

## **ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO DE LA AMENAZA POR CRECIENTES REPENTINAS EN LA CUENCA DEL RÍO SALDÁN, PROVINCIA DE CÓRDOBA**

**Oswaldo Barbeito<sup>1,2</sup>, Silvio Ambrosino<sup>1,2</sup>, Mauro Lanfranco<sup>2</sup>, David Moya<sup>2</sup> y Ana Rydzewski<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Conicet, <sup>2</sup>INA-CIRSA

Ambrosio Olmos 1142, Córdoba. Tel: 03514682781

[maurolanfranco14@gmail.com](mailto:maurolanfranco14@gmail.com), [coyabarbeito@gmail.com](mailto:coyabarbeito@gmail.com) - Web: <http://www.ina.gov.ar/cirsa/>

### **RESUMEN**

La cuenca del río Saldán tiene desarrollo en la vertiente oriental tendida de la Sierra Chica y presenta por condiciones naturales (geología, geomorfología, vegetación y clima), una alta tendencia a generar crecientes repentinas.

El 15 de febrero de 2015 una crecida de gran magnitud afectó a las localidades de Río Ceballos, Unquillo, Mendiolaza, Villa Allende y Saldán, ocasionando severas pérdidas económicas y de vidas humanas.

La magnitud y dinámica que alcanzó este evento tomó desprevenidos a los organismos gubernamentales y a pobladores en general. No obstante las particularidades geomorfológicas de los valles fluviales, evidentes en imágenes satelitales y fotografías aéreas, en todos los casos indicaban con claridad el alcance y dinámica de las inundaciones y procesos fluviales asociados, hecho a la vez corroborado con datos históricos.

Mediante el empleo del criterio geomorfológico y el uso de técnicas de teledetección, el presente trabajo aborda la evaluación de la amenaza por crecidas repentinas, considerando la dinámica y alcance de inundaciones ordinarias y extremas y procesos fluviales asociados.

La información lograda plasmada en cartografía temática, constituye el punto de partida primordial para el establecimiento de las acciones de control, prevención y planificación.

**Palabras Clave: Geomorfología, Crecientes Repentinas, Amenaza, Mitigación.**

## **INTRODUCCIÓN**

La cuenca del río Saldan está conformada por los ríos Ceballos y Unquillo, cuya área de recepción se desarrolla en la Vertiente Oriental Tendida de las Sierra Chica, Provincia de Córdoba, Argentina.

Dentro del área de influencia de la cuenca, se emplazan las localidades de; Río Ceballos, Unquillo, Mendiolaza, Villa Allende, y Saldán, las cuales a partir de la década de los noventa, han experimentado un proceso de crecimiento urbano que se ha desarrollado parcialmente dentro del ámbito fluvial, exponiendo a la población y su entorno de vida a riesgo de inundación.

El 15 de febrero de 2015, llovieron 240 mm aproximadamente en la cuenca alta, lo que provocó una creciente repentina de gran magnitud que afectó severamente a las localidades mencionadas y dejó como saldo víctimas fatales, pérdidas de viviendas, infraestructura, puentes, vados, caminos, interrupción en el suministro de servicio de agua potable, electricidad, entre otros daños materiales.

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.

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.

El presente estudio de base geológica y geomorfológica evalúa la amenaza y se encuadra dentro de las estrategias de mitigación previas a la ocurrencia de eventos de estas características.

## **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 extremas, que permitan establecer las bases para la implementación de las acciones de prevención, mitigación y planificación.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

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, 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.).

Junto a las tareas de gabinete se realizó 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.

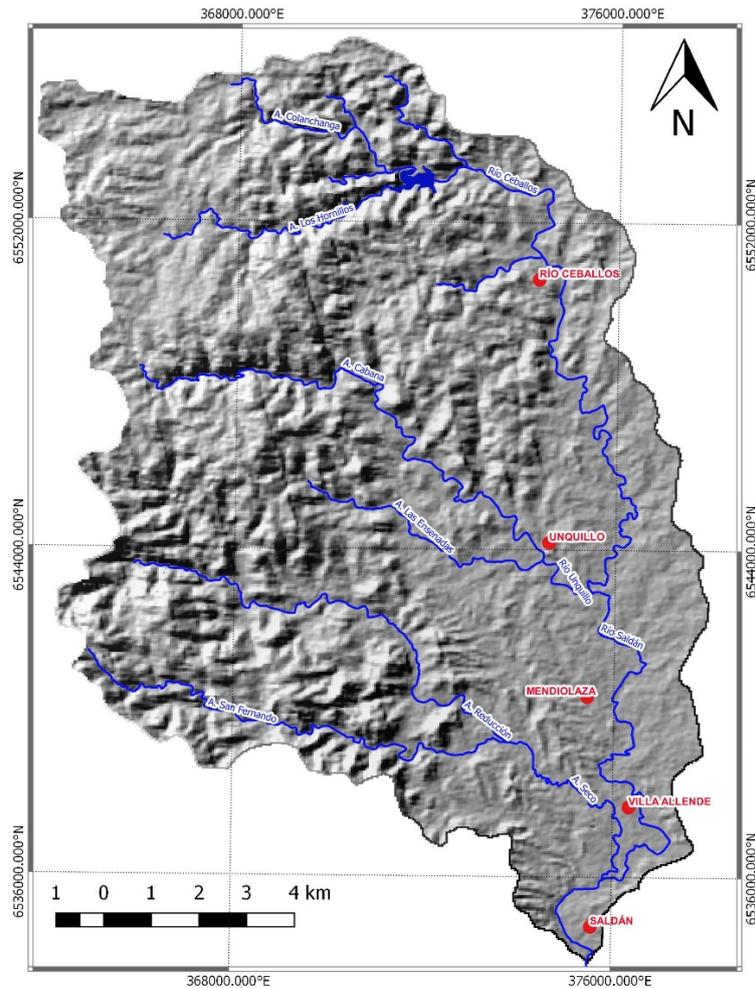
### **SISTEMA HIDROGRÁFICO**

La cuenca del río Saldán se forma por la confluencia de los ríos Ceballos y Unquillo y abarca una superficie total de 228,48km<sup>2</sup> 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.

El río Ceballos a su vez se forma por la unión de los arroyos Colanchanga y Los Hornillos, ambos con sentido de escurrimiento oeste-este y desagüe independiente en el embalse La Quebrada. A la salida de la presa, 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 colector principal del sistema.

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

El río 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.



**Figura 1.-** Cuenca del Río Saldán y localidades comprendidas dentro de la unidad hidrográfica. Mapa de sombras elaborado en Quantum Gis (vs.1.14).

## CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA Y TENDENCIA 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) (Barbeito et al, 2004).

*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.

*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. 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 (Luti, R. 1979).

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.

*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 (Gordillo y Lencinas, 1979).

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 de texturas medias a gruesas muy superficiales (< 60 cm) que alternan con roca desnuda (Gorgas et al, 2003).

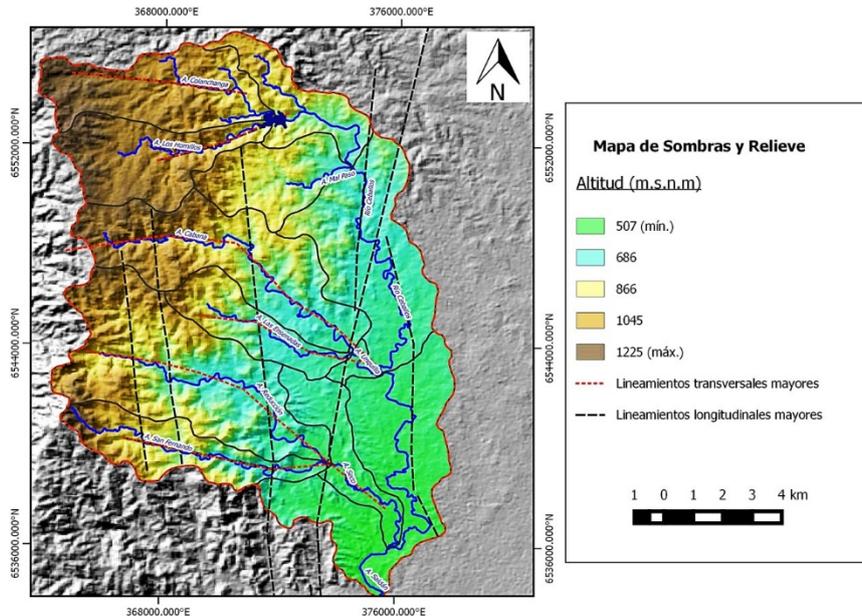
Completan el marco geológico rocas sedimentarias clásticas (conglomerados de la Fm. Saldán y Fm. Estancia Belgrano), y depósitos coluvio-aluviales y aluviales como relleno de valles.

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 (Barbeito et al, 1992).

En cuanto a las condiciones geoestructurales, 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.

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 Saldán.

Estos lineamientos ejercen un importante control sobre el sistema hidrográfico del río 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 (Barbeito y Ambrosino, 2010).



**Figura 2.-** Mapa de Relieve elaborado en Quantum Gis (vs 1.14) donde se muestran las variaciones altitudinales y los principales foto-lineamientos.

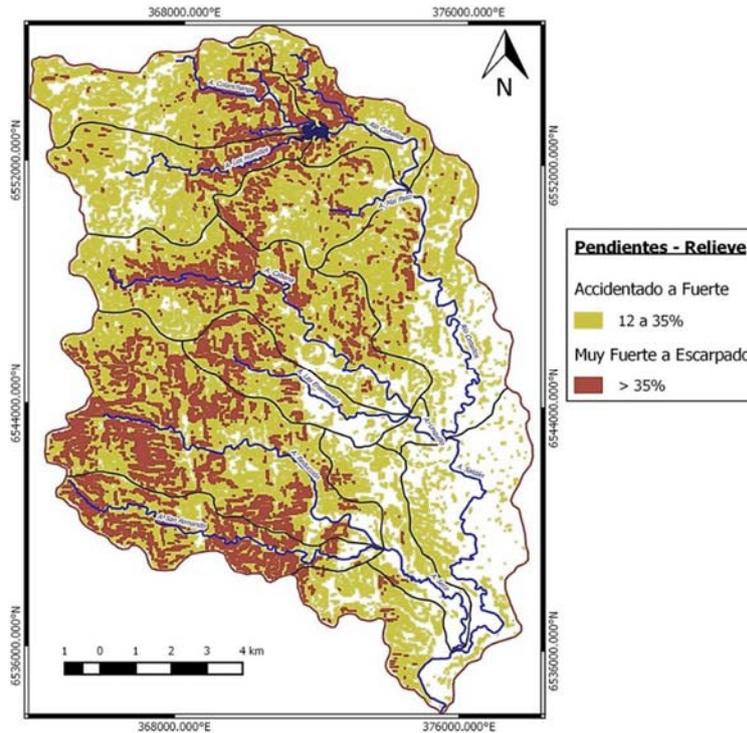
*Geomorfología:* La cuenca del río Saldán se desarrolla en los dominios geomorfológicos de la vertiente oriental tendida y piedemonte oriental de la Sierra Chica, bajo tres tipos de relieves elementales: relieve de montaña, de piedemonte y valles de carácter estructural.

El relieve de Montaña en respuesta a la tectónica, se presenta accidentado en los interfluvios sobre las superficies de denudación ligadas a las pendientes basculadas de los bloques menores de basamento cristalino y fuerte, en los abruptos de los mismos y en quebradas producto de la disección fluvial favorecida por la debilidad del sustrato rocoso por efecto del fallamiento y/o fracturación.

El alzamiento diferencial y basculamiento de bloques ha dado lugar a valles estructurales asimétricos secundarios y principales, de fondo plano-cóncavo por el relleno aluvial ligado al aporte longitudinal histórico de los principales cursos fluviales, en los que por procesos de neotectónica y/o cambios climáticos, se han generado niveles aterrazados (Barbeito y Ambrosino, 2010).

El relieve de piedemonte se manifiesta en lomas aisladas o masivas en una reducida extensión de la cuenca, ocupando una posición sobre-elevada por efectos de neotectónica.

Para categorizar la energía del relieve se realizó un mapa de pendientes reclasificado de la cuenca. Los resultados obtenidos indican un predominio de relieves de media a 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 el 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



**Figura 3.-** Mapa de pendientes reclasificado elaborado en Quantum Gis (vs.1.14) donde se destacan los relieves accidentados a fuertes, dominantes en la cuenca.

El sistema hidrográfico se desarrolla mayormente sobre un relieve de montaña accidentado con pendientes que fluctúan entre el 12 y 35 %, cambiando aguas abajo a un ambiente de transición. El colector principal del sistema es controlado en gran parte tanto por dislocaciones regionales 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.

Las cuencas tributarias principales (Colanchanga, Los Hornillos, Cabana, Las Ensenadas y Reducción) evolucionan en un relieve de montaña accidentado a muy fuerte (alta energía). Los cauces corren fuertemente encajados por valles transversales 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 los cursos denotan un trazo aproximadamente rectilíneo con presencia de curvas estrechas y cerradas (Barbeito y Ambrosino, 2010).

El diseño de avenamiento en general adopta un patrón mixto, de tipo dendrítico-angular a sub-angular con una densidad de drenaje media a alta por la menor dureza y resistencia de la roca

cristalina.

*Parámetros Morfométricos:* Para cada una de las subcuencas integrantes del sistema, se calcularon una serie de parámetros para determinar la tendencia del sistema a la generación de crecientes repentinas, entre ellos se destacan el área de la cuenca, el factor forma (Índice de Gravelius), la densidad de drenaje y la pendiente longitudinal.

El área de la cuenca tiene directa relación con los caudales de escurrimiento, a la vez el aumento de su extensión actúa como factor de compensación, por lo que es de esperar en cuencas menores una generación instantánea y de respuesta inmediata, frente la ocurrencia de lluvias intensas.

El factor forma expresa la relación del perímetro de la cuenca con el de un círculo de la misma superficie, dando valores mayores o cercanos a la unidad. Cuando más se aproxima a la unidad la cuenca tiene mayor tendencia a la generación de crecientes repentinas de picos u ondas de crecida de magnitud, dado que el conjunto de colectores de la red de drenaje, emplean más o menos el mismo tiempo de llegada al colector principal.

La densidad de drenaje cuantifica el grado de desarrollo de la red hidrográfica y está en relación directa a la naturaleza geológica, la permeabilidad y con los caudales de aporte. 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.

La pendiente longitudinal tiene relación con la capacidad de carga sedimentaria (cantidad), competencia (tamaño) del flujo y tiempo de respuesta.

CÁLCULO DE PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS PARA LA CUENCA DEL RÍO CEBALLOS-SALDÁN											
Sub-cuencas de aporte	Colanohanga	Los Hornillos	Mal Paso	Cabana	La Ensenada	Reduolón	San Fernando	Unquillo	Seo	Ceballos	Saldán
Área (km <sup>2</sup> )	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	14,06	15,7
Densidad de drenaje (km/km <sup>2</sup> )	2,9	2,9	3	2,7	2,6	3,4	3,4	3	3,4	3,1	3,5

**Tabla 1.-** Parámetros morfométricos analizados para cada subcuenca integrante del sistema.

En base a los valores obtenidos, se comprueba que las subcuencas 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 Kc 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.

#### **UNIDADES HIDROGEOMORFOLÓGICAS CONDICIONANTES DE LA DINÁMICA Y ALCANCE DE CRECIENTES 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, representa la unidad de mayor actividad hídrica del ambiente fluvial, 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 (Barbeito et al., 2004).

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. Actúa como tal el nivel de terraza más bajo y reciente (nivel inferior), que incluye en ocasiones un subnivel en formación.

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 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).

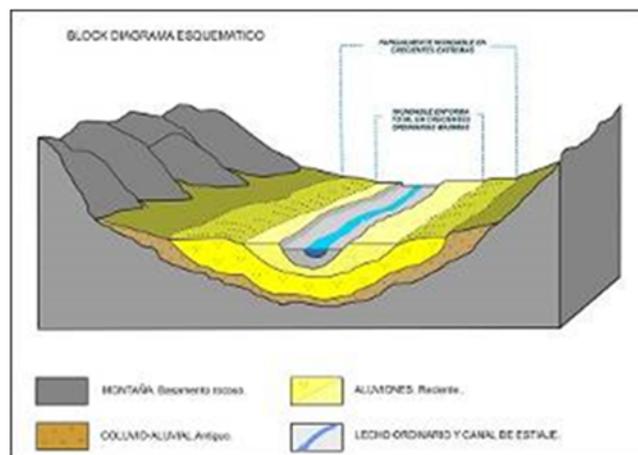
En la cuenca bajo estudio, el colector principal presenta un desarrollo diferencial de las unidades a lo largo de su recorrido.

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. Aguas abajo se produce una ampliación de este nivel, en respuesta a variaciones geológicas y geomorfológicas (litología y pendientes). En cercanías a la localidad de Unquillo, el sistema

presenta un nivel aterrazado superior más amplio (TS), generado por la acumulación de una importante proporción de materiales más finos (arenas y limos de inundación) ocupando una posición topográfica más elevada respecto al nivel inferior. A diferencia TI, el nivel superior no está presente en toda el área de estudio.

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.

Cabe destacar que el nivel superior de terrazas no es afectado durante crecidas ordinarias, pero si se ve afectado en forma parcial por desbordes laterales y erosión de márgenes (debido a la naturaleza deleznable de los sedimentos) en crecientes repentinas de carácter episódico. 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).



**Figura 4.-** Block diagrama indicativo de las características del ambiente fluvial.



**Figura 5.-** Fotografías del nivel inferior de terraza (TI) del Río Saldán. Se aprecia claramente el perfil tendido de la unidad culminando con un borde abrupto en dirección al cauce. 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).

## 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.

### *Zona de Alta Amenaza*

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.

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).

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



**Figura 6.-** Izquierda: Centro de Unquillo. Nivel de terraza inferior inundable ante la ocurrencia de crecientes repentinas. Fotografía tomada antes del evento de 2015. Derecha: Nivel inferior de terraza totalmente inundado durante el evento del 15 de febrero de 2015.



**Figura 7.-** Izquierda: Puente Eva Perón, Cabana, Unquillo. Nivel de terraza inferior reciente inundable ante crecientes repentinas. Fotografía tomada con anterioridad al evento de 2015. Derecha: Nivel de terraza totalmente inundado durante el evento del 15 de febrero de 2015.

### *Zona de Moderada Amenaza*

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 crecida extrema o histórica se activa parcialmente.

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.

Al igual que la zona descrita anteriormente, se pudo observar sectores urbanos densamente poblados emplazados sobre ella, lo que aumenta la vulnerabilidad por exposición física.

### *Zona de baja amenaza*

Comprende los valles secundarios coluvio-aluviales y el plano aluvial antiguo del valle principal. Los mismos se inundan parcialmente por acción de escorrentías locales temporales de carácter concentrado o pseudo-concentrado.

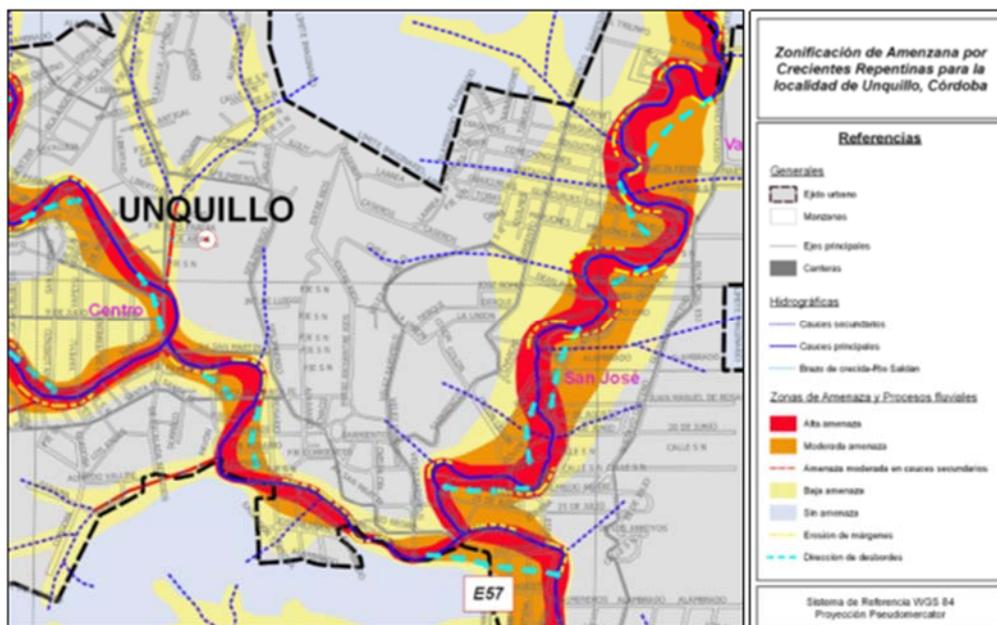
Ante la ocurrencia de precipitaciones intensas, pueden aportar descargas significativas al sistema fluvial principal e incrementar los procesos erosivos. Cabe mencionar que este sector se activa también ante lluvias de carácter local.

### *Zona sin amenaza*

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.

A modo de ejemplo de la cartografía obtenida a continuación se muestra la zonificación de amenaza realizada para el área urbana y periurbana de la localidad de Unquillo (Fig. 8).



**Figura 8.-** Carta de Amenaza por crecidas repentinas para la localidad de Unquillo. Fuente: elaboración propia.

## CONCLUSIONES

La cuenca de recepción del río 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 subcuenca, 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 formación reciente, es inundable en forma parcial, ante la ocurrencia de crecidas ordinarias máximas, y en forma total, en crecidas extremas o episódicas. 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.

*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 evaluación de la amenaza y brinda información de base para las acciones de alerta y prevención.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- 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, N° 1, Vol.1, pp. 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, pp. 205-215.
- Barbeito, O.; Ambrosino, S.; Contreras, P.** (2010). “Evaluación Hidrogeomorfológica de la amenaza por crecientes repentinas en la Ciudad de Unquillo”. INA.-CIRSA. pp. 41.
- Brea, J.; Balocchi, F.** (2010) “Procesos de erosión-sedimentación en cauces y cuencas”. *Vol. I. Documento Técnico N°22. Programa Hidrológico Internacional. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, Ciencia y Cultura*. INA.
- Gordillo, E.; Lencinas, A.** (1979). “Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis”. *II Simposio de Geología. Rep. Arg.* Vol. V. Academia Nacional de Ciencias de Córdoba.
- Jarsun, B.; Gorgas, J.; Zamora, E.; Bosnero, E.; Lovera, E.; Ravalo, 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*.
- Luti, R.** (1979). “Geografía Física de Córdoba”. *Cap. VI, Vegetación*. Edit. Boldt. Rep. Argentina. pp. 297-368.