un sistema de cuñas produciendo el desprendimiento de bloques. En A podemos observar plano de diaclasamiento que funciona como superficie de deslizamiento, en B el material procedente de A.

LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

Imagen III:

Familia de Discontinuidades	5
GSI 30	Bloques altamente fracturados
Estabilidad	Baja

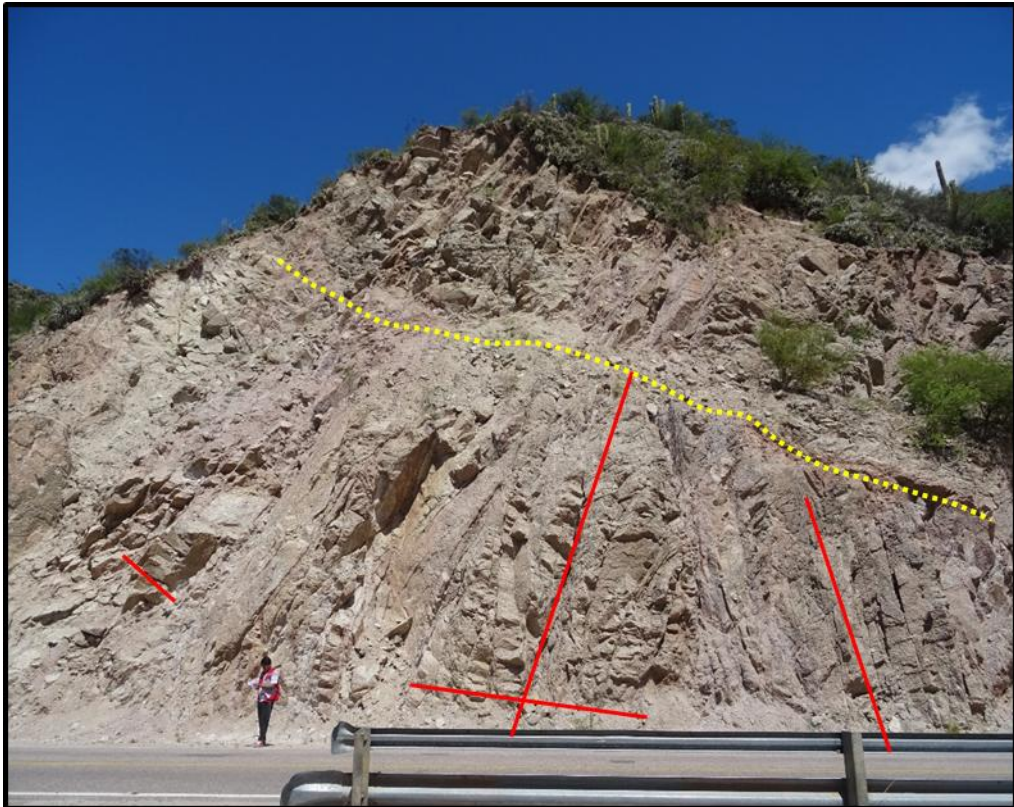


Observaciones: se presentan dos fallas principales y varias familias de discontinuidades, la resistencia de la roca es baja, se encuentra altamente meteorizada y alterada.

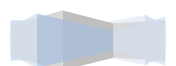
LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

Imagen IV:

Familia de Discontinuidades	4
GSI 50	Bloques parcialmente perturbado
Estabilidad	Media



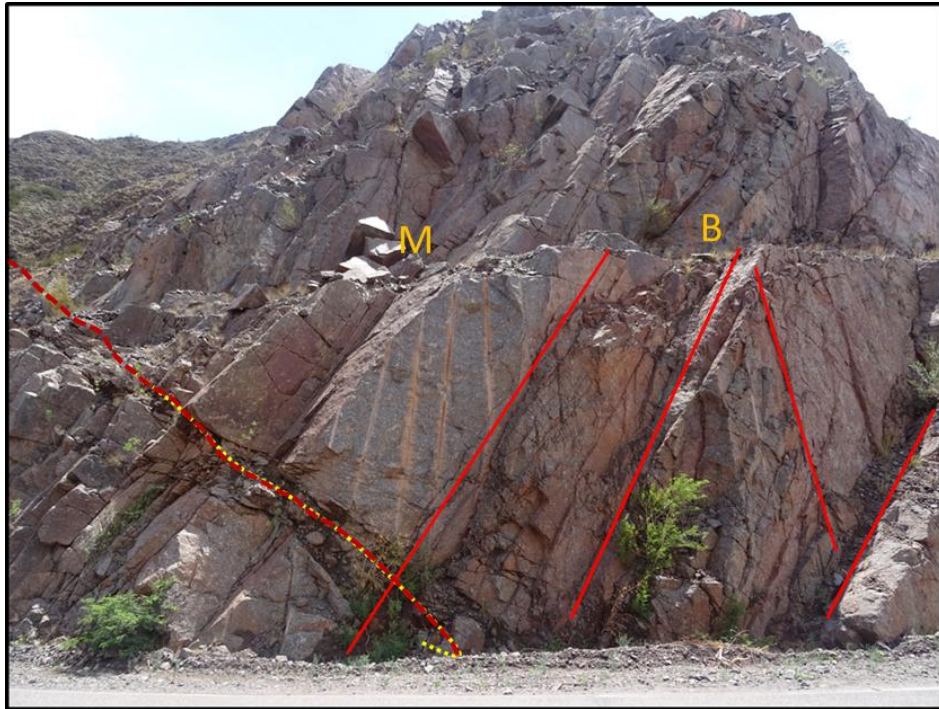
Observaciones: bloques perturbados con caras angulosas, la mayoría de las discontinuidades presentan, en el contacto entre ellas, material fino producto de la meteorización, esos sedimentos, durante las lluvias actúan como un lubricante favoreciendo los deslizamientos.



LOS PROCESOS NATURALES Y EL RIESGO GEOLOGICO EN LA QUEBRADA DE BELEN, ENTRE LAS COORDENADAS 27°37'29.13"S - 67° 1'26.55"O

Imagen v:

Familia de Discontinuidades	2
GSI 65	Bloques entrabados
Estabilidad	Alta



Observaciones: macizo rocoso dominado por dos familias principales de discontinuidades y otras fracturas menores y una falla (con marrón) presente en el banco inferior, dispuesta en forma perpendicular a las discontinuidades principales. En B la berma. M material disponible para caída.



CAPITULO VI:

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



6.1. CONCLUSIONES

- ✓ La quebrada de Belén, es un tramo de la Ruta Nacional 40, vulnerable a los riesgos geológicos, vinculados a los procesos de erosión, transporte, acumulación y movimientos en masa.
- ✓ La Intervención antrópica ha modificado el relieve natural, alterando así mismo el equilibrio natural entre la topografía, clima, relieve y geomorfología del lugar.
- ✓ La construcción de la RN 40 en la Quebrada de Belén, no solo implica la modificación paisajística, sino también, una variación en el equilibrio en laderas naturales, en la escorrentía del cauce principal, en algunos afluentes, y en la generación de una vía de circulación de aire que modifica localmente condiciones climáticas estacionales, que afectan el contenido de humedad en algunos sectores.
- ✓ La geomorfología previa a la intervención, muestra una quebrada tectónica angosta, con laderas empinadas, un cauce encajonado con desarrollo de 2 niveles de terrazas fluviales, carencia de piedemonte en algunos casos y en otros sectores piedemontes propios de los valles intermontanos que conforman la sierra de Belén.
- ✓ La geomorfología actual, muestra alteración en la pendiente de los taludes luego de la intervención antrópica, evidenciada por procesos de remoción de materiales con modificaciones morfométricas del cauce y presencia de piedemonte.
- ✓ Como consecuencia de los deslizamientos, principalmente en los periodos de precipitaciones, se depositan materiales que obstruyen la ruta e imposibilitan la circulación vehicular, por lo que desde la Dirección de Vialidad Nacional se limpia la ruta corriendo el material a la banquina y genera así piedemontes artificiales, como así también un nivel de terraza artificial.
- ✓ También es frecuente la profundización de canales principales de algunas subcuencas, lo cual modifica la geometría del cauce. Otro tipo de geoformas presentes son: conos de deyección, que en algunas zonas modificados por la construcción de la ruta, quedando al descubierto sus depósitos, en los abanicos aluviales, se asientan infraestructuras tales como Obras Sanitarias y Gendarmería; también son comunes las quebradas naturales con altas pendientes por donde circula el agua desembocando en el Río Belén.
- ✓ La conjugación de los factores ambientales - naturales que caracterizan el área de estudio, incrementan la tendencia de generar aumento de caudal del agua que circula por las quebradas naturales y que fluyen hacia el Río Belén. Dentro de estos factores podemos mencionar, un clima semiárido, lluvias torrenciales cortas, amplitud térmica estacional y diaria que favorece los procesos de generación de material suelto, escasa cubierta vegetal, pendientes abruptas y un gran porcentaje de roca



desnuda (principalmente en la zona de cumbre) que facilitan el escurrimiento superficial.

- ✓ En cuanto a la geología, las rocas graníticas presentes en la Quebrada de Belén han sufrido un fracturamiento intenso debido a los efectos de la tectónica preterciaria y terciaria, (potenciada por los eventos neotectónicos), han determinado un área de marcada anisotropía litológica y estructural, originando así un macizo rocoso de mala calidad, el cual es propenso a ser afectado por los procesos erosivos y posterior transporte del material generado. Otro factor que contribuye con el rápido desagüe de las subcuencas, está asociado al control estructural, donde los cursos de agua aprovechan tanto las líneas de debilidad estructural para excavar valles estrechos en los que la actividad hídrica es intensa.
- ✓ Respecto a los procesos de movimiento en masa se reconocieron deslizamientos de detritos en seco y húmedo. Los de mayor magnitud son los deslizamientos de tipo planar, caída de bloques y en algunos sectores los procesos de reptación, principalmente en las cuencas altas de los afluentes.
- ✓ Los disparadores de los deslizamientos en masa son: el incremento de humedad en épocas de precipitaciones y las vibraciones vehiculares, principalmente los de gran porte, como así también por microsismica.
- ✓ El mapa de amenaza nos muestra claramente que el sector II es el más vulnerable respecto de los eventos de remoción en masa, debido a la marcada pendiente de sus laderas y a la cercanía de las mismas a la ruta.
- ✓ El mapa de riesgo geológico, indica que, en el sector I, la distribución es irregular donde el relieve es moderado a bajo, mientras que en el sector II es más puntual o localizada, coincidiendo con pendientes escarpadas. En términos generales el “riesgo alto” se manifiesta principalmente en el sector II, evidencia de ello es la alteración antrópica que sufrieron las subcuencas cuando se construyó dicha ruta, proporcionando una zona de vulnerabilidad hacia la vía de acceso y las personas.
- ✓ De acuerdo a la geomecánica, la inestabilidad de los taludes existentes está afectado por la realización de voladura normal no controlada y el tipo de roca presente.



6.2. RECOMENDACIONES

- ✓ Monitorear el comportamiento geológico-geotécnico que permita definir la geometría de los taludes y contrataludes sujetos al impacto de la circulación de vehículos de diferente porte.
- ✓ Monitorear y clasificar de modo continuo las características de los materiales superficiales y su nivel de degradación para determinar los procesos erosivos esperables, su prevención y reducción de la vulnerabilidad frente al riesgo geológico-geomorfológico.
- ✓ Definir métodos particulares y específicos para el control de escurrimiento desarrollado durante el uso de la ruta para garantizar la seguridad y perdurabilidad, de la obra y de los usuarios.
- ✓ Reponer los gaviones semicirculares que han sido erosionados en crecientes previas en el Sector II.
- ✓ Monitorear los desagües de los afluentes existentes, y la construcción de los mismos en sectores que son indispensables (coordenadas - 27°33'57,21"S /67°00'04,75" W - 27°34'7,63"S /67°59'58,68" W).
- ✓ En el deslizamiento principal, coordenadas 27°33'44.60"S - 67° 0'23.60"O (llamado "la peña fiera" por los lugareños) es necesaria el monitoreo permanente para su mantenimiento, ya que constituye un área de riesgo alto en la quebrada.
- ✓ En el caso de los taludes, considerar la colocación de mallas metálicas, generar vallas o paredones de malla que sirvan de contención. También a modo de prevención se pueden pintar las zonas de inestabilidad no inmediata. A fin de prevención en periodos de precipitaciones.





CAPITULO VII: AGRADECIMIENTOS



7.1. AGRADECIMIENTOS

En primer lugar queremos agradecer a la Universidad Nacional de Catamarca, a la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, al Departamento de Geología que nos dio la oportunidad de estudiar y alcanzar esta meta tan anhelada y que con tanto sacrificio obtuvimos.

A la Dra. Adriana Níz y Lic. Cinthia Lamas, por haber aceptado ser nuestra Directora y Co-Directora de tesis. Ustedes nos supieron guiar, aconsejar y por estar siempre a disposición nuestra. Al Instituto de Monitoreo y Control de la Degradación Geoambiental (IMCoDeG) que nos brindó el espacio necesario para reunirnos y elaborar el informe final.

Agradecemos a los profesores que nos acompañaron a lo largo de todo estos años de cursado, Prof. Rojas, Profe. Ana María Salas, Profe. Fátima Vilches, Profe. Margarita Sánchez, Profe. Ojeda, Profe. Medina (Tigre), Profe. Susana Fuentes, Dr. Navarro García e Ing. Savio.

Agradecimientos de Nelson Ramón Sánchez

En primer lugar quiero agradecer a mis padres, Ramón Santiago Sánchez e Inés del Carmen Condori, por haberme dado la oportunidad de estudiar y haber confiado en mí, siempre les estaré muy agradecido.

A mis hermanos por acompañarme en cada momento difícil, en especial para Norberto Sánchez por haberme dado su palabra de aliento para que no bajara los brazos.

También quiero agradecer a mi suegra Zulema Marcial y novia Verónica Cruz por su apoyo incondicional.

A mis amigos y compañeros de la facultad con ustedes he compartido la mejor etapa de la universidad. En especial para Elizabeth Vázquez, Humana Verence, Fernanda García por ser tan buenos y generosos conmigo.

Agradecimientos de María Fernanda García:

Este glorioso andar no hubiese sido posible sin la incondicional compañía y apoyo de mi madre Wendy Leiva, a mi compañero incondicional y padre de mis hijos Fernando López, a mis tres adorados hijos Nacho, Lety y Marcos que me acompañaron y me aguantaron todo este tiempo.

Agradezco a mis hermano/as Victoria, Daniel, Pilar que de la distancia, me desean siempre los mejores augurios, a mis abuelos, a mi gran amiga de la infancia Ana Galleta, Mariel, Daniela y a mis suegros.

A mis amigos, compañeros de estudio, Dalma Díaz, Ely Vázquez, Nelson Sánchez, Belén Santillán, Yanina González, Javier Díaz Ramos, Romi Ordoñez, y a todos aquellos que me prestaron sus apuntes eternamente agradecida.

Este último párrafo se lo dedico a mi padre Daniel García que lo amo con el alma, que me guía en todo momento desde el cielo y quien me instruyó un inquebrantable temple, con este logro tan añorado hago homenaje a la memoria de mi "PAPUCHO".





CAPITULO VIII:

BIBLIOGRAFIA



BIBLIOGRAFIA

- "Apunte de caminos de montaña de la Universidad Nacional de la Plata Fac de Ingeniería- 2008"
- **AGOSTINHO OGURO, EDUARDO SAARES MAECEDO, (2000)** - "Procesos y riesgo geológico"- aspectos geológicos de protección ambiental. Instituto de Investigación Tecnología de Sao Paulo –IPT
- **ANTONELA VOLONTE 2016.** Geomorfología fluvial aplicada al peligro de crecidas. Cuenca del arroyo San Bernardo.
- **AYALA CARCEDO, F.J, (1987)** "Introducción a los riesgos geológicos". V.1, p 3-21 riesgo geológico. Instituto Geológico y Minería de España, Madrid.
- **AYALA, F.J, (1990)** - "Análisis de los conceptos fundamentales de riesgos y aplicación a definición de tipos de riesgos geológicos". Bol. Geol. Y Min., Vol. 101-3, pág. 456-467. Madrid, España.
- **BAZÁN JUAN R.,** Colegio Polimodal N° 19 de Belén. El paisaje regional del área de estudio.
- **BERGSMA, E.,et al (1.996)** "Terminology for Soil Erosion and Conservation". Int. Society of Soil Science, ITC, ISRIC.
- **BOTIJA LLASAT, M (2012).** Riesgos Naturales: clasificación, conceptos, y cuestiones. Tema de portada. Vol N°31.
- **BRAVO, B. Y NARVÁEZ, A. (2007).** Manual de gestión y manejo integral de microcuencas. Tarma-Perú: Ministerio de agricultura.
- **CAMINOS, R. (1999).** Servicio Geológico Minero Argentino, Instituto de Geología y Recursos Minerales. Geología Argentina. Buenos Aires, República Argentina. Anales n° 29. ISSN 0328-2325.
- **CAMPAÑA, S. (2011).** Gestión integrada de cuencas hidrográficas y desastres naturales. Chile. Corporación Nacional Forestal – CONAF.
- **CARLOS ADRIAN LOPEZ V. 2012.** Metodológica para Estudios de Amenaza Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa.
- **CÁTEDRA DE MANEJO Y CONSERVACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES LIC. EN GEOLOGÍA (2009).** Tema 8: Riesgos Geológicos y Ordenamiento Territorial. Universidad Nacional de Catamarca. Catamarca, Argentina: Apunte de clase no publicado.



- **CRUZATE, G; MOSCATELLI, G Y J. PANIGATTI (2011).** Suelos y ambientes de Catamarca. INTA.
- **DR. FLORENCIO G. ACEÑALOZA Y DR. ALEJANDRO J. TOSELLI.** Geología del Noroeste Argentino. Universidad Nacional de Tucumán. Facultad de Ciencias naturales. 1981.
- **EREMCHUK J., BAZAN J., Y PAPETTI L., 1984.** Reseña Estructural de la sierra de Belén. I jornada Geológica de Catamarca Tomo II 15-25. Catamarca.
- **ESCOBAR G.DUQUE, (2002)-** “Erosión de suelos”- capitulo 8.
- **ESTRATEGIA INTERNACIONAL PARA LA REDUCCIÓN DE DESASTRES (EIRD)-** curso de reducción del riesgo de desastres y desarrollo local sostenible.
- **ESTRATEGIA INTERNACIONAL PARA LA REDUCCIÓN DE DESASTRES (EIRD)-** Peligros Naturales (2001) Las Américas - ONU.
- **FERNÁNDEZ DIEGO, (2003)** “Procesos de remoción en masa y erosión fluvial en la provincia de Tucumán”.
- **FERNANDEZ DIEGO, (2003).** “Procesos de remoción en masa y erosión fluvial en la provincia de Tucumán”.
- **FERRARI BONO, B. (2004).** Las inundaciones en la República Argentina consideradas como desastres naturales. Centro Argentino de Ingenieros (CAI) - Instituto Argentino de Recursos Hídricos (IARH). Jornadas de debate sobre riesgo hídrico, inundaciones y catástrofes. Buenos Aires, Argentina.
- **FERRER GIJÓN, (1995)** “Factores que controlan los procesos de movimiento en masa”.
- **GONZALEZ BONORINO.** Descripción Geológica de la Hoja 13c, Fiambalá. Provincia de Catamarca. Boletín N°71 Servicio Geológico Minero. Año 1972.
- **GONZALEZ BONORINO.** Geología y petrografía de la Hojas 12d (Capillitas) y 13d (Andalgalá). Boletín Servicio Geológico Minero N° 70. Año 1950.
- **GONZÁLEZ DE VALLEJO, L.** “Ingeniería Geológica”. Editorial Pearson Educación S.A. Madrid, 2002.
- **HOEK ET AL., (1995)** “Clasificación de la resistencia del macizo rocoso”.



- **ING. AGR. HÉCTOR PACÍFICO PAOLI, EEA INTA SALTA.** Recursos Hídricos de la Puna, Valles y Bolsones Áridos del Noroeste Argentino. Aprovechamiento de los recursos hídricos y tecnología de riego en el altiplano argentino.
- **INSTITUTO NACIONAL DEL AGUA (INA) - CENTRO REGIONAL ANDINO (CRA) Y SECRETARÍA DEL AGUA Y DEL AMBIENTE PROVINCIA DE CATAMARCA (SAYA) (2010).** Relevamiento de la Disponibilidad de Recursos Hídricos Superficiales de Cuenca Salar de Pipanaco, Cuenca Abaucán-Colorado-Salado y Cuencas Faldeo Oriental del Ancastí: Mendoza.
- **INSTITUTO NACIONAL DEL AGUA (INA)-GOBIERNO DE CATAMARCA (2012).** Delimitación De Áreas De Riesgo Hídrico En El Rodeo Departamento Ambato-Catamarca. Mendoza: Publicación Interna.
- **JORDAN ET AL., (1986).** “Bloques rígidos fracturados por compresión, faja orogénica del NOA”.
- **LUIS E. PAPETTI (1998).** Probables nuevas zonas de interés por vetas metalíferas en sierras de Belén y Zapata. I jornadas Geológicas de Catamarca Tomo II. Catamarca.
- **MARÍA CRISTINA MORLÁNS.** Regiones naturales de Catamarca provincias geológicas y provincias fitogeográficas. UNCA.
- **MASKREY, A. (1993).** Los desastres naturales no son naturales. Primera edición. Colombia: Tercer Mundo Editores.
- **MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y PESCA. Ministerio de la Nación Catamarca.** “Aportes al Desarrollo de los Distritos de Riego de Belén y Pomán”.
- **MORALES, ALDANA (2016).** Estrategias de desarrollo turístico en la ciudad de Belén, Catamarca, a partir de la planificación participativa. Universidad Nacional del sur departamento de geografía y turismo tesina de licenciatura en turismo.
- **NIZ, ADRIANA; ET AL., (2011).** “Geomorfología e identificación de riesgos geoambientales en el valle del Río Paclín – Catamarca - Argentina”- en actas del Simposio “S10e: Cambio climático y riesgos geoambientales: predicción, evaluación y mitigación” en el XVIII Congreso Geológico Argentino – Neuquén.
- **NIZ, ADRIANA; OVIEDO, JORGE; LAMAS, CINTHIA., (2010)** “Wildfires removal process accelerator mass with sediment inputs into streams and bodies of water storage - Catamarca, Argentina” en actas del ISCO CHILE 2010 16th Congress International Soil Conservation Organization – Santiago Chile.



- **NIZ, ADRIANA; OVIEDO, JORGE; TOLEDO JUAN; LAMAS, CINTHIA., (2010)** “Degradación de laderas y sedimentación en cauces debido a incendios forestales - Sierra de Ambato-Catamarca-Argentina”- en actas del XV Congreso Peruano de Geología- Cusco – Perú.
- **ORDOÑEZ GÁLVEZ (2011).** Cartilla Técnica ¿Qué es Cuenca Hidrológica?. Jr. Puno 450-Lima: Sociedad Geográfica de Lima.
- **PALACIOS DAVID ET.AL., (1996).** “La elaboración de la cartografía de riesgos geomorfológicos y su aplicación en áreas de alta montaña”. Serie geografica-vol 6.
- **PAOLI, H (2002).** Recursos hídricos de la Puna, Valles y Bolsones áridos de la Noroeste Argentino. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y Centro de investigación, Educación y Desarrollo (CIED). Salta, República Argentina.
- **PROGRAMA DE SERVICIOS AGRÍCOLAS PROVINCIALES (PROSAP) (2011).** Mejoramiento de los Sistemas Productivos y de Riego en Rincón. Provincia de Catamarca. Anexo 4: Evaluación de Impacto Ambiental y Social. República Argentina.
- **RIBERA MASGRAU, L. (2004).** Los mapas de riesgo de inundaciones: representación de la vulnerabilidad y aportación de las innovaciones tecnológicas.
- **SANTANDER, A. Y BARRIOS, A. (S.F.).** Hidrología. Morfometría de Cuencas.
- **VICH,A.I.J., (1989)** “Erosión hídrica- estimación y medición de pérdidas de suelo. curso latinoamericano sobre detección y control de la desertización”.
- **VIERS, GEORGES., (1966)** “La morfología del piedemonte andino en la provincia de Mendoza: los hechos y las concepciones antiguas” Boletín de estudios geográficos N°52 –Vol. XIII.
- **VILLANUEVA, C. (S.F).** Aplicación de sistemas de información geográfica en la determinación de áreas vulnerables a Riesgos Naturales. Instituto Nacional de Defensa Civil. Proyecto: Sistema de información geográfica- GEODECI. Lima, Perú.





CAPITULO IX:

ANEXOS



ANEXOS

- a)** Carta Geológica - Quebrada de Belén.
- b)** Carta Geomorfológica - Quebrada de Belén.
- c)** Carta Hidrogeológica - Quebrada de Belén.
- d)** Carta de Orientación de laderas - Quebrada de Belén.
- e)** Carta Topográfica - Quebrada de Belén.
- f)** Carta de Pendiente - Quebrada de Belén.
- g)** Carta de Amenaza - Quebrada de Belén.
- h)** Carta de Riesgo - Quebrada de Belén.

