

**PELIGROSIDAD EN CONOS ALUVIALES CASO SIJAN**  
**PROVINCIA DE CATAMARCA**

Osvaldo Barbeito<sup>a,b,c</sup>, Silvio Ambrosino<sup>b,c</sup> y Ana, L. Rydzewska,<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Facultad de Filosofía y Humanidades (FFYH UNC), Departamento de Geografía (UNC). Casa Verde, Ciudad Universitaria. <sup>b</sup> Instituto Nacional de Agua. Centro de Investigación de la región semiárida, (INA- CIRSA). <sup>c</sup> CONICET

La localidad de Sijan se ubica en el piedemonte de la vertiente occidental abrupta de la sierra de Ambato – Manchao, sobre un cono aluvial activo. El 23/01/2014 ocurrió una creciente repentina cuya magnitud y dinámica fue inesperada, tomando desprevenidos tanto a los pobladores como a los organismos encargados de la defensa civil. No obstante, el análisis de imágenes satelitales y fotografías aéreas de fechas antecedentes, mediante patrones característicos, indicaban la actividad total o parcial del ámbito fluvial en el pasado reciente, hecho a la vez corroborado con datos históricos

El objetivo de este trabajo fue evaluar y zonificar la peligrosidad ante crecientes repentinas/aluviones en la localidad, mediante el empleo del criterio geomorfológico y el uso de las técnicas de la teledetección. Como resultado se obtuvo cartografía indicativa de la dinámica y alcance de las inundaciones y procesos asociados y de zonas expuestas a diferentes grados de amenaza (alta, media y baja) que establece los procesos de amenaza categorizada en: Alta: geoformas fluviales vinculadas al frente de montaña. Media: geoformas fluviales locales o paleo canales sin conexión hidrológica actual con el frente de montaña. Baja: sectores afectados por escorrentías de carácter local por aporte pluvial.

**Palabras claves:** geomorfología - crecientes repentinas - amenaza - mitigación

## **INTRODUCCION**

En la región montañosa de la Provincia de Catamarca las crecientes repentinas constituyen la amenaza natural más significativa, condicionada por la baja permeabilidad del material geológico de las cuencas de recepción, la fuerte energía del relieve, el escaso grado de protección hidrológica de la vegetación natural y por las condiciones climáticas, que establecen la concentración de las precipitaciones en periodo estival, que por efecto orográfico, con frecuencia son localizadas e intensas.

En los últimos años, crecientes extremas afectaron a las poblaciones de PUNTA DE BALASTO (1973) CHUMBICHA (1987), VILLA MAZAN (1987) y más recientemente EL RODEO, SIJAN, ANTINACO Y TATON (2014).

Según información histórica la localidad de SAUJIL fue afectada por crecidas repentinas extremas en los años 1939, 1958 y 1972 y la localidad de SIJAN, severamente en el verano de 2014.

La magnitud y dinámica que alcanzaron tales crecientes, en la mayoría de los casos fue TOTALMENTE INESPERADA, tomando desprevenidos a los pobladores en general y a los organismos encargados de la Defensa Civil, ya que carecían de la información adecuada, que hubiera permitido predecir y prevenir tales eventos.

No obstante el análisis de imágenes satelitales y fotografías aéreas de fecha antecedente, mediante patrones, trazas y elementos GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS, indican la actividad total o parcial de los lechos de inundación ordinarios e históricos o episódicos de los ríos en el pasado reciente.

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.

Las inundaciones entre las amenazas naturales se encuadran entre los procesos naturales más factibles de prevenir frente a la disponibilidad de nuevas tecnologías, entre las que la percepción remota mediante la interpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales, juega un rol fundamental.

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 a partir de la detección y análisis de la dinámica y extensión del proceso. Ellas son sin lugar a dudas las más efectivas en término de costos y utilidad,

Es por ello que el presente estudio de base geológica y geomorfológica, está orientado a complementar la etapa de evaluación de amenaza por crecientes repentinas, mediante la elaboración de cartografía 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.) con el objeto de establecer las bases para la implementación de las acciones de prevención, mitigación y planificación territorial.

## **METODOLOGIA**

Se empleó el criterio geológico y geomorfológico, mediante la aplicación de las técnicas de la fotointerpretación y teledetección, utilizando fotogramas a escala aproximada 1:8.000 del año 1968 e imágenes Google Earth Quid bird.

A partir de lo cual se diferenciaron unidades del terreno con énfasis en el aspecto hidrodinámico, considerando las formas fluviales y los distintos elementos que las componen. 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 cartografía temática (Esc 1:10.000), indicativa del grado de peligrosidad al que se encuentra expuesta la población e infraestructura construida de las localidades bajo estudio. Tomando como base la dinámica y alcance de la inundación extrema del año 2014 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). resolución de 45 metros por píxel, correspondientes a la misión SRTM (Shuttle Radar Topography Mission-NASA, año 2000)

**Sistema hidrográfico:** A nivel regional el sistema hidrográfico en el que se incluye la localidad de Sijan, forma parte de la cuenca endorreica del río Colorado o Bermejo. A nivel de subcuenca se emplaza en el sistema del la depresión del Salar de Pipanaco, El colector principal, de caudal permanente en la alta montaña, se insume tras un corto recorrido en el ámbito del piedemonte (Fig. 1).

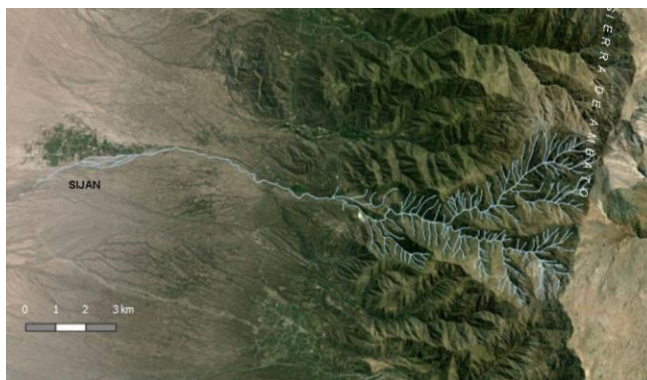


Fig.1. Cuenca río Sijan

## **TENDENCIA DEL SISTEMA HIDROGRAFICO A LA GENERACION DE CRECIENTES REPENTINAS**

La tendencia a la generación de crecientes repentinas del sistema, está condicionada por la conjunción de factores de carácter permanente, entre los que se destacan la naturaleza geológica/geomorfológica, el relieve, la vegetación natural; y factores transitorios, en donde el clima, es el factor desencadenante de primer orden de acuerdo a las características de las precipitaciones (tipo, intensidad distribución, etc.).

### *Geomorfología*

La localidad de Sijan desde el punto de vista geomorfológico regional, ocupa la depresión estructural del Salar de Pipanaco delimitada al oeste por la Sa. De Belen y este, por la Sa. De Ambato.

La sierra De Ambato se ajusta al estilo tectónico de las Sierras Pampeanas Noroccidentales manifiesto en bloques de basamento cristalinos elevados por efecto de fallas meridionales de magnitud regional, en forma fuerte en dirección oeste y basculados en forma más tendida, en dirección este.

La máxima elevación alcanza en el Cº El Manchao los 4575 m.s.n.m. y el desnivel del abrupto de falla definido por el levantamiento de los bloques con respecto a los deprimidos de la depresión, es en el sector del orden de los 3.500 m.

El piedemonte constituye un ambiente deposicional en forma de una bajada aluvial derivada del aporte detrítico histórico ligado al desgaste del abrupto por efecto de la erosión y los procesos de remoción en masa en forma de caídas, deslizamientos y flujos.

La bajada presenta continuidad lateral por la coalescencia de conos aluviales, desde el pie de la sierra a una altitud promedio de 1420 m.s.n.m., hasta integrarse al Salar de Pipanaco a una altitud media de 720 m.s.n.m., recorre una distancia de 20 km., lo que define una pendiente longitudinal media del orden de 3.5 %.

Por efecto de procesos de neotectónica que ocasionaron el gradual levantamiento de los bloques de la sierra, la bajada presenta dos niveles deposicionales: uno superior antiguo y uno inferior más reciente.

El nivel superior antiguo ocupa la posición topográfica dominante y pasa en forma gradual a integrarse al nivel inferior. Adosado al pie de sierra incluye un subnivel más antiguo en forma de relictos aislados por efecto de la erosión.

En la actualidad debido al levantamiento el nivel superior no tiene conexión hidrológica con la vertiente de la sierra, adoptando el drenaje carácter independiente mediante cañadas erosivas de flujos intermitentes de diseño dicotómico, asociados a los aportes pluviales locales.

Los cursos de agua con nacientes en la vertiente de la sierra en su ingreso al piedemonte, han disectado el nivel mediante canales de incisión que dieron lugar a la salida de este, a nuevos conos aluviales activos, en los que se emplaza la localidad de Siján.

### **Geología**

La vertiente occidental de la sierra de Ambato se compone de un basamento metamórfico de edad precámbrica superior-cámbrica inferior, compuesto principalmente por esquistos, filitas, gneiss bandeados y en menor medida anfibolitas. (González Bonorino, 1950, p. 17-18). En la zona de cumbres y laderas altas cercanas al cerro el El Manchao se observa inyecciones graníticas de edad ordovícica-carbonífera que presentan un contacto transicional respecto de la roca de caja (Fig. 2).

Frente a Sijan aflora una zona de deformación milonítica. Por encima de ella, se presenta una faja de alteración hidrotermal silícica y potásica, de filones cuarzo-feldespáticos inyectados durante el evento granítico del paleozoico. Presenta rumbo N-S, límites poco definidos y, se extiende aproximadamente por 10km desde la localidad de Mutquin hasta Rincón mediante un afloramiento discontinuo.

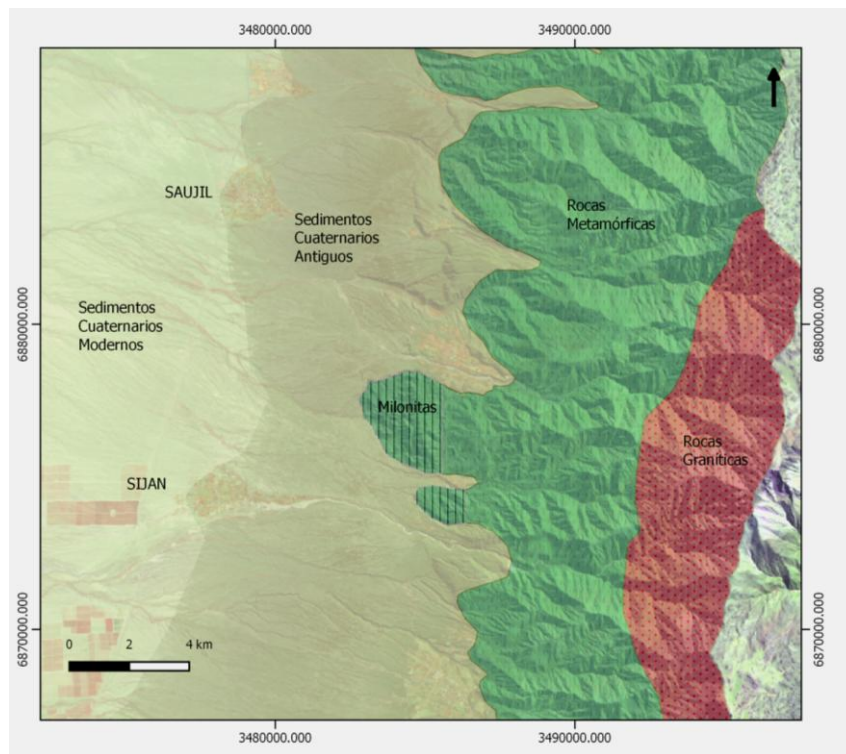


Fig. 2. Carta geológica expeditiva.

La meteorización de la roca de base dio lugar a la formación de suelos superficiales encuadrados dentro del orden de los entisoles, de características diferenciales según el tipo litológico que les dio origen. En el caso de las rocas metamórficas, los suelos son superficiales, pedregosos, de texturas medias, bajo contenido orgánico y discontinuos, alternantes con porcentajes de roca desnuda menor al 20%. En contraposición, aquellos desarrollados sobre roca granítica son de texturas más gruesas y el porcentaje de roca desnuda supera holgadamente el 50%.

Ambos tipos de suelo, en respuesta a sus características intrínsecas y las condiciones del relieve, presentan fuerte susceptibilidad a la erosión hídrica.

En el pie de monte los materiales acumulados formando parte de los conos aluviales antiguos y recientes, se trata de depósitos aluviales fanglomerádicos aterrazados con inclusión de cantos y bloques gruesos de diversos tamaños y matriz areno-limosa. El material geológico se representa por flujos de corriente en donde alternan depósitos gruesos poco clasificados de canales activos, depósitos más finos de gravas, arenas, limos ligados a los desbordes de estos y depósitos de tamiz, caracterizados por la

acumulación de materiales gruesos por pérdida de la competencia del flujo, que actúan como tamiz, dejando pasar el agua. El conjunto presenta granulometría grano decreciente, desde el ápice del abanico al pie de la montaña, en dirección a las partes media y distal. En este caso los suelos son profundos poco evolucionados encuadrados dentro del orden de los entisoles y susceptibles a la erosión hídrica

### **Relieve**

El abrupto de falla sobre el que se organizan las nacientes de la cuenca de recepción del río Sijan, se caracteriza por un relieve de alta energía que deriva del resalto de la falla y las frecuentes fallas y fracturas secundarias y/o foliación que afectan al sustrato geológico, lo que ha debilitado el material posibilitando una fuerte disección de la red de drenaje manifiesta en escarpados valles en "V" en los colectores de menor orden y profundas quebradas en los de mayor orden.

Las pendientes medias en ambos casos son superiores al 50%, lo que define un relieve escarpado con estrecha relación con la velocidad de la escorrentía y su poder de erosión y arrastre.

Lo mismo ocurre en referencia a la altitud con participación en la rigurosidad de las condiciones climáticas que favorecen la fragmentación y disgregación de las rocas por efecto del congelamiento (crioclastía) y la acción de los procesos de remoción en masa (caídas, deslizamientos y flujos), a la vez que condiciona la distribución e intensidad de las precipitaciones por el efecto orográfico. El histograma de frecuencias altimétricas que expresa el área o porcentaje de valores de altitud de una determinada cuenca, indica que la mayores superficies se encuentran por encima de los 3.000 m.s.n.m. (Fig. 3).

Conjuntamente con la energía del relieve las formas planimétricas guardan estrecha relación con la tendencia a la generación de las crecientes repentinas, motivo por el cual se calculan y analizan los siguientes parámetros: área de la cuenca, densidad de drenaje, Coeficientes de Torrencialidad y Coeficiente de Compacidad o Índice de Gravelius.

El área de la cuenca como el parámetro más importante definido por la proyección horizontal del conjunto de la superficie del terreno que se dirige a un determinado punto y por su relación con la magnitud del caudal medio que es capaz de erogar. La densidad de drenaje dada por la relación de la longitud total de cauces y el área de la cuenca; el Coeficiente de Torrencialidad definido por la relación entre el número de cauces de primer orden y el área de la cuenca; y el Coeficiente de Compacidad o Índice de Gravelius, que establece la relación del área de un círculo con el área de la cuenca, por la influencia que tienen estos parámetros en la velocidad de la respuesta hidrológica o tiempos de concentración y mayores caudales (tabla 1).

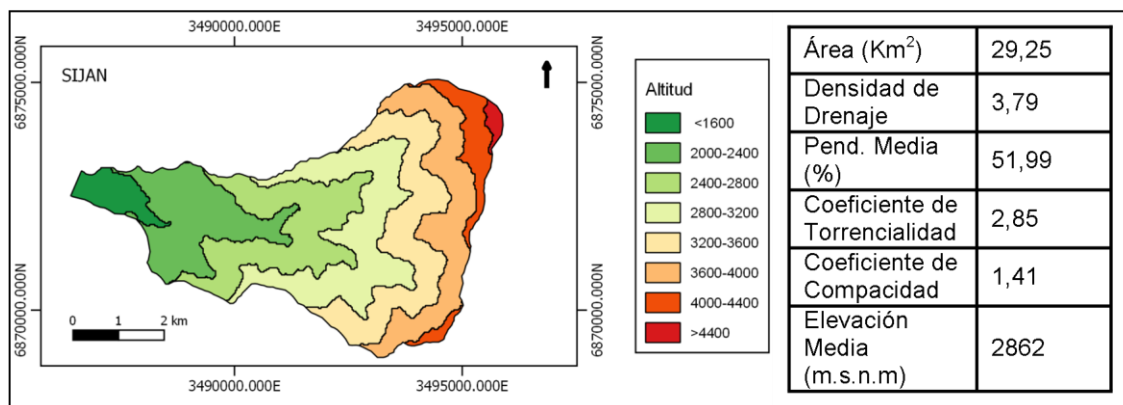


Fig.3. Mapa de Frecuencias altimétricas y parámetros morfométricos de la cuenca

Del análisis conjunto de los parámetros calculados, queda claramente en evidencia la alta tendencia a generar crecidas repentinas que presenta la cuenca.

#### *Vegetación*

Las ecorregiones comprendidas en la cuenca corresponden en sentido altitudinal descendente a: los altos andes o altoandino, Prepuna y Monte

La primera se desarrolla en relieve de montaña en altitudes superiores a los 3700m.s.n.m. se caracteriza por la presencia de gramíneas duras de color amarillo pálido que alternan con elevados porcentajes de roca desnuda.

La ecorregión de la Prepuna se ubica en la ladera occidental de la Sierra de Ambato, y abarca la mayor proporción de la cuenca de aporte del río Sijan. Altitudinalmente, se ubica entre los 1900 - 2000 msm y los 3000 - 3100 m.s.n.m.. Está representada por un arbustal abierto, que puede llegar a alcanzar un máximo de cobertura comprendido entre el 30 a 35 %, con ejemplares de 100 a 120 cm de altura. Se caracteriza por la presencia de Cactáceas columnares de gran tamaño, (Cardonales) y Chaguarales (Bromeliáceas), diferenciándose principalmente del Monte, por la escasa dominancia de jarillas (género Larrea). Por efecto de umbría las mayores coberturas de vegetación se ubican en las laderas que poseen orientación hacia el sur y el este.

Por último la ecorregion del Monte se desarrolla a partir del dominio geomorfológico de piedemonte. En relación con la distribución de la humedad, en los conos y abanicos aluviales, Morláns (2008) distingue dos tipos de comunidades de vegetación: vegetación ribereña o en galería y vegetación de intercauces (interfluvios). La primera de ellas se desarrolla en forma de faja junto a los cauces y cañadas erosivas compuesta de un bosquecillo o monte relativamente denso con predominio de

especies caducifolias espinosas cuyas copas llegan a tocarse. Las especies características son *Acacia aroma* (tusca), *A. furcatispina* (garabato macho), *Mimozyanthus carinatus* (lata), *Prosopis torquita* (tintitaco), *Cercidium australe* (brea), *Bulnesia retamo* (retamo), *Ximenia americana* (pata) y *Cassia aphylla* (pichana).

En las áreas intercauces la vegetación consiste en un arbustal abierto (30 a 50 % de cobertura de follaje) siendo el estrato arbóreo es muy escaso (cobertura del 1 al 7 %). La especie dominante es *Larrea cuneifolia* (jarilla norte-sur) la que se presenta en grupos distanciados entre sí dejando áreas desnudas o escasamente cubiertas. En menor proporción se encuentran *L. divaricata* (jarilla) y *Prosopidastrum globosum*. Un grupo importante en la composición de la vegetación está dado por Cactáceas de pequeño porte, siendo escasas las Cactáceas columnares (cardones), hecho que lo distingue la Prepuna.

#### *Clima*

El clima de la región es cálido y árido, con una gran amplitud térmica. Los veranos son cálidos y secos con medias entre 28-29°C, mientras que los inviernos son templados con medias entre 11-13 C°, sin temperaturas extremas. Las heladas tienen lugar en el periodo mayo-setiembre.

En los veranos las temperaturas pueden alcanzar los 40°C, con procesos de evapotranspiración significativos que favorecen por condensación la formación de tormentas intensas.

La humedad relativa oscila entre 50 y 70% durante todo el año, aunque entre Septiembre y Noviembre suele disminuir. A su vez la frecuencia e intensidad de los vientos son elevadas.

Las precipitaciones anuales oscilan entre 200-350 mm. de régimen estival (Noviembre-Marzo), siendo el déficit hídrico superior a los 600 mm anuales.

Los procesos de origen convectivo y orográfico condicionados por la altitud del cordón de Ambato, se caracterizan por la generación de lluvias localizadas, intensas y de corta duración. Las tormentas de este origen se caracterizan por un enjambre de nubes convectivas o células, que tienen su propio ciclo según etapas: una etapa de desarrollo, una etapa de madurez y una etapa de disipación, abarcando el conjunto una duración aproximada de una hora.

La mayor actividad tiene lugar durante las dos primeras etapas, que tienen una duración de unos 30 a 40 minutos. Después de este período activo la precipitación puede persistir, pero amainada en intensidad (M. Nicolini, CyM, 2009).

En el caso de la tormenta del 23/01/2014, si bien no se tiene registro de las precipitaciones en la cuenca alta del cordón Ambato-Manchao, dada la magnitud de



las crecidas de los ríos Ambato (vertiente oriental) y Siján (vertiente occidental), sumado a la ausencia de crecientes en las cuencas vecinas, permiten inferir la ocurrencia de un fenómeno localizado con las características mencionadas, es decir de tipo convectivo con control orográfico.

### **PROCESOS MORFODINAMICOS Y SU RELACION CON LA CARGA DETRITICA DE LA RED DE DRENAJE.**

Los procesos en forma de erosión y remoción en masa según caídas, deslizamientos y flujos, tienen directa participación en la cantidad y tipo de detritos que conforman la carga de fondo y en suspensión de la red de drenaje.

En las cuencas de recepción de montaña, la fuerte energía del relieve y la neta predominancia de rocas cristalinas de carácter metamórfico condicionan la acción de procesos particulares:

*Erosión hídrica:* en las laderas el escurrimiento elemental generado por los aportes pluviales, en respuesta a la fuerte energía del relieve adopta la modalidad difusa en forma de surcos afectando por erosión la cubierta de suelos superficiales. El proceso es generalizado e intenso responsable de la carga fina a la red de drenaje favorecido por la alta susceptibilidad de la cubierta exigua de suelos, la escasa cubierta de vegetación que actúa como reguladora y la ocurrencia de lluvias esporádicas e intensas.

*Erosión de márgenes:* la erosión de márgenes, se manifiesta en la parte externa de las curvas que describe el curso afectando los depósitos aterrazados fanglomerádicos que forman parte de la antigua bajada aluvial. Ante la ocurrencia de crecidas la acción del proceso significa el aporte de carga detrítica mixta de diversos tamaños a la red de drenaje.

*Remoción en masa:* Los procesos de remoción en masa generalizados se manifiestan en forma de caídas libres, deslizamientos de escombros, deslizamientos de tierra y desplomes.

La fuerte fragmentación de la roca por efecto del diaclasado y fracturación y la acción de la crioclastía o gelifración favorecida por las condiciones climáticas de alta montaña, sumado a la fuerte energía del relieve, determinan la prevalencia de las *caídas libres* instantáneas de cantos y bloques de diversos tamaños, que pasan a formar parte de la carga detrítica de la red de drenaje (desprendimientos de roca). El proceso es generalizado e intenso afectando al basamento de carácter metamórfico e ígneo.

Acompañan a las caídas libres movimientos rápidos en forma de *flujos de detritos* (*debris flow*) manifiestos cicatrices claras, siendo ambos procesos los principales responsables del aporte de los detritos de mayor tamaño a la red de drenaje (Fig.4).

*Deslizamientos de tierra y desplomes* afectan a los materiales no-consolidados de los depósitos fanoloméricos del nivel superior de la antigua bajada aluvial. Los desplomes se asocian a la erosión de márgenes que socava la base del depósito ocasionando la ruptura de equilibrio de la pendiente (Fig.4)

La acción conjunta de estos procesos ante la ocurrencia de lluvias intensas, sumado a la fuerte energía del relieve ocasiona la ocurrencia de flujos densos que se incorporan a la red de drenaje.

El proceso implica una fase dispersante de materiales finos derivados de la erosión hídrica (limos-arcillas) y una fase dispersa de material grueso (gravas, cantos, bloques), incorporando a la vez restos de vegetación. La alta densidad de la masa viscosa permite transportar grandes bloques a distancias considerables.



Fig.4. caídas, flujos de detritos y deslizamientos de tierra y erosión de márgenes

#### **CONDICIONES GEOMORFOLOGICAS DEL ENTORNO DE LA POBLACION**

En el entorno de la localidad a nivel de unidades geomorfológicas se distinguen

***Bajada Aluvial Antigua:*** Las geoformas de esta unidad con relación al aspecto hidrodinámico, se representan por cañadas sin conexión hidrológica con el frente de la sierra, son activadas solo por aporte pluvial local.

Son de carácter erosivo remontante con frecuencia coincidentes con canales antiguos de conos y convergen al río en dirección al límite sur del abanico activo. En contraposición en el límite norte la mayor parte divergen en ese sentido.

El diseño de drenaje es en parte paralelo, con forma de artesa de una amplitud variable entre 10 y 25 m. poco profundas y cuando por efecto de la acumulación por avulsión, pierden profundidad, dan lugar lóbulos deposicionales transitorios adoptando un diseño de drenaje dicotómico.

La falta de conexión hidrológica con el frente de sierra por levantamiento, determina que estas cañadas signifiquen un grado de peligrosidad geomorfológica menor, con respecto a los conos aluviales activos sobre los que se encuentran las poblaciones, aunque sin dejar de tener significación durante la ocurrencia de lluvias intensas.

**Cono aluvial activo** en el cono a nivel de unidades se diferencia el canal de incisión activo que capta los caudales derivados de las cuencas de recepción y el cono propiamente dicho.

El canal de incisión desde la salida de la sierra con trazo semirecto de baja sinuosidad, recorre una distancia de 5 km. con una amplitud variable entre 30 y 40 m. hasta el ápice del abanico en el que se emplaza la población, con una pendiente de 7.5% y carga de fondo de alta competencia con inclusión de gravas y bloques de diversos tamaños.

En sus inicios el canal tiene un grado de encajamiento del orden de los 10 m. con disminución progresiva en dirección oeste, para perder encajamiento y dar lugar a la formación del cono activo que desde el ápice, hasta la parte distal, tiene una longitud de 4 km. y una amplitud máxima de 2 km.

Análisis conjunto de fotointerpretación y perfil transversal empleando imagen Google Earth 2013, deja en claro que en la tendencia evolutiva actual, del río Sijan se recuesta sobre el límite sur del cono aluvial y lo sobrepasa dando lugar por avulsión a un lóbulo deposicional activo, que desde el ápice en una distancia de 6,4 km., se continua hasta el trazo de la ruta Provincial N° 46. En el sector que colinda al norte con la zona urbana, alcanza una amplitud superior a los 400 m. (Fig. 5).



Fig.5. Perfil transversal en la zona media del abanico. (a) límite sur del cono aluvial-R. Sijan, (b) limite norte del cono aluvial y (c) canal antiguo coincidente con el trazo de la calle principal.

Por efecto de la alteración antrópica el conjunto de los antiguos canales distributivos del cono con participación en la hidrodinámica, no presentan continuidad y clara definición geomorfológica.

Como canal de claro y fuerte potencial de activación en el análisis de las fotografías aéreas del año 1968, se destaca un canal pando paralelo al cauce del río coincidente pendiente arriba en dirección al ápice, con el trazo de la calle principal de la población sobre la que se localiza la escuela Daniel de Jesús Ovejero, hecho que se corrobora plenamente con la dinámica que adoptó la crecida extrema de enero de 2014, luego de haber superados las defensas construidas con anterioridad.

En la zona del ápice a la margen derecha del canal de incisión activo dos canales erosivos labrados en el nivel antiguo por su posición, evidencian probable actividad por efecto de avulsión en eventos extremos.

## **ZONIFICACION DE LA AMENAZA POR CRECIENTES REPENTINAS Y SU RELACION CON LAS CONDICIONES GEOMORFOLOGICAS**

La zonificación de la amenaza realizada se basa en las condiciones geomorfológicas del ámbito fluvial, no considerando la recurrencia de los eventos, ni la vulnerabilidad de los elementos expuestos.

### **I - ZONA DE ALTA AMENAZA. Sujeta a EVACUACION RAPIDA ante situación de alerta.**

Se incluyen los sectores en donde las inundaciones repentinas involucran caudales significativos con alta capacidad de carga y competencia y fuerte poder destructivo de las ondas de crecida. La acción del proceso de avulsión favorece los desbordes laterales (levantamiento del cauce por acumulación aluvional).

La rapidez y severidad de las crecidas determina EVACUACION RAPIDA ante situación de alerta.

#### Unidades geomorfológicas incluidas:

1) *Canal de incisión activo* ligado a la formación del cono aluvial activo en el que se emplaza la población. Unidad hidrogeomorfológica que implica una amenaza de grado extremo activada en enero de 2014.

2) *Lóbulo deposicional activo* zona activa del cono aluvial por efecto de la avulsión en respuesta al aporte detrítico del canal de incisión activo

Al igual que la unidad antecedente implica un grado de amenaza extremo, corroborado con el desastre de enero de 2014.

3) *Lóbulo deposicional activado* se corresponde con el lóbulo deposicional activado en el evento de enero del 2014 regido en parte, por el trazo de la calle principal de la población.

4) *Lóbulo deposicional potencial.* Se corresponde con el sector que por su posición tiene fuerte potencial de activación ante la ocurrencia de un evento extremo, comprendido entre el lóbulo activo al sur y el lóbulo activado en enero de 2014, al norte.

5) *Canal erosivo con fuerte potencial de activación.* Canales erosivos labrados en la antigua bajada aluvial localizados inmediatamente al norte del ápice del cono activo por la zona que corre el canal de riego, que por efecto de la avulsión en crecidas extremas, tienen por desbordes un alto potencial de activación.

#### Usos y restricciones generales:

En razón al grado de amenaza extremo a que están expuestos estos sectores, deben considerarse PROHIBIDOS para todo tipo de ocupación futura que implique la permanencia continua de personas y necesariamente a corto plazo, deben implementarse OBRAS DE DEFENSA adecuadas y considerar imprescindible la implementación de un sistema de ALERTA TEMPRANA.

- Control y limpieza en forma periódica del cauce en la zona apical, donde tiene origen el lóbulo deposicional activo con posterioridad a la ocurrencia de cada crecida, a los efectos de reducir los fenómenos de avulsión y desbordes.

- Prohibición de planes futuros de urbanización.

- Prohibición de áreas de campamentismo, planes de forestación con especies de gran porte que obstaculicen el flujo e incrementen los efectos de la avulsión, movimientos de tierras que signifiquen cambios sustanciales en la morfología del terreno (nivelación, escalonamiento, taponamiento y relleno).

- En los sectores ya construidos, deben implementarse acciones de mitigación dirigidas a mantener, reforzar e implementar obras de defensa adecuadas, con especial énfasis en la zona apical del cono activo.

## **II. ZONA DE MODERADA AMENAZA . Sujeta A EVACUACION PREVENTIVA bajo situación de alerta.**

Se incluyen en esta zona al conjunto de formas que si bien son de origen fluvial, en la situación actual no están expuestas a situaciones severas de amenaza. En la actualidad la zona es solo afectada por inundaciones originadas por aportes pluviales locales sin conexión hidrológica con el frente de montaña.

La zona debe estar sujeta a evacuación preventiva ante situación de alerta.

Unidades geomorfológicas incluidas:

- a) *Canales erosivos de la bajada aluvial antigua.* En lluvias intensas es aconsejable evitar la zona como ámbito de evacuación.

## **III- ZONA DE BAJA AMENAZA. Áreas de MAYOR SEGURIDAD para establecimiento temporal bajo situación de alerta.**

Corresponde a los sectores no activos del cono aluvial, en la situación evolutiva actual y que solo son afectados por escorrentías de carácter local por aporte pluvial. Esta zona es la más apropiada para la evacuación de personas bajo situación de alerta.

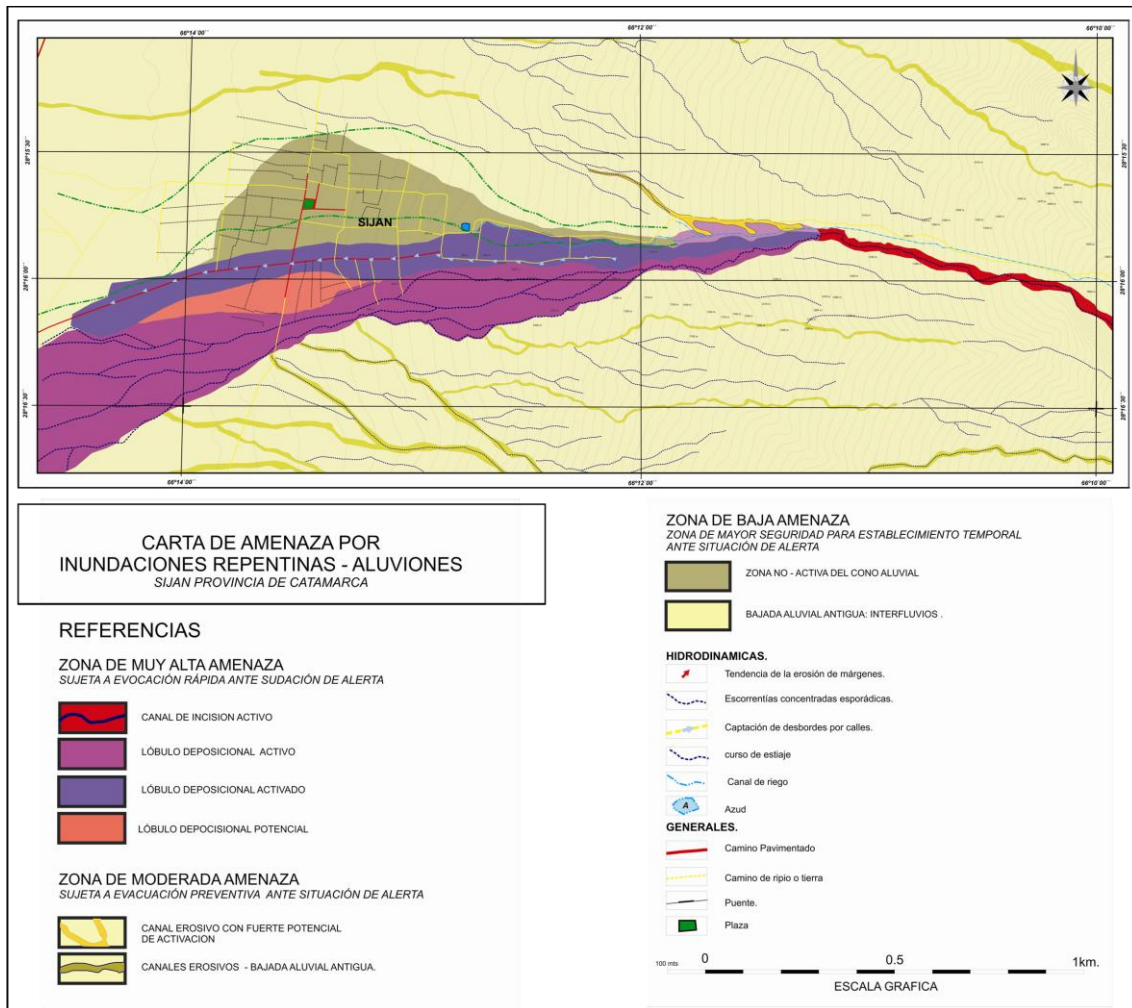
Unidades geomorfológicas incluidas:

- a) *Interfluvios entre cañadas erosivas de la bajada aluvial antigua.*

- b) *Zona no activa del cono aluvial.*

*Usos y restricciones generales:*

*Para estos sectores no existen restricciones de consideración, siendo necesario implementar obras de desagüe adecuadas en las zonas urbanas y periurbanas.*



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La cuenca de recepción del río Sijan presenta por **CONDICIONAMIENTO NATURAL** alta tendencia a la generación de crecidas repentinas severas, con escasa a nula participación del factor antrópico.

Los factores condicionantes y desencadenantes del proceso (geología, geomorfología, vegetación y clima), determinan escurrimiento excesivo ante la ocurrencia de lluvias intensas y la acción generalizada e intensa de procesos de remoción en masa en forma de caídas, deslizamientos y flujos.

En cono aluviales activos como en los que se emplaza la población, ante la ocurrencia de estas crecidas, las variaciones en su forma y direcciones de flujo no son progresivos, si no **RÁPIDOS**, alternando periodos de larga estabilidad.

El canal de incisión original que dio lugar a la formación del cono aluvial, está aún activo, lo que significa un importante grado de amenaza.

Es muy importante tener en cuenta que esta dinámica ha actuado en el pasado, lo hace en el presente y sin lugar a dudas, lo hará en el **FUTURO**. Por lo cual es primordial el establecimiento **A CORTO PLAZO** de un sistema de alerta temprana que permita la evacuación a las zonas de mayor seguridad indicadas en el presente

informe. Para ello el organismo encargado de la defensa civil debiera brindar asesoramiento para el establecimiento de acciones de prevención, que permitan la AUTOEVACUACIÓN en caso de alerta.

Es importante tener en cuenta que la información plasmada en la Carta de Amenaza por Crecidas Repentinas, considera las situaciones de amenaza en la situación evolutiva actual de los procesos, por lo que dada la variabilidad de estos en el tiempo, debe estar sujeta a control y/o ajustes tras la ocurrencia de crecidas

## **BIBLIOGRAFIA**

ATLAS DE CATAMARCA. <http://www.atlas.catamarca.gob.ar>

BARBEITO, O, C. RUIBAL Y M. LOBOS 2000. Informe de la situación de amenaza de El Rodeo. Informe inédito solicitado por la municipalidad del Rodeo.

CABRERA, ANGEL L., 1976. Regiones Fitogeográficas Argentinas. Fasc. 1. Tomo II. Enc. Arg. de Agr. y Jard. Ed. ACME. Buenos Aires.

GARZON HEYDT, M. G., J. ORTEGA BECERRIL Y J. GARROTE REVILLA 2009. Las avenidas torrenciales en cauces efímeros: ramblas y abanicos aluviales.

GONZÁLEZ BONORINO, F. 1978. Descripción Geológica de la Hoja 14f. San Fernando del Valle de Catamarca (Provincias de Catamarca y Tucumán). Carta Geológico-Económica de la República Argentina. Escala 1:200.000. En Boletín N° 160. Ministerio de Economía. Secretaría de Estado y Minería. Servicio Geológico Nacional. Buenos Aires.

LIWIN, C., J. MAZA y J. SARAVIA 1992. Aluviones en El Rodeo. Catamarca. Consideraciones sobre un sistema de alerta, acciones estructurales y mapeo de vulnerabilidad hídrica. Consejo Federal de Inversiones (CFI).

MORLANS, M.C. 1995. Regiones Naturales de Catamarca. Provincias Geológicas y Provincias Fitogeográficas. Revista de Ciencia y Técnica 2 (2): 1-42.

MASA, J., P. LOPEZ y V. BURGOS 2014. Delimitación de áreas de riesgo hídrico El Rodeo Catamarca. Centro Regional Andino. Instituto Nacional del Agua.

MOLINA A. R. 2015. Aluvión. La furia del Ambato. Ediciones Color S.A. Catamarca. Argentina.

NICOLINI, M, CyM 2009. Tormentas, su clasificación, severidad, tormentas de masa de aire.

PALMIERI, C. N.; et al (2005) "Caracterización hidroclimática de siete localidades del departamento Ambato.θ Provincia de Catamarca. Argentina." Rev. CIZAS ISSN 1515-0453 Vol.6, Núm. 1 y 2. UNCa (7-17)

WATKINS. S. y Otros. 2014. Causas del desastre (síntesis). El Rodeo Departamento Ambato. Provincia de Catamarca. Colegio de Geólogos.