

Amenaza por inundaciones repentinas en las localidades que integran la cuenca arroyo Saldán. Sierras Chicas, Pcia. de Córdoba

Este documento es resultado del financiamiento otorgado por el Estado Nacional, por lo tanto queda sujeto al cumplimiento de la Ley N° 26.899



+info
www.argentina.gob.ar/ina

Autores:
Osvaldo Barbeito, Silvio Ambrosino, Mauro Lanfranco, David Moya y Ana Laura Ryzdewski

INDICE

1.	INTRODUCCIÓN	2
2.	OBJETIVOS.....	3
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	3
4.	ÁREA DE ESTUDIO. SISTEMA RÍO CEBALLOS – SALDÁN.	5
5.	RESULTADOS.....	7
5.1.	TENDENCIA DEL SISTEMA HIDROGRÁFICO A LA GENERACIÓN DE CRECIENTES REPENTINAS	7
5.1.1.	GEOLOGÍA.....	7
5.1.2.	ESTRUCTURAS.....	11
5.1.3.	SUELOS	14
5.1.4.	GEOMORFOLOGÍA	16
5.1.5.	HIDROGRAFÍA.....	27
5.1.6.	CLIMA	33
5.1.7.	VEGETACIÓN	33
5.2.	UNIDADES HIDROGEOMORFOLÓGICAS CONDICIONANTES DE LA DINÁMICA Y ALCANCE DE CRECIDAS REPENTINAS	34
5.3.	ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR CRECIENTES REPENTINAS Y SU RELACIÓN CON LAS CONDICIONES GEOMORFOLÓGICAS.....	42
5.3.1.	ZONA DE “ALTA AMENAZA”	42
5.3.2.	ZONA DE “MODERADA AMENAZA”	53
5.3.3.	ZONA DE “BAJA AMENAZA”	56
5.3.4.	ZONA “SIN AMENAZA”	57
6.	CONCLUSIONES	60
7.	RECOMENDACIONES GENERALES.....	61
8.	BIBLIOGRAFÍA	63
9.	ANEXOS.....	66
9.1.	ANEXO 1: IMÁGENES COMPLEMENTARIAS.....	67
9.2.	ANEXO 2: CARTAS.....	80

1. INTRODUCCIÓN

El 15 de febrero de 2015, una creciente repentina de gran magnitud afectó a las localidades de: Mendiolaza, Río Ceballos, Saldán, Unquillo y Villa Allende.

En este evento, la magnitud, dinámica, y los daños ocasionados, tomaron totalmente desprevenidos tanto a los pobladores locales, como a los organismos gubernamentales. No obstante las características geológicas y geomorfológicas analizadas en imágenes satelitales y fotografías aéreas antecedentes, indicaban claramente la ocurrencia de crecientes similares en un pasado geológico reciente. Los registros históricos aportados por habitantes locales y fuentes secundarias refieren que en el último quindenio han ocurrido 6 inundaciones en los años; 2000, 2004, 2007, 2009, 2010, y 2013 que afectaron con diferente intensidad a estas localidades. Asimismo, existen registros de mayor antigüedad, de crecientes de gran magnitud ocurridas en los años 1939, 1962, y 1970.

En base a ello, se desprende la necesidad de contar con información de base, que permita evaluar las condiciones de amenazas actuales y potenciales para hacer frente a probables situaciones conflictivas de los sectores urbanos ya establecidos y de los futuros emprendimientos que se establezcan.

En tal sentido, es importante considerar que una AMENAZA NATURAL refiere a la probabilidad de ocurrencia dentro de un período de tiempo específico y para un área determinada, de un fenómeno con consecuencias potencialmente destructoras para la población e infraestructura construida.

Para su mitigación existen acciones que en orden cronológico corresponden a: medidas previas, durante y posteriores al evento. Las primeras tratan la EVALUACIÓN DE LA AMENAZA de acuerdo a la detección y análisis de la dinámica y extensión del proceso. Estas son sin lugar a dudas, las más efectivas en término de costos y utilidad comprende la preparación para eventos naturales en base a la predicción, preparación para emergencias (incluyendo monitoreo, alerta y evacuación) y la etapa de concientización de la población (educación y capacitación), que posibilita entre otras cosas, la auto-evacuación ante la ocurrencia de eventos extremos.

El presente estudio de base geológica y geomorfológica, se encuadra dentro de las estrategias de mitigación previas al evento. Tiene por objetivo realizar una evaluación de amenaza por crecientes repentinas en las localidades de Río Ceballos, Mendiolaza, Unquillo, Saldán y Villa Allende, comprendidas dentro del sistema hidrográfico Río Ceballos-Saldán.

Los resultados obtenidos, comprenden la generación de cartografía temática específica, indicativa de la dinámica y alcance de las inundaciones ordinarias y en particular las extremas, delimitando

los procesos fluviales asociados en forma actual y potencial (erosión de márgenes, en profundidad, estrangulamientos, desbordes, etc.).

2. OBJETIVOS

Evaluar la amenaza por crecientes repentinas mediante la aplicación del criterio geológico y geomorfológico, estableciendo la dinámica y alcance de las crecidas repentinas ordinarias y máximas históricas, que permitan establecer las bases para la implementación de las acciones de prevención, mitigación y planificación.

Objetivos específicos

- Reconocer y caracterizar ambientes, unidades, elementos geológicos y geomorfológicos.
- Reconocer, caracterizar y evaluar los procesos morfodinámicos del paisaje (inundaciones, erosión y remoción en masa) para establecer la relación amenaza-vulnerabilidad.
- Obtener cartografía a escala de detalle (1:10.000) indicativa de la zonificación de amenaza para cada localidad.
- Establecer prioridades para las acciones de mitigación, control, prevención y planificación.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una recopilación de antecedentes bibliográficos del área de estudio y de información periodística sobre crecientes históricas publicados en diarios de distribución local y nacional.

Aplicando el criterio geológico y geomorfológico, mediante foto-análisis estereoscópico con apoyo de imágenes satelitales, se diferenciaron unidades de terreno con énfasis en el aspecto hidrodinámico, considerando la faja fluvial y los distintos elementos que las componen, con el objetivo de determinar las amenazas actuales y potenciales.

Para ello se diferenciaron unidades según dos categorías: áreas no inundables por acción de cursos fluviales, afectadas solo por escorrentías temporales secundarias y áreas inundables por la acción de cursos fluviales. En esta última se consideraron los lechos (ordinarios, mayores y episódicos) de los colectores principales de la red de drenaje y los niveles de terraza evolucionados por deposición y encajamiento, así como también los procesos fluviales asociados (erosión de márgenes, avulsión, desbordes)

Los resultados obtenidos en las tareas de gabinete fueron verificados, mediante un exhaustivo control de campo, en donde se ajustó la fotointerpretación realizada. A partir de entrevistas abiertas a pobladores locales se relevó información sobre crecientes históricas, según mecanismos, alcance, recurrencia de los eventos y procesos.

Con los parámetros obtenidos se realizó un Sistema de Información Geográfica (SIG), que permitió obtener cartografía temática, indicativa del grado de peligrosidad al que se encuentra expuesta la población e infraestructura construida de las localidades bajo estudio.

La delimitación de las cuencas, sistemas de drenaje y parámetros morfométricos se realizaron, en base al análisis y procesamiento de Modelos digitales de Elevaciones (MDE) provistos por el Instituto Geográfico Nacional (IGN).

La cartografía realizada tanto a nivel regional como de detalle, se proyectó o reproyectó al Marco de referencia: WGS 84

Materiales Utilizados:

- Cartas topográficas y geológicas.
- Fotografías pancromáticas blanco y negro escalas 1:50.000 del año 1987, 1:20000 año 1970 y escala 1:5000 año 1996.
- Imágenes satelitales: Landsat (resolución espacial 45m), Spot (resolución espacial 10m) y Google Earth Quickbird.
- Modelos digitales de elevación misión SRTM (Shuttle Radar Topography Mission-NASA, año 2000) resolución de 45 metros por píxel, pre procesados mediante relleno de vacíos, inclusión de datos de lagos, filtrado espacial y enmascarado de límites.
- Software libre Quantum Gis en su versión 2.12.1.

4. ÁREA DE ESTUDIO. SISTEMA RÍO CEBALLOS – SALDÁN.

La cuenca del sistema Río Ceballos-Saldán, tiene desarrollo en la vertiente oriental tendida de las Sierra Chica, abarca una superficie total de 1256.84 km² hasta su cierre correspondiente a la desembocadura en el Río Suquía con desagüe en la laguna de Mar Chiquita, que actúa como nivel de base del sistema (Fig. 1)

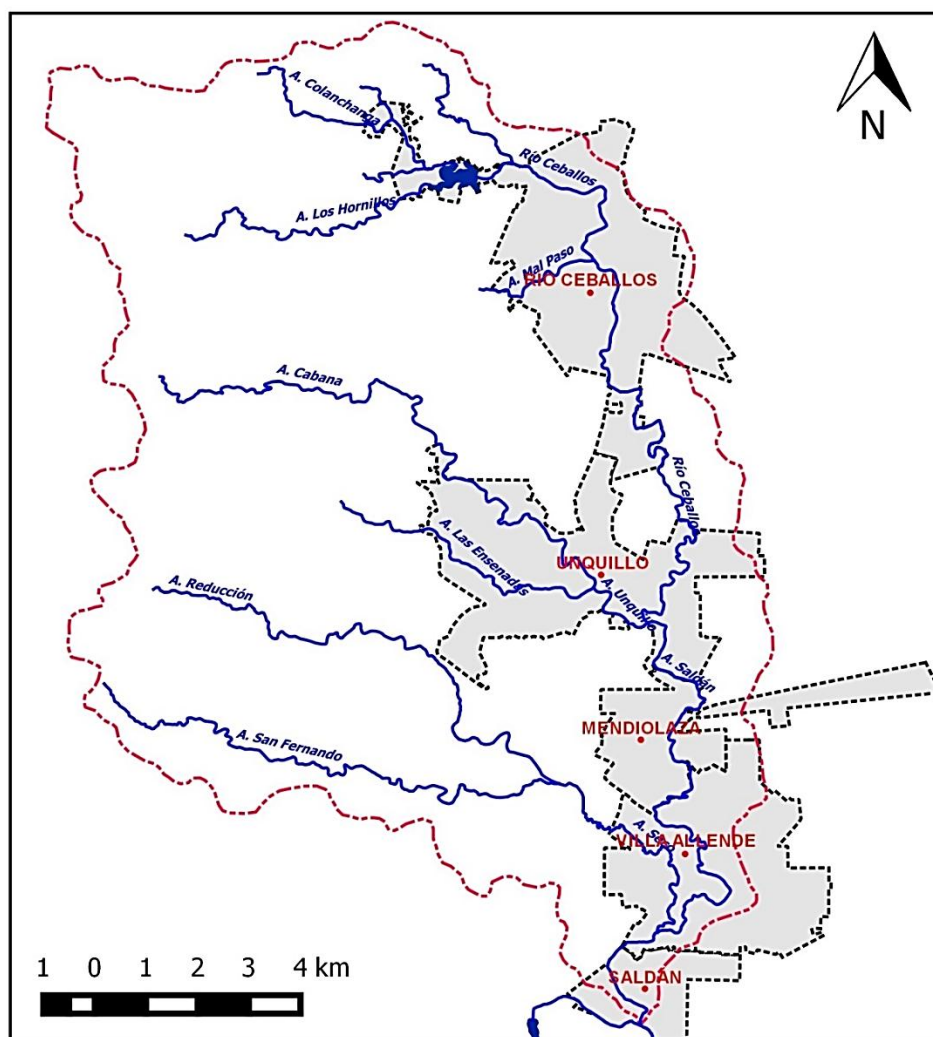


Figura 1. Área de Estudio. Principales tributarios de la cuenca y localidades.

La cuenca del río Ceballos la conforman las sub-cuencas de los arroyos Colancharuga al norte y Los Hornillos al sur, ambos con sentido de escurrimiento oeste-este y desagüe independiente en el embalse La Quebrada.

A la salida del embalse, luego de un recorrido de 2.8 km, por control por fallamiento sufre un brusco cambio en el sentido de escurrimiento, de O-E a N-S, hasta su confluencia con el río Unquillo a 576 m.s.n.m., dando lugar al arroyo Saldán colector principal del sistema.

Por su parte el río Unquillo, recibe los aportes de las sub-cuencas de los arroyos Cabana y Las Ensenadas, que confluyen en el área urbana de la localidad de Unquillo.

El arroyo Saldán por el mismo condicionamiento estructural al que se ajusta el río Ceballos, sigue con sentido de escurrimiento N-S. En la localidad de Villa Allende recibe los aportes de la cuenca del arroyo Seco, conformada los arroyos Reducción y San Fernando hasta confluir con el Río Suquía luego de un recorrido de 16 km., a una altitud de 448 m.s.n.m.

5. RESULTADOS

5.1. TENDENCIA DEL SISTEMA HIDROGRÁFICO A LA GENERACIÓN DE CRECIENTES REPENTINAS

La tendencia de una cuenca a la generación de crecientes repentinas, está condicionada por la conjunción de factores permanentes y transitorios, que caracterizan su área de recepción, ya que en este ámbito se genera la captación y conducción del agua precipitada.

Los factores permanentes, corresponden a la litología, el relieve, suelos, y al tipo de vegetación natural; que determinan la relación infiltración-escorrentía.

El factor transitorio y desencadenante del proceso está constituido por el clima de acuerdo a las características de las precipitaciones (tipo, intensidad, distribución.)

5.1.1. GEOLOGÍA

La vertiente oriental de la Sierra Chica se compone por un complejo metamórfico-plutónico, en el que la roca dominante es un gneis masivo a esquistoso con intercalaciones en forma paralela y concordante a la foliación de calizas cristalinas, anfibolita, e intrusiones ígneas en forma de filones de regulares dimensiones.

En este complejo a partir de la meteorización de la roca de base, se generaron cubiertas residuales someras, a partir de las que evolucionaron suelos del orden Entisoles, de texturas medias a gruesas muy superficiales (< 60 cm) que alternan con roca desnuda.

Completan el marco geológico rocas sedimentarias clásticas (conglomerados de la Fm. Saldán y Fm. Estancia Belgrano), y depósitos coluvio-aluviales y aluviales como relleno de valles.

La masividad de la roca metamórfica netamente dominante, solo se ve interrumpida por diaclasado y fracturación en grado moderado, lo que define baja permeabilidad secundaria por fracturación. Esta condición conjuntamente con los suelos someros derivados de su meteorización de rápida saturación y la energía del relieve de montaña, definen escurrimiento excesivo y rápido ante la ocurrencia de las precipitaciones.

Litología aflorante en el área de estudio:

A) Basamento metamórfico plutónico (Precámbrico superior - Cámbrico inferior)

La litología dominante corresponde a Gneis. Se presenta masivo y poco foliado (Fig. 2) en el sector norte de la cuenca, hacia el sur se verifica un incremento de la esquistosidad y fracturación (arroyos Reducción y San Fernando) con una orientación principal NNW-SSE, al que se ajustan los cauces de primer y segundo orden de la red de drenaje.



Figura 2. Imágenes del basamento metamórfico aflorante en inmediaciones al embalse La Quebrada. a) Aspecto del Gneis tonalítico dominante, con abundante Pl+Qtz+Bt. Se observa un bandeo cíclico melano y leucocrático (largo de la piqueta: 30 cm). b) El Gneis se muestra bastante fracturado, favorecido por la fábrica de la roca.

Las cubiertas residuales someras y suelos en formación, generados a partir de la meteorización de la roca de base, alternan con roca desnuda. Ambos se ven afectados por erosión hídrica acelerada produciéndose el lavado de los materiales más finos, quedando expuestas las granulometrías gruesas que se exhiben en el perfil (Fig.3).

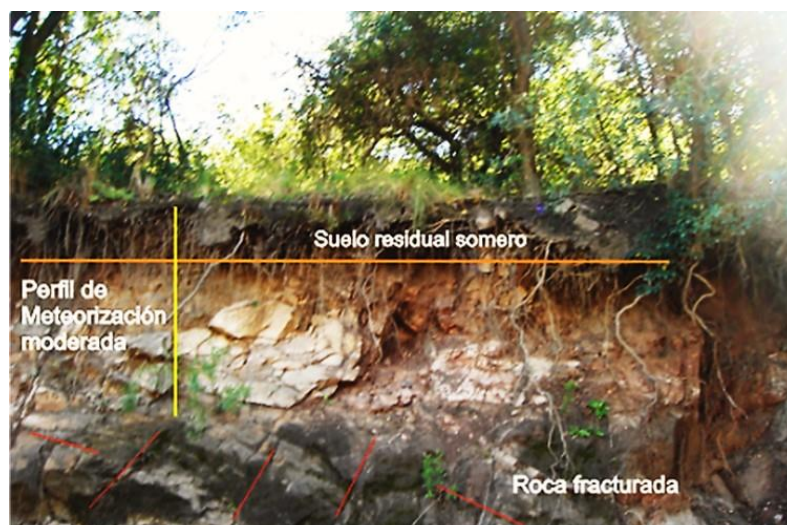


Figura 3. Perfil de meteorización (1 metro aprox.) con formación de suelo residual, generado a partir de la meteorización mecánica y química del basamento cristalino (foto tomada en las inmediaciones del embalse).

B) Formación Saldán (Cretácico Inferior)

Se compone de sedimentitas continentales de ambiente desértico, sin registro fósil y asociadas a vulcanitas. Está representada por facies conglomerádicas polimícticas, con niveles arenosos y pelíticos e intercalaciones volcánicas máficas. Los depósitos buzcan hacia el E-SE, hundiéndose progresivamente bajo los sedimentos cuaternarios del piedemonte (Fig. 4).

Su origen se vincula a una intensa y prolongada fase de denudación del basamento cristalino que se inició en el período cretácico y resultó en una agradación del pedimento de la Sierra Chica.



Figura 4. Niveles estratificados de la Formación Saldán. Zona de confluencia de los Arroyo Saldán y Seco. Villa Allende.



Figura 5. a) Formación Saldán. Diferentes niveles de energía dominados por conglomerados y lentes arenosas finas de color rojizo, con bloques basálticos intercalados. b) Fm. Saldán. Diseño de drenaje en espina de pez visto en imagen satelital. c) Aspecto del relieve formado sobre los conglomerados, donde se observan lomas suaves y redondeadas. Por detrás, basamento plutónico-metamórfico. Imagen tomada sobre Av. San Martín, Saldán.

Geomorfológicamente, sus afloramientos definen un relieve de lomadas con interfluvios redondeados y laderas continuas sin resaltos topográficos, que determinan un diseño de drenaje en “espina de pez” típico. Los valles secundarios en ocasiones presentan relleno de materiales coluvio-aluviales (Fig. 5).

C) Formación Estancia Belgrano (Pleistoceno inferior)

En el margen izquierdo del río Ceballos-Saldán, al norte de la cuenca, se observan lomadas suaves constituidas por depósitos fluvio-torrenciales de Piedemonte de edad cuaternaria (Pleistoceno inferior), correspondientes a la Fm. Estancia Belgrano; que se prolongan hacia el sur aflorando por tramos en las distintas localidades estudiadas.

Estos depósitos se componen principalmente de rodados, gravas y arenas, los cuales formaron parte de una planicie aluvial antigua, donde el material de aporte provenía de la erosión del basamento.

A esta unidad la componen conglomerados deleznales gruesos a finos de carácter polimíctico. Muestran estratificación gruesa, con clastos redondeados a sub-redondeados de tamaño variable (principalmente fragmentos de gneises y granitoides), inmersos en una matriz areno-limosa de color rojiza (Fig. 6).

Por efecto de la tectónica inversa terciaria, los depósitos mencionados anteriormente sufrieron un levantamiento, generando al actual relieve de colinas que se encuentra cubierto por depósitos eólicos recientes.

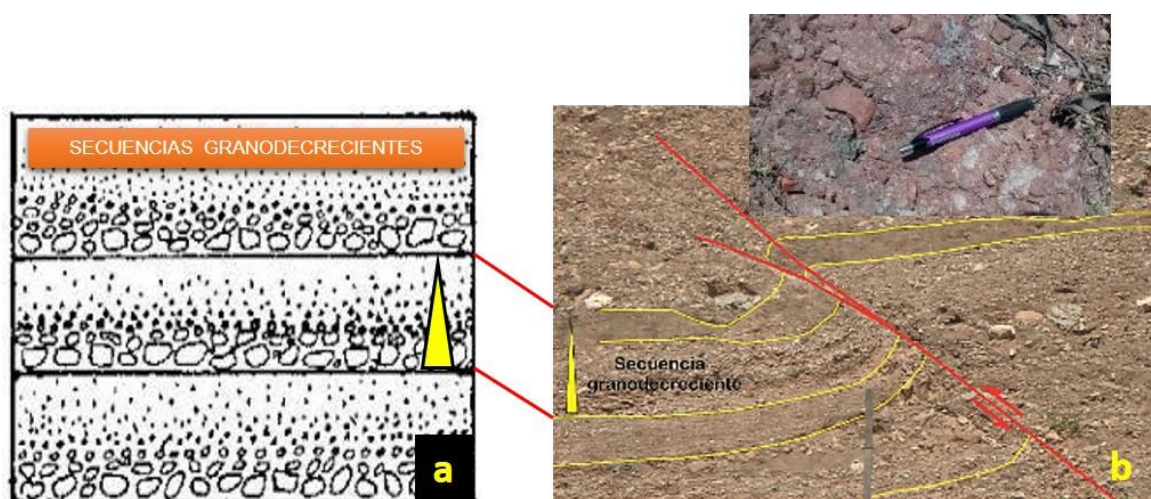


Figura 6. Afloramientos de sedimentitas correspondientes a la Fm. Estancia Belgrano. b) Se observan secuencias grano-decrecientes de conglomerados (clastos redondeados a sub-redondeados, inmersos en una matriz arenosa de color rojiza), afectadas por una falla inversa local. Av. Martin Tissera, Mendiolaza (próximo a ruta intermunicipal).

De la observación de estos depósitos, se distinguen varios pulsos de depositación. La disposición de los materiales desde la base al techo de cada ciclo es granodecreciente, lo que es indicativo de eventos torrenciales y repentinos, donde los cursos principales del abanico fueron depositando paulatinamente el material.

D) Sedimentos Aluviales en Valles (Holoceno)

Los valles de fondo plano por donde discurren los colectores principales, se encuentran rellenos por depósitos coluvio-aluviales y sedimentos fluviales recientes que derivan del aporte longitudinal actual y sub-actual de los cursos activos.

Estos últimos se componen principalmente de sedimentos aluviales gruesos de alta energía fluvial (bloques, cantos, gravas y arenas) los cuales conforman las planicies de inundación de este sistema fluvial (Fig. 7).



Figura 7. a) Depósitos aluviales de alta energía del río Ceballos, compuestos principalmente por bloques, cantos, gravas y arena. b) Depósitos coluvio-aluviales de media y alta energía provenientes de un valle secundario (Mendiolaza), compuestos por arenas gruesas y cantos rodados.

5.1.2. ESTRUCTURAS

El sistema orográfico de la Sierra Chica, se encuentra controlado por fracturas regionales con orientación meridiana, que por el basculamiento de los bloques generan un perfil asimétrico, observándose una vertiente oriental tendida y una occidental abrupta.

La “Falla de Punilla” o “de la Sierra Chica”, representa el frente de levantamiento más oriental de las Sierras Pampeanas generadas por las reactivaciones tectónicas compresivas producidas durante el Cenozoico. Su situación positiva en el paisaje fue el elemento condicionante de la actuación de

procesos predominantemente erosivos sobre los depositacionales y por consiguiente, de las geoformas actuales (Fig. 8).

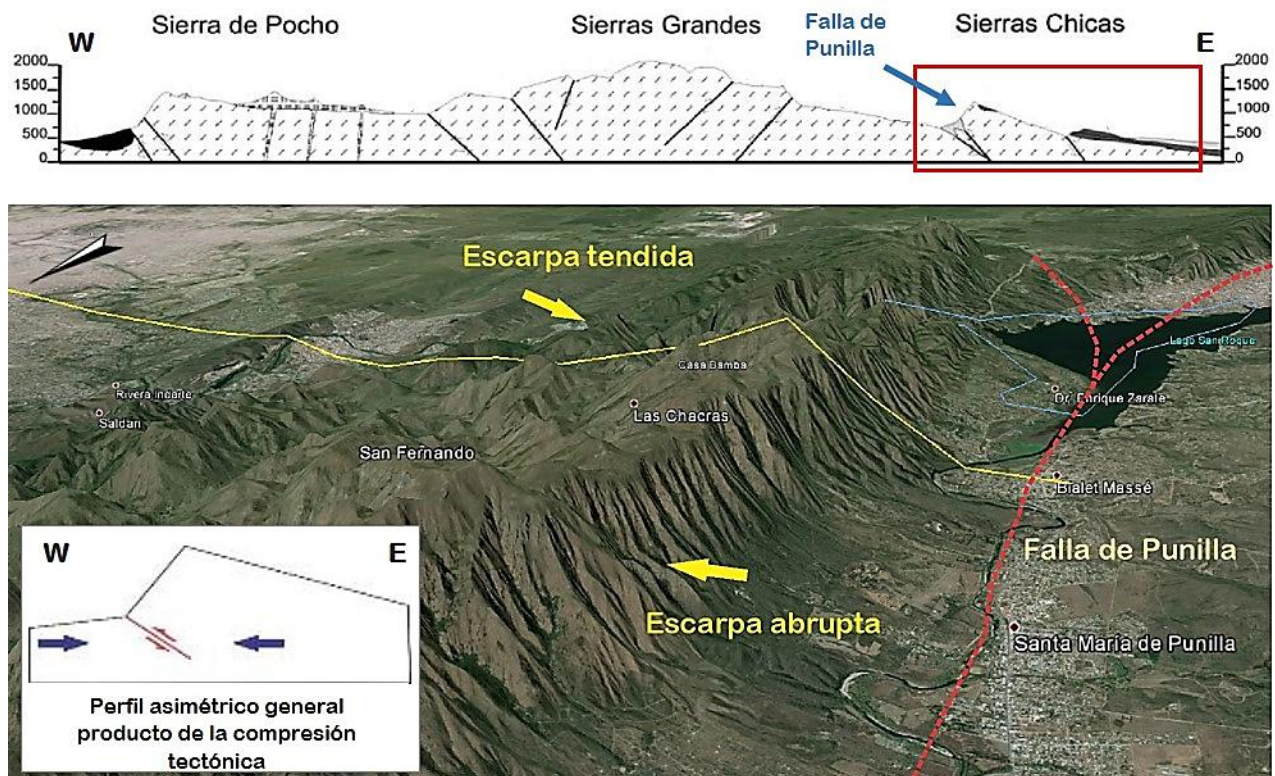


Figura 8. Arriba: sección transversal de las Sierras Pampeanas de Córdoba; Abajo: imagen satelital donde se observa el perfil asimétrico de la Sierra Chica de Córdoba y diagrama indicando dirección de esfuerzos compresivos.

Tanto a nivel regional como local, se aprecian diversos foto-lineamientos, el sistema de fallamiento principal corresponde a fallas inversas de alto ángulo, con inclinación de 50° a 70° hacia el Este y rumbo sub-meridional (NNW-SSE). De modo subordinado al anterior se observa un sistema de fallas transversales, de rumbo W-E principalmente, por donde discurren los arroyos tributarios del Río Ceballos-Saldán.

Estas familias de fracturas o fallas se mencionan a continuación, destacando aquellas cuyos rasgos poseen resultante morfológica (Fig. 9):

A)- Lineamientos longitudinales mayores:

- Al oeste a 5 Km aproximadamente de la divisoria de agua, la traza marca un abrupto de resalto de no más de 100 m, con una extensión de 5 Km desde el sur de la divisoria de aguas en la sub-cuenca de arroyo Saldán. Sobre su traza se labraron valles fluviales rellenos por sedimentos coluvio-aluviales generados por erosión diferencial.

- En orden descendente hacia el Este, a 8 km de la divisoria, aparece la segunda dislocación que va desde la divisoria sur de la cuenca, hasta algo más al norte de la localidad de Quebrachito. Allí se han generado valles estructurales longitudinales de mayor amplitud, en los que se incluyen al norte la comuna de Quebrachito y al sur, la población de Cabana.

- En el sector de transición sierra-piedemonte, se observa una dislocación regional importante, denominada "Falla de La Calera-Salsipuedes", la cual atraviesa toda el área de estudio en dirección NE-SW y ejerce un fuerte control sobre el río Ceballos-Saldán. Se observa desde las cercanías a la localidad de Agua de Oro, pasando por Río Ceballos y continuando al sur hacia la localidad de La Calera. Su traza es muy rectilínea y presenta un buzamiento general hacia el este.

Se trataría de una falla directa de rumbo sub-meridiano, invertida durante la orogenia terciaria. El movimiento compresivo genera el basculamiento del bloque oriental hacia el este-sureste, con un valor de 10-12° en la proximidad a la falla y disminuyendo a 4-5° en sectores más alejados (a la altura de Quebrada Martinolli) (Barbeito & Ambrosino, 2010). La inclinación regional de los bloques basculados determina una pendiente topográfica general hacia el E-SE en el piedemonte y la llanura. La traza de esta estructura genera principalmente, el cambio brusco en el recorrido del Río Ceballos-Saldán (de ONO-ESE a N-S prácticamente) y el levantamiento de sedimentitas fluvio-torrenciales de piedemonte correspondientes a la Formación Estancia Belgrano.

- Más al este sobre el borde de la cuenca se evidencia otra falla de menor longitud de similares características y el mismo rumbo (NNE-SSW), que también controla el trazo del río Ceballos.

Estos lineamientos ejercen un importante control sobre el sistema hidrográfico del río Ceballos-Saldán, impidiendo que los cauces que descienden de la sierra drenen sus aguas directamente sobre la planicie oriental. Por el contrario, el fallamiento provoca la captura en un único colector, que desagua en el Río Suquía a la altura de la localidad de Saldán.

B)- Lineamientos transversales:

Se tratan de lineamientos diagonales correspondientes a fallas transversales, con direcciones aproximadamente NW-SE a W-E, que ejercen un fuerte control del drenaje y generan quebradas abruptas de una profundidad y longitud considerable. A través de las mismas corren cauces secundarios y permanentes, de carácter antecedente (afluentes principales del río Ceballos-Saldán).

Estas estructuras generan un debilitamiento general del basamento cristalino, favoreciendo la fracturación moderada de la roca y otorgándole permeabilidad secundaria.

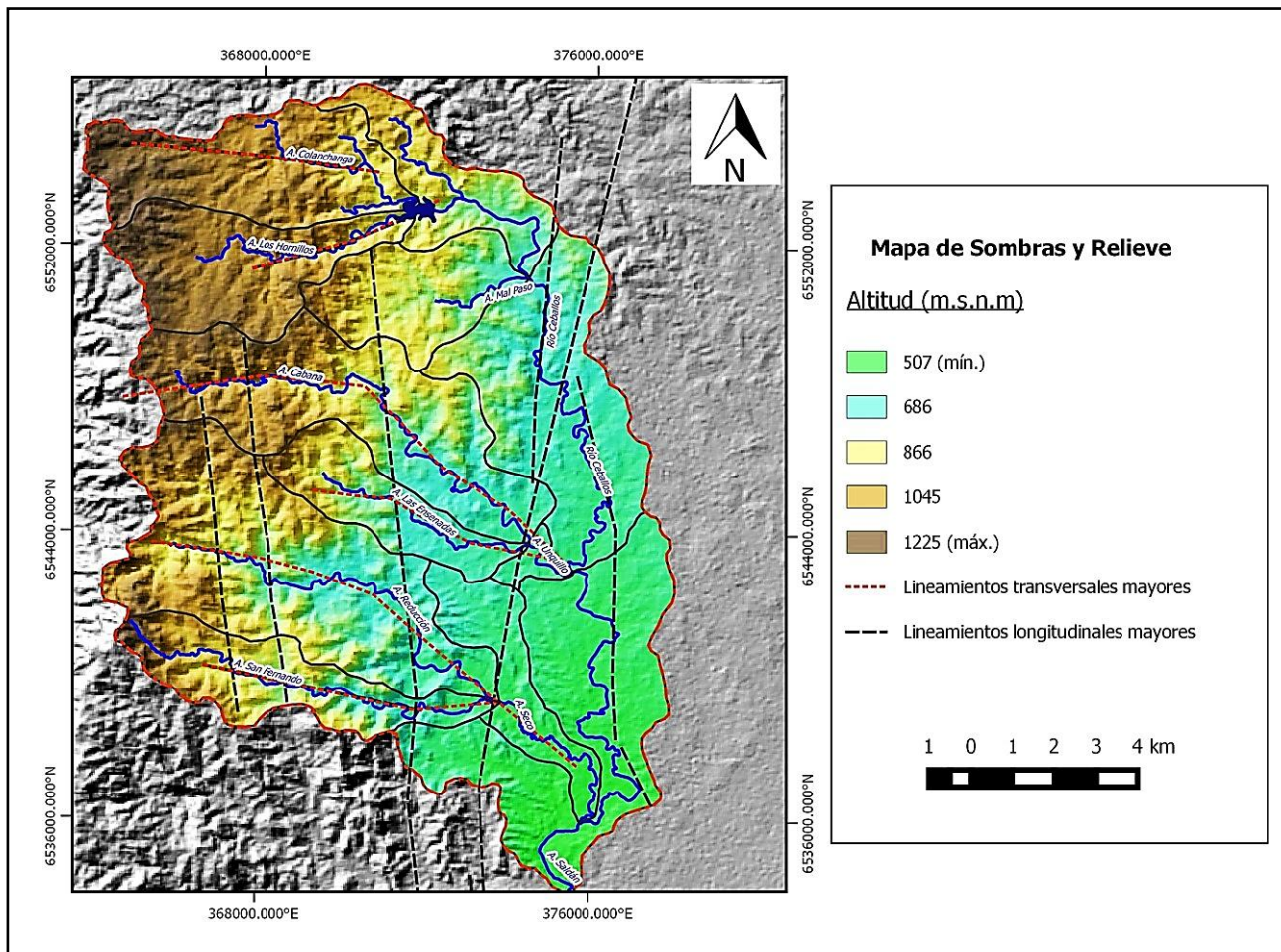


Figura 9. Lineamientos correspondientes a fallas transversales y longitudinales mayores, ejerciendo un control estructural sobre la red de avenamiento principal de la cuenca. Ladera oriental de la Sierra Chica.

5.1.3. SUELOS

El material parental a partir del cual se desarrollan los suelos del área de estudio corresponde a rocas del basamento metamórfico - plutónico, compuestas principalmente por $Pl+Qtz+Bt$. Los procesos de meteorización química (hidrólisis) afectan principalmente a plagioclasas, micas, y en menor medida a los granos de cuarzo por su mayor resistencia; dando como resultado una cubierta de material residual de escaso espesor, con abundante arcilla que favorece el desarrollo de la cobertura vegetal.

En estas cubiertas por efecto de la escorrenría elemental, las partículas finas son lavadas con mayor facilidad del perfil en formación, quedando expuestos los componentes más gruesos (principalmente arenas y gravas). Este proceso conlleva a un aumento de la pedregosidad del suelo y una disminución en la infiltración, incrementando la acción de la erosión y del escurrimiento superficial.

Sobre el área norte de la cuenca de estudio predominan los Entisoles, Suborden Orthent, Gran grupo Ustorthent. (Gorgas, Jarsún, & Zamora, 2003). Son suelos jóvenes, poco desarrollados, con un horizonte superficial "A" pobre en materia orgánica, estructura muy débil, textura gruesa y pedregosa (Fig. 10).

Se presentan en campo como suelos residuales superficiales de poco espesor (50-60 cm aprox.), evolucionados a partir del perfil de meteorización del sustrato rocoso in situ y evidenciando un transporte escaso a nulo.

Son alternantes con porcentajes variables de roca desnuda y poseen baja capacidad de retención de humedad, alta susceptibilidad a la erosión hídrica, ligera susceptibilidad a la erosión eólica, y se encuentran excesivamente drenados.

A partir de la localidad de Río Ceballos y hacia el sur de la cuenca, los suelos se desarrollan sobre el piedemonte oriental en transición con los depósitos eólicos de la llanura loésica. Tienen espesores cuyas profundidades superan los 100 cm y texturas franco arenosas altamente susceptibles a la erosión hídrica, como se puede observar a la vera de la ruta E-57 en la localidad de Mendiolaza.

Las características mencionadas confieren un incremento del aporte de sedimentos a la red de drenaje y a los caudales de escorrentía tanto en las cuencas de recepción como en las áreas urbanas ya que se produce acumulación de sedimentos en obras de desagüe y calles.

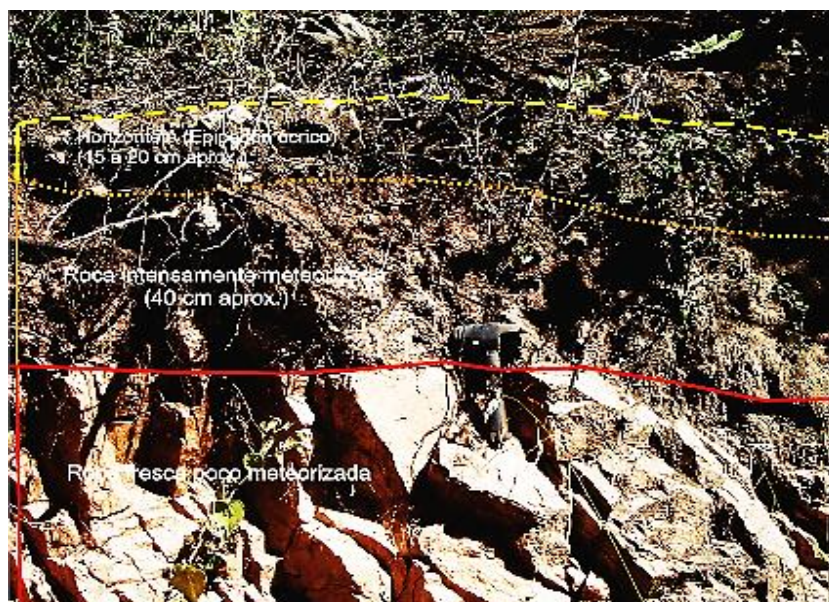


Figura 10. Perfil de suelo típico correspondiente a un Entisol (Gran grupo: Ustorthent) dominante en el área de estudio.

5.1.4. GEOMORFOLOGÍA

- **Relieve y procesos morfodinámicos:**

El sistema hídrico de río Ceballos-Saldán se desarrolla en las asociaciones geomorfológicas de la vertiente oriental tendida y piedemonte oriental de la Sierra Chica, bajo tres tipos de relieves elementales: relieve de montaña, de piedemonte y valles de carácter estructural (Fig. 11 y 12).

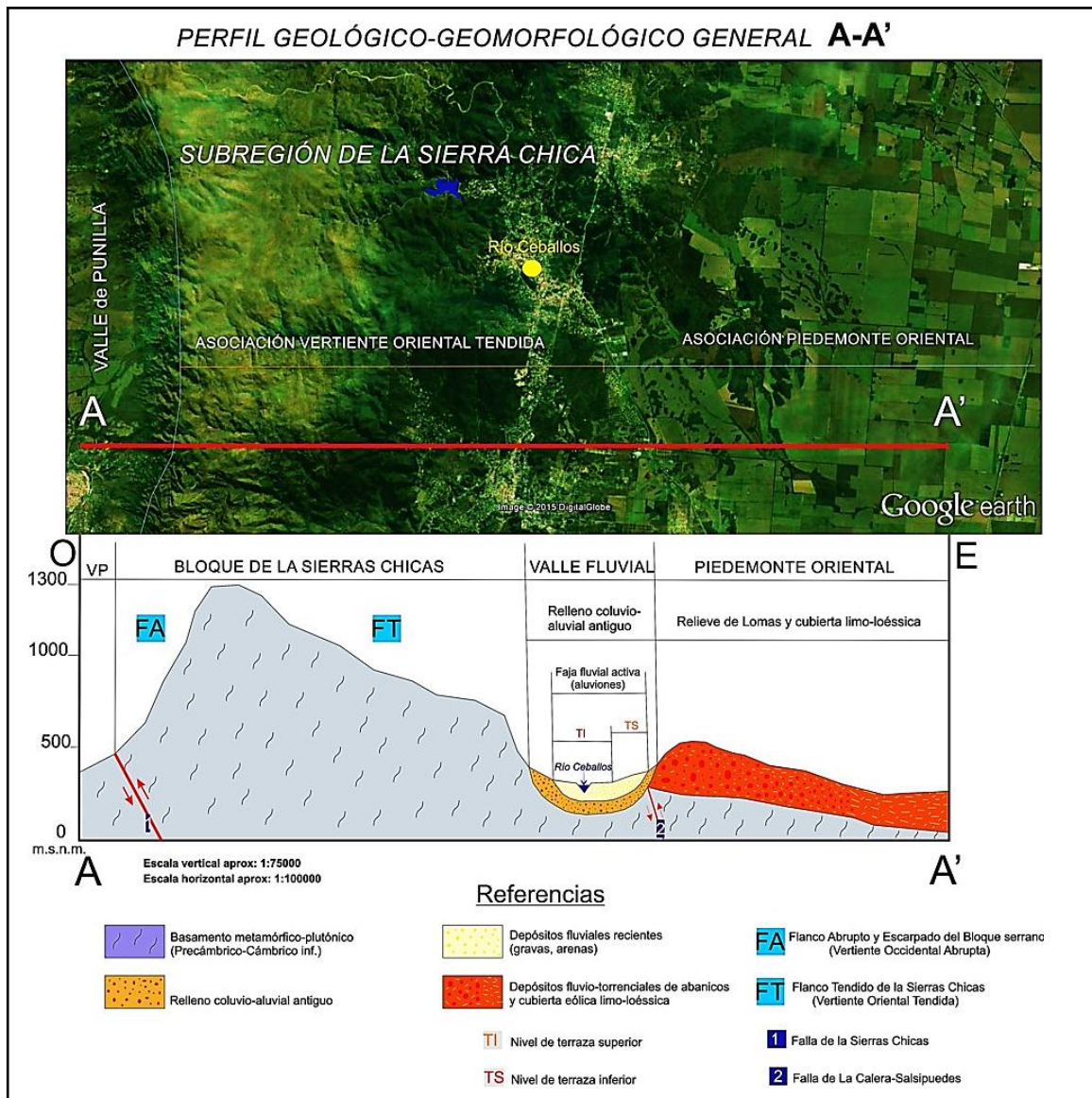


Figura 11. Perfil transversal del área analizada, en sentido O-E, en el cual se destaca la litología, y estructuras de las asociaciones geomorfológicas.

Hacia el oeste de la Sierra Chica existe un dominio de relieves fuertes y pendientes pronunciadas (vertiente oriental tendida); mientras que en el este domina el paisaje de piedemonte, donde la inclinación del relieve disminuye. Continuando hacia el este y fuera del área de trabajo, se presenta un ambiente de planicie bastante ondulada.



Figura 12. Mapa de sombras donde se observan los tipos de relieves que componen el área de estudio.

Para categorizar la energía del relieve se realizó un mapa de pendientes de la cuenca. Los resultados obtenidos indican un predominio de relieves alta energía (pendientes superiores al 20 %) y un área de muy alta energía cuyos gradientes superan el 50%. Hacia el este de la cuenca la energía del relieve disminuye las pendientes oscilan entre los 0 y 12 %, determinando el predominio de la depositación de materiales y por lo tanto del ensanchamiento de la faja fluvial. La presencia de pendientes acusadas en buena parte del trazado de los cauces tributarios principales (arroyos Cabana, Reducción, Colanchanga y Los Hornillos por ejemplo), condiciona en gran manera las características de los drenajes y el impacto que puedan generar estos al llegar a las diferentes localidades (Fig. 13 y 14).

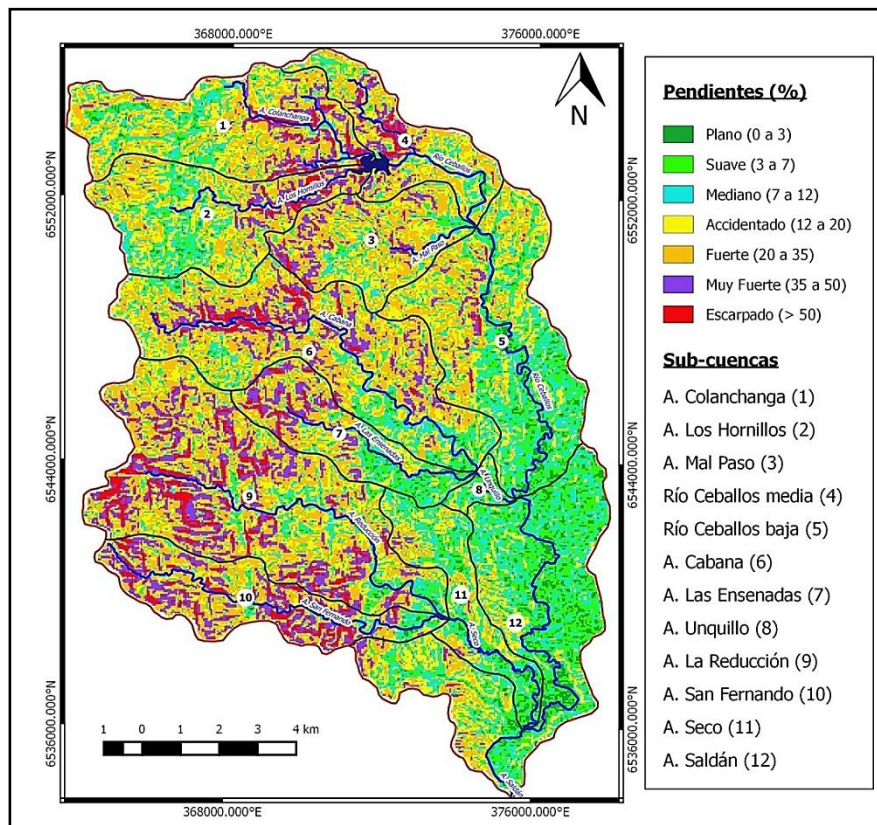


Figura 13. Mapa de pendientes para la cuenca analizada.

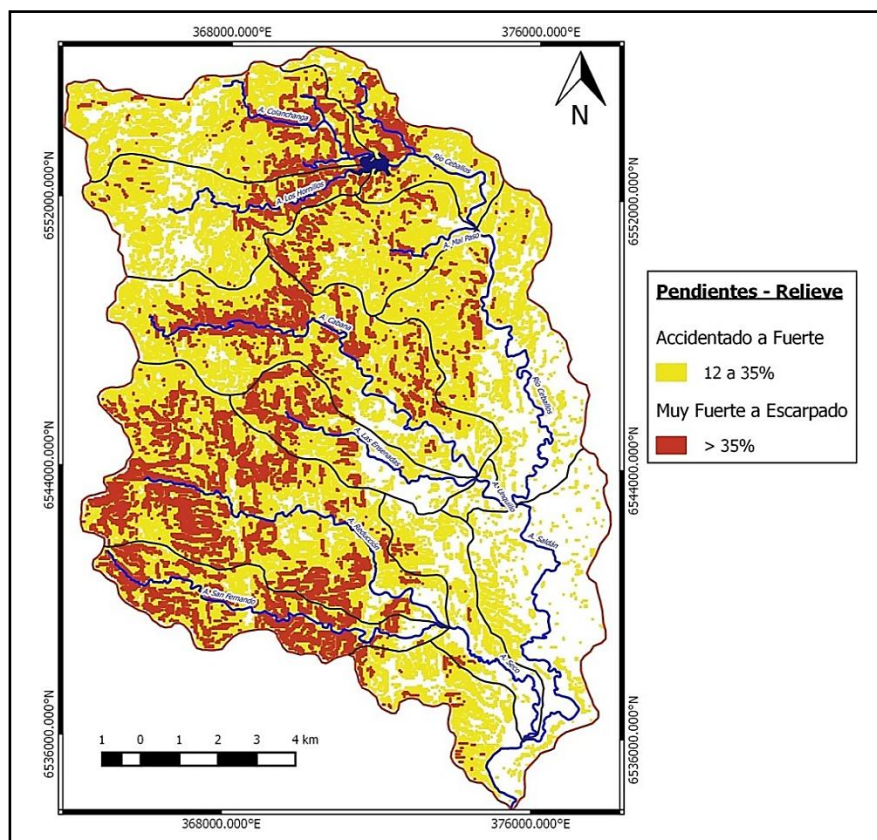


Figura 14. Mapa de pendientes reclasificado donde se indican las pendientes más fuertes.

A continuación se caracterizan los tipos de relieve y procesos morfodinámicos presentes en las asociaciones geomorfológicas que comprende el área de estudio

Asociación Vertiente Oriental Tendida (Pendiente Estructural)

Se encuentra ubicada al este de la divisoria de aguas regional de las Sierras Chicas, en la que se incluyen el bloque serrano basculado y el ámbito pedemontano. A continuación se describen las unidades geomorfológicas principales que conforman esta asociación, destacando los procesos morfodinámicos que tienen lugar en cada una de ellas:

A - Vertiente de rocas cristalinas:

Este paisaje está compuesto por bloques de rocas metamórficas plutónicas (Precámbrico-Cámbrico inferior), de características homogéneas, con rumbo sub-meridiano y pendiente general hacia el este, los cuales dan forma a un relieve predominantemente homoclinal de medio a elevado ángulo (escarpado). En este dominio se presentan las mayores alturas de la región, llegando a los 1350 m.s.n.m. aproximadamente al oeste del área de estudio, y 700 m.s.n.m. en zona de transición hacia el piedemonte (Fig. 15).

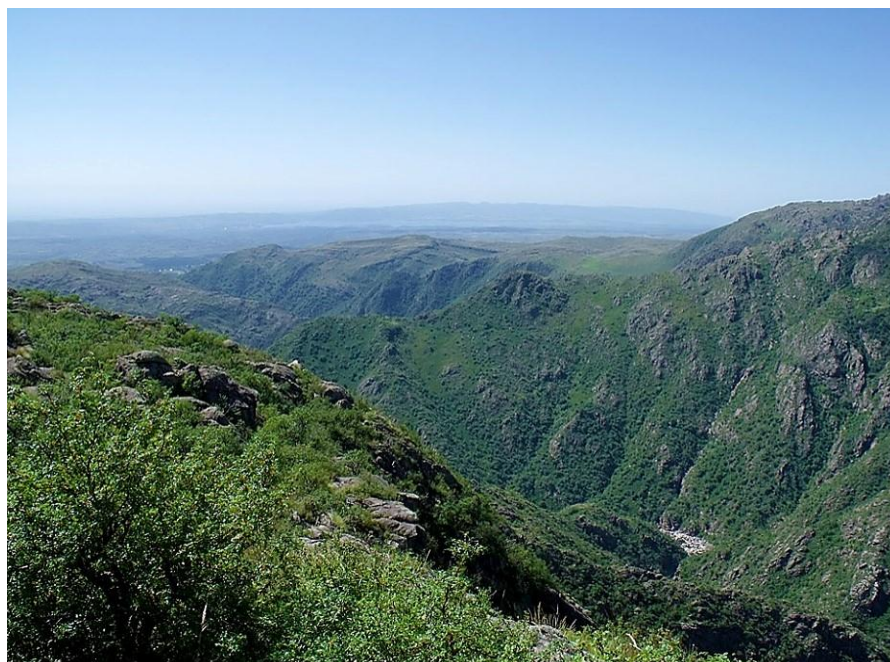


Figura 15. Valle fluvial profundo labrado en rocas del basamento

Se distinguen a nivel de unidades, un relieve accidentado a fuerte evolucionado por denudación en superficie del basamento cristalino, y un relieve muy fuerte desarrollado por disección fluvial sobre estas rocas, favorecido la presencia de fallas y fracturas. Este paisaje geomorfológico abarca la mayor extensión del sistema hidrográfico comprendiendo las zonas de cuenca alta y media.

A1 - Relieve de Montaña Accidentado a Fuerte

En la mayor parte del sector analizado, se presenta este relieve de pendientes medias, con variaciones morfológicas condicionadas por el grado de foliación de la metamorfita, lo que le confiere cierta masividad al material y da como resultado geoformas de menor energía. Las principales características geomorfológicas de este relieve son:

- *Naturaleza del terreno:* Gneis tonalítico biotítico, moderadamente fracturado y diaclasado
- *Morfología:* Relieve accidentado de energía media. Pendientes que oscilan entre los 12 y 35°. Laderas rectas, y limitan valles de fondos planos a cóncavos.
- *Suelos:* suelos residuales someros y poco evolucionados (Entisoles). Perfiles de texturas gruesas y medias, bien a excesivamente drenados.
- *Vegetación:* monte serrano hasta aproximadamente los 1200 m.s.n.m. A mayor altitud, predominan los elementos arbustivos y pastizales. La cobertura vegetal presenta un grado de alteración bajo a moderado.

A2 – Relieve de Montaña Muy Fuerte de disección fluvial (Quebradas)

Quebradas profundas evolucionadas a partir de la disección fluvial por parte de la red de drenaje, favorecida por el fallamiento y/o fracturación. Esta morfología le otorga al relieve una mayor energía, determinante en la gestación de crecientes repentinas en la región.

Este relieve se desarrolla hacia el oeste del área de estudio, y es más frecuente cuando mayor es el grado de foliación o planaridad que presenta la metamorfita. Las principales características geomorfológicas de esta unidad son:

- *Naturaleza del terreno:* gneis poco esquistoso (foliación grosera) a esquistoso (foliación más marcada).
- *Morfología:* Relieve de alta energía con pendientes fuertes a muy fuertes (mayores a 35°) en zonas de quebradas y abruptos de falla, asociadas a profundos valles en forma de “V” labrados por la acción fluvial (A. Los Hornillos, A. Cabana, etc.) con presencia de grandes bloques por deslizamientos y derrumbes de sus paredes casi verticales.
- *Suelos:* residuales y muy someros intercalados con sectores de roca desnuda (30%). Perfiles excesivamente drenados con poca materia orgánica, textura gruesa y pedregosa (Entisoles). Alta susceptibilidad a la erosión hídrica.

- **Vegetación:** monte serrano denso, con desarrollo en interfluvios y quebradas, hasta aproximadamente los 900-1000 m.s.n.m. A mayor altura disminuye elementos arbustivos para pasar a pastizales.
- **Procesos morfodinámicos:**
 - En interfluvios: erosión hídrica laminar moderada por deterioro de la cubierta vegetal e incremento del escurrimiento elemental.
 - Fondo de valles intermontanos: erosión hídrica moderada, con tendencia a la intensificación, dependiendo de las características del terreno y la estabilidad de las laderas.
 - Remoción en masa: caídas y deslizamientos de bloques controlados por esquistosidad, diaclasado, pendientes e intensidad en las precipitaciones. Los movimientos por lo general son rápidos y localizados.



Figura 16. Fondo de valle en forma de “V” labrados por la acción fluvial. A. Los Hornillos, Río Ceballos.

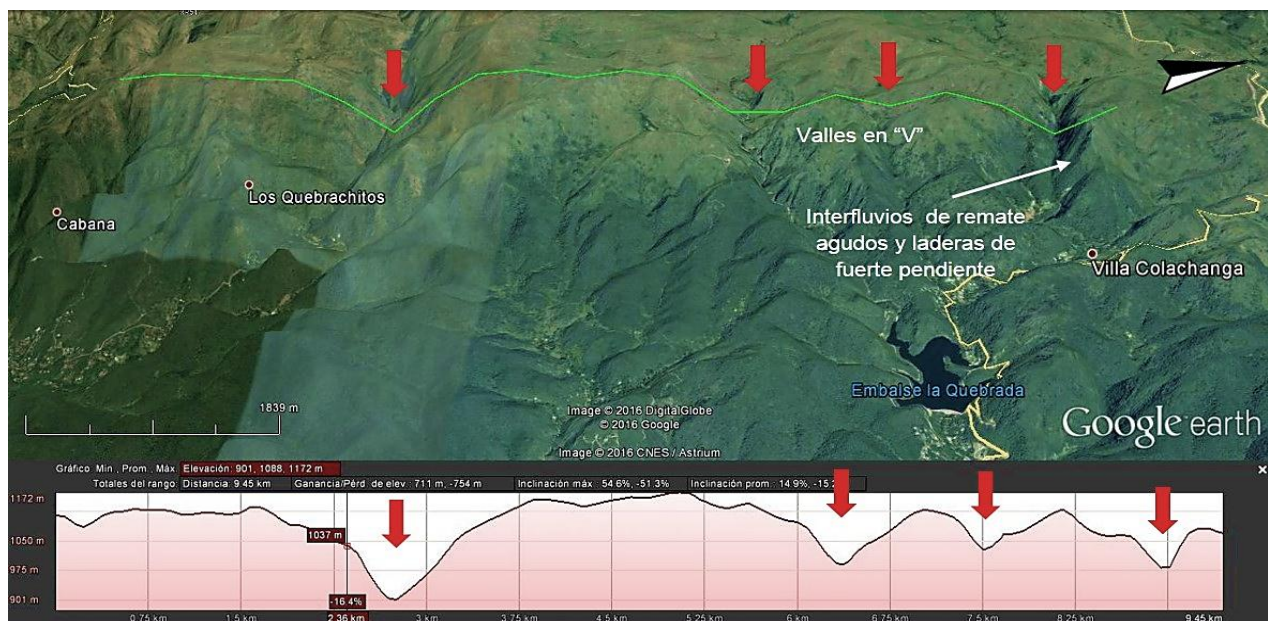


Figura 17. Imagen satelital donde se destacan las características geomorfológicas del relieve de montaña dominante, vista desde el este. Abajo: perfil N-S en el que se distinguen los valles en “V” transversales característicos por donde discurren los cauces afluentes del colector principal río Ceballos-Saldán.

A3 – Relieve accidentado en rocas sedimentarias clásticas (conglomerados y areniscas conglomerádicas)

La unidad se localiza en el sector oriental bajo de la pendiente estructural, y aparecen hacia el sur de la cuenca y al oeste de las localidades de Villa Allende, Mendiolaza y sur de Unquillo. Se orienta con dirección NW-SE, faja que desde Villa Allende hasta Saldán adopta un rumbo E-W dentro de la cuenca estudiada. Las principales características geomorfológicas de este relieve son:

- *Naturaleza del terreno:* conglomerados y areniscas conglomerádicas de color rojizo depositadas en un ambiente desértico a semidesértico (Cretácico inferior).
- *Morfología:* interfluvios en cresta definidos y laderas plano convexas continuas y suaves. Valles colectores con forma de “V”, algunos con fondo plano; rellenados o no por materiales coluvio-aluvionales
- *Suelos:* cubiertas pedregosas poco potentes derivadas de la alteración de las rocas conglomerádicas adyacentes. Perfiles bien drenados, de texturas gruesas en laderas y media el valles (Entisoles).
- *Vegetación:* monte serrano denso en laderas expuestas al sur por mayor insolación entre los 500 y los 1000 m.s.n.m.; en el resto de la unidad, Romerillal donde el sustrato se torna rocoso y pedregoso. Por último, sustrato de pastizales en los niveles más altos.
- Procesos morfodinámicos:
 - Sobre laderas: escurrimiento elemental mantiforme y difuso. Erosión hídrica laminar características del terreno y la estabilidad de las laderas.
 - Fondo de los valles: erosión más acelerada por escorrentía concentrada, generando carcavamiento sobre el sustrato sedimentario.
 - La tendencia se intensifica por alteración de la cubierta vegetal.
 - Reptación en mantos y como deslizamientos de detritos. Ausencia de deslizamientos de bloques rocosos y desprendimientos por gravedad.

B – Relieve de Valles:

B1 - Valles Fluviales Principales

Esta unidad ocupa la parte centro-este del área de estudio, e incluye formas actuales vinculadas a la acción de cursos fluviales de carácter permanente. El mayor valle fluvial del área corresponde al labrado por el río Ceballos-Saldán, el cual se dispone principalmente en dirección norte-sur y se ubica altitudinalmente a 770 m.s.n.m. La mayoría de las localidades se encuentran atravesadas por este curso principal. Las principales características geomorfológicas de este relieve son:

- *Naturaleza del terreno*: sedimentos aluviales y en menor medida coluviales en el fondo de valles. Bloques rodados, gravas, arenas y limos de edad reciente (Holoceno). Depósitos fluvio-eólicos antiguos en posición más elevada, con suave dirección hacia los cauces.
- *Morfología*: valles asimétricos, con fuerte control por fallas y fracturas, evolucionados por acción fluvial sobre la roca debido al debilitamiento de la misma por parte de estas estructuras. Marcado encajonamiento. Valle principal del río Ceballos-Saldán, controlado por parte de falla regional “La Calera-Salsipuedes”:
 - Al norte: encajamiento en el basamento cristalino en su primer tramo de desarrollo, generando planicie aluvial discreta y juvenil, con formación de un nivel aterrazado estrecho. Predomina arrastre sobre depositación.
 - Al sur: control por fallamiento regional, la pendiente y el encajamiento disminuyen. Pérdida de capacidad y competencia, depositando mayor cantidad de materiales dando una planicie aluvial de mayor extensión. Aspecto meandriforme y acción erosiva lateral.
 - Valles secundarios transversales: sobre relieve de montaña, perfiles en “V” más angostos, laderas fuertemente inclinadas. Dominan procesos de transporte (materiales gruesos), poca depositación debido al encajamiento y la energía del relieve.
- *Suelos*: aluviales profundos poco evolucionados, con horizonte superficial orgánico de escaso espesor, bien drenados y texturas medias a gruesas. Entisoles. En valles transversales profundos la presencia de suelos es muy escasa, debido a la dinámica fluvial de los mismos.
- *Vegetación*: montaña: vegetación predominante en los valles, tipo bosque serrano denso y arbustales, con menor presencia de pastizales. Valle fluvial principal: predominan especies alóctonas por deterioro importante en la cubierta vegetal nativa (acción antrópica).
- *Procesos morfodinámicos*:
 - Las inundaciones repentinas y procesos fluviales asociados tiene directa relación con características de los valles. Fondo de los valles: erosión más acelerada por escorrentía concentrada, carcavamiento sobre el sustrato sedimentario.
 - Inundaciones generadas por desbordes de lechos ordinarios y activación de planicies aluviales recientes. Procesos activos de erosión de márgenes en las partes externas de las curvas de los cursos, afectan a los niveles de terrazas en grado moderado a intenso.
 - Procesos de remoción en masa: desplomes de bloques, por socavación de márgenes como resultado de la erosión hídrica, cuando el lecho ordinario limita con materiales deleznablemente meteorizados.

B2 - Valles Secundarios (coluvio-aluviales)

Estas depresiones de fondo plano-cóncavo tienen desarrollo, tanto en el relieve de montaña, como en las lomas de piedemonte, aunque en estas últimas presentan mayor expresión morfogenética. Se componen principalmente de materiales coluviales y aluviales provenientes de las laderas circundantes, por el aporte lateral y longitudinal de cauces de carácter temporario. Las principales características geomorfológicas de este relieve son:

- *Naturaleza del terreno*: materiales coluvio-aluviales de variada granulometría (gravas, arenas y limos), derivan del lavado de las laderas circundantes y son parcialmente cubiertos por depósitos eólicos (loess).
 - *Morfología*:
 - Acción erosiva fluvial en cauces de carácter temporario y colectores de menor orden en la red de drenaje.
 - Sobre relieve de montaña: valles secundarios de menor desarrollo y de morfología asimétrica. Pendientes medias a fuertes y fondos reducidos con poco material de relleno. Niveles aterrazados estrechos y casi superpuesto. Predomina arrastre sobre depositación.
 - Sobre piedemonte: laderas suavemente convexas y de menor pendiente, con fondos planos a ligeramente cóncavos de mayor amplitud y relleno. Orientación preferente noreste-suroeste.
 - *Suelos*: debido a las bajas pendientes en la zona de piedemonte pueden evolucionar suelos bastante profundos.
 - *Vegetación*: bosque serrano y en menor medida a elementos arbustivos.
 - *Procesos morfodinámicos*: vinculados al régimen de precipitaciones. La arroyada difusa es el proceso más generalizado, pero con las grandes lluvias estos cauces secundarios se activan, intensificando los procesos erosivos (formación de cárcavas por erosión retrogradante) y el aporte de caudales considerables a los sistemas fluviales principales.
- Fenómenos de remoción*: localizados y de menor magnitud, por la menor inclinación de las laderas. Pueden tener lugar deslizamientos de detritos aislados y reptación mantiforme en forma lenta, afectando la cubierta residual de meteorización y suelos.

En el área de estudio, se aprecian valles más amplios y de mayor desarrollo hacia el este-sureste, producto de las características geológicas y topográficas del sector; mientras que hacia el oeste los valles se presentan más estrechos y poco evolucionados.



Figura 18. Valle secundario relleno por sedimentos coluvio-aluviales en la localidad de Unquillo.

Asociación Piedemonte Oriental

El piedemonte oriental de las Sierras Chicas de Córdoba constituye una faja de transición entre el ambiente serrano y la llanura. Debido al levantamiento del bloque de sierras producto de la neotectónica durante el Terciario, evoluciona un ambiente pedemontano con orientación oeste-este, producto del transporte y acumulación de materiales por parte de los cauces principales, generando un sistema de abanicos aluviales coalescentes. La naturaleza mineralógica de las sedimentitas, indica una clara procedencia del basamento cristalino. Los depósitos aluviales presentan una agradación marcada, y alternan con materiales de carácter eólico (loess).

El sistema se extiende desde los últimos afloramientos del área serrana hasta aproximadamente la curva de nivel de 400 m.s.n.m. donde se observa un cambio en la pendiente general. Se trata de una faja de 25 a 30 Km de ancho aproximadamente, que mantiene una altura promedio de 500 msnm., y se encuentra ubicada sobre la margen este del río Ceballos-Saldán. En ésta se distingue un relieve de lomas suaves y aplanadas, separadas por depresiones amplias de escasa profundidad y fondo plano; unidad que adquiere mayor expresión areal y geoformas definidas hacia el sur.

C - Relieve de Lomas

Estas geoformas típica en el ambiente de piedemonte, pueden observarse desde el borde de la planicie aluvial del río Ceballos, extendiéndose hacia el sur y atravesando toda la cuenca en una posición topográfica dominante con respecto al relieve circundante.

Las principales características geomorfológicas de este relieve son:

- *Naturaleza del terreno:* depósitos fluvio-torrenciales de granulometría gruesa (abanicos aluviales antiguos), parcialmente cubiertos por materiales loésicos (sistema eólico de edad cuaternaria). Los sedimentos aluviales revelan sucesivas etapas de depositación en un lapso relativamente corto (pleistoceno inferior a medio), por aporte longitudinal y lateral de los sistemas fluviales principales de la región. Predominancia de materiales gruesos sobre finos (limos loésicos).
Secuencias conglomerádicas deleznales, de estratificación gruesa y pobremente seleccionados, con clastos redondeados a sub-redondeados inmersos en matriz areno-limosa de color ligeramente rojiza. Esto evidencia el régimen hídrico al que estuvo sometido este sector de la Sierra Chica en el pasado.
- *Morfología:* lomas masivas de morfología suave y tendida, con alturas entre 10-15 m, pendientes entre 7 y 12%; pierden altitud hacia el este y se orientan predominantemente en sentido oeste-este. La morfología de la sierra condiciona las formas y procesos del piedemonte. Se ha comprobado que:
 - Existe relación directa entre la altura de la cuenca de aporte y la inclinación del abanico del río correspondiente.

- El área de los abanicos es proporcional al área de su respectiva cuenca de drenaje.
- *Suelos*: profundos poco evolucionados, con horizontes característicos de tipo A/C, textura franco-arenosa, bajo contenido de materia orgánica y menor pedregosidad.
- *Vegetación*: bosque serrano, con implantes sectorizados de vegetación alóctona.
- *Procesos morfodinámicos*: proceso más activo: erosión hídrica moderada a intensa, producto del escurrimiento elemental mantiforme y difuso en laderas, que erosiona sedimentitas débilmente cementadas.

Procesos de remoción en masa: flujos lentos de detritos (materiales finos) en forma de reptación en mantos, afectando la cubierta de suelos residuales en las laderas de las lomadas.



Figura 19. Loma redondeada y de suave pendiente (7 a 12% aprox.), constituida por materiales conglomerádicos (Fm. Estancia Belgrano).

D - Relieve ondulado de depósitos eólicos

Relacionado con el relieve de lomas masivas y aisladas en una posición topográfica más baja se presenta un relieve suavemente ondulado.

- *Naturaleza del terreno*: cubierta limo-loésica de edad reciente (cuaternario).
- *Morfología*: relieve ondulado con pendientes medias entre 3% y 7%. Interfluvios plano/convexos y bajos amplios plano/cóncavos hacia el bode este de la cuenca hidrográfica, acentuándose hacia la pampa loésica.
- *Suelos*: suelos profundos de texturas medias de moderado a buen contenido orgánico. Molisoles.
- *Vegetación*: bosque chaqueño alterado y/o eliminado por urbanización.
- *Procesos morfodinámicos*: escurrimiento elemental mantiforme en interfluvios, y difuso o concentrado en bajos amplios plano-cóncavos, con fuerte alteración por efecto de la infraestructura vial. Erosión hídrica laminar moderada a fuerte en interfluvios y concentrada en bajos. Erosión hídrica acelerada en trazos de calles.

5.1.5. HIDROGRAFÍA

Sub-cuencas tributarias del Río Ceballos- Saldán

Los afluentes principales que descienden de la Sierra, y que son determinantes en el carácter que adopte el escurrimiento hacia la zona media y baja de la cuenca, corresponden a los arroyos: A. Colanchanga, A. Los Hornillos, A. Mal Paso, A. Cabana, A. Las Ensenadas, A. Reducción y A. San Fernando; todos con longitudes variables y direcciones de escurrimiento NNO-SSE.

Debido a las condiciones del relieve en sus nacimientos y a lo largo de una buena parte de su traza (alta relación esorrentía-infiltración, pendientes pronunciadas, rocas mayormente desnudas, escaso a nulo desarrollo de suelos, etc.), los cursos de agua adquieren una importante capacidad de arrastre de materiales. Por ello es común encontrar en el lechos de los ríos que atraviesan las distintas localidades, clastos de granulometrías variables que van desde tamaños arena hasta cantos rodados de 30 cm de diámetro y aún mayores.

Los límites para las sub-cuencas de los arroyos mencionados se encuentran al oeste, en la divisoria de aguas regional, y se forman entre los 1.000 y 1.350 m.s.n.m. aproximadamente. Los arroyos Colanchanga y Los Hornillos son los únicos afluentes que drenan sus aguas en el embalse La Quebrada (800m.s.n.m.), antes de incorporarse del colector principal (Río Ceballos).

Estas sub-cuencas evolucionan sobre rocas cristalinas (gneis tonalítico biotítico), en un relieve de montaña accidentado a muy fuerte (alta energía). Los cauces corren fuertemente encajados por lineamientos transversales (valles) en forma de "V" generados por el debilitamiento y erosión de la roca cristalina en respuesta a las discontinuidades dominantes. Las laderas se presentan con pendientes pronunciadas, asociadas a zonas de profundas quebradas y abruptos de falla que se disponen con rumbo oeste-este predominantemente. Por ello es que desde una perspectiva regional, los cursos denotan un trazo aproximadamente rectilíneo (con presencia de curvas estrechas y cerradas), poniendo en evidencia las características estructurales del medio.

Los cursos temporarios de bajo orden de jerarquización (1 y 2), en general se presentan rectos y bastante cortos con orientación preferente ONO-ESE, controlados por fracturas secundarias y por la foliación de la metamorfitas. En sectores donde la roca se vuelve más foliada (gneis esquistoso), las discontinuidades se incrementan y los cursos exhiben mayor control, con una tendencia a correr más encajados y orientados en forma sub-paralela. Esto se puede observar claramente desde el arroyo Cabana hasta el límite sur de la cuenca, donde se produce un aumento notable en la densidad del drenaje y el relieve se torna más rugoso. Hacia el norte de este arroyo, la roca se vuelve uniforme (gneis masivo), disminuyendo el desarrollo de discontinuidades y la disección

fluvial, por lo tanto se observa un menor control sobre estos cursos de orden inferior, los cuales discurren menos encajados en quebradas más amplias.

En épocas de lluvias intensas, los cauces secundarios (cuena media y alta) adquieren una dinámica fluvial muy activa y llegan a aportar caudales importantes a los colectores principales que descienden de la Sierra.

El diseño de avenamiento se ajusta a un patrón mixto, de tipo dendrítico-angular a sub-angular con una densidad de drenaje media hacia el norte de la cuena, y media a alta sobre la zona sur de la misma por la menor dureza y resistencia de la roca cristalina.

Los cauces presentan orillas estables con reducida erosión de márgenes en los tramos correspondientes a la cuena alta, debido a las características de las laderas (roca consolidada). Esta particularidad se modifica gradualmente a medida que descendemos hacia los puntos de cierre de cada sub-cuena, donde la pendiente se suaviza en forma paulatina. Aquí es posible observar tramos donde se produce erosión sobre los márgenes del lecho por variaciones en la litología al ingresar y atravesar la zona de piedemonte (depósitos granulares y presencia de suelos más profundos).

Actualmente, el ancho aproximado de estos cursos oscila entre los 5 y los 10 m aproximadamente, presentándose con márgenes y fondos claros, carga de lecho gruesa (bloques, gravas y arena) y afloramientos del sustrato cristalino erosionado. También se aprecian algunas barras centrales aisladas, producto de la deposición de materiales gruesos en la porción central del canal activo. Estas geoformas son creadas por la elevada capacidad y competencia que presentan los ríos (predominio de arrastre sobre depositación).

En algunos casos, como se observa en la imagen tomada sobre el arroyo Cabana (Fig. 20), la erosión generada hizo posible identificar la forma en que parte de la carga de lecho ha sido cubierta por sedimentos, lo cual indica que la amplitud del lecho ordinario en épocas pasadas fue mayor. Esto sin lugar a dudas, pone de manifiesto el notable régimen hídrico que tuvo el cauce en períodos anteriores, hecho que también se interpreta por la heterogeneidad granulométrica y la redondez de este material



Figura 20. Carga de lecho más antigua aflorando sobre la margen izquierda del arroyo Cabana.

Cabe aclarar que las sub-cuencas de los arroyos Mal Paso y Las Ensenadas tienen similares características en comparación con el resto de las unidades, pero se diferencian en que sus longitudes son inferiores. No obstante, estos cursos se comparan con los que se generan en la alta montaña, al tener sus nacimientos por encima de los 1.100 m de altura. Ambos sistemas evolucionan sobre un relieve de montaña accidentado de pendientes medias, con ausencias de quebradas y abruptos de falla. La presencia de fracturas secundarias ejerce control sobre parte de los cauces, aunque en menor medida comparado con los afluentes principales descritos anteriormente.

Por su parte, el río Unquillo y el arroyo Seco (Villa Allende) están formados por la confluencia de los arroyos Cabana-Las Ensenadas y San Fernando-Reducción respectivamente. Ambos poseen órdenes de jerarquización mayor dentro de las sub-cuencas de aporte, y se incorporan finalmente al colector principal de la cuenca (río Ceballos-Saldán) donde evacúan sus aguas. El río Unquillo es un afluente que atraviesa áreas urbanizadas durante todo su trazado, adoptando distintas direcciones por el control que ejerce la litología sobre el mismo. El efecto de la neotectónica y la ciclicidad de los cambios climáticos, provocó el encajamiento del cauce en los sedimentos del valle por el cual discurre. Es importante destacar que la dinámica hidrológica que pueda adoptar, estará condicionada en mayor medida por los volúmenes de agua aportados desde el arroyo Cabana. Esto se debe claramente a la mayor superficie que posee la cuenca receptora desde su nacimiento.

El arroyo Seco o Chico, a diferencia del río Unquillo, posee una mayor longitud y corre a través de un valle amplio generado por el importante espesor de relleno coluvio aluvial. Posteriormente a la confluencia de los arroyos que le dan su origen, se desarrolla un reducido tramo de aspecto meandriforme; para luego ingresar a la zona urbanizada de la localidad de Villa Allende.



Figura 21. Imagen satelital donde se observa una antigua traza del Arroyo Seco, en la cual se distingue mayor desarrollo de la vegetación por el contenido de humedad del suelo.

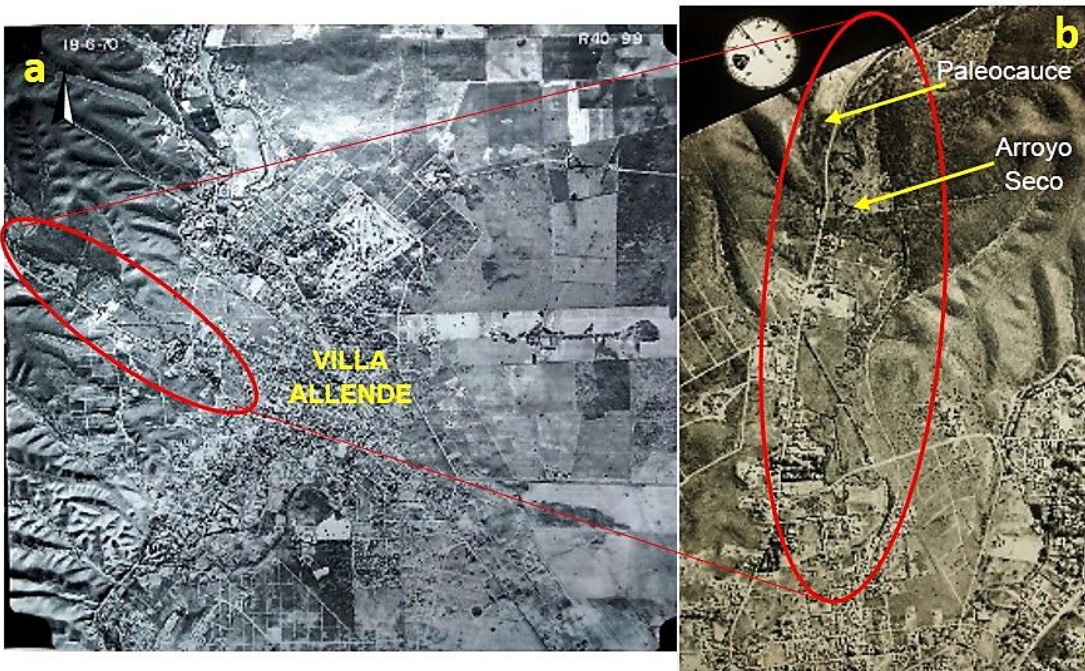


Figura 22. a) Fotografía aérea de la localidad de Villa Allende, año 1970 (R40-99), donde se observa un tramo del Arroyo Seco de aspecto meandriforme. b) Ampliación del área observada. Notar el grado de sinuosidad del cauce en la zona resaltada.

Este rasgo sinuoso se repite en diversos tramos, como se puede ver en la fotografía aérea del año 1970 (Fig. 22); y se acentúa por sectores a medida que desciende por el valles, hacia la confluencia con el Río Ceballos-Saldán en las inmediaciones del Camping S.M.A.T.A. de la misma localidad. El carácter divagante observado, se debe a que en este sector la pendiente longitudinal se reduce considerablemente. Esto causa que el escurrimiento pierda velocidad y provoque la deposición de los materiales transportados, incrementando el espesor del relleno sedimentario y permitiendo que el arroyo se mueva sobre sus propios depósitos adquiriendo un patrón meandriforme.

Una particularidad a destacar en esta zona, aledaña al tramo mencionado, es la presencia de un cauce abandonado (paleocauce) que corresponde a una antigua traza del arroyo (Fig. 21). Este

rasgo permite inferir que el arroyo Seco a lo largo de su recorrido, ocupó diferentes posiciones en el valle a través del tiempo, lo cual sin lugar a dudas indica el carácter dinámico que posee este curso.

Por todo esto se afirma que en condiciones de regímenes hídricos de magnitudes considerables, el arroyo Seco puede comportarse de manera errática mientras avanza, ocupando buena parte de la amplitud del valle o retomando las antiguas trazas de los paleocauces hoy ocupadas por edificaciones.

Sub-cuenca Rio Ceballos- Saldán

Esta unidad hidrográfica comprende el sistema fluvial principal, que tiene sus inicios a la salida del embalse La Quebrada bajo la denominación de río Ceballos, tras un recorrido de 2.8 km, el cauce principal sufre un brusco cambio en el sentido del escurrimiento, de O-E a N-S controlado por fallamiento. Luego de recorrer 17 km aproximadamente, se produce la confluencia con el río Unquillo a una altitud de 576 m.s.n.m. formando el arroyo Saldán, denominación que conserva hasta su desembocadura en el Río Suquía.

El río Ceballos-Saldán es alimentado casi exclusivamente desde el oeste por los tributarios principales caracterizados en la sección antecedente y por cursos secundarios de carácter temporario que descienden del flanco de la sierra, mientras que desde el margen oriental recibe escasos aportes.

A nivel regional, la zona norte de la unidad hidrográfica se desarrolla principalmente sobre un relieve de montaña accidentado con pendientes que fluctúan entre el 12 y 35 %, pasando luego a medida que descendemos en la cuenca (sureste), a un ambiente de transición con el piedemonte donde las pendientes son menores. El curso en toda su extensión, es controlado en gran parte tanto por dislocaciones regionales (principalmente por la falla La Calera-Salsipuedes) como por la litología. En sus primeros kilómetros corre notablemente encajado y sobre una faja fluvial estrecha, en la cual predominan los procesos de transporte sobre los de depositación (mayor capacidad y competencia).

A partir de la zona de transición montaña-piedemonte se desarrolla una planicie fluvial más amplia como resultado de una pérdida de energía del cauce que genera depositación de los sedimentos transportados. Esto denota cierto equilibrio entre el transporte y la acumulación de materiales, hecho manifiesto en los escasos afloramientos de sustrato cristalino en el fondo y márgenes.

Parámetros morfométricos de las cuencas del sistema

Para cada sub-cuenca se calcularon los siguientes parámetros morfométricos:

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
ÁREA DE LA SUB-CUENCA	Corresponde a la superficie en donde las precipitaciones son evacuadas por un sistema común de cauces. Tiene directa relación con los caudales de escurrimiento, y su extensión actúa como factor de compensación, por lo que es de esperar en cuencas menores una generación instantánea y de respuesta inmediata frente a la ocurrencia de lluvias intensas. En cambio para cuencas más extensas la respuesta es más lenta, disminuyendo la tendencia a alcanzar picos máximos de crecidas.
PERÍMETRO	Delimitación de la cuenca que define la forma, incide en los tiempos de concentración.
COEFICIENTE DE COMPACIDAD O ÍNDICE DE GRAVELIUS (KC)	Expresa la relación del perímetro de la cuenca y el perímetro de una circunferencia de área equivalente, dando valores mayores o cercanos a la unidad. En el primer caso (próximos a la unidad), indican que la onda de crecida llega más rápidamente al punto de cierre, debido a que los tiempos de concentración de distintos puntos de la cuenca son similares.
FACTOR FORMA	Es la relación que existe entre el ancho medio de la cuenca y la longitud de la misma. Las cuencas más ensanchadas poseen mayor susceptibilidad a generar crecidas, ya que el tiempo de recorrido del agua precipitada es mucho más corto, generando mayor violencia en sus crecidas. Caso contrario ocurre con las cuencas alargadas donde el tiempo de viaje del agua es mucho más largo, contribuyendo a que los picos de crecidas sean menos súbitos en caso de lluvias concentradas.
PENDIENTE LONGITUDINAL MEDIA	Tiene directa relación con la capacidad de carga sedimentaria (cantidad), competencia (tamaño) del flujo y tiempo de respuesta. A mayor pendiente, mayor capacidad y competencia de los cursos.
DENSIDAD DE DRENAJE	La densidad de drenaje cuantifica el grado de desarrollo de la red hidrográfica y está en relación directa a la naturaleza geológica y a la permeabilidad. Se define por la relación de la extensión total de los cursos de la red de drenaje de la cuenca y el área de la misma. A mayor densidad de drenaje mayor respuesta al influjo de la precipitación, que se traducen en mayores caudales drenados.

CÁLCULO DE PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS PARA LA CUENCA DEL RÍO CEBALLOS-SALDÁN												
Sub-cuencas de aporte		Colanchangea	Los Hornillos	Mal Paso	Cabana	La Ensenada	Reducción	San Fernando	Unquillo	Seco	Ceballos	Saldán
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS	Área (km ²)	19,16	16,58	11,96	27,99	10,76	36,03	13,89	1053	8,72	35,32	29,07
	Perímetro (km)	29,45	27,74	21,07	42,13	23,8	41,35	30,85	8,24	33,1	61,53	39,47
	Factor Forma (adimensional)	0,3	0,24	0,37	0,2	0,2	0,25	0,2	0,67	0,7	0,17	0,2
	Índice de Compacidad (Kc)	1,88	1,9	1,71	2,15	2	1,92	2,3	1,87	1,6	2,8	2,05
	Pendiente media curso principal (%)	6,5	6	3,35	5	7,5	5,4	7,5	5,6	3,5	3,5	1,2
	Longitud del curso principal (km)	7,98	8,23	5,64	12,78	7,2	12,28	9,51	1,49	3,41	14,05	15,7
	Densidad de drenaje (km/km ²)	2,9	2,9	3	2,7	2,6	3,4	3,4	3	3,4	3,1	3,5

Los mismos, fueron calculados para establecer la tendencia del sistema a la generación de crecientes repentinas. En base a los valores obtenidos, se comprueba que las sub-cuencas tienden a evacuar rápidamente el flujo de agua desde sus cabeceras, con tiempos de respuesta medios a altos. Esto marca una alta capacidad de generar crecientes magnitud (valores de K_c cercanos a 2 y pendientes medias que alcanzan el 7,5 %).

Presentan una forma elipsoidal a alargada (Factor forma promedio=0,5) y una marcada verticalidad, en función de la energía del relieve y las fuertes pendientes, lo que favorece a la generación de escurrimientos de elevada velocidad y rápida descarga.

Respecto de la densidad de drenaje, los resultados obtenidos indican que las sub-cuencas presentan densidades medias a altas, lo que implica mayores caudales drenados.

5.1.6. CLIMA

El clima en la cuenca es de tipo estacional con inviernos fríos y relativamente secos y veranos lluviosos, con concentración de las lluvias en el periodo noviembre-marzo, asociadas a procesos de carácter frontal, convectivo y orográfico. En la cuenca baja los promedios anuales fluctúan entre 500 mm y 700 mm y en alta, entre 700 mm. y 1100 mm.

Los procesos de origen convectivo y orográfico condicionados por la altitud, son los que tienen la mayor participación en la generación de las crecientes repentinas severas.

5.1.7. VEGETACIÓN

La vegetación de la cuenca se encuadra dentro del dominio y Provincia Chaqueña y Bosque Serrano a nivel de distrito. Las formaciones vegetales presentan las características del matorral y arbolado semidesértico xerófilo que cohabita con pastizales distribuidas según tres pisos, cuya existencia, amplitud y elevación, están condicionados por la altitud, latitud y exposición y orientación geográfica (Luti.R. 1979): El Piso del Monte Serrano con desarrollo desde los 1.300 m.s.n.m hasta los 1.450 m.s.n.m.; el Piso del Arbustal o Romerillal, entre 1.300-1.400 m.s.n.m.; y el piso de los Pastizales y Bosquecillos de Altura, a partir de los 1300 m.s.n.m., hasta las máximas alturas.

La distribución de los elementos componentes de los tres pisos en el área de recepción de la cuenca, está supeditada a la presencia de los suelos discontinuos y alternantes con elevados porcentajes de roca desnuda, lo que define un bajo grado de protección hidrológica, a lo que se le suma la alteración principalmente por efecto de incendios y por el avance de los sectores urbanizados en la vertiente oriental.

5.2. UNIDADES HIDROGEOMORFOLÓGICAS CONDICIONANTES DE LA DINÁMICA Y ALCANCE DE CRECIDAS REPENTINAS

La dinámica y la inundabilidad de un valle fluvial, dependen de las características de las unidades hidrogeomorfológicas que lo componen. Entre estas se destacan los lechos de inundación ordinario, periódico y episódico.

El lecho ordinario, también llamado aparente o menor, representa la unidad de mayor actividad hídrica del ambiente fluvial (recurrencia anual), definido por orillas claras desde el punto de vista geomorfológico. Su diseño y estabilidad son variables dependiendo de las condiciones geológicas y geomorfológicas. Puede ser recto y estable por control estructural en profundidad (fallas y/o fracturas) y por márgenes rocosas resistentes, o puede discurrir en tramos aluviales con diseño meandriforme, anastomosado o dicotómico, lo que involucra inestabilidad por erosión lateral o de márgenes.

Dentro de él en cursos fluviales con régimen permanente se incluye un canal de estiaje que representa el caudal mínimo en épocas de sequía.

Cuando los caudales de crecida sobrepasan la capacidad de conducción del lecho ordinario, se activa el lecho de inundación periódico, también identificado como lecho mayor o llanura de inundación. Como tal en los ríos de las sierras de Córdoba, actúa el nivel de terraza más bajo y reciente (nivel inferior), que incluye en ocasiones un subnivel en formación. El material aluvional es de moderada a baja energía fluvial con presencia de arenas y limos.

Ante la ocurrencia de crecidas extremas superada la capacidad de conducción del lecho periódico, se activa el lecho episódico o lecho histórico, en forma total o parcial, de acuerdo a los valores de lluvia-intensidad en la cuenca de recepción.

En este caso pueden actuar, aunque no siempre, los niveles de terraza de mayor antigüedad y posición topográfica más elevada (niveles medios y altos de terrazas por encajamiento). En este ámbito con frecuencia se incluyen geoformas asociadas a un estadio evolutivo antecedente que inciden en la dinámica que adoptan las inundaciones (canales de crecidas vinculados con posiciones antecedentes del curso, espiras meándricas, desbordes y/o estrangulamientos de meandros). Los materiales aluvionales, son finos de baja energía (limos de inundación), intercalados con materiales gruesos (arenas) ligados a las geoformas mencionadas.

En la cuenca bajo estudio, el colector principal del sistema río Ceballos Saldán, presenta un desarrollo diferencial de las unidades a lo largo de su recorrido.

En el trayecto inicial de su recorrido producto del encajamiento del valle y la estabilidad de los márgenes formados por basamento metamórfico resistente, la acción erosiva fluvial de carácter

lateral (erosión de márgenes) se ve notablemente reducida. El encajamiento reciente y activo sumado a la mayor pendiente longitudinal del curso, determinó el predominio de procesos de arrastre con tendencia a un cierto equilibrio; formando una planicie aluvial estrecha e incipientemente evolucionada con un nivel de terraza inferior (TI) poco desarrollado (Fig. 22). Hacia las localidades de Unquillo, Mendiolaza y Villa Allende, se produce una ampliación de este nivel (Fig. 23), en respuesta a variaciones geológicas y geomorfológicas (litología y pendientes).

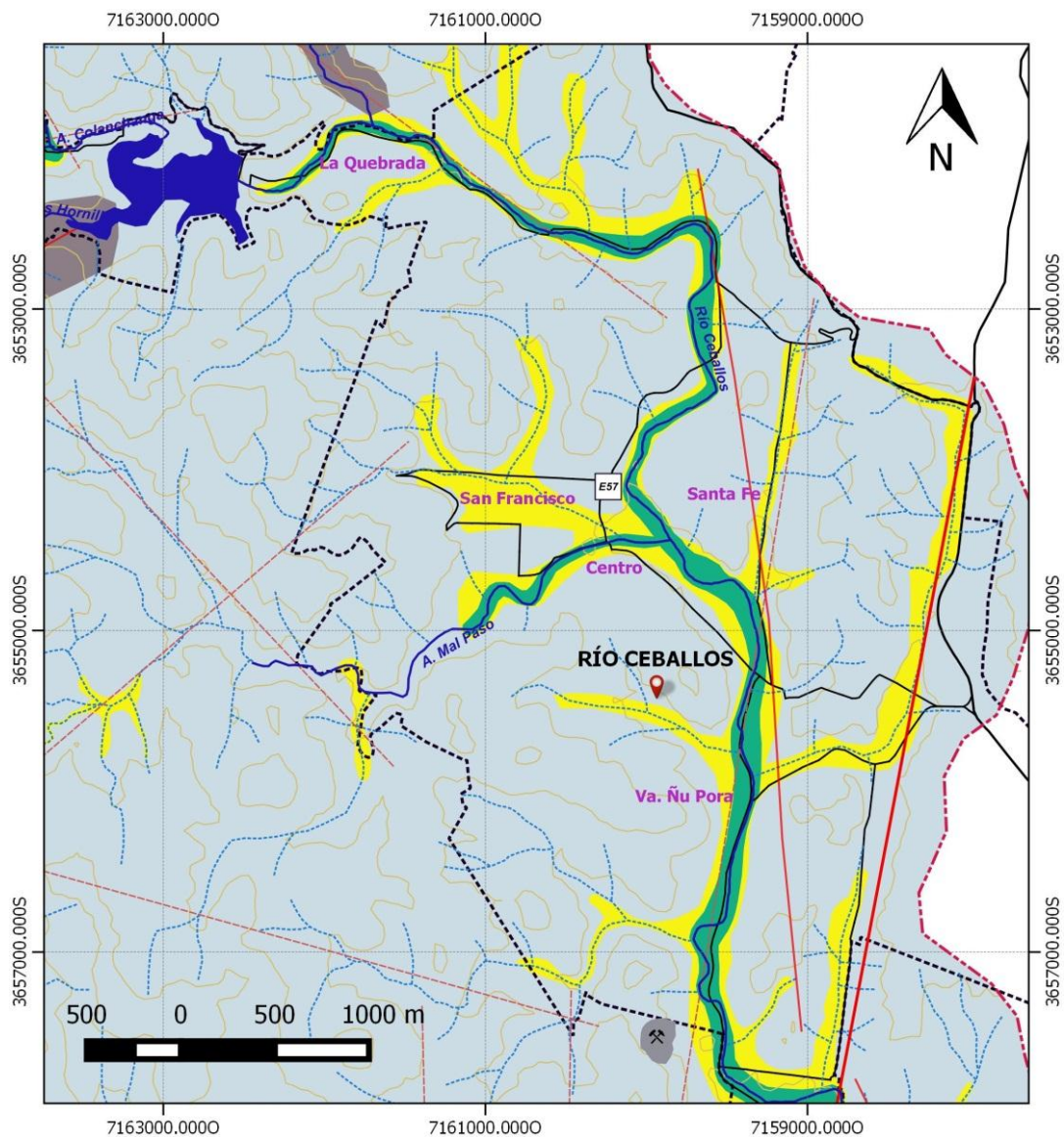


Figura 22. Tramo encajado del río Ceballos, donde se observa un solo nivel aterrazado (TI).



Figura 23. Fotografías del nivel inferior de terraza (TI) del Río Ceballos-Saldán. Se aprecia claramente el perfil tendido de la unidad culminando con un borde abrupto en dirección al cauce y por detrás el nivel superior de terraza (TS). a y b) Viviendas emplazadas sobre el nivel inferior. c y d) Hacia la cuenca baja, tanto en Unquillo como en Villa Allende respectivamente, las construcciones también invaden el lecho periódico (TI).

Hacia el sur de la población de Río Ceballos, el sistema desarrolló un nivel aterrazado superior más amplio (expresado en la cartografía como TS), generado por la acumulación de una importante proporción de materiales más finos (sedimentos loésicos de origen eólico) y ocupando una posición topográfica más elevada respecto al nivel inferior. A diferencia TI, el nivel superior (TS) no está presente en toda el área de estudio, ya que comienza a observarse desde las inmediaciones del barrio Loza en Río Ceballos y su ensanchamiento crece paulatinamente a medida que atraviesa los distintos barrios y localidades aguas abajo de la cuenca (Fig. 24).

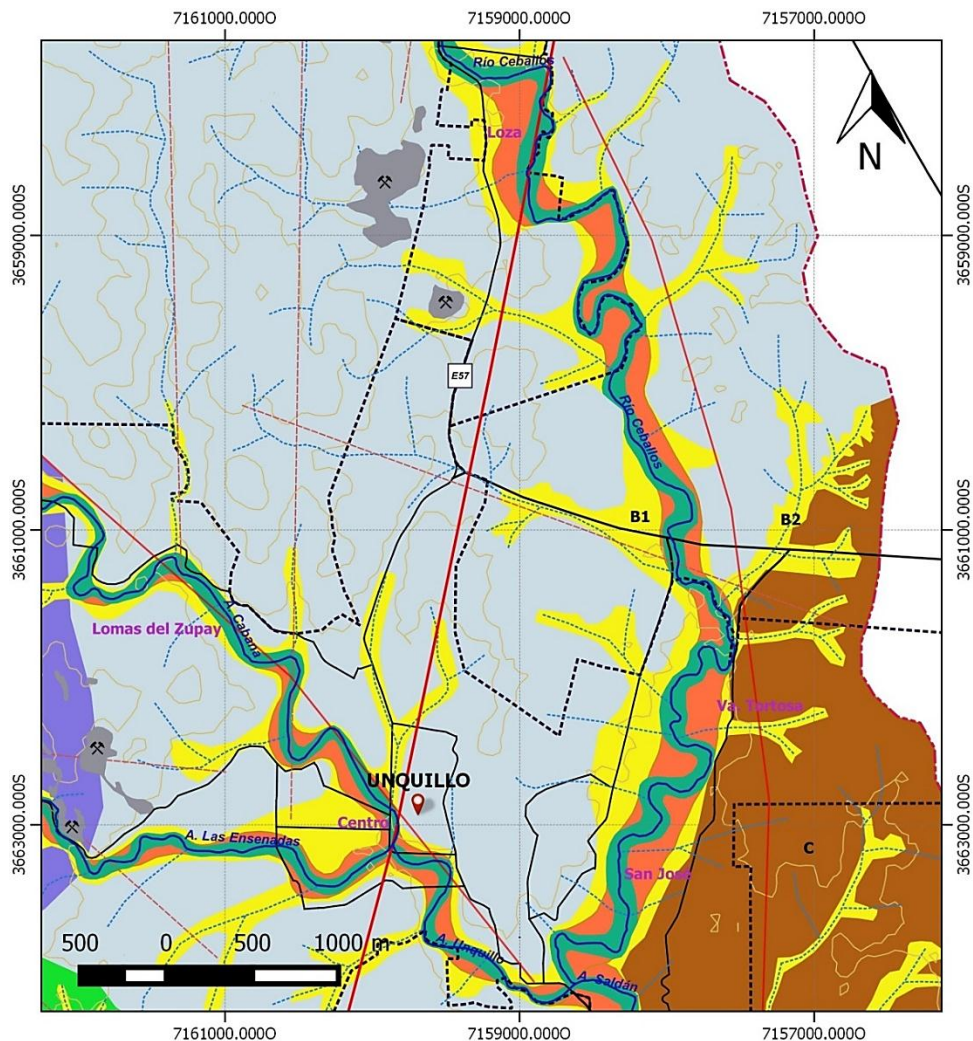


Figura 24. Tramo inferior del río Ceballos en el que se aprecia en tono naranja, el nivel aterrazado superior TS.

En este tramo, si bien el río sigue controlado por el fallamiento regional, la disminución de pendiente le da la posibilidad de divagar dentro de la faja fluvial, y generar un lecho ordinario meandriforme de sinuosidad media, caracterizado por curvas pronunciadas y tramos bastante rectos. Este diseño de escurrimiento es responsable de la ampliación del valle por la acción erosiva lateral.

En general, sobre la parte interna de estas curvas, debido a una pérdida en la velocidad y por lo tanto una menor capacidad y competencia del flujo, predomina la depositación de materiales; mientras que en la parte externa el flujo incrementa su velocidad activando los procesos erosivos moderados a intensos, definiendo márgenes inestables. Un ejemplo de esto se puede observar próximo a la confluencia del río Ceballos con el río Unquillo (Fig. 25), en la cual se produjo el emplazamiento de viviendas sobre ambas márgenes de un meandro. En este caso ambas edificaciones se hallan en clara situación de vulnerabilidad, pero más aún, aquella que se encuentran sobre la margen izquierda afectada por el impacto de las ondas de fuerte poder destructivo.



Figura 25. a) Viviendas ubicadas sobre el margen externo de la curva del río, Unquillo. b) Cauce meandriforme en el que se observa las zonas donde produce erosión y deposición de sedimentos.

A medida que nos desplazamos aguas abajo hacia el SSE de la cuenca (hasta su desembocadura), el curso adquiere una menor pendiente longitudinal en respuesta a las condiciones geomorfológicas de la zona de transición sierra-piedemonte proximal (formas del relieve más suaves y/o aplanadas). Esto genera una mayor acumulación aluvial debido al equilibrio alcanzado entre los procesos de transporte y deposición, permitiendo el desarrollo de una planicie aluvial cada vez más amplia, donde el sistema fluvial evoluciona sobre sus propios depósitos.

Desde su aparición en la localidad de Río Ceballos, el nivel superior de terrazas (TS) no es afectado durante crecidas ordinarias u ordinarias máximas; pero si se ve afectado en forma parcial por desbordes laterales y erosión de márgenes (debido a la naturaleza deleznable de los sedimentos) y, en crecientes repentinas de carácter episódico o extremo. Durante estos eventos, se supera la capacidad de conducción del lecho ordinario, el nivel inferior se inunda completamente y se activa parcialmente el nivel más antiguo (TS), principalmente en los sectores donde se producen los desbordes y predomina el sobrepaso de las ondas de crecida (partes externas de las curvas).

Esto se pudo corroborar más claramente en las localidades de Mendiolaza y Villa Allende, por la extensión que adquieren las terrazas fluviales. Aquí, producto de los desbordes generados por la creciente de Febrero de 2015, el río llegó a ocupar en forma parcial el lecho de inundación episódico (TS); retomando buena parte de su faja fluvial antigua y afectando áreas densamente pobladas (Fig. 26).

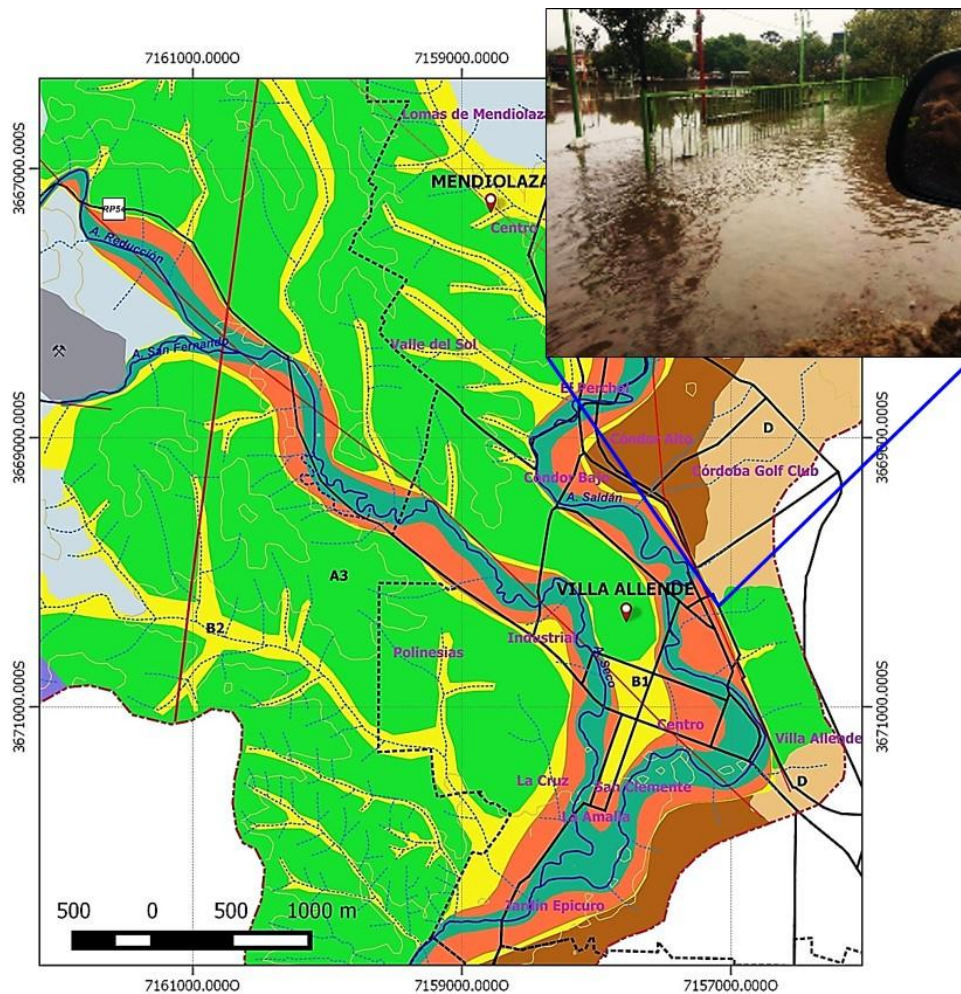


Figura 26. Recorte del mapa Geológico-Geomorfológico donde se destacan los niveles de terrazas superior e inferior, en tonos naranja y verde respectivamente. Arriba derecha; fotografía tomada en Villa Allende en la que se aprecia el nivel superior inundado.

Corte transversal de la faja fluvial con presencia de dos niveles aterrazados:

PERFIL TRANSVERSAL DE LA FAJA FLUVIAL

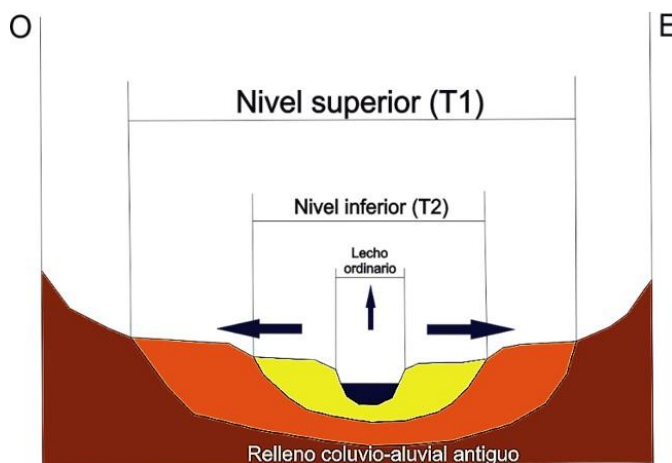


Figura 27. Perfil esquemático de un tramo del ámbito fluvial donde se distinguen dos niveles aterrazados: un nivel superior antiguo (TS) y un nivel inferior reciente (TI). Debido a variaciones en las condiciones geológicas y geomorfológicas en la transición sierra-piedemonte, se desarrolla una planicie aluvial más amplia donde el cauce adopta un diseño meandriforme y re-trabaja sus propios depósitos. Las flechas azules indican que, en este sector, predomina el avance lateral de las ondas de crecida producto de desbordes laterales y erosión de márgenes en materiales friables.

El lecho ordinario del río Ceballos-Saldán, se encuentra definido desde el punto de vista geomorfológico por orillas claras y la presencia de depósitos aluviales de alta energía (bloques rodados, gravas y arenas), en forma de barras centrales o como carga de fondo, y roca de basamento con ausencia de vegetación.



Figura 28. Arriba derecha e izquierda; imágenes del lecho ordinario del río Ceballos. Abajo; lecho ordinario en un tramo del cauce en la localidad de Unquillo.

Por su parte los arroyos tributarios que alimentan al colector principal de la cuenca, como por ejemplo A. Cabana, A. Reducción y A. Seco; presentan características hidrogeomorfológicas similares. Es decir, se componen de dos niveles de terrazados (inferior y superior) que se activan sucesivamente en función del caudal transportado por el cauce, del mismo modo que lo hace el río Ceballos-Saldán. Desde sus inicios, las pendientes acusadas determinan un predominio en los procesos de arrastre. A medida que estos atraviesan el basamento cristalino resistente de la sierra, adoptan un flujo con una elevada capacidad de carga y competencia, rasgos que se ven notoriamente incrementados ante precipitaciones intensas.

El fuerte control que presentan estos cauces por fallamiento y/o fracturación, determina cursos estables sin cambios de flujos por desbordes laterales y erosión de margen restringida, tanto en situación de crecientes ordinarias como extremas. Esta situación tiene lugar hasta que el gradiente de los arroyos se reduce y se van ensanchando paulatinamente desarrollando una faja fluvial con niveles terrazados, que se ven sometidos a procesos de erosión lateral en caso de crecidas.

En el arroyo Los Hornillos por el grado de encajamiento que desarrolla el cauce en todo su recorrido, no se observan tales unidades geomorfológicas.

Cabe mencionar que durante precipitaciones convectivas intensas, estos sistemas fluviales aportan caudales de magnitud a la sub-cuenca del río Ceballos-Saldán, superando la contención ejercida por el embalse La Quebrada en el área norte de la cuenca, como sucedió en el evento registrado el 15 de Febrero del año 2015.

5.3. ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR CRECIENTES REPENTINAS Y SU RELACIÓN CON LAS CONDICIONES GEOMORFOLÓGICAS

En base a las condiciones hidrogeomorfológicas del ámbito fluvial y a los datos históricos aportados por pobladores locales y fuentes de información secundarias, se realizaron cartas temáticas indicativas del grado de amenaza existente dentro del área de estudio; categorizada en alta, media, baja y sin amenaza, tanto a nivel de la cuenca como para cada localidad del corredor de Sierra Chica

En función del nivel de amenaza existente en cada zona, se establecieron recomendaciones de restricciones de uso. Además se identificaron sitios críticos de evacuación prioritaria por la elevada concentración de personas y sitios aptos para el traslado y atención de personas evacuados.

5.3.1. ZONA DE “ALTA AMENAZA”

Sujeta a EVACUACIÓN RÁPIDA ante situaciones de alerta.

Se incluyen los sectores en donde las crecientes repentinas involucran caudales significativos con elevada capacidad de carga y competencia, fuerte poder destructivo de las ondas de crecida y severa erosión de márgenes (Fig. 29 a 36).

Desde el punto de vista hidrogeomorfológico constituye el ámbito con mayor actividad hidrológica de la faja fluvial, se compone por el lecho ordinario y por el nivel inferior de terraza (TI).

Durante crecidas ordinarias normales de recurrencia anual, el lecho ordinario, se activa completamente. Ante el escurrimiento de caudales importantes y superada la capacidad de conducción de esta unidad; se activa el nivel aterrazado inferior (TI).

Este nivel se inunda parcialmente durante crecidas ordinarias máximas; mientras que en crecidas extraordinarias o extremas como la acontecida en el mes de Febrero del pasado año, la activación es total.

En los ejidos urbanos de las localidades analizadas, esta zona se encuentra totalmente urbanizada lo que implica una situación de vulnerabilidad extrema para la población e infraestructura construida.

Debido al grado de amenaza que caracteriza a esta faja en toda su extensión, se recomienda aplicar un protocolo de evacuación rápida ante situación de alerta. Asimismo, se debieran establecer protocolos de actuación particulares, adecuados a cada requerimiento, en instituciones

colectivas que presenten alta concentración de personas ubicadas dentro de esta zona. Para ello, en la cartografía de amenaza por localidad se identificaron **“SITIOS CRÍTICOS A EVACUAR RÁPIDAMENTE”** en donde se identifican Escuelas, Hospitales, Anfiteatros entre otros.

SITIOS CRÍTICOS

LOCALIDAD: RÍO CEBALLOS

- Centro de salud La Quebrada
- Club La Quebrada
- Balneario La Gruta
- Escuela Mariano Moreno
- Anfiteatro Río Ceballos
- Polideportivo de Río Ceballos
- Balneario Municipal
- Hotel San Pedro
- Hostería El Molino

LOCALIDAD: UNQUILLO

- Camping U.E.P.C.
- La Iglesia de Jesucristo de los Santos de los Últimos Días
- Centro de Unquillo (confluencia)
- I.P.E.M N° 78 Juan Bautista Ambrossetti
- Polideportivo de Unquillo

LOCALIDAD: MENDIOLAZA

- Bomberos de Mendiolaza
- Polideportivo Municipal
- I.P.E.M N° 317 San José de Calasanz
- Municipalidad de Mendiolaza
- Colegio Nuestra Sra. De Lourdes
- Centro de Salud Municipal
- Jardín de Infantes
- Centro de Jubilados

LOCALIDAD: VILLA ALLENDE

- Club Quilmes
- Centro de Jubilados
- Anfiteatro de Villa Allende
- Escuela 17 de Agosto
- Bomberos de Villa Allende
- Municipalidad de Villa Allende
- Club Sport
- Instituto Paula Albarracín de Sarmiento
- Camping S.M.A.T.A
- Instituto Bethel
- Escuela Raúl de Llano

LOCALIDAD: SALDÁN

- Club de Abogados de Saldán

Restricciones de uso

En los ejidos urbanos de las localidades analizadas, si bien no se pueden establecer restricciones de uso de suelo que impidan su ocupación ya que esta zona se encuentra totalmente urbanizada, es posible limitar su densificación mediante restricciones normativas.

Asimismo, debiera prohibirse la construcción de instituciones colectivas que impliquen concentración de personas, aumentando la vulnerabilidad por exposición.

En los demás ámbitos de la cuenca que presenten zonificación de amenaza alta, y que aún no se encuentren urbanizados debiera restringirse todo tipo de ocupación permanente futura así como también la instalación de obras de infraestructura en general. En estos sectores, solo debieran ser utilizados como un área de reserva y/o recreación-esparcimiento.

Recomendaciones específicas

- Prohibición en el emplazamiento de áreas de campamentismo.
- Prohibición de planes de forestación con especies de gran porte que obstaculicen el flujo y generen efecto retención y elevación del pelo de agua.
- Evaluar las condiciones de las actuales pasarelas y puentes por su reducida sección de paso del agua, lo que posibilita el efecto de “dique” cuando se producen taponamientos durante las crecientes generando desbordes. Cabe destacar que durante los diferentes eventos de crecidas sucedidos en la Sierra Chica, este aspecto fue determinante en cuanto a la severidad que alcanzaron tales crecientes, la importante carga de materiales, residuos y vegetación arrastrada por los ríos y arroyos, provocó endicamientos y roturas de puentes mal dimensionados . En ambas situaciones, buena parte de las áreas centrales de las localidades se vieron considerablemente afectadas, quedando en algunos casos incomunicados y sin posibilidad de recibir asistencia por parte de los organismos de defensa civil.
- Se deben evitar movimientos de tierras que signifiquen cambios sustanciales en la morfología del nivel de terraza inferior y del curso fluvial, que pudieran acelerar los procesos fluviales generadores de amenazas.
- Evaluar la implementación de medidas estructurales para evitar y/o disminuir la amenaza, en sitios que impliquen procesos de desbordes y erosión de márgenes.



Figura 29. Imágenes de puentes obstruidos y colapsados durante la creciete de Febrero de 2015.

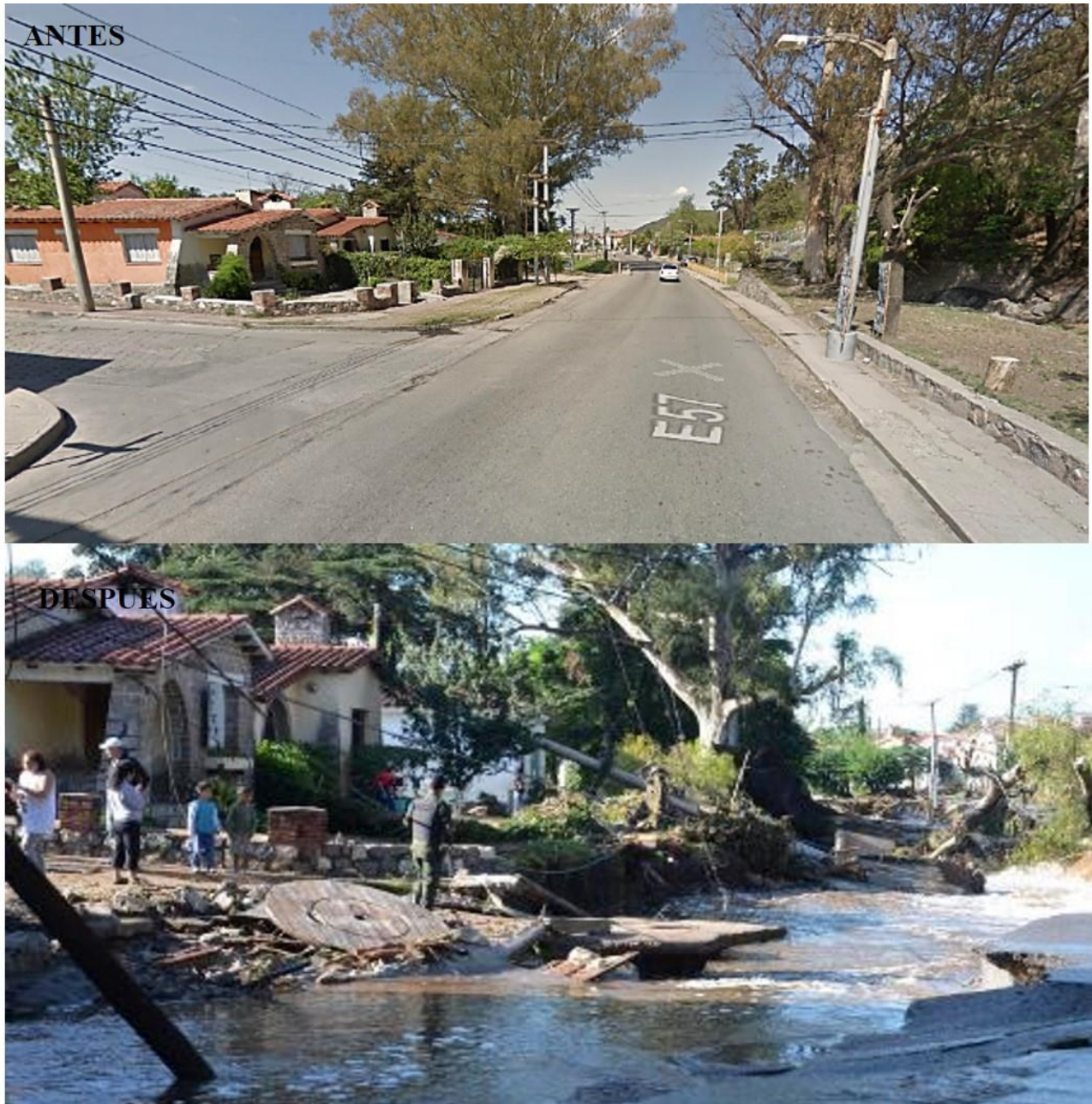


Figura 30. Arriba; imagen Street View, año 2014. Abajo; fotografía correspondiente al día posterior del evento extremo del 15 de Febrero de 2015. Ubicación: Ruta Intermunicipal E57 esq. calle La Rioja; Río Ceballos.



Figura 31. Arriba; imagen Street View, año 2014. Abajo; fotografía tomada sobre puente Eva Perón en Cabana, el 15 de Febrero de 2015. Ubicación: arroyo Cabana, Unquillo.



Figura 32. Arriba; imagen Street View, año 2014. Abajo; fotografía tomada durante el evento extraordinario del 15 de Febrero de 2015. Ubicación: Ruta Intermunicipal E57, a 50 m de rotonda en Mendiolaza.



Figura 33. Arriba; imagen Street View, año 2014. Abajo; fotografía tomada durante el pico máximo de la crecida (15 de Febrero de 2015). Ubicación: Barrio El Perchel, Mendiolaza. Imagen tomada desde puente sobre ruta intermunicipal E-57, en el ingreso a la misma localidad.



Figura 34. Arriba; imagen Street View, año 2014. Abajo; fotografía desde Av. Río de Janeiro (15 de Febrero de 2015). Ubicación: Av. Hipólito Irigoyen esq. Saavedra (Barrio Centro), Villa Allende.



Figura 35. Arriba; imagen Street View, año 2014. Abajo; fotografía tomada durante el pico del evento del 15 de Febrero de 2015. Ubicación: Calle Paraná (Barrio San Clemente), a 200 m aproximadamente de Av. Goycochea; Villa Allende.



Figura 36. Arriba; imagen Street View, año 2013. Abajo; fotografía posterior al pico máximo de la crecida histórica del 15 de Febrero de 2015. Ubicación: intersección de Av. Vélez Sarsfield con Av. Latinoamérica; Saldán. Rótura completa del puente principal.

5.3.2. ZONA DE “**MODERADA AMENAZA**”

Sujeta a EVACUACIÓN PREVENTIVA bajo situación de alerta.

Esta zona se corresponde con el nivel superior de terraza antiguo (TS) que constituye el lecho de inundación episódico en este tramo de la faja fluvial. Ante la ocurrencia de una creciente extrema o histórica se activa parcialmente (Fig. 37 a 39).

Debido a un menor encajamiento y al desarrollo de una planicie aluvial más amplia, la dinámica fluvial se caracteriza por desbordes laterales y procesos de erosión y deposición de materiales, con moderado poder destructivo.

Del mismo modo que para la zona de alta amenaza, se pudo observar vastos sectores urbanos densamente poblados emplazados sobre ella. Esto representa para los mismos una amenaza muy importante al momento de producirse crecientes históricas de carácter severo.

Del mismo modo que para la zona anterior se identificaron “SITIOS CRÍTICOS A EVACUAR RÁPIDAMENTE” debido a la alta concentración de personas, para los cuales se deberían aplicar protocolos de evacuación específicos.

SITIOS CRÍTICOS

LOCALIDAD: UNQUILLO

- Hospital Provincial José María Urrutia

LOCALIDAD: MENDIOLAZA

- Escuelas Pías de Mendiolaza

LOCALIDAD: VILLA ALLENDE

- Polideportivo de Villa Allende
- Escuela Juana Manso
- Instituto Nuestra Señora de Luján
- Camping S.E.P

LOCALIDAD: SALDÁN

- Municipalidad de Saldán

Restricciones de uso

Las restricciones aunque menos severas, deben ajustarse a las condiciones locales regidas por las particularidades geomorfológicas:

Evitar el emplazamiento de infraestructura urbana de alta densidad, siendo conveniente el loteo según parcelas de mayor tamaño y la construcción de viviendas en las zonas menos comprometidas, dentro de ellas (posición topográfica y geomorfológica adecuada).

Evitar la implantación de centros estratégicos (policía, bomberos, centros de salud, escuelas; etc.).

Recomendaciones específicas

Evaluar la implementación de medidas estructurales para evitar y/o disminuir la amenaza, en sitios afectados por desbordes.



Figura 37. Desborde del Arroyo Saldán. Nivel de agua en intersección de calles Tablada y Rivadavia durante el pico máximo de la crecida de Febrero del 2015. Villa Allende.



Figura 38. Imagen tomada sobre Av. Goycochea en Villa Allende, a 200 m aproximadamente del puente Maluf.



Figura 39. Imagen tomada en intersección de Av. Goycochea y Padre Mariani. Villa Allende.

5.3.3. ZONA DE “**BAJA AMENAZA**”

Inundable en forma parcial por escurrimientos locales

Comprende los valles secundarios coluvio-aluviales y el plano aluvial antiguo del valle principal. Los mismos se inundan parcialmente por acción de escurrimientos locales temporales de carácter concentrado o pseudoconcentrado (Fig. 40).

Ante la ocurrencia de precipitaciones intensas, pueden aportar descargas significativas al sistema fluvial principal e incrementar los procesos erosivos.

En ocasiones, la morfología que poseen estos valles secundarios, sumado a las pendientes propias de esta área, determinan el incremento del caudal y la velocidad de flujo. Un ejemplo de ello lo constituye el sector correspondiente a las depresiones formadas sobre sedimentitas conglomerádicas (sur de la cuenca) cuyo material de relleno indica una modera competencia y capacidad de carga.

Cabe mencionar que este sector se activa también ante lluvias de carácter local.

Restricciones de uso

Si bien no existen restricciones severas, es importante considerar obras de desagüe adecuadas en el caso de interfluvios y poner especial atención en la definición de los ejes de avenamiento de los valles secundarios, mediante estudios de mayor detalle. En lluvias intensas debido al fuerte deterioro que ha sufrido la vegetación natural, se generan caudales importantes y aceleración de los procesos erosivos.

Sobre esta unidad, se emplazan diferentes establecimientos que podrían cumplir un rol importante como centros de evacuación, durante eventos de crecientes repentinas.



Figura 40. Anegamientos en calles de Mendiolaza, por concentración de escurrimientos.

5.3.4. ZONA “SIN AMENAZA”

Áreas seguras

Se conforma por aquellos terrenos que no están afectados por la acción fluvial y solo lo están por escorrentías elementales de carácter temporal mantiforme o difusa.

En esta categoría se incluye los cerros y colinas de basamento cristalino, y las lomas de piedemonte conformadas por rocas sedimentarias clásticas, paisajes circundantes al ámbito fluvial.

Estas áreas son afectadas por escorrentía mantiforme o difusa de carácter temporal en los interfluvios. Pueden considerarse como zonas seguras para el traslado de las personas evacuadas ante crecientes repentinas.

Restricciones de uso:

Es importante preservar las condiciones naturales evitando el avance del proceso de urbanización conservando la vegetación nativa, lo cual otorga una mayor capacidad de protección y retención ante lluvias intensas y una disminución de los procesos de escorrentía y erosión.

SITIOS ÓPTIMOS PARA EL TRASLADO Y/O ATENCIÓN DE PERSONAS EN SITUACIÓN DE AMENAZA

Dada las condiciones de seguridad existentes en las zonas de BAJA AMENAZA Y SIN AMENAZA, se recomienda que allí se establezcan los centros de atención a evacuados. Para ello se identificaron los establecimientos, que por su ubicación podrán ser tenidos en cuenta al momento de requerir sitios de asistencia y contención temporaria de personas, situados fuera del ámbito fluvial, en áreas de reducida o nula vulnerabilidad.

Esta información sirve de insumo a los organismos encargados de la defensa civil de las localidades, para que establezcan planes de evacuación, seleccionando las vías de escape más propicias (calles y avenidas poco o no afectadas) para acceder a estas locaciones.

LOCALIDAD: RÍO CEBALLOS

- Escuela Espíritu Santo
- Centro de Salud Municipal
- Convento de las Hermanas Franciscanas
- Hogar de Recup. Hospital de Niños de Córdoba
- Bomberos de Río Ceballos
- Parroquia Nuestra Señora de los Dolores
- Escuela Mariano Fragueiro
- Municipalidad de Río Ceballos
- Escuela Prim. Bartolomé Mitre

LOCALIDAD: UNQUILLO

- Municipalidad de Unquillo
- Hospital Provincial José Miguel Urrutia
- Instituto Nuevo Milenio
- I.P.E.M. No.23 Lino Enea Spilimbergo
- Escuela de Monjas
- Instituto Lourdes
- Parroquia Nuestra Señora de Lourdes
- Club Unión

LOCALIDAD: MENDIOLAZA

No se encontraron instituciones colectivas óptimas para el traslado de personas dentro de los límites de la cuenca. Se recomienda la derivación hacia el este (barrio El Talar).

LOCALIDAD: VILLA ALLENDE

- Iglesia Nuestra Señora del Carmen
- Escuela Prim. San Martín
- Hospital Municipal Josefina Prieur
- Instituto Nuevo Milenio
- Escuela San José
- Policía de Villa Allende
- Convento San Alfonso

LOCALIDAD: SALDÁN

- Bomberos
- Escuela Nogal Histórico
- Parroquia Santísima Trinidad y Nuestra Sra. de Fátima

6. CONCLUSIONES

- La cuenca de recepción del río Ceballos-Saldán, presenta por condicionamiento natural una alta tendencia a la generación de crecientes repentinas, hecho que se corrobora plenamente con los datos históricos recabados.
- Los factores condicionantes y desencadenantes del proceso (geología, geomorfología, vegetación y clima), determinan un escurrimiento excesivo y rápido ante la ocurrencia de lluvias intensas.
- La geología de la cuenca alta se compone de rocas cristalinas poco permeables, relieves caracterizados por fuertes pendientes, suelos someros, pedregosos y discontinuos de rápida saturación, que en conjunto determinan un escurrimiento excesivo y acelerado ante precipitaciones intensas.
- La vegetación natural de la cuenca alta, constituida por pastizales, presenta un bajo grado de protección hidrológica, a lo que se le suma en la cuenca baja, la alteración por el efecto antrópico, lo que significa disminución en la infiltración y aumento en la escorrentía, que trae aparejado un incremento de caudales y procesos de erosión acelerada.
- El factor desencadenante está dado por el tipo de precipitaciones, las cuales por efecto orográfico, son localizadas, intensas y concentradas en periodo estival.
- A partir del análisis de los parámetros morfométricos para cada sub-cuenca, se determinó que el sistema en general presenta una forma elipsoidal con marcada verticalidad en función de las pendientes, dando como resultado un tiempo de respuesta medio a alto, y un rápido desagüe desde sus cabeceras. Esto incrementa la tendencia a generar crecidas importantes.
- El nivel inferior de terraza de más reciente formación, es INUNDABLE EN FORMA PARCIAL, ante la ocurrencia de crecidas ordinarias máximas, y en FORMA TOTAL, en crecidas extremas o episódicas de mayor recurrencia. Este nivel es afectado por intensa erosión de márgenes en sectores puntuales, y ondas de crecida de fuerte poder destructivo. Por su parte, el nivel superior más antiguo es inundable en FORMA PARCIAL ante la ocurrencia de eventos extremos o históricos.
- Algunos sectores urbanos de las localidades ocupan el nivel inferior y superior de terrazas. La dinámica y alcance de las crecientes repentinas se relaciona con las unidades hidrogeomorfológicas reconocidas.
- Tanto en los tributarios como en el curso principal el grado de encajamiento y el tipo de diseño controlan los procesos de erosión de márgenes y desbordes.

- Las confluencias de los ríos en la zona urbana, condicionan una HIDRODINÁMICA dependiente del orden de llegada de las ondas de crecida por el efecto de retención temporal que ejercen.
- Por todo lo expuesto queda demostrado que en la cuenca las crecientes repentinas, tanto máximas como severas, han ocurrido en el pasado, ocurren en el presente y ocurrirán en el futuro. Esto es manifiesto en las condiciones hidrogeomorfológicas del valle fluvial (de clara apreciación en imágenes actuales y antecedentes) y se corrobora plenamente con información histórica.
- La información obtenida mediante la ejecución del presente estudio, cubre plenamente la etapa de EVALUACION DE LA AMENAZA y brinda información de base para las acciones de ALERTA Y PREVENCIÓN.

7. RECOMENDACIONES GENERALES

A partir de la información geológica, geomorfológica, hidrodinámica y demás aspectos característicos del área analizada, se exponen a continuación una serie de recomendaciones de índole general, que pretenden aportar ideas para la resolución de problemas en situaciones críticas, y proponer medidas para prevenir y mitigar la peligrosidad producto de crecientes repentinas severas:

- Para disminuir el riesgo y garantizar la seguridad de las personas, será imprescindible idear planes de evacuación para cada municipio, donde se contemplen las vías de salida más óptimas y cercanas que conduzcan hacia los sectores de seguridad indicados en la cartografía confeccionada. Para ello es necesario realizar campañas de educación y concientización en las poblaciones afectadas que posibiliten la auto-evacuación ante la ocurrencia de crecidas de magnitud.
- Adecuación de puentes y vados a los caudales de aporte. La construcción de vados-puentes es una alternativa válida, evitando endicamientos y desbordes asociados.
- La implementación a corto plazo de obras de defensa pertinentes y un sistema de alerta temprana adquieren un carácter primordial. La importancia turística de la población y la coincidencia del período de crecidas con la máxima concurrencia de personas en la época estival, lo justifican plenamente.
- Sería conveniente confeccionar una planificación territorial que considere las amenazas identificadas. Para ello es necesario complementar el estudio geomorfológico realizado con información hidrológica que permita establecer los caudales de activación de los distintos niveles de amenaza y definir las restricciones de uso finales del territorio.

- Se debiera impedir nuevas construcciones de cualquier tipo que invadan el ámbito fluvial y que se emplacen en sitios de alta amenaza.
- En lo que respecta al embalse, éste debiera mantenerse regularmente en su cota media de capacidad, de manera que le permita receptor el mayor volumen de flujo posible para evitar el sobrepaso del vertedero durante crecidas severas

8. BIBLIOGRAFÍA

(Baldo, Casquet, & y Galindo, 1995) **“El metamorfismo de la Sierra Chica de Córdoba (Sierras Pampeanas)”**. Argentina. Geogaceta, 19:51-54.

Barbeito, O.; Ambrosino, S.; Zamanillo, E.; López, F. (1992) **“Aspectos geológicos, geomorfológicos e hidrológicos, en la catástrofe de San Carlos Minas. Pcia. de Córdoba. Argentina”**. Revista de Fotointerpretación. Año 0, Nº 1, Vol.1. (Pág. 92-116).

Barbeito, O.; Beltramone, C.; Ambrosino, S. (2000) **“La Geomorfología en la predicción de inundaciones extremas frente al cambio climático global”**. Actas de XVIII. Congreso Nacional del Agua. Termas de Río Hondo. Santiago del Estero. Pág. 353.

Barbeito, O.; Ambrosino, S. (2004) **“Inundaciones Repentinas en las Sierras de Córdoba”**. Cap. VIII. Inundaciones en Argentina. World Meteorological Organization. Global Water Partnership. Programa asociado de gestión de crecidas América del Sur. (Pág. 205-215).

Barbeito, O.; Caamaño Nelli, G.; Colladon, L.; Felici, G. (2009) **“Complementación de procedimientos geomorfológicos e hidrológicos para determinar umbrales de inundación”**. INA – CIRSA. 14 pág.

Barbeito, O.; Ambrosino, S.; Contreras, P. (2010) **“Evaluación Hidrogeomorfológica de la amenaza por crecientes repentinas en la Ciudad de Unquillo”**. I.N.A.-C.I.R.S.A. 41 pág.

Blarasin, M.; Cabrera, A.; Matteoda, E. (2014) **“Aguas subterráneas de la Provincia de Córdoba”**. UniRío. Universidad Nacional de Río Cuarto. 147 pág.

Brea, J.; Balocchi, F. (2010) **“Procesos de erosión-sedimentación en cauces y cuencas”**. Vol. I. Documento Técnico Nº22. Programa Hidrológico Internacional. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, Ciencia y Cultura. INA.

Capitanelli, R. (1979), En Vázquez, Miatelo, Roque (Eds) **“Geografía física de Córdoba”** Cap.:III. Clima y Cap.:V. Geomorfología.

Carignano, C.; Krohling, D.; Degiovanni, S.; Cioccale, M. (2014) **“Geomorfología”**. Geología de Superficie. Relatorio del XIX Congreso Geológico Argentino. Asociación Geológica Argentina.

- Cioccale, M. (1999) ***“Investigación Geomorfológica de Cuencas Serranas, Estudio Geomorfológico Integral: Morfodinámica, Morfometría y Morfogénesis del Flanco Oriental de la Sierra Chica de Córdoba”***. Tesis Doctoral (Ined). Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales- U.N.C.
- Donaire, J.; González, M.; Navarro, A.; Rodríguez, M. (2011) ***“Guía Práctica de Teledetección y Fotointerpretación”***. Dpto. Análisis Geográfico Regional y Geografía Física. Universidad Complutense de Madrid. 147 pág.
- Elorza, M. (2008) ***“Geomorfología”***. Pearson y Prentice Hall. 898 pág.
- Fattorelli, S.; Fernández, P. (2011) ***“Diseño Hidrológico”***. Segunda Edición. Biblioteca Virtual de la WASA-GN (Water Assessment & Advisory Global Network). INA – CIRSA.
- González, S.; Barbeito, O.; Contreras, P.; Ambrosino, S. (2010) ***“Geomorfología y alerta temprana en la prevención de crecientes repentinas. Comunas del río Anizacate. Córdoba”***. INA – CIRSA. 12 pág.
- Gordillo, C.; Lencinas, A. (1979) ***“Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis”*** Segundo Simposio de Geología de la República Argentina. Vol. I Academia Nacional de Ciencias de Córdoba.
- Gorgas y Tassile (Eds). Jarsun, B.; Gorgas, J.; Zamora, E.; Bosnero, E.; Lovera, E.; Ravallo, A.; Tassile, J. (2003) ***“LOS SUELOS, recursos naturales de la Provincia de Córdoba”***. Agencia Córdoba D.A.C. y T.S.E.M., INTA – Manfredi.
- López Vergara, M. (1979) ***“Manual de Fotogeología”***. Primera Edición. Publicaciones Científicas de la Junta de Energía Nuclear. Madrid. 286 pág.
- Luti, R. Bertrán de Solís, M.; Galera, F. (1979) En Vázquez, Miatelo, Roque (Eds) ***“Geografía Física de Córdoba”***. Cap.: Vegetación.
- Martino, R.; Guerreschi, A.; Carignano, C. (2012) ***“Influencia de la tectónica preandina sobre la tectónica andina: el caso de la falla de Sierra Chica, Sierras Pampeanas de Córdoba”***. Revista de la Asociación Geológica Argentina. Vol. 69. Buenos Aires.
- Montserrat, J. (1985) ***“Forma de una cuenca de drenaje. Análisis de las variables morfométricas que nos la definen”***. Revista de Geografía. Vol. XIX. Barcelona. (pág. 41-68).
- O.E.A/ D.D.R.M.A. (Organización de Estados Americanos/ Departamento de Desarrollo

Regional y Medio Ambiente). **“Manual sobre el manejo de Peligros Naturales en la Planificación para el Desarrollo Regional Integrado”**. 409 pág.

Pujol, A.; Menéndez, A. (1987) **“Análisis Unidimensional de Escurrimiento en Canales”**. EUDEBA (Editorial Universitaria de Buenos Aires).

Quintana Salvat, F.; Barbeito, O.; Sanchez, M. (1994) **“Estudio geomorfológico e hidrodinámico para la prevención de inundaciones en la ciudad de Córdoba”**. Tercer Simposio Argentino de Teledetección, Junio 1994. F.C.E.F y N.-U.N.C. Córdoba, Argentina (Pág. 60-73).

Rapela, C.; Casquet, C.; Baldo, E.; Dahlquist, J.; Pankhurst, R.; Galindo, C.; Saavedra, J. (2001) **“Las Orogénesis del Paleozoico inferior en el margen proto-andino de América del Sur, Sierras Pampeanas, Argentina”**. Journal of Geology, 2001. (pág. 23 – 41).

Tarbuck, E.; Lutgens, F. (2005) **“Ciencias de la Tierra. Una introducción a la Geología Física”**. Octava Edición. Pearson y Prentice Hall.

Vázquez, J.; López Robles, A.; Sosa, D.; Sáez, M. (1979) En Vázquez, Miatelo, Roque (Eds) **“Geografía física de Córdoba”** Cap.: IV. Aguas.

PÁGINAS WEB

<http://www.mineria.gob.ar/estudios/irn/cordoba/ind-geoln.asp>

<http://www.mineria.gob.ar/estudios/irn/cordoba/ind-geom.asp>

<http://www.mineria.gob.ar/estudios/irn/cordoba/x-4.asp#1>

9. ANEXOS

9.1. ANEXO 1: IMÁGENES COMPLEMENTARIAS



Arriba; imagen del año 2014. Intersección de Av. San Martín y calle Falucho; en Río Ceballos. Abajo; fotografía tomada durante el evento de Febrero de 2015.



Arriba; imagen del año 2014 cerca de la Hostería El Molino, sobre ruta E-57. Medio; fotografía del 15 de Febrero de 2015. Abajo; imagen posterior al evento extremo.



Arriba; imagen del año 2013. Intersección del arroyo Mal Paso con la Av. San Martín en Rio Ceballos. Abajo; fotografía posterior al evento extremo de Febrero de 2015.



Arriba; imagen correspondiente al año 2013. Intersección de Av. San Martín y calle Sgo. Cabral en Unquillo. Abajo; fotografía tomada durante la inundación del día 15 de Febrero del 2013.



Arriba; imagen correspondiente al año 2013 sobre la confluencia de los arroyos La Ensenada y Cabana. Medio; fotografía tomada durante el 15 de febrero de 2015. Abajo; fotografía durante el evento histórico.



Arriba; imagen correspondiente al año 2014 sobre la confluencia de los Ríos Unquillo y Ceballos. Medio; fotografía tomada durante el 15 de febrero de 2015. Abajo izq.; fotografía posterior al evento histórico. Abajo der.; fotografía posterior a la creciete de Enero de 2016.



Arriba; imagen correspondiente al año 2014 sobre ruta intermunicipal E-57. Medio; fotografía tomada posterior al 15 de febrero de 2015. Abajo; vivienda afectada por la creciente.



Imagen aérea de fondo: tramo de ruta intermunicipal colapsado por erosión acelerada de margen, entre las localidades de Mendiolaza y Unquillo. El cauce buscó retomar un antiguo brazo (ver carta geomorfológica) de escurrimiento (flechas rojas). Imagen arriba: rotura y colapso casi total de vivienda. Imagen abajo: fotografía tomada sobre ruta E-57 donde se observa el ensanchamiento producido.



Arriba; imagen correspondiente al año 2014 sobre ruta intermunicipal E-57 próximo al polideportivo de Mendiolaza. Fotografía tomada durante la creciete del 15 de febrero de 2015. Abajo izq.; carga de fondo del cauce sobre explanada del polideportivo. Abajo der.; referencia del nivel de la creciete.



Arriba; imagen correspondiente al año 2014 sobre Av. Goycochea, Villa Allende. Medio y abajo; fotografía tomada durante la creciente del 15 de febrero de 2015.



Arriba; imagen correspondiente al año 2014 sobre Av. Hipólito Irigoyen, Villa Allende. Abajo; fotografía tomada el día posterior a la crecida del 15 de febrero de 2015.



Arriba; imagen correspondiente al año 2014 sobre Av. Del Carmen, Villa Allende. Abajo izq. y der.; fotografías tomadas durante la crecida de Febrero de 2015.



Arriba; imagen correspondiente al año 2014. Intersección de Av. Goycochea y calle Sgto. Cabral, Villa Allende. Abajo; fotografías tomadas durante la crecida de Febrero de 2015.

9.2. ANEXO 2: CARTAS